

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавра

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі  
«Втулка ВН-514.15.58»**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МВз-41  
спеціальності \_\_\_\_\_

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

	_____	<b>Савченко С.М.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<b>Буховець В.М.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<b>Кобельник В.Р.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	<b>Крупа В.В.</b>
	(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)

« »

2024 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 Савченко Святославу Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі  
«Втулка ВН-514.15.58»

Керівник роботи Буховець Валерій Миколайович, к.т.н., старший викладач каф. ВІ

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

Затверджені наказом ректора від «31» 01 2024 року № 4/7-84

2. Термін подання студентом завершеної роботи 10.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі «Втулка ВН-514.15.58»;  
базовий технологічний процес обробки деталі; креслення вузлів токарно-револьверного  
верстату з ЧПК 1В340Ф30.

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

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі-  
представника. Призначення верстата і його технічна характеристика. Аналіз верстатів  
аналогів.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА РОЗДІЛ. Вибір та обґрунтування раціонального технологічного маршруту  
обробки деталі. Обґрунтування та вибір металообробного обладнання. Обґрунтування та  
вибір різального інструменту. Розрахунок припусків, режимів різання та норм часу

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.

Розробка структурно-кінематичної та кінематичної схем верстата. Кінематичний  
розрахунок розгляданого верстата. Конструкція та розрахунок шпиндельного вузла з  
механізмом подачі і затиску матеріалу. Опис конструкції і принципу роботи вузла. Розрахунок  
основних параметрів додаткового підтримуючого пристрою

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.

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

Креслення деталі – 1 лист ф.А3. Карта налагодження верстату на обробку деталі – 1 лист А1.

Загальний вигляд верстату - 1 лист ф.А1. Кінематична схема верстату – 1 лист ф.А1.

Механізм затиску і подачі матеріалу – 1,5 листа ф.А1. Пристосування для фрезерування  
лиски – 1 лист ф.А1

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

[illegible]

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
Савченко С.М.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

Буховець В.М.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Савченко С.М. Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі «Втулка ВН-514.15.58». 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2024 р.

Savchenko S.M. «Machine and instrumental support of the part «Bushing ВН-514.15.58” processing». 133 – Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2024.

В кваліфікаційній роботі приведено призначення і короткий опис базової моделі верстату та проаналізовано верстати аналогічного призначення. Проведено синтез технологічного маршруту обробки, розроблено операційну технологію обробки деталі. Вибрано режими різання та визначено норми часу для всіх операцій механічної обробки. Здійснено проектування приводу головного руху. Розроблено конструкцію шпиндельного вузла з механізмом затиску заготовки. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: втулка, верстат, різальний інструмент, технологічний процес, режими різання, привід головного руху, шпиндель, підтримуючий пристрій.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	<b>АНОТАЦІЯ</b>		
Розробив	Савченко С.М.						
Перевірів	Буховець В.М.						
Н. контр.	Кобельник В.Р.						
Затв.	Крупа В.В.						
					Літ.	Аркуш	Аркушів
					Н	3	1
					<b>ТНТУ, ФМТ гр. МВЗ-41</b>		

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>6</b>
<b>1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>7</b>
1.1. Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі-представника.....	7
1.2. Аналіз типу виробництва та його технологічні характеристики.....	8
1.3. Призначення верстата і його технічна характеристика.....	10
1.4. Аналіз конструкції верстатів аналогічного призначення.....	14
<b>2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>19</b>
2.1. Вибір та обґрунтування раціонального технологічного маршруту обробки деталі.....	19
2.2. Обґрунтування та вибір металообробного обладнання.....	22
2.3. Обґрунтування та вибір різального та контрольно-вимірювального інструментів.....	23
2.4. Визначення припусків.....	24
2.5. Розрахунок режимів різання.....	27
2.6. Розрахунок норм часу.....	33
<b>3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>36</b>
3.1. Розробка структурно-кінематичної та кінематичної схеми верстата.....	36
3.2. Вибір структури приводу головного руху.....	39
3.3. Розрахунок і вибір основних технічних характеристик приводу головного руху .....	40
3.3.1. Обґрунтування і розрахунок кінематичних характеристик приводу.....	40
3.3.2. Кінематичний розрахунок приводу.....	42
3.3.3. Визначення навантажень на привід та визначення потужності електродвигуна.....	42

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ЗМІСТ					Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Савченко С.М.									Н		4	2
Перевірів	Буховець В.М.												
Н. контр.	Кобельник В.Р.												
Затв.	Крупа В.В.				ТНТУ, ФМТ гр. МВЗ-41								

3.4.Розрахунок поліклінової пасової передачі приводу головного руху.....	45
3.5.Конструкція та розрахунок шпиндельного вузла приводу головного руху з використанням САПР.....	48
3.5.1. Вибір компоновальної схеми шпиндельного вузла та типу опор...	48
3.5.2. Розрахунок радіальної жорсткості опор шпиндельного вузла.....	50
3.5.3. Визначення оптимальної міжопорної віддалі та радіальної жорсткості переднього кінця шпинделя шпиндельного вузла з використанням САПР.....	52
3.6.Проектування підтримуючого пристрою механізму затиску заготовки....	55
<b>4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ....</b>	<b>59</b>
4.1.Інструкція з техніки безпеки при роботі на розроблюваному обладнанні..	59
4.2.Розроблення питань з охорони навколишнього середовища при роботі на розробленому обладнанні.....	61
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>70</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>72</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>74</b>

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		5

## ВСТУП

Забезпечення корінної реконструкції і випереджаючого розвитку машинобудівного комплексу, насамперед верстатобудування, виробництва обчислювальної техніки, приладобудування, електротехнічної й електронної промисловості, потребує широкого впровадження металорізальних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), верстатних модулів, робототехнічних комплексів, створених переважно на основі уніфікованих блочно-модульних і базових конструкцій.

Основні напрямки розвитку світового верстатобудування підпорядковані досягненню наступних головних цілей: підвищення продуктивності обробки; підвищення якості обробки; зниження витрат на обробку; поліпшення умов праці; інтелектуалізація виробництва; розширення технологічних можливостей обладнання.

У машинобудуванні верстати токарної групи становлять 30-40% від загального парку металорізальних верстатів. Саме тому, виробники металообробного обладнання у всьому світі, надзвичайно велику увагу приділяють розробкам, що стосуються вдосконалення саме цього типу металорізальних верстатів.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці верстатно-інструментального забезпечення обробки деталі «Втулка ВН-514.15.58», що передбачає розробку маршрутної та операційної технології, вибір різального та контрольно-вимірювального інструменту, вибору режимів обробки, а також розробці приводу головного руху токарно-револьверного верстату з ЧПК з механізмом затиску та підтримки прутка.

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ВСТУП					Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Савченко С.М.									Н		6	1
Перевірів	Буховець В.М.												
										ТНТУ, ФМТ гр. МВЗ-41			
Н. контр.	Кобельник В.Р.												
Затв.	Крупа В.В.												

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1. Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі-представника

Проаналізувавши креслення деталі «Втулка ВН-514.15.58» і розглянувши умови її роботи, можна зробити наступні висновки. По своїй формі та конструкції деталь, 3D-модель якої приведена на рис.1, можна віднести до деталей типу тіл обертання – втулок.

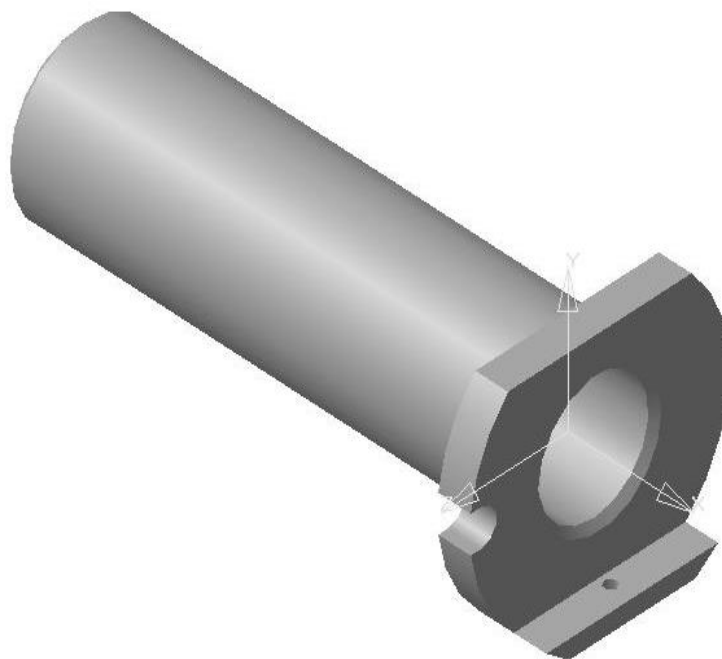


Рис. 1.1. 3D-модель деталі «Втулка ВН-514.15.58»

До основних поверхонь даної деталі відносяться:  $\varnothing 14h8-0.027$  з шорсткістю  $Ra0.8$  і поверхня з шорсткістю  $Ra3.2$ , як основні базові поверхні; паз розміром 3 мм із шорсткістю  $Ra1.6$ , по якому також проходить базування; отвір  $\varnothing 10,2$  з  $Ra0.8$  та отвори  $\varnothing 1,2$ ,  $\varnothing 24$ . Другорядними поверхнями є дві фаски  $0.6 \times 45^\circ$  і лиски  $l=8.5\text{мм}$ ,  $l=10.5\text{мм}$ .

Деталь виготовляється із титанового сплаву ВТ-6. Матеріал має надзвичайно високу корозійну стійкість по відношенню до багатьох агресивних природних

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Савченко С.М.								Н		7	12
Перевірів	Буховець В.М.								ТНТУ, ФМТ гр. МВЗ-41			
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Затв.	Крупа В.В.											



середовищ, і не реагує з більшістю кислот. Може працювати в умовах дуже високих температур. Хімічний склад та механічні властивості титанового сплаву ВТ-6 приведені в таблицях 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1. Хімічний склад у % матеріалу ВТ-6

N	C	H	Fe	O <sub>2</sub>	Al	інші
0.05	0.1	0.015	0.6	0.2	5.3-6.8	0,3

Таблиця 1.2. Механічні властивості матеріалу ВТ-6

Вид напів-фабри-кату	Термо-обробка	Механічні властивості					Область застосування
		<i>E</i>	$\sigma_s$	$\delta$	$\psi$	$a_n$	
		<i>кгс/мм<sup>3</sup></i>		%		<i>кгс·м/см<sup>2</sup></i>	
листи, штам-повки, поков-ки	відпал	12000	95-110	8	-	-	Лопатки і диски авіаційних турбін, компресорів, кріпильні деталі, які працюють під тиском газових насосів, корпуси ракет
	відпал	12000	95-110	10-13	25-60	3	
	гартування	12000	115	8	30	2,5	

## 1.2. Аналіз типу виробництва та його технологічні характеристики

Тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплених операцій, який показує відношення всіх різноманітних операцій виконуваних підрозділом на протязі місяця до числа робочих місць [1]:

$$K_{з.о} = \frac{O}{P} \quad (1.1)$$

де *P*– кількість робочих місць *P*=1;

*O* – кількість операцій:

$$O = \frac{60F_m \eta_H k_B}{NT_{ум.}} \quad (1.2)$$

де *F<sub>m</sub>* – фонд часу в місяць;

$\eta_H$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання, приймаємо  $\eta_H=0,7$ ;

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

$k_B=1,3$ ;

$N$  – місячна програма випуску,  $N=25$ ;

$T_{ум}$  – штучно-калькуляційний час.

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою [1]:

$$T_{ум} = T_o \varphi \quad (1.3)$$

Визначаємо  $T_o$ ,  $T_{ум}$  для операцій технологічного процесу [1].

Токарно-револьверна з ЧПУ

$$T_o = 0.00017 \cdot dl = 0.00017 \cdot 24 \cdot 41.7 = 0.17 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,98 \cdot 0,17 = 0,33 \text{ хв.}$$

$$T_o = 0.00017 \cdot dl = 0.00017 \cdot 21 \cdot 41.7 = 0.148 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,98 \cdot 0,148 = 0,293 \text{ хв.}$$

$$T_o = 0.00017 \cdot dl = 0.00017 \cdot 18 \cdot 41.7 = 0.127 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,98 \cdot 0,127 = 0,251 \text{ хв.}$$

$$T_o = 0.00017 \cdot dl = 0.00017 \cdot 15 \cdot 41.7 = 0.106 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,98 \cdot 0,106 = 0,209 \text{ хв.}$$

$$T_o = 0.00017 \cdot dl = 0.00017 \cdot 14 \cdot 41.7 = 0.099 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,98 \cdot 0,099 = 0,196 \text{ хв.}$$

$$T_o = 0.00017 \cdot dl = 0.00017 \cdot 24 \cdot 2 = 0.008 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,98 \cdot 0,008 = 0,0158 \text{ хв.}$$

$$T_o = 0.00017 \cdot dl = 0.00017 \cdot 14 \cdot 0,6 = 0.0014 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,98 \cdot 0,0014 = 0,002 \text{ хв.}$$

$$T_o = 0.00018 \cdot dl = 0.00018 \cdot 10,2 \cdot 45 = 0.08 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,98 \cdot 0,08 = 0,15 \text{ хв.}$$

Горизонтально-фрезерна

$$T_o = 0.007 \cdot l = 0.007 \cdot 6 = 0.042 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,84 \cdot 0,042 = 0,077 \text{ хв.}$$

Горизонтально-фрезерна

$$T_o = 0.007 \cdot l = 0.007 \cdot 17 = 0.119 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,84 \cdot 0,119 = 0,218 \text{ хв.}$$

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

#### Безцентрово-шліфувальна

$$T_o = 0.0025 \cdot l = 0.0025 \cdot 44 = 0.11 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 2,1 \cdot 0,11 = 0,231 \text{ хв.}$$

#### Горизонтально-фрезерна

$$T_o = 0.007 \cdot l = 0.007 \cdot 19 = 0.133 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,84 \cdot 0,133 = 0,244 \text{ хв.}$$

#### Токарна

$$T_o = 0.00018 \cdot dl = 0.00018 \cdot 10,2 \cdot 0,6 = 0.0011 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,98 \cdot 0,0011 = 0,002 \text{ хв.}$$

#### Настільно-свердлильна

$$T_o = 0.00052 \cdot dl = 0.00052 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 0.0009 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.} = 1,72 \cdot 0,0009 = 0,0015 \text{ хв.}$$

Підставивши значення у (1.2) та (1.1) отримаємо:

$$O = \frac{60 \cdot 334,5 \cdot 0,75 \cdot 1,3}{25 \cdot 2,85} = 274 \quad K_{з.о.} = \frac{274}{7} = 39,1$$

Отже, тип виробництва – дрібносерійне.

### 1.3. Призначення верстата і його технічна характеристика

Верстат токарно-револьверний 1В340Ф30 (рис. 1.2) з вертикальною інструментальною головкою на хрестовому супорті призначений для токарної обробки деталей з прямолінійним, ступінчастим та криволінійним профілем із прутка в автоматичному циклі та з штучних заготовок – у напіваавтоматичному циклі в умовах серійного та дрібносерійного виробництв; на ньому можна проводити обточування, розточування, проточування канавок, підрізування торців, свердління, зенкерування, розгортання, нарізування різьблення плашками і мітчиками, а також різцем за програмою [2].

Восьмипозиційна револьверна головка на хрестовому супорті у поєднанні з однокоординатним поперечним гідрофікованим супортом забезпечує високі технологічні можливості верстата, фіксується за допомогою зубчастих напівмуфт

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

і керується гідравлікою [2]. Поздовжнє та поперечне переміщення здійснюються високомоментними двигунами постійного струму через кулькові гвинтові пари. Затиск та подача прутків, а також затиск штучних заготовок здійснюються гідравлічним механізмом затиску та подачі прутка [2].



Рис. 1.2. Загальний вигляд токарно-револьверного верстату з ЧПК мод. 1В340Ф30

У верстаті 1В340Ф30 реалізована можливість швидкого переналагодження з пруткового виконання для обробки пруткових матеріалів та в патроні для обробки штучних заготовок, що значно розширює його технічні можливості [2]. Затиск та подача прутків, а також затис штучних заготовок здійснюється гідравлічним механізмом затиску та подачі прутка [2].

Верстат забезпечує точність обробки виробів за 8 квалітетом з шорсткістю поверхонь  $R_a$  2,5 мкм [2].

Основні переваги верстата [2]:

- конструкція восьмипозиційної револьверної головки забезпечує високу жорсткість (фіксація головки на плоскі зубчасті колеса) та високу швидкодію;
- наявність гідравлічного відрізного супорта дозволяє поєднувати операцію відрізки або прорізання канавок з іншими операціями при обробці деталі;
- обробка деталей із прутка в автоматичному циклі;

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- широкий діапазон різьб, що нарізаються, включаючи багатозахідні;
- хрестовий супорт з вертикальною віссю револьверної головки дозволяє робити всі види токарної обробки малим числом інструменту.

Кінематична схема токарно-револьверного верстату з ЧПК мод. 1В340Ф30 приведена на рис. 1.3.

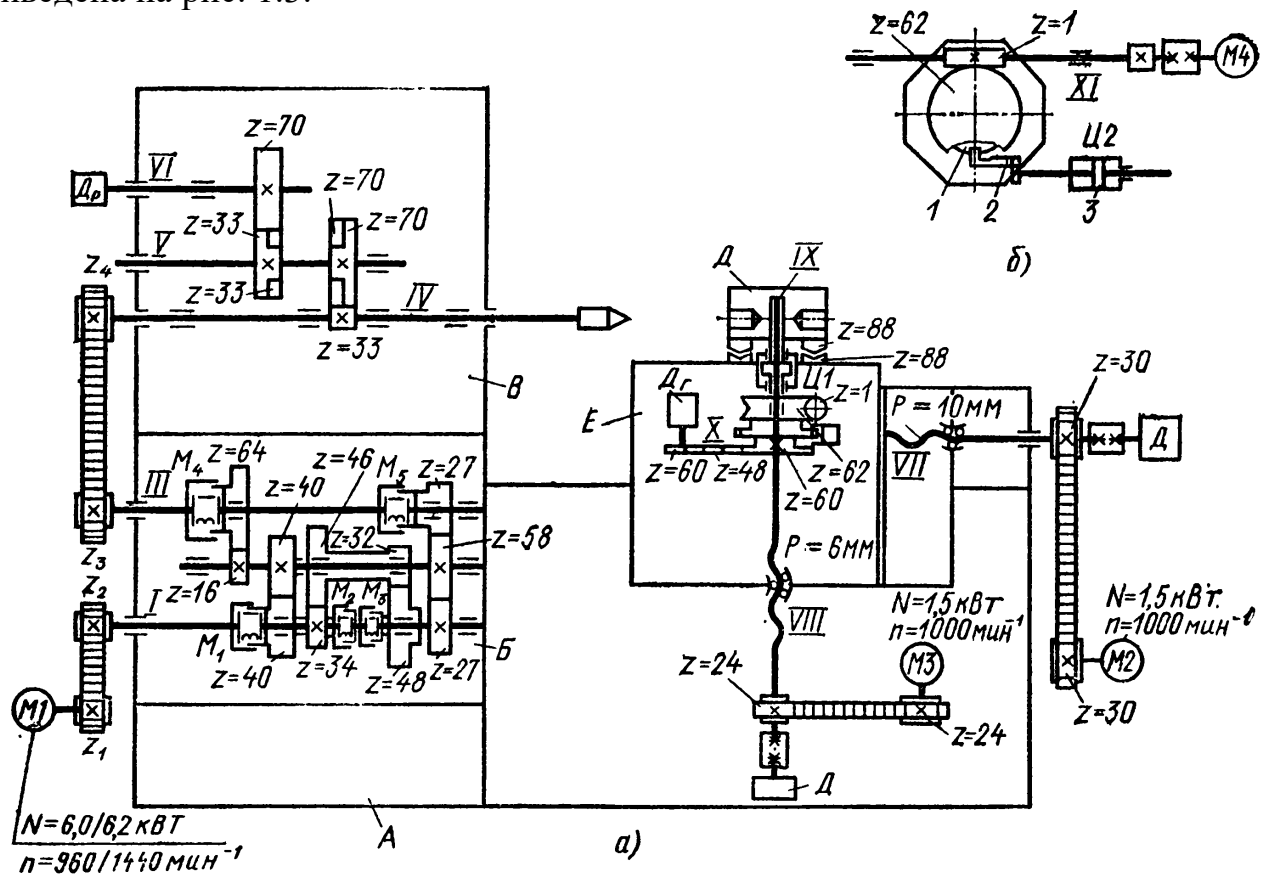


Рис. 1.3. Кінематична схема токарно-револьверного верстату з ЧПК мод. 1В340Ф30

Головний рух шпиндель IV отримує від двошвидкісного електродвигуна М1 ( $N=6,0/6,2$  кВт;  $n=960/1440$  хв<sup>-1</sup>) через плоскозубчасту пасову передачу  $Z_1 - Z_2$ , автоматичну коробку швидкостей, що забезпечує шість частот обертання, і плоскозубчасту пасову передачу  $Z_3 - Z_4$ . Шпиндель має 12 частот обертання за рахунок електродвигуна та попарного перемикання електромагнітних муфт в автоматичній коробці швидкостей. Шпиндель гальмується одночасним включенням муфт  $M_1, M_2, M_3$ . Реверс шпинделя здійснюється електродвигуном. Датчик різенарізання  $D_p$  на валу VI отримує обертання через безззорні передачі  $z=33-70, z=33-70$ .

Поздовжні та поперечні подачі револьверного супорта здійснюються від

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

високомоментних електродвигунів постійного струму М2 і М3 ( $N=1,5$  кВт,  $n=1000$  хв<sup>-1</sup>) через зубчаті пасові передачі та пари гвинт-гайка кочення VII та VIII. Для контролю положення револьверного супорта на гвинтах встановлені датчики зворотного зв'язку.

Револьверна головка повертається навколо вертикальної осі від гідродвигуна М4 через черв'ячну пару  $z=1-62$  і фіксується за допомогою плоскозубчастих коліс  $z=88$ . На валу IX револьверної головки закріплено колесо  $z=60$ , яке через зубчасті колеса  $z=48-60$  обертає вісь Х датчика Дг пошуку позиції револьверної головки. Для попередньої фіксації револьверної головки служить фіксатор 2, керований поршнем циліндра 3 Ц2 з гідророзподільником. При попаданні фіксатора у гніздо фіксаторного диска 1 переміщається гідророзподільник і перекриває доступ масла до гідродвигуна М4 повороту револьверної головки; одночасно масло надходить у верхню порожнину циліндра затиску Ц1, і головка фіксується на плоскозубчасте колесо  $z=88$ . Тарілчасті пружини компенсують осьове переміщення черв'яка  $z=1$  після попадання фіксатора 2 в гніздо диска 1 і довертають револьверну головку при остаточній фіксації.

Швидкі ходи та робочі подачі відрізного супорта здійснюються від гідросистеми. Кінцеві вимикачі забезпечують видачу команди у верхньому положенні супорта, перехід з швидкого підведення на робочу подачу і вимикання подачі в кінці робочого ходу.

Технічна характеристика верстата [2]:

- найбільший діаметр оброблюваної заготовки із прутка 40 мм;
- найбільший діаметр заготовки, що встановлюється над станиною, 400 мм;
- число граней револьверної головки 8;
- число частот обертання шпинделя 12;
- межі частот обертання шпинделя 45-2000 хв<sup>-1</sup>;
- межі поздовжніх та поперечних подач револьверного супорта (безступеневе регулювання) 1-2500 мм/хв;
- швидкість прискорених переміщень револьверного супорта поздовжніх 10000 мм/хв, поперечних 5000 мм/хв;

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

- швидкість подачі відрізного супорта (безступеневе регулювання) 5-600 мм/хв;
- швидкість прискореного ходу відрізного супорта 8000 мм/хв;
- габаритні розміри верстата 1840x1770x1670 мм.

#### 1.4. Аналіз конструкції верстатів аналогічного призначення

**Верстат токарно-револьверний 1325Ф30 з ЧПУ** (рис.1.4) призначений для токарної обробки деталей із прутка діаметром від 18 до 25 мм в автоматичному циклі в умовах дрібносерійного та середньосерійного виробництва [3].



Рис. 1.4. Верстат токарно-револьверний  
мод. 1325Ф30 з ЧПУ

На верстаті 1325Ф30 можна проводити такі види токарної обробки: обточування, розточування, підрізування, проточування канавок, свердління, зенкерування, розвертання, нарізання різі мітчиками і плашками, а також різцями, обточування і розточування поверхонь конічних, а також криволінійних [3].

Компонування верстата - горизонтальне. Привід головного руху складається з двошвидкісного асинхронного електродвигуна та коробки швидкостей з електромагнітними муфтами. Швидкості шпинделя перемикаються автоматично за рахунок увімкнення електромагнітних муфт і перемикання швидкостей двигуна. Верстат оснащується хрестовим супортом, на якому монтуються приводи поздовжньої подачі супорта та кругової подачі револьверної головки [3].

На супорті встановлено дванадцятипозиційну револьверну головку з горизонтальною віссю обертання. Револьверна головка є автономною

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

складальною одиницею та кріпиться на верхню каретку хрестового супорта. Конструкція револьверної головки забезпечує високу жорсткість та точність повороту (фіксація головки на плоскі зубчасті колеса), а також високу швидкодію [3].

Механізм подачі та затиску прутка працює від індивідуального електродвигуна. Під час роботи механізму подачі та затиску прутка обертання шпинделя автоматично переривається. Регулювання величини подачі прутка здійснюється переміщенням каменя куліси. Подача прутка проводиться плавно з постійною величиною розгону та гальмування [3].

**Токарно-револьверний верстат 1П420ПФ40 з ЧПУ** (рис.1.5) призначений для виконання токарної та свердлильно-фрезерної обробки деталей із прутка діаметром до 50 мм в автоматичному циклі та штучних заготовок діаметром до 200 мм у напівавтоматичному циклі в умовах дрібносерійного та серійного виробництва [4]. Верстат забезпечує точність обробки деталей під час обточування - поле допуску h6, розточування - поле допуску H7, по довжині - 0,05 мм.



Рис. 1.5. Токарно-револьверний верстат 1П420ПФ40 з ЧПУ

Основні особливості токарно-револьверного верстата 1П420ПФ40 – похила станина, наявність кругової координати С (кутове позиціонування шпинделя в дискретному режимі (0-360 град.) та приводного інструменту в револьверній

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15



головці [4]. Нахилені напрямні станини та вбудований транспортер забезпечують вільний схід стружки та її автоматичне видалення з робочої зони [4].

У приводах подач, кутового позиціонування шпинделя і інструменту, що обертається в револьверній головці, застосовані високомоментні двигуни постійного струму, що мають широкий діапазон регулювання швидкості переміщення [4].

Шпиндель верстата змонтований у високоточних підшипниках кочення, що не потребують регулювання в процесі експлуатації та забезпечують високу точність та довговічність. За рахунок застосування накладок з наповненого фторопласту в напрямних супорта та спрощеної кінематики головного приводу підвищено надійність роботи верстата [4].

Конструкція 12-позиційної револьверної головки забезпечує високу жорсткість (фіксація головки на плоскі зубчасті колеса) та високу швидкодію. Установка інструмента, що обертається (осьові та ортогональні свердлильно-фрезерні головки), можлива в будь-якій з 12 позицій револьверної головки [4].

За спеціальним замовленням верстат може оснащуватися автоматичною системою вимірювання поверхонь, що обробляються, і введення корекції на положення інструменту. Система вимірювання деталі з автоматичним коригуванням положення інструменту дозволяє досягти високої точності обробки [4].

**Верстат токарно-револьверний 1П426ДФЗ з ЧПУ** (рис. 1.6) призначений для токарної обробки штучних деталей в напівавтоматичному циклі в умовах дрібносерійного та середньосерійного виробництва при партіях деталей 10-500 шт. [5].

Основна особливість токарно-револьверного верстата 1П426ДФЗ – вертикальні напрямні супорта та наявність двох револьверних головок, що знаходяться на одному супорті. У головному приводі використовується автоматична коробка швидкостей, що забезпечує перемикання 12 ступенів швидкостей з наявних 18. У приводах подач встановлені високомоментні двигуни постійного струму з тиристорним керуванням [5].

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рис. 1.6. Верстат токарно-револьверний 1П426ДФЗ з ЧПУ

Верстат має шести- та восьмипозиційні револьверні головки на хрестовому супорті. Поздовжні санки револьверного супорта переміщуються вертикальними напрямними станини, поперечні санки переміщуються перпендикулярно до поздовжніх. Револьверні головки можуть повертатися на будь-яку кількість позиції. Переміщення супорта одночасне в обох напрямках (осі X і Z) забезпечує фасонне точіння деталей [5].

**Верстат токарно-револьверний ABC 42 з ЧПУ фірми Index Werke** (рис.1.7) може проводити обробку в автоматичному циклі деталей з прутків і штучних заготовок. Завдяки доступності до 19 інструментів можна виготовляти деталі повністю на одному верстаті [6].

Основа верстата – це зварна сталева конструкція. Вона несе прикріплену похилу станину з двома незалежними супортними групами з револьверними головками. Така конструкція забезпечує відмінне демпфування та найкращі умови для точної роботи. Високоякісні лінійні напрямні кочення забезпечують точність і тривалий термін служби. Верстат має термосиметричну передню бабку з контрольованим тепловим потоком, перпендикулярним площині інструменту [6].

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

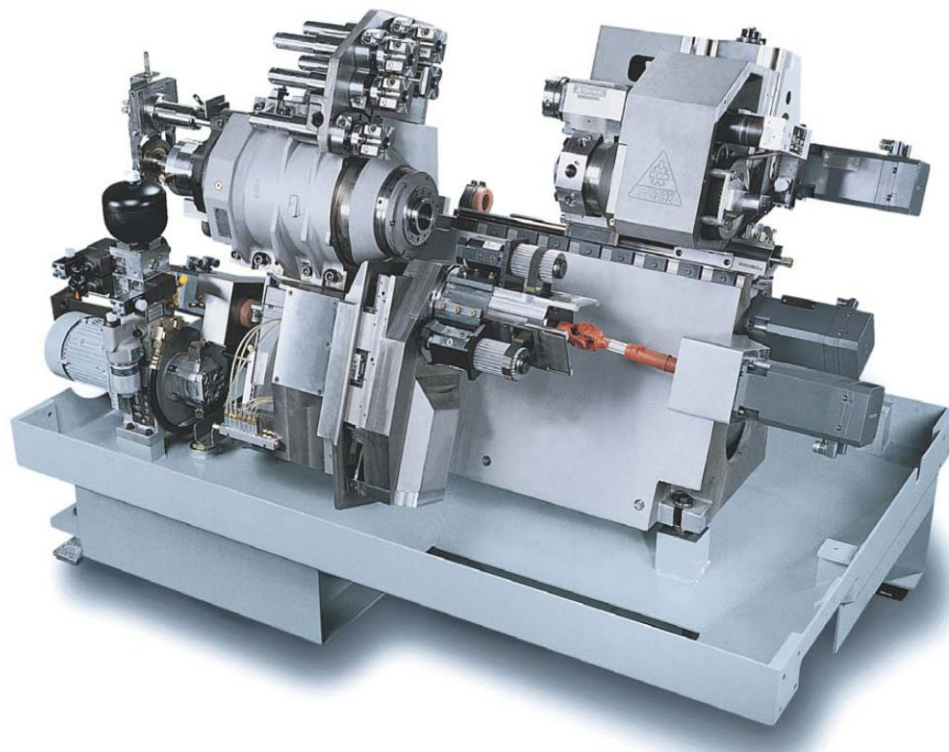


Рис. 1.7. Верстат токарно-револьверний ABC 42 з ЧПУ фірми Index Werke

Верстат оснащений моторшпинделем з високим крутним моментом, який містить асинхронний двигун з порожнистим валом і повітряним охолодженням шпиндельної коробки. Ротор, головки обмоток і статор охолоджуються безпосередньо [6].

Перша револьверна головка має 7 (8) позицій, які в основному використовуються для внутрішньої та зовнішньої обробки. З приводним пристроєм інструменти можливі на всіх позиціях. Приєднаний синхронний шпиндель оснащений фіксованою револьверною позицією та власним приводом з прямозубою передачею. Друга револьверна головка має 6 позицій для інструменту з напрямними типу «ластівки хвіст» для розміщення інструментів для формування, обробки канавок і токарної обробки різної товщини. Тут також електропривод інструментів доступний на кожній позиції [6].

Переваги верстату: компактна конструкція; високі показники продуктивності; скорочення витрат часу на обробку завдяки одночасній роботі до 3 інструментів; можливе точіння багатограних поверхонь [6].

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

**КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ**

Арк.

18

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Вибір та обґрунтування раціонального технологічного маршруту обробки деталі.

Базовий технологічний процес механічної обробки деталі наступний.

005 Заготівельна

010 Термообробка

1. Термообробити прутки згідно технології термічної ділянки

015 Токарна (токарно-револьверний 1Г340ПЦ)

1. Точити Ø24 мм. на довжину 50мм. і Ø14 на довжину 42мм

2. Точити фаску 0,6 × 45° мм.

3. Свердлити Ø10,2

020 Промивка (миюча машина СПБ МК-26435)

1. Промити деталь по технології 0130040001

025 Вібробразивна (віброустановка У6370-0284)

Віброшліфувати деталі до заокруглення гострих кромки в межах 0,1...0,4 мм

030 Горизонтально-фрезерна (горизонтально-фрезерний 6Р11)

1. Фрезерувати паз витримуючи розміри

035 Слюсарна (слюсарний стіл У6911-0235)

1. Зняти заусенці і притупити гострі кромки після фрезерування пази в межах 0,1...0,4мм.

040 Горизонтально-фрезерна (горизонтально-фрезерний 6Р81Г)

1. Фрезерувати лиски витримуючи розміри

045 Слюсарна (слюсарний стіл У6911-0235)

1. Зняти заусенці і притупити гострі кромки після фрезерування лисок в межах 0,1...0,4мм

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	<b>ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b>			
Розробив	Савченко С.М.							
Перевірів	Буховець В.М.							
Н. контр.	Кобельник В.Р.							
Затв.	Крупа В.В.							
						Літ.	Аркуш	Аркушів
						Н	19	17
						<b>ТНТУ, ФМТ гр. МВЗ-41</b>		

050 Промивка (миюча машина СПБ МК-26435)

1. Промити деталь по технології 0130040001

055 Безцентрово-шліфувальна (безцентрово-шліфувальний 3М184)

1. Шліфувати поверхню витримуючи розміри

060 Промивка (миюча машина СПБ МК-26435)

1. Промити деталь по технології 0130040001

065 Вібробразивна (віброустановка У6370-0284)

Віброшліфувати деталі до заокруглення гострих кромки в межах 0,1...0,4 мм.

070 Горизонтально-фрезерна (горизонтально-фрезерний 6Р81Г)

1. Фрезерувати поверхню в розмір 3<sub>-0,25</sub> та 1,5<sub>-0,25</sub>

075 Слюсарна (слюсарний стіл У6911-0235)

1.Зняти заусенці і притупити гострі кромки в місцях вказаних на ескізі стрілками в межах 0,1...0,4мм

080 Токарно-револьверна (токарно-револьверний 1А341Ц)

1. Точити фаску витримуючи розміри

085 Настільно-свердлильна (настільно-свердлильний 2Н106П)

1. Свердлити отвір витримуючи розмір

090 Настільно-свердлильна (настільно-свердлильний 2Н106П)

1. Зняти заусенці і притупити гострі кромки в отворі Ø1,2 в межах 0,1...0,4мм

095 Промивка (миюча машина СПБ МК-26435)

1. Промити деталь по технології 0130040001

100 Маркування (слюсарний стіл У5847-0118)

1. Маркувати позначення деталі на бирку ударним способом

105 Контрольна (контрольний стіл У6846-0202)

1. Контролювати деталь згідно вимогам креслення

110 Покриття (анодне оксидування імпульсне)

1. Здійснити покриття згідно технології ц.5 товщина шару 0,002...0,003 мм.

Розроблений технологічний процес механічної обробки деталі наступний.

005 Заготівельна

010 Термообробка

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

015 Токарно-револьверна з ЧПУ

1. Подати пруток до упора і закріпити.
2. Підрізати торець.
3. Точити Ø24 на довжину 50мм. і Ø14 на довжину 42мм з припуском 0,8 мм.
4. Точити фаску 0,6×45°мм.
5. Зацентрувати деталь
6. Свердлити отвір Ø9 на довжину 50 мм.
7. Зенкерувати отвір Ø10 на довжину 50 мм.
8. Розвернути отвір Ø10 до Ø10,2 мм.
9. Відрізати деталь в розмір 48 мм.

020 Промивка

1. Промити деталь по технології 0130040001

025 Віб्रोабразивна

Віброшліфувати деталі до заокруглення гострих кромки в межах 0,1..0,4 мм

030 Горизонтально-фрезерна

1. Фрезерувати паз витримуючи розміри  $3^{+0,5}$  мм та 6 мм

035 Слюсарна

1. Зняти заусенці і притупити гострі кромки після фрезерування пази в межах 0,1...0,4мм

040 Горизонтально-фрезерна

1. Фрезерувати лиски витримуючи розміри  $8,5 \pm 0,2$  та  $10,5 \pm 0,2$ .

045 Слюсарна

1. Зняти заусенці і притупити гострі кромки після фрезерування лисок в межах 0,1...0,4мм

050 Промивка

1. Промити деталь по технології 0130040001

055 Безцентрово-шліфувальна

1. Шліфувати поверхню витримуючи  $\varnothing 14_{-0,027}$  на довжину  $47^{+0,15}$

060 Промивка

1. Промити деталь по технології 0130040001

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

## 065 Віброабразивна

Віброшліфувати деталі до заокруглення гострих кромки в межах 0,1..0,4 мм

## 070 Горизонтально-фрезерна

1. Фрезерувати поверхню в розміри  $3_{-0,25}$  та  $1,5_{-0,25}$

## 075 Слюсарна

1. Зняти заусенці і притупити гострі кромки в місцях вказаних на ескізі стрілками в межах 0,1...0,4мм.

## 080 Свердлильна

1. Зенкерувати фаску в розмір  $0,6 \times 45^\circ$ .

## 085 Настільно-свердлильна

1. Свердлити наскрізний отвір в розмір  $\varnothing 1,2$ .

2. Зняти заусенці.

## 090 Промивка

1. Промити деталь по технології 0130040001

## 095 Маркування

1. Маркувати позначення деталі на бирку ударним способом

## 100 Контрольна

1. Контролювати деталь згідно креслення

## 105 Покриття

1. Здійснити покриття згідно технології ц.5 товщина шару 0,002...0,003 мм.

## 2.2. Обґрунтування та вибір металообробного обладнання

Вибір і обґрунтування технологічного обладнання виконуємо згідно рекомендацій [7]. Результати вибору записуємо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. Технологічне обладнання для реалізації технологічного процесу

№ операції	Назва операції	Назва і модель верстату
015	Токарно-револьверна з ЧПУ	Токарно-револьверний верстат моделі 1В340Ф30 з ЧПК

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

030	Горизонтально-фрезерна	Горизонтально-фрезерний верстат моделі 6P81Г
040	Горизонтально-фрезерна	Горизонтально-фрезерний верстат моделі 6P81Г
055	Безцентрово-шліфувальна	Безцентрово-шліфувальний верстат моделі 3M184
070	Горизонтально-фрезерна	Горизонтально-фрезерний верстат моделі 6P81Г
080	Настільно-свердлильна	Настільно-свердлильний верстат моделі 2H106П
085	Настільно-свердлильна	Настільно-свердлильний верстат моделі 2H106П

### 2.3. Обґрунтування та вибір різального та контрольно-вимірювального інструментів

Вибір і обґрунтування різального та контрольно-вимірювального інструментів виконуємо згідно рекомендацій [7]. Результати вибору записуємо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. Вибраний різальний та вимірювальний інструмент

Найменування і короткий зміст операції	Різальний інструмент	Вимірювальний інструмент
015 Токарно-револьверна з ЧПУ 1. Подати пруток до упора і закріпити. 2. Підрізати торець.  3. Точити в розмір Ø24 на довжину 50 мм. і Ø14 на довжину 42 мм.	Різець токарний прохідний ВК6М ТУ 2-035-892-82 Різець контурний ВК6М ТУ 2-035-892-82.	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 (ГОСТ166-80)  Скоба 24- <sub>0,33</sub> 50255090 Скоба 14- <sub>0,12</sub> У6024-6221 Шаблон R0,3



<p>4. Точити фаску в розмір 0,6×45°</p> <p>5. Зацентрувати деталь.</p> <p>6. Свердли в розмір Ø9 на глибину 50 мм.</p> <p>7. Зенкерувати отвір Ø10 мм.</p> <p>8. Розвернути отвір до Ø10,2 мм.</p> <p>9. Відрізати деталь в розмір 47,7мм.</p>	<p>Різець прохідний упорний ВК6М ТУ 2-035-892-82.</p> <p>Різець токарний прохідний ВК-8 ТУ 2-035-892-82</p> <p>Свердло центрувальне ГОСТ 6694-53</p> <p>Свердло спіральне Ø9 ГОСТ 10903-64</p> <p>Зенкер цільний Ø10 ОСТ 2И22-1– 80</p> <p>Розвертка цільна Ø10,2 ГОСТ 1672-71</p> <p>Різець відрізний ВК6М ТУ 48-19-307-80.</p>	<p>У50690003 Шаблон R0,5 У50690005</p> <p>Кутомір тип 4-10 ГОСТ 5378-88</p> <p>Калібр- Ø10,2<sup>+0,27</sup> У6023-5861</p>
<p>030 Горизонтально-фрезерна</p> <p>1. Фрезерувати паз згідно креслення.</p>	<p>Фреза фасонна із затілованими зубами Сталь Р18</p>	<p>Калібр Ø3мм.</p>
<p>040 Горизонтально-фрезерна</p> <p>1. Фрезерувати лиски згідно креслення.</p>	<p>Блок фрез Ø50 мм. ГОСТ 2679-73</p>	<p>Спецкалібр 10,5 мм, спецкалібр 8,5 мм</p>
<p>055 Безцентрово-шліфувальна</p> <p>1. Шліфувати поверхню витримуючи розмір Ø14<sub>-0,027</sub></p>	<p>Шліфкруг 64С12СМ1 К1 500×80×305 Алюмінієвий круг 1 300×80×203</p>	<p>Скоба 13,994 Скоба 6</p>
<p>070 Горизонтально-фрезерна</p> <p>1. Фрезерувати поверхню згідно креслення</p>	<p>Фреза Р18 ГОСТ 9304-69</p>	<p>Скоба У6062-2628</p>
<p>080 Настільно-свердлильна</p> <p>1. Зенкерувати отвір витримуючи розмір 0,6×45°.</p>	<p>Зенкер цільний твердосплавний ГОСТ 21544-76</p>	<p>Шаблон 0,6×45°</p>
<p>085 Настільно-свердлильна</p> <p>1. Свердли в отвір витримуючи розмір Ø1,2мм.</p>	<p>Свердло Ø1,2 ГОСТ 10903-64</p>	<p>Калібр Ø1,2мм Штангенглибиномір ШГ-160</p>

## 2.4. Визначення припусків

Проведемо розрахунок припусків на поверхню Ø14<sub>-0,027</sub> за методикою,

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

приведеною у [8].

Загальна кривизна заготовки

$$\rho_{\kappa} = \Delta_{\kappa} \cdot l, \quad (2.1)$$

де  $\Delta_{\kappa}$  – питома кривизна заготовок в мкм на 1мм довжини,  $l$  – довжина заготовки, мм,  $l = 1000\text{мм}$ ;

$$\rho_{\kappa} = 1.3 \cdot 1000 = 1300 \text{ мкм}$$

Кінцева величина просторових відхилень:

$$\rho_1 = 0.08 \cdot 1300 = 104 \text{ мкм}; \rho_2 = 0.06 \cdot 1300 = 78 \text{ мкм};$$

$$\rho_3 = 0.04 \cdot 1300 = 52 \text{ мкм}; \rho_4 = 0.02 \cdot 1300 = 26 \text{ мкм}$$

Розрахунок мінімальних значень припусків проводиться за формулою:

$$2 \cdot Z_{\min} = 2 \cdot (R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1}) \quad (2.2)$$

Підставивши значення у залежність (2.2) отримаємо:

$$2 \cdot Z_{1\min} = 2 \cdot (150 + 250 + 1300) = 2 \cdot 1700 \text{ мкм}$$

$$2 \cdot Z_{2\min} = 2 \cdot (50 + 50 + 104) = 2 \cdot 204 \text{ мкм}$$

$$2 \cdot Z_{3\min} = 2 \cdot (30 + 30 + 78) = 2 \cdot 138 \text{ мкм}$$

$$2 \cdot Z_{4\min} = 2 \cdot (10 + 10 + 52) = 2 \cdot 72 \text{ мкм}$$

$$2 \cdot Z_{5\min} = 2 \cdot (5 + 5 + 26) = 2 \cdot 36 \text{ мкм}$$

Визначення розрахункових діаметрів:

$$d_{p1} = d_{p0} - 2Z_{\min1} = 19,736 - 2 \cdot 1.7 = 16,336 \text{ мм}$$

$$d_{p2} = d_{p1} - 2Z_{\min2} = 19,528 - 2 \cdot 0.2 = 19,128 \text{ мм}$$

$$d_{p3} = d_{p2} - 2Z_{\min3} = 14,92 - 2 \cdot 0.12 = 14,68 \text{ мм}$$

$$d_{p4} = d_{p3} - 2Z_{\min4} = 14,524 - 2 \cdot 0.072 = 14,38 \text{ мм}$$

Визначення граничних діаметрів:  $d_{\min} = d_p$ ;

$$d_{\max0} = d_{\min0} + \delta_0 = 19,73 + 2.4 = 22,13 \text{ мм}$$

$$d_{\max1} = d_{\max1} + \delta_1 = 15,52 + 0.4 = 15,92 \text{ мм}$$

$$d_{\max2} = d_{\max2} + \delta_2 = 14,92 + 0.12 = 15,04 \text{ мм}$$

$$d_{\max3} = d_{\max3} + \delta_3 = 14,52 + 0.06 = 14,58 \text{ мм}$$

$$d_{\max4} = d_{\max4} + \delta_4 = 14 + 0.018 = 14,018 \text{ мм}$$

Визначення граничних значень припусків:

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Точіння	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Чорнове	30	30	78	-	2·204	14,92		14,9	15,0	0,6	0,88
Чорнове							120	2	4		
Чистове	10	20	52	-	2·138	14,524				0,4	0,46
							60	14,52	14,58		
Шліфування чистове	-	-	26	-	2·72	14	18	14	14	0,22	0,262

Решту припусків і операційних розмірів визначаємо табличним методом за методикою, приведеною у [9], та заносимо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4. Визначення припусків

Поверхня	Розмір, мм	Припуск, мм	Допуск, мм
3	0.6×45°	1	+0.36
4	45h14	1	-0.62
5	3 h14	1.5	-0.25
6	Ø1.2H14	1.2	+0.25
7	10.5 h14	1.5	-0.43
8	1.5 h14	0.5	-0.25
9	1 h14	0.5	-0.25
10	6 h14	1	-0.3
11	8.5 h14	1	-0.36
12	11 h14	1.5	-0.43

## 2.5. Розрахунок режимів різання

Проведемо розрахунок режимів різання на токарну обробку поверхні Ø14. Для обробки вибрано різець токарний прохідний з твердосплавною пластинкою ВК6 по ТУ 2-035-892-82 φ=45°.

Глибина різання – t=3 мм.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

За [10] вибираємо подачу  $S=0,08$  мм/об.

Швидкість різання визначається за формулою [10]:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v, \quad (2.3)$$

де  $C_v$ ,  $m$ ,  $x$ ,  $y$  – зміні параметри, значення яких за [10] будуть мати значення:  $C_v=420$ ,  $m=0.20$ ,  $x=0,15$ ,  $y=0.20$ ;

$T$  – стійкість різця,  $T=60$  хв.

$K_v$  – поправочний коефіцієнт, який за [10] визначається за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv}, \quad (2.4)$$

де  $K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні деталі,  $K_{mv}=1$  [10];

$K_{iv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив інструмента,  $K_{iv}=0.9$  [10];

$K_{nv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки  $K_{nv}=1$  [10].

Підставивши значення у (2.4) та (2.3) отримаємо:

$$V_p = \frac{420}{60^{0.20} \cdot 0.5^{0.15} \cdot 0.1^{0.20}} = 234 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 234}{3.14 \cdot 40} = 1862 \text{ об/хв}$$

Приймаємо частоту обертання шпинделя  $n_{\text{дійс.}}=2000$  об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 14 \cdot 2000}{1000} = 251 \text{ м/хв.}$$

Сила різання визначається за формулою [10]:

$$P_z = 10 C_p t^x S^y V^n K_p \quad (2.5)$$

де  $C_p$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $n$  – зміні параметри, значення яких за [10] будуть мати значення:  $C_p=300$ ,  $x=1$ ,  $y=0,75$ ,  $n=0$ ;

$K_p$  – поправочний коефіцієнт, який рівний  $K_p=1.0$ .

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Підставивши значення у (2.5) отримаємо:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3^1 \cdot 0,08^{0,75} \cdot 251^0 \cdot 1 = 1354H$$

Потужність різання

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1354 \cdot 251}{1020 \cdot 60} = 5,5кВт$$

Перевірка можливості обробки на верстаті:

$$N_{un} \geq N_p$$

Потужність на шпинделі верстата:

$$N_{un} = N_{ов.} \cdot \eta = 15 \cdot 0,8 = 12кВт$$

Так як  $N_{un} = 12кВт > N_p = 5,5$ , то обробка на даному верстаті можлива.

Основний час обробки визначається за формулою [10]:

$$t_o = \frac{L_p}{n \cdot S} \cdot i, \quad (2.6)$$

де  $L_p$  – довжина ходу різця;

$i$  – число проходів,  $i = 1$ .

Довжина ходу різця визначається за формулою:

$$L_p = L + \Delta + y, \quad (2.7)$$

де  $L$  – довжина обробки,  $L = 42$  мм;

$\Delta$  – величина врізання,  $\Delta = 1$  мм;

$y$  – величина перебігу,  $y = 1,5$  мм.

Підставивши значення у (2.7) отримаємо:

$$L_p = 42 + 1 + 1,5 = 44,5 \text{ мм}$$

Підставивши значення у (2.6) отримаємо:

$$t_o = \frac{44,5}{2000 \cdot 0,08} \cdot 1 = 0,27хв$$

Проведемо розрахунок режимів різання на свердління отворів  $\varnothing 1,2$

В якості інструменту вибираємо спіральне сверло  $\varnothing 1,2$

Глибина різання –  $t=0,6$  мм.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

За [10] вибираємо  $S=0.06$  мм/об.

Швидкість різання визначається за формулою [10]:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v, \quad (2.8)$$

де  $C_v$ ,  $m$ ,  $x$ ,  $y$  – зміні параметри, значення яких за [10] будуть мати значення:  $C_v = 9.8$ ,  $m = 0.20$ ,  $y = 0.50$ ,  $q = 0.4$ ;

$T$  – стійкість сверла,  $T = 60$  хв;

$K_v$  – поправочний коефіцієнт, який за [10] визначається за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv}, \quad (2.9)$$

де  $K_{nv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні деталі,  $K_{nv} = 1$  [10];

$K_{iv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу,  $K_{iv} = 0.9$  [10];

$K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки  $K_{mv} = 1$ .

Підставивши значення у (2.9) та (2.8) отримаємо:

$$V_P = \frac{9.8 \cdot 1.2^{0.4}}{60^{0.20} \cdot 0.06^{0.5}} \cdot 0.9 = 17.4 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V_P}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 17.4}{3.14 \cdot 1.2} = 4615 \text{ об/хв}$$

Коректуємо обертання шпинделя по паспортних даних верстата:

$$n_{\text{факт}} = 4000 \text{ об/хв.}$$

Дійсна швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 1.2 \cdot 4000}{1000} = 15 \text{ м/хв.}$$

Крутний момент свердла визначається за формулою [10]:

$$M_{кр} = 10 C_m D^q S^y K_p, \quad (2.10)$$

де  $C_m$ ,  $y$ ,  $q$  – зміні параметри, значення яких за [10] будуть мати значення:

$$C_m = 0.0345, \quad y = 0.8, \quad q = 2,$$

$K_p$  – поправочний коефіцієнт, який рівний  $K_p = 1.0$  [10].

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Підставивши значення у (2.10) отримаємо:

$$M_{KP} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 1,2^2 \cdot 0,06^{0,8} \cdot 1 = 0,05 \text{ Нм}$$

Потужність різання

$$N_p = \frac{M_{KP} \cdot n}{9750} = \frac{0,03 \cdot 4000}{9750} = 0,012 \text{ кВт}$$

Перевірка можливості обробки на верстаті

$$N_{ун} \geq N_p$$

Потужність на шпинделі верстата:

$$N_{ун} = N_{дв} \cdot \eta = 0,4 \cdot 0,8 = 0,32 \text{ кВт.}$$

Так, як  $N_{ун} = 0,32 \text{ кВт} > N_p = 0,012 \text{ кВт}$ , то обробка на даному верстаті можлива.

Основний час обробки визначається за формулою [10]:

$$t_o = \frac{L_p}{n \cdot S} \cdot i, \quad (2.11)$$

де  $L_p$  – довжина ходу свердла;

$i$  – число проходів,  $i = 1$ .

Довжина ходу свердла визначається за формулою:

$$L_p = L + \Delta + y \quad (2.12)$$

де  $L$  – довжина обробки,  $L = 1,5 \text{ мм}$ ;

$\Delta$  – величина врізання,  $\Delta = 0,3 \text{ мм}$ ;

$y$  – величина перебігу,  $y = 0,1 \text{ мм}$ .

Підставивши значення у (2.12) отримаємо:

$$L_p = 1,5 + 0,3 + 0,1 = 1,9 \text{ мм.}$$

Підставивши значення у (2.11) отримаємо:

$$t_o = \frac{1,9}{4000 \cdot 0,06} = 0,08 \text{ хв.}$$

Інші визначені режими різання заносимо таблицю 2.5.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Таблиця 2.5. Режими різання для технологічних операцій

Назва операції і переходу	t, мм	S <sub>z</sub> мм/хв	S <sub>o</sub> , мм/об	V, м/хв	n, об/хв	T <sub>оп</sub> , хв
015 Токарно-револьверна з ЧПУ						
1. Подати пруток до упору і закріпити.						
2. Підрізати торець	1		0,08	251	2000	0,4
3. Точити в розмір Ø24, Ø14	3		0,08	251	2000	0,8
4. Точити фаску 0,6×45°	0,6		0,4	150	1000	0,4
5. Зацентрувати деталь	1,5		0,07	15	200	0,3
6. Свердлити отвір Ø9	4,5		0,2	65	1000	0,2
7. Зенкерувати отвір Ø10	0,5		0,15	50	800	0,07
8. Розвернути отвір до Ø10,2 мм	0,1		0,7	53	200	0,06
9. Відрізати деталь в розмір 48 мм.	2		0,08	150	1000	0,4
030 Горизонтально-фрезерна						
Фрезерувати паз 3 <sup>+05</sup> мм на довжину 6 мм	3	0,15	-	80	250	0,5
040 Горизонтально-фрезерна						
Фрезерувати дві лиски в розміри 8,5±0,2 та 10,5±0,2	0,1	-	0,1	25	250	0,3
055 Безцентрово-шліфувальна						
Шліфувати поверхню в розмір Ø14 <sub>-0,027</sub> на довжину 47 <sup>+0,15</sup>	0,6		0,09	45	180	0,4

070 Горизонтально-фрезерна Фрезерувати поверхню в розмір 3 <sub>-0,25</sub> та 1,5 <sub>-0,25</sub>	3	0,08	-	150	400	0,2
080 Свердлильна Зенкерувати фаску в розмір 0,6×45°	0,03	-	0,5	30	1000	0,2
085 Настільно-свердлильна Свердлити отвір в розмір Ø1,2	0.6	-	0.6	65	300	0.03

## 2.6. Розрахунок норм часу

Штучно-калькуляційний час на операції визначається за залежністю [1]:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{он}} + T_{\text{тех}} + T_{\text{орг}} + T_{\text{відп}} \quad (2.13)$$

де  $T_{\text{он}}$  - операційний час

$T_{\text{тех}}$  – технологічний час, який визначається за формулою [1]:

$$T_{\text{тех}} = \frac{T_{\text{зм}} \cdot T_{\text{он}}}{200}; \quad (2.14)$$

$T_{\text{зм}}$  – додатковий час на зміну та установку інструменту;

$T_{\text{орг}}$  – організаційний час (2,4% від  $T_{\text{он}}$ ) [1];

$T_{\text{відп}}$  – час на відпочинок (6% від  $T_{\text{он}}$ ) [1].

За залежністю (2.13) визначасмо  $T_{\text{шт}}$  по операціях:

015 Токарно-револьверна з ЧПУ

$$T_{\text{он}} = 1,05 + 1,05 + 2,1 + 0,85 + 1,15 = 6,2 \text{ хв}; \quad T_{\text{зм}} = 0,26 \text{ хв};$$

$$T_{\text{тех}} = \frac{6,2 \cdot 0,26}{200} = 0,03 \text{ хв};$$

$$T_{\text{орг}} = \frac{6,2 \cdot 2,4}{100} = 0,08 \text{ хв};$$

$$T_{\text{відп}} = \frac{6,2 \cdot 6}{100} = 0,12 \text{ хв};$$

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

$$T_{um}=6,2+0,03+0,08+0,12=6,4 \text{ хв.}$$

#### 030 Горизонтально-фрезерна

$$T_{on}= 2,2 \text{ хв}; \quad T_{зм}= 0,23 \text{ хв};$$

$$T_{mex} = \frac{2,2 \cdot 0,23}{200} = 0,00253 \text{ хв};$$

$$T_{opz} = \frac{2,2 \cdot 2,4}{100} = 0,05 \text{ хв};$$

$$T_{vidn} = \frac{2,2 \cdot 6}{100} = 0,132 \text{ хв};$$

$$T_{um}=2,2+0,0025+0,05+0,132=2,38 \text{ хв.}$$

#### 040 Горизонтально-фрезерна

$$T_{on}= 2,2 \text{ хв}; \quad T_{зм}= 0,36 \text{ хв};$$

$$T_{mex} = \frac{2,2 \cdot 0,36}{200} = 0,00396 \text{ хв};$$

$$T_{opz} = \frac{2,2 \cdot 2,4}{100} = 0,05 \text{ хв};$$

$$T_{vidn} = \frac{2,2 \cdot 6}{100} = 0,132 \text{ хв};$$

$$T_{um}=2,2+0,00396+0,05+0,132=2,38 \text{ хв.}$$

#### 055 Безцентрово-шліфувальна

$$T_{оп}= 0,9 \text{ хв}; \quad T_{зм}= 0,20 \text{ хв};$$

$$T_{mex} = \frac{0,20 \cdot 0,9}{200} = 0,0009 \text{ хв};$$

$$T_{opz} = \frac{0,9 \cdot 2,4}{100} = 0,0216 \text{ хв};$$

$$T_{vidn} = \frac{0,9 \cdot 6}{100} = 0,054 \text{ хв};$$

$$T_{um}=0,9+0,0009+0,0216+0,054=0,97 \text{ хв.}$$

#### 070 Горизонтально-фрезерна

$$T_{on}= 2,2 \text{ хв}; \quad T_{зм}= 0,36 \text{ хв};$$

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$T_{\text{мех}} = \frac{2.2 \cdot 0.36}{200} = 0.00396 \text{ хв};$$

$$T_{\text{опг}} = \frac{2.2 \cdot 2.4}{100} = 0.05 \text{ хв};$$

$$T_{\text{відп}} = \frac{2.2 \cdot 6}{100} = 0.132 \text{ хв};$$

$$T_{\text{ум}} = 2.2 + 0.00396 + 0.05 + 0.132 = 2.38 \text{ хв.}$$

080 Свердлильна

$$T_{\text{он}} = 0.95 \text{ хв}; \quad T_{\text{зм}} = 0.13 \text{ хв};$$

$$T_{\text{мех}} = \frac{0.13 \cdot 0.95}{200} = 0.0006 \text{ хв};$$

$$T_{\text{опг}} = \frac{0.95 \cdot 2.4}{100} = 0.022 \text{ хв};$$

$$T_{\text{відп}} = \frac{0.95 \cdot 6}{100} = 0.057 \text{ хв};$$

$$T_{\text{ум}} = 0.95 + 0.0006 + 0.022 + 0.057 = 1.03 \text{ хв.}$$

085 Настільно-свердлильна

$$T_{\text{он}} = 0.85 \text{ хв}; \quad T_{\text{зм}} = 0.13 \text{ хв};$$

$$T_{\text{мех}} = \frac{0.13 \cdot 0.85}{200} = 0.0005 \text{ хв};$$

$$T_{\text{опг}} = \frac{0.85 \cdot 2.4}{100} = 0.02 \text{ хв};$$

$$T_{\text{відп}} = \frac{0.85 \cdot 6}{100} = 0.051 \text{ хв};$$

$$T_{\text{ум}} = 0.85 + 0.0005 + 0.02 + 0.051 = 0.92 \text{ хв};$$

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

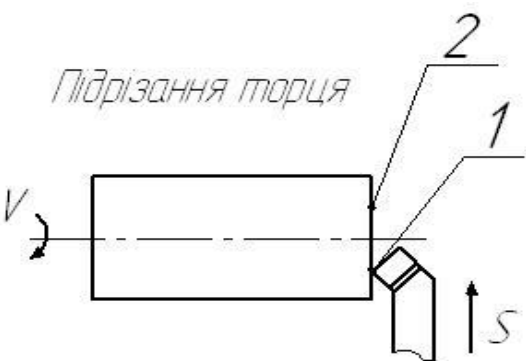
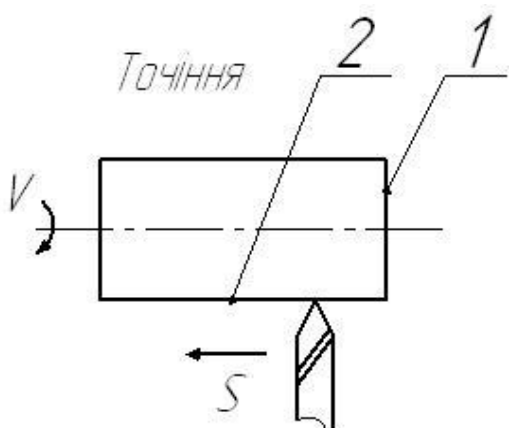
### 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1. Розробка структурно-кінематичної та кінематичної схеми верстата

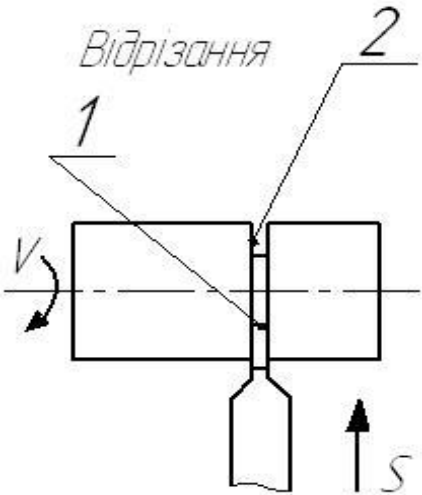
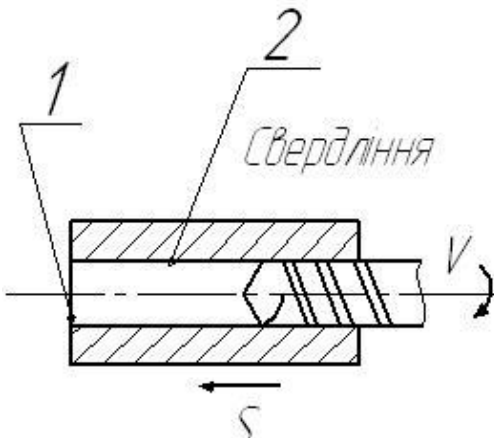
Основою для розробки структурно-кінематичної схеми токарно-револьверного верстату з ЧПК є набір виконавчих рухів, які визначаються із аналізу формоутворення оброблюваних поверхонь [11].

Виходячи із технологічних можливостей верстата-аналога схеми обробки поверхонь, методи їх утворення та формоутворюючі і інші виконавчі рухи верстата приведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Формоутворення поверхонь

Схема обробки	Методи формоутворення	Формоутворюючі рухи	$\Phi_{\Sigma} = \sum \Phi$	Інші виконавчі рухи
	1 - слід	$\Phi_V(O_1)$	2	Уст (П <sub>3</sub> )
	2 - слід	$\Phi_S(\Pi_2)$		
	1 - слід	$\Phi_V(O_1)$	2	Уст.(П <sub>3</sub> )
	2 - слід	$\Phi_S(\Pi_2)$		

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ					Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Савченко С.М.									Н		36	23
Перевірів	Буховець В.М.									ТНТУ, ФМТ гр. МВЗ-41			
Н. контр.	Кобельник В.Р.												
Затв.	Крупа В.В.												

	1 – копіювання	0	1	Вр(П <sub>2</sub> ) Уст(П <sub>3</sub> )
	2 - слід	$\Phi_V(O_1)$		
	1- слід	$\Phi_V(O_1)$	2	Уст(П <sub>3</sub> )
	2 - слід	$\Phi_S(\Pi_2)$		

Структурно-кінематичну схему розробляємо на основі рухів формоутворення та інших виконавчих рухів [11].

Розроблена структурно-кінематична схема (рис. 3.1) включає наступні кінематичні групи:

- група головного руху;
- група поздовжньої подачі револьверного супорта;
- група поперечної подачі револьверного супорта;
- група повороту револьверної головки.

Зовнішні та внутрішні кінематичні зв'язки для кінематичних груп будуть наступними.

1. Кінематична група головного руху ( $\Phi_V(O_1)$ ).

Внутрішній кінематичний зв'язок – кінематичне з'єднання шпинделя з підшипниками.

Зовнішній кінематичний зв'язок – ланцюг головного руху

$$M_1 - PE - 2 - i_v - 3 - C_1 - 4.$$

Умова узгодження рухів:  $n_{дв1} \rightarrow n_{шп.}$

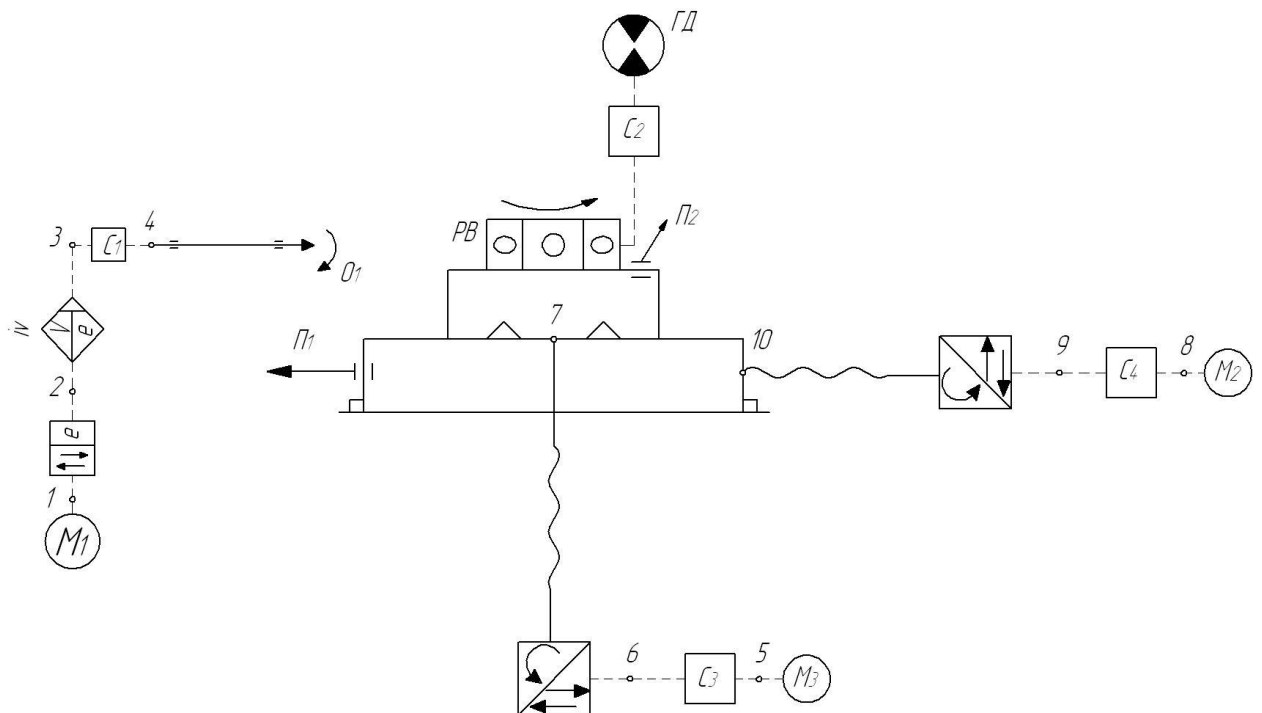


Рис. 3.1. Структурно-кінематична схема токарно-револьверного верстата

2. Кінематична група поздовжньої подачі револьверного супорта ( $\Phi_{S1}(\Pi_2)$ ).

Внутрішній кінематичний зв'язок – кінематичне з'єднання поздовжнього супорта із напрямними станини.

Зовнішній кінематичний зв'язок – ланцюг поздовжньої подачі револьверного супорта

$$M_2 - 8 - C_4 - 9 - МПР - 10.$$

Умова узгодження рухів:  $n_{дв2} - S_{позд}, \text{ мм/хв.}$

3. Кінематична група поперечної подачі револьверного супорта ( $\Phi_{S2}(\Pi_3)$ ).

Внутрішній кінематичний зв'язок – кінематичне з'єднання поперечного супорта із напрямними поздовжнього супорта.

Зовнішній кінематичний зв'язок – ланцюг поперечної подачі револьверного супорта

$$M_3 - 5 - C_3 - 6 - МПР - 7.$$

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

Умова узгодження рухів:  $n_{\text{двз}} - S_{\text{поп}}$ , мм/хв.

### 3.2. Вибір структури приводу головного руху

Всі конструкції приводів головного руху токарних верстатів з ЧПК можна класифікувати наступним чином. По числу діапазонів регулювання механічних передач: прямий привід (без коробки швидкостей); привід з двох- трьох- або чотирьохдіапазонними коробками механічних передач. По компоновці: привід, який містить мотор-шпиндель; розділений привід; привід з термічно розділеними корпусами; привід з коробкою швидкостей, вмонтованою в шпиндельну бабку. По типу привідного елемента, що передає обертання шпинделю: без механічного привідного елемента (мотор-шпиндель); з пасовою передачею; з зубчастою передачею; комбінований привід. По системі автоматичного перемикання передач в коробках швидкостей: з електромеханічною системою перемикання передач; з гідравлічною системою перемикання передач; з електромагнітними муфтами.

Структуру лінії приводу формуємо наступним чином: двигун безступеневого регулювання; поліклинова пасова передача; виконавчий орган (шпиндельний вузол) (рис.3.2).

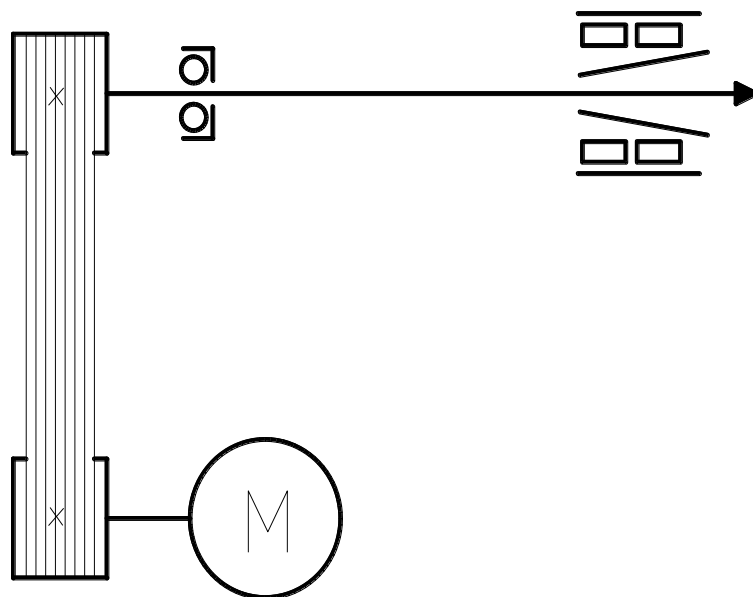


Рисунок 3.2. Структура лінії приводу.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39



### 3.3. Розрахунок і вибір основних технічних характеристик приводу головного руху

#### 3.3.1. Обґрунтування і розрахунок кінематичних характеристик приводу

По заданому  $D_{\text{найб}}$  на підставі досвіду проектування визначається максимальний зовнішній діаметр, що обробляється над супортом за залежністю [12]:

$$D_{\text{max}} = C_{\text{п}} \times D_{\text{найб}}, \quad (3.1)$$

де  $C_{\text{п}} = 0,52 - 0,55$  - коефіцієнт висоти каретки супорта

Мінімальний діаметр оброблюваного виробу [12]:

$$D_{\text{min}} = 0,25 \times D_{\text{max}}. \quad (3.2)$$

Вироби, діаметри яких знаходяться між знайденими  $D_{\text{max}}$  і  $D_{\text{min}}$  є найбільш економічними для обробки на верстаті даного типорозміру. Для виробів, діаметри яких виходять за ці межі, економічніше застосовувати верстат іншого типорозміру (більшого або меншого). У токарно-револьверних верстатів  $D_{\text{найб}}$  (мм) із знаменником ряду  $\phi = 1,26$ : 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000.

Для пруткових заготовок  $D_{\text{max}} = 40$  мм, а  $D_{\text{min}} = 0,5 D_{\text{max}} = 20$  мм.

Орієнтовно визначаються максимальна і мінімальна глибина різання за залежностями [12]:

$$t_{\text{max}} = C_t \times (D_{\text{max}})^{1/3} = 0.7 \times 40^{1/3} = 2.39 \text{ мм}, \quad (3.3)$$

$$t_{\text{min}} = 0.7 + 0.025 (D_{\text{min}})^{1/2} = 0.7 + 0.025 \cdot 20^{1/2} = 0.81 \text{ мм}, \quad (3.4)$$

де  $C_t$  - коефіцієнт, залежний від оброблюваного виробу ( $C_t \approx 0.7$ ).

Орієнтовно визначаються подачі по формулі [12]:

$$S_{\text{max}} = 0.17 \times (D_{\text{max}})^{1/3} + (t_{\text{max}} - 2) \times 0.15 = 0.17 \times 40^{1/3} + (2.39 - 2) = 0.63 \text{ мм/об.} \quad (3.5)$$

Мінімальна подача  $S_{\text{min}}$  розраховується виходячи з вимог до шорсткості поверхні, що досягається після чистової обробки, і приймається рівною подачі для  $R_a$ , що складає 2.5...1.25. Якщо фізико-механічні властивості оброблюваних сталей відрізняються від табличних, вводиться поправочний коефіцієнт  $K_{\text{мс}}$ .

Визначаються максимальні  $V_{\text{max}}$  і мінімальні  $V_{\text{min}}$  швидкості різання.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

У загальному випадку [12]:

$$V = C_v \times K_v / (T^m \times t^{X_v} \times S^{Y_v}), \text{ м/хв}, \quad (3.6)$$

де  $C_v$  - коефіцієнт, що враховує матеріал і геометрію ріжучої частини різця, вид обробки і оброблюваний матеріал;  $T$  - стійкість різця, хв;  $K_v$  - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив різних чинників на швидкість різання і приблизно визначається по формулі [12]:

$$K_v = K_{mv} K_{nv} = 1.3, \quad (3.7)$$

де  $K_{mv}$  і  $K_{nv}$  – поправочні коефіцієнти на матеріали виробу і різального інструменту.

Максимальна швидкість різання  $V_{\max}$  розраховується для чистових операцій (при  $t_{\min}$  і  $S_{\min}$ ) при обробці найм'якшого із заданих матеріалів найбільш продуктивним інструментом:

$$V_{\max} = (C_v, K_v)_{\text{найб}} / (T^m \times t_{\min}^{X_v} \times S_{\min}^{Y_v}) \leq V_{\text{доп}}, \quad (3.8)$$

$$V_{\max} = 34.2 \times 1.3 / (70^{0.3} \times 0.8^1 \times 0.03^{0.3}) = 44,02 \text{ м/хв}.$$

З урахуванням прогресивного ріжучого інструменту  $V_{\max} = 150 \text{ м/хв}$ .

Допустима швидкість різання  $V_{\text{доп}}$  обмежується коловою швидкістю в зубчатих передачах і підшипниках.

Мінімальна швидкість різання  $V_{\min}$  розраховується для чорнових операцій (при  $t_{\max}$  і  $S_{\max}$ ) при обробці найтвердішого із заданих матеріалів найменш продуктивним інструментом:

$$V_{\min} = (C_v, K_v)_{\text{наим}} / (T^m \times t_{\max}^{X_v} \times S_{\max}^{Y_v}), \quad (3.9)$$

$$V_{\min} = 34.2 \times 1.3 / (70^{0.3} \times 2.39^1 \times 0.63^{0.3}) = 5,98 \text{ м/хв}.$$

Знайдене значення  $V_{\min}$  порівнюється з іншими видами обробки, наприклад, при нарізанні різьби мітчиками і плашками, і вибирається саме менше значення.

Знаходимо максимальну  $n_{\max}$  і мінімальну  $n_{\min}$  частоти обертання припускаючи, що з найбільшою швидкістю різання обробляються вироби найменших діаметрів, а з найменшою – найбільших.

$$n_{\max} = 1000 \times V_{\max} / \pi D_{\min} = 1000 \times 150 / \pi \times 20 = 2388 \text{ хв}^{-1}, \quad (3.10)$$

$$n_{\min} = 1000 \times V_{\min} / \pi D_{\max} = 1000 \times 6 / \pi \times 40 = 47 \text{ хв}^{-1}. \quad (3.11)$$

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Приймаємо  $n_{\max}=2500 \text{ хв}^{-1}$ , та  $n_{\min}=10 \text{ хв}^{-1}$  (з врахуванням нарізання різьби мітчиками і плашками).

### 3.3.2. Кінематичний розрахунок приводу

Діапазон регулювання приводу:

$$R = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{2500}{10} = 250.$$

Діапазон регулювання двигуна:

$$R_{\text{Д}} = \frac{n_{\text{Д}\max}}{n_{\text{Д}\min}} = \frac{3500}{100} = 35.$$

Діапазон регулювання двигуна при постійній потужності:

$$R_{\text{Д.Р}} = \frac{n_{\text{Д}\max}}{n_{\text{Д.н}}} = \frac{3500}{1500} = 2,3.$$

Діапазон регулювання двигуна при постійному моменті:

$$R_{\text{Д.М}} = \frac{R_{\text{Д}}}{R_{\text{Д.Р}}} = \frac{35}{2,3} = 15,2.$$

Діапазон регулювання шпинделя при постійній потужності:

$$R_{\text{Р}} = \frac{R}{R_{\text{Д.М}}} = \frac{250}{15,2} = 16,4.$$

### 3.3.3. Визначення навантажень на привід та визначення потужності електродвигуна

Для головних приводів токарних верстатів номінальний розрахунковий крутний момент на шпинделі  $M_{\text{н.р.}}$  [12, 13]:

$$M_{\text{Н.Р}} = C_1 \cdot C_2 \cdot D_{\max}; \quad (3.12)$$

де  $C_1$  - коефіцієнт, що враховує силу різання; для верстатів з ЧПУ, як в даному випадку його значення необхідно помножити на 1,2-1,25, що становить

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

$$C_1 = 1250 \cdot 1.25 = 1562.5;$$

$C_2$  - коефіцієнт, що враховує коливання силу різання і залежить від типу з'єднання приводу зі шпинделем або шпиндельною бабкою,  $C_2=1$ ;

$D_{\max}$  - найбільший діаметр оброблюваної на верстаті заготовки, мм.

Підставивши значення у (3.12) отримаємо:

$$M_{H.P} = 1562.5 \cdot 1 \cdot 0.2 = 312 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Втрати потужності в приводі головного руху верстату складаються із втрат в його механічній та електричній частинах. Втрати потужності в механічній частині можна розділити на постійні і навантажувальні. Постійні втрати не залежать від корисного навантаження і обумовленні тертям в підшипниках, передачах, перемішуванні масла при холостому обертанні приводу.

Постійні втрати потужності на валу і на шпинделі при кожній частоті обертання обчислюють сумуванням втрат в пасовій і зубчастих передачах, підшипниках та інших елементах.

Постійні втрати потужності в пасовій передачі визначається за формулою [12, 13]:

$$\Delta P_{x.p} = C_p \cdot z \cdot V_p \left( \frac{1}{d_{u1}^2} + \frac{1}{d_{u2}^2} \right), \quad (3.13)$$

де  $z$  - число пасів,  $z=6$ ;

$d_{u1}^2, d_{u2}^2$  - діаметр ведучого і веденого шківів, см;

$V_p$  - швидкість паса, м/с;

$C_p$  - коефіцієнт, що враховує тип паса, що визначається за залежністю:

$$C_p = k_1 + k_2 \cdot V_p, \quad (3.14)$$

де  $k_1, k_2$  - коефіцієнти, які для поліклінових пасів рівні:  $k_1=2.15$ ;  $k_2=0.008$ .

Підставивши значення у (3.14) отримаємо:

$$C_p = 2.15 + 0.008 \cdot 32.7 = 2.4.$$

Підставивши значення у (3.13) отримаємо:

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\Delta P_{x.p} = 2,4 \cdot 6 \cdot 32,7 \left( \frac{1}{25^2} + \frac{1}{25^2} \right) = 1,5 \text{ кВт}.$$

Навантажувальні втрати потужності в полікліновій пасовій передачі визначаються за залежністю [12, 13]:

$$\Delta P_{n.p} = 3 \cdot 10^{-5} \cdot \varphi \cdot F \cdot V_p, \quad (3.15)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт тяги, що враховує попередній натягу пасу; для поліклінових передач з перерізами пасів К, Л, М  $\varphi$  відповідно рівне 2.0, 0.8, 0.5;

$F$  - передана колова сила, Н;

$V_p$  - швидкість паса, м/с.

Підставивши значення у (3.15) отримаємо:

$$\Delta P_{n.p} = 3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot 32,7 = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ кВт}.$$

Коефіцієнт корисної дії механічної частини приводу можна визначити із залежності [12, 14]:

$$\eta = \left( 1 - \frac{P_x}{P_i} \right) \cdot \eta_p^\alpha \cdot \eta_3^\beta \cdot \eta_{II}^\gamma, \quad (3.16)$$

де  $P_i$  – потужність на вхідному валу приводу, кВт;

$\eta_p^\alpha \cdot \eta_3^\beta \cdot \eta_{II}^\gamma$  – середнє значення ККД відповідно пасової, зубчатої передач та підшипника;

$\alpha, \beta, \gamma$  – число пасових, зубчатих передач, підшипників кочення в механічній частині приводу.

Підставивши значення у (3.16) отримаємо:

$$\eta = \left( 1 - \frac{2}{15} \right) \cdot 0,98^1 \cdot 0,99^2 = 0,83.$$

Ефективна потужність визначається по формулі:

$$P_{ef} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020}, \quad (3.17)$$

де  $P_z$  – сила різання, яка визначається за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P. \quad (3.18)$$

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

Підставивши значення у формулу  $C_p = 300; x = 1.0; y = 0.75; n = -0.15; K_p = 1$   
 $t = 4\text{мм}; S = 0,4\text{мм/об}$  отримаємо

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 5^{1,0} \cdot 0,4^{0,75} \cdot 289^{-0,15} \cdot 1 = 2580\text{H}$$

Тоді за залежністю (4.16) отримаємо:

$$P_{ef} = \frac{2580 \cdot 289}{60 \cdot 1020} = 12,2\text{кВт}.$$

Визначаємо втрати потужності на холості ходи:

$$P_{x.x} = \Delta P_{x.p} + \Delta P_{n.p} = 1,5 + 0,002 = 1,502 \text{ кВт}.$$

Визначаємо потужність електродвигуна:

$$P_d = P_{ef} + P_{x.x} = 12,2 + 1,502 = 13,702 \text{ кВт}.$$

По визначеній потужності вибираємо електродвигун постійного струму серії МР-132 LA. Його номінальна потужність складає  $N_d = 15 \text{ кВт}$  та максимальна частота обертання  $n_{\max} = 3500 \text{ об/хв}$ .

### 3.4. Розрахунок поліклинової пасової передачі приводу головного руху

Основними критеріями по працездатності поліклинових передач є тягова здатність і довговічність за числом пробігу контурів паса. При проектуванні поліклинової передачі залежно від умов роботи вибирають тип паса або від передаваної потужності і швидкості згідно з ГОСТ 12.84.3-80.

В більшості випадків діаметр ведучого шківа передачі вибирають за ГОСТом 20889-88 залежно від вибраного типу перерізу паса.

Розрахунковий момент на швидкохідному валу:

$$T_1 \approx \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n_1 \cdot K_p}. \quad (3.19)$$

де  $K_p$  - коефіцієнт режиму роботи згідно [13, 14]

$P$  - передавана потужність, кВт;

$n_1$  - частота обертання, об/хв.

Підставивши значення у (3.19) отримаємо:

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$T_1 \approx \frac{30 \cdot 15 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 2500 \cdot 0,9} = 636 \text{ Нм.}$$

При значенні моменту 636 Нм, згідно рекомендацій приймаємо січення паса М.

Діаметр меншого шківів визначаємо за залежністю:

$$d_1 \approx 3 \cdot \sqrt[3]{T_1} = 3 \cdot \sqrt[3]{636 \cdot 10^3} = 258 \text{ мм.}$$

Згідно [13, 14] приймаємо найближчий діаметр  $d_1=D=250$  мм.

Швидкість паса:

$$V = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 250 \cdot 2500}{60000} = 32,7 \text{ м/с.}$$

Передаточне число:

$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{250}{250} = 1.$$

Згідно [13, 14] визначаємо необхідне число клинів  $z=6$ .

Орієнтовно, виходячи з конструкції привода, приймають міжосьову відстань передачі:

$$a \geq (0,75 \dots 0,8) (D_1 + D_2) \geq 0,75(250 + 250) = 375 \text{ мм.}$$

Визначаємо розрахункову довжину паса:

$$l = 2a + \frac{\pi}{2} (D_1 + D_2) + \frac{(D_1 + D_2)^2}{2a}. \quad (3.20)$$

Підставивши значення у (4.20) отримаємо:

$$l = 2 \cdot 375 + \frac{\pi}{2} (250 + 250) + \frac{(250 + 250)^2}{2 \cdot 375} = 1868.$$

Розрахункову довжину паса необхідно заокруглити до стандартного номінального значення  $l_{\text{ном}}=1800$  мм [13, 14].

Визначаємо міжосьову відстань по прийнятій довжині паса.

$$a = 0,25 \left[ \left( L - \frac{D_2 + D_1}{2} \pi \right) + \sqrt{\left( L - \frac{D_2 + D_1}{2} \pi \right)^2 - 8 \cdot \left( \frac{D_2 - D_1}{2} \right)^2} \right]. \quad (3.21)$$

Підставивши значення у (3.21) отримаємо:

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

$$a = 0.25 \left[ \left( 1800 - \frac{250 + 250}{2} \cdot 3.14 \right) + \sqrt{\left( 1800 - \frac{250 + 250}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left( \frac{250 - 250}{2} \right)^2} \right] = 641 \text{ мм.}$$

Виразуємо корисну колову силу.

$$F_t = \frac{P_1}{V}. \quad (3.22)$$

де  $P_1$  - потужність на вхідному валі, кВт;

$V$  - швидкість паса, м/с.

Підставивши значення у (3.22) отримаємо:

$$F_t = \frac{15000}{32,7} = 458 \text{ Н.}$$

Визначаємо кут обхвату шківа пасом:

$$\alpha = 180^\circ - \frac{(d_1 + d_2) \cdot 60^\circ}{a} = 180^\circ - \frac{(250 + 250) \cdot 60^\circ}{641} = 133^\circ.$$

Приймаємо  $\alpha = 140^\circ$ .

Визначаємо зусилля, що діє на вал.

$$S = 2S_0 z \sin \frac{\alpha}{2} = 1200 \cdot 6 \cdot \sin 70^\circ = 6766 \text{ Н,}$$

Ширину шківа визначаємо по формулі:

$$B_{ш} = (z - 1) \cdot t + 2 \cdot s = (6 - 1) \cdot 9,5 + 2 \cdot 10 = 67,5 \text{ Н.}$$

Потужність  $N$ , що може передатися поліклінопасовою передачею визначаємо по формулі:

$$N = N_0 k_1 k_2 z, \quad (3.23)$$

де  $N_0$  – потужність, що передається одним пасом при куті охоплення  $\alpha = 140^\circ$ ;

$$N_0 = 5,15 \text{ [13, 14];}$$

$k_1$  – коефіцієнт, який залежить від кута охоплення,  $k_1 = 1.0$  [13, 14];

$k_2$  – коефіцієнт, який враховує характер навантаження і режим роботи;

$$k_2 = 1.19 \text{ [13, 14];}$$

$z$  – число пасів.

Підставивши значення у (3.23) отримаємо:

$$N = 5,15 \cdot 0,83 \cdot 1,19 \cdot 6 = 30,5 \text{ кВт.}$$

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47



Отже,  $N = 30,5 \text{ кВт} > N_{\text{д}} = 15 \text{ кВт}$ .

При усереднених режимах навантаження середній строк служби пасів згідно ГОСТ 12842-89 становить 2000 год.

### 3.5. Конструкція та розрахунок шпиндельного вузла приводу головного руху з використанням САПР

#### 3.5.1. Вибір компоновальної схеми шпиндельного вузла та типу опор

За даними [12] на даний час більше 95% верстатів виготовляються із шпиндельними вузлами на опорах кочення. По максимальній частоті обертання та потужності, яка передається, вибираємо компоновочну схему шпиндельного вузла, зображену на рис.3.3.

Така компоновочна схема шпиндельного вузла передбачає в передній опорі встановлення радіального двохрядного роликового підшипника з короткими циліндричними роликами серії 3182100К для сприйняття радіального навантаження і кулькового упорного підшипника для сприйняття осьового навантаження, а в задній опорі радіально-упорного кулькового підшипника серії 36100К. Натяг в передній опорі забезпечується за допомогою гайки.

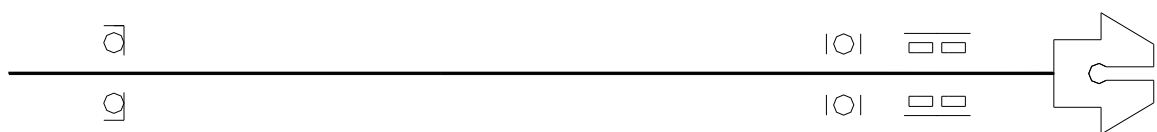


Рис. 3.3. Компоновочна схема шпиндельного вузла

Прийнявши діаметр шийки шпинделя під передню опору 120 мм (як у верстата-аналога 1В340Ф30) згідно [12, 13] виберемо підшипник передньої опори роликовий радіальний марки 3182124К (рис.3.4,а). Діаметр шийки шпинделя під задню опору приймемо рівним 90 мм. Тоді для задньої опори виберемо підшипник радіально-упорний марки 36118К [12, 13] (рис. 3.4,б).

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

Характеристики радіальних підшипників передньої та задньої опор приведені в табл. 3.2.

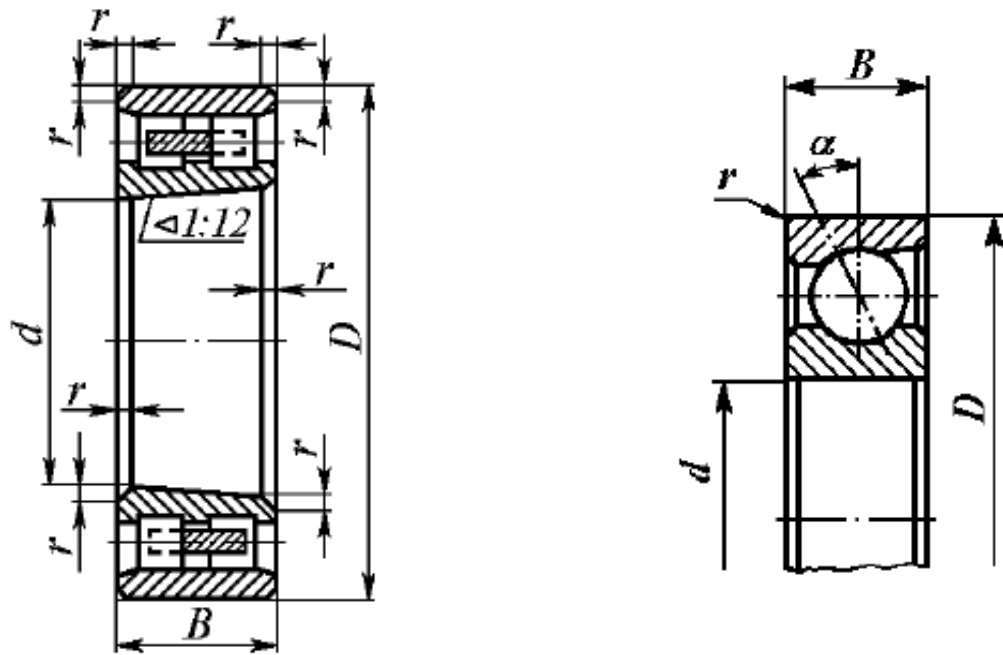


Рис. 3.4. Радіальні підшипники шпиндельного вузла:

а) передньої опори; б) задньої опори

Таблиця 3.2. Характеристики підшипників опор шпинделя

№п/п	Характеристика підшипника	Позна-чення	Значення	
			3182124К	36118К
1.	Внутрішній діаметр	d, мм	120	90
2.	Зовнішній діаметр	D, мм	180	140
3.	Ширина підшипника	B, мм	46	24
4.	Динамічна вантажопідйомність	C <sub>dyn</sub> , кН	204	56
5.	Статична вантажопідйомність	C <sub>0</sub> , кН	204	55
6.	Максимальна частота обертання	n, хв. <sup>-1</sup>	3800	7500
7.	Сила натягу:			
	— легкий натяг	F <sub>VL</sub> , Н	регул.	360
	— середній натяг	F <sub>VM</sub> , Н		1080
9.	Кут контакту	α, град	-	15

### 3.5.2. Розрахунок радіальної жорсткості опор шпиндельного вузла

Жорсткість шпиндельного вузла визначають з врахуванням жорсткості його опор. Якщо опора складається із одного підшипника, жорсткість опори рівна його жорсткості. Якщо в опорі входить декілька підшипників, то її жорсткість можна визначити із умови, що всі підшипники, які знаходяться в опорі, можна рахувати такими, що утворюють одну комплексну опору із жорсткістю, що залежить від її компоновочної схеми і жорсткості підшипників [12, 13].

Радіальна податливість роликового двохрядного підшипника визначається за залежністю [13]:

$$k_1 = 28 \cdot 10^{-3} \frac{1}{z l_p} \left( \lg 15,2 \cdot 10^5 \cdot d_p \cdot l_p \frac{z}{F} - 0,4343 \right), \quad (3.24)$$

де  $z$  - число роликів;

$d_p, l_p$  - діаметр та довжина ролика відповідно;

$F$  - радіальне навантаження на підшипник.

На основі даної залежності побудовані графіки залежності радіальної податливості для роликових двохрядних підшипників (рис. 3.5) [13].

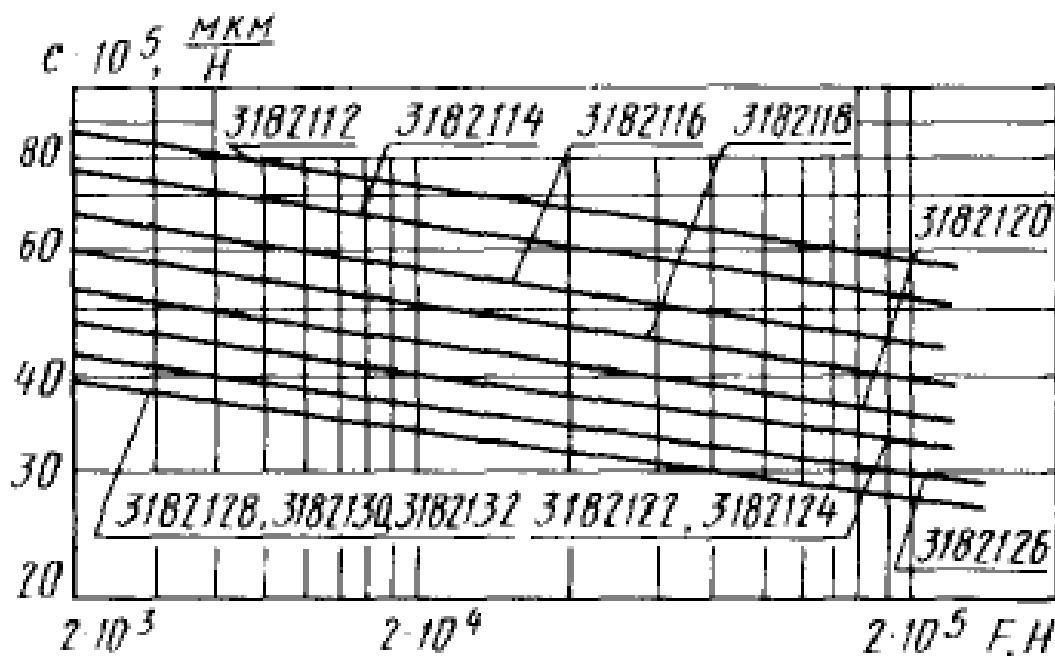


Рис. 3.5. Графіки залежності податливості від радіального навантаження для двохрядних роликопідшипників серії 3182100

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ

Арк.

50

Визначимо навантаження на передню та задню опору шпинделя. Розглянемо розрахункову схему навантаження шпинделя (рис. 3.6).

Навантаження на передню опору рівне реакції  $R_A$ , яка визначиться за залежністю:

$$R_A = P_{z\max} \frac{l+c}{l} = 3.96 \frac{390+120}{390} = 5.18 \text{ кН.} \quad (3.25)$$

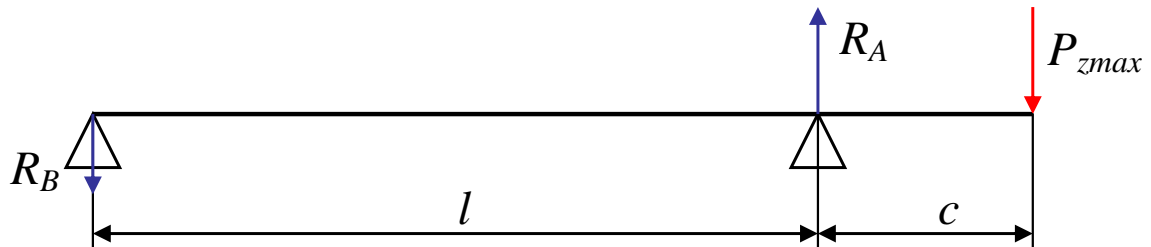


Рис. 3.6. Розрахункова схема навантаження шпинделя

Навантаження на задню опору рівне реакції  $R_B$ , яка визначиться за залежністю:

$$R_B = P_{z\max} \frac{c}{l} = 3.96 \frac{120}{390} = 1.22 \text{ кН.} \quad (3.26)$$

Використовуючи графічну залежність (рис. 3.5) радіальна податливість роликового двохрядного підшипника рівна  $k_1 = 47 \cdot 10^{-5}$  мкм/Н.

Радіальна податливість кулькового радіально-упорного підшипника визначається за залежністю [12, 13]:

$$k_2 = 186,7 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{\frac{100}{Fz^2 d_w \cos^2 \alpha}}, \quad (3.27)$$

де  $z$  - число кульок;

$d_\phi$  - діаметр кульки;

$F$  - радіальне навантаження на підшипник;

$\alpha$  - кут контакту, град.

За залежністю (3.27)

$$k_2 = 186,7 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{\frac{100}{1.22 \cdot 10^3 \cdot 10^2 \cdot 12 \cdot \cos^2 15^\circ}} = 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ мкм/Н.}$$

### 3.5.3. Визначення оптимальної міжопорної віддалі та радіальної жорсткості переднього кінця шпинделя шпиндельного вузла з використанням САПР.

При наближених проектних розрахунках шпиндель заміняють балкою на двох опорах із силою  $F$ , прикладеною на консолі, тобто на віддалі  $c$  від середини передньої опори.

Загальна податливість шпиндельного вузла визначається за залежністю [12, 13]:

$$k = \frac{c^2}{3E} \left[ \frac{c}{I_2} + \frac{l(1-\varepsilon)}{I_1} \right] + k_1 \left[ \frac{c(1-\varepsilon)+l}{l} \right]^2 + k_2(1-\varepsilon) \left( \frac{c}{l} \right)^2, \quad (3.28)$$

де  $c$  – виліт переднього кінця шпинделя;

$l$  – міжопорна віддаль;

$E$  – модуль пружності матеріалу шпинделя;

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

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

$\varepsilon$  – коефіцієнт, що враховує наявність в передній опорі моменту защемлення.

Виходячи із критерію отримання мінімальної податливості рівняння (3.28) диференціюється по  $l$  і прирівнюється до нуля:  $dk/dl = 0$ . В результаті отримується рівняння третього порядку для визначення  $l_{opt}$ :

$$l^3 - \left[ \frac{6EI_1k_1}{c} l + 6EI_1(k_1(1-\varepsilon) + k_2) \right] = 0, \quad (3.29)$$

Рівняння (3.29) по вихідних даних для розрахунку, поданих у табл. 3.3, розв'язувалось за допомогою пакета прикладних програм MathCAD.

Результати визначення міжосьової віддалі та зміна жорсткості шпинделя в залежності від зміни міжосьової віддалі від  $l_{opt}$  до 500 мм приведені на рис. 3.7 та рис. 3.8.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.3. Вихідні дані для автоматизованого розрахунку міжопорної віддалі

№п/п	Назва величини	Позначення, одиниці вимірювання	Числове значення
1.	Момент інерції перерізу в міжопорній частині шпинделя	$I_1, \text{мм}^4$	3728259
2.	Момент інерції перерізу переднього кінця шпинделя	$I_2, \text{мм}^4$	12003140
3.	Модуль пружності	$E, \text{Н/мм}^2$	$2,1 \cdot 10^5$
4.	Податливість передньої опори	$k_1, \text{мм/Н}$	$47 \cdot 10^{-8}$
5.	Податливість задньої опори	$k_2, \text{мм/Н}$	$5,2 \cdot 10^{-8}$
6.	Виліт переднього кінця шпинделя	$c, \text{мм}$	140
7.	Коефіцієнт защемлення передньої опори	$\varepsilon$	0,4

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МІЖОПОРНОЇ ВІДДАЛІ**

$E := 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$      $b := 120 \text{ мм}$      $I_a := 3728259 \text{ мм}^4$

$\varepsilon := 0.4$      $k_1 := 47 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н}$      $k_2 := 5.2 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н}$

**Перше наближення**

$a := 200$

**Рівняння для визначення оптимальної міжопорної віддалі**

$$f(a) := a^3 - \frac{6 \cdot E \cdot I_a \cdot k_1 \cdot a}{b} - 6 \cdot E \cdot I_a \cdot [k_1 \cdot (1 - \varepsilon) + k_2]$$

**Оптимальна міжопорна віддаль**

$\text{root}(f(a), a) = 166.757 \text{ мм}$

Рис. 3.7. Визначення міжопорної віддалі шпиндельного вузла у пакеті прикладних програм MathCAD

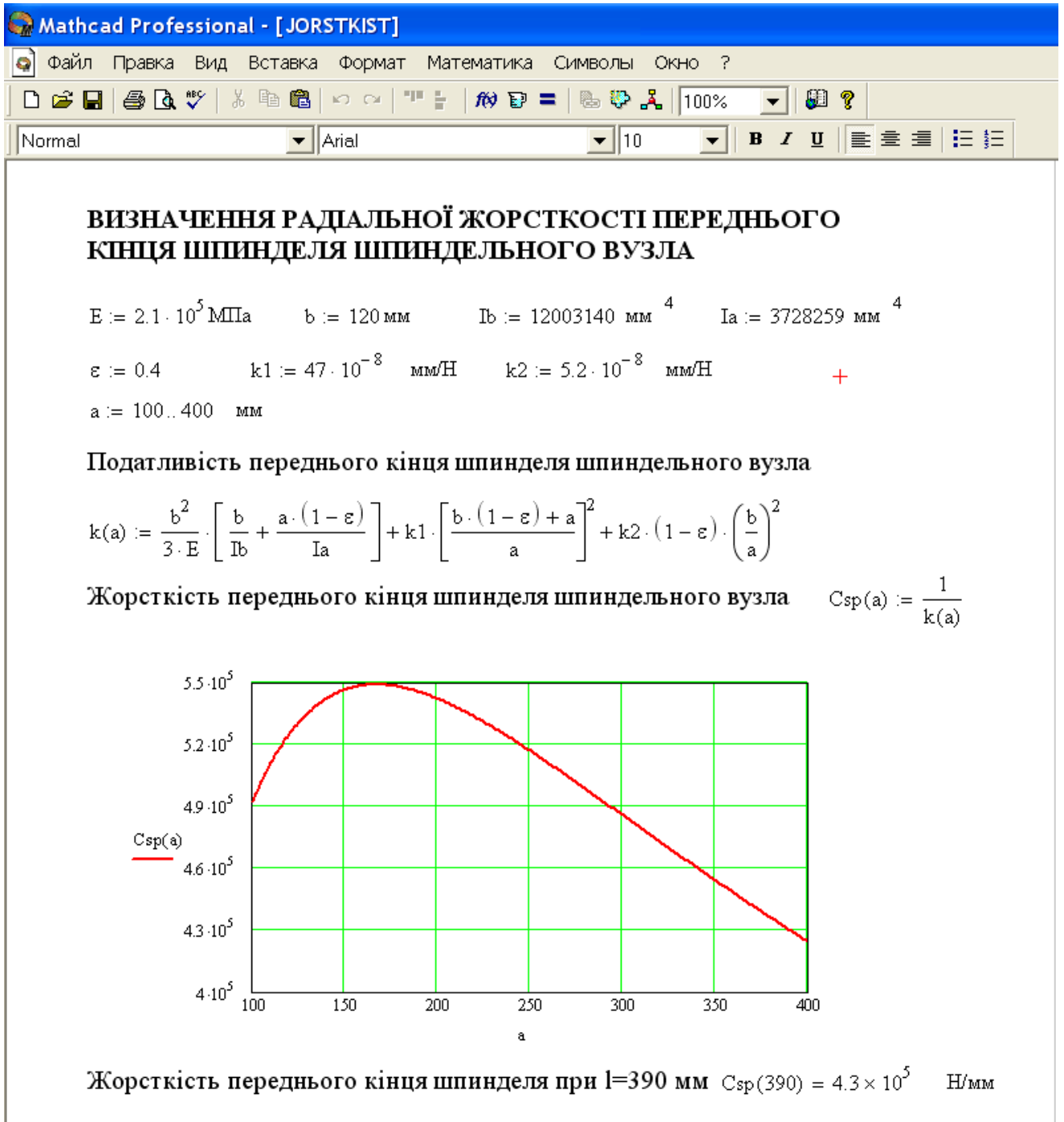


Рис. 3.7. Визначення радіальної жорсткості переднього кінця шпинделя у пакеті прикладних програм MathCAD

Виходячи із конструктивних міркувань приймаємо міжосьову віддаль  $l = 390 \text{ мм}$ . За результатами розрахунку радіальна жорсткість переднього кінця шпиндельного вузла при  $l = 390 \text{ мм}$   $j_{r_{sp}} = 430000 \text{ Н/мм} = 430 \text{ Н/мкм}$ .

### 3.6. Проектування підтримуючого пристрою механізму затиску заготовки

Проектування підтримуючого пристрою механізму затиску заготовки проводимо згідно методики, приведеної в [15, 16].

#### Розрахунок цанги.

Визначення величин коефіцієнтів  $K_1$ ,  $K_2$  та  $K_5$ :

$$K_1 = 0,125(0,01745 \cdot \psi + \sin \psi) = 0,125 \cdot (0,01745 \cdot 20 + \sin 20) = 0,158;$$

$$K_2 = 25,4618 \cdot \frac{1 - \cos \psi}{\psi} = 25,4618 \cdot \frac{1 - \cos 20}{20} = 0,754;$$

$$K_5 = \frac{16300 \cdot (0,01745 \cdot \psi + \sin \psi)}{\psi^2} = \frac{16300 \cdot (0,01745 \cdot 20 + \sin 20)}{20^2} = 51,42.$$

Момент інерції пелюстки  $I_n$  відносно нейтральної осі визначимо за формулою:

$$I_n = K_1 \cdot (R^4 - r^4) - K_2 \cdot \frac{(R^3 - r^3)^2}{R^3 - r^3} = 0,158 \cdot (24^4 - 22^4) - 0,754 \cdot \frac{(24^3 - 22^3)^2}{24^3 - 22^3} = 13010 \text{ мм}^4$$

Визначення постійної  $E$  і коефіцієнта затухання деформації  $\lambda$  в циліндричній оболонці цанги:

$$E' = \frac{K_5}{(R - r)^2} = \frac{28,16}{(24 - 22)^2} = 12,85 \text{ мм}^{-2};$$

$$\lambda = \frac{1,815}{\sqrt{R^2 - r^2}} = \frac{1,815}{\sqrt{24^2 - 22^2}} = 0,189 \text{ мм}^{-2}.$$

Жорсткість пелюстки:

$$C_n = \frac{3EI_n}{K_\xi \cdot l_n^3 + I_n \cdot E' \cdot l_n \cdot (1 + 2 \cdot \lambda \cdot l_n)}, \quad (3.30)$$

де  $K_\xi = 1.0$  – для сталого січення пелюстка;

$l_n$  – довжина пелюстка цанги, мм;

$E$  – модуль пружності,  $E = 2.1 \cdot 10^5$  Мпа.

Підставивши значення у (3.30), отримаємо:

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55



$$C_n = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1301}{1 \cdot 100^3 + 1301 \cdot 12,85 \cdot 100 \cdot (1 + 2 \cdot 0,189 \cdot 100)} = 12,44 \text{ Н/м}$$

Визначаємо силу зчеплення між прутком і цангою:

$$P_{зч} = P_{пр} \cdot \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi) \cdot \mu_3, \quad (3.31)$$

де  $P_{пр} = 450 \text{ Н}$  – сила, що викликається пружиною;

$\mu = 0,4-0,5$  – коефіцієнт зчеплення губок цанги з прутком.

Підставивши значення у (3.31), отримаємо:

$$P_{зч} = 450 \cdot \operatorname{ctg}(7^\circ 30' + 10^\circ) \cdot 0,45 = 640 \text{ Н.}$$

Визначення ходу цанги:

$$h = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3 = \frac{40 - 31}{2} \cdot \operatorname{ctg} 7^\circ 10' = 35.$$

### Розрахунок робочої пружини.

Згідно ГОСТ 13768-86 вибираємо всі необхідні параметри для розрахунків:  
 $D$  – зовнішній діаметр пружини призначається попередньо із врахуванням конструкції вузла,  $D=85 \text{ мм}$ ;  $d$  – діаметр дроту  $d=7 \text{ мм}$ ;  $P_1$  – сила пружини при попередній деформації;  $P_2$  – сила пружини при робочій деформації; ( $P_1$ ,  $P_2$  – призначається за умовами роботи механізму);  $P_3$  – сила пружини при максимальній деформації,  $P_3=850 \text{ Н}$ ;  $z_1$  – жорсткість одного витка,  $z_1=49,62 \text{ Н/мм}$ ;  $f_3$  – найбільший прогин одного витка,  $f_3=17,13 \text{ мм}$ .

Визначення середнього діаметру пружини:

$$D_o = D - d = 85 - 7 = 78 \text{ мм.}$$

Визначення індексу пружини.

$$c = \frac{D_o}{d} = \frac{78}{7} = 11,2.$$

Визначення поправочного коефіцієнта:

$$K = \frac{4 \cdot c - 1}{4 \cdot c - 4} + \frac{0,615}{c} = \frac{4 \cdot 11,2 - 1}{4 \cdot 11,2 - 4} + \frac{0,615}{11,2} = 1,2.$$

Визначення сили пружини при робочій деформації:

$$P_2 = \frac{P_3}{1,2} = \frac{850}{1,2} = 708.$$

Еластичність пружини (стиснення одного витка під дією навантаження  $10 \text{ Н}$ ):

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

$$f = \frac{8 \cdot D_o^3}{G \cdot d^4} = \frac{8 \cdot 78^3}{7.85 \cdot 10^4 \cdot 7^4} = 0,02 \text{ мм},$$

де  $G$  – модуль зсуву,  $G = 7.85 \cdot 10^4 \text{ Н / мм}^2$ ;

$D_o$  – середній діаметр пружини;

$d$  – діаметр дроту.

Жорсткість пружини визначимо за формулою:

$$z = \frac{P_2 - P_1}{h} = \frac{708 - 350}{35} = 10,23 \text{ Н/мм.}$$

Число робочих витків пружини визначимо за формулою:

$$n = \frac{z_1}{z} = \frac{49.62}{10.23} = 4.85 \approx 5$$

Повне число витків пружини визначимо за формулою:

$$n_1 = n + 1.5 = 5 + 1.5 = 6.5$$

Попередня деформація пружини  $P_1=350 \text{ Н}$ :

$$F_1 = \frac{P_1}{z} = \frac{350}{10.23} = 34,21 \text{ мм}$$

Робоча деформація пружини:

$$F_2 = \frac{P_2}{z} = \frac{708}{10.23} = 69,9 \text{ мм.}$$

Максимальна деформація пружини:

$$F_3 = \frac{P_3}{z} = \frac{850}{10.23} = 83 \text{ мм.}$$

Визначимо довжину пружини при максимальній деформації:

$$l_3 = (n_1 + 1 - n_3) \cdot d = (6,5 + 1 - 4) \cdot 7 = 24,5 \text{ мм.}$$

де  $n_3$  – число оброблених витків,  $n_3=4$ .

Визначимо довжину пружини у вільному стані:

$$l_o = l_3 + F_3 = 24,5 + 83 = 107,5 \text{ мм.}$$

Визначимо довжину пружини при попередній деформації:

$$l_1 = l_o - F_1 = 107,5 - 34,21 = 73,29 \text{ мм.}$$

Визначимо довжину пружини при робочій деформації:

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57

$$l_2 = l_o - F_2 = 107,5 - 69,2 = 38,3 \text{ мм.}$$

Крок пружини визначимо за формулою:

$$t = f_3 + d = 17,13 + 7 = 24,13 \text{ мм.}$$

Довжина розгорнутою пружини:

$$L = 3.2 \cdot D_o \cdot n_1 = 3.2 \cdot 78 \cdot 6,5 = 1622,4 \text{ мм.}$$

Максимальне дотичне напруження пружини:

$$\tau_3 = K \cdot \frac{8 \cdot P_3 \cdot D_o}{\pi \cdot d^3} = 1.2 \cdot \frac{8 \cdot 850 \cdot 78}{3,14 \cdot 7^3} = 590,6 \text{ МПа.}$$

Напруження в пружині при попередній деформації:

$$\tau_1 = \frac{P_1}{P_3} \cdot \tau_3 = \frac{350}{850} \cdot 590,6 = 243,1 \text{ МПа.}$$

Напруження в пружині при робочій деформації:

$$\tau_2 = \frac{P_2}{P_3} \cdot \tau_3 = \frac{708}{850} \cdot 590,6 = 492 \text{ МПа.}$$

Внутрішній діаметр пружини:

$$D_2 = D - 2 \cdot d = 85 - 2 \cdot 7 = 71 \text{ мм.}$$

Максимальна енергія, що накопичується пружиною або робота деформації:

$$\bar{U} = \frac{P_3 \cdot F_3}{2} = \frac{850 \cdot 83}{2} = 35275 \text{ кДж.}$$

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58

## 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1. Інструкція з техніки безпеки при роботі на розроблюваному обладнанні

На початок роботи оператору необхідно перевірити наявність і справність огорожень рухомих елементів верстата, струмопровідних частин електричної апаратури і елементів управління, огорожень захисту від стружки і охолоджуючих рідин. Перевірити чи не пошкоджені відкриті ділянки електропроводки, чи не обірваний провідник електричного заземлення верстата, чи справно діють пускові, зупиняючі, реверсивні пристрої, пристрої перемикання швидкостей і фіксатори органів управління, справність різального і допоміжного інструменту та надійність його фіксації у револьверній головці. Робота без захисних огорожень і запобіжних пристроїв і пристосувань заборонена.

Перед вмиканням верстата необхідно переконатися, що його пуск буде безпечним.

Токарно-револьверний верстат з ЧПУ - це складний агрегат, що складається з різних механічних вузлів, електричних і електронних компонентів. Для забезпечення безпеки існують загальні правила безпечної експлуатації токарних верстатів з ЧПУ.

1. До експлуатації і ремонту верстата допускається тільки персонал, ознайомлений з відповідною документацією верстата і системи ЧПУ.

2. Завжди необхідно користуватися захисними окулярами і спеціальним взуттям. При необхідності використовувати рукавички, пилозахисну маску і засоби захисту слуху.

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Савченко С.М.								Н		59	11
Перевірів	Окіпний І.Б.								ТНТУ, ФМТ гр. МВЗ-41			
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Затв.	Крупа В.В.											

3. Експлуатація верстата дозволяється лише у тому випадку, якщо ви переконалися, що регулярно здійснювалося обслуговування верстата і що він знаходиться у відмінному технічному стані.

4. Необхідно переконатися, що верстат заземлений належним чином.

5. Не приступати до роботи на верстаті, якщо від нього виходить незвичайне або занадто сильне тепло, шум, спостерігається виділення диму або вібрація. При цьому необхідно терміново звернутися до виробників верстата або в сервісну службу.

6. Доступ до електричних компонент верстата дозволяється тільки спеціально навченому персоналу.

7. Не можна застосовувати як очисники і ЗОР отруйні і займисті речовини.

8. Не відкривати захисні дверці і кожухи поки який-небудь з пристроїв верстата знаходиться в русі.

9. Зони навколо верстата мають бути сухими і добре освітленими.

10. Перед закріпленням інструменту необхідно переконатися, що усі поверхні пристрою кріплення інструменту чисті.

11. Не застосовувати у верстаті зношені, крихкі і дефектні інструменти.

12. Не перевищувати номінальну потужність верстата.

13. Не залишати інструмент і деталі в місцях, в яких вони могли б зіткнутися з рухомими частинами верстата.

14. Регулярно перевіряти рівень мастила і охолоджуючих рідин.

15. Під час обробки не здійснювати налагодження інструменту або закріплення деталей.

16. Підтримувати досить безпечну відстань до усіх точок «затискання» (місць вигину шлангів і дротів) і уникати небезпечних ситуацій.

17. Обов'язково знати розташування клавіш аварійної зупинки верстата.

18. Не залишати верстат без нагляду під час його роботи.

19. При контакті з обробленими деталями звертати увагу на наявність гострих кромek.

20. Не видаляти стружку голими руками. Для цього потрібно

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

використовувати гачок або інше пристосування, переконавшись в повній зупинці частин верстата. Не виконувати очищення верстата за допомогою повітряного шланга.

21. Не потрібно намагатися зупинити або загальмувати переміщення виконавчих органів верстата голими руками або за допомогою пристосувань.

22. Не застосовувати для кріплення інструменту і заготовки дефектні або брудні патрони, утримувачі і пристосування.

23. Забороняється робити які-небудь конструктивні зміни верстата без узгодження з виробником верстата або сервісною службою.

24. Не допускати, щоб при роботі з верстатом оператора відволікали інші люди.

25. Ні в якому разі не здійснювати на верстаті операцій, які незрозумілі. У разі сумнівів обов'язково проконсультуватися з фахівцем.

26. Ніколи не працювати усередині верстата, якщо хто-небудь працює із стійкою ЧПУ. Перейти в режим редагування для запобігання випадковому переміщенню виконавчих органів верстата.

27. Потрібно приділяти особливу увагу переміщенням на прискореній подачі. Дотримуйте безпечну відстань над поверхнею заготовки для таких переміщень.

28. Перед початком обробки необхідно перевірити керуючі програми усіма доступними способами.

#### **4.2. Розроблення питань з охорони навколишнього середовища при роботі на розробленому обладнанні**

Охорона довкілля та раціональне використання природних ресурсів є невід'ємною частиною процесу суспільного розвитку української держави, адже природні ресурси є основою життєдіяльності населення та економіки держави, тому забезпечення їх збереження, відтворення та невиснажливого використання є однією з основних передумов сталого соціально-економічного розвитку країни.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61

При вирішенні завдання досягнення комфортних умов існування людини в навколишнім середовищі, що змінюється, можливі чотири різних стратегії: охорона навколишнього середовища від наслідків господарської діяльності людини; охорона й ізоляція людини від навколишнього середовища, що змінилося; розробка й впровадження методів індивідуальної й групової адаптації людини до середовища, що змінюється; цілеспрямоване формування середовища, оптимально пристосованого до життя людини.

У реальному житті зазвичай використовують змішані стратегії. Охорона навколишнього середовища від наслідків господарської діяльності людини, безумовно, пріоритетна стратегія. Її реалізація вимагає принципово нового підходу, заснованого на циклічності використання матеріальних потоків. У виробництві майбутнього повинні бути до мінімуму скорочені екологічно небезпечні технологічні процеси, а їхня замкнутість дозволить звести до мінімуму надходження в природне середовище шкідливих і небезпечних речовин. У рамках цієї стратегії будуть удосконалюватися методи й техніка захисту середовища від технологічних викидів в атмосферу й скидань у водні об'єкти, утилізації й переробки твердих відходів.

Підвищення ефективності заходів з охорони навколишнього середовища пов'язане перед усім із широким впровадженням ресурсозберігаючих, маловідходних і безвідходних технологічних процесів, зменшенням забруднення повітряного середовища й водою.

Основні напрямки створення безвідходних виробництв: розробка й впровадження принципово нових процесів й удосконалення існуючих технологічних процесів; підвищення комплексності використання матеріальних і паливно-енергетичних ресурсів; розробка й впровадження замкнутих водооборотних і газооборотних циклів; комбінування й кооперування виробництв на базі комплексної переробки сировини й використання відходів, організація й розвиток територіально-виробничих комплексів.

Створення безвідходного виробництва – тривалий процес, що вимагає рішення складних взаємозалежних технологічних, організаційних, пси-хологічних

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

й інших завдань, що повинні базуватися на певних принципах стосовно до різних сфер – технологічних процесів, сировини, матеріалів й енергоресурсів, апаратурного оформлення й готової продукції.

### **Забруднення довкілля, що виникають в результаті роботи на розробленому обладнанні.**

Відомо, що однією із необхідних умов здорової і високопродуктивної роботи є забезпечення чистоти повітря і нормальних метеорологічних умов в робочих приміщеннях.

До основних джерел забруднення, що створює даний проектований верстат можна віднести:

- змащувально-охолоджуюча рідина (ЗОР);
- пари охолоджуючої рідини;
- надлишкове тепло;
- пил, який утворюється при обробці.

Ці шкідливі речовини проникає в організм людини головним чином через дихальні шляхи, наприклад змащувально-охолоджуюча рідина.

Таким чином людина, яка працює біля верстата вдихає їх, а також вони проникають через шкіру або з їжею. Не менш важливими чинниками, які впливають на людину є шум і вібрація, яка створюється верстатом.

Виробничий пил досить розповсюджений небезпечний та шкідливий виробничий фактор. З пилом стикаються робітники гірничодобувної промисловості, машинобудування, металургії, текстильної промисловості, сільського господарства.

Пил може здійснювати на людину фіброгенну дію, при якій в легенях відбувається розростання сполучних тканин, що порушує нормальну будову та функцію органу. Уражаюча дія пилу в основному визначається дисперсністю (розміром частинок пилу), їх формою та твердістю, волокнистістю, питомою поверхнею. Шкідливість виробничого пилу обумовлена його здатністю викликати професійні захворювання легень, в першу чергу пневмоконіози.

Виробничий шум та його вплив на працівників. Насичення виробництва

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



машинами і механізмами супроводжується інтенсивним шумом та вібрацією, які справляють негативний вплив на працездатність і здоров'я працівників. Механічні коливання вузлів і деталей викликають коливання повітря і сприймаються органами слуху людини як звуки. Комплекс хаотичних звуків, різних за частотою та інтенсивністю, які викликають неприємні суб'єктивні відчуття, називається шумом. Інтенсивність шуму вимірюється в децибелах (дБ), а частота — в герцах (Гц). Шуми різняться за гучністю (в фонах) і за висотою (менше як 350 Гц — низькочастотні; 350...800 Гц — середньо-частотні; понад 800 Гц — високочастотні).

Людина сприймає звуки частотою 16...20 000 Гц. Звуки з частотою до 16 Гц називаються інфразвуками, а понад 20 000 Гц — ультразвуками. Хоча вони вухом не сприймаються, зате відчуються тканинами організму.

На виробництві шум може бути постійним і непостійним, коли рівень його під час роботи змінюється більше ніж на 5 дБ. Непостійні шуми поділяються на перервні, імпульсні та флюктуючі, коли рівень шуму весь час коливається.

Ступінь негативного впливу шуму залежить від сили і частоти звуку, тривалості його дії, фізичного і психічного стану людини.

Шкідливий вплив виробничого шуму виявляється як у вигляді специфічного ушкодження органів слуху, так і у вигляді порушень багатьох інших органів, в першу чергу центральної нервової системи. Інтенсивний виробничий шум призводить до часткової або повної втрати слуху. Зміни слуху настають при дії шуму більше 80 дБ і відбуваються протягом 3—5 років залежно від фізичного стану працівника. Ознаками розвитку приглухуватості є погане сприйняття розмови пошепки та шум у вухах.

Збільшення тривалості роботи в умовах підвищеного шуму супроводжується прогресивним розвитком втрати слуху. При цьому спочатку

виникає слухова адаптація — зниження слухової чутливості і швидке відновлення слуху після припинення дії шуму. Згодом процес відновлення слуху затягується, а втома слухового аналізатора переходить у перевтому. Тривалий (більше 10 років) вплив шуму вище 90 дБ на працівника може викликати не тільки приглухуватість, але й абсолютну втрату слуху внаслідок дегенерації чутливих

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

клітин внутрішнього вуха в зв'язку з їх перенапруженням. Такі розлади слуху у працівників кваліфікуються як незворотні.

Під впливом шуму відбуваються зміни не тільки в слуховому центрі нервової системи, але і в тих відділах, які регулюють такі життєво важливі функції, як кровообіг, дихання, травлення, кровотворення, рухову діяльність та інші. Це зумовлено тим, що нервові імпульси від органів слуху посилюються ретикулярною формацією і поширюються по всьому мозку.

Негативний вплив шуму на нервову систему працівника виявляється у головних болях, безсонні, швидкій стомлюваності, підвищеному потовиділенні, треморі пальців і рук, підвищеному роздратуванні, порушеннях пам'яті і уваги, а на серцево-судинну систему — у болях в області серця, зменшенні частоти пульсу, гіпотонії або гіпертонії.

Порушуючи динаміку коркових процесів і психічних функцій, шум призводить до погіршення координації рухів, зниження працездатності і продуктивності праці. Дослідження фізіологів показують, що при шумі у виробничих приміщеннях 80—90 дБ працівник змушений витратити в середньому на 20 % більше енергії для збереження виробітку, досягнутого ним в умовах шуму нижче 75 дБ.

Нормальний шумовий фон підвищує рівень збудження і позитивно впливає на працездатність людини.

Тому при виконанні багатьох робіт доцільним є стимулюючий рівень шуму у вигляді музики, яка до того ж створює гарний настрій.

Однак подальше підвищення шуму знижує працездатність, а сам шум починає дратувати людину, внаслідок чого погіршується її увага. До того ж залежно від емоційного забарвлення, мажорності та інтенсивності звукового подразника звуки можуть сприйматися як неприємні, страшні, гнітючі, неспокійні, втомливі, стимулюючі, веселі, надойдливі і т. п. Тому на виробництві слід уникати шумів, які справляють негативний вплив на психічні стани працівників, перешкоджають контактам між ними.

Вібрація, її види та вплив на працівників. До факторів виробничого

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

середовища, що негативно впливають на організм працівника, відноситься вібрація – механічні коливання машин, обладнання, інструменту. Зіткнення їх з тілом працівника призводить до коливання рук, ніг, спини або всього організму. Від точки зіткнення механічні коливання можуть досягати голови, хребта, органів грудної порожнини. Вони сприймаються рецепторами вібраційної чутливості і у вигляді нервових імпульсів передаються в центральну нервову систему. Найбільш небезпечні для здоров'я людини вібрації з частотами 16...250 Гц.

Так, низькочастотна вібрація призводить до ушкодження опорно-рухового апарату, а високочастотна викликає функціональні розлади периферійного кровообігу у вигляді локальних судинних спазмів.

Вплив вібрації на організм працівника посилюється збільшенням її амплітуди, внаслідок чого вона поширюється на більшу відстань від точки виникнення. Крім того, при роботі з інструментами ударної та ударно-обертової дії виникає так звана віддача інструменту на руки працівника, сила якої може досягати 60—100 кг при зусиллі 25 кг. Дія такого поштовху-удару триває тисячні частки секунди, однак може призводити до пошкодження дрібних кісток кисті і ліктьового суглоба.

Тривалий вплив загальної вібрації призводить до змін у центральній нервовій системі, які виявляються у запамороченнях, сонливості, шумі у вухах, болях в ікроножних м'язах, порушенні координації рухів, розладах зору. Вплив вібрації на організм працівника виявляється у збільшенні затрат нервової енергії, швидкому розвитку втоми і може призводити до тимчасової втрати працездатності через вібраційну хворобу.

У хворого на вібраційну хворобу порушується кровообіг, виникає біль у руках, деколи спостерігаються судоми рук, знижується чутливість шкіри.

#### **Заходи зі зменшення забруднення довкілля.**

У механічних та складальних цехах застосовують різноманітні технологічні процеси, що пов'язані з викидами шкідливих забруднюючих речовин у повітря та водний басейн. Враховуючи це, потрібно визначити основні джерела цих забруднень, їх параметри з тим, щоб прийняти обґрунтовані рішення по

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

знешкодженню або зниженню їхнього шкідливого впливу на довкілля.

Основними джерелами забруднення довкілля при холодній обробці металів є:

- металеві відходи;
- відпрацьована МОР;
- вентиляційне повітря з високим вмістом пилу і дрібної стружки.

Стружку (відходи виробництва) від металорізальних верстатів і робочих місць варто забирати механізованими способами за допомогою різних транспортерів (табл. 4.1). Потім її сортирують, подрібнюють та брикетують.

Відпрацьовані змащувально-охолоджувальні рідини необхідно збирати в спеціальні ємності. Водяну і масляну фази можна використовувати як компоненти для готування емульсій. Масляна фаза емульсій може надходити на регенерацію чи спалюватися. Водяну фазу змащувально-охолоджувальних рідин очищають до гранично-допустимої концентрації чи розбавляють до припустимого вмісту нафтопродуктів і зливають у каналізацію.

Таблиця 4.1. Способи видалення стружки

Вид стружки	Засоби для видалення
Без застосування змащувально-охолоджувальних рідин	
Дрібна дроблена	Одношнекові транспортери
Сталевий в'юн	Двошнекові транспортери
Сипуча	Вібраційні транспортери
Елементна	Пневматичний транспортер
Стружка будь-якого виду	Пластинчастий транспортер
З застосуванням змащувально-охолоджувальних рідин	
Елементна чавунна	Скребкові транспортери
Елементна сталева	Скребкові і одношнекові транспортери
Елементна й в'юн кольорових металів	Пластинчасті транспортери, гідротранспортери
Сталевий в'юн	Двошнекові та пластинчасті транспортери

Вентиляційне повітря перед викидом в атмосферу очищують від стружки (у циклонах або пилоосаджувальних камерах) і від пилу (на фільтрах рукавних або масляних). Концентрація пилу не повинна перевищувати гранично-допустиму концентрацію.

Основні шкідливі домішки (аерозоль фарби і пари розчинників) від фарбувальних цехів надходять у навколишнє середовище з вентиляційним повітрям.

Концентрації парів толуолу і ксилолу у викидах значно перевищують гранично-допустиму концентрацію для атмосферного повітря населених місць.

Основними напрямками щодо захисту навколишнього середовища є:

- удосконалення технологічного процесу нанесення покриття з метою зменшення втрат на туманоутворення; повна чи часткова заміна високо токсичних розчинників менш шкідливими речовинами чи водою; застосування сухих порошкових фарб чи високов'язких складів з малим змістом токсичних розчинників;
- очищення вентиляційного повітря в гідрофільтрах і установках допалювання;
- проведення архітектурно-планувальних заходів з метою раціонального розміщення фарбувальних відділень (цехів), виходячи з умов найкращого природного провітрювання;
- застосування систем розсіювання шкідливих домішок в атмосфері.

Для зниження концентрації аерозолю фарби у вентиляційних викидах застосовують відстійні ванни, заповнені водою, гідрофільтри. Відстійні ванни розташовують під ґратами. Очищення повітря від аерозолю фарби в гідрофільтрах відбуваються за рахунок його контакту з водою. Ефективність очищення від аерозолю досягає 0,99, а від пар розчинника - 0,3.

Для очищення вентиляційних викидів сушильних камер від парів розчинників з підвищеною концентрацією шкідливих речовин (толуол, фенол, формальдегід) застосовують каталітичне допалювання. Ефективність очищення

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		68

досягає 0,98-1,0; продуктивність з вентиляційних викидів складає 12500 м<sup>3</sup>/год при витраті природного газу 65 м<sup>3</sup>/год.

При неможливості застосування описаних вище методів допускається зменшувати концентрації шкідливих речовин у повітрі населених пунктів шляхом раціонального розсіювання шкідливих викидів в атмосфері, що досягається збільшенням висоти вихлопних шахт (без ковпаків) чи підвищенням швидкості викиду (смолоскиповий викид). При цьому необхідно проводити контроль викидів фарбувальних цехів. Концентрації шкідливих речовин у повітрі населених пунктів не повинні перевищувати гранично-допустиму концентрацію.

Дотримання санітарних норм, які регламентують гранично допустимі величини вібрації, повинно бути обов'язковим на всіх підприємствах. Крім того, дієвими засобами боротьби з вібрацією є поліпшення конструктивних характеристик машин, механізмів, інструменту; впровадження прогресивних методів обробки; дистанційного управління; віброізоляція робочих місць; застосування різних пристосувань для погашення вібрації та індивідуальних засобів захисту працівників.

Для боротьби із шумом використовують звукопоглинаючі матеріали, якими обшито всі вузли, що створюють різного роду шуми. Для захисту працюючих від прямої дії шуму застосовують екрани між джерелом шуму і робочим місцем. До засобів індивідуального захисту відносяться вкладиші, навушники і шлеми.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз технічних умов на виготовлення деталі, проведено визначення типу виробництва вибрано технологічні бази.
2. Приведено призначення і короткий опис базової моделі верстату, його основних вузлів та механізмів та проаналізовано верстати аналогічного призначення.
3. Проведено синтез технологічного маршруту обробки, розраховано припуски на механічну обробку.
4. Вибрано різальний, допоміжний та контрольно-вимірювальний інструмент для всіх операцій технологічного процесу. Розроблено операційну технологію обробки деталі. Вибрано режими різання та визначено норми часу для всіх операцій механічної обробки.
5. Розроблено карту налагодження на токарно-револьверний верстат з ЧПК.
6. Проведено аналіз формоутворення на верстаті, розроблено структурно-кінематичну схему верстата, вибрано структуру приводу головного руху.
7. Здійснено розрахунок і вибір основних технічних характеристик приводу головного руху. Виконано кінематичний розрахунок приводу та навантажень на нього та вибрано привідний двигун
8. Проведено проектний та перевірочний розрахунок поліклінопасової передачі.
9. Проведено вибір компоновальної схеми шпиндельного вузла, вибрано опори та визначено їх жорсткість. Визначено оптимальну міжопорну віддаль шпиндельного вузла та жорсткість з використанням пакета прикладних програм MathCAD.
10. Розроблено конструкцію шпиндельного вузла з механізмом затиску заготовки.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розробив	Савченко С.М.				<b>ВИСНОВКИ</b>		
Перевірів	Буховець В.М.						
Н. контр.	Кобельник В.Р.						
Затв.	Крупа В.В.						
						Літ.	Аркуш
						Н	70
						ТНТУ, ФМТ	
						гр. МВз-41	

11. Приведені проектні та перевірочні розрахунки цангового патрона для підтримування прутка, а саме затискної цанги та натискної пружини.

12. Приведено вимоги з техніки безпеки при роботі на розроблюваному обладнанні. Розроблено питання з охорони навколишнього середовища при роботі на розробленому обладнанні.

					<i>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		71



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О.М. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з предмету «Технологія машинобудування»/ О.М. Кухарський, І.В. Кушак. – Тернопіль, 2001. – 280 с.
2. Токарно-револьверний верстат 1В340Ф30 з ЧПУ WL4М [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://kievstanko.com.ua/ua/p234082770-tokarno-revolvernij-standok.html> (дата звернення: 19.05.2024).
3. 1325ф30 Верстат токарно-револьверний прутковий з ЧПУ: опис, характеристики [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://www.metalinstryment.com/sprav\\_1325f3.htm](https://www.metalinstryment.com/sprav_1325f3.htm) (дата звернення: 19.05.2024).
4. 1П420ПФ40 Верстат токарно-револьверний прутковий з ЧПУ: опис, характеристики [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://www.metalinstryment.com/sprav\\_1p420pf4.htm](https://www.metalinstryment.com/sprav_1p420pf4.htm) (дата звернення: 19.05.2024).
5. 1П426ДФ3 Верстат токарно-револьверний прутковий з ЧПУ: опис, характеристики [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://www.metalinstryment.com/sprav\\_1p426df3.htm](https://www.metalinstryment.com/sprav_1p426df3.htm) (дата звернення: 19.05.2024).
6. SpeedLine ABC Produktionsdrehaautomat. Проспект фірми INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky, 2005. – 12 s.
7. Технологія машинобудування. Посібник довідник для виконання кваліфікаційних робіт. Навч. посібник / І.І. Юрчишин, Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай, М.Л.Кукляк, Я.М. Кусий, В.В. Ступницький, В.А. Яцюк, А.М.Кук, Є.М.Махоркін, В.П. Свіхінський// За ред. І.І. Юрчишина. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка» , 2009. – 528 с.

					КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата								
Розробив	Савченко С.М.				ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Буховець В.М.								Н		72	2
									ТНТУ, ФМТ гр. МВз-41			
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Затв.	Крупа В.В.											

8. Паливода Ю.Є. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом/ Ю.Є. Паливода, О.М. Кухарський. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2003. – 81с.
9. Кухарський О.М. Визначення припусків табличним методом/ О.М. Кухарський, М.І. Кузьмін. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. – 135 с.
10. Ревнівцев М.П. Режими різання на металообробних верстатах у машинобудуванні / М.П. Ревнівцев, Н.П. Паршина. – Київ: А.С.К., 2006. – 416с.
11. Данильченко Ю.М. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів/ Ю.М. Данильченко, О.В. Шевченко, В.А. Ковальов, В.Н. Волошин. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 57 с.
12. Кривий П. Д., Крупа В. В. Інструментальне забезпечення процесу комбінованого розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2012. № 2. С. 23–34.
13. Бочков В.М. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник/ В.М. Бочков, Р.І. Сілін, О.В. Гаврильченко – Львів: Бескид Біт, 2008 – 448 с.
14. Карнаух С.Г. Розрахунки механічних передач: навчальний посібник до курсового й дипломного проектування/ С.Г. Карнаух, Н.В. Чоста. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 204 с.
15. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі - Дисертація канд. техн. наук: 05.03.01, Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013.- 210 с.
16. Кузнецов Ю.Н. Затискні механізми для високопродуктивної та високоточної обробки різанням: Монографія/ Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби – Габрово: «Васил Априлов», 2010. – 724 с.

					<b>КРБ 22-806.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		73