

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)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розробка конструкції спеціальної багатошпindelної
голівки для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі
«Маточина Т0926»**

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи МВс-41

спеціальності 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Владислав ПОПОВ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Руслан СКЛЯРОВ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Володимир КОБЕЛЬНИК

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Володимир КРУПА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2026

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
Володимир КРУПА.
(підпис)
«__» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Попову Владиславу Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка конструкції спеціальної багатошпиндельної свердлильної головки для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Маточина Т0926»

Керівник роботи Склярів Руслан Анатолійович, к.т.н., доц. каф. ВІ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічне креслення деталі «Маточина Т0926», базовий технологічний процес обробки деталі, паспорти обладнання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз завдання на проектування; огляд літератури по тематиці роботи; аналіз базового технологічного процесу механічної обробки деталі; технологічний розрахунок, розробка кінематичної схеми верстата на одну із технологічних операцій; розрахунок конструкції спеціальної багатошпиндельної свердлильної головки; вирішення питань безпеки життєдіяльності та охорони праці

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

Аналіз формуютьорюючих рухів – 1 ф.А1

Кінематична схема верстата – 1 ф.А1

Загальний вигляд верстата – 1 ф.А1.

Багатошпиндельна свердлильна головка – 1 ф.А1.

Кондуктор – 1ф.А1.

Анотація

Попов Владислав. Розробка конструкції спеціальної багатошпindelної головки для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Маточина Т0926» : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 133 – галузеве машинобудування / наук. кер. Р. А. Склярів. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026. 80 с.

Ключові слова: свердлильний верстат, багатошпindelна головка, механічна обробка, режими різання, кондуктор.

В кваліфікаційній роботі приведені технологічні розрахунки та призначено режими для технологічних переходів на виготовлення деталі «Маточина Т0926». Розроблено кінематичну схему верстата. Здійснено розробку спеціальної багатошпindelної головки. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Annotation

Popov Vladyslav. Design of a special multi-spindle drilling head to ensure the manufacturing process of the part «Hub T0926» : Thesis for the bachelor's degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering / supervisor R. A. Skliarov. Ternopil : Ivan Puluj Ternopil National Technical University, 2026. 80 p.

Keywords: drilling machine, multi-spindle head, machining, cutting conditions, drill jig.

The qualification paper presents technological calculations and prescribes cutting conditions for the manufacturing stages of the "Hub T0926" part. The kinematic diagram of the machine tool has been developed. A specialized multi-spindle head has been designed. Issues regarding occupational health and safety, as well as life safety, have been addressed.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Попов В.</i>			<i>Анотація</i>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					4	1
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВс-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В. Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						

Зміст

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Аналіз завдання	9
1.2 Характеристика об'єкту виробництва	15
1.3 Аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь та вибір раціональних схем оброблення поверхонь	16
1.4 Огляд літератури	20
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	22
2.1 Особливості способу отримання заготовки деталі «Маточина Т0926» .	22
2.2 Особливості запропонованого ТП обробки деталі «Маточина Т0926» .	24
2.3 Обґрунтування та вибір різального інструменту	26
2.4 Обґрунтування та призначення контрольних-вимірювальних інструментів	28
2.5 Верстатне забезпечення технологічного процесу	30
2.6 Розрахунок режимів різання для технологічної операції	31
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	37
3.1 Розрахунок та обґрунтування параметрів приводу головного руху	37
3.1.1 Вибір та обґрунтування структурно–кінематичної схеми верстата	37
3.1.2 Загальна компоновка і принцип дії верстата.....	41
3.1.3 Розрахунок діапазону регулювання та частот обертання	43
3.1.4 Структурна формула та структурна сітка приводу головного руху	44
3.1.5 Розрахунок чисел зубів зубчастих коліс та параметрів передач	47
3.1.6 Побудова кінематичної схеми верстату	50
3.2 Проектування конструкції багатошпindelної свердлильної головки..	52

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Попов В.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Склярів Р.А.</i>				5	2	
<i>Реценз.</i>					<i>ЗМІСТ</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Кобельник В. Р.</i>				<i>ТНТУ ім. І. Пулюя</i>		
<i>Затверд.</i>	<i>Крцпа В.В.</i>				<i>гр. МВс-41, м.Тернопіль</i>		

3.2.1 Розрахунок мінімально допустимих діаметрів валів.....	52
3.2.2 Вибір та розрахунок підшипників кочення	55
3.2.3 Визначення параметрів зубчастого зачеплення	56
3.2.4 Принцип роботи багатошпindelної свердлильної головки	58
3.2.5 Опис конструкції та принцип роботи пристосування для одночасного свердління двох отворів.....	60
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	63
4.1 Надзвичайні ситуації, викликані пожежами, вибухами, техногенними та природними причинами.....	63
4.2 Заходи, що забезпечують безпечні умови праці на свердлильному верстаті	65
4.3 Методи боротьби з монотонністю праці.....	66
ВИСНОВКИ.....	69
Перелік посилань	72
ДОДАТКИ.....	76

ВСТУП

Машинобудування є базовою галуззю промисловості, яка визначає рівень економічного розвитку та технологічної незалежності держави. Воно забезпечує інші сфери засобами виробництва, формує основу транспортної, енергетичної та оборонної інфраструктури. Сучасні тенденції розвитку машинобудування спрямовані на автоматизацію, цифровізацію, енергоефективність та гнучкість виробництва. У цьому контексті особливого значення набуває вдосконалення технологічного оснащення, яке дозволяє підвищити продуктивність і точність обробки без значних капіталовкладень у нове обладнання.

Універсальні свердлильні верстати широко застосовуються у серійному виробництві. Їхня продуктивність часто обмежується тим, що за один хід шпинделя можна просвердлити лише один отвір. Це створює «вузьке місце» технологічного процесу. Тому на виробництві застосовують спеціальні пристрої, які розширюють функціональні можливості універсального обладнання та підвищують його ефективність.

Встановлення багатошпindelної головки перетворює звичайний вертикально-свердлильний верстат на високопродуктивний напівавтомат. Такий верстат здатний виконувати складні технологічні цикли без придбання дорогого обладнання з числовим програмним керуванням. Замість послідовного свердління двох отворів, що потребує двох робочих ходів і проміжного позиціонування, спеціальна головка забезпечує їх одночасну обробку. Це знижує енерговитрати, скорочує холості ходи та зменшує знос основних вузлів верстата. Виробничий процес стає більш економічним і раціональним.

Навіть універсальні верстати, які з часом втрачають паспортну точність через знос напрямних і люфти шпинделя, можуть забезпечувати прецизійні параметри.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>					
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ВСТУП</i>					
<i>Розроб.</i>		<i>Попов В.</i>						<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>							<i>7</i>	<i>2</i>
<i>Реценз.</i>								<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>								

Конструкція спеціальної головки з кондукторними плитами та жорсткими шпинделями переносить забезпечення точності з верстата на оснащення. Необхідна міжосьова відстань гарантується конструкцією головки, а не точністю переміщення столу чи кваліфікацією робітника.

Важливою перевагою є економічна адаптивність. Оскільки проєктована спеціальна головка є знімним вузлом, після виконання партії деталей вона демонтується, і верстат знову готовий до універсальних операцій. Це забезпечує високий коефіцієнт завантаження обладнання та швидку окупність інвестицій у проєктування оснащення.

Метою роботи є створення конструкції багатошпиндельної свердлильної головки для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Маточина Т0926». Актуальність дослідження визначається потребою у підвищенні ефективності серійного виробництва та відповідності сучасним тенденціям розвитку машинобудування.

Структура і обсяг роботи. Представлена кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів та основних висновків. Записка містить 71 аркушів пояснювального матеріалу, 22 рисунків та 17 таблиць. При виконанні роботи використано різноманітну спеціалізовану літературу, а також публікації з мережі Internet. Перелік літератури містить 27 найменувань, які розміщені на 4 сторінках, а також 2 додатків на 4 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 80 сторінок.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз завдання

Деталь «Маточина Т0926» (див. рис. 1.1) входить до складу редуктора сільськогосподарської машини. Вона виконує функції забезпечення точної дистанції та фіксації вала із зубчастим колесом, запобігає їх осьовому зміщенню та забезпечує радіальне виставлення вузлів.

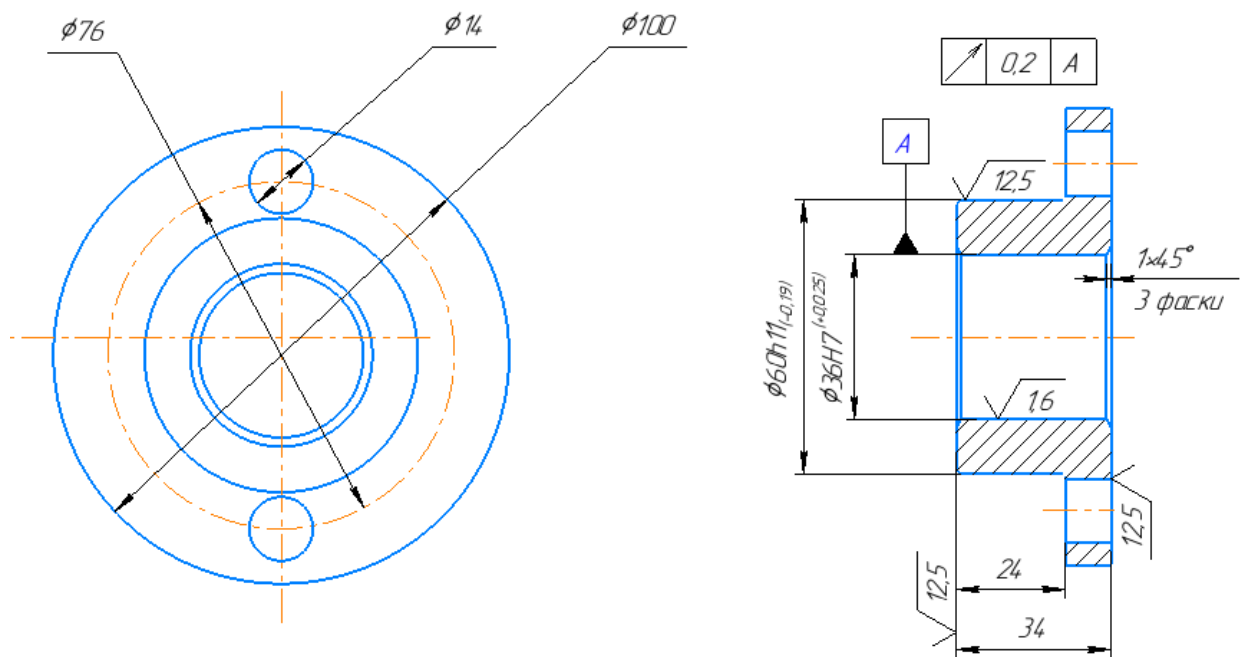


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд деталі «Маточина Т0926»

Згідно вихідних даних на кваліфікаційну роботу річна програма випуску деталі «Маточина Т0926» становить $N_p = 80\,000$ штук, що відповідає крупносерійному типу виробництва за ДСТУ 2391:2010 [1].

Згідно проведених розрахунків (див. рис. 1.2) маса готової деталі становить 0.853 кг.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>		
Эм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Разроб.	Попов В.				Лит.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Склярів Р.А.					9	13
Реценз.					АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА		
Н. Контр.	Кобельник В. Р.				ТНТУ ім. І. Пулюя		
Затверд.	Крцпа В.В.				гр. МВС-41, м. Тернопіль		

МЦХ моделі	
Деталь	
Задані параметри	
Матеріали тіла	Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016
Густина матеріалу	$R_o = 0.00785 \text{ г/мм}^3$
Розрахункові параметри (Тіла та компоненти)	
Маса	$M = 852.482372 \text{ г}$
Площа	$S = 25317.001304 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 108596.480454 \text{ мм}^3$
Центр мас	$X_c = 0.000000 \text{ мм}$ $Y_c = 0.000000 \text{ мм}$ $Z_c = 11.785829 \text{ мм}$

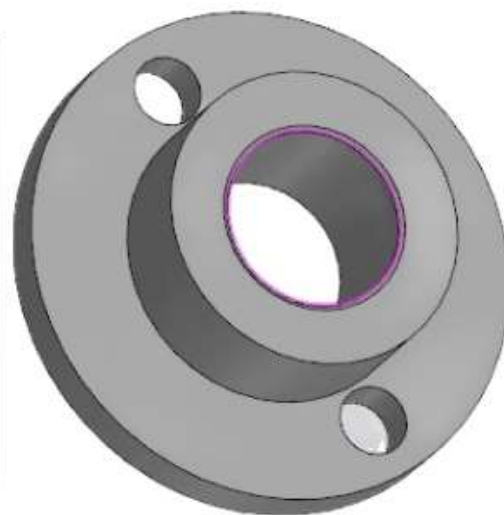


Рисунок 1.2 – Масо-центричні характеристики оброблюваної деталі

Центральний отвір $\varnothing 35H7^{+0.025}$ призначений для посадки вала, зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 60h11_{(-0.19)}$ слугує базою для встановлення, а торцева поверхня довжиною 24 мм визначає осьове положення деталі у вузлі. Кріплення до корпусу редуктора здійснюється через два отвори $\varnothing 14$ мм, розташовані на ділильному колі $\varnothing 76$ мм. До цих елементів висуваються вимоги щодо точності взаємного розташування та перпендикулярності до торцевої поверхні, допуск биття становить 0.2 мм.

Згідно з класифікатором ЄСКД деталь належить до 71 класу [2], а саме тіл обертання типу кілець, дисків, втулок, маточин. Співвідношення довжини деталі $L = 34$ мм до найбільшого зовнішнього діаметра $d = 100$ мм становить $L/d = 0.34 < 0.5$, що підтверджує її належність до підгрупи маточин.

Геометрія деталі «Маточини Т0926» є простою та раціональною, вона не потребує змін навіть при переході до іншого типу виробництва. Матеріалом слугує легована сталь 40Х, яка забезпечує необхідну міцність, зносостійкість та задовільну оброблюваність різанням. Це дозволяє досягати потрібної шорсткості на відповідальних поверхнях.

Заготовка отримується методом штампування, що є економічно виправданим і технологічно доцільним. Технологічні бази формуються природно: зовнішні та внутрішні циліндричні поверхні, а також торці.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Нетехнологічних поверхонь немає, усі елементи доступні для обробки та контролю.

Конструкція достатньо жорстка для сприйняття зусиль різання без виникнення вібрацій, а всі елементи є типовими, що спрощує підбір інструменту та оснащення. Тобто деталь є технологічною та придатною для обробки із застосуванням універсального верстатного обладнання.

Згідно з ДСТУ ГОСТ 14.205:2009 [3] кількісна оцінка технологічності виконується за показниками точності, шорсткості та уніфікації конструктивних елементів. У таблиці 1.1 наведено основні параметри поверхонь деталі «Маточина Т0926».

Таблиця 1.1 – Кількісні показники технологічності деталі «Маточина Т0926»

Назва поверхні	Кількість поверхонь	Кількість уніфікованих поверхонь	Квалітет точності	Параметр шорсткості	Клас шорсткості
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 100$	1	1	14	Rz40	4
Зовнішні торці (34 ± 0.2)	2	2	14	Ra12.5	3
Внутрішній торець (уступ 24)	1	1	14	Ra12.5	3
Центральний отвір $\varnothing 36H7$	1	1	7	Ra1.6	6
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 60h11$	1	1	11	Ra12.5	3
Отвори $\varnothing 14$ (2 шт.)	2	2	14	Ra25	2
Фаски ($1 \times 45^\circ$)	3	3	14	Rz40	4
Разом	11	11	–	–	–

Так для визначення середнього квалітету точності скористаємось формулою:

					КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum(T_i \cdot n_i)}{\sum n_i} \quad (1.1)$$

де T_i – квалітет точності окремої поверхні;
 n_i – кількість поверхонь із даним квалітетом.

Для визначення коефіцієнт точності обробки слід застосувати вираз:

$$K_{\text{тч}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{cp}}} \quad (1.2)$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$T_{\text{cp}} = \frac{14 \cdot 9 + 11 \cdot 1 + 7 \cdot 1}{11} = 12.8$$

$$K_{\text{тч}} = 1 - \frac{1}{12.8} \approx 0.92$$

Отримане розрахункове значення дозволяє віднести деталь «Маточина Т0926» до деталей середньої точності, вона є технологічною.

Методика аналізу передбачає визначення середнього класу шорсткості:

$$B_{\text{cp}} = \frac{\sum(B_i \cdot n_i)}{\sum n_i} \quad (1.3)$$

де B_i – клас шорсткості поверхні;
 n_i – кількість поверхонь відповідного класу.

Для обчислення коефіцієнту шорсткості використовуємо вираз:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{cp}}} \quad (1.4)$$

В результаті підстаовки отримаємо:

$$B_{\text{cp}} = \frac{4 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 6 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 4 \cdot 3 + 3 \cdot 1}{11} = 3.45$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{3.45} \approx 0.29$$

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Отримане значення коефіцієнту дозволяє зробити висновок, що деталь не є важкооброблюваною.

Також необхідно розрахувати коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів, для цього скористаємось формулою:

$$K_{y,e} = \frac{N_{y,e}}{N_e} \quad (1.5)$$

де $N_{y,e}$ – число уніфікованих елементів;

N_e – загальне число елементів.

Підставивши значення, отримаємо:

$$K_{y,e} = \frac{11}{11} = 1.0$$

Це дозволяє зробити висновок, що усі конструктивні елементи деталі є уніфікованими.

Таким чином, проведений аналіз показує, що деталь «Маточина Т0926» є технологічною як за якісними, так і за кількісними показниками, а її конструкція не потребує змін чи спрощення.

Базовий технологічний процес виготовлення деталі «Маточина Т0926» передбачає отримання заготовки методом відкритої гарячої штамповки на кривошипному гарячостампувальному пресі. Такий спосіб є економічно виправданим і технологічно доцільним для масового виробництва, проте він формує заготовку з більшими припусками на механічну обробку.

Подальший маршрут (див. табл. 1.2) включає свердлильні, протяжні та токарні операції на універсальному обладнанні, що забезпечують необхідну точність і чистоту поверхонь.

Базовий технологічний процес виготовлення «Маточини Т0926» має низку недоліків, які обмежують його ефективність у масовому виробництві.

По перше, використання відкритої гарячої штамповки формує заготовку з великими припусками. Це збільшує витрати металу і трудомісткість механічної обробки.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

Таблиця 1.2 – Базовий ТП виготовлення деталі «Маточина Т0926»

Обладнання (тип і модель)	Суть операції
005 Радіально-свердлильна	
Радіально-свердлильний верстат 2А554	Попереднє свердління / розсвердлювання центрального отвору для базування
010 Горизонтально-протяжна	
Горизонтально-протяжний верстат 7Б35	Протягування внутрішньої поверхні Ø36Н7 для забезпечення точності посадки
015 Токарно-гвинторізна	
Токарно-гвинторізний верстат 1К62	Обробка зовнішнього діаметра Ø100, підрізання торця 34 мм
020 Токарно-гвинторізна	
Токарно-гвинторізний верстат 16К20	Обробка зовнішнього діаметра Ø60h11, формування фасок
025 Токарно-гвинторізна	
Токарно-гвинторізний верстат 1К62	Підрізання торця 24 мм, доведення геометрії
030 Вертикально-свердлильна	
Вертикально-свердлильний верстат 2А135	Остаточне свердління кріпильних отворів Ø14 мм на ділільному колі Ø76 мм

По друге, процес передбачає багаторазові перевстановлення деталі на різних верстатах. Кожне перевстановлення потребує додаткового часу і створює ризик накопичення похибок.

По третє, базування здійснюється на різні поверхні залежно від операції. Це ускладнює забезпечення точності взаємного розташування елементів, особливо кріпильних отворів відносно центрального отвору і торців.

По четверте, застосування універсальних верстатів не забезпечує високої продуктивності. Вони потребують ручного налаштування і збільшують час підготовчо завершальних робіт.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

По п'яте, свердлильні операції виконуються послідовно, що подовжує цикл обробки. В умовах масового виробництва це є суттєвим недоліком, адже саме свердління займає значну частку часу.

1.2 Характеристика об'єкту виробництва

Для деталі «Маточина Т0926» в якості заготовки використовується відкрита гаряча штамповка. При цьому згідно робочої документації, матеріалом є легована сталь 40Х [4], її хімічний склад приведено на рис. 1.3, а механічні характеристики на рис. 1.3.

Елемент	Вміст, %
Вуглець (С)	0.37-0.44
Силіцій (Si)	0.17-0.37
Марганець (Mn)	0.50-0.80
Хром (Cr)	0.80-1.10
Сірка (S)	до 0.035
Фосфор (P)	до 0.035

Рисунок 1.3 – Хімічний склад сталі 40Х

Характеристики	Значення
Межа міцності при розтягу (σ_B), МПа	980-1180
Межа текучості (σ_T), МПа	785-885
Відносне подовження (δ_5), %	9-14
Ударна в'язкість (КСУ), кДж/м ²	Залежить від температури та обробки
Твердість за Брінеллем (НВ), НВ	207-255
Твердість за Роквеллом	Залежить від термообробки
Модуль пружності, ГПа	200-210
Коефіцієнт Пуассона	0.27-0.30
Щільність, кг/м ³	7800-7900

Рисунок 1.4 – Механічні характеристики сталі 40Х

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Використовуючи класифікатор ЄСКД [1], для деталі «Маточина Т0926» визначено класифікаційний індекс. У таблиці 1.3 подано ідентифікаційні ознаки та кваліфікаційні характеристики, що відображають геометричну форму та конструктивні особливості виробу. Це дозволяє чітко віднести деталь до відповідного класу й підкласу, а також окреслити її групові та видові ознаки.

Таблиця 1.3 – Класифікаційні характеристики деталі «Маточина Т0926»

Ознака (Розряд)	Код	Характеристика за класифікатором
Клас (1–2)	71	Деталі – тіла обертання типу кілець, дисків, втулок, маточин
Підклас (3)	1	Циліндрична зовнішня поверхня при співвідношенні $L \leq 0,5D$
Група (4)	3	Ступінчасті без закритих уступів і без зовнішньої різьби (однобічні)
Підгрупа (5)	1	З центральним наскрізним отвором, круглим у перерізі, без різьби, гладким
Вид (6)	2	Без пазів на зовнішній поверхні, з отворами поза віссю деталі

Таким чином деталь «Маточина Т0926» має класифікаційну характеристику 711312.

1.3 Аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь та вибір раціональних схем оброблення поверхонь

Проаналізувавши базовий технологічний процес виготовлення деталі «Маточина Т0926», ми встановили його недосконалість. Основні проблеми полягають у великій кількості переустановлень, використанні різних баз для окремих операцій, а також у застосуванні протяжної операції та універсальних токарних верстатів, які не забезпечують належної продуктивності в умовах масового виробництва.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

З огляду на це маршрут обробки необхідно змінити. Ми відмовляємося від протяжної операції та класичних токарних верстатів і застосуємо токарно-револьверний верстат, що дозволяє концентрувати кілька переходів в одній установці. Такий підхід відповідає принципам сталості баз, суміщення баз та технологічної сумісності, а також враховує тип виробництва, який вимагає концентрації операцій.

Для виконання операцій механічної обробки потрібно забезпечити комбінацію формоутворюючих рухів інструмента та заготовки [5]. Саме вони визначають кінематичні схеми, що лежать в основі раціонального маршруту.

Розточування внутрішнього отвору. Для отримання циліндричної поверхні $\varnothing 35H7$ використовується схема, де головним рухом є обертання заготовки, а допоміжним – поступальне переміщення різця. (див. рис. 1.5)

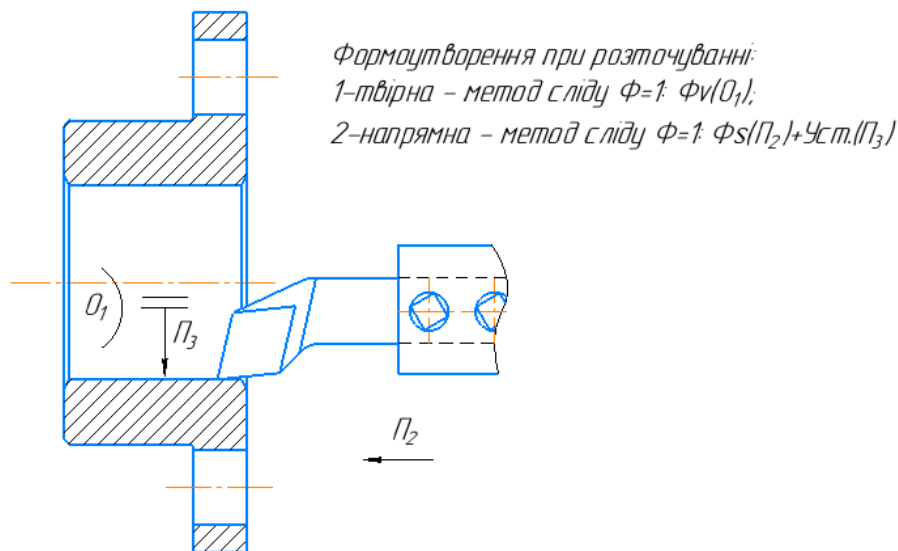


Рисунок 1.5 – Набір формоутворюючих рухів при розточуванні отворів

Точіння зовнішніх поверхонь. При формуванні діаметрів $\varnothing 100$ та $\varnothing 60h11$ обладнання повинно реалізувати класичну схему (див. рис. 1.6), головний рух – обертання заготовки, подача – переміщення інструмента вздовж осі.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

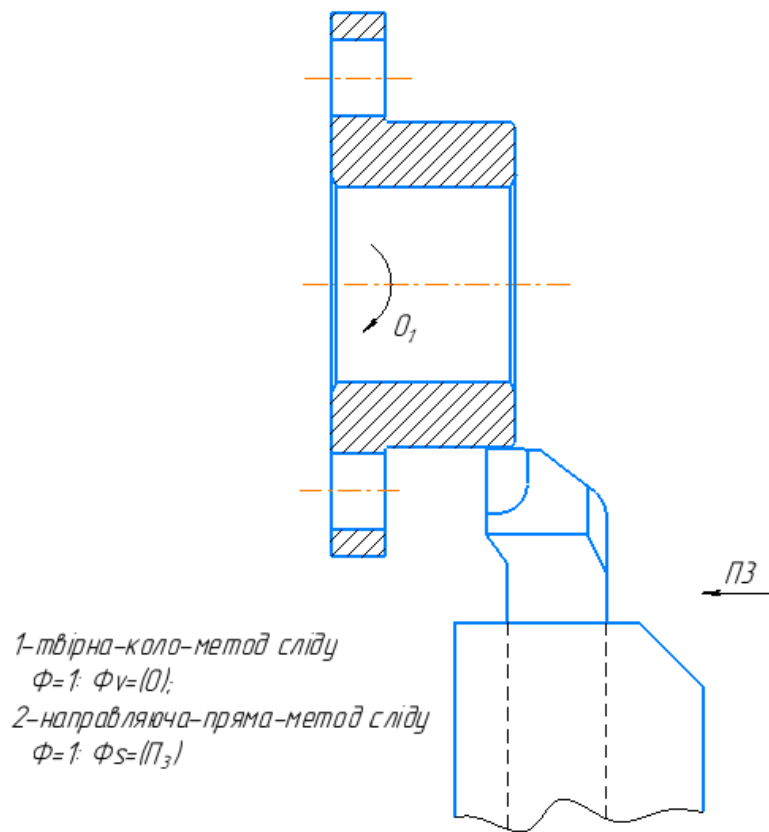


Рисунок 1.6 – Набір формуючих рухів при зовнішньому точінні

Формування фасок. Для фасок $1 \times 45^\circ$ застосовується комбінована схема (див. рис. 1.7), що поєднує поздовжню та поперечну подачу різця. Вона забезпечує плавний перехід між поверхнями та знімає гострі кромки.

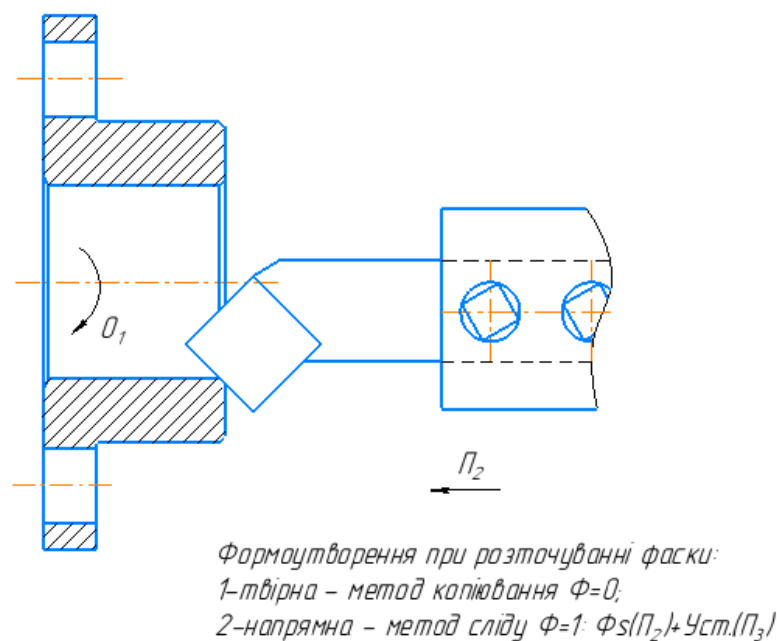


Рисунок 1.7 – Набір формуючих рухів при точінні фаски

Свердління кріпильних отворів. Отвори $\varnothing 14$ мм на дільному колі $\varnothing 76$ мм формуються поєднанням головного обертального руху свердла та поступальної осьової подачі (див. рис. 1.8).

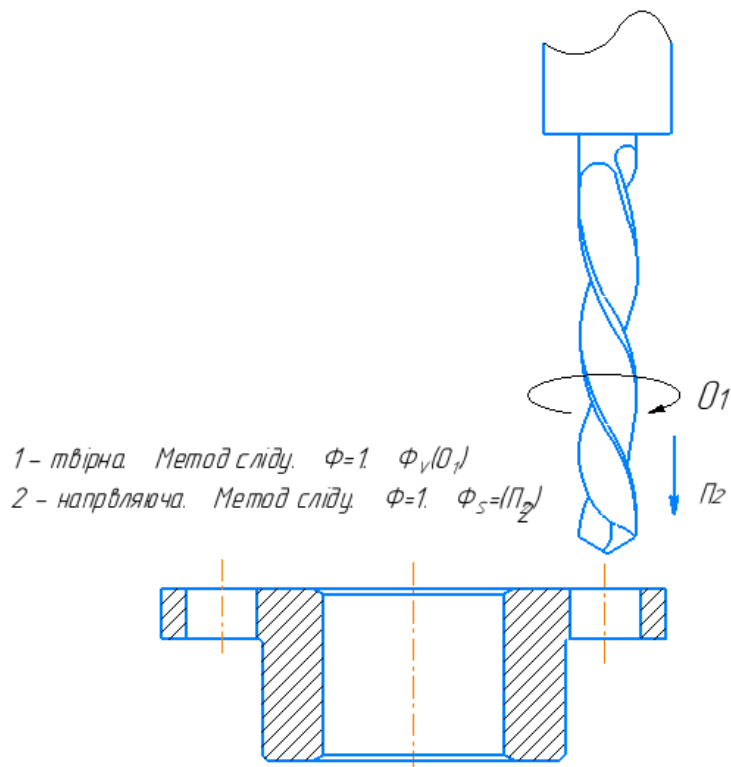


Рисунок 1.8 – Набір формоутворюючих рухів при свердлінні отворів

Проведений аналіз показав, що для реалізації проєктованого технологічного процесу доцільно використовувати комбінацію токарно револьверного верстата та спеціального свердлильного обладнання. Такий вибір забезпечує концентрацію переходів в одній установці, сталість технологічних баз і скорочення кількості перевстановлень. Застосування токарно револьверного напівавтомата дозволяє виконувати точіння зовнішніх поверхонь, розточування внутрішнього отвору та формування фасок у межах єдиної кінематичної схеми. Спеціальний свердлильний верстат із багатопшпіндельною головкою забезпечує одночасне свердління кріпильних отворів, що значно підвищує продуктивність і технологічну сумісність процесу.

1.4 Огляд літератури

У науковій праці [6] основну увагу акцентовано на проблемі концентрації технологічних переходів під час обробки отворів осьовими інструментами. Дослідники підкреслюють, що саме багатошпindelьні головки виступають одним із засобів інтенсифікації виробничих процесів. Їх застосування дозволяє одночасно виконувати кілька операцій, зменшувати кількість переустановлень і забезпечувати сталість баз, що особливо важливо для деталей типу дисків, маточин та фланців.

Для обґрунтування вибору конструкції багатошпindelьної головки було проведено аналіз сучасних інженерних рішень, висвітлених у навчальному посібнику [7]. У цій праці систематизовано архітектурні варіанти головок із різними типами приводів та компоновок, що дозволяє оцінити їхні переваги й обмеження.

У статті [8] розглянуто актуальне питання підвищення гнучкості виробництва за рахунок використання переналагоджуваних багатошпindelьних свердлильних головок у поєднанні з універсальними кондукторами. Автори не обмежуються лише описом конструкцій, а проводять ґрунтовне техніко-економічне обґрунтування, яке підтверджує доцільність застосування такого оснащення для серійної обробки однотипних деталей.

У контексті системного підходу до проектування оснащення важливою є праця [9], де викладено теорію побудови, створення та розвитку технічних систем. Автор пропонує розглядати будь-яке технологічне пристосування не як ізольований механізм, а як складну систему, що функціонує та розвивається за певними закономірностями.

У науковій праці [10] особливу увагу приділено прогнозуванню розвитку технічних систем. Автори пропонують методики аналізу еволюції верстатного оснащення та визначення перспективних напрямів його вдосконалення. Ключовим моментом їхнього підходу є виявлення технічних суперечностей, які виникають у процесі експлуатації, та пошук шляхів їхнього вирішення через синтез нових морфологічних рішень.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Додаткову основу для обґрунтування точності процесу свердління формує дослідження [11]. У роботі запропоновано статистичні методики оцінювання параметрів металорізальних верстатів, які дозволяють прогнозувати точність обробки. У контексті проектування багатошпindelної головки для вертикально свердлильного верстата це означає можливість врахувати динамічні характеристики системи «ВПД» та передбачити можливі відхилення. Такий підхід забезпечує стабільність геометричних параметрів і підвищує надійність процесу.

Окремим важливим аспектом при проектуванні та експлуатації свердлильного оснащення є дослідження жорсткості несучої системи верстата, що детально розглянуто у праці [12]. Автори показали, що статична та динамічна жорсткість вертикально свердлильних верстатів безпосередньо впливають на точність обробки. У випадку використання багатошпindelних головок, які створюють значні осьові зусилля та крутні моменти, врахування жорсткості вузлів верстата стає критично важливим. Недостатня жорсткість призводить до появи вібрацій та відхилень осей отворів, що знижує якість і точність обробки.

Наукове обґрунтування точності роботи технологічної системи доповнюється дослідженнями [13], які присвячені кінематичній точності механізму подач вертикально свердлильних верстатів. На прикладі моделі 2Н118 автори розробили методику оцінювання похибок, що виникають у ланцюгах механізму подач. Дане дослідження при проектуванні багатошпindelної головки дозволяє врахувати вплив нерівномірності подачі та люфтів у механізмах верстата на стабільність процесу різання. Це дозволяє підвищити точність формування отворів і забезпечити відповідність геометричних параметрів вимогам виробництва деталі «Маточина Т0926».

В сучасних умовах проектування верстатів та їхніх вузлів важливим є перехід від спрощених емпіричних моделей до уточненого математичного прогнозування. Використання універсальних математичних пакетів, зокрема Mathcad, дає змогу ще на стадії ескізного проектування визначати вихідні параметри металорізальних верстатів [14]. Це значно скорочує термін доведення конструкції та підвищує точність прогнозування технічних характеристик обладнання.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Особливості способу отримання заготовки деталі «Маточина Т0926»

На етапі попереднього аналізу було виконано проектування заготовки для деталі «Маточина Т0926». Розрахункові параметри наведено в таблиці 2.1. Заготовку передбачається отримувати методом штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі у двох варіантах, а саме відкритої (рис. 2.1) та закритої (рис. 2.2) штамповки. Такий підхід дозволяє порівняти точність, масу та припуски заготовок, а також оцінити їхню економічну ефективність у подальшій механічній обробці.

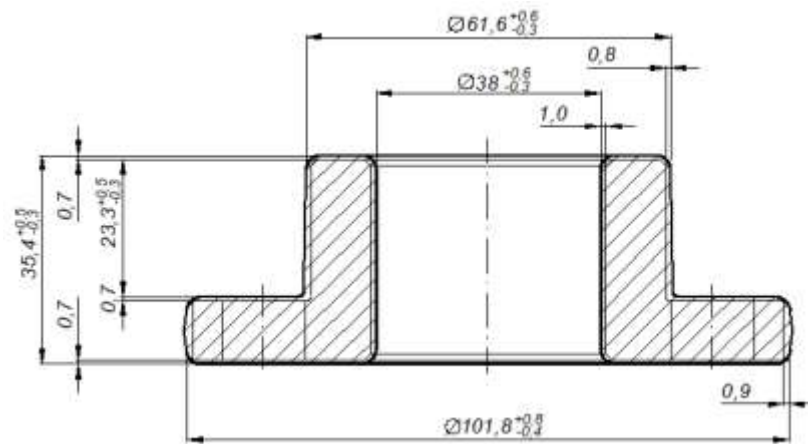


Рисунок 2.1 – Ескіз закритої штамповки для гарячештампувального пресу

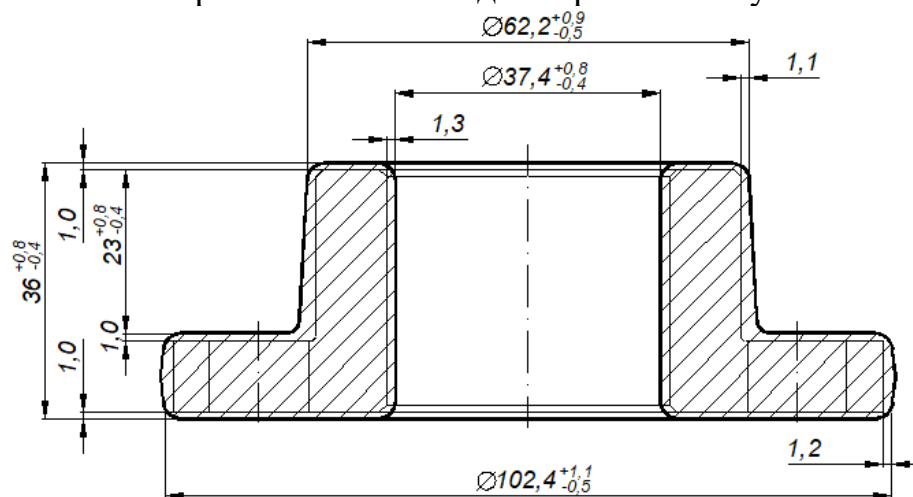


Рисунок 2.2 – Ескіз відкритої штамповки для гарячештампувального пресу

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Разроб.		Попов В.А.			Лит.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Склярів Р.А.				22	15
Реценз.					ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопіль		
Н. Контр.		Кодельник В. Р.					
Затверд.		Крцпа В.В.					
					<i>ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</i>		

Таблиця 2.1 – Загальні припуски і розміри проектованої заготовки

Оброблювана поверхня	Параметр шорсткості	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки з граничними відхиленнями	Коментар
<i>Варіант 1 (закрита штамповка, індекс 6)</i>					
Зовнішня Ø100h14	Rz40	1.2	1.8	Ø101.8	Менший припуск знижує витрати на обробку
Внутрішня Ø40H7	Ra1.6	1.0	2.4	Ø37.6	Точність забезпечує стабільність посадки
Зовнішня Ø76 (ступінь)	Ra12.5	1.0	1.8	Ø77.8	Раціональний припуск для серійної обробки
Торцева (довжина 34)	Ra12.5	0.9	2.0	36	Забезпечує рівномірність торцевої площини
Торцева (довжина 24)	Ra12.5	0.9	0.8	24.8	Мінімальний припуск скорочує цикл обробки
<i>Варіант 2 (відкрита штамповка, індекс 9)</i>					
Зовнішня Ø100h14	Rz40	1.6	2.4	Ø102.4	Більший припуск збільшує витрати часу
Внутрішня Ø40H7	Ra1.6	1.2	2.6	Ø37.4	Підвищені припуски ускладнюють доведення
Зовнішня Ø76 (ступінь)	Ra12.5	1.4	2.2	Ø78.2	Вимагає додаткових переходів
Торцева (довжина 34)	Ra12.5	1.2	2.0	36	Аналогічно варіанту 1
Торцева (довжина 24)	Ra12.5	1.2	1.0	23	Зменшений розмір потребує корекції

						<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			23

Закрита штамповка забезпечує менші припуски та точніші розміри, що знижує витрати на механічну обробку і підвищує економічну ефективність. Відкрита штамповка є технологічно простішою, але потребує більших припусків, що збільшує трудомісткість і собівартість.

2.2 Особливості запропонованого ТП обробки деталі «Маточина Т0926»

На рис. 2.3 наведено ескіз деталі з позначенням основних поверхонь (1...10), які входять у маршрут обробки. Кожна поверхня має своє призначення у формуванні геометрії, а послідовність операцій забезпечує логічний і послідовний технологічний процес.

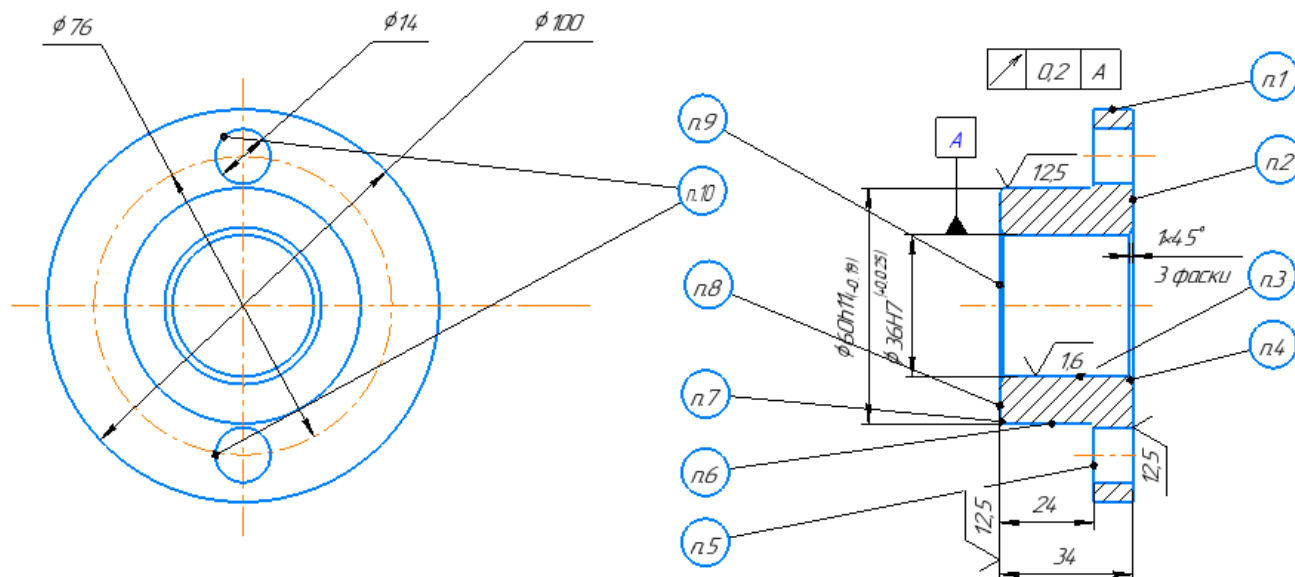


Рисунок 2.3 – Ескіз деталі із зазначенням основних поверхонь

Проведемо розробку проектного технологічного процесу.

Операція 005. Токарна з ЧПК.

Спочатку проводиться підрізання торця (п.2) з переднього супорта. Після цього відбувається обробка зовнішньої поверхні (п.1) Ø100 мм та внутрішньої фаски (п.4) розміром 1 × 45°. Ці переходи виконуються одночасно, що скорочує час обробки. Завершальним етапом є остаточне точіння торця (п.2) із заднього супорта.

										Арк.
										24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ					

Операція 010. Токарна з ЧПК.

На цьому етапі здійснюється комплексна обробка. Торці (п.5) і (п.8) точаться одночасно, спочатку попередньо, а потім остаточно. Далі відбувається точіння зовнішньої поверхні (п.6) $\varnothing 60$ мм і формування зовнішньої фаски (п.7) розміром $1 \times 45^\circ$. Наступним кроком є розточування отвору (п.3) $\varnothing 40$ мм. Завершальним переходом стає розвертання цього отвору, спочатку чорнове, після чого чистове. Після розвертання формується внутрішня фаска (п.9) розміром $1 \times 45^\circ$.

Операція 015. Вертикально свердлильна.

На цьому етапі технологічного процесу виконується одночасне свердління двох отворів (п.10) і (п.11) $\varnothing 14$ мм. Відстань між їхніми осями становить 76 мм. Для забезпечення точності використовується кондуктор, а жорстка конструкція багатошпindelної головки гарантує правильність взаємного розташування отворів. Одночасна обробка підвищує продуктивність і зменшує похибку, що могла б виникнути при послідовному свердлінні.

Операція 020. Контрольна.

Перевіряються основні параметри: зовнішній діаметр (п.1) $\varnothing 100h14$, зовнішній діаметр (п.6) $\varnothing 60h11$, внутрішній отвір (п.3) $\varnothing 40H7$, довжина (п.2) 34 мм, а також точність міжцентрової відстані 2-х отворів (п.10). Контроль повинен підтвердити відповідність деталі кресленню та якість виготовлення.

В таблиці 2.2 приведено проєктний варіант ТП обробки деталі «Маточина Т0926».

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.2 – Проектна маршрутна технологія обробки «Маточини Т0926»

Назва операції та зміст переходів	Виконавчі розміри, мм та технічні вимоги
<p>Операція 005. Токарна з ЧПК.</p> <p>1. Підрізання торця (п.2). 2. Формування зовнішньої поверхні (п.1) $\varnothing 100$ та внутрішньої фаски (п.4) $1 \times 45^\circ$. 3. Остаточне точіння торця (п.2).</p>	<p>$\varnothing 100h14$; фаска $1 \times 45^\circ$; торець $34 \pm 0,2$ мм; шорсткість $Rz40$</p>
<p>Операція 010. Токарна з ЧПК.</p> <p>1. Точіння торців (п.5, п.8). 2. Формування зовнішньої поверхні (п.6) $\varnothing 60$ та зовнішньої фаски (п.7) $1 \times 45^\circ$. 3. Розточування отвору (п.3) $\varnothing 40$. 4. Розвертання отвору (п.3) чорнове і чистове. 5. Формування внутрішньої фаски (п.9) $1 \times 45^\circ$.</p>	<p>$\varnothing 60h11$; $\varnothing 40H7$; фаски $1 \times 45^\circ$; торці $24 \pm 0,2$ мм; шорсткість $Ra1.6 \div 12.5$</p>
<p>Операція 015. Вертикально свердлильна.</p> <p>Одночасне свердління отворів (п.10, п.11) $\varnothing 14$ на міжосьовій відстані 76 мм.</p>	<p>$\varnothing 14$ на міжосьовій відстані $76 \pm 0,2$ мм; шорсткість $Ra25$</p>
<p>Операція 020. Контрольна.</p> <p>Перевірка основних параметрів: $\varnothing 100h14$, $\varnothing 60h11$, $\varnothing 40H7$, довжина 34 мм, точність міжцентрової відстані отворів $\varnothing 14$.</p>	<p>Відповідність кресленню; контроль квалітетів і допусків</p>

2.3 Обґрунтування та вибір різального інструменту

Вибір інструменту визначається матеріалом деталі, яким є легована сталь 40Х, вимогами точності до ІТ7, необхідною шорсткістю поверхонь та умовами серійного виробництва. Для забезпечення стійкості, продуктивності та

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

стабільності розмірів на всіх етапах обробки використано інструмент компанії Walter Tools [15].

Доцільність використання інструментів Walter підтверджується низкою характеристик. Висока точність забезпечується спеціальною геометрією ріжучих кромки. Скорочення часу обробки досягається завдяки можливості роботи на підвищених режимах різання. Надійність гарантують змінні пластини з покриттям *Tiger · tec® Gold* та системи жорсткого кріплення. Сумісність із сучасними токарно-револьверними напівавтоматами та вертикально свердлильними верстатами робить цей вибір оптимальним для серійного виробництва.

Для токарних операцій будемо використовувати збірні різці з механічним кріпленням змінних багатогранних пластин *Tiger tec® Gold*. Вони дозволяють швидко замінювати ріжучу частину без переналагодження та значно підвищують швидкість різання. Для чорнового і напівчистового точіння зовнішніх поверхонь використано пластини *WNMG* із шістьма робочими крайками. Для підрізання торців обрано пластини *CNMG*, для розточування отворів *CCMT*, а для точіння фасок *DCMT*.

Фінішна обробка отвору $\varnothing 40H7$ виконується розверткою *Walter Titex D999*, яка забезпечує квалітет *H7* та шорсткість *Ra1.6*. Для свердлильної операції $\varnothing 14$ мм використовується цілісне твердосплавне свердло *Walter Titex DC150 Perform* з внутрішнім підведенням МОР. Воно гарантує високу жорсткість і точність міжцентрової відстані, що особливо важливо для багатошпindelної головки.

У таблиці 2.3 наведено обґрунтування та вибір різального інструменту Walter для виконання всіх основних операцій технологічного процесу. Вона відображає відповідність інструментів конкретним поверхням деталі та забезпечує досягнення заданих параметрів точності й шорсткості.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 2.3 – Інструменти Walter для обробки деталі «Маточина Т0926»

Операція	Поверхні	Тип інструменту	Державка або оправка	Ріжуча частина
005	п.1 (Ø100), п.2 (торець), п.4 (фаска)	Різець прохідний та фасочний	<i>DCLNR 2525M 12</i>	Пластина <i>WNMG</i> , <i>DCMT</i> <i>Tiger ·</i> <i>tec® Gold</i>
010	п.5, п.8 (торці), п.6 (Ø60), п.7 (зовнішня фаска)	Різець прохідний та підрізний	<i>PCLNR 2525M 12</i>	Пластини <i>CNMG</i> , <i>DCMT</i> <i>Tiger ·</i> <i>tec® Gold</i>
010	п.3 (Ø40 розточування)	Розточувальна оправка	<i>S20U CCMT 09</i>	Пластина <i>CCMT</i>
010	п.3 (Ø40H7 чистове), п.9 (внутрішня фаска)	Розвертка цілісна та фасочний різець	Конус Морзе або цанга	<i>Walter Titex</i> <i>D999</i> , пластина <i>DCMT</i>
015	п.10, п.11 (2 × Ø14)	Свердло цілісне твердосплавне	Цанговий патрон	<i>Walter Titex</i> <i>DC150 Ø14.0</i>

2.4 Обґрунтування та призначення контрольно-вимірювальних інструментів

Для підтвердження відповідності готової деталі «Маточина Т0926» вимогам креслення застосовується комплекс контрольно-вимірювальних інструментів (див. табл. 2.4).

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Таблиця 2.4 – Вибір контрольно-вимірювальних інструментів

Поверхні	Вимірювальний інструмент	Призначення
<i>Операція 005. Токарна з ЧПК</i>		
п.1 (Ø100h14)	Калібр-скоба Ø100h14, ШЦ-I-125-0,1	Зовнішній діаметр після точіння
п.2 (торець 34 ± 0.2 мм)	Шаблон лінійний, ШЦ-I-125-0,1	Лінійний розмір торця
п.4 (фаска 1 × 45°)	Шаблон фасочний 1×45°	Кут та розмір фаски
<i>Операція 010. Токарна з ЧПК</i>		
п.5 (торець 34 мм)	ШЦ-I-125-0,1	Перевірка загальної довжини
п.8 (торець 24 ± 0,2 мм)	Шаблон лінійний, ШЦ-I-125-0,1	Лінійний розмір виступу
п.6 (Ø60h11)	Калібр-скоба Ø60h11, ШЦ-I-125-0,1	Зовнішній діаметр після точіння
п.7, п.9 (фаска 1 × 45°)	Шаблон фасочний 1×45°	Кут та розмір фаски
п.3 (Ø40H7)	Калібр-пробка Ø40H7; взірці шорсткості Ra1.6	Діаметр отвору після розвертання, якість поверхні
п.3 (биття відносно бази А)	Індикатор ІЧ-02, биттемір	Перпендикулярність осі отвору до торця
<i>Операція 015. Вертикально свердлильна</i>		
п.10, п.11 (Ø14H14)	Калібр-пробка Ø14H14	Діаметр кожного отвору
п.10, п.11 (міжцентрова відстань 76 ± 0.2 мм)	ШЦ-I-125-0,1	Відстань між осями двох отворів
п.10, п.11 (биття відносно бази А)	Індикаторна стійка з індикатором ІЧ-02	Перпендикулярність осей отворів до торця
<i>Операція 020. Контрольна</i>		
Усі основні поверхні	Комплект калібрів, шаблонів, взірців шорсткості та індикаторних пристроїв	Остаточний контроль відповідності

Вибір засобів контролю здійснено з урахуванням квалітетів точності від IT7 до IT14, параметрів шорсткості поверхонь у межах Ra1.6 ÷ Rz40, типу виробництва (серійне) та необхідної продуктивності перевірки.

Штангенциркулі використовуються для універсального контролю лінійних розмірів, діаметрів і міжцентрових відстаней з точністю до 0.1 мм. Індикатори годинникового типу застосовуються для контролю биття та відхилень від перпендикулярності. Калібри-скоби забезпечують швидкий контроль зовнішніх діаметрів (Ø100h14, Ø60h11), а калібри-пробки гарантують точність внутрішніх отворів (Ø40H7, Ø14H14). Шаплони фасочні та лінійні дозволяють оперативно перевіряти фаски 1 × 45° та лінійні розміри торців. Взірці шорсткості використовуються для оцінки якості поверхні після чистових переходів.

2.5 Верстатне забезпечення технологічного процесу

Вибір верстатного обладнання є визначальним фактором реалізації проектного технологічного процесу. Він здійснюється на основі аналізу конструктивних особливостей деталі, її габаритних розмірів, необхідної точності обробки, типу виробництва (серійне) та економічної доцільності. Для виготовлення деталі «Маточина Т0926» запропоновано наступне верстатне забезпечення (див. табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Верстатне забезпечення технологічного процесу

Модель верстата	Основне призначення
005 Токарна з ЧПК	
16К20Ф3	Чорнове та чистове точіння зовнішніх поверхонь, торців, фасок
010 Токарна з ЧПК	
16К20Ф3	Розточування та розвертання отвору Ø40H7, обробка торців
015 Вертикально-свердлильна	
2А135	Одночасне свердління двох отворів Ø14H14 (з використанням багатошпиндельної головки)

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Для токарної обробки (операції 005 та 010) обрано токарний верстат з ЧПК 16K20Ф3 [16]. Він широко використовується в серійному виробництві для деталей типу маточин, фланців та втулок. Верстат забезпечує необхідний діапазон частот обертання для обробки сталі 40X інструментом *Walter Tiger · tec® Gold*, має револьверну головку на 6 позицій та відповідає вимогам точності IT7 ... IT14. Його технічні характеристики приведені в Додатку А.

Для операції 015 (свердління двох отворів Ø14H14) використовується вертикально-свердлильний верстат моделі 2A135 [17], який оснащується проектованою багатошпindelною головкою. Верстат має достатню потужність, жорсткість та запас міцності для одночасного свердління двох отворів у сталі 40X, забезпечує стабільність міжосьової відстані 76 мм та відповідає вимогам серійного виробництва. Його технічні характеристики приведені в Додатку Б.

2.6 Розрахунок режимів різання для технологічної операції

Розрахунок режимів різання виконуємо для операції 015 «Вертикально-свердлильна», у якій здійснюється одночасне свердління двох отворів Ø14H14 у деталі «Маточина T0926». Для цього будемо використовувати двошпindelну головка (її проектування буде здійснено в 3 розділі). В якості обладнання приймаємо вертикально-свердлильний верстат моделі 2A135.

Для проведення розрахунків сформуємо вихідні дані, їх для зручності подано в таблиці 2.6.

Згідно з каталогом Walter Tools [15] для твердосплавних свердел серії DC150 при обробці легованої сталі 40X рекомендовано застосовувати такі параметри: швидкість різання $v_c = 80$ м/хв та подачу $s = 0.22$ м/хв. Ці значення забезпечують оптимальне поєднання продуктивності та стійкості інструменту, дозволяючи отримати якісну поверхню отвору при серійному виробництві.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Таблиця 2.6 – Вихідні дані для розрахунку режимів різання

Параметр	Значення
Матеріал деталі	Сталь 40Х
Механічні властивості	$\sigma_B = 700 \dots 800$ МПа, $HB 200 \dots 230$
Вид заготовки	Штамповка
Діаметр свердла (D)	14.0 мм
Глибина свердління (L)	20 мм (наскрізне)
Кількість отворів	2 (одночасно)
Інструмент	Свердло <i>Walter Titeх DC150 Perform</i> Ø14
Модель верстата	2A135
Частота обертання шпинделя	$68 \dots 1100$ хв ⁻¹
Робоча подача	0.1 ... 1.6 мм/об
Потужність двигуна	4.5 кВт
ККД верстата	$\eta \approx 0.8$
Максимальна осьова сила	15000 Н

Для розрахунку частоти обертання використовується формула [18]:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (2.1)$$

де v_c – швидкість різання, м/хв;

D – діаметр свердла, мм.

Підставляючи рекомендовані значення $v_c = 80$ м/хв та $D = 14$ мм, отримуємо:

$$n = \frac{1000 \cdot 80}{3,14 \cdot 14} \approx 1818 \text{ хв}^{-1}$$

Розраховане значення перевищує паспортну межу верстата 2A135, для якого $n = 1100$ хв⁻¹. Приймаємо фактичну частоту обертання, яка відповідає його технічним можливостям:

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$n_{\phi} = 1100 \text{ хв}^{-1}$$

Тоді величина фактичної швидкості різання буде становити [18]:

$$v_f = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} \quad (2.2)$$

Після підстановки отримаємо:

$$v_f = \frac{3.14 \cdot 14 \cdot 1100}{1000} \approx 48.4 \text{ м/хв}$$

Реальна швидкість різання є нижчою за рекомендовану, але відповідає технічним можливостям верстата і забезпечує стабільність процесу свердління.

Далі нам потрібно визначити осьове зусилля для одного свердла, для цього скористаємось емпіричною формулою [18]:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot d^{q_p} \cdot s^{y_p} \cdot k_p \quad (2.3)$$

де C_p – поправочний коефіцієнт, для сталі 40Х $C_p = 67$;

$q_p = 1.0$; $y_p = 0.8$; $k_p = 1.0$.

Проведемо розрахунок при рекомендованій виробником подачі. Так при $s = 0.22$ мм/об отримаємо:

$$P_o = 10 \cdot 67 \cdot 14^1 \cdot 0.22^{0.8} \cdot 1 \approx 2800 \text{ Н}$$

Сумарне осьове зусилля для двох свердел буде становити:

$$P_{\Sigma} = 2 \cdot P_o = 5600 \text{ Н}$$

Отримане значення значно менше за допустиме значення для верстата 2А135 (16000 Н).

Визначаємо значення крутного момент при свердлінні одного отвору, для цього скористаємось формулою [18]:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot d^2 \cdot s^{0.8} \cdot k_m \quad (2.4)$$

де $C_m = 0.0345$ – коефіцієнт для сталі 40Х;

$d = 14$ мм – діаметр свердла;

$s = 0.22$ мм/об – подача;

$k_m = 1.0$ – поправочний коефіцієнт для матеріалу.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Після підстановки отримаємо:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0.0345 \cdot 14^2 \cdot 0.22^{0,8} \cdot 1.0 \approx 20.5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сумарний момент для двох свердел з урахуванням ККД головки (попередньо приймаємо $\eta \approx 0,9$) буде визначатися:

$$M_{\Sigma} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{\eta} \quad (2.5)$$

В результаті підстановки отримаємо:

$$M_{\Sigma} = \frac{2 \cdot 20.5}{0.9} \approx 45.6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для обчислення необхідної потужності різання використовуємо наступну залежність:

$$N_{різ} = \frac{M_{\Sigma} \cdot n_{\phi}}{9550} \quad (2.6)$$

де $n_{\phi} = 1100 \text{ хв}^{-1}$ – фактична частота обертання шпинделя.

Підставляючи значення отримаємо:

$$N_{різ} = \frac{45.6 \cdot 1100}{9550} \approx 5.25 \text{ кВт}$$

Отримане значення перевищує паспортну потужність двигуна верстата (4,5 кВт), що вимагає корекції режимів різання.

Виходячи з цього, приймаємо зменшену подачу $s_{кор} = 0,18 \text{ мм/об}$.

Після перерахунку за приведеною вище методикою отримаємо:

$$P_{\Sigma} \approx 4766 \text{ Н};$$

$$M_{\Sigma} \approx 38.2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$N_{різ} \approx 4.4 \text{ кВт}.$$

Отже, $N_{різ} = 4.4 \text{ кВт} < N_{дв} = 4.5 \text{ кВт}$. Це означає, що прийняті режими різання ($n_{\phi} = 1100 \text{ хв}^{-1}$, $s = 0,18 \text{ мм/об}$) узгоджуються з технічними можливостями верстата

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Проведемо розрахунок основного часу різання, для цього використовується загальна формула [18]:

$$T_o = \frac{L + l_1 + l_2}{n \cdot s} \quad (2.7)$$

де L – глибина свердління, мм, $L = 20$ мм;

l_1 – величина врізання свердла, мм, $l_1 = 7$ мм (з урахуванням конусної заточки);

l_2 – перебіг свердла, мм, $l_2 = 3$ мм;

n – фактична частота обертання шпинделя, хв^{-1} , $n = 1100 \text{ хв}^{-1}$;

s – подача на оберт, мм/об, $s = 0.18$ мм/об.

Після підстановки отримаємо:

$$T_o = \frac{20 + 7 + 3}{1100 \cdot 0.18} \approx 0.152 \text{ хв} \approx 9.1 \text{ сек}$$

Оскільки застосовується двошпиндельна головка, то обробка двох отворів відбувається одночасно.

Аналогічні розрахунки здійснюємо для токарних операцій [19]. В таблиці 2.7 подано зведені результати по операціях та технологічних переходах.

Таблиця 2.7 – Режими різання для операцій 005, 010, 015

№ оп.-пер.	t, мм	So, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	Pz (Po), Н	To, хв
005-1	1.6	0.50	128.0	400.0	1238.0	0.13
005-2	1.0	0.45	157.0	500.0	850.0	0.08
005-3	–	0.30	–	500.0	–	0.02
010-1	0.65	0.25	153.0	800.0	520.0	0.10
010-2	0.45	0.15	226.0	1200.0	380.0	0.06
010-3	0.60	0.50	151.0	800.0	720.0	0.05
010-4	0.40	0.30	188.0	1000.0	480.0	0.04
010-5	2.265	0.12	74.0	600.0	980.0	0.45
010-6	0.236	0.10	88.0	700.0	310.0	0.08
010-7	0.025	0.80	63.0	500.0	180.0	0.07
010-8	–	0.20	–	700.0	–	0.02
015-1	7.0	0.18	48.4	1100.0	4766.0	0.152

Для підвищення продуктивності та зниження собівартості виготовлення деталі «Маточина Т0926» у серійному виробництві доцільно організувати спеціалізовану дільницю, оснащену двома токарними верстатами з ЧПУ моделі 16К20Ф3. Їхня робота синхронізується та обслуговується одним промисловим роботом-автооператором, що забезпечує автоматизоване завантаження й розвантаження заготовок.

Після завершення токарної обробки напівфабрикати передаються оператору для виконання свердління двох отворів на верстаті 2А135. Для цього використовується двошпindelна головка, яка дозволяє одночасно обробляти два отвори, скорочуючи основний час операції майже удвічі. Така організація технологічного процесу забезпечує оптимальне використання обладнання, зменшення тривалості виробничого циклу та підвищення економічної ефективності.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок та обґрунтування параметрів приводу головного руху

3.1.1 Вибір та обґрунтування структурно–кінематичної схеми верстата

Визначивши у першому розділі основні формоутворюючі рухи, які повинен забезпечити верстат для виконання операції свердління, ми переходимо до розробки його структурно-кінематичної схеми [5]. Саме ця схема дозволяє зрозуміти, як енергія від джерела руху трансформується у робочий процес і забезпечує необхідну точність та продуктивність.

У свердлильному верстаті головний привід (рис. 3.1) виконує ключову функцію створення обертового руху інструмента. Джерелом енергії є електродвигун М1, який через коробку швидкостей передає обертальний момент на шпиндель. Шпиндель у цій системі виступає виконавчим органом, що безпосередньо реалізує процес різання. Енергія двигуна перетворюється у головний робочий рух $\Phi v(01)$, який забезпечує процес свердління.

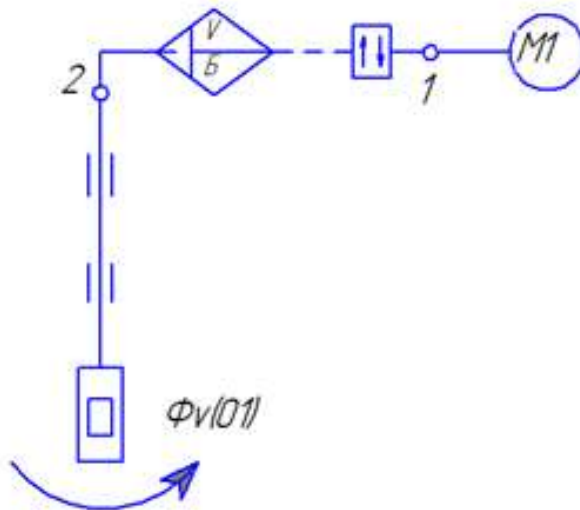


Рисунок 3.1 – Ланцюг приводу головного руху

<h3 style="margin: 0;">КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</h3>				
Эм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Разроб.		Попов В.А.		
Перевір.		Склярів Р.А.		
Реценз.				
Н. Контр.		Кабельник В. Р.		
Затверд.		Крцпа В.В.		
<h3 style="margin: 0;">КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</h3>				
		Лит.	Арк.	Аркушів
			37	26
ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопіль				

Внутрішній кінематичний зв'язок (ВКЗ) формується між шпинделем та його опорами. Саме він забезпечує точність, жорсткість і стабільність роботи, що критично важливо для серійного виробництва. Зовнішній кінематичний зв'язок (ЗКЗ) охоплює весь ланцюг головного руху, тобто взаємодію між двигуном і шпинделем. У цьому ланцюзі передбачені регульовальні механізми, які дозволяють змінювати швидкість обертання та здійснювати реверс. Завдяки цьому верстат може адаптувати режими роботи до різних умов обробки, забезпечуючи універсальність і технологічну гнучкість.

Для забезпечення осевого переміщення інструмента на свердлильному верстаті застосовується кінематичний ланцюг приводу подачі (рис. 3.2). Його призначення полягає у створенні поступального руху пінолі шпинделя, завдяки якому інструмент входить у матеріал заготовки та виконує процес свердління.

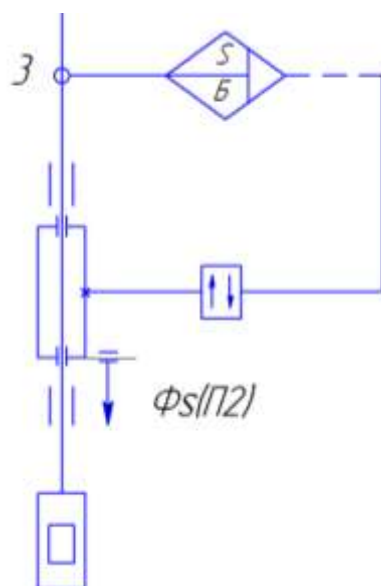


Рисунок 3.2 – Ланцюг приводу висування пінолі шпинделя

Кінематична група руху подачі позначається як $\Phi_s(\Pi_2)$. Джерелом руху є шпиндель, що передає енергію на виконавчий орган піноль. Піноль здійснює поступальне переміщення, необхідне для формування отворів. ВКЗ утворюється між піноллю та напрямними колони шпиндельної бабки, що забезпечує точність і стабільність руху. ЗКЗ охоплює весь ланцюг подачі, тобто взаємодію між шпинделем і піноллю.

Реалізація цього ланцюга здійснюється за допомогою коробки подач, у якій використано блоки пересувних шестерень. Така конструкція дозволяє змінювати величину подачі, налаштовувати її відповідно до технологічних вимог і забезпечувати оптимальне співвідношення між швидкістю різання та якістю обробки.

Для забезпечення переміщення свердлильної головки вздовж стійки застосовується кінематичний ланцюг, приведений на рисунку 3.3. Його робота полягає у наближенні інструмента до заготовки перед початком свердління та у відведенні після завершення обробки.

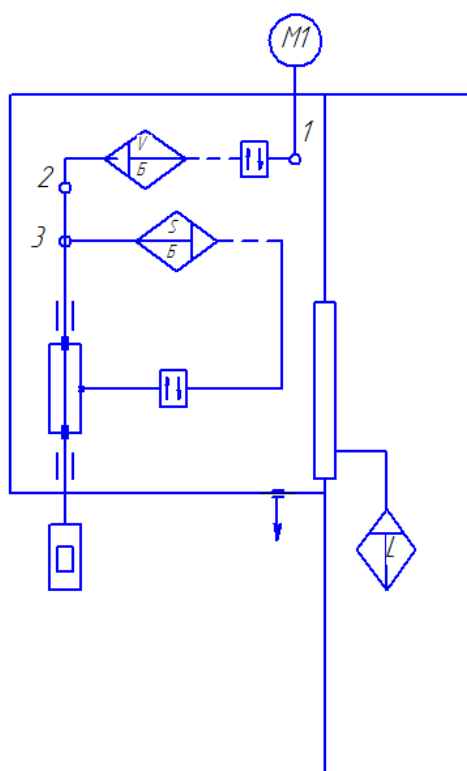


Рисунок 3.3 – Кінематичний ланцюг переміщення свердлильної головки

Переміщення головки здійснюється вручну за допомогою штурвального пристрою. Такий спосіб керування дозволяє оператору точно позиціонувати інструмент, забезпечуючи плавність руху та контроль над процесом. ВКЗ утворюється між головкою та напрямними стійки, що гарантує правильність траєкторії переміщення. ЗКЗ охоплює весь ланцюг переміщення, тобто взаємодію між штурвальним механізмом і свердлильною головкою.

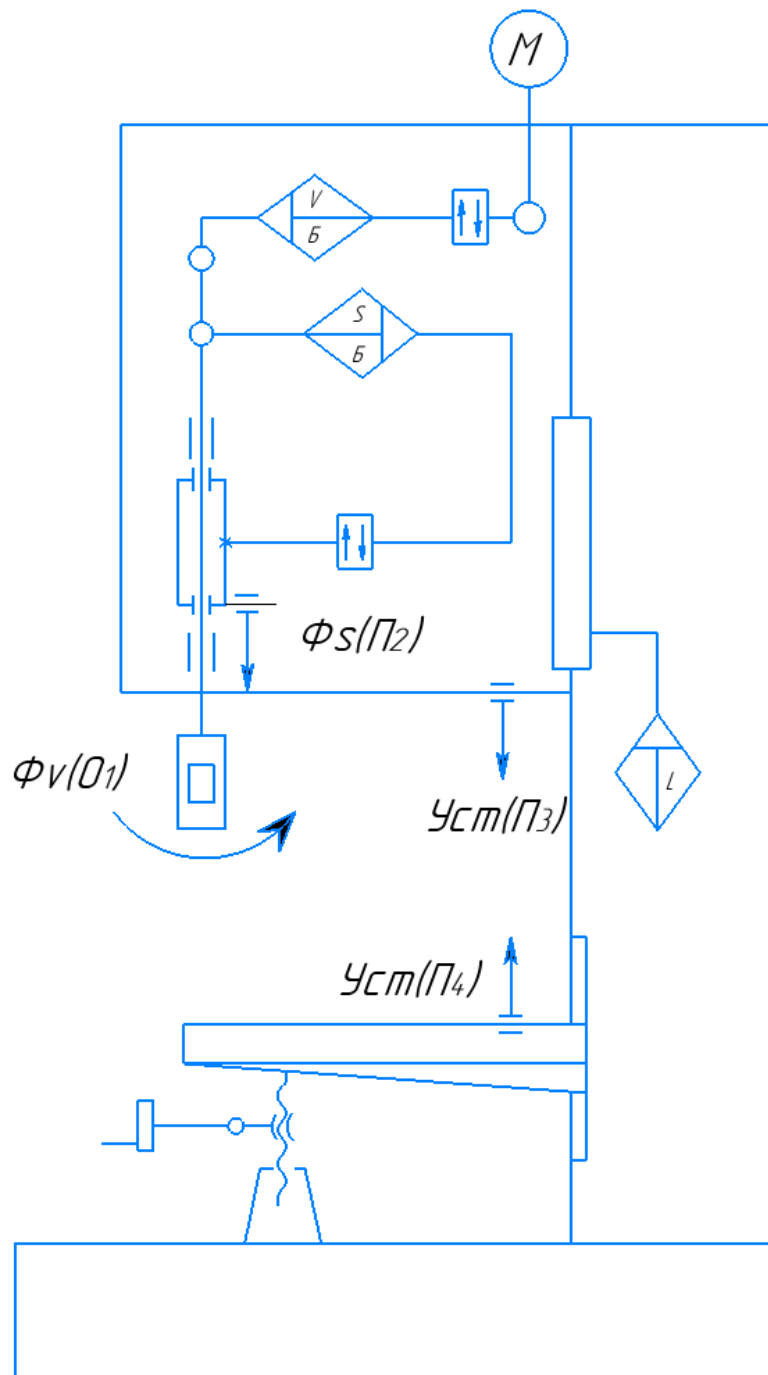


Рисунок 3.5 – Структурно-кінематична схема верстата

3.1.2 Загальна компоновка і принцип дії верстата

Як базове обладнання для реалізації технологічного процесу свердління двох отворів $\text{Ø}14\text{H}14$ у деталі «Маточина Т0926» обрано вертикально свердлильний верстат моделі 2А135 [17]. Це універсальний верстат, який здатний виконувати широкий спектр операцій, а саме свердління,

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

розсвердлювання, зенкерування, розгортання отворів, нарізання різьби машинними мітчиками. Його конструкція забезпечує високу жорсткість, широкий діапазон частот обертання шпинделя та подач, що дозволяє застосовувати сучасний різальний інструмент. Його технічні характеристики наведено в Додатку Б.

Верстат 2A135 має традиційну для вертикально свердлильних машин компоновку (див. рис. 3.6).

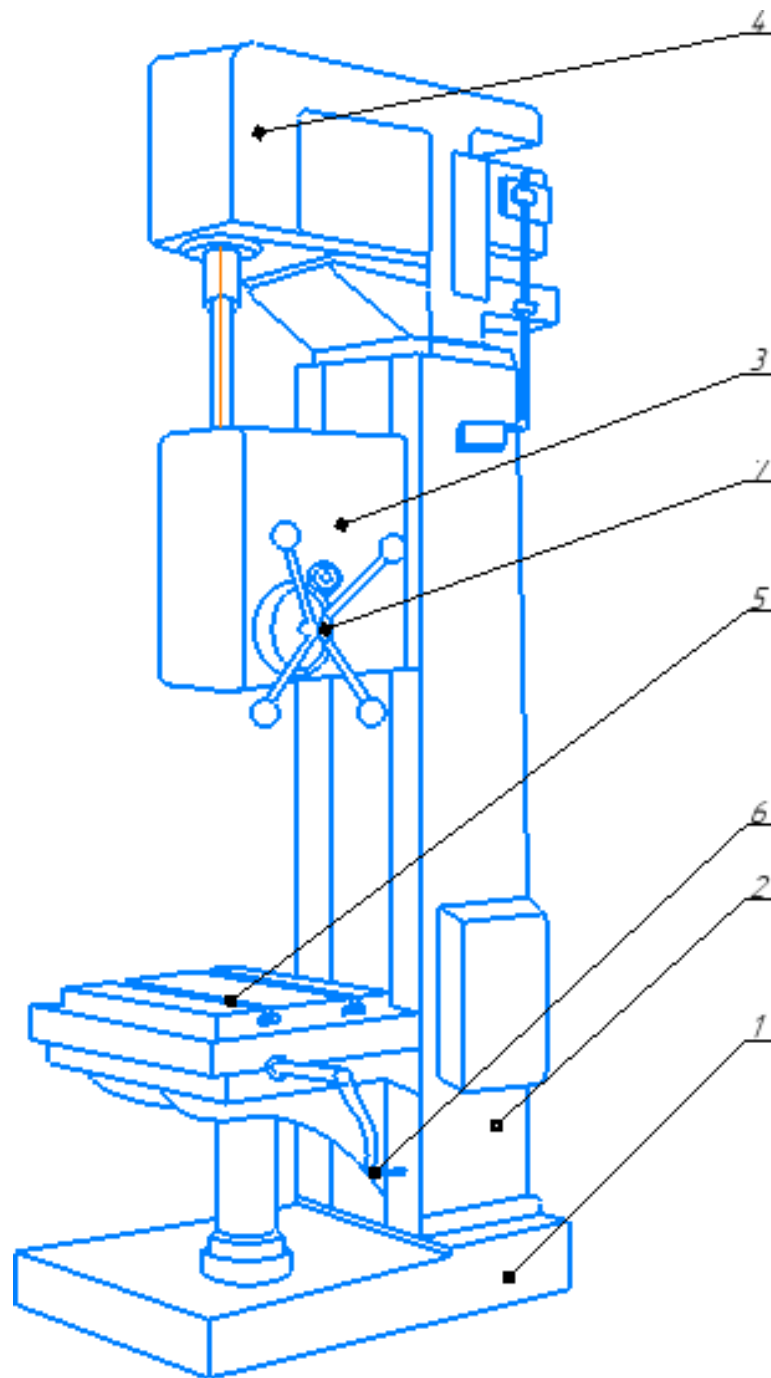


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд вертикально-свердлильного верстата

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Верстат моделі 2A135 має класичну компоновку вертикально свердлильної машини. Його основа є фундаментна плита (1), яка сприймає всі навантаження та водночас виконує роль резервуара для мастильно-охолоджувальної рідини. Від плити піднімається колона (2), головний несучий елемент із напрямними, по яких переміщуються шпиндельна бабка (3) та стіл (5).

Шпиндельна бабка (3) є основним робочим вузлом. У ній розташовані механізми подачі і шпиндельний вузол, що отримує рух від головного приводу (4), встановленого у верхній частині верстата. Стіл (5) служить для закріплення кондуктора й заготовки, а його вертикальне переміщення здійснюється за допомогою рукоятки (6).

Для швидкого підведення інструмента або багатошпиндельної головки до заготовки використовується штурвал ручного керування (7). У середині бабки розташований шпиндель, оснащений конусом Морзе 4, що забезпечує надійне кріплення інструмента чи ведучого вала багатошпиндельної головки.

3.1.3 Розрахунок діапазону регулювання та частот обертання

Для забезпечення ефективної роботи багатошпиндельної головки необхідно визначити діапазон частот обертання її шпинделів. Вихідними даними для цього розрахунку є потужність головного приводу, максимальний діаметр свердління та режими різання, розраховані для заданої деталі.

Згідно з розрахунками, виконаними у пункті 2.6, сумарна потужність різання при одночасному свердлінні двох отворів $\varnothing 14$ мм у сталі 40Х становить $N_{різ} = 4.4$ кВт.

Виходячи з цього приймаємо, що потужність приводу головного руху повинна бути не менше 4.5 кВт, що відповідає верстатам середньої потужності.

Для таких верстатів типовим є мінімальне значення частоти обертання шпинделя у межах $68 \div 70$ хв⁻¹. Приймаємо $n_{min} = 68$ хв⁻¹. Ця частота

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

використовується при свердлінні отворів максимального діаметра (до 35 мм) у важкооброблюваних матеріалах. При $D = 35$ мм та $n = 69$ хв⁻¹ швидкість різання становить:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 35 \cdot 68}{1000} \approx 7,6 \text{ м/хв}$$

Це значення є допустимим для свердління чавуну та термооброблених сталей.

Максимальна частота обертання шпинделя для верстатів цього класу становить близько 1100 хв⁻¹. Приймаємо $n_{max} = 1100$ хв⁻¹. Ця частота відповідає режиму різання при свердлінні отворів Ø14 мм у сталі 40Х твердосплавним свердлом. При $D = 14$ мм та $n = 1100$ хв⁻¹:

$$v = \frac{3,14 \cdot 14 \cdot 1100}{1000} \approx 48,4 \text{ м/хв},$$

що є оптимальним для даного інструмента та матеріалу.

Таким чином, діапазон частот обертання для вертикально-свердлильного верстату буде становить:

$$n_{min} = 68 \text{ хв}^{-1}, n_{max} = 1100 \text{ хв}^{-1}$$

$$R_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{1100}{68} \approx 16,2$$

Для операції 015 свердління двох отворів Ø14 мм у сталі 40Х приймається максимальна частота обертання $n = 1100$ хв⁻¹. Це забезпечує оптимальні умови роботи твердосплавного свердла Walter Titex DC150 Perform Ø14 мм, гарантує високу продуктивність та точність обробки.

3.1.4 Структурна формула та структурна сітка приводу головного руху

На основі визначених раніше технологічних параметрів синтезується структура приводу головного руху. Вихідними даними є оптимальна частота обертання $n = 1100$ хв⁻¹ та діапазон регулювання $R_n \approx 16$. Для подальшого

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

синтезу структури використовується попереднє значення знаменника ряду частот $\varphi \approx 1.41$, яке є типовим для верстатів середньої потужності [20].

Кількість ступенів швидкості визначається за формулою:

$$Z \geq \frac{\lg R_n}{\lg \varphi} + 1 \quad (3.1)$$

Підставивши у вираз значення, отримаємо:

$$Z \geq \frac{\lg 16}{\lg 1.41} + 1 \approx 9.08$$

Приймаємо найближче ціле значення:

$$Z = 9$$

Таким чином, привід повинен забезпечувати дев'ять рівномірно розташованих частот обертання, що перекривають увесь діапазон від мінімальної до максимальної.

Виходячи з цього структурна формула приводу буде мати вигляд:

$$Z = 3_{(1)} \cdot 1_{(1)} \cdot 3_{(3)} = 9 \quad (3.2)$$

Перша група $3_{(1)}$ складається з триступеневого блоку зубчастих коліс між валом I та валом II. Друга група $1_{(1)}$ є фіксованою передачею між валом II та валом III, яка складається з двох коліс у постійному зачепленні та забезпечує передачу обертання з постійним передаточним відношенням $i = const$.

Третя група $3_{(3)}$ складається з триступеневого блоку зубчастих коліс між валом III та вихідним валом IV і виконує функцію переборної передачі.

Введення фіксованої передачі між валом II та валом III має кілька переваг. Воно дозволяє раціонально розташувати блоки та рознести вали у просторі, створює додаткову опору, що підвищує жорсткість коробки швидкостей, а також забезпечує постійне зачеплення, яке зменшує динамічні навантаження при перемиканні. Характеристика третьої групи визначається як добуток кількості передач у попередніх групах

$$x_3 = p_1 \cdot p_2 = 3 \cdot 1 = 3$$

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Це гарантує рівномірне перекриття діапазону та отримання дев'яти ступенів швидкості.

Структурна сітка (див. рис. 3.7) відображає послідовність передач.

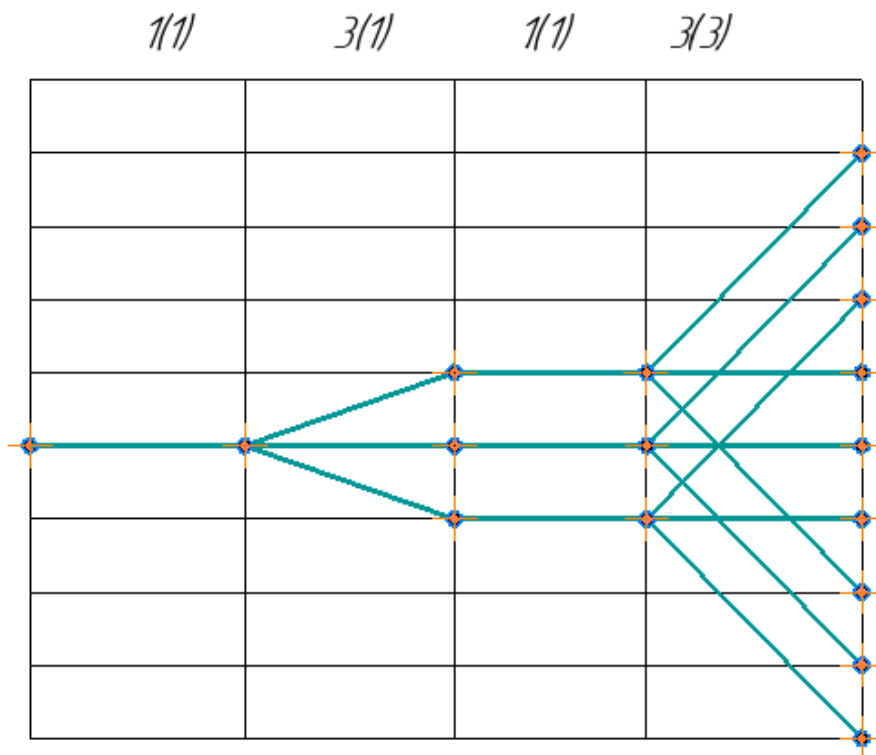


Рисунок 3.7 – Структурна сітка приводу головного руху

На основі синтезованої структурної сітки та прийнятого знаменника геометричного ряду $\varphi = 1.41$ визначаємо теоретичні значення частот обертання шпинделя. Розрахунок ведемо від мінімальної частоти, значення якої становить $n_{min} = 68 \text{ хв}^{-1}$, за формулою геометричної прогресії:

$$n_i = n_1 \cdot \varphi^{i-1} \quad (3.3)$$

де $n_1 = 68 \text{ хв}^{-1}$ – перша (мінімальна) ступінь частоти обертання верстата.

Результати розрахунку зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення частот обертання шпинделя свердлильного верстату

Ступінь	Формула розрахунку	Теоретичне значення, хв ⁻¹	Прийняте стандартне значення, хв ⁻¹
n_1	$n_1 = 68$	68	68
n_2	$n_2 = 68 \cdot 1.41^1$	≈ 96	100
n_3	$n_3 = 68 \cdot 1.41^2$	≈ 135	140
n_4	$n_4 = 68 \cdot 1.41^3$	≈ 190	195
n_5	$n_5 = 68 \cdot 1.41^4$	≈ 269	275
n_6	$n_6 = 68 \cdot 1.41^5$	≈ 380	400
n_7	$n_7 = 68 \cdot 1.41^6$	≈ 536	530
n_8	$n_8 = 68 \cdot 1.41^7$	≈ 756	750
n_9	$n_9 = 68 \cdot 1.41^8$	≈ 1065	1100

3.1.5 Розрахунок чисел зубів зубчастих коліс та параметрів передач

Для реалізації прийнятої структурної схеми приводу необхідно визначити числа зубів зубчастих коліс кожної групи. Вихідні умови підбору чисел зубів полягають у забезпеченні точності передаточного відношення, де відхилення фактичного значення від теоретичного не повинно перевищувати $\Delta i \leq 4.1\%$, що відповідає половині інтервалу між сусідніми частотами в логарифмічному масштабі [20]. Для коліс однієї групи при однаковому модулі повинна виконуватись умова сталості міжосьової відстані:

$$z_1 + z_2 = \sum z = const \quad (3.4)$$

При цьому мінімальне число зубів приймається $z_{min} \geq 17$, щоб запобігти підрізанню ніжки зуба.

Пасова передача вона забезпечує передачу обертів від валу двигуна та вхідним валом приводу головного руху I.

З конструктивних міркувань приймаємо $i_{\text{пас}} \approx 0.8$.

Величину передаточного відношення будемо визначати:

$$i_{\text{пас}} = \frac{d_1}{d_2} \quad (3.5)$$

де відповідно d_1 та d_2 діаметри ведучого та веденого шківів.

З ряду переважних чисел приймаємо стандартні діаметри шківів, а саме $d_1 = 140$ мм та $d_2 = 178$ мм, вони забезпечують відношення:

$$i_{\text{пас}} = \frac{140}{178} \approx 0,786$$

Перша група передач $Z_{(1)}$ між валом I та валом II складається з трьох передач із характеристикою $x_1 = 1$. Теоретичні передаточні відношення дорівнюють для цієї передачі становлять:

$$\begin{aligned} i_{1.1} &= \varphi^{-1} \approx 0.709; \\ i_{1.2} &= \varphi^{-2} \approx 0.503; \\ i_{1.3} &= \varphi^{-3} \approx 0.357 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Для даної пари валів приймається однакова сума зубів для всіх трьох передач $\sum z_{1-2} = 82$. Результати розрахунку числа зубів та передаточного відношення зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Підбір чисел зубів для першої групи передач

Передача	$Z_{\text{ведуче}}$	$Z_{\text{ведене}}$	$i_{\text{факт}}$	k	$i_{\text{теор}} = \varphi^k$	Похибка, %
1	34	48	0.708	-1	0.709	0.14
2	27	55	0.491	-2	0.503	2.39
3	21	61	0.344	-3	0.357	3.64

Друга група передач $1_{(1)}$ між валом II та валом III є фіксованою. Для даної пари коліс приймаємо передаточне відношення:

$$i_{2.1} = \varphi^{-1} \approx 0,709$$

З конструктивних міркувань приймаємо $z_{\text{ведуче}} = 34$, $z_{\text{ведене}} = 48$.

Після підстановки отримаємо:

$$i_{2.1} = \frac{34}{48} = 0.708$$

Третя група передач $Z_{(3)}$ між валом III та валом IV має три передачі з характеристикою $x_3 = 3$.

Для даної пари валів теоретичні передаточні відношення будуть визначаються:

$$\begin{aligned} i_{3.1} &= \varphi^{+2} \approx 1.988; \\ i_{3.2} &= \varphi^{-1} \approx 0,709; \\ i_{3.3} &= \varphi^{-3} \approx 0,357. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Для проведення розрахунків приймається однакова сума зубів для всіх трьох передач $\sum z_{3-4} = 85$. Результати розрахунку числа зубів та передаточного відношення зведені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Підбір чисел зубів для третьої групи передач

Передача	$z_{\text{ведуче}}$	$z_{\text{ведене}}$	$i_{\text{факт}}$	k	$i_{\text{теор}} = \varphi^k$	Похибка, %
1	57	28	2.036	+2	1.988	2.4
2	35	50	0.700	-1	0.709	1.3
3	22	63	0.349	-3	0.357	2.2

На підставі проведених розрахунків будемо графік чисел обертів для проєктованого свердлильного верстату (див. рис. 3.8).

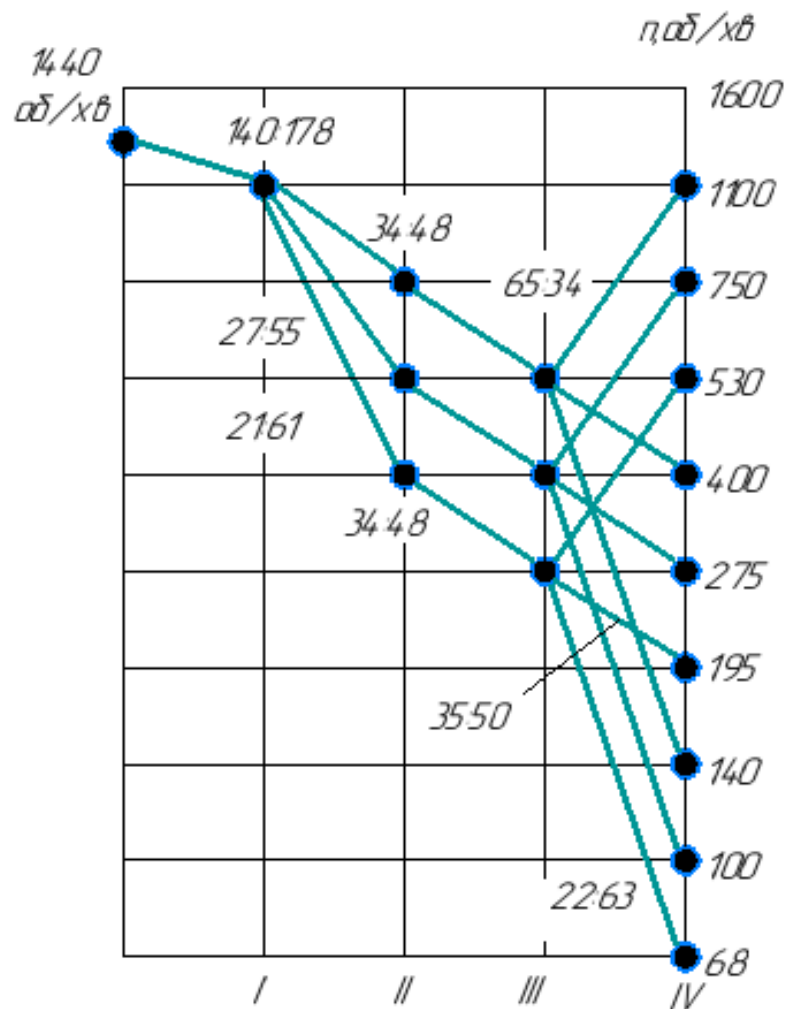


Рисунок 3.8 – Графік чисел обертів для проєктованого приводу

3.1.6 Побудова кінематичної схеми верстату

На підставі раніше наведених міркувань та проведених розрахунків розробляємо кінематичну схему верстату, її приведено на рис. 3.9.

3.2 Проектування конструкції багатошпindelної свердлильної головки

Перш ніж перейти до проектування багатошпindelної свердлильної головки, необхідно визначити вихідні параметри, що формують основу розрахунків. Вони отримані після уточнення режимів різання та враховують реальні умови роботи інструмента на верстаті 2A135.

При прийнятій подачі $s = 0.18$ мм/об та частоті обертання шпинделя верстата $n = 1100$ хв⁻¹ отримано наступні силові параметри:

$P_{\Sigma} \approx 4766$ Н – сумарне осьове зусилля для двох свердл;

$M_{\Sigma} \approx 38.2$ Н·м – сумарний крутний момент для двох свердл;

$N_{різ} \approx 4.4$ кВт – потужність різання;

$A = 76$ мм – міжосьова відстань між шпинделями згідно з кресленням деталі.

3.2.1 Розрахунок мінімально допустимих діаметрів валів

Після формування вимог до параметрів багатошпindelної свердлильної головки наступним етапом є розрахунок валів. Вали є основними елементами, що передають крутний момент і сприймають осьові навантаження, тому їх діаметри повинні гарантувати міцність та жорсткість конструкції. Розрахунок виконується з умови міцності на кручення для Сталі 45, для якої допустиме напруження кручення становить $[\tau] = 147$ МПа, що відповідає рекомендаціям для середньовуглецевих сталей при спокійному навантаженні.

Загальна формула для визначення мінімального діаметра має вигляд:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{0.2 \cdot [\tau]}} \quad (3.8)$$

де d – діаметр валу, мм;

$M_{кр}$ – крутний момент, Н·мм;

$[\tau]$ – допустиме напруження кручення, МПа.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Проведемо розрахунок центрального ведучого валу (вал I). Цей вал сприймає сумарний крутний момент від двох свердл:

$$M_{\Sigma} = 38.2 \text{ Н}\cdot\text{м} = 38200 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Після підстановки отримаємо:

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{38200}{0.2 \cdot 147}} \approx 10,9 \text{ мм}$$

Враховуючи розрахункові дані та специфіку експлуатації багатошпindelної головки, остаточний діаметр ведучого вала визначається поетапно.

Спершу виконується корекція за міцністю, отримане значення розрахункового діаметру збільшуємо з урахуванням ослаблення перерізу шпонковим пазом. Для цього вводиться коефіцієнт міцності $K_{\text{ш}} = 1.25$, що дає

$$d_{1,\text{ш}} = d_1 \cdot K_{\text{ш}} = 10.9 \cdot 1.25 \approx 13.6 \text{ мм}$$

Далі враховується жорсткість конструкції. Для компенсації консольного навантаження та запобігання вібраціям при роботі на високих обертах вводиться коефіцієнт жорсткості $K_{\text{ж}} = 1.35$, що визначає мінімальний робочий діаметр валу:

$$d_{1,\text{ж}} = d_{1,\text{ш}} \cdot K_{\text{ж}} = 13.6 \cdot 1.35 \approx 18.4 \text{ мм}$$

Остаточне технічне узгодження проводиться з урахуванням необхідності стикування зі шпинделем верстата 2A135, який має внутрішній конус Морзе №4 (діаметр основи конуса 31.267 мм). Враховуючи габарити стандартних перехідних втулок, приймаємо діаметр посадочної частини ведучого валу:

$$d_{\text{вед}} = 35 \text{ мм.}$$

Оскільки сумарний крутний момент $M_{\Sigma} \approx 38,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$, то кожен робочий шпindel сприймає половину цього значення. Таким чином, крутний момент на одному шпинделі буде становити:

$$M_{\text{шп}} = \frac{M_{\Sigma}}{2} = \frac{38,2}{2} = 19,1 \text{ Н}\cdot\text{м} = 19100 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Тоді мінімальний діаметр шпинделя за умовою міцності на кручення буде становити:

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{19100}{0.2 \cdot 147}} \approx 8.66 \text{ мм}$$

Для врахування реальних конструктивних факторів вводяться поправки. Корекція за міцністю здійснюється через коефіцієнт міцності $K_M = 1.25$, що враховує ослаблення перерізу шпонковим пазом:

$$d_{2,м} = d_2 \cdot K_M = 8.66 \cdot 1.25 \approx 10.8 \text{ мм}$$

Додатково враховується осьове навантаження різання, яке становить $P_0 = 2383 \text{ Н}$. Тому в шпиндельній головці необхідно встановити упорний підшипник. Враховуючи, що ми будемо використовувати свердло $\varnothing 14 \text{ мм}$, то для його надійного кріплення у шпинделі (через цанговий затискач або конус Морзе) діаметр нижньої частини повинен бути не меншим:

$$d_{\text{шп,н}} = 20 \text{ мм}$$

Для розміщення упорного підшипника, здатного сприйняти осьове навантаження $P_0 = 2383 \text{ Н}$, та забезпечення необхідної жорсткості приймається діаметр середньої частини шпинделя:

$$d_{\text{шп,уп}} = 35 \text{ мм}$$

Верхня частина шпинделя призначена для встановлення радіального підшипника та зубчастого колеса. З умови міцності на кручення та конструктивних міркувань приймаємо:

$$d_{\text{шп,в}} = 30 \text{ мм}$$

Таким чином, робочий шпиндель виконується ступінчастим із наступними діаметрами: нижня частина 20 мм (кріплення свердла), середня частина 35 мм (упорний підшипник), верхня частина 30 мм (радіальний підшипник та зубчасте колесо).

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.2.2 Вибір та розрахунок підшипників кочення

Після визначення діаметрів ділянок робочого шпинделя (20, 35 та 30 мм) необхідно обрати підшипники, які забезпечать його надійну роботу. Розрахунок виконується для найбільш навантаженого шпинделя, що сприймає як осьове, так і радіальне навантаження.

Раніше ми розраховували величину осьового навантаження від різання на одне свердло, яке становить $P_0 = 2383$ Н, радіальне навантаження від зубчастого зачеплення $F_r \approx 500$ Н. Розрахунок будемо проводити для частоти обертання шпинделя $n = 1100$ хв⁻¹, при цьому підшипники в головці повинні забезпечити ресурс $h = 2000 \dots 3000$ год.

При розрахунку підшипників було використано інженерну методику з застосуванням пакету MathCAD [21]. Це дозволило виконати уточнені обчислення геометричних параметрів та перевірку вантажопідйомності, мінімізувати можливі похибки й забезпечити надійність результатів.

Проведемо розрахунок та здійснимо вибір упорного підшипника [22].

На початковому етапі визначаємо розрахункове еквівалентне навантаження, для цього скористаємось формулою:

$$Q_{\text{ось}} = P_0 \cdot K_{\sigma} \quad (3.9)$$

де $K_{\sigma} = 1.2$ – коефіцієнт безпеки, що враховує можливі перевантаження при роботі на верстаті 2A135.

Після підстановки отримаємо:

$$Q_{\text{ось}} = 2383 \cdot 1.2 = 2860 \text{ Н}$$

Після цього визначаємо необхідну динамічну вантажопідйомність, яка може бути визначена за формулою:

$$C_{\text{розр}} = Q_{\text{ось}} \cdot \left(\frac{60 \cdot n \cdot h}{10^6} \right)^{1/3} \quad (3.10)$$

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

В результаті обчислення отримаємо:

$$C_{\text{розр}} = 2860 \cdot \left(\frac{60 \cdot 1100 \cdot 2000}{10^6} \right)^{1/3} = 14557 \text{ Н}$$

Виходячи з діаметра валу 35 мм та розрахованої вантажопідйомності, обираємо упорний кульковий однорядний підшипник середньої серії 8207 (ДСТУ ISO 104:2018) [22].

Для радіальної фіксації шпинделя обираються кулькові підшипники на основі прийнятих діаметрів.

Нижня опора (Ø20 мм, зона кріплення свердла). Приймається стандартний підшипник 6404 C3 ZKL. Він має збільшений внутрішній зазор (C3), що забезпечує роботу при підвищених навантаженнях і температурі.

Верхня опора (Ø30 мм, зона зубчастого колеса). Приймається стандартний підшипник 6406, який працює як вільна радіальна опора та забезпечує стабільність обертання.

Основні технічні характеристики обраних підшипників приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Зведена таблиця підшипників

Позначення	Розміри d×D×B), мм	Динамічна	Статична
		вантажопідйомність C, кН	вантажопідйомність C ₀ , кН
8207	35×62×18	39.0	63.0
6404 C3 ZKL	20×72×19	30–35	20–25
6406	30×90×23	40–45	30–35

3.2.3 Визначення параметрів зубчастого зачеплення

Зубчасті колеса у цій конструкції передають обертання від ведучого вала до двох робочих шпинделів. Умовою є синхронність, тому передаточне відношення приймається рівним одиниці: $u = 1$.

Для розрахунку зубчастих коліс в якості матеріалу приймаємо сталь 20Х, яка цементована і загартована до *HRC* 56 – 62.

Згідно існуючої методики [23] проводимо розрахунок основних параметрів зубчастої передачі, результати розрахунку приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Геометричні параметри зубчастих коліс

Параметр	Позначення	Формула	Значення
Модуль	m	$m = \frac{A}{z}$	2 мм за ДСТУ ISO 54:2005, [24]
Число зубів	z	$z = \frac{A}{m}$	38
Ділильний діаметр	d	$d = m \cdot z$	76 мм
Діаметр вершин	d_a	$d_a = m \cdot (z + 2)$	80 мм
Діаметр впадин	d_f	$d_f = m \cdot (z - 2.5)$	71 мм
Ширина вінця	b	$b = \psi \cdot m$	16 мм
Коефіцієнт ширини	ψ	прийнято	8
Міжосьова відстань	A	задано	76 мм
Передаточне відношення	u	прийнято	1
Коефіцієнт форми зуба	y	табличне значення для $z = 38$	0.102

Наступним кроком здійснюємо перевірку міцності зубів на контактну втому та на згин [23]. Оскільки це є типовий розрахунок, то його результати зводимо в таблицю 3.6

Таблиця 3.6 – Перевірочні розрахунки зубчастого зачеплення

Параметр і позначення	Формула	Значення
Контактне напруження σ_H	$\sigma_H = \frac{270 \cdot 2 \cdot M_{\text{шп}} \cdot K_H \cdot (u + 1)}{b \cdot d_1^2 \cdot u}$	269 МПа
Крутний момент шпинделя $M_{\text{шп}}$	задано	19100 Н·м
Коефіцієнт навантаження K_H	прийнято	1.2
Ширина вінця b	задано	16 мм
Ділильний діаметр d_1	задано	76 мм
Передаточне відношення u	прийнято	1
Напруження згину σ_F	$\sigma_F = \frac{2 \cdot M_{\text{шп}} \cdot K_F}{b \cdot d_1 \cdot y}$	370 МПа
Коефіцієнт навантаження K_F	прийнято	1.2
Коефіцієнт форми зуба y	табличне значення для $z = 38$	0.102

Оскільки допустиме контактне напруження для сталі 20Х після цементації становить $[\sigma_H] = 850 \dots 1000$ МПа, а допустиме напруження згину $[\sigma_F] = 400 \dots 450$ МПа, умови міцності виконуються з необхідними запасами. Це означає, що зубчасте зачеплення здатне працювати стабільно й довговічно, забезпечуючи передачу крутного моменту при заданій частоті обертання.

3.2.4 Принцип роботи багатошпindelної свердлильної головки

На основі проведених розрахунків здійснено розробку конструкції двошпindelної свердлильної головки (див. рис. 3.10).

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

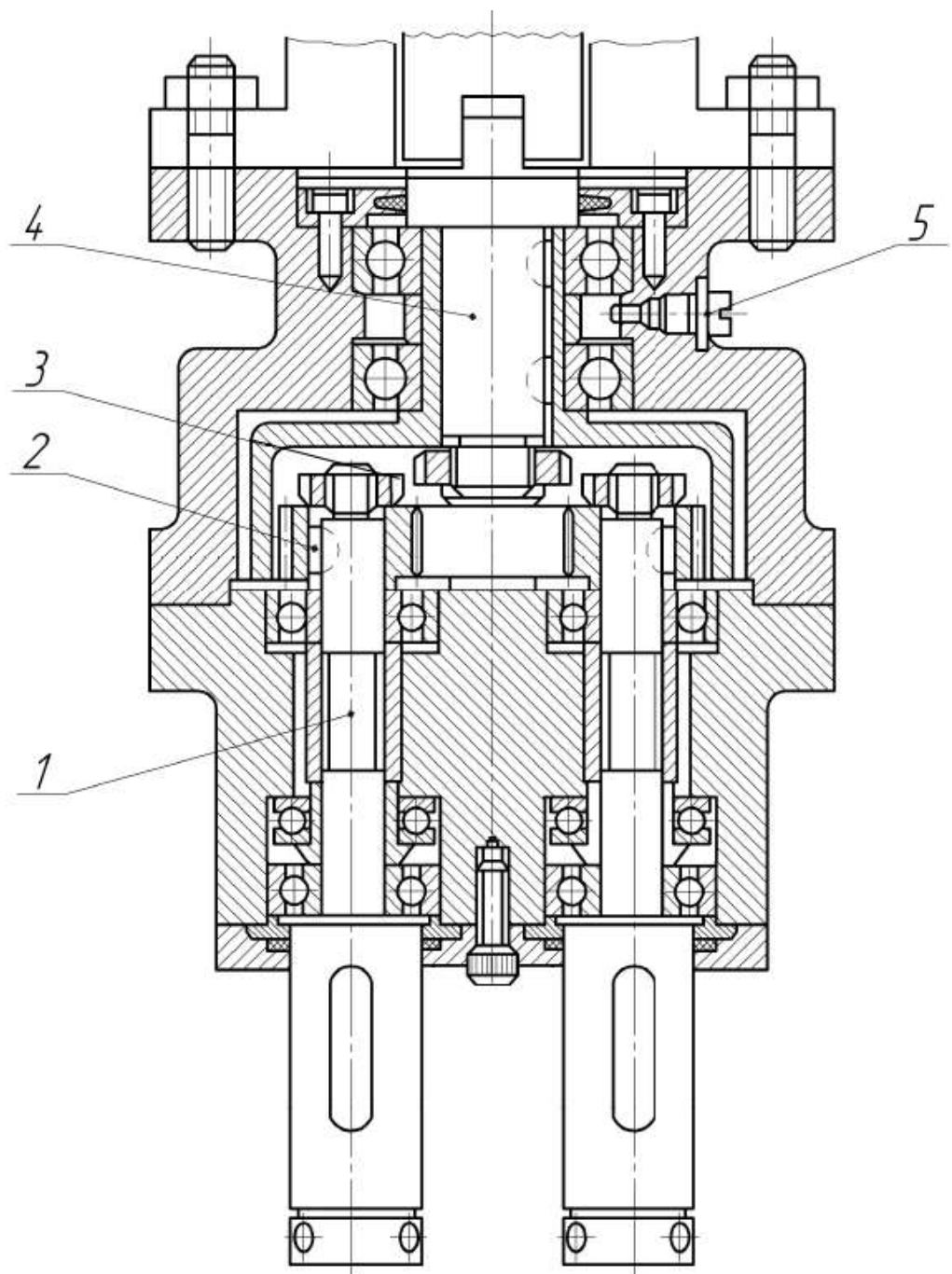


Рисунок 3.10 – Конструкція двошпindelної свердлильної головки

Обертання від шпинделя верстата передається на центральний провідний валик (поз. 4). На ньому за допомогою сегментних шпонок закріплене ведуче зубчасте колесо (поз. 3), яке розташоване в центрі та є спільним для обох робочих вузлів. Це колесо одночасно входить у зачеплення з зубчастими колесами (поз. 2), встановленими на шпинделях (поз. 1). Така схема забезпечує синхронне обертання обох інструментів з однаковою частотою.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Під час різання головка працює у сталому режимі, передаючи крутний момент від ведучого валу до шпинделів. Крутний момент сприймається валами через шпонкові з'єднання. Осьові зусилля, що виникають при врізанні інструментів у матеріал, передаються від шпинделів (поз. 1) на підшипникові опори корпусу. Це забезпечує рівномірність роботи та захист від перевантажень.

Зубчасті колеса (поз. 2, 3) розташовані консольно на кінцях валів, що дозволяє компактно організувати привід у верхній частині головки та залишити простір для напрямних втулок інструменту. Для подачі мастила до вузлів тертя та шестерень у корпусі передбачена пробка (поз. 5), через яку здійснюється заправка або контроль рівня мастильних матеріалів. Корпус головки жорстко кріпиться до гільзи шпинделя верстата, забезпечуючи нерухомість бази при осьовому переміщенні інструментів.

3.2.5 Опис конструкції та принцип роботи пристосування для одночасного свердління двох отворів

Кондуктор (див. рис. 3.11) створений для високоточної обробки двох отворів у деталі «Маточина Т0926». Його конструкція передбачає силове затискання та точне спрямування інструменту, що дозволяє забезпечити стабільність процесу свердління.

Кондуктор призначений для високоточної обробки двох отворів у деталі «Маточина». Його конструкція поєднує силове затискання та точне спрямування інструменту, що забезпечує стабільність процесу свердління.

Основою служить корпус (12), який жорстко кріпиться на столі верстата. Для точного базування використовуються напрямні шпонки (16), запресовані у нижню площину корпусу. Вони гарантують збіг осі симетрії пристосування з віссю стола. Кріплення здійснюється болтами через пази корпусу, що забезпечує нерухомість під час роботи.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

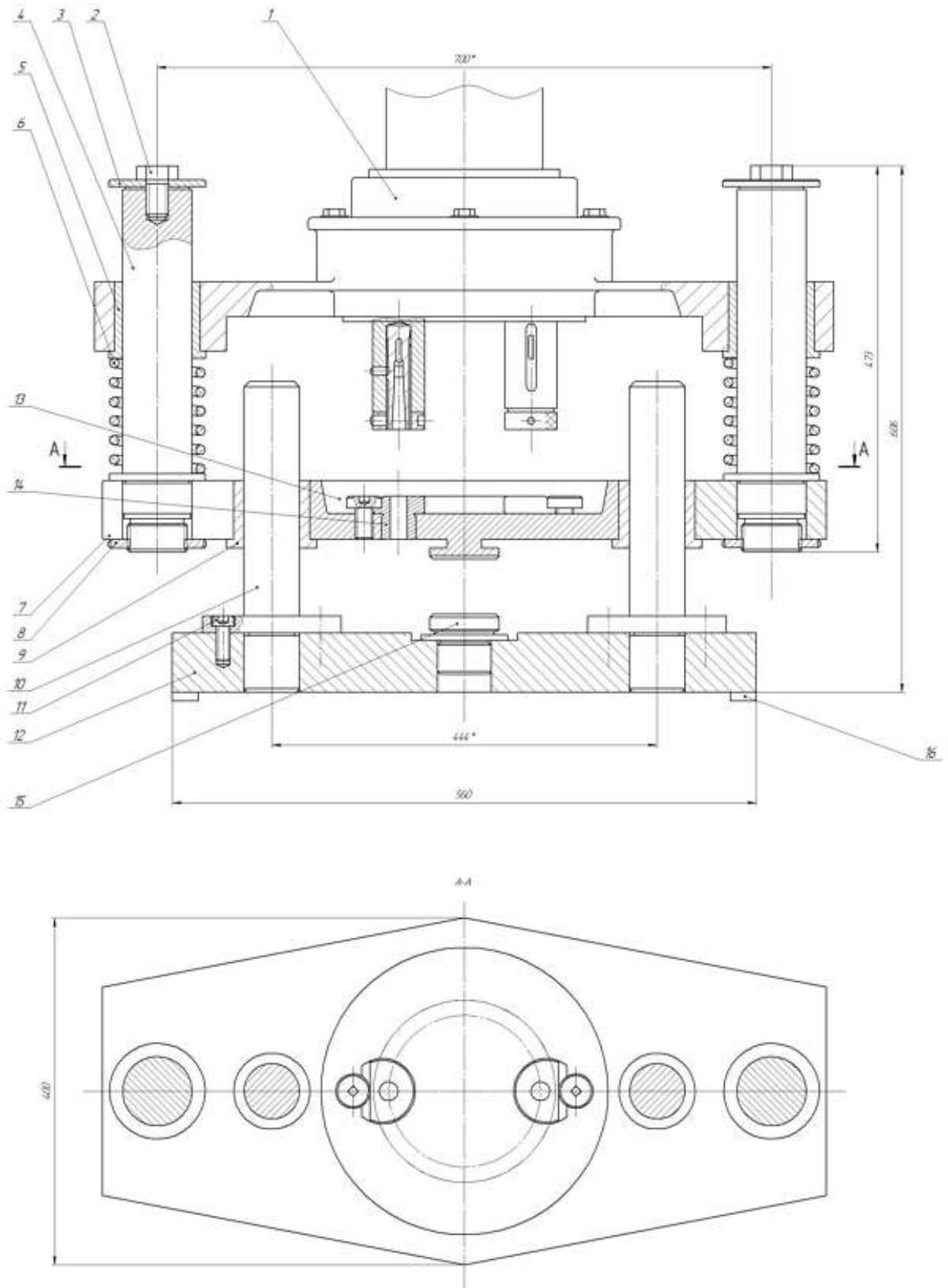


Рисунок 3.11 – Конструкція кондуктора з двошпindelною головкою

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Взаємодія багатшпіндельної головки (1) з кондуктором реалізована через систему спрямування. Вертикальний рух головки передається на скалки (4), які проходять крізь кондукторну плиту (7). Плита спирається на пружини (6), завдяки чому вона ніби «підвішена» і завжди випереджає інструмент при русі вниз. Це створює ефект м'якого контакту з деталлю, після чого пружини стискаються і виникає зусилля притискання.

Щоб уникнути перекосів, у конструкції передбачені напрямні пальці (10), що входять у втулки (9) кондукторної плити. Вони формують жорстку систему координат, яка гарантує співвісність отворів і точність спрямування свердел.

Деталь встановлюється на центральний палець (15) з упором у торець. Базування здійснюється по поверхні $\varnothing 40H7$ та торцю 100 ± 0.53 , що позбавляє її усіх ступенів вільності. У результаті положення деталі стає однозначним і узгодженим із кондукторними втулками (14).

Принцип роботи виглядає так: деталь встановлюється на палець корпусу, багатшпіндельна головка опускається, і кондукторна плита першою торкається деталі. Пружини стискаються, створюючи силовий затиск. Свердла проходять крізь втулки, які точно спрямовують інструмент у зону обробки. Після завершення свердління головка піднімається, пружини розтискаються, плита відходить угору, і деталь легко звільняється для вивантаження.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Надзвичайні ситуації, викликані пожежами, вибухами, техногенними та природними причинами

Надзвичайні ситуації, пов'язані з пожежами та вибухами, завжди несуть загрозу життю людей і цілісності виробничих об'єктів. Вогонь поширюється швидко, руйнує конструкції, утворює токсичні продукти горіння. Вибухи супроводжуються ударними хвилями, механічними руйнуваннями та часто призводять до вторинних пожеж. У виробничих умовах причинами можуть бути несправність електрообладнання, витік газу, порушення правил зберігання легкозаймистих матеріалів, перевищення тиску в резервуарах чи недотримання технологічних режимів.

Техногенні аварії охоплюють широкий спектр подій. Це руйнування будівельних конструкцій, транспортні катастрофи, витіки хімічних речовин, аварії на енергетичних об'єктах. Їхні наслідки мають комплексний характер: одночасно страждають люди, довкілля та виробничі процеси. До основних типів техногенних катастроф належать промислові аварії з пожежами та вибухами, витікання токсичних речовин, ядерні та радіаційні катастрофи, транспортні аварії різних видів, екологічні катастрофи, технологічні збої у системах зв'язку чи енергопостачання, терористичні атаки та диверсії, а також інфраструктурні руйнування, що охоплюють обвалення будівель, мостів і дамб. Кожен із цих випадків має власну специфіку, але спільним є масштабність наслідків і потреба у швидкому реагуванні.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>					
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>						
<i>Разроб.</i>		<i>Попов В.А.</i>			БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ					
<i>Перевір.</i>		<i>Окіпний І.Б.</i>						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>									63	6
<i>Н. Кантр.</i>		<i>Кодельник В. Р.</i>						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВс-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>								

Природні катастрофи виникають незалежно від діяльності людини, проте їхній вплив на виробництво може бути критичним. Землетруси, повені, буревії, зсуви ґрунту чи екстремальні температури здатні паралізувати роботу підприємств, пошкодити обладнання, створити небезпеку для персоналу. Природні надзвичайні ситуації поділяються на геологічні, метеорологічні, гідрологічні, природні пожежі та кліматичні. Геологічні включають землетруси, виверження вулканів, зсуви. Метеорологічні охоплюють урагани, бурі, смерчі. Гідрологічні проявляються у вигляді повеней, паводків, цунамі. До природних пожеж належать лісові та торф'яні. Кліматичні катастрофи виражаються в аномальній спеці чи тривалих посухах.

Пожежі та вибухи залишаються одними з найпоширеніших видів техногенних надзвичайних ситуацій. Вони можуть виникати як на промислових об'єктах, так і в побуті. Розрізняють пожежі побутові, промислові, лісові, торф'яні та транспортні. Основними причинами вибухів є витік газу в закритих приміщеннях, наявність горючого пилу, використання промислових вибухових речовин, перевищення тиску в балонах чи резервуарах, а також терористичні акти.

У будь-якому випадку головним завданням є захист життя і здоров'я людей. Це передбачає організацію своєчасної евакуації, надання першої допомоги, локалізацію джерела небезпеки. Важливим є створення системи попередження, яка включає сигналізацію, плани евакуації, регулярні інструктажі, засоби пожежогасіння та аварійні комплекти. Залежно від масштабу надзвичайні ситуації можуть бути локальними, об'єктовими, місцевими, регіональними, державними або транскордонними.

Таким чином, надзвичайні ситуації, спричинені пожежами, вибухами, техногенними чи природними факторами, потребують комплексного підходу. Йдеться не лише про профілактику та технічний контроль, а й про чітку організацію дій у критичний момент. Це питання безпеки, але водночас стратегічна умова збереження виробничої стабільності та життя людей. Система охорони праці та безпеки життєдіяльності має бути живим механізмом, який

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

працює щодня, навчає персонал, формує культуру відповідальності й забезпечує готовність до будь-яких викликів. Лише так можна досягти справжньої стійкості виробництва і впевненості у майбутньому.

4.2 Заходи, що забезпечують безпечні умови праці на свердлильному верстаті

Безпечні умови праці на свердлильному верстаті забезпечуються комплексом заходів: від правильного облаштування робочого місця та технічної справності обладнання до використання засобів індивідуального захисту й дотримання технологічних режимів [26].

Робота на свердлильному верстаті, особливо з багатошпindelною головкою, потребує підвищеної уваги до питань охорони праці. Процес свердління супроводжується обертанням інструменту, утворенням стружки, шумом і вібраціями, тому безпечні умови створюються лише завдяки комплексному підходу.

Правильне розташування обладнання має вирішальне значення. Верстат слід встановлювати у добре освітленій зоні, з достатнім простором для роботи оператора та обслуговування. Підлога повинна бути рівною, сухою, неслизькою, без сторонніх предметів, які можуть спричинити травмування.

Технічна справність вузлів і механізмів є основним засобом захисту від механічних небезпек. Перед початком роботи оператор перевіряє стан шпинделя, патрона, інструменту та системи кріплення деталі. Захисні кожухи й огороження мають бути встановлені на всіх обертових частинах, а саме шпинделях, зубчастих колесах, пасових передачах. Система мастила та охолодження повинна працювати без перебоїв, щоб уникнути перегріву інструменту та утворення небезпечних іскор.

Особливе значення має застосування процедур блокування та маркування. Вони запобігають випадковому пуску верстата під час очищення, змащування, налагодження або заміни інструменту. Перед будь-якими роботами з технічного

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65

обслуговування необхідно відключити джерела енергії та зафіксувати їх у вимкненому положенні.

Організаційні заходи включають регулярні інструктажі, навчання персоналу правилам безпечної роботи та відпрацювання алгоритмів дій у разі аварійних ситуацій. Працівники повинні знати місце розташування засобів пожежогасіння, аптечки та аварійного вимикача. Особливу увагу приділяють попередженню про небезпеку захоплення одягу, рукавиць, волосся чи прикрас обертовими частинами.

Регулярне технічне обслуговування є ключовим фактором запобігання аваріям. Перевірка стану захисних огорожень, системи змащування, гостроти інструменту дозволяє вчасно виявити й усунути несправності.

Індивідуальні засоби захисту є обов'язковими. Оператор використовує захисні окуляри або щиток для обличчя, щоб уникнути потрапляння стружки в очі. Руки захищають спеціальними рукавицями, які щільно прилягають і не можуть зачепитися за інструмент. Одяг має бути застібнутим, без звисаючих елементів. Для зниження впливу шуму застосовують навушники або беруші.

Безпечне кріплення деталі є необхідною умовою. Вона повинна бути надійно зафіксована у пристосуванні чи лещатах. Забороняється утримувати деталь руками або намагатися зупинити її рух у випадку прокручування.

Контроль режимів різання також має велике значення. Швидкість обертання та подача інструменту повинні відповідати матеріалу деталі й діаметру свердла. Перевищення рекомендованих параметрів може призвести до поломки інструменту, утворення іскор і навіть займання мастильних матеріалів.

4.3 Методи боротьби з монотонністю праці

Монотонність праці є однією з головних причин зниження продуктивності та виникнення професійної втоми. Це функціональний стан, що формується під час тривалого виконання одноманітних операцій у постійному темпі. Він проявляється у повторюваних діях, які не потребують високої концентрації

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		66

уваги, але вимагають безперервного відтворення тих самих рухів. Наслідком стає зниження мотивації, втрата інтересу до роботи, підвищення ризику помилок, зростання браку та навіть травматизму [27].

У серійному виробництві оператор свердлильного верстата протягом зміни повторює ті самі дії. Він встановлює деталь, виконує свердління, знімає її з пристосування. Така одноманітність є класичним прикладом монотонної праці.

Сучасні підходи в охороні праці та ергономіці виділяють три основні групи методів боротьби з монотонністю: техніко-технологічні, організаційні та психофізіологічні [27].

Техніко-технологічні методи передбачають автоматизацію найбільш рутинних операцій. Це може бути передача циклу подачі, затискання та зняття деталі механізмам. Використання кондукторів із пружинною підвіскою полегшує процес притискання. Застосування верстатів з числовим програмним керуванням змінює роль людини з виконавця на контролера чи наладчика. Робототехнічні комплекси здатні повністю замінити людину на конвеєрних лініях. До цієї групи належить і впровадження засобів малої механізації, таких як пневматичні або гідравлічні затискачі та механізовані столи.

Організаційні методи спрямовані на зміну режиму роботи. Якщо автоматизація неможлива, важливо раціонально планувати робочий процес. Ефективним є чергування різних видів діяльності, поєднання фізичних і розумових завдань. Ротація кадрів дозволяє уникнути одноманітності та розширює професійні навички. Зміна темпу роботи, коли оператор має можливість самостійно регулювати швидкість виконання операцій, знижує нервову напругу. Регламентовані перерви, короткі й часті, дають змогу відновити працездатність. Під час таких перерв доцільно виконувати виробничу гімнастику для розвантаження опорно-рухового апарату. Розширення функцій працівника, наприклад самостійна заміна інструменту чи контроль якості деталей, також зменшує монотонність.

Психофізіологічні та естетичні методи впливають на органи чуття та емоційний стан працівника. Використання функціональної музики у періоди спаду працездатності стимулює нервову систему. Кольорове оформлення

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		67

виробничого середовища створює сприятливий психологічний фон: обладнання фарбують у заспокійливі кольори, а небезпечні зони виділяють сигнальними. Виробнича гімнастика допомагає зняти статичне напруження м'язів. Мотиваційні програми, що включають матеріальне та моральне стимулювання, роз'яснення значущості роботи, залучення працівників до прийняття рішень, формують позитивне ставлення до праці. Важливим є також психологічний клімат у колективі, який підтримується через взаємодопомогу, виробничі змагання, тренінги та семінари.

Боротьба з монотонністю праці потребує системного підходу. Вона включає оптимізацію організації виробничого процесу, застосування сучасних технічних засобів, підтримання мотивації та створення сприятливого психологічного клімату. Комплексне використання цих методів дозволяє підвищити продуктивність праці, знизити ризик аварійних ситуацій, спричинених втомою та зниженням уваги, і водночас сприяє професійному розвитку персоналу. Це не лише питання комфорту, а й стратегічна умова безпеки та ефективності виробництва.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

ВИСНОВКИ

Деталь «Маточина Т0926» виконує ключові функції у складі редуктора і забезпечує точність взаємного розташування вузлів та надійність роботи механізму. Її геометрія та конструкція є раціональними, всі елементи уніфіковані, що підтверджує технологічність та придатність для серійного виробництва. Використання сталі 40Х забезпечує міцність, зносостійкість і задовільну оброблюваність різанням.

Базовий технологічний процес має недоліки, серед яких велика кількість переустановлень, використання різних баз, застосування протяжної операції та універсальних верстатів, що знижує продуктивність у масовому виробництві.

Порівняння варіантів заготовки показало перевагу закритої штамповки, яка формує менші припуски та точніші розміри і знижує витрати на механічну обробку.

Запропонований маршрут обробки з використанням токарного верстата з ЧПК 16К20Ф3 та вертикально свердлильного верстата 2А135 з багатошпindelною головкою забезпечує концентрацію операцій, сталість баз і скорочення кількості переустановлень.

Вибір сучасного інструменту Walter Tools, зокрема свердла Titex DC150 Perform та твердосплавних пластин Tiger-tec Gold, а також розраховані режими різання $n = 1100 \text{ хв}^{-1}$ і $s = 0.18 \text{ мм/об}$ гарантують високу точність і продуктивність.

Розраховані силові параметри для операції свердління $P\Sigma = 4766 \text{ Н}$, $M\Sigma = 38.2 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $N_{\text{різ}} = 4.4 \text{ кВт}$ узгоджуються з технічними можливостями обладнання, а основний час свердління двох отворів становить лише 0.152 хв., що вдвічі менше порівняно з послідовною обробкою.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Попов В.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>				69	3
<i>Реценз.</i>					<i>Висновки</i> <i>ТНТУ ім. І. Пулюя</i> <i>гр. МВС-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кабельник В. Р.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>					

Розроблено структурно кінематичну схему вертикально свердлильного верстата 2A135, яка забезпечує узгоджену роботу всіх механізмів і стабільність процесу.

Визначено діапазон частот обертання шпинделя від 68 до 1100 хв⁻¹. Синтезовано структурну формулу приводу $Z = 3(1) \cdot 1(1) \cdot 3(3) = 9$. Проведено розрахунок валів багатошпиндельної головки, прийнято діаметр ведучого вала 35 мм, робочий шпиндель виконано ступінчастим, для нього підібрано опори кочення, а саме підшипники 8207, 6404, 6406.

Для проєктованої багатошпиндельної головки розраховано параметри зубчастого зачеплення $m = 2$ мм, $z = 38$, $d = 76$ мм, $b = 16$ мм. Перевірочні розрахунки підтвердили міцність зубчастих коліс.

Розроблена конструкція двошпиндельної головки та кондуктора забезпечує стабільність міжосьової відстані 76 мм і перпендикулярність отворів до торцевої поверхні з допуском биття 0.2 мм.

Надзвичайні ситуації, спричинені пожежами, вибухами чи природними факторами, становлять загрозу для життя людей і стабільності виробництва. Їхнє попередження має на меті збереження безпеки працівників та безперервності роботи підприємства шляхом профілактики, технічного контролю та організації евакуації і дій персоналу.

Визначено основні небезпеки при роботі на свердлильному обладнанні. Запропоновано комплекс заходів безпеки, що включає правильне облаштування робочого місця, технічну справність вузлів, застосування процедур блокування та маркування, регулярні інструктажі й використання засобів індивідуального захисту, таких як окуляри, рукавиці та навушники.

Розглянуто методи боротьби з монотонністю праці, серед яких автоматизація рутинних операцій, ротація кадрів, регламентовані перерви, виробнича гімнастика, функціональна музика та мотиваційні програми, що підвищують продуктивність і знижують ризик професійної втоми.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Розроблений технологічний процес та конструкція спеціальної багатошпindelної свердлильної головки забезпечують підвищення продуктивності обробки деталі «Маточина Т0926» завдяки одночасному свердлінню двох отворів, скороченню допоміжного часу та зменшенню кількості переустановлень. Запропоновані технічні рішення є економічно доцільними, відповідають вимогам безпеки життєдіяльності та охорони праці і можуть бути впроваджені в умовах серійного виробництва для виготовлення деталі «Маточина Т0926» з річною програмою 80 000 штук.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		71

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 2391:2010. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2011-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 34 с.

2. Складання класифікаційних характеристик виробів за класифікатором ЄСКД [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ., які навчаються за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», 142 «Енергетичне машинобудування», спеціалізацією «Тепло- і парогенеруючі установки»; спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізаціями «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів», «Комп'ютерно-інтегровані технології приладів точної механіки», / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. М. Надкернична, О. О. Лебедева.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 116 с.

3. ДСТУ ГОСТ 14.205:2009. Технологічність конструкції виробів. Терміни та визначення (ГОСТ 14.205-83, IDT). [Чинний від 2010-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 14 с.

4. Сталь 40Х: характеристики, застосування та властивості. *Steel Group : сайт компанії*. URL: <https://steelgroup.com.ua/chornyj-metal/40h/>

5. Металорізальні верстати. Кінематичний аналіз. Практикум до виконання практичних та лабораторних робіт [Електронний ресурс]: Навч. посібник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи» / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 6,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 86 с.

6. Карпусь В. Є., Котляр О. В. Багатошпindelні головки для обробки отворів. *Наукові нотатки : міжвузівський збірник (м. Луцьк)*. 2011. Вип. № 32. С. 154–158.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Попов В.А.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>			72	4	
<i>Реценз.</i>					<i>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кабельник В. Р.</i>			<i>ТНТУ ім. І. Пулюя</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>			<i>гр. МВС-41, м. Тернопіль</i>		

7. Технологічна оснастка: навч. посіб. / В. І. Холоша, В. В. Проців, О. О. Богданов ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпропетровськ : НГУ, 2016. – 133 с.

8. Техніко-економічне обґрунтування використання переналагоджуваних кондукторів з обертовими втулками / А. Дячун, Б. Гупка, Іг. Гевко [та ін.] // Вісник ТНТУ. 2011. Т. 16, № 4. С. 89–94.

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

10. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А., Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнецова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

11. Четвержук Т. І., Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів / Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Залета О. М., Скляр Р. А. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк : - 2021. Випуск №71, С. 322-329.

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

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

14. Скляр Р. А., Шанайда В. В. Використання багатофункціонального пакету Mathcad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. Збірник тез XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (5 – 6 грудня 2012 р.). У 2Т. – Тернопіль : ТНТУ, 2012 – Т.2 Матеріалознавство та машинобудування. – 143 с., - С. 69.

15. Walter. General Catalogue 2024. Turning, Drilling, Threading, Milling. – Tübingen: Walter AG, 2024. – 1240 p.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

16. Stankocentr. Токарний верстат з ЧПК 16K20Ф3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stankocentr.com.ua/uk/purchase/tokarnye-stanki-s-chpu/tokarnyi-standok-s-chpu-16k20f3>

17. Вертикально-свердлильний верстат 2A135. Технічні характеристики, конуси шпинделя, креслення [Електронний ресурс] // Металінструмент: довідник металорізальних верстатів. – Режим доступу: https://www.metalinstrument.com/sprav_2135.htm

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

19. Крупа В. В., Кобельник В. Р. Призначення режимів різання при точінні табличним методом : Навчальний посібник - практикум. Тернопіль : ФОП ПАЛЯНИЦЯ, 2025. 144 с.

20. Бочков В. М., Сілін Р. І. Обладнання автоматизованого виробництва. Навчальний посібник / За ред. Сіліна Р. І. – Львів: Видавництво Державного університету “Львівська політехніка”, 2000. – 380с.

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

22. Інженерна механіка (Деталі машин). Методичний посібник до курсового проектування «Підшипники кочення. Основні параметри та розрахунки» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія» / Уклад. [Прізвище укладача, якщо відоме]. – Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. – 59 с.

23. Деталі машин : курс лекцій / Н. І. Хомик, А. Д. Довбуш, О. П. Цьонь. – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2016. – 160 с.

24. ДСТУ ISO 54:2005 Основні норми взаємозамінності. Циліндричні зубчасті колеса. Модулі. – Київ: Держспоживстандарт України, 2006. – 6 с.

25. Стручок В. С. Техноекоелогія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека» : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2022. 150 с.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

26. Основи охорони праці. Модуль 1: Правові та організаційні питання охорони праці, основи фізіології, гігієни праці та виробничої санітарії : навч.-метод. посібник / Е. Н. Абільтарова, М. С. Корець, С. М. Яшанов. – К. : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2010. – 409 с.

27. Охорона праці [Електронний ресурс] : навч. посіб. / В. І. Голінько; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». –Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 283 с.

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		75

ДОДАТКИ

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Попов В.А.</i>			<i>ДОДАТКИ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					76	
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кодельник В. Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						

Токарний верстат моделі 16К20Ф3

Найменування параметру	16К20Ф3
Основні параметри верстата	
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над станиною, мм	400
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над супортом, мм	220
Найбільший діаметр встановлюваного виробу над станиною, мм	500
Діаметр отвору в шпинделі, мм	53
Найбільша довжина виробу, що встановлюється в центрах (РМЦ), мм	1000
Найбільша довжина виробу, що обробляється при числі позицій інструментальної головки (6, 8, 12), мм	870
Шпиндель	
Потужність двигуна головного руху, кВт	11
Кількість робочих швидкостей шпинделя	22
Межі чисел оборотів шпинделя, об/хв	12,5...2000
Діапазон швидкостей шпинделя, що встановлюється вручну, об/хв	Ряд I - 12.5..200 Ряд II - 50..800 Ряд III - 125..2000
Кількість швидкостей, що автоматично перемикаються	9
Діапазон автоматичного перемикання	16
Центр шпинделя передньої бабки за ГОСТ 13214-67	Морзе №6
Центр пінолі задньої бабки за ГОСТ 13214-67	Морзе №5
Кінець шпинделя за ГОСТ 12593-72	6К
Подачі	
Найбільше переміщення супорта: поздовжнє (Z)/поперечне (X), мм	900/ 250
Межі кроків різьблення, що нарізаються, мм	0,1..39,999
Діапазон швидкостей поздовжніх подач, мм/хв (мм/об)	3..2000
Діапазон швидкостей поперечних подач, мм/хв (мм/об)	3..2000
Швидкість швидких поздовжніх/поперечних ходів, м/хв.	7,0/ 4,0
Висота різця, мм	25
Кількість позицій на поворотній резцетримці (число інструментів у РГ)	6
Електроустаткування верстата	
Електродвигун головного приводу, кВт/об/хв	11/1460
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	20
Сумарна потужність верстата, кВт	22
Габарити та маса верстата	
Габаритні розміри верстата з ЧПУ (довжина, ширина, висота), мм	3700 1700 2145
Маса верстата з ЧПУ, кг	4050

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ	Арк.
						77



Рисунок А.1 – Загальний вигляд верстату 16К20Ф3

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		78

Вертикально-свердлильний верстат моделі 2А135

Найменування параметру	2А135
Основні параметри верстата	
Найбільший діаметр свердління сталі 45 ГОСТ 1050-74, мм	35
Найменша та найбільша відстань від торця шпинделя до столу, мм	0..750
Найменша та найбільша відстань від торця шпинделя до плити, мм	705..1130
Відстань від осі вертикального шпинделя до направляючих стійки (виліт), мм	300
Робочий стіл	
Розміри робочої поверхні столу, мм	450 x 500
Число Т-подібних пазів Розміри Т-подібних пазів	3
Найбільше вертикальне переміщення столу (вісь Z), мм	325
Шпиндель	
Найбільше переміщення шпиндельної бабки, мм	200
Найбільше переміщення (хід) шпинделя, мм	225
Частота обертання шпинделя, об/хв	68..1100
Кількість швидкостей шпинделя	9
Найбільший допустимий момент, що крутить, кг*м	400
Конус шпинделя	Морзе 4
Механіка верстата	
Число ступенів робочих подач	11
Межі вертикальних робочих подач на один оборот шпинделя, мм	0,1..1,6
Найбільше зусилля подачі, кН	16
Динамічне гальмування шпинделя	Є
Електроустаткування та привід верстата	
Електродвигун приводу головного руху, кВт (об/хв)	4,5
Електронасос охолоджувальної рідини	Н14-22М
Габарити та маса верстата	
Габарити верстата (довжина x ширина x висота), мм	1240 x 810 x 2500
Маса верстата, кг	1300



Рисунок Б.1 – Загальний вигляд верстату 2А135

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>80</i>