

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

Верстатно-інструментальне забезпечення виготовлення деталі «Втулка 18.014» та розробка конструкції шпиндельного вузла токарного верстата з ЧПК

Виконав: студент (ка)

4

курсу, групи

МВ-41

напряму підготовки (спеціальності)

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	Лоїк В.Д. (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	Сеник А.А. (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	Кобельник В.Р. (підпис) (прізвище та ініціали)
Завід. кафедри	Крупа В.В. (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Лоїку Владиславу Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Верстатно-інструментальне забезпечення виготовлення деталі «Втулка 18.014» та розробка конструкції шпиндельного вузла токарного верстата з ЧПК

Керівник роботи Сеник А.А., к.т.н., доцент кафедри ВІ

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

Затверджені наказом ректора від «23» 01 2025 року № 4/7-35

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічне креслення деталі «Втулка 18.014»

Базовий технологічний процес обробки деталі. Верстати-аналоги.

Аналоги конструкцій шпиндельних вузлів токарних верстатів з ЧПК

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

1. Аналітична частина (загальна частина). Характеристика об'єкту виробництва

2. Технологічна частина Технологічний розрахунок

Розробка маршрутного та операційного технологічного процесу обробки

Інструментальне забезпечення технологічної операції

3. Конструкторська частина Розробка кінематичної схеми верстату

Конструювання вузлів верстату

Розробка конструкції пристрою для механічної обробки

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

Деталь «Втулка 18.014», заготовка – 0,5 ф.А1

Креслення вузла «Клапан запобіжний» – 0,5 ф.А1

Структурно-кінематична та аінематична схеми верстата – 1 ф.А1

Виконавчі механізми верстата (шпиндельний вузол) – 1 ф.А1.

Карта налагодження. РТК – 1 – 2 ф.А1.

Пристосування для фрезерування пазів – 1 ф.А1.

Деталювання - 1 ф.А1.

[illegible][illegible]

(підпис)

Лоїк В.Д.
(прізвище та ініціали)

_____ Кобельник В.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лоїк В.Д. Верстатно-інструментальне забезпечення виготовлення деталі «Втулка 18.014» та розробка конструкції шпиндельного вузла токарного верстата з ЧПК : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 133 — галузеве машинобудування / кер. А.А. Сенік. Тернопіль : факультет інженерії машин, споруд та технологій, група МВ-41.: ТНТУ, 2025.

В кваліфікаційній роботі здійснено проектування технологічного маршруту механічної обробки деталі, запропоновано та розроблено операційний технологічний процес обробки деталі «Втулка 18.014». Вибрано режими різання та визначено норми часу для всіх необхідних операцій. Наведено структурно-кінематичну та кінематичну схеми токарного верстата з ЧПК. Спроековано привід головного руху. Запропоновано конструкцію шпиндельного вузла верстату. Запропоновано конструкцію пристосування для фрезерування пазів. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: втулка, верстат, різальний інструмент, , режими різання, привід головного руху, шпиндель.

Loyik V.D.. Machine-tooling support for manufacturing the “Bushing 18.014” part and development of the spindle unit design for a CNC lathe. 133 – Industrial engineering; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2025.

In the qualification work, the technological route for machining the part was designed, the operational technological process for machining the part “Bushing 18.014” was proposed and developed. Cutting modes were selected and time standards were determined for all necessary operations. The structural-kinematic and kinematic diagrams of the CNC lathe were presented. The main motion drive was designed. The design of the spindle assembly of the machine was proposed. The design of a device for milling grooves was proposed. The issues of labor protection and life safety were resolved.

Key words: bushing, machine tool, cutting tool, , cutting modes, main motion drive, spindle

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Лоїк В.Д.				Анотація	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Сенік А.А.					Н	4	57
Реценз.						ТНТУ МВ-41 м. Тернопіль		
Н. Контр.	Кобельник							
Затверд.	Крупа В.В.							

ЗМІСТ

Вступ	
1 Загальна частина	
1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службового призначення, аналіз технічних умов на виготовлення.....	
1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла	
2 Технологічна частина.....	
2.1 Опис конструкції та службового призначення деталі виробу для вимог проектування технологічного процесу механічної обробки. Аналіз технічних на виготовлення деталі	
2.2 Характеристика матеріалу деталі	
2.3 Визначення типу виробництва і величини партії деталей	
2.4 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки	
2.5 Розробка маршрутного технологічного процесу	
2.5.1 Вибір технологічного обладнання і оснащення	
2.5.2 Визначення між операційних припусків і проміжних розмірів	
2.5.3 Розробка операційної технології	
2.5.4 Вибір різального, допоміжного і та контрольно-вимірного інструменту.	
2.5.5 Вибір режимів різання	
2.5.6 Розрахунок технічних норм часу	
2.6 Обґрунтування вибраного оснащення на операцію	
2.6.1 Призначення, будова і принцип роботи пристосування	
2.6.2 Вибір схеми базування і розрахунок похибки базування	
2.6.3 Розрахунок сили затиску	

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Лоїк В.Д.			Верстатно-інструментальне забезпечення виготовлення деталі «Втулка 18.014» та розробка конструкції шпиндельного вузла токарного верстата з ЧПК				Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.		Сеник А.А.							Н		5		
Реценз.									ТНТУ МВ-41 м. Тернопіль				
Н. Контр.		Кобельник В.Р.											
Затверд.		Крупа В.В.											

3	Конструкторський розділ.....
3.1	Кінематичний розрахунок верстату та обґрунтування його кінематики.....
3.1.1	Привід головного руху.....
3.1.1.1	Кінематика приводу.....
3.1.1.2	Вибір електродвигуна приводу головного руху.....
3.1.1.3	Розрахунок зубчатої пасової передачі.....
3.1.2	Привід поздовжнього переміщення.....
3.1.2.1	Кінематика приводу.....
3.1.2.2	Розрахунок і вибір електродвигуна.....
3.1.3	Кінематична схема верстату.....
3.1.3.1	Опис кінематичної схеми.....
3.1.3.2	Аналіз кінематичної схеми.....
3.2	Конструювання та розрахунок шпиндельного вузла.....
3.2.1	Опис конструкції шпиндельного вузла.....
3.2.2	Характеристика елементів шпиндельного вузла.....
3.2.2.1	Підшипники опор шпиндельного вузла.....
3.2.2.2	Система ущільнень.....
3.2.3	Розрахунок радіальної жорсткості.....
3.3	Опис конструкції та принципу роботи супорта.....
3.3.1	Розрахунок ходового гвинта
3.3.1.1	Визначення діаметра ходового гвинта і кроку різі.....
3.4	Система керування токарним верстатом.....
3.4.1	Характеристика СЧПК.....
3.4.2	Особливості роботи.....
3.5	Опис роботизованого технологічного комплексу.....
4	Безпечна життєдіяльності, основи охорони праці
4.1	Характеристика виробничої ділянки з точки зору охорони праці та заходи по покращенню умов праці
4.2	Розрахунок освітлення для спроектованої ділянки
	Висновки
	Перелік посилань

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Додатки.....

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Машинобудування є однією з найважливіших галузей промисловості, що значною мірою визначає рівень економічного розвитку країни. Воно є основою для створення продукції не лише для внутрішнього споживання, а й для експортних поставок, що дозволяє країні посилювати свою економічну стабільність і конкурентоспроможність на світовому ринку. В умовах сучасних технологічних змін та глобалізаційних процесів, перспективи розвитку машинобудування стають важливою складовою стратегічного розвитку держави.

Машинобудування включає в себе цілий спектр галузей і напрямів, які охоплюють виготовлення машин і обладнання для різних сфер: від енергетики до транспорту, від виробництва точних інструментів до сільського господарства. Це також сфера, яка тісно пов'язана з інноваційними технологіями, науковими дослідженнями та розробками. Зокрема, обробка металів, яка є однією з основних операцій в машинобудуванні, займає ключову роль в процесі виготовлення продукції.

Особливе значення в цьому контексті має обробка металів різанням, яка дозволяє досягти високої точності та якості виробів, що необхідно для створення сучасних, ефективних і надійних машин та обладнання. Це одна з основних технологій у виготовленні деталей у всіх галузях. Вона забезпечує не тільки високу точність, а й значну економію матеріалів, що є важливим фактором у сучасному виробництві.

Проте, не зважаючи на всі досягнення та важливість машинобудування, розвиток цієї галузі в Україні має низку викликів. Це включає застаріле обладнання, недостатньо ефективні технології, а також брак висококваліфікованих кадрів. Однак у той же час розвиток цієї галузі є важливою передумовою для зміцнення економіки країни, покращення її інфраструктури та стимулювання інновацій. Враховуючи світові тренди на автоматизацію та індустрію 4.0, українське машинобудування має потенціал для значного зростання за умови залучення інвестицій та розвитку новітніх технологій.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Метою цієї роботи є вивчення перспектив розвитку машинобудування в Україні, аналіз його значення для економіки країни, а також розгляд особливостей обробки металів різанням як важливого етапу в процесі виготовлення машин і механізмів. Особлива увага буде приділена можливостям модернізації існуючих виробничих потужностей та інтеграції інноваційних технологій, які дозволяють підвищити ефективність виробництва та якість кінцевої продукції.

На сьогоднішній день машинобудування в Україні є однією з найбільш потенційних галузей для розвитку. Проте значні труднощі, зокрема економічні, політичні та технічні, потребують комплексного підходу до розв'язання проблем. Сучасний стан галузі потребує трансформації, яка включає в себе оновлення матеріально-технічної бази, впровадження новітніх технологій, таких як автоматизація виробничих процесів, 3D-друк, а також інтеграція з міжнародними ринками.

Перспективи розвитку машинобудування в Україні також пов'язані з підвищенням попиту на інноваційні продукти, особливо в галузях високих технологій: робототехніка, електричні транспортні засоби, відновлювані джерела енергії. У цьому контексті важливим аспектом є розширення співпраці з міжнародними компаніями та активне впровадження міжнародних стандартів у виробництво.

Обробка металів різанням є важливим технологічним процесом у машинобудуванні. Цей процес полягає в обробці металів за допомогою різальних інструментів, що дозволяє отримувати деталі з високою точністю і мінімальними витратами матеріалів. Важливим фактором є використання сучасних методів, таких як числове програмне управління (ЧПУ), що дозволяє значно підвищити ефективність і точність виробничих процесів.

Основними видами обробки металів різанням є фрезерування, токарні роботи, шліфування, свердління та багато інших. Кожен з цих процесів має свої особливості та застосування залежно від вимог до точності, матеріалів і складності деталей. Технології різання металів не лише забезпечують високоякісні та точні результати, але й знижують витрати на матеріали та

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

енергію. Використання новітніх інструментів і технологій дозволяє підвищити конкурентоспроможність продукції, а також знижує негативний вплив на навколишнє середовище.

Таким чином, обробка металів різанням є не лише технологічно важливою складовою машинобудування, але й важливим фактором для підвищення ефективності виробництва та якості кінцевої продукції, що має важливе значення для розвитку національної економіки.

Викладене вище показує, що розвиток машинобудування в Україні має величезний потенціал. Однак для досягнення максимального ефекту необхідно здійснити комплексну модернізацію виробництва, впровадити новітні технології, забезпечити кваліфіковану робочу силу та належні умови для інновацій. Це відкриває нові горизонти для розвитку галузі і має стратегічне значення для розвитку економіки країни.

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Об'єкту виробництва, службового призначення, аналіз технічних умов на виготовлення

Запобіжний клапан призначений для регулювання тиску рідин або газів і використовується як складова частина гідравлічного чи пневматичного обладнання відповідних установок.

Клапан поз. 5 притискається до сідла поз. 3 за допомогою штока поз. 12, який має сферичну опорну поверхню. Сідло загвинчується в корпус поз. 1 і фіксується гвинтом поз. 16. Клапан розміщується у регульованій втулці поз. 14, яка вгвинчується в обойму поз. 8 та утримується гвинтом поз. 15. Положення втулки поз. 14 можна змінювати відносно сідла, тим самим регулюючи розмір прохідного отвору трубопроводу. При низькому тиску в системі клапан залишається закритим. Відкривається він при підвищенні тиску, що залежить від ступеня стиснення пружини поз. 7, розташованої в циліндрі поз. 2. Силу стиснення пружини регулюють гвинтом поз. 9, який після налаштування фіксується гайкою поз. 17 і закривається ковпаком поз. 13. Подавання робочого середовища здійснюється через втулку поз. 4, яка з'єднується з корпусом за допомогою гайки поз. 6.

Одна з головних вимог до цього виробу — забезпечення герметичності трубопровідної системи, щоб уникнути втрат робочого середовища. Це досягається мінімізацією зазору між клапаном поз. 5 і втулкою поз. 14, а також застосуванням шкіряних ущільнювачів поз. 18 і 19. Для забезпечення щільного прилягання клапана поз. 5 до сідла поз. 3, їхні контактні поверхні повинні бути ретельно зачищені.

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла

Основним елементом вузла «Клапан запобіжний» є корпус позиція 1. У центральний отвір корпусу спочатку загвинчується сідло позиція 3, яке фіксується гвинтом позиція 16 через підкладку позиція 19.

Далі в той самий отвір вставляється обойма позиція 8, у яку попередньо загвинчено втулку позиція 14. Втулка фіксується гвинтом позиція 15 також через підкладку позиція 19.

Наступним кроком у торець циліндра позиція 2 загвинчується порожнистий гвинт позиція 9, на який встановлюється гайка позиція 17. Потім на тонший кінець штока позиція 12 послідовно надягаються тарілка позиція 11, пружина позиція 7 та ще одна тарілка позиція 10, після чого весь вузол вставляється в отвір гвинта позиція 9. З іншого боку на шток встановлюється клапан позиція 5.

Зібрана конструкція загвинчується в отвір корпусу позиція 1, попередньо підклавши під торець циліндра позиція 2 шкіряну підкладку позиція 18.

З протилежного боку в корпус (позиція 1) вставляється втулка (позиція 4), яка закріплюється гайкою позиція 6.

Регулювання натягу пружини здійснюється за допомогою гвинта позиція 9, що фіксується гайкою позиція 17, після чого нагвинчується ковпак позиція 13.

Технологічна схема складання представлена у графічній частині.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис конструкції та службового призначення деталі. Аналіз технічних вимог на оброблювану деталь.

Деталь «Втулка 18.014» призначена для регулювання положення клапана, в межах якого він переміщується, змінюючи тим самим прохідний переріз трубопроводу для потоку газу або рідини у вузлі “запобіжний клапан”.

Ця деталь має форму порожнистого циліндра, з одного боку якого розташована зовнішня різьба, а з протилежного — зубчаста поверхня. Зубчаста частина містить прямолінійні канавки, які слугують для фіксації за допомогою фіксатора.

За конструктивними, геометричними та технологічними характеристиками, згідно з класифікатором ЄСКД, дана деталь належить до класу 71 — тіла обертання, а саме до втулок [1] С.7.

Втулка має стандартну конструкцію, яка широко використовується в машинобудуванні.

Під час аналізу креслення деталі з точки зору якості обробки поверхонь можна виділити основні та допоміжні поверхні, що підлягають механічній обробці.

До основних поверхонь належать:

- Отвір $\varnothing 48H7$, 0,8мкм., служить для переміщення клапана;
- Циліндр $\varnothing 65h8$, Ra0,8мкм., служить для посадки втулки в обоймі;

Допоміжними поверхнями можна вважати:

- Зовнішню зубчасту поверхню $\varnothing 65h8/\varnothing 57$; $b = 6$ Ra6,3мкм., що використовується для фіксації втулки після збирання і регулювання вузла;
- Зовнішня різьбова поверхня $M60 \times 2 - 7g$, Ra3,2мкм., що служить для вгвинчування втулки в обойму;

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

На основі аналізу конструктивних особливостей виконується ескіз заданої деталі з нумерацією поверхонь.

Зі сторони забезпечення заданої точності і шорсткості поверхонь деталь не є складною (точність Ra 6,3, Ra12,5).

Таблиця 2.1 – Аналіз технічних вимог

Позначення поверхонь	Зміст технічних вимог	Метод виконання	Метод контролю
1	2	3	4
1; 21	48h14 Ra6,3	Точіння	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ166-80
2; 22	1,6 × 45°	Розточування	Шаблон
3	Ø48H7 Ra0,8	Розточування тонке	Зразки шорсткості Калібр-пробка Ø48H7 ПР і НЕ
4...16	Ø65h8; Ø57h14; 6H14; Ra6,3; 18H8	Фрезерування	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ166-80 Шаблон
17	Ø65h8; Ra0,8  0,01 A  0,01	Точіння чистове	Калібр-скоба односторонній двограничний Ø65h8 ПР і НЕ Взірці шорсткості
18	4H14; ∠45°; Ø56h8; Ra6,3	Виточування	Шаблон
19	M60 × 2 – 7g Ra3,2	Нарізання різцем	Калібр-кільце M60 × 2 – 7g ПР і НЕ
20	2 × 45°	Точіння	Шаблон

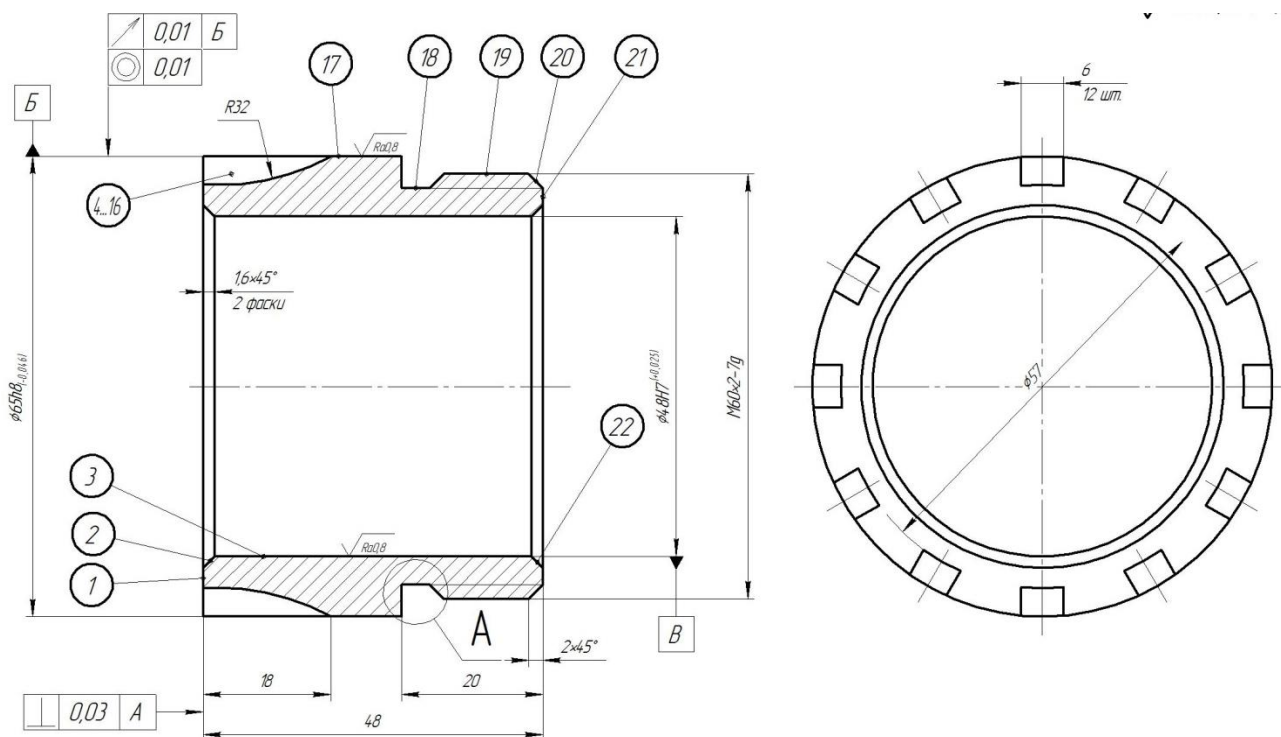


Рисунок 2.1 Втулка 18.014 з позиціями

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			15

2.2 Характеристика матеріалу деталі

У відповідності креслення деталь виготовляється з матеріалу Сталь 30, це вуглецева конструкційна сталь.

Хімічний склад матеріалу вибираємо із [2] С.59 і заносимо в таблицю 2.2

Таблиця 2.2 – Хімічний склад Сталі 30 ГОСТ 1050-88

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	A
0,27-0,35	0,17-0,37	0,5-0,8	не більше					
			0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

Механічні властивості матеріалу вибираємо із [1] С.59 і заносимо в таблицю 2.3

Таблиця 2.3 – Механічні властивості Сталі 30 ГОСТ 1050-88

$\sigma_{пл}, МПа$	$\sigma_M, МПа$	Відносне видовження $\delta_H, \%$	Відносне звуження $\psi, \%$	НВ не більше
290	490	21	50	179

Цей матеріал застосовується в машинобудуванні для виготовлення тяг, підвісок, важелів, валів, зірочок, шпинделів, пресових циліндрів, втулок, з'єднувальних муфт та інших деталей, що не потребують високої міцності.

Технологічні характеристики:

Оброблюваність різанням — коефіцієнт $K_v=1,7$ при використанні швидкорізальних інструментів і $K_v=1,9$ для твердосплавних різців.

Зварюваність обмежена. Після термообробки сталь не виявляє схильності до відпускнуї крихкості.

Можливі замінники: сталь марок 25 і 35.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2.3 Вибір типу виробництва та його характеристика

Тип виробництва враховуючи річну програму випуску деталей $N_{\text{річ}} = 3000$ шт/рік, і маси деталі $g = 0,26$ кг.

Відповідно до джерела [1], тип виробництва визначається як середньосерійний. Для цього типу виробництва характерні такі особливості:

- Організація виробничого процесу здійснюється за предметно-потоковою формою;
- Технологічне обладнання розташовується відповідно до послідовності виконання технологічного процесу;
- Кваліфікаційний рівень працівників різноманітний;
- Операції повторюються періодично, а продукція випускається партіями;
- Типи технологічних процесів включають групові та типові;
- Технологічні процеси деталізуються на маршрутно-операційному рівні, а для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) – більш докладно;
- Використовується універсальне та частково спеціалізоване технологічне обладнання, а також верстати з ЧПК;
- Технологічне оснащення представлено універсально-налагоджувальними та збірно-розбірними пристроями;
- Застосовується як універсальний, так і спеціалізований різальний інструмент;
- Вимірювальний інструмент включає калібри та універсальні засоби вимірювання;
- Заготовки складаються з прокату, відливок і кованок;
- Розмітка застосовується обмежено;
- Методи забезпечення точності базуються на повній або частковій взаємозамінності;

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Собівартість продукції знаходиться на середньому рівні.

У серійному виробництві характерною є групова форма організації технологічних процесів, основною ознакою якої є випуск деталей партіями. Оптимальний розмір партії визначається [1]:

$$n = \frac{N \cdot a}{F}, (\text{шт.}) ; \quad (2.1)$$

де a – необхідний запас деталей на склад для безперебійної роботи складального цеху. Для середніх деталей $a=5$; для дрібних деталей $a=10-12$ днів.

N – річна програма випуску, шт. $N_{\text{річ}} = 3000$ шт.

F – число робочих днів у році ; $F = 257$ днів (при двох днях відпочинку)

$$n = \frac{3000 \cdot 10}{257} = 117 \text{ штук.}$$

Отже величина партії деталей буде $n=117$ шт. в одну зміну.

2.4 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки

Вибір способу отримання заготовки насамперед визначається конструкцією деталі, матеріалом та обсягом виробництва.

Обґрунтування вибору методу базується на порівнянні техніко-економічних показників двох варіантів виготовлення заготовки та коефіцієнті використання матеріалу.

Техніко-економічний аналіз вибору заготовки.

Враховуючи конструкцію і матеріал деталі, а також методи виробництва прокату та середньосерійний характер виробництва, було обрано два варіанти отримання заготовки:

- Суцільний прокат, відрізаний механічною ножівкою;
- Трубчастий безшовний прокат, відрізаний різцем.

Приймаємо із [1]. Сталь гарячекатану круглу $\text{Ø}68^{+0.5}_{-1.1}$ довжиною 3 метра для заготовки І варіанту, із [3] трубу безшовну товстостінну ДСТУ8732-78 $\text{Ø}68$ з товщиною стінки 14мм. довжиною 2м.

Визначаємо довжину заготовки враховуючи ширину відрізного інструменту.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Для заготовки І варіанту

$$L = l + K(\text{мм}) \quad (2.2)$$

де, l – довжина деталі [1] С.91 прим.2;

$K = 2a + B$ – припуск на обробку з шириною різку;

$2a = 8\text{мм}$. [1] С.91 табл.Е5;

$B = 3,5\text{мм}$. [4] С.172 табл.64;

тоді $L_1 = 48 + 8 + 3,5 = 59,5 \pm 3,5\text{мм}$.

Для заготовки ІІ варіанту

$L_2 = 48 + 0 + 4 = 52 \pm 0,4\text{мм}$. [4] С.172 табл.66

де $B = 4\text{мм}$. – ширина відрізного різця

Визначаємо масу заготовок за формулою

$$Q_{\text{заг}} = V_{\text{заг}} \cdot \rho(\text{кг}) \quad (2.3)$$

де $V_{\text{заг}}$ – об'єм заготовки, см^3 ;

$\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$ – густина вуглецевої сталі; [1] С.87 табл.Е1

$$V_{\text{заг1}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{3,14 \cdot 6,8^2}{4} \cdot 5,95 = 216\text{см}^3$$

$$V_{\text{заг2}} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot L = \frac{3,14 \cdot (6,8^2 - 4,4^2)}{4} \cdot 5,2 = 109,7\text{см}^3$$

Тоді маса заготовок буде:

$$Q_{\text{заг1}} = 216 \cdot 7,8 = 1684,8\text{г} = 1,68\text{кг}$$

$$Q_{\text{заг2}} = 109,7 \cdot 7,8 = 855,66\text{г} = 0,85\text{кг}$$

Собівартість заготовок із прокату визначають за формулою :

$$C_{\text{заг}} = Q \cdot S - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000}(\text{грн.}) \quad (2.4)$$

де : S – ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн. $S = 27120\text{грн/т.}$ за даними ПМП

“РОСТ” станом на 16.04.18р., або $S = 27120/1000 = 27,12\text{грн/кг}$;

Q – маса заготовки, кг.;

q – маса готової деталі, кг.;

$S_{\text{відх.}}$ – ціна 1 тонни стружки, грн. $S_{\text{відх.}} = 78\text{грн/т.}$ [5] С.360 дод.19

Тоді собівартість заготовок буде:

І заготовока

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$C_{\text{заг1}} = 1,68 \cdot 27,12 - (1,68 - 0,26) \cdot \frac{78}{1000} = 45,5 \text{ грн.}$$

S_2 – ціна 1 тонни гарячекатаної труби, грн. $S = 25140 \text{ грн/т.}$ за даними ПМП “РОСТ” станом на 16.04.18р., або $S_2 = 25140/1000 = 25,14 \text{ грн/кг.}$;

II заготовка

$$C_{\text{заг2}} = 0,85 \cdot 25,14 - (0,85 - 0,26) \cdot \frac{78}{1000} = 21,3 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу

Визначається за формулою

$$K_{\text{ВМ}} = \frac{q}{Q} \quad (2.5)$$

Для заготовки I-го варіанту $K_{\text{ВМ}} = \frac{0,26}{1,68} = 0,15$;

Для заготовки II-го варіанту $K_{\text{ВМ}} = \frac{0,26}{0,85} = 0,3$.

Проводимо порівняння методів отримання заготовки у вигляді таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Порівняльна таблиця методів одержання заготовок

Назва	I Варіант	II Варіант
Вид заготовки	Прокат суцільний відрізаний ножівкою	Прокат трубчастий відрізаний різцем
Маса, кг	1,68	0,85
Вартість, грн.	45,5	21,3
$K_{\text{ВМ.}}$	0,15	0,3

Висновок: Заготовка з трубчастого прокату, яка формується шляхом відрізання різцем, є більш економічною і забезпечує кращий коефіцієнт використання матеріалу. Тому для подальшої розробки технологічного процесу приймаємо саме трубчастий прокат.

2.5 Розробка маршрутного технологічного процесу

Беручи до уваги середньосерійний тип виробництва, технічні вимоги з таблиці 1.1 та дотримуючись принципів сталості, суміщення баз і технологічної

сумісності операцій, розробляємо маршрут виготовлення деталі «Втулка 18.014».

Операція 005 Токарна з ЧПК – підрізка торця ②①, попереднє точіння контуру ①⑦, ①⑨, ②①, напівчистове обточування контуру ①⑦, ①⑧, ①⑨, ②①, остаточне точіння циліндра ①⑦ і нарізання різі на поверхні ①⑨, чорнове розточування отвору ③, напівчистове розточування фасок ②②, ②, отвору ③, чистове розточування отвору ③, відрізання деталі по поверхні ①.

Операція 010 Горизонтально-фрезерна – фрезерування дванадцяти канавок ④...①⑥ послідовно.

Операція 015 Внутрішньо-шліфувальна – шліфування отвору ③.

2.5.1 Вибір і обґрунтування технологічного обладнання та оснащення

Беручи до уваги конструкцію деталі, її габаритні розміри, технічні вимоги та середньосерійний характер виробництва, у технологічному процесі застосуємо наступне обладнання та оснащення з відповідними технічними характеристиками.

Для операції 005 — токарної з ЧПК, яка включає чорнове точіння торця, чистове обточування зовнішнього і внутрішнього контурів, нарізання зовнішньої різьби та відрізання, використаємо токарний верстат з ЧПК з горизонтальною віссю револьверної головки та 6-позиційною головкою для різального інструменту. Заготовка базується і кріпиться в патроні з затиском.

Операція 010 — Горизонтально фрезерна. Горизонтальне фрезерування поздовжніх канавок на зовнішній циліндричній поверхні виконується на горизонтально-консольно-фрезерному верстаті моделі 6Р80Г. Заготовка встановлюється за допомогою чистового отвору на оправку та закріплюється в центрах ділильної головки.

Для виконання операції 015 – внутрішнього шліфування отвору деталі для остаточної обробки буде застосовано внутрішньо-шліфувальний верстат моделі

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

3K227B. Заготовка базується за зовнішньою циліндричною поверхнею і фіксується вручну в самоцентрувальному патроні.

Таблиця 2.5 – Вибір обладнання і оснащення

№ операції	Назва операції	Назва і модель верстату	Пристаосування
005	Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК моделі САК5085di	Токарний трьохкулачковий самоцентрувальний патрон D=250мм.
010	Горизонтально-фрезерна	Горизонтально-фрезерний моделі 6P80Г	Ділильна головка безпосереднього поділу Цанга
015	Внутрішньо-шліфувальна	Внутрішньошліфувальний моделі 3K227B	Трьохкулачковий самоцентрувальний патрон D=160мм.

2.5.2 Визначення між операційних припусків і проміжних розмірів табличним методом.

На поверхні, що обробляються не отримуються від конструктивних розмірів різального інструменту, міжопераційні і проміжні припуски визначають табличним методом. Результати зводимо в таблицю.

Таблиця 2.6 – Розрахунок проміжних припусків і розмірів за таблицями

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск на діаметр (довжину), мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
$\varnothing 65h8_{(-0,046)}$ – обточування циліндра					

Чистове точіння	8	Ra 0,8	0,046	—	$\varnothing 65_{-0,046}$
Напівчистове точіння	11	Ra 6,3	0,19	0,25	$\varnothing 65,25_{-0,19}$
Чорнове точіння	14	Ra 25	0,74	1,0	$\varnothing 66,25_{-0,74}$
Заготовка поз. (17)	16	Rz 160	1,6	1,75	$\varnothing 68^{+0,5}_{-1,1}$
$\varnothing 47H7^{(+0,025)}$ – обробка отвору					
Шліфування чистове	7	Ra 0,8	0,025	—	$\varnothing 48^{+0,025}$
Розточування чистове	8	Ra 1,6	0,039	0,3	$\varnothing 47,7^{+0,039}$
Розточування напівчистове	11	Ra 6,3	0,16	0,5	$\varnothing 47,2^{+0,16}$
Розточування чорнове	14	Ra 12,5	0,62	1,0	$\varnothing 46,2^{+0,62}$
Заготовка поз. (3)	16	Rz 160	1,5	2,2	$\varnothing 44^{+1,0}_{-0,5}$

2.5.3 Розробка операційної технології

За завданням операційну технологію необхідно розробити на одну операцію, тобто встановити раціональну послідовність основних і допоміжних переходів обробки поверхонь деталі.

Розробляємо операційну технологію для 005 – токарна з ЧПК. Для реалізації операції обрано токарний верстат з ЧПК Технологічною базою є зовнішня поверхня труби. Пристосування трьохкулачковий патрон з ручним затиском.

Операція складається з переходів

1. Подати заготовку до упора і закріпити.
2. Точити торець (21), уступ (19), циліндр (17) попередньо, витримуючи розміри $\varnothing 66,25_{-0,74}$; $\varnothing 62_{-0,74}$; $20^{+0,52}$; $52^{+0,74}$.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

3. Точити фаску (20), уступ (19), канавку (18), циліндр (17) послідовно, витримуючи розмір $2 \times 45^\circ; \varnothing 59,84_{-0,13}; \varnothing 56_{-0,74}; \angle 45^\circ; 4^{+0,3}; \varnothing 65,25_{-0,19}; 52^{+0,74}$
4. Точити циліндр (17) остаточно, витримуючи розмір $\varnothing 65_{-0,046}$.
5. Нарізати різь на уступі (19), витримуючи розмір $M60 \times 2 - 7g$.
6. Розточити отвір (3) попередньо, витримуючи розмір $\varnothing 46,2^{+0,62}; 52^{+0,74}$.
7. Розточити фаску (22), отвір (3), фаску (2) витримуючи розміри $2,5 \times 45^\circ; \varnothing 47,2^{+0,16}; 50^{+0,62}$.
8. Розточити отвір (3) остаточно, витримуючи розмір $\varnothing 47,7^{+0,039}$.
9. Відрізати деталь по торцю (1), витримуючи розмір $48_{-0,62}$.
10. Зняти деталь.
11. Перевірити розміри: $\varnothing 65_{-0,046}; \varnothing 47,7^{+0,039}; \varnothing 56_{-0,74}; 20^{+0,52}; 2 \times 45^\circ; 1,6 \times 45^\circ; M60 \times 2 - 7g$.

Контроль 25%.

2.5.4 Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструменту

Враховуючи аналіз попередніх пунктів та особливості середньосерійного виробництва, здійснюємо підбір необхідних інструментів для виконання технологічного процесу виготовлення деталі і оформлюємо результати у вигляді таблиці.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таблиця 2.7 — Вибір різального, допоміжного і вимірювального інструменту

Номер та назва переходу	Інструмент		
	Різальний	Допоміжний	Вимірювальний
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПК			
1. Подати до упора і закріпити	—	—	—
2. Точити торець (21), уступ (19), циліндр (17) попередньо	Різець прохідний контурний Держак HDJNL 2525M1305 Пластина DNMG130508FM8115 ISOP05	Револьверна головка	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1
3. Точити фаску (20), уступ (19), канавку (18), циліндр (17) послідовно	Різець прохідний контурний 20×20 $L=150$; $\varphi = 93^\circ$; T5K10	Револьверна головка	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1
4. Точити циліндр (17) остаточно	Різець прохідний контурний 20×20 $L=150$; $\varphi = 93^\circ$; T5K10	Револьверна головка	Калібр-скоба односторонній двохгарничний ПР і НЕ $\varnothing 65h8$
5. Нарізати різь на уступі (19)	Різець різьбовий 20×12 ; $\varepsilon = 60^\circ$; Тип 1; T5K10	Револьверна головка	Калібр-кільце ПР і НЕ $M60 \times 2 - 7g$
6. Розточити отвір (3) попередньо	Різець розточний державковий 10×10 ; Тип 3; $L = 32$; T5K10	Револьверна головка	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1
7. Розточити фаску (22), отвір (3), фаску (2)	Різець розточний державковий 10×10 ; Тип 3; $L = 32$; T15K	Держак із комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1

послідовно			
8. Розточити отвір ③ остаточно	Різець розточний державковий 10×10 ; Тип 3; $L = 32$; T15K6	Держак із комплекту верстату	Калібр-пробка односторонній двохгарничний ПР і НЕ $\varnothing 47,7H8$
9. Відрізати деталь по торцю ①	Різецьвідрізний 20×20 ; $L = 150$; В=4; T5K10	Револьверна головка	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1
010 Горизонтально-фрезерна			
1. Встановити і закріпити			
2. Фрезерувати канавки ④ ... ⑬	Фреза дискова трьохстороння $\varnothing 63$; В=6; $\varnothing 22H7$; z=16; P6M5	Оправка $\varnothing 22$ із комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1
015 Внутрішньо-шліфувальна			
1. Встановити і закріпити			
2. Шліфувати отвір ③ остаточно	Круг $AW36 \times 20$ 25AM10-CM2 7 K2 A 35м/с	Оправка $\varnothing 12$ із комплекту верстату	Калібр пробка одностороння одногранична $\varnothing 48H7$; ПР і НЕ

2.5.5 Розрахунок режимів різання табличним методом

Відповідно до завдання, потрібно виконати розрахунок режимів різання табличним методом для трьох операцій, при цьому продемонструвати розрахунок для одного технологічного переходу. Всі параметри режимів різання слід оформити у вигляді таблиці.

Розрахуємо режими різання для операції 010 – токарна з ЧПК, перехід 02 – точити торець ⑳, уступ ⑲, циліндр ⑰ попередньо, витримуючи розміри $\varnothing 66,25_{-0,74}$; $\varnothing 62_{-0,74}$; $20^{+0,52}$; $52^{+0,74}$.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Для обробки вибрано прохідний контурний різець з механічним кріпленням твердосплавної пластини із матеріалу Т5К10, поперечний переріз 20×20 довжина 150мм, геометричні параметри $\varphi = 93^\circ$; $\varphi' = 45^\circ$; $\gamma = 5^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $r = 0,5$, передня поверхня плоска з стружкозавивною канавкою.

Режими різання наступні

а) Довжина робочого ходу

$$L_{p.x.} = l_p + y + l_{дод} \quad (2.6)$$

де l_p – довжина різання за кресленням, мм;

$$l_p = 52 + 2,125 + 9 = 63,125 \text{ мм.}$$

$y = y_{вр} + y_{під} + y_{переб}$ – довжина врізання, підводу і перебігу інструменту;

$$y = 2,775 \text{ [8] С.303}$$

$l_{дод} = 0$ – додаткова довжина пов'язана з налагодженням верстату.

$$\text{Тоді } L_{p.x.} = 63,125 + 2,775 + 0 = 65,9 \text{ мм}$$

б) Глибина різання

$$t = \frac{D - d}{2} \quad (2.7)$$

$$t = \frac{68 - 62}{2} = 3 \text{ мм.}$$

в) Подача на оберт заготовки

$$S_0 = 0,25 \text{ мм/зуб [8] С.23;}$$

г) Швидкість різання

$$v = v_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (2.8)$$

де $v_{табл} = 100 \text{ м/хв}$ – таблицна швидкість різання [8] С.30;

$K_1 = 0,9$ – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу [8] С.32;

$K_2 = 0,8$ – коефіцієнт, на матеріал різального інструменту [8] С.33;

$K_3 = 1,0$ – коефіцієнт на вид обробки [8] С.34.

$$\text{тоді } v_M = 100 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 72 \text{ м/хв.}$$

д) Частота обертання шпинделя

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (2.9)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 72}{3,14 \cdot 68} = 341,5 \text{ об/хв.}$$

Приймається за паспортом верстату $n_{\phi} = 300 \text{ об/хв.}$

е) Фактична швидкість різання

$$v_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} \quad (2.10)$$

$$v_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 68 \cdot 300}{1000} = 64 \text{ м/хв.}$$

є) Швидкість подачі супорта

$$v_s = S_o \cdot n_{\phi} \quad (2.11)$$

$$v_s = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ мм/хв.}$$

з) Основний час на обробку

$$T_o = \frac{L_{p.x.}}{v_s} \quad (2.12)$$

$$T_o = \frac{65,9}{180} = 0,36 \text{ хв.}$$

ж) Сила різання

$$P_z = P_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (2.13)$$

де $P_z = 410 \text{ кГ}$ – таблична сила різання [8] С.35

$K_1 = 0,75$ – коефіцієнт на оброблюваний матеріал [8] С.36

$K_2 = 1,0$ – коефіцієнт на передній кут різця [8] С.36

тоді $P_z = 410 \cdot 0,75 \cdot 1 = 307,5 \text{ кГ}$

к) Потужність різання

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot v}{6120} \quad (2.14)$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{307,5 \cdot 64}{6120} = 3,2 \text{ кВт} < N_{\text{дв}} = 11 \text{ кВт.}$$

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Висновок: Так як потужність двигуна верстату значно більша за потужність різання, то виконання переходу забезпечене.

Для всіх інших переходів і операцій режими різання визначаються аналогічно за таблицями літератури [8] і заносяться в таблицю.

Таблиця 2.8 – Зведена таблиця режимів різання

Зміст та номер переходу	t, мм	L, мм	i	T _м , хв	S _о , мм/об	п, об/хв	v, м/хв	S _{хв} , мм/хв	T _о , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Токарна з ЧПК										
Перехід 2 Точити торець (21), уступ (19), циліндр (17) попередньо, витримуючи розміри $\varnothing 66,25_{-0,74}$; $\varnothing 62_{-0,74}$ $20^{+0,52}$; $52^{+0,74}$	3	65,9	1	100	0,6	300	64	180	0,36	3,2
Перехід 3 Точити фаску (20), уступ (19), канавку (18), циліндр (17) попередньо, витримуючи розмір $2 \times 45^\circ$; $\varnothing 59,84_{-0,13}$; $\varnothing 56_{-0,74}$; $\angle 45^\circ$; $4^{+0,3}$; $\varnothing 65,25_{-0,19}$; $52^{+0,74}$	1,18	55,65	1	100	0,3	630	129	189	0,29	2,1
Перехід 4 Точити циліндр (17) остаточно, витримуючи розмір $\varnothing 65_{-0,046}$	0,125	30	1	90	0,15	1000	204	150	0,2	1,4

Перехід 5 Нарізати різь на уступі (19), витримуючи розмір M60 × 2 – 7g	0,5	20	5	30	2	160	30	320	0,3	1,8
Перехід 6 Розточити отвір (3) попередньо, витримуючи розмір Ø46,2^{+0,62}; 52^{+0,74}	1,1	53	1	60	0,14	400	58	56	0,95	2,4
Перехід 7 Розточити фаску (22), отвір (3), фаску (2) витримуючи розміри 2,5 × 45°; Ø47,2^{+0,16} 50^{+0,62}.	0,5	53	1	60	0,06	630	93,4	38	1,4	2,2
Перехід 8 Розточити отвір (3) остаточно, витримуючи розмір Ø47,7^{+0,039}	0,25	50	1	60	0,06	1000	150	60	0,8	1,4
Перехід 9 Відрізати деталь по торцю (1), витримуючи розмір 48_{-0,62}	4	13	1	60	0,13	300	64	39	0,36	4,2

010 Горизонтально-фрезерна

Перехід 2 Фрезерувати канавки (4) ... (16), попередньо витримуючи розміри 6^{+0,3}; Ø57_{-0,74}; 18^{+0,43}	6	18	12	60	0,16	300	59	48	4,5	3,4
---	---	----	----	----	------	-----	----	----	-----	-----

015 Внутрішньошліфувальна

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						30

Перехід 2 Шліфувати отвір ③ остаточно, витримуючи розмір $\varnothing 48^{+0,025}$	0,015	54	10	—	8	180	27	1440	0,375	0,8
--	-------	----	----	---	---	-----	----	------	-------	-----

2.5.6 Розрахунок технічних норм часу

Необхідно розрахувати норми часу для однієї операції. Це 005 – токарна з ЧПК.

$$T_{шт} = (T_{п.а.} + T_{д.}) \cdot \left(1 + \frac{a_{т.о.} + a_{обс.} + a_{відп.}}{100}\right) \quad (2.15)$$

де $T_{п.а.}$ – час автоматичної роботи верстату по програмі, який складається з основного, допоміжного, автоматичного часу,

$T_{д.}$ – допоміжний час, який не перекривається допоміжним автоматичним часом;

$a_{т.о.} + a_{обс.} + a_{відп.}$ – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця і час на відпочинок.

Час автоматичної роботи по програмі визначається

$$T_{п.а.} = T_o + T_{х.р.} + T_{з.і.} \quad (2.16)$$

де $T_o = 4,66 \text{ хв.}$ – основний час на переходах;

$T_{х.р.}$ – рух на прискореній подачі і складається з поздовжніх рухів (вісь Z) з швидкістю 10000мм/хв і поперечних переміщень (по осі X) з швидкістю 5000мм/хв.

Переміщення по осі Z=29+53+53+30+49+82+68+90+50+89=593мм.

$$T_{х.р.} = \frac{593}{10000} = 0,06 \text{ хв.}$$

Переміщення по осі X =58+6,3+47,4+100+95+23,1+2+23,6+47,7+45+58,5=506,6мм.

$$T_{х.р.} = \frac{506,6}{5000} = 0,1 \text{ хв.}$$

$T_{з.і.} = 0,024 \cdot 6 = 0,14 \text{ хв.}$ – час автоматичної зміни інструментів

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						31

Тоді $T_{п.а.} = 4,66 + 0,06 + 0,1 + 0,14 = 4,96\text{хв.}$

Допоміжний час, який не перекривається допоміжним автоматичним часом, визначається

$$T_d = T_y + T_o + T_b \quad (2.17)$$

де $T_y = 0,16\text{хв.}$ час на встановлення, подачу до упора і закріплення заготовки [9] С.53 карта 3;

$T_o = 0,35\text{хв.}$ – час пов’язаний з виконанням операції [9] С.79 карта 14;

T_b – час на вимірювання;

Розміри:

$\emptyset 65_{-0,046} - 0,075\text{хв.}$ [9];

$\emptyset 47,7^{+0,035} - 0,13\text{хв.}$ [9];

$\emptyset 56_{-0,74} - 0,06\text{хв.}$ [9];

$20^{+0,52} - 0,12\text{хв.}$ [9];

$M60 \times 2 - 7g - 0,25\text{хв.}$ [3];

$2 \times 45^\circ - 0,05\text{хв.}$ [9];

$1,6 \times 45^\circ - 0,05 \times 2 = 0,1\text{хв.}$ [9]

Контроль 25%.

Тоді $T_b = 0,685 \times 0,25 = 0,17\text{хв.}$

Даний час перекривається часом автоматичної роботи, тому не враховується.

$T_d = 0,16 + 0,35 = 0,51\text{хв.}$

Оперативний час складає

$$T_{оп} = T_{п.а.} + T_d \quad (2.18)$$

$T_{оп} = 4,96 + 0,51 = 5,47\text{хв.}$

Час на обслуговування робочого місця і відпочинок становить 7% від оперативного.

$$a_{т.о.} + a_{обс.} + a_{відп.} = \frac{5,47 \cdot 7}{100} = 0,38\text{хв.}$$

Штучний час на виконання операції буде

$$T_{шт} = (4,96 + 0,51) \cdot \left(1 + \frac{0,38}{100}\right) = 5,49\text{хв.}$$

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Норма підготовчо-заключного часу на налагодження і настроювання верстату

$$T_{ПЗ} = T_{ПЗ1} + T_{ПЗ2} + T_{Пр.обр.} \quad (2.19)$$

де: $T_{ПЗ1} = 4 + 9 + 2 + 2 = 17$ хв. – норма на організаційну підготовку при налагодженні верстату [9] С.96 карта 21

$T_{ПЗ2} = 2,5 + 0,15 \times 4 + 3 + 0,5 \times 6 + 2 \times 6 = 21,1$ хв. – норма на налагодження верстату, пристосування інструменту і ПЧПК [9] С.96 карта 21

$T_{Пр.обр.} = 14,3$ хв. – норма на виготовлення пробної деталі [9] С.104 карта 28

Тоді $T_{ПЗ} = 17 + 21,1 + 14,3 = 52,4$ хв.

Норма часу на виготовлення деталі складе

$$H = T_{шт} + \frac{T_{ПЗ}}{n} \quad (2.20)$$

$$T_{Пр.обр.} = 5,49 + \frac{52,4}{117} = 5,94$$
хв.

Решту результати розрахунків зводимо у таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Норми часу на операціях, хв.

Номер і назва операції	T_o	$T_{п.а.}$	T_d	$T_{оп}$	$a_{т.о.} + a_{обс.} + a_{відп.}$	$T_{шт}$	$T_{п.з.}$	H
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005 Токарна з ЧПК	4,66	4,96	0,51	5,47	0,38	5,57	52,4	5,94
010 Горизонтально-фрезерна	4,5	–	–	–	–	6,2	–	–
015 Внутрішньо-шліфувальна	0,375	–	–	–	–	4,8	–	–

2.6 Обґрунтування вибраного оснащення на операцію

2.6.1 Призначення, будова і принцип роботи пристосування

Для виконання операції 010 – горизонтального фрезерування використовується спеціалізоване ділильне пристосування з безпосереднім поділом та ручним затиском. Воно призначене для фрезерування 12 пазів на зовнішній циліндричній поверхні. Заготовка, що має попередньо оброблений отвір, встановлюється на циліндричну цангу поз.10 і спирається на борт. Остаточне базування здійснюється під час затискання заготовки.

Затиск відбувається при обертанні гайки поз.4 за годинниковою стрілкою, що спричиняє рух тяги поз.5 вліво. Завдяки своїй конічній формі тяга розтискає цангу поз.10 із заготовкою. Для розтиску потрібно змінити напрямок обертання гайки поз.4 у протилежний бік, що переміщує тягу поз.5 вправо та звільняє цангу.

Поділ заготовки здійснюється ділильним диском поз.2, встановленим на шпиндель поз.9, який обертається вручну за допомогою штурвала поз.3 після розфіксації. Фіксація і розфіксація шпинделя в корпусі забезпечується поворотною ручкою поз.13, нерухомо з'єднаною з втулкою поз.12.

Пристосування встановлюється основою на стіл верстата, координується двома шпонками, що входять у паз столу, і фіксується двома болтами, які закріплюються в пазах основи корпусу поз.1.

2.6.2 Розрахунок похибки базування

Позаяк заготовка в пристосуванні базується по отвору на розтискну оправку, то розрахунки проводимо по схемі базування, для оброблення паза.

Похибка базування для забезпечення розміру $\varnothing 57h14(-0,74)$ визначається.

$$\epsilon_{\delta} = 0,5TD_1 + 2e \quad (2.21)$$

де TD_1 – допуск на розмір отвору заготовки, мм

e – ексцентриситет зовнішньої поверхні відносно отвору;

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$TD_1 = 0,025 - 0 = 0,025\text{мм.}$ для розміру отвору $\varnothing 48H7(-0,025)$

$e = 0,005\text{мм.}$ – максимально допустимий ексцентриситет, з креслення
тоді $\varepsilon_6 = 0,5 \times 0,025 + 2 \times 0,005 = 0,0225\text{мм.}$

Висновок: Оскільки похибка базування $\varepsilon_6 = 0,0225\text{мм.}$ менша від допуску виконуваного розміру $Td_1 = 0,74\text{мм.}$, то точність оброблення забезпечується.

2.6.3 Розрахунок сили затиску

Заготовка затискається розтискною цангою. Заготовка встановлюється отвором на цангу, що приводиться в рух за допомогою гвинтового механізму.

Зусилля затиску цанговим механізмом визначається як [13] С.82 табл.3.4:

$$Q = \frac{1}{tg(\alpha + \varphi)} P \quad (2.22)$$

де P – вихідна сила, Н;

α – кут конуса цанги, град.; $\alpha = 10^\circ$;

φ – кут тертя між цангою і тягою, град.; $tg\varphi = f = 0,1 \dots 0,15$ [13] С.82 табл.3.4

Вихідна сила для гвинтового механізму визначається за формулою: [13]

$$P = \frac{Q \cdot L}{r_{cp} tg(\alpha + \varphi_{пр}) + \frac{1}{3} x \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}} \quad (2.23)$$

де Q – зусилля, що розвивається рукою; $Q = 300\text{Н.}$

L – плече до якого прикладається ручна сила, мм;

$2r_{cp}$ – середній діаметр різьби, мм. $2r_{cp} = 23\text{мм.}$

α – кут підйому різьби, град; $\alpha = 2^\circ 30'$

$\varphi_{пр}$ – приведений кут тертя в різьбі; град., $\varphi_{пр} = 10^\circ 30'$

x – коефіцієнт тертя між торцем гайки і шпинделем; $x = 0,1 \dots 0,15$

D – зовнішній діаметр гайки, мм.; $D = 45\text{мм.}$

d – внутрішній діаметр гайки, мм.; $d = 24\text{мм.}$

$$\text{тоді } P = \frac{300 \cdot 90}{11,03 \cdot tg(2^\circ 30' + 10^\circ 30') + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot \frac{45^3 - 24^3}{45^2 - 24^2}} = 3475\text{Н}$$

Відповідно зусилля затиску заготовки буде

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg}(10^\circ + 0,15)} \cdot 3475 = 4355\text{Н}$$

Висновок: Сила різання менша $P_z = 3075\text{Н}$ порівняно з зусиллям затиску $Q = 4355\text{Н}$, то затискання забезпечене.

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Кінематичний розрахунок верстату та обґрунтування його кінематики

3.1.1 Привід головного руху

3.1.1.1 Кінематика приводу

Привід головного руху зображено на рис. 3.1. У його складі присутні всі необхідні кінематичні елементи для передачі крутного моменту від джерела живлення (двигуна) до виконавчого механізму (шпинделя). У конструкції використано двигун постійного струму, а передача обертів до шпинделя здійснюється за допомогою зубопасової передачі. Такий варіант конструктивного виконання, який передбачає скорочення кінематичного ланцюга, забезпечує підвищену жорсткість системи та покращену точність переміщення. Крім того, це сприяє уніфікації приводів і дає змогу виконувати їх у вигляді окремих агрегатів (модулів).

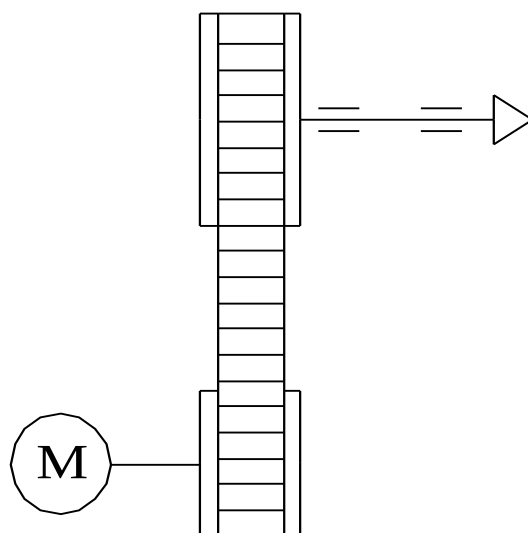


Рисунок 3.1 – Привід головного руху.

3.1.1.2 Вибір електродвигуна приводу головного руху

Необхідна потужність електродвигуна приводу головного руху (шпинделя) становить:

$$N = \frac{N_{p.max}}{\eta}, \quad (3.1)$$

де η – к.к.д. ланцюга головного руху.

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2^2 \quad (3.2)$$

η_1 – к.к.д. зубчатої пасової передачі, $\eta = 0.98$;

η_2 – к.к.д. пари підшипників кочення $\eta_2 = 0.995$.

$$\eta = 0.98 \cdot 0.995^2 = 0.97 \text{ кВт}$$

$$N = \frac{6.27}{0.97} = 6.5 \text{ кВт}$$

Для приводу головного руху обираємо електродвигун $N = 7.5 \text{ кВт}$, частота обертання $n = 1470 \text{ об/хв}$.

Характеристика електричного двигуна:

Потужність – 7.5 кВт;

Максимальна частота обертання - 5000 об/хв;

Момент інерції - 0,056 кг·м²;

Маса - 97 кг;

3.1.1.3 Розрахунок зубчатої пасової передачі

Вибираючи зубопасову передачу керуємося частотою обертання шпинделя і величиною навантаження. Розрахунок проводимо згідно [10]

Залежно від потужності $N_1 = 7.5 \text{ кВт}$ та кількості обертів ведучого шківа $n_1 = 5000 \text{ об/хв}$ по [10] приймаємо модуль зубчатого пасу $m = 5 \text{ мм}$ та визначаємо крок пасу:

$$p = \pi \cdot m = 3.14 \cdot 5 = 15.71 \text{ мм}. \quad (3.3)$$

Розрахуємо передаточне відношення та кількість зубів шківів зубопасової передачі:

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{5000}{4460} = 1.12.$$

Приймаємо: $u = 1.4$, $z_1 = 25$, $z_2 = z_1 \cdot u = 25 \cdot 1.4 = 35$.

Розраховуємо ділильні діаметри шківів:

$$d = m \cdot z, \text{ мм} \quad (3.4)$$

$$d_1 = m \cdot z_1 = 5 \cdot 25 = 125 \text{ мм},$$

$$d_2 = m \cdot z_2 = 5 \cdot 35 = 175 \text{ мм}.$$

Визначаємо швидкість паса:

$$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{1000 \cdot 60} = \frac{3.14 \cdot 125 \cdot 5000}{1000 \cdot 60} = 32,7 \text{ м/с}. \quad (3.5)$$

Розрахуємо попередню міжосьову відстань з умови:

$$a \geq 0.5 \cdot (d_2 + d_1) = 0.5 \cdot (175 + 125) = 150 \text{ мм}. \quad (3.6)$$

Приймаємо $a = 500$ мм.

Розрахуємо довжину паса в кроках:

$$L_p = \frac{2 \cdot a}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{p}{a} \quad (3.7)$$

$$L_p = \frac{2 \cdot 500}{15.71} + \frac{25 + 35}{2} + \left(\frac{35 - 25}{2 \cdot 3.14} \right)^2 \cdot \frac{15.71}{500} = 93.7.$$

Приймаємо $L_p = 100$ крока.

Розрахуємо остаточну відстань між осями шківів:

$$a = \frac{p}{4} \cdot \left[L_p - \frac{z_1 + z_2}{2} + \sqrt{\left(L_p - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left(\frac{z_2 - z_1}{2 \cdot \pi} \right)^2} \right], \text{ мм} \quad (3.8)$$

$$a = \frac{15.71}{4} \cdot \left[100 - \frac{25 + 35}{2} + \sqrt{\left(100 - \frac{25 + 35}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left(\frac{35 - 25}{2 \cdot 3.14} \right)^2} \right] = 550 \text{ мм}.$$

Розрахуємо кут обхвату малого шківа:

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{57^\circ \cdot (d_2 - d_1)}{a} \quad (3.9)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{57^\circ \cdot (175 - 135)}{550} = 175^\circ.$$

Знайдемо кількість зубів пасу, які знаходяться в зачепленні з меншим шківом:

$$z_0 = \frac{z_1 \cdot \alpha_1}{360^\circ}, \quad (3.10)$$

$$z_0 = \frac{25 \cdot 175^\circ}{360^\circ} = 12.2 > [z_0] = 6.$$

Розрахуємо допустиму граничну колову силу:

$$[K] = [K_0] \cdot C_p \cdot C_F - q \cdot v^2, \text{ Н/мм} \quad (3.11)$$

де $[K_0]$ - допустима приведена гранична колова сила, $[K_0] = 35 \text{ Н/мм}$ [10];

C_p - коефіцієнт динамічності навантаження і режиму роботи. При змінному реверсивному навантаженні і роботі в дві зміни $C_p = 0.51$.

C_F - коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілення навантаження між проводками тросу, $C_F = 0.85$;

q - маса 1 м пасу шириною 1 мм, $q = 0.007 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{мм}}$.

$$[K] = 35 \cdot 0.51 \cdot 0.85 - 0.007 \cdot 32.7^2 = 7.68 \text{ Н/мм}.$$

Знаходимо колову силу:

$$F_t = \frac{N_1}{v} = \frac{7500}{32.7} = 230 \text{ Н}. \quad (3.12)$$

Розраховуємо ширину пасу:

$$b \geq \frac{F_t}{[K]} = \frac{230}{7.68} = 30.0 \text{ мм}. \quad (3.13)$$

За стандартом приймаємо $b = 32 \text{ мм}$.

Знайдемо силу попереднього натагу гілок пасу:

$$F_0 = 1.2 \cdot b \cdot q \cdot v^2 = 1.2 \cdot 32 \cdot 0.007 \cdot 32.7 = 288 \text{ Н}. \quad (3.14)$$

Знаходимо силу, яка діє на вали:

$$F_n = 1.1 \cdot F_t = 1.1 \cdot 230 = 253 \text{ Н}. \quad (3.15)$$

Визначаємо габаритні розміри шківів:

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

діаметри кіл вершин зубів:

$$d_a = d - 2 \cdot t + c, \text{ мм} \quad (3.16)$$

де t – відстань від впадини зуба паса до осьової лінії троса, $t = 1.3$ мм;

c – поправка, яка враховує податливість витків троса $c = 0.1$.

ведучого шківа:

$$d_{a1} = d_1 - 2 \cdot t + c = 125 - 2 \cdot 1.3 + 0.1 = 122 \text{ мм};$$

веденого шківа:

$$d_{a2} = d_2 - 2 \cdot t + c = 175 - 2 \cdot 1.3 + 0.1 = 172 \text{ мм};$$

діаметри кіл впадин зубів:

$$d_f = d_a - 2 \cdot h_{ш}, \text{ мм} \quad (3.17)$$

де $h_{ш}$ – висота зубів шківа, $h_{ш} = 5.0$ мм [10, табл. 6.16]

ведучого шківа:

$$d_{f1} = d_{a1} - 2 \cdot h_{ш} = 122 - 2 \cdot 5.0 = 112 \text{ мм};$$

веденого шківа

$$d_{f2} = d_{a2} - 2 \cdot h_{ш} = 172 - 2 \cdot 5.0 = 162 \text{ мм};$$

ширина шківа:

$$B = b + m = 32 + 5 = 37 \text{ мм}, \quad (3.18)$$

приймаємо $B = 36$ мм по [10, дод. ПЗ].

3.1.2 Привід поздовжнього переміщення

3.1.2.1 Кінематика приводу

Привід подач, який зображено на (рис 3.2) являє собою передачу гвинт-гайка кочення 1, що з'єднана муфтою 2 з електродвигуном 3.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

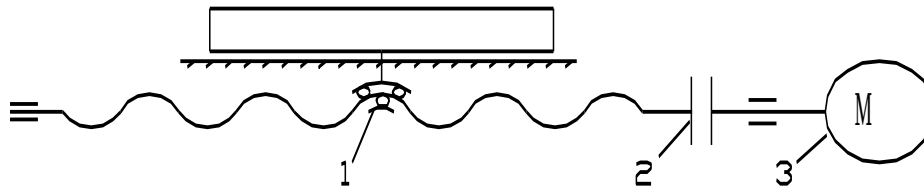


Рисунок 3.2 – Схема приводу поздовжніх переміщень.

3.1.2.2 Розрахунок і вибір електродвигуна

Розрахунок частоти обертання:

– максимальна частота обертання:

$$n_{ш.х.} = \frac{v_{ш.х.}}{t_2}, \quad (3.19)$$

де $v_{ш.х.}$ – швидкість швидкого ходу, $v_{ш.х.} = 10000$ мм/хв;

t_2 - крок гвинта, $t_2 = 10$ мм.

$$n_{ш.х.} = \frac{10000}{10} = 1000 \text{ об/хв};$$

– максимальна робоча частота обертання:

–

$$n_{роб.макс} = \frac{v_{роб.макс}}{t_2}, \quad (3.20)$$

де $v_{роб.макс}$ – максимальна швидкість робочого ходу, $v_{роб.макс} = 5000$ мм/хв;

$$n_{роб.макс} = \frac{5000}{10} = 500 \text{ об/хв};$$

– мінімальна робоча частота обертання:

$$n_{роб.мін} = \frac{v_{роб.мін}}{t_2} \quad (3.21)$$

де $v_{роб.мін}$ – мінімальна швидкість робочого ходу, $v_{роб.мін} = 4$ мм/хв;

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$n_{роб.мах} = \frac{5}{10} = 0.5 \text{ об/хв};$$

Визначення моментів інерції:

- приведений до валу двигуна момент інерції вузла, що поступово рухається:

$$I_{мех} = m_{вуз.} \cdot \left(\frac{t_z}{2 \cdot \pi} \right)^2 \quad (3.22)$$

де $m_{вуз.вер.}$ – маса вузла верстату, $m_{вуз.вер.} = 200$ кг;

$$I_{мех} = 200 \cdot \left(\frac{0.01}{2 \cdot 3.14} \right)^2 = 0.507 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

- приведений момент інерції ходового гвинта:
-

$$I_z = 7,7 \cdot 10^2 \cdot l_z \cdot D_z^4, \quad (3.23)$$

де l_z - довжина гвинта, $l_z = 1.0$ м;

D_z - діаметр гвинта, $D_z = 0,04$ м;

$$I_z = 7,7 \cdot 10^2 \cdot 1.0 \cdot 0,04^4 = 1.97 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

- приведений сумарний момент інерції механічної схеми приводу:

$$I_{\Sigma} = I_{мех.} + I_z = 0.507 \cdot 10^{-3} + 1.97 \cdot 10^{-3} = 2.48 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Визначення моментів двигуна:

- момент від сили різання:
-

$$M_{риз} = \frac{P_x \cdot t_z}{2 \cdot \pi \cdot \eta_1^4 \cdot \eta_2} \quad (3.24)$$

де P_x - осьова складова сили різання, $P_z = 1000$ Н;

η_1 - к.к.д. пари підшипників, $\eta_1 = 0.995$;

η_2 - к.к.д. гвинтової пари, $\eta_2 = 0.9$;

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$M_{\text{різ}} = \frac{2000 \cdot 0.01}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.995^4 \cdot 0.9} = 3.61 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

– момент від сили тертя в напрямних:

–

$$M_{\text{різ}} = \frac{m_{\text{виз.}} \cdot g \cdot f_{\text{тр.}} \cdot t_z}{2 \cdot \pi \cdot \eta_1^4 \cdot \eta_2}, \quad (3.25)$$

де g - прискорення вільного падіння, $g = 9.81 \text{ м/с}^2$;

$f_{\text{тр}}$ - коефіцієнт тертя, $f_{\text{тр}} = 0.02$;

$$M_{\text{тр}} = \frac{200 \cdot 9.81 \cdot 0.02 \cdot 0.01}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.995^4 \cdot 0.9} = 0.0708 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

– статичний момент при обробці:

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{різ}} + M_{\text{тр}} = 3.61 + 0.0708 = 3.68 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

– статичний момент з врахуванням продовження включення:

$$M_{\text{ст}} = \frac{M_{\text{ст}} \cdot \text{ПВ}}{100\%} = \frac{3.68 \cdot 80}{100} = 2.94 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

По каталогу вибираємо двигун фірми Fanuc з наступними параметрами:

- номінальний момент $M_H = 6.4 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- номінальна потужність $P_H = 0.8 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- максимальний момент $M_{\text{max}} = 47 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- максимальна швидкість 2000 об/хв;
- момент інерції 0,0049 кг·м².
-

3.1.3 Кінематична схема верстату

3.1.3.1 Опис кінематичної схеми

Основний рух здійснюється шляхом передавання крутного моменту від двигуна до шпинделя через зубчасто-пасову передачу.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Поздовжні та поперечні переміщення подачі забезпечуються передачею руху від двигуна через муфту до гвинт-гайки кочення.

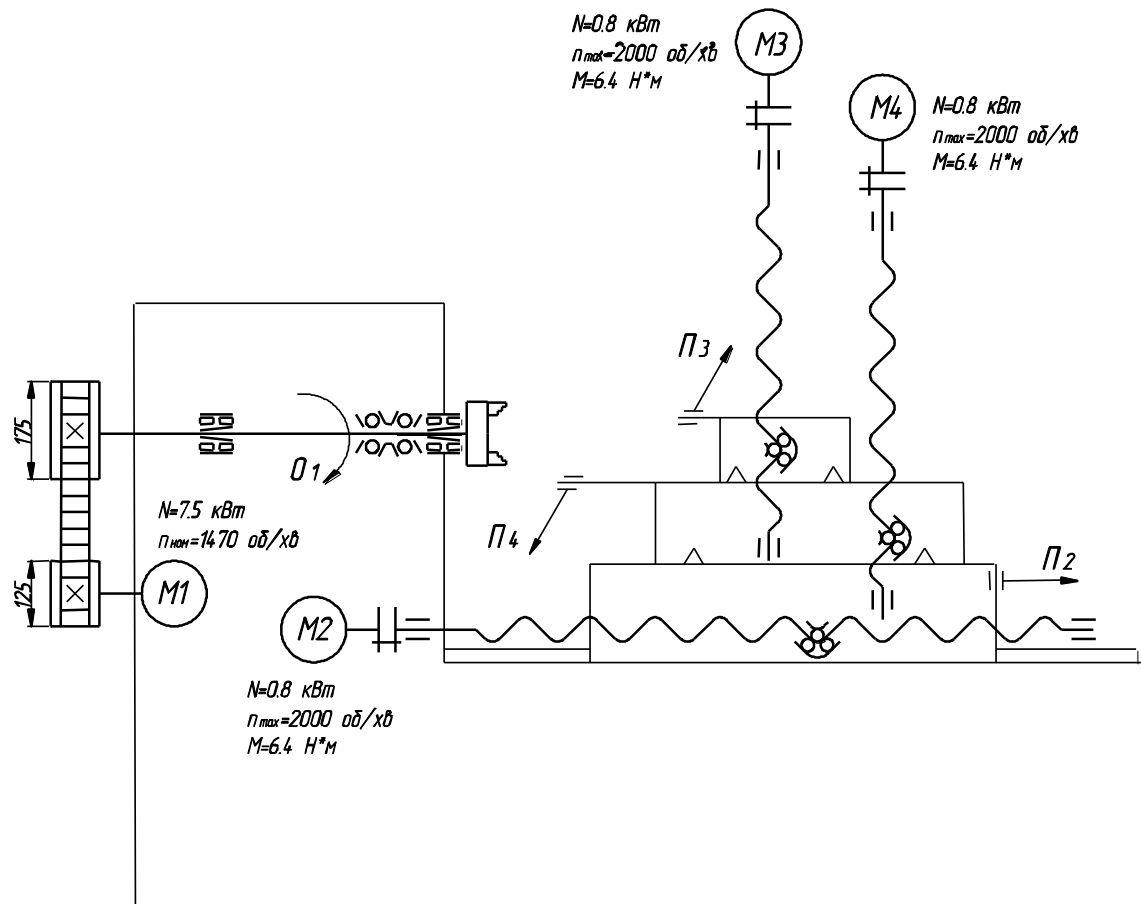


Рисунок 3.3 – Кінематична схема верстату

3.1.3.2 Аналіз кінематичної схеми

$\Phi_V(O_1)$ - простой рух:

ВКЗ: шпиндель – опоры;

3K3: M₁-1-2;

$$\text{YY: } n_{un.} = n_{\partial\delta.} \cdot \frac{125}{175} \text{ о\text{б}/XB.}$$

$\Phi_S(\Pi_3)$ - простой рух:

ВКЗ: полозки – напрямні;

ЗКЗ: ланцюг подачі М₃-5-6;

$\Phi_S(\Pi_2)$ - простой рух:

ВКЗ: положки – напрямні;

ЗКЗ: ланцюг подачі М₃-З-4;

$$\text{YY: } S = t \cdot n_{\partial\mathcal{B}} \text{ MM/XB.}$$

$\Phi_S(\Pi_4)$ - простой рух:

ВКЗ: полозки – напрямні;

ЗКЗ: ланцюг подачі М₄-7-8;

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$УУ: S = t \cdot n_{\text{дв}} \text{ мм/хв.}$$

$$УУ: S = t \cdot n_{\text{дв}} \text{ мм/хв.}$$

3.2 Конструювання та розрахунок шпиндельного вузла

3.2.1 Опис конструкції шпиндельного вузла

Передня опора шпинделя виконана у вигляді дворядного роликотідишника з короткими циліндричними роликами, який має конусний посадковий отвір у внутрішньому кільці зі співвідношенням 1:12, а також дворядного кулькового тідишника з аксіально-упорним призначенням.

Задня опора шпиндельного вузла також представлена дворядним роликотідишником з короткими циліндричними роликами.

Під час проєктування шпиндельного вузла використовуються такі залежності:

$$c \leq d, \quad l \approx (2.5 - 6) \cdot d;$$

де c - виліт шпинделя;

d - діаметр шийки в передній опорі;

l - міжопорна відстань.

Приймаємо: $d = 80$ мм, $c = 40$ мм, $l = 300$ мм.

Параметр швидкохідності шпиндельного вузла:

$$d_{n \text{ max}} = 2.5 \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв.}$$

Даний шпиндельний вузол є середньошвидкісним шпинделем.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3.2.2 Характеристика елементів шпиндельного вузла

3.2.2.1 Підшипники опор шпиндельного вузла

У передній та задній опорах шпиндельного вузла застосовується радіальний дворядний підшипник з короткими циліндричними роликами. Внутрішнє кільце підшипника має конусність 1:12.

Приймаємо підшипники марок:

- для передньої опори 3182112;
- для задньої опори 3182109.
-

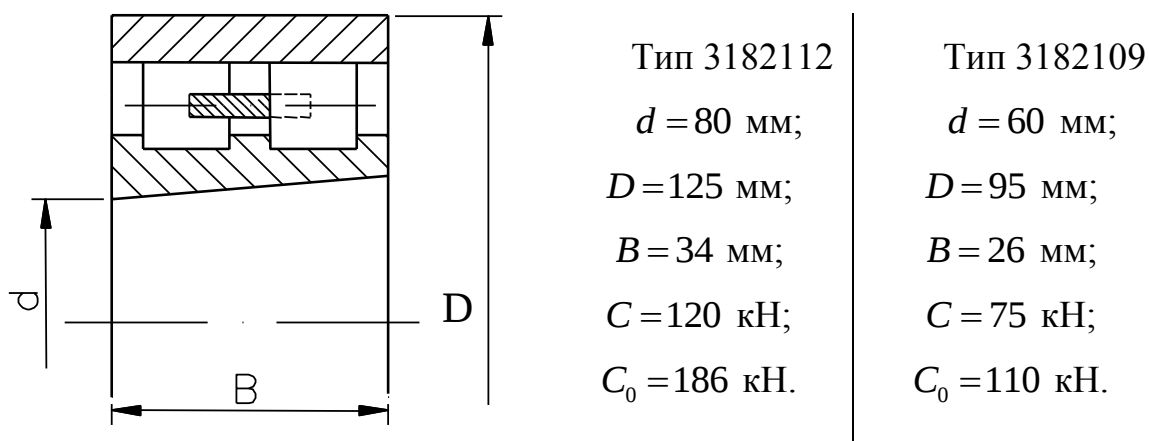
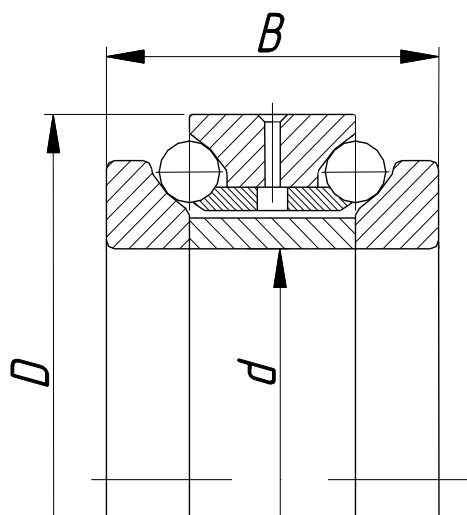


Рисунок 3.5 – Радіальний дворядний роликопідшипник з короткими циліндричними роликами ГОСТ 7634-75.

Другий підшипник передньої опори - аксіально-упорний шарикопідшипник марки 178812.

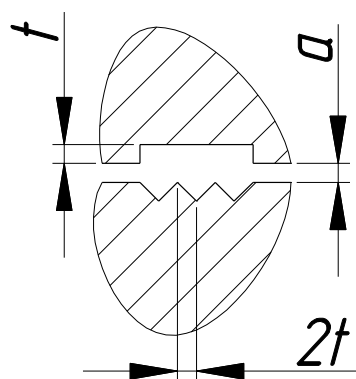


$d = 80 \text{ мм};$
 $D = 125 \text{ мм};$
 $B = 48 \text{ мм};$
 $C = 42.5 \text{ кН};$
 $C_0 = 80 \text{ кН}.$

Рисунок 3.6 – Аксіально-упорний шарикопідшипник 178812

3.2.2.2 Система ущільнень

Ущільнення шпиндельного вузла призначене для захисту підшипників опор шпинделя від потрапляння бруду, пилу та охолоджувальних рідин, а також запобігає витіканню мастильних матеріалів із підшипника.



$a = 0.03 \text{ мм};$
 $t = 1 \text{ мм}.$

Рисунок 3.7 – Безконтактне ущільнення.

У шпиндельному вузлі застосовують безконтактні дрейфуючі ущільнення, щоб знизити тепловиділення та уникнути зношування ущільнень.

3.2.3 Розрахунок радіальної жорсткості

Оскільки у нас є дві роликопідшипникові опори, а шпиндельний вузол містить дві невідомі, можна скласти два рівняння статки, тому система є статично визначеною. Обчислюємо реакції передньої та задньої опор.

$$\sum M_B = 0: R_A \cdot l - P_z \cdot (l + c) = 0; \quad (3.26)$$

$$R_A = \frac{P_z \cdot (300 + 40)}{300} = \frac{3000 \cdot (300 + 40)}{300} = 3400 \text{ Н.}$$

$$\sum M_A = 0: R_B \cdot l - P_z \cdot c = 0; \quad (3.27)$$

$$R_B = \frac{P_z \cdot 40}{300} = \frac{3000 \cdot 40}{300} = 400 \text{ Н.}$$

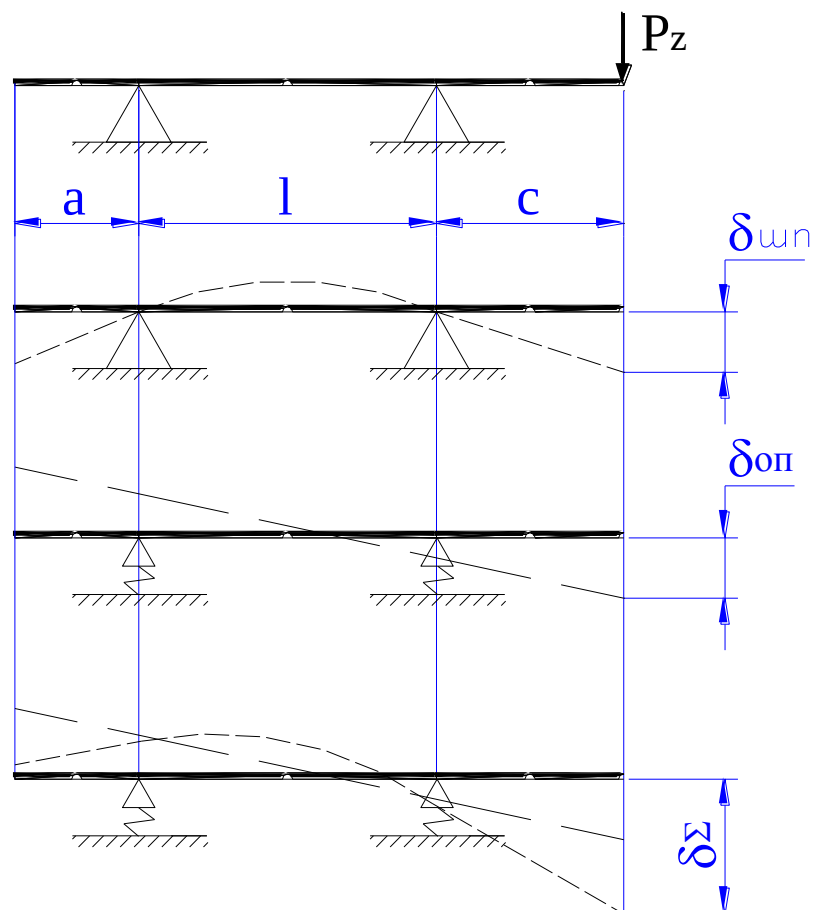


Рисунок 3.8. – Розрахункова схема шпинделя.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Радіальна деформація підшипника під навантаженням δ_r (мкм) визначається за формулою:

$$\delta_r = \delta'_r + \delta''_r, \quad (3.28)$$

де δ'_r - деформація в контакті найбільш навантаженого тіла кочення з доріжкою кочення, мкм;

δ''_r - деформація в контакті кілець підшипника з посадочними поверхнями вала і корпуса, мкм.

Деформація в контакті найбільш навантаженого тіла кочення з доріжкою кочення для роликотіла підшипника [7, с.327]:

$$\delta'_r = 8.0 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{Q_0^{0.9}}{l_w^{0.8}}, \quad (3.29)$$

де l_w - робоча довжина ролика, мм;

Q_0 - радіальне навантаження, що сприймається найбільш навантаженим тілом кочення, Н:

$$Q_0 = \frac{5 \cdot F_r}{i \cdot z \cdot \cos \alpha}, \quad (3.30)$$

де i - кількість рядів тіл кочення, $i = 2$;

z - кількість тіл кочення в одному ряду;

α - кут контакту, $\alpha = 0^\circ$.

Деформація в контакті кілець підшипника з посадочними поверхнями вала і корпуса:

$$\delta''_r = \frac{4 \cdot F_r \cdot k}{\pi \cdot d \cdot B} \cdot \left(1 + \frac{d}{D} \right), \quad (3.31)$$

де $k = 0.05 \dots 0.25$, приймаємо $k = 0.1$;

d - внутрішній діаметр підшипника, мм;

D - зовнішній діаметр підшипника, мм;

B - ширина підшипника, мм.

Визначаємо деформацію передньої опори ($l_w = 10$ мм, $z = 26$):

$$Q_{0A} = \frac{5 \cdot 3400}{2 \cdot 26 \cdot \cos 0^\circ} = 326 \text{ Н};$$

$$\delta'_{rA} = 8.0 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{326^{0.9}}{10^{0.8}} = 0.282 \cdot 10^{-3} \text{ мкм};$$

$$\delta''_{rA} = \frac{4 \cdot 3400 \cdot 0.1}{3.14 \cdot 80 \cdot 34} \cdot \left(1 + \frac{80}{125}\right) = 0.261 \text{ мкм};$$

$$\delta_{rA} = 0.282 \cdot 10^{-3} + 0.261 = 0.261 \text{ мкм}.$$

Визначаємо деформацію задньої опори ($l_w = 7$ мм, $z = 21$):

$$Q_{0B} = \frac{5 \cdot 400}{2 \cdot 26 \cdot \cos 0^\circ} = 38.4 \text{ Н};$$

$$\delta'_{rB} = 8.0 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{38.4^{0.9}}{8^{0.8}} = 0.040 \cdot 10^{-3} \text{ мкм};$$

$$\delta''_{rB} = \frac{4 \cdot 400 \cdot 0.1}{3.14 \cdot 60 \cdot 26} \cdot \left(1 + \frac{60}{95}\right) = 0.053 \text{ мкм};$$

$$\delta_{rB} = 0.040 \cdot 10^{-3} + 0.053 = 0.053 \text{ мкм}.$$

Радіальна жорсткість шпинделя визначається за формулою:

$$j_{un} = \frac{P_z}{\delta_\Sigma}, \text{ Н/мкм}$$

де P_z - радіальна складова сили різання, Н;

δ_Σ - сумарний прогин шпинделя, мкм.

$$\delta_\Sigma = \delta_{un} + \delta_{on},$$

де δ_{un} - прогин шпинделя коли пружна балка закріплена на жорстких опорах, мкм;

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

δ_{on} - прогин шпинделя коли жорстка балка закріплена на пружних опорах, мкм.

Прогин шпинделя на жорстких опорах становить:

$$\delta_{un} = \frac{P_z \cdot c^2}{3 \cdot E} \cdot \left(\frac{c}{I_1} + \frac{l}{I_2} \right),$$

де c – виліт шпинделя, $c = 40$ мм;

l – міжопорна відстань, $l = 150$ мм;

I_1 – момент інерції в передній опорі, мм⁴;

I_2 – момент інерції між опорами, мм⁴;

E – модуль пружності, $E = 2.1 \cdot 10^5$ Н/мм²;

Момент інерції визначається за формулою (5.36):

$$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64},$$

де D – зовнішній діаметр шпинделя, мм;

d – внутрішній діаметр шпинделя, мм.

$$I_1 = \frac{3.14 \cdot (80^4 - 40^4)}{64} = 1.88 \cdot 10^6 \text{ мм}^4;$$

$$I_2 = \frac{3.14 \cdot (60^4 - 40^4)}{64} = 0.51 \cdot 10^6 \text{ мм}^4;$$

$$\delta_{\emptyset i} = \frac{3000 \cdot 40^2}{3 \cdot 2.1 \cdot 10^5} \cdot \left(\frac{40}{1.88 \cdot 10^6} + \frac{300}{0.51 \cdot 10^6} \right) = 4.64 \text{ мкм.}$$

Величина прогину шпинделя на пружних опорах:

$$\delta_{on} = \frac{l+c}{l} \cdot \delta_{rA} + \frac{c}{l} \cdot \delta_{rB}.$$

$$\delta_{i i} = \frac{300+40}{300} \cdot 0.261 + \frac{40}{300} \cdot 0.053 = 0.303 \text{ мкм.}$$

$$\delta_{\Sigma} = 4.64 + 0.303 = 4.967 \text{ мкм.}$$

Жорсткість шпинделя складає:

$$j_{\emptyset i} = \frac{3000}{4.967} = 604 \text{ Н/мкм}$$

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

3.3 Опис конструкції та принципу роботи супорта

Супорт розташований на верхніх направляючих станини. Його переміщення вздовж станини виконується за допомогою крокового двигуна, гідропідсилювача та редуктора, які розміщені зліва на станині та передають рух через кулькову гвинтову пару.

Поперечне переміщення супорта здійснюється завдяки кроковому двигуну та гідропідсилювачу, які через шестерню 10 і зубчасте колесо 5 передають оберти на кульковий гвинт 1. Для забезпечення безлюфтового зачеплення між шестернями 5 і 10, гідропідсилювач кріпиться за допомогою рухомого фланця.

Направляючі для поперечного супорта мають форму «ластівчиного хвоста». Нульове положення супорта в поперечному напрямку фіксується безконтактним кінцевим вимикачем і фланцем, який з'єднаний із кульковим гвинтом.

Керування поперечним переміщенням супорта здійснюється за допомогою командоапарата 3, встановленого справа на поздовжній каретці 4. Кулачки командоапарата впливають на кінцеві вимикачі, розміщені на планці 9, що закріплена на поперечній каретці супорта. Змащення тертьових поверхонь супорта — дозоване.

3.3.1 Розрахунок ходового гвинта

3.3.1.1 Визначення діаметра ходового гвинта і кроку різі

Попередній діаметр гвинта d можемо вибрати із співвідношення:

$$d_0 = \frac{L}{7}$$

$L = 400$ — довжина ходу гвинта, мм

$$d_0 = \frac{400}{7} = 57.14$$

Приймаємо середній діаметр гвинта із стандартного ряду діаметрів $d_0 = 65$ мм
Діаметр шийок під підшипники розраховуємо за формулою:

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$d_n = 0.8 \cdot d_0$$

$$d_n = 0.8 \cdot 65 = 52 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра $d_n = 50 \text{ мм}$.

Вибравши діаметр гвинта, визначимо мінімальну жорсткість що забезпечує задані динамічні показники приводу за формулою .

$$j_{\text{сум}} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f_0^2 \cdot m}{10^7}$$

$f_0 := 75 \text{ Гц}$ – власна частота коливань

$m := 300 \text{ кг}$ – маса переміщуваного вузла

$$j_{\text{сум}} = \frac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 75^2 \cdot 300}{10^7} = 6.65 \frac{\text{даН}}{\text{мкМ}}$$

3.4 Система керування токарним верстатом

3.4.1 Характеристика СЧПК

Загальна характеристика прийнятої системи числового програмного керування (СЧПК) наведена у таблиці 3.12. Перехід обчислювальної техніки до застосування великих інтегральних схем із мікропроцесором і створення на їх основі мікроелектронних обчислювальних машин (мікроЕОМ) дозволив розробити ПЧПК, які поєднують функції управління верстатом та виконання окремих завдань підготовки керуючих програм (КП). Завдяки наявності ЕОМ ПЧПК отримали значні функціональні можливості. На рисунку 1.1 зображено типову модель системи ЧПУ, основу якої складають: мікроЕОМ, запрограмована для виконання числового програмного керування; блоки зв'язку з координатними приводами; блоки формування технологічних команд у необхідній логічній послідовності; системні органи управління та індикації; а також канали обміну даними з центральною ЕОМ вищого рівня.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Якщо хочеш, можу ще більш спростити або зробити більш офіційно.

Таблиця 3.12 - Характеристика ЧПК

№ пп	Назва параметрів, розмірність	Величина параметрів для виконання верстата
1.	Позначення ПЧПК	Типу CNC
2.	Кількість керованих координат	4
3.	Найбільша кількість одночасно керованих координат	3
4.	Дискретність задання переміщень, мм поздовжніх поперечних	0,001 0,001
5.	Максимально програмоване переміщення, дискрет	9999999
6.	Система відліку	абсолютна і в приростах
7.	Межі програмованих подач, мм/об поздовжніх поперечних	0,01-40 0,005-20
8.	Межі кроків нарізуваних різей, мм	0,25-40
9.	Ввід даних	З клавіатури, магнітної касети, перфострічки, ЕОМ
10.	Живлення ПЧПК	однофазне
11.	Вид струму	змінний
12.	Напруга, В	220
13.	Частота, Гц	50±1
14.	Потужність, Вт	1000
15.	Необхідна стабільність напруги, %	-15 - +10
16.	Габарити блока ПЧПК, встановлюваного поза верстатом, мм, не більше	

	довжина	600
	висота	1100
	ширина	440
17.	Маса блока ПЧПК, встановлюваного поза верстатом, кг, не більше	150

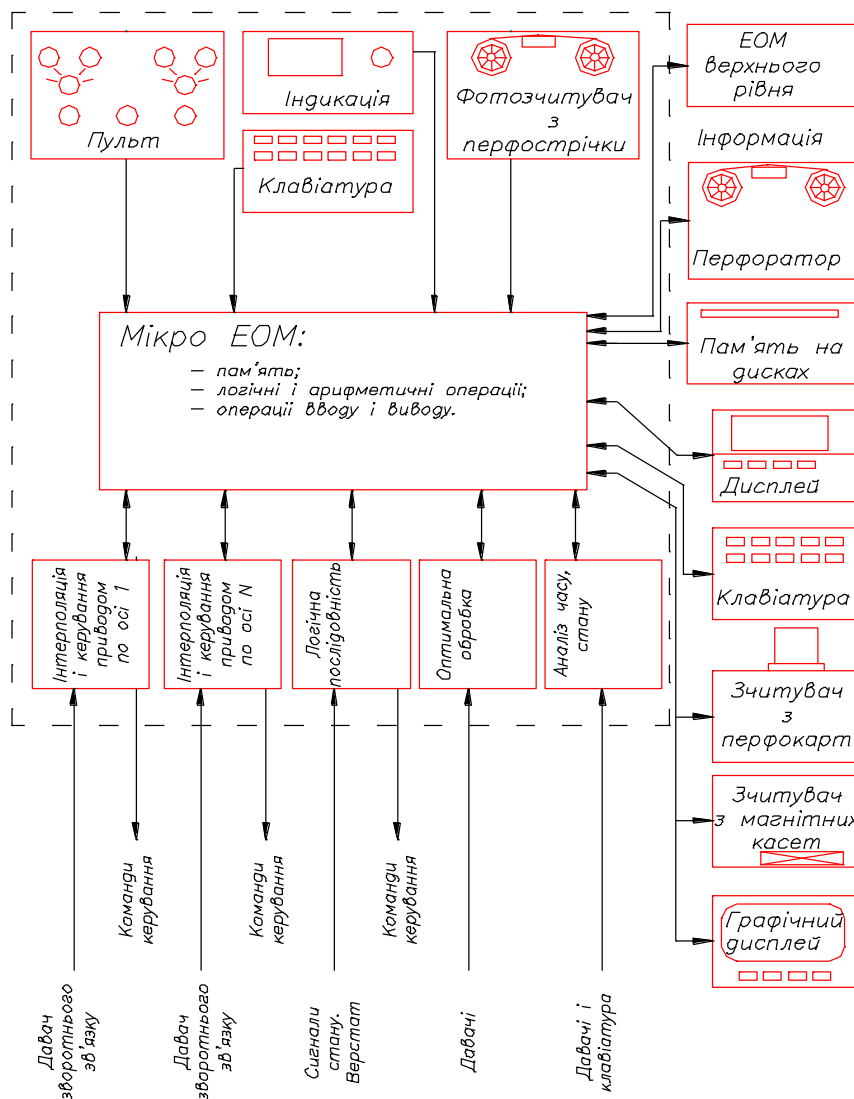


Рисунок 3.22 – Структурна модель СЧПК типу CNC

Системи класу CNC відрізняються тим, що під час експлуатації можна змінювати та коригувати як керуючу програму (КП) обробки деталей, так і самі

програми функціонування системи, а не лише під час її проектування та виготовлення. Це дозволяє максимально адаптувати систему під особливості конкретного верстата.

Кожна функція системи реалізується через власний набір підпрограм, які зв'язуються загальною координуючою програмою-диспетчером. Вона забезпечує гнучку взаємодію всіх блоків системи. Програмні комплекси систем управління зазвичай створюють за модульним принципом. Основні модулі включають:

- програму управління завантаженням КП з підпрограмами введення та розшифрування кадрів;
- програму управління верстатом, що містить підпрограми координатних переміщень і виконання технологічних команд.

Програма управління координатними переміщеннями складається з блоків інтерполяції, регулювання швидкості, управління швидким ходом, а ці блоки містять такі модулі, як:

- програма підготовки даних;
- організуюча програма-диспетчер;
- драйвери — стандартні оператори для роботи із зовнішніми пристроями.

Програма може бути завантажена в пам'ять системи CNC не лише повністю з перфострічки, а й окремими кадрами вручну через пульт ПЧПК. Кадри можуть містити не лише команди окремих рухів, а й групові команди — постійні цикли, що зберігаються в пам'яті, що значно зменшує обсяг програми і підвищує надійність роботи верстата.

Системи CNC дозволяють легко виконувати редагування та відлагодження програм у діалоговому режимі, використовуючи ручне введення та виведення інформації на дисплей, а також зберігати відредаговані програми на різні носії: перфострічки, магнітні диски, плівки тощо. Крім того, одну програму можна застосовувати в різних масштабах, у режимах "матриця-пуансон", дзеркального відображення і подібних. Під час роботи допускаються різні види корекцій.

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Системи CNC відрізняються відносно низькою вартістю, компактністю та високою надійністю, що дає змогу реалізовувати нові властивості управління, раніше недоступні. Наприклад, багато ПЧПК цього класу оснащені математичними засобами для автоматичної корекції постійних похибок, що впливає на точність обробки (компенсація люфту, зон нечутливості приводів по координатах тощо). Застосування систем контролю та діагностики підвищує надійність роботи верстатів на мікропроцесорах. Ці системи контролюють стан зовнішніх пристроїв, внутрішніх блоків і самих ПЧПК.

Вбудована пам'ять сучасних ПЧПК класу CNC (до 256 КБайт) використовується як архів керуючих програм. До системи можуть підключатися різноманітні периферійні пристрої — від традиційних (фотозчитувачі, накопичувачі на магнітних носіях, телетайпи, перфаторатори) до спеціалізованих (друкуючі пристрої, засоби діагностики, включно з дистанційним контролем).

Важливою особливістю є можливість зберігати у пам'яті параметри та константи верстата, що дозволяє автоматично враховувати обмеження зони обробки, налаштовувати динаміку приводів, формувати фазові траєкторії розгону і гальмування, а також компенсувати систематичні похибки передач і особливості коробок швидкостей та приводів подач.

3.4.2 Особливості роботи

Пристрій введення інформації послідовно зчитує дані рядок за рядком у межах одного кадру з паперової перфострічки. Зазвичай для цього використовують фотоелектричні пристрої, які швидко протягують перфострічку перед набором фотоелементів, кількість яких відповідає максимально можливій кількості отворів у рядку.

Блок пам'яті, що зберігає зчитану інформацію, необхідний через те, що дані з перфострічки надходять послідовно, а використовуються одразу для всього кадру. Окрім зберігання, цей блок виконує контроль інформації та формує сигнали при виявленні помилок під час запису або зчитування.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

У сучасних системах ЧПК цей блок зберігає інформацію для всієї деталі або навіть декількох деталей, що зменшує навантаження на пристрій введення і дозволяє редагувати програму безпосередньо на верстаті. Також він може приймати дані від вищого рівня ЕОМ, що важливо при об'єднанні верстатів у мережу.

Пульт керування та індикації забезпечує взаємодію оператора з системою ЧПК. Через нього здійснюють запуск і зупинку системи, перемикання режимів роботи, корекцію швидкості подачі, розмірів інструментів і початкового положення інструмента по окремих координатах.

Блок інтерполяції формує траєкторію руху інструмента між заданими точками, найчастіше використовуючи лінійну або кругову інтерполяцію. Це спеціалізований цифровий обчислювач, що працює з точністю до 6-8 знаків після коми. Для цих цілей застосовують цифрові диференціальні аналізатори або малі цифрові обчислювальні машини (мікроЕОМ), що підвищує універсальність системи завдяки можливості легкої зміни алгоритмів роботи.

Приводи подач, переважно слідкуючі, забезпечують точне і швидке переміщення керованих елементів верстата (столи, супорти, каретки). Слідкуючий привод складається з двигуна, підсилювача потужності, датчика зворотного зв'язку для контролю положення та порівнювача, який видає сигнал помилки для регулювання руху. Якщо помилка перевищує допустимі межі, система ЧПК автоматично відключається через захисні пристрої.

Існують і прості розімкнені приводи подач без датчиків зворотного зв'язку, де використовують крокові двигуни з відповідними підсилювачами.

Блоки управління приводами перетворюють вихідні сигнали інтерполятора у керуючі імпульси для приводів, які переміщують об'єкт на задану відстань, або "ціну імпульсу" (зазвичай 0,01 або 0,001 мм). В залежності від типу приводів (замкнені або розімкнені, фазові чи амплітудні) ці блоки мають різну конструкцію.

Датчики зворотного зв'язку (ДЗЗ) визначають фактичне положення або переміщення керованого об'єкта з точністю кроку системи (1-2 мм). Вимірювання

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснюється як безпосередньо (лінійні датчики), так і непрямо (кут повороту вала двигуна).

Блок швидкостей подач задає необхідну швидкість подачі інструмента, а також регулює розгін і гальмування згідно з заданими законами, найчастіше лінійними. Швидкість подачі може встановлюватися у вигляді номера ряду, що формує геометричну прогресію, або безпосередньо у мм/хв. Окрім робочих швидкостей (5-2000 мм/хв), цей блок також підтримує швидкість установчого руху (10-15 м/хв) для позиційної обробки або переходів інструмента.

Блок живлення забезпечує стабільне електроживлення системи ЧПК, маючи стабілізатори напруги та фільтри для захисту від перешкод у промисловій мережі.

Також використовуються блоки адаптації, що підвищують точність і продуктивність обробки при змінних зовнішніх умовах, наприклад, зміні припуску, твердості матеріалу або затупленні інструменту. Оскільки система ЧПК є розімкненою і не контролює результат безпосередньо, ці блоки дозволяють вводити корекції на основі додаткових вимірювань (момент обертання, температура, вібрації) для компенсації деформації або зносу інструмента.

Адаптивні системи ЧПК також можуть автоматично враховувати зміну розмірів заготовки (наприклад, при виготовленні викривлених деталей) або компенсувати температурні деформації вузлів верстата за допомогою терморезисторів.

Крім цього, в системах ЧПК передбачені такі функції:

- Примусове переривання обробки з гальмуванням по контуру.
- Виведення і повернення об'єкта у зону обробки без втрати даних.
- Індикація фактичного абсолютного положення.
- Ручне введення інформації з панелі керування.
- Повна перемотка перфострічки і пошук кадру за номером.
- Пропуск кадрів, позначених оператором.
- Повторення циклу обробки через перемотку на початок.

Головною вимогою до систем ЧПК є висока надійність, що забезпечується як конструктивними рішеннями, так і організаційно-технічними заходами на

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

підприємствах-виробниках і користувачах. Сучасні системи працюють безвідмовно 2000-2500 годин і більше при належній експлуатації та обслуговуванні.

Перераховані функції характерні для універсальних систем ЧПК. Водночас часто потрібно спрощувати і здешевлювати системи, створюючи типові модулі (агрегати), з яких складають систему з потрібними характеристиками. Кількість і склад корекцій, набір стандартних циклів і обсяг інформації на індикаторах залежать від призначення верстата і можуть бути обмежені в простіших моделях.

3.5 Опис роботизованого технологічного комплексу

Роботизований комплекс призначений для токарної обробки валів різних форм у мілкосерійному та серійному виробництві. Він в основному використовується як автоматизована технологічна лінія, де заготовки послідовно обробляються на двох ЧПК-токарних верстатах, розташованих назустріч один одному (поз. 1, 2). Таке розміщення дозволяє здійснювати двосторонню обробку без необхідності повертати заготовку на 180°. Обслуговування верстатів виконують спеціальні дворукі промислові роботи (поз. 3).

До складу комплексу входять також: магазини-накопичувачі для заготовок (поз. 4) та оброблених деталей (поз. 5); пристрої ЧПК для верстатів (поз. 6); електрошафи верстатів (поз. 7); пристрої ЧПК та електрошафи для роботів (поз. 8, 9); пульт управління комплексом (поз. 10); електрошафа для магазинів-накопичувачів (поз. 11); гідростанція ПР (поз. 13); гідро- та електрокомунікації (поз. 14, 15, 16). Верстати оснащені конвеєрами для збору стружки.

На цих верстатах можна виконувати як чорнову, так і чистову токарну обробку циліндричних, конічних, фасонних та РК-профільних поверхонь, а також обробку галтелей, фасок, прорізування канавок і нарізання різьби різцем тощо.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Характеристика ділянки з точки зору охорони праці та заходи по покращенню умов праці

Підприємство, в склад якого входить ділянка розміщено на території, яка визначена генеральним планом міста. Проектна площа ділянки складає 24м².

Ділянка по виготовленню деталі "Втулка" спроектована згідно вимог до будівель виробничого призначення згідно СНиП 2.09.02-85. З метою запобігання травматизму у виробничому приміщенні застосоване пофарбування будівельних конструкцій та знаки безпеки (ГОСТ 12.4.026-76 "Цвета сигнальные и знаки безопасности"). Важливе значення для здорових і безпечних умов праці має розташування основного та допоміжного устаткування та правильна організація робочих місць. До устаткування, що має електропривід передбачений вільний прохід з усіх сторін шириною 1м зі сторони робочої зони і 0,6м зі сторони неробочої зони. Порядок розташування устаткування та відстані між верстатами визначені їхніми розмірами, технологічними вимогами техніки безпеки. Технологічне устаткування розміщене на ділянці таким чином, щоб забезпечувалась потоковість виробничого процесу. На ділянці передбачено місце міжопераційного накопичування заготовок та встановлено верстати:

- | | |
|----|--------------------------------------|
| 1. | Токарний з ЧПК – 1шт. |
| 2. | Горизонтально-фрезерний – 1шт. |
| 3. | Внутрішньошліфувальний 3К227В – 1шт. |

Відповідно до "Порядку опрацювання і затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві на проєктованій ділянці розроблені та діють наступні нормативні акти:

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

- Положення про систему управління охороною праці на підприємстві;
- Положення про службу охорони праці на підприємстві;
- Положення про роботу уповноважених трудового колективу з питань охорони праці;
- Положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці;
- Положення про організацію і проведення первинного та повторного інструктажів, а також пожежно-технічного мінімуму;
- Положення про розслідування нещасних випадків і професійних захворювань.

Навчання з питань охорони праці на підприємстві, в склад якого входить дільниця здійснюється наступним чином: кожен працівник один раз в три роки проходить навчання з техніки безпеки та охорони праці, а саме прослуховує лекції, відвідує практичні та семінарські заняття, здає іспит і отримує посвідчення про допуск до відповідних робіт.

Крім того з працівниками даної дільниці проводять наступні інструктажі: вступний, первинний, повторний, цільовий, позаплановий.

На підприємстві існує система управління охороною праці (СУОП), а також оперативний та адміністративно-громадський трьохступінчастий контроль за станом охорони праці.

Дільниця по шкідливості відноситься до 5 класу. Санітарна зона 50м.

Умови праці відповідають нормативним та відносяться до категорії допустимих, на кожному робочому місці є інструкція з техніки безпеки та вся нормативна документація.

Важливе значення для здорових і безпечних умов праці має розташування основного та допоміжного устаткування та правильна організація робочих місць. До устаткування, що має електропривід передбачений вільний прохід з усіх сторін шириною 1м зі сторони робочої зони і 0,6м зі сторони неробочої зони.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Порядок розташування устаткування та відстані між верстатами визначені їхніми розмірами, технологічними вимогами техніки безпеки. Технологічне устаткування розміщене на дільниці таким чином, щоб забезпечувалась потоковість виробничого процесу. На дільниці передбачено місце міжопераційного накопичування заготовок

Всі робочі місця на дільниці атестовані і відповідають науковій організації праці. Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування органів керування відповідають антропометричним, фізіологічним та психофізіологічним особливостям людини та характеру виконуваної роботи.

При розробці плану виробничої дільниці враховано забезпечення потоковості виробничого процесу, починаючи від надходження заготовок у цех та закінчуючи пунктом відправлення кінцевої продукції цеху, при цьому транспортні шляхи спроектовані найкоротшими.

Обладнання на дільниці, проходи та проїзди гарантують зручність та безпеку праці, можливість монтажу, демонтажу, ремонту устаткування, зручність подавання та передавання заготовок, інструментів та простоту і надійність виведення відходів від робочих місць. Ширина проходу у цеху – 1,5м., проїздів – 2,5м. Планування розміщення технологічного устаткування узгоджено із запроектованими підйомно-транспортними засобами.

Для створення оптимальних умов праці на дільниці створені наступні параметри мікроклімату:

- 1) t – відносна температура повітря (22...24)°C;
- 2) Θ – відносна вологість повітря (50...60)%;
- 3) P – барометричний тиск $1,09 \times 10^5$ Па;
- 4) V – швидкість руху повітря:
в теплу пору (0,3) м/с;
в холодну пору (0,1...0,2) м/с.
- 5) w – інтенсивність опромінення 70 Вт/м².

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Параметри мікроклімату на ділянці підтримуються за рахунок водяного опалення низького тиску (в зимовий період року) на вентиляції, як природної організованої так і штучної всмоктувальної загальнообмінної.

Для освітлення ділянці застосовується природне освітлення через проріз вікон і штучне при допомозі світильників, які відповідають вимогам СНиП II-4-79 "Естественное и искусственное освещение".

Природне освітлення бокове двохстороннє. Штучне освітлення на ділянці комбіноване: загальне та місцеве. Робоче освітлення складає $E_p=300\text{лк}$.

На ділянці крім штучного освітлення використовується місцеве освітлення, яке встановлено на верстатах.

Для евакуації людей встановлено аварійне освітлення $E=2\text{лк}$ в приміщенні і $E=1\text{лк}$ на території.

Евакуаційне освітлення $E_{ев}=0,5\text{лк}$ на території. Охоронне освітлення $E=0,5\text{лк}$ на відстані 0,5м від землі (підлоги). Місьцеве освітлення проводиться за допомогою ламп розжарювання напругою 42В.

Переносне освітлення для ремонтних робіт здійснюється за допомогою ламп розжарювання напругою 12В.

Загальне освітлення здійснюється люмінесцентними лампами ДРЛ-80 в світильнику РСТ05/КОЗ, світловий потік яких $\Phi=3200\text{лм}$.

На ділянці шум спричинений роботою електрообладнання та вентиляцією не перевищує норм 85дБА згідно ГОСТ 12.1003-86.

Вібрація на ділянці загальна спричинена роботою вентилятора та електрообладнання не перевищує допустимих норм згідно ГОСТ 12.1.012-90, $i=50\text{Гц}$ та не перевищує 65 дБ.

На ділянці використано найдоцільніший метод зниження вібрації – це зниження незрівноважених сил, які створюються машинами.

Динамічні навантаження, котрі виникають в устаткуванні знижені наступними шляхами:

–ретельним динамічним балансуванням обертових частин агрегату;

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

- центрування муфтових з'єднань вентилятора або насоса з електродвигуном;
- ліквідацією перекосів та великих зазорів у підшипниках;
- надійним закріпленням різних частин обладнання (кришок, з'єднувальних фланців трубопроводів тощо).

Все електрообладнання на даній ділянці заземлено. Опір заземлюючого пристрою не перевищує 4 Ом.

У відповідності з ГОСТ 12.1.125-83 всі металорізальні верстати, які використовуються на ділянці мають захисні пристрої (кожухи, козирки, екрани та ін.) від механічного травмування працюючих. Загальні вимоги безпеки до виробничих процесів встановлені ГОСТ 12.3.002-75 виконуються.

Основи пожежного захисту підприємств визначені ГОСТ 12.1.004-85 та ГОСТ 12.1.010-76 і їх суворо дотримуються на ділянці.

Для попередження пожеж проводяться заходи режимного характеру, технічні, експлуатаційні.

У відповідності до ГОСТ 12.1.044-85 плануванням з ділянці забезпечено безпечну і швидку евакуацію людей у випадку пожежі. Евакуаційні виходи розташовані з двох сторін. Ширина шляхів евакуації 1м. Ширина дверей та шлях евакуації 0,8м., ці двері відкриваються по напрямленню виходу з приміщення.

Пожежний інвентар з пожежним інструментом та вогнегасником розміщений на спеціальному пожежному щиті. До комплекту засобів пожежогасіння включені вогнегасники - 3шт., лопати - 2шт., гаки – 2шт. ломы - 2шт., сокири - 2шт., ящик із піском місткістю 0,1 м³.

Оскільки на ділянці здійснюється механічна обробка металів у холодному стані, то ділянка належить до категорії "Д" за вибухопожежною та пожежною небезпекою. В цеху можливе займання електродвигунів верстатів, тому клас можливої пожежі "Е".

На стенді встановлено 2 вогнегасники типу ВВ-5 та один вогнегасник ВП-10. На підприємстві відповідно до СНиП 2.04.02-84 та СНиП 2.04.01-85

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

передбачена система протипожежного водопостачання. Протипожежний водогін об'єднаний з виробничим водогоном.

Вимоги безпеки до устаткування, пристроїв, інструменту на ділянці наступні:

— Виробниче устаткування, пристрої та інструменти повинні протягом усього періоду експлуатації відповідати вимогам безпеки згідно ГОСТ 12.2.003-91 (розділ 2, п.30 цих Правил), нормативно-технічній документації і цим правилам.

— Небезпечні місця на устаткуванні повинні огорожуватися.

— Засоби колективного захисту повинні виконувати своє призначення безперервно у процесі функціонування устаткування або при виникненні небезпечної ситуації.

— Для засобів колективного захисту не повинна припинятися раніше, ніж закінчиться дія відповідного небезпечного або шкідливого виробничого фактора.

— Конструкція устаткування і його окремих частин виключає можливість їх падіння, опускання, перекидання та довільного зміщення при усіх передбачених умовах експлуатації і монтажу (демонтажу).

— Частини устаткування (у т.ч. трубопроводи гідро- та пневмосистем, запобіжні клапани, кабелі тощо), механічне пошкодження яких може викликати виникнення небезпеки, захищені або розташовані так, щоб запобігти їх випадковому пошкодженню.

— Устаткування, що діє за допомогою неелектричної енергії (гідравлічної, пневматичної) виконано так, щоб будь-яка небезпека, що викликана цими видами енергії, була виключена.

— Пристрої для зупинки та пуску устаткування розміщуються так, щоб ними можна було зручно користуватися з робочого місця та виключалась можливість самочинного їх включення і створення небезпечних ситуацій через порушення працюючими послідовності дій на органи керування.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

— Поверхні пристроїв і елементів виробничого устаткування, що можуть служити джерелом небезпеки для працюючих, фарбовані згідно ГОСТ 12.4.026-76 та галузевими нормативними документами.

— Устаткування у процесі експлуатації не повинно забруднювати виробниче середовище викидами шкідливих речовин у кількості більшій гранично допустимих значень, встановлених ГОСТ 12.1.005-88.

— Устаткування, яке є джерелом шуму, ультразвуку, вібрації, виконано так, щоб воно у передбачених умовах та режимах експлуатації не перевищувало норм, встановлених ГОСТ 12.1.003-83, ГОСТ 12.1.012-90 (розділ 2, пп.27, 29 цих Правил).

— Усі контрольно-вимірювальні прилади необхідно утримувати у справному стані, періодично перевіряти. Забороняється використовувати прилади з простроченим терміном перевірки.

— Вибракування інструменту, пристроїв повинно проводитися у відповідності з установленим графіком, але не рідше одного разу на 3 місяці.

— На несправне устаткування керівник дільниці вивіщує табличку, на якій указано, що працювати на даному устаткуванні не дозволяється. Таке устаткування повинно бути відключеним (обезструмленим, виключений привід тощо).

Заходи, що запропоновані по покращенню умов праці на даній дільниці:

- 1) Заміна виробничого обладнання базового технологічного процесу на більш безпечніше.
- 2) Внесено зміни в технологічний процес.
- 3) Проведена атестація нових робочих місць.

4.2 Розрахунок освітлення для спроектованої дільниці

Згідно попередніх розрахунків дільниці отримано наступні параметри: площа дільниці – $S=24\text{м}^2$; ширина приміщення приймається згідно норм розстановки верстатів між колонами $a=6\text{м}$; довжина приміщення – $b=4\text{м}$; висота

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

приміщення $H=4,5\text{м}$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p=1,1\text{м}$. Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття: стелі – $\rho_{\text{стелі}}=70\%$; стін – $\rho_{\text{стін}}=50\%$. [14] С.120, табл.3.9.

Мінімальне освітлення приміщення, в якому виконують зорові роботи розряду III в становить $E=300\text{лк}$ [14] С.122. Як світлові пристрої приймаємо лампи типу ДРЛ-80 (дугові ртутні), які характеризуються високою світловою віддачею при компактності джерела світла. Приймаємо світильники РСП05 прямого світла (з двома лампами). Оскільки світильники кріпляться на стелі, то їх висота над підлогою майже рівна висоті приміщення $h_o=4,0\text{м}$., що не суперечить вимогам СНиП II-4-79, відповідно до яких $h_o=2,6-4\text{м}$., коли у світильнику менше 4 ламп, і $h_o=3,2-4,5\text{м}$. - при 4-х і більше ламп.

Визначаємо висоту світильника над робочою поверхнею (рисунок 4.1):

$$h = h_o - h_p, \text{м} \quad (4.1)$$

де h – висота світильника над робочою поверхнею, м;

$H=h_o$ – висота приміщення, м; $h_o=4,0\text{м}$;

h_p – висота робочих поверхонь (столів верстатів), м; $h_p=1,1\text{м}$

$$h = 4,0 - 1,1 = 2,9\text{м}$$

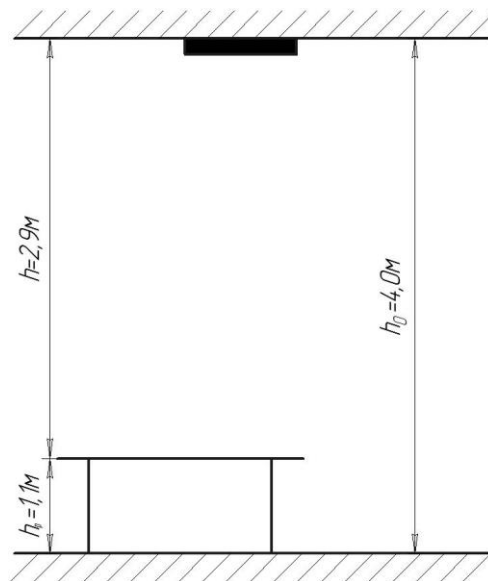


Рисунок 4.1 – Схема визначення висоти підвісу світильника

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Показник приміщень i визначається за формулою:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)}, \quad (4.2)$$

де a, b, h – ширина, довжина приміщення, висота світильника над робочою поверхнею відповідно, м.

$$i = \frac{6 \cdot 4}{2,9 \cdot (6 + 4)} = 0,83$$

При $i=3,0$, $\rho_{стелі} = 70\%$, $\rho_{стін} = 50\%$, для світильника РСП/К03 коефіцієнт використання дорівнює $\eta = 0,6$ [14] С.141, табл. 3.26.

Визначаємо необхідну кількість світильників, для забезпечення необхідної нормованої освітленості робочих поверхонь, якщо відомо, що в кожному світильнику встановлено по чотири лампи ДРЛ-80, за формулою:

$$N = \frac{ESK_3 Z}{4\Phi_{\lambda} \eta} \quad (4.3)$$

де N – кількість світильників, шт.;

E – нормована освітленість, $E=300$ лк.;

S – площа приміщення, що освітлюється, $S=24\text{м}^2$;

K_3 – коефіцієнт запасу, $K_3=1,5$ [14] С.139, табл.3.24;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення приймаємо $z=1,15$ для газорозрядних ламп високого тиску типу РСП [14] С.141;

n – кількість ламп у світильнику, $n=2$ шт.;

Φ_{λ} – світловий потік однієї лампи ДРЛ-80 становить $\Phi_{\lambda}=3200\text{лм}$ [14] С.142, табл.3.28;

η – коефіцієнт використання світлового потоку $\eta=0,6$ [14] С.141, табл.3.26;

$$N = \frac{300 \cdot 24 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{2 \cdot 3200 \cdot 0,6} = 3,24 \text{ шт.}$$

Приймаємо 4 світильника, які для забезпечення рівномірності освітлення розташовуємо в два ряди по 2 штуки в кожному. Оскільки довжина світильника не набагато більша довжини лампи, встановленої в ньому, то загальна довжина усіх світильників у ряді становитиме:

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

$$\sum L_{CB} = l_{cb} \cdot n, \text{м} \quad (4.4)$$

де $l_{cb} = 1,2\text{м}$

$$\sum L_{CB} = 1,2 \cdot 2 = 2,4\text{м}.$$

Це значення менше довжини приміщення 6м., тому між світильниками будуть розриви 1,2м.

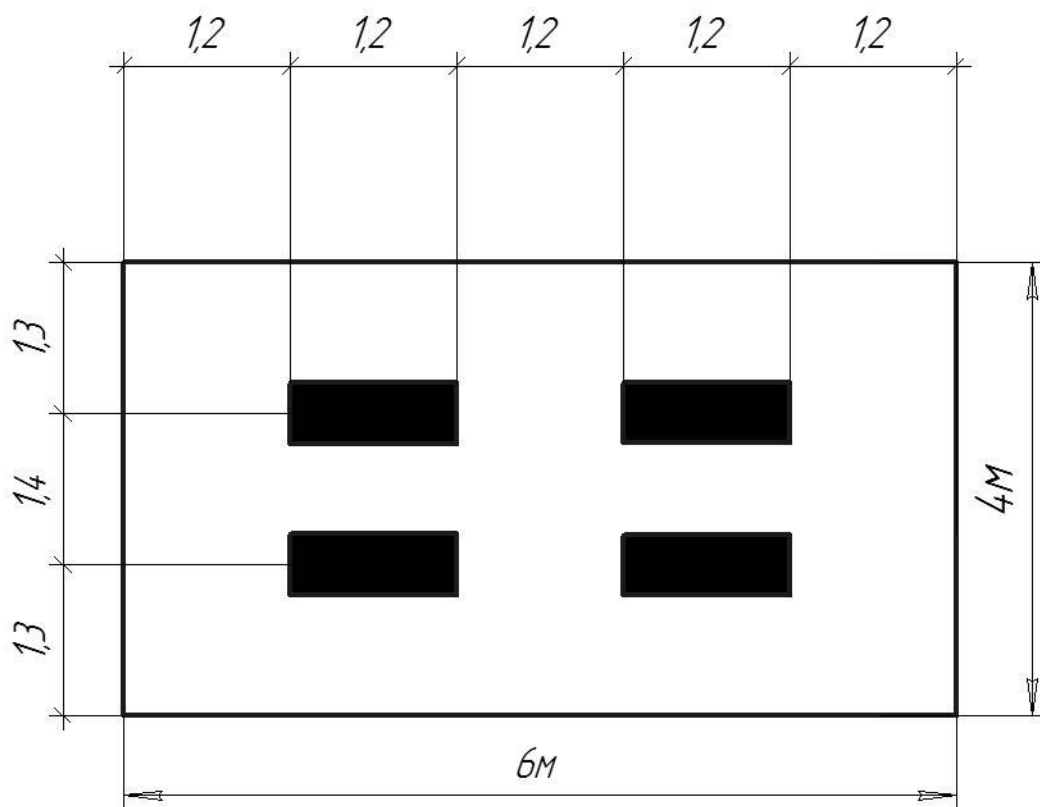


Рисунок 4.2 – Схема розташування світильників РСП/К03 на ділянці

Визначаємо сумарну електричну потужність усіх світильників, встановлених в приміщенні за формулою:

$$\sum P_{CB} = P_{л} \cdot N \cdot n \quad (4.5)$$

де P_{CB} – сумарна електрична потужність усіх світильників, Вт.

$P_{л}$ – потужність одного світильника $P_{л}=3200$, Вт;

N – кількість світильників, шт.; $N=4$ шт.;

n – кількість ламп у світильнику, шт.; $n=2$ шт.

$$\sum P_{CB} = 3200 \cdot 4 \cdot 2 = 25600 \text{Вт}.$$

Висновок: у розділі подано вимоги щодо дотримання вимог охорони праці, виробничої безпеки та пожежної безпеки. Описано влаштування ділянки з точки зору охорони праці, освітлення, вентиляції, мікроклімату робочої зони, температури повітря. Вказано вимоги до виробничого обладнання.

Здійснено розрахунок освітлення для виробничої ділянки. Для забезпечення відповідного рівня освітленості спроектовано схеми розміщення світильників та їх підвісу. Кількість світильників для ділянки - 4 одиниці, тип ламп в них - ДРЛ-80.

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі здійснено проектування технологічного маршруту механічної обробки деталі, запропоновано та розроблено операційний технологічний процес обробки деталі «Втулка 18.014». Вибрано режими різання та визначено норми часу для всіх необхідних операцій. Наведено структурно-кінематичну та кінематичну схеми токарного верстата з ЧПК. Спроектовано привід головного руху. Запропоновано конструкцію шпиндельного вузла верстату. Запропоновано конструкцію пристосування для фрезерування пазів. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дослідження розсіювання величин подач токарних верстатів в імовірнісному аспекті / В. В. Крупа та ін. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2023. № 4(83). С. 16–28.
2. Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2023. № 4. С. 128–137.
3. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлєв. Технічні науки та технології. 2016. № 2 (4). С. 28-35.
4. Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: Р. А. Складаров, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сенік, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.
5. Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів. Вісник ТНТУ : Науковий журнал.: Тернопіль : ТНТУ, 2012. № 4 (68). С. 114–127.
6. Beddoes J. Principles of metal manufacturing processes /Beddoes, Jonathan.: Burlington, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. 326 p.
7. Creese, R. Introduction to manufacturing processes and materials /Creese, Robert C: New York : Marcel Dekker, 1999. 395 p.
8. V. Krupa et al. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

the Small Sample Theory. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024.
URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2025).

9. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок.: Львів: Світ, 1996. 368 с.

10. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати : навч. посіб.: Львів Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.

11. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник. Львів: Бескид Біт, 2008. 448 с.

12. Гейчук В.М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина І): навч. посіб. Навчальне мережне електронне видання. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 394 с.

13. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.

14. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: навч. посіб.: К.: НТУУ «КПІ», 2007. 60 с.

15. Дячун А. Є., Капаціла Ю. Б, Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин».:Тернопіль: ТНТУ, 2016. 75 с

16. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці: навчальний посібник.: Львів: Афіша, 2000. 350 с.

17. Кальченко В. І. ,Кологойда А. В, О. С. Следнікова. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт : Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.

18. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів. *Вісник ЖДТУ. Технічні науки.* : Житомир : ЖДТУ, 2007. Вип. № 1 (40). С. 34–40.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць.* : Житомир : ЖДТУ, 2010. Вип. 8. С. 99–108.

20. 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.

21. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.*: Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. С. 47–56.

22. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. Т., 2013. 21 с.

23. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.

24. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.* : Краматорськ, 2011. Вип. № 28. С. 77–85.

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. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні. *Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов.* : К. : КПІ, 2012. Том 1. С. 71–73.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

27. 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.

28. Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Продан В.І., Яковлєв В.Г. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла. *Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал.*: Херсон : ХДМА, 2012. № 2 (7). С. 145–155.

29. Кривий П.Д., Тимошенко Н.М., Дзюра В.О., Кобельник В.Р. Уточнений метод апіорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року.*: ТНТУ, 2020. С. 132–133.

30. Кривий П.Д. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Н. М. Тимошенко // Прогресивні технології в машинобудуванні : збірник наукових праць, Львів-Плай. – Львів, 2020. – С. 103–105.

31. Кузнєцов Ю. М., Склярів Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнєцов, Р. А. Склярів; під ред. Ю. М. Кузнєцова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

32. Крупа В.В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.

33. Кухарський О. М., Кушак І .В. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з предмету: «Технологія машинобудування». Тернопіль, 2001. 280 с.

34. Кухарський О.М., Кузьмін М.І. Визначення припусків табличним методом.: Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.

35. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин. К.: «Вища школа», 1993. 560 с.

		.			КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

36. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник.: Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

37. Паливода Ю.Є., Кухарський О.М. Визначення припусків розрахунково аналітичним методом: Тернопіль, 2003. 81 с.

38. Пат. 16398 Україна, МПК (2006) G 01 B 5/24. Спосіб вимірювання головного заднього кута спірального свердла / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Шарик М. В.; заявник і патентовласник Терноп. нац. техн. унів. ім. І. Пулюя. № u200600061; заявл. 03.01.2006; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8.

39. Скляр Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій. Вісник ТНТУ. 2011. Том 16. № 1. С.117-125.

40. Стискін Г.М. Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням. Львів: Видавництво “Оріяна Нова”, 2002. 208 с.

41. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.

					КРБ 21-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78