

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: **Конструювання компонентів приводу головного руху
токарно-револьверного верстата для забезпечення технологічного
процесу виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002»**

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи МВ-41
спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Володимир ПРОЦЬ
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис) Руслан СКЛЯРОВ
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
(підпис) Володимир КОБЕЛЬНИК
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____
(підпис) Володимир КРУПА
(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 Процю Володимирі Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання компонентів приводу головного руху токарно-револьверного верстата для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002»

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 «Вісь ролика КМ9002», 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 приводу головного руху верстату; 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.

Привід головного руху – 1-2 ф.А1.

Анотація

Проць Володимир. Конструювання компонентів приводу головного руху токарно-револьверного верстата для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002». : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 133 – галузеве машинобудування / наук. кер. Р. А. Склярів. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026. 86 с.

Ключові слова: токарно-револьверний верстат, привід головного руху, механічна обробка, режими різання, конструювання.

В кваліфікаційній роботі приведені технологічні розрахунки та призначено режими для технологічних переходів на виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002». Розроблено кінематичну схему верстата. Здійснено розробку конструкції приводу головного руху. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Annotation

Prots Volodymyr. Design of components of the main drive of a turret lathe to ensure the manufacturing process of the part "Roller axle KM9002" Thesis for the bachelor's degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering / Supervisor R. A. Skliarov. Ternopil : Ivan Puluj Ternopil National Technical University, 2026. 86 p.

Keywords: turret lathe, main motion drive, machining, cutting modes, design.

The qualification paper presents technological calculations and prescribes cutting modes for the technological transitions in the manufacturing of the 'Roller Axis KM9002' part. A kinematic diagram of the machine tool has been developed. The design of the main motion drive has been carried out. Issues of labor protection and occupational safety have been addressed.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Проць В.І.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>				4	1
<i>Реценз.</i>					<i>Анотація</i> <i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Кантр.</i>		<i>Кабельник 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	12
1.3 Аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь та вибір їх раціональних схем	14
1.4 Огляд літератури	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	22
2.1 Особливості запропонованого ТП деталі «Вісь ролика КМ9002»	21
2.2 Обґрунтування та вибір різального інструменту	25
2.3 Обґрунтування та призначення контрольно-вимірювальних інструментів	28
2.4 Верстатне забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002»	29
2.5 Розрахунок режимів різання	30
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	36
3.1 Розробка функціональної та структурно-кінематичної схем верстата	36
3.1.1 Розробка та обґрунтування функціональної схеми верстата	36
3.1.2 Розробка та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстата	38
3.2 Кінематичний розрахунок верстату	41
3.2.1 Розрахунок потужності різання	41
3.2.2 Вибір електродвигуна приводу головного руху	43
3.2.3 Розрахунок діапазону регулювання приводу	44
3.2.4 Розробка структурної формули, її оптимізація	46

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗМІСТ</i>		
Розроб.		Проць В.І.					
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кодельник В. Р.					
Затверд.		Крцпа В.В.			Лит.	Арк.	Аркушів
						5	2
					ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м. Тернопіль		

3.2.5 Побудова структурної сітки та графіка чисел обертів	48
3.2.6 Визначення передавальних відношень та розрахунок чисел зубів	52
3.3 Силовий розрахунок вузлів верстату	57
3.3.1 Розрахунок крутних моментів на валах приводу	57
3.3.2 Визначення модуля зубчастих передач верстата	59
3.2.3 Геометричний розрахунок зубчастих коліс	61
3.2.4 Розрахунок діаметрів валів коробки швидкостей	64
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	67
4.1 Вибір та розрахунок віброізоляції для встановлення обладнання	67
4.2 Ергономічний та дизайнерський аналіз верстату	69
4.3 Управління та нагляд за безпекою життєдіяльності в Україні	71
ВИСНОВКИ	73
Перелік посилань	76
ДОДАТКИ	81

ВСТУП

Сучасне машинобудування висуває до верстатів ряд техніко-економічних вимог. Вони повинні забезпечувати максимальну продуктивність при одночасному досягненні необхідної точності та шорсткості оброблених поверхонь. Точність роботи визначається комплексом чинників, серед яких геометрична та кінематична точність, жорсткість деталей і стиків, вплив температурних деформацій, ступінь зносу вузлів та можливість його компенсації, а також конструкція затискних пристроїв.

Автоматизація є одним із провідних напрямів розвитку сучасного верстатобудування. Використання автоматів, напівавтоматів та автоматичних ліній дозволяє здійснювати виробничі процеси без постійної участі людини або з мінімальним її втручанням. Особливого значення набуває концентрація операцій, що полягає у виконанні максимальної кількості технологічних переходів за одну установку деталі. Такий підхід скорочує час обробки та підвищує точність.

У крупносерійному та масовому виробництві економічно виправданим є застосування токарних верстатів з числовим програмним керуванням, а також класичних токарно-револьверних автоматів. Верстати з ЧПК забезпечують високу точність і універсальність завдяки програмному керуванню та можливості виконання складних операцій без перевстановлення деталі. Класичні токарно-револьверні автомати характеризуються високою продуктивністю завдяки автоматизованому циклу, кулачковим системам керування та здатності ефективно працювати з прутковим матеріалом. Зростання вимог до точності та складності деталей зумовлює потребу модернізації цих верстатів, удосконалення їх приводів головного руху та інтеграції з більш гнучким обладнанням, що дозволяє концентрувати операції.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ВСТУП</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Проць В.І.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						7	2
					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		

Розвиток машинобудування ставить перед верстатобудівниками завдання створення високоточних верстатів. Щороку зростають вимоги до прецизійності обладнання, що стимулює впровадження нових конструктивних рішень. Серед них варто відзначити направляючі кочення, гідростатичні та аеростатичні направляючі, гідростатичні опори шпиндельних вузлів, передачі гвинт-гайка кочення, електромагнітні та фрикційні муфти для автоматичного перемикавання швидкостей, а також різноманітні демпфуючі пристрої.

Паралельно з удосконаленням верстатів активно розвивається різальний інструмент. Використання нових інструментальних матеріалів, таких як тверді сплави, мінералокераміка, кубічний нітрид бору та полікристалічний алмаз, дозволяє підвищити швидкість різання та стійкість інструменту. Це особливо важливо для токарних автоматів і токарно-револьверних верстатів, де інструмент працює в автоматичному циклі без постійного контролю оператора. Інструмент з підвищеною стійкістю збільшує тривалість безперервної роботи, зменшує кількість зупинок на заміну та підвищує загальну продуктивність. Впровадження приводного інструменту та інструментальних магазинів на токарних верстатах з ЧПК створює можливість виконання фрезерних, свердлильних та різьбонарізних операцій без перевстановлення деталі.

Таким чином, актуальність роботи полягає у необхідності модернізації верстатного обладнання відповідно до сучасних вимог продуктивності, точності, автоматизації та концентрації операцій.

Структура і обсяг роботи. Представлена кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів та основних висновків. Записка містить 75 аркушів пояснювального матеріалу, 17 рисунків та 22 таблиць на 20 аркушах. При виконанні роботи використано різноманітну спеціалізовану літературу, а також публікації з мережі Internet. Перелік літератури містить 36 найменувань, які розміщені на 5 аркушах, а також 3 додатків на 6 аркушах. Загальний обсяг роботи становить 86 аркушів.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз завдання

Деталь «Вісь ролика КМ9002» застосовується у складі роликівих вузлів, що входять до транспортних і конвеєрних систем різних галузей промисловості. Її основна функція полягає у забезпеченні надійного кріплення ролика та точного обертання, що гарантує безперервність роботи механізмів. Завдяки конструкції та використанню сталі 40Х вісь здатна витримувати значні радіальні й осьові навантаження, працювати в умовах циклічного тертя та забезпечувати довговічність вузла.

Дана деталь виготовляється серійно у кількості 75 000 штук. Такий обсяг відповідає умовам крупносерійного виробництва і вимагає оптимізації технологічного процесу, мінімізації кількості перевстановлень та застосування високопродуктивного обладнання.

Основою для розробки технологічного процесу виготовлення є робоче креслення деталі (див. рис. 1.1). Воно визначає геометричні параметри, точність і шорсткість поверхонь, а також вимоги до термічної обробки.

Конструкція осі передбачає ступінчасту форму з діаметрами $\varnothing 24$, $\varnothing 20$ та $\varnothing 16$ мм, загальною довжиною 49 мм і ключовими розмірами 28, 35 та 15 мм. Посадкові поверхні виконуються з точністю $H7$ та шорсткістю $Ra 3.2$, що забезпечує їх спряження з підшипниками. У конструкції передбачено внутрішній отвір під різьбу М5, поперечні координатні отвори діаметром $\varnothing 4$ та $\varnothing 4.2$, а також фаски для центрування та складання.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Проць В.І.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>				9	13
<i>Реценз.</i>					<i>АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кодельник В. Р.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>					
					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		

до багаторазових переналагоджень і перевстановлень деталі, що знижує продуктивність і точність через накопичення похибок базування.

Таблиця 1.1 – Базовий ТП виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002»

№ операції	Назва операції	Обладнання	Призначення
005	Зачисна	Прес-ножиці, абразивно-відрізний верстат	Підготовка поковки, видалення литників
010	Токарна (чорнова)	Токарний верстат 16К20	Формування ступенів Ø24, Ø20, Ø16 з припуском
015	Токарна (чистова)	Токарно-револьверний автомат 1Б732РФ3	Обробка поверхонь Ø24Н7, Ø20Н7, Ø16Н7
020	Свердлильна	Свердлильний верстат 2Н135	Свердління осьового отвору та нарізання різьби М5
025	Координатно- свердлильна	Верстат 2А450 з кондуктором	Виконання поперечних отворів Ø4 та Ø4.2
030	Термічна	Піч шахтного типу СШЦ-2.5.5/9	Загартування з відпуском, твердість 40–45 HRC
035	Шліфувальна	Круглошліфувальний верстат 3У12А	Шліфування поверхонь Ø24, Ø20, Ø16 до Н7, Ra 3.2

Для забезпечення експлуатаційних властивостей деталей потребує проведення термічної обробки, яка гарантує необхідну твердість і зносостійкість сталі 40Х. Після термообробки обов'язковим є фінішне шліфування посадкових

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

поверхонь, за 7-м квалітетом точності з параметром шорсткості Ra 3.2 мкм. Ці операції є невід’ємними складовими технологічного процесу, оскільки саме вони забезпечують відповідність деталі технічним вимогам та стандартам.

Водночас для підвищення ефективності виробництва виникає потреба скорочення кількості перевстановлень та використання більш продуктивного обладнання. Це дозволить зменшити трудомісткість, підвищити точність за рахунок зниження похибок базування та забезпечити економічність процесу при серійному виготовленні.

1.2 Характеристика об’єкту виробництва

Згідно завдання на кваліфікаційну роботу в якості матеріалу з якого виготовляється деталь «Вісь ролика КМ9002» використовують конструкційну леговану сталь 40Х. В ДСТУ 7806:2015 [1] приведені основні характеристики даного матеріалу, а саме його хімічний склад (див. рис. 1.2) та механічні характеристики (див. рис. 1.3) [2].

C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	P	S
0.36-0.44	0.17-0.37	0.5-0.8	≤0.3	0.8-1.1	≤0.3	≤0.035	≤0.035

Рисунок 1.2 – Хімічний склад сталі 40Х

Термічна обробка	Межа плинності, (МПа)	Тимчасовий опір, (МПа)	Мінімальне відносне подовження, %	Відносне звуження, %
Загартування від 860°C в маслі, відпуск при 500°C	≥785	≥980	≥10	≥45

Рисунок 1.3 – Механічні властивості сталі 40Х

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Деталь «Вісь ролика КМ9002» належить до 71 класу за класифікатором виробів машинобудування [3]. Цей клас охоплює тіла обертання, а саме кільця, диски, шківни, блоки та стрижні, втулки, склянки, колонки, вали, осі, штоки та шпинделі.

За підкласом (код 5) деталь характеризується наявністю циліндричної зовнішньої поверхні з відношенням довжини до діаметра $L \geq 2D$.

За групою (код 6) вона належить до ступінчастих деталей з одnobічними та двобічними закритими уступами без зовнішньої різьби.

За підгрупою (код 3) деталь має центральний глухий отвір з різьбою.

За видом (код 2) вона класифікується як деталь без пазів на зовнішній поверхні, але з отворами, розташованими поза віссю.

Таким чином, загальний класифікаційний код деталі «Вісь ролика КМ9002» становить 715632.

Проведений аналіз креслення деталі «Вісь ролика КМ9002» дозволив визначити основні поверхні які підлягають обробці, та вимоги до їх якості. Результати цього аналізу наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Геометричні параметри деталі та вимоги до її якості

№	Оброблювана поверхня	Розмір / Позначення	Допуск (посадка)	Шорсткість, Ra (мкм)
1	Основна посадкова шийка	Ø20	H7 ^{+0.021}	3.2
2	Допоміжна посадкова шийка	Ø16	H7 ^{+0.018}	3.2
3	Зовнішній буртик	Ø24	h14 _{-0.520}	12.5
4	Зовнішня проточка (роздільна)	Ø16.5	±0.2	12.5
5	Технологічна канавка під Ø20	Ø19.5	+0.1	6.3
6	Технологічна канавка під Ø16	Ø15.5	+0.1	6.3
7	Центральний глухий отвір	Ø5.3; L = 38 мм	H12 ^{+0.120}	12,5
8	Внутрішня кріпильна різьба	M5 × 0.8	6H	–
9	Поперечний отвір	Ø4	H12 ^{+0,120}	12.5
10	Поперечний отвір	Ø4.2	H12 ^{+0,120}	12.5
11	Цековка поперечна	Ø8	+0.2	12.5
12	Торцеві фаски	1 × 45°, 2 × 45°	±0.2	12.5
13	Загальна довжина деталі	L = 54,4 мм	js14 ± 0.3	12.5

1.3 Аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь та вибір їх раціональних схем

Для забезпечення точності та шорсткості при виготовленні деталі «Вісь ролика КМ9002» необхідно узгодити конструктивні особливості деталі та кінематичні можливості обладнання [4]. Аналіз передбачає розгляд та представлення взаємного переміщення елементарних рухів інструмента та заготовки, що дозволяє раціонально підібрати схеми обробки, а також узгодити їх з умовами серійного виробництва.

При цьому ми виділяємо кілька базових схем формоутворення поверхонь [5], а саме токарна обробка (зовнішнє точіння, проточка канавки та точіння зовнішньої фаски), обробка осьовим інструментом (свердління, зенкування, нарізання різі), а також абразивна обробка (шліфування).

При формуванні ступінчастого профілю деталі, а саме поверхонь діаметром $\varnothing 24$, $\varnothing 20$ та $\varnothing 16$ мм необхідно забезпечити головний рух обертання заготовки $\Phi_v(O_1)$ та рух подачі $\Phi_s(P_3)$. Ця схема формоутворення приведена на рис. 1.4.

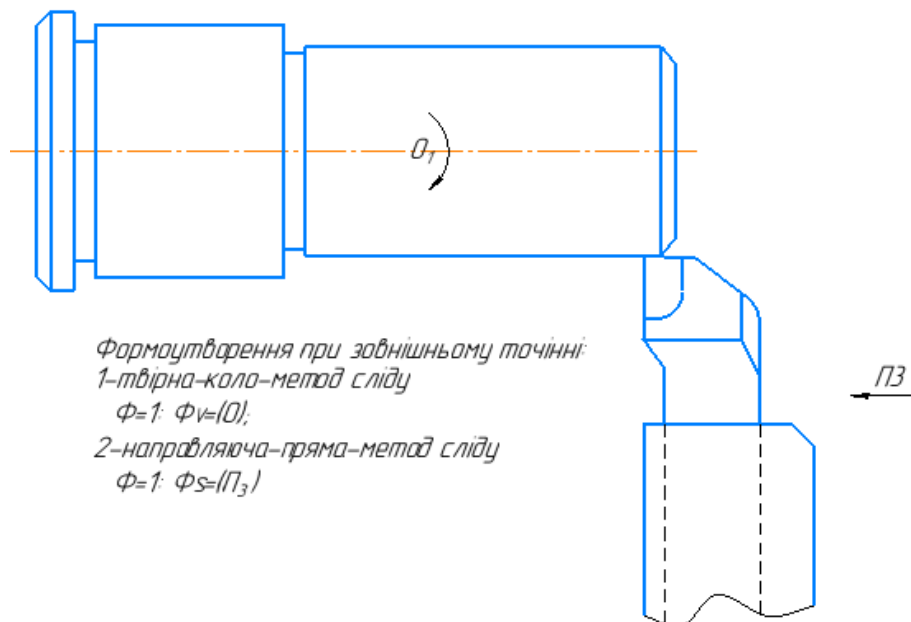


Рисунок 1.4 – Зовнішнє точіння (набір ФУР)

					КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Також деталь передбачає обробку двох технологічних канавок $\varnothing 19.5$ та $\varnothing 15.5$ мм. Для цього використовується спеціальний канавковий різець. Заготовка отримує обертний рух $\Phi_v(O_1)$, а канавковий різець здійснює поперечне переміщення $Уст(\Pi_2)$. Дана схема формоутворення приведена на рис. 1.5.

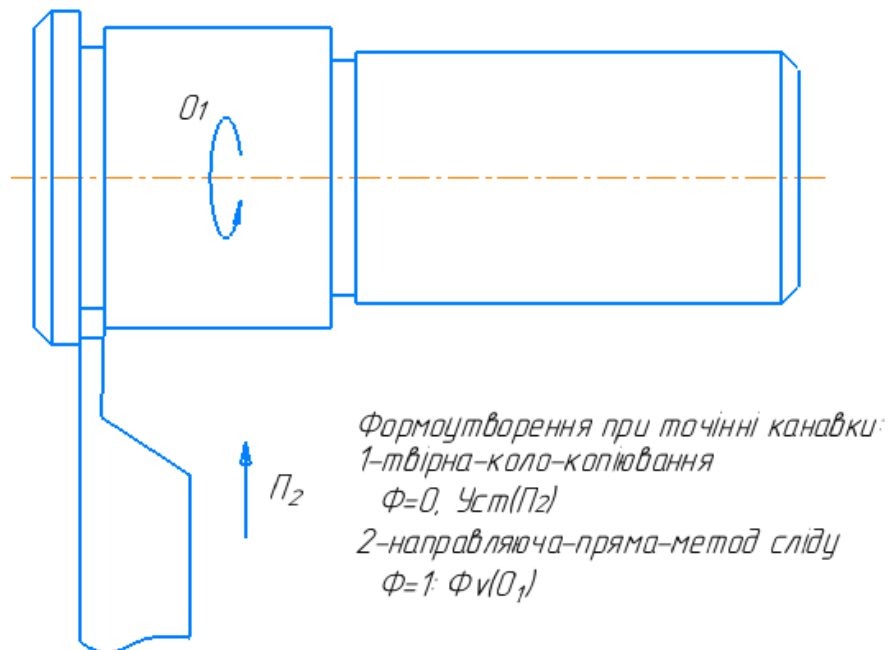


Рисунок 1.5 – Точіння технологічних канавок (набір ФУР)

Також при виконанні токарних операцій необхідно забезпечити формування фасок. Як і в попередніх випадках заготовка отримує обертний рух $\Phi_v(O_1)$, а різець повинен здійснити повздовжнє переміщення $\Phi_s(\Pi_2)$ та установчий рух $Уст(\Pi_3)$. Дана схема формоутворення приведена на рис. 1.6.

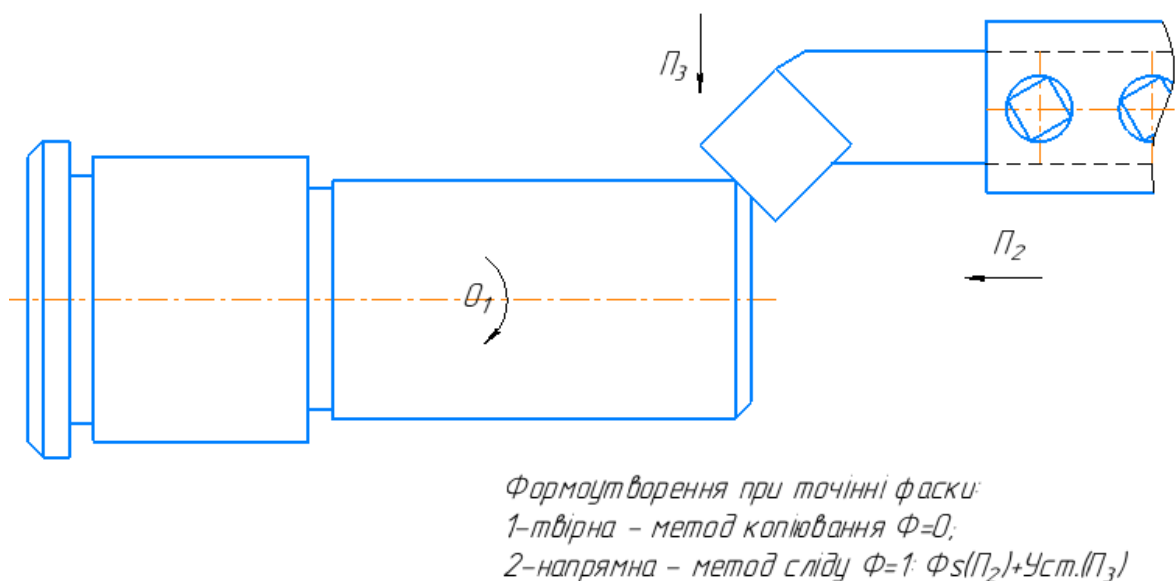


Рисунок 1.6 – Точіння зовнішньої фаски (набір ФУР)

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Деталь «Вісь ролика КМ9002» передбачає обробку отворів, а саме поздовжнього $\varnothing 5.3$ мм глибиною 38 мм. При цьому можливі дві схеми обробки (обертний рух свердла з його поздовжньою подачею в нерухому заготовку та обертний рух заготовки $\Phi_v(O_1)$, з поздовжнім переміщенням нерухомого свердла $\Phi_s(\Pi_2)$ (див. рис. 1.7)).

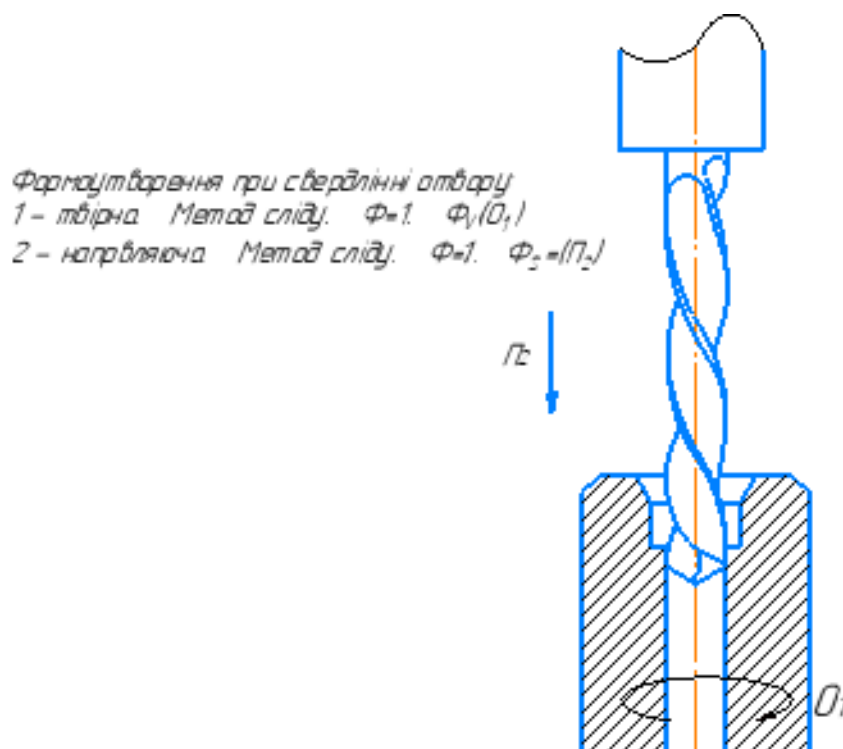


Рисунок 1.7 – Свердління при рухомій заготовці та нерухомому свердлі з його поздовжньою подачею (набір ФУР)

При обробці торцевих отворів (див. рис. 1.8) обертний рух отримує інструмент $\Phi_v(O_1)$, він також отримує рух подачі $\Phi_s(\Pi_2)$.

Обробка деталі виконується операція цекування отвору, при цьому заготовка залишається нерухомою, обертний рух $\Phi_v(O_1)$ виконує цековка, інструмент виконує рух врізання $V_r(\Pi_2)$ (див. рис. 1.9).

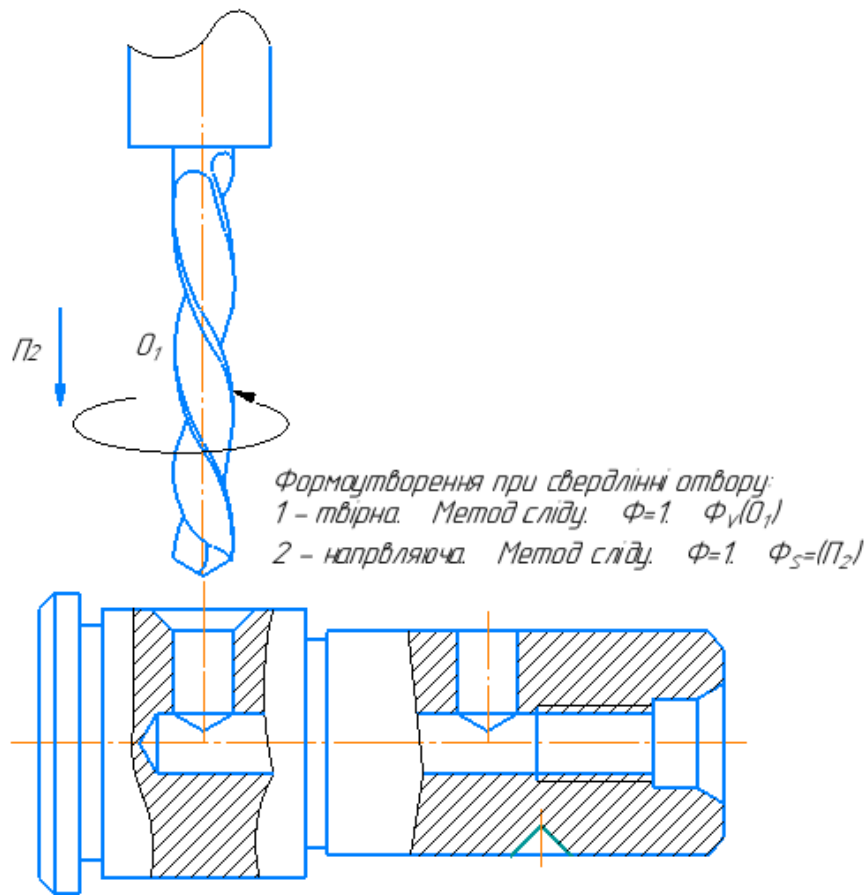


Рисунок 1.8 – Свердління при нерухомій заготовці та рухомому свердли з його поздовжньою подачею (набір ФУР)

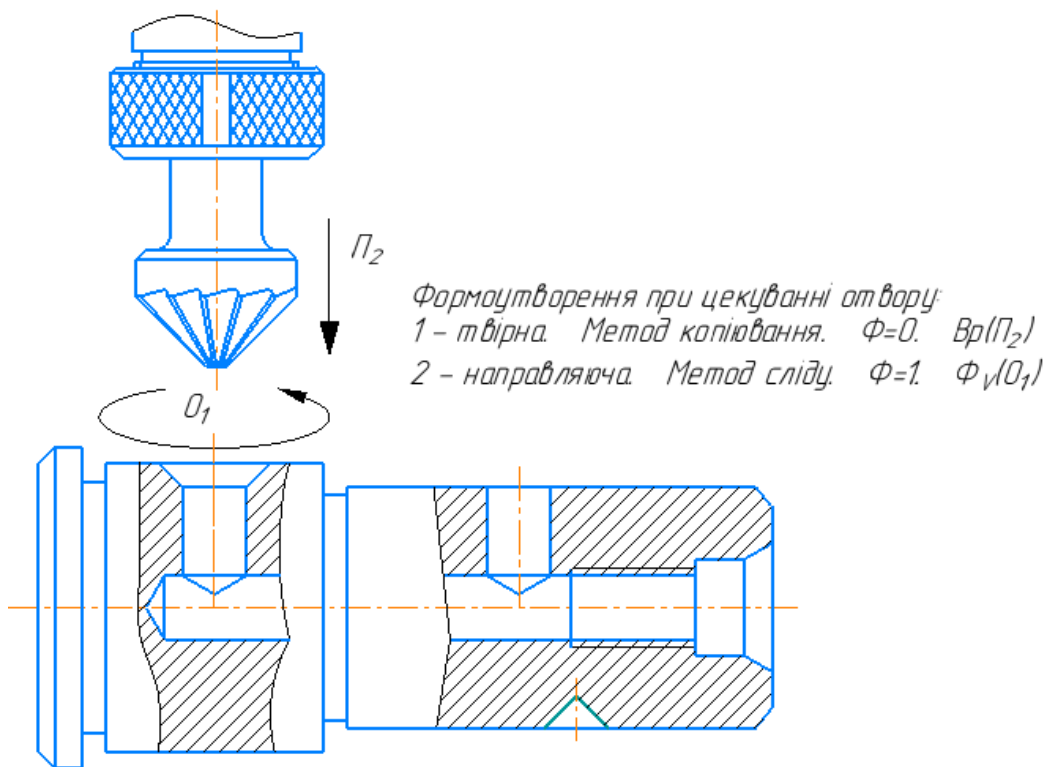


Рисунок 1.9 – Цекування отвору (набір ФУР)

					КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

При обробці деталі «Вісь ролика КМ9002» передбачено нарізання різьби $M5 \times 0.8$. Для цього слід забезпечити обертовий рух заготовки $\Phi_v(O_1)$ та поступальний рух подачі $\Phi_s(P_2)$, а також рух врізання $V_r(P_5)$. Дана схема формоутворення приведена на рис. 1.10.

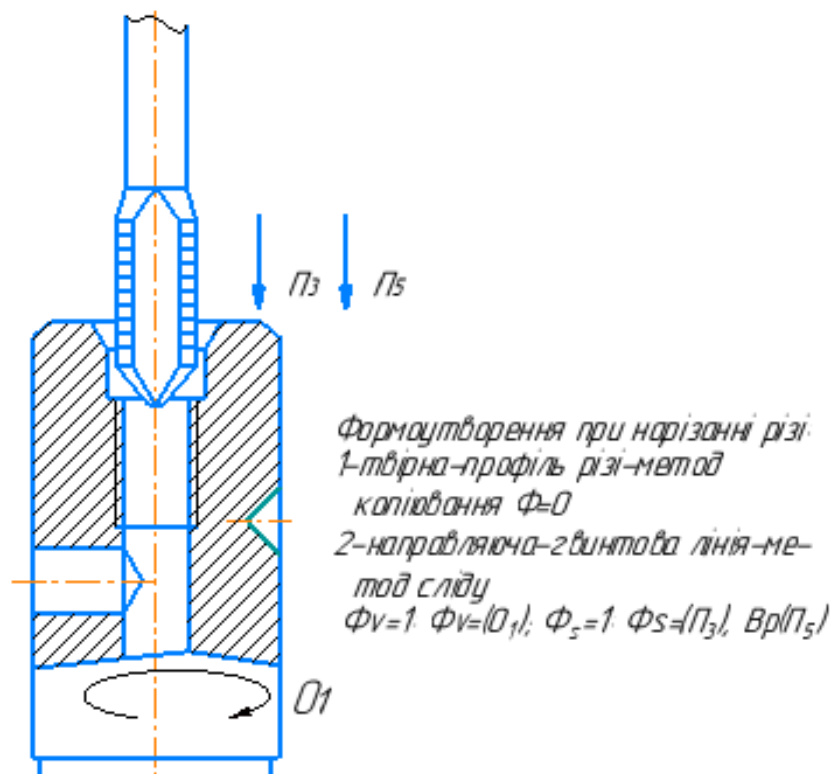


Рисунок 1.10 – Нарізання різьби (набір ФУР)

Після термічного зміцнення (40 – 45 HRC) необхідно здійснити фінішне формоутворення посадкових шийок $\emptyset 20H7$ та $\emptyset 16H7$, для цього ми застосовуємо схему кругового зовнішнього шліфування. Процес передбачає швидке обертання абразивного круга $\Phi_v(O_1)$, поздовжнє переміщення круга $\Phi_s(P_4)$ та установчий рух $Уст(P_2)$. Дана схема формоутворення приведена на рис. 1.11.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Формування при шліфуванні:
 1-твірна-коло-метод дотику
 $\Phi=2 \Phi_V=(O_1); \Psi_{ст}(\Gamma_2)$
 2-направляюча-пряма-метод дотику
 $\Phi=2: \Phi_V=(O_3); \Phi_S=(\Gamma_4)$

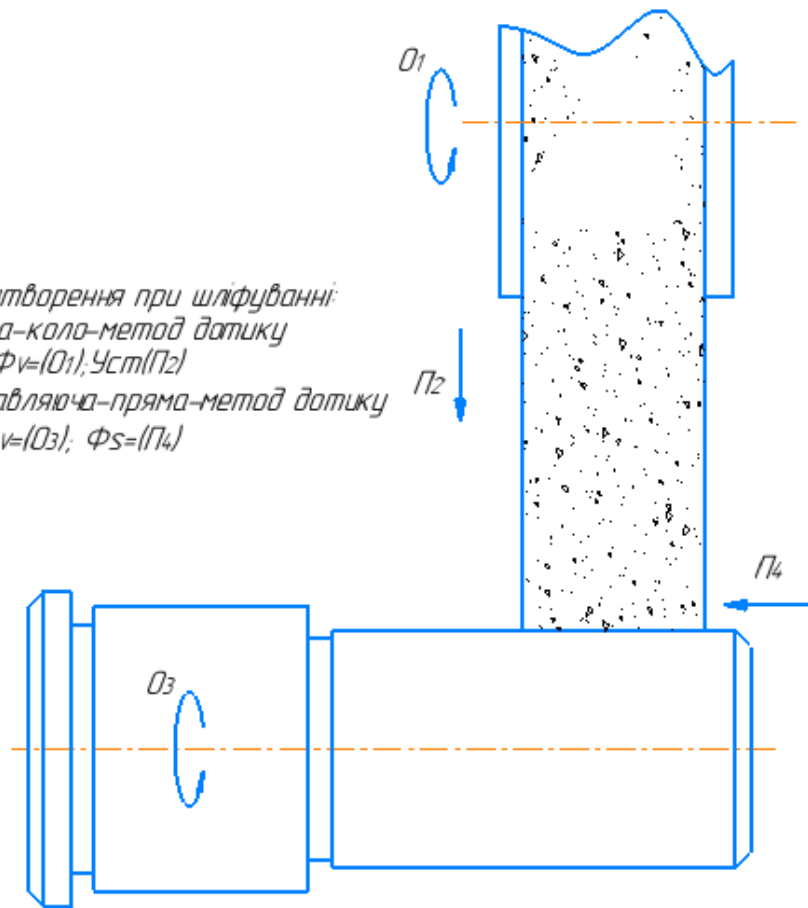


Рисунок 1.11 – Шліфування поверхні осі під підшипник (набір ФУР)

1.4 Огляд літератури

У сучасному машинобудуванні простежується послідовна еволюція підходів до прогнозування та інтеграції технічних характеристик металорізальних верстатів. Так праця [6] присвячена статистичному моделюванню і пропонує методику узагальнення великих масивів даних для прогнозування точності, жорсткості та стабільності обладнання. Дослідження [7] розкриває можливості застосування нейронних мереж для врахування багатофакторних залежностей і підвищення точності проєктних рішень, що відкриває перспективи інтелектуалізації процесів проєктування. Доповнює ці підходи праця [8], де обґрунтовано системний підхід як основу автоматизації проєктування та модернізації токарних верстатів, із наголосом на єдності системи «Верстат–Пристосування–Інструмент–Деталь» та використанні CAD/CAE-систем для інтеграції конструкторських і технологічних рішень.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Разом ці роботи формують цілісну методологічну основу, яка поєднує класичні статистичні моделі, сучасні інтелектуальні алгоритми машинного навчання та системну інтеграцію, що створює підґрунтя для обґрунтування вибору обладнання та розробки приводу головного руху при виготовленні деталі «Вісь ролика KM9002».

Глибокий аналіз структурної побудови та перспектив розвитку металорізальних систем представлений у циклі праць [9, 10]. Автори досліджують обладнання з паралельною кінематикою, зокрема механізми типу гексаподів і триподів, що дозволяє переосмислити традиційні підходи до проектування компонентів приводу. У навчальному посібнику [9] систематизовано теоретичні основи та практичні аспекти використання паралельних кінематичних структур, тоді як у статті [10] здійснено прогнозування розвитку верстатних систем і визначено їхні перспективи у виробництві.

Цікавими є дослідження, в яких відстежуються закономірності еволюції складних механічних структур [11, 12]. Так в роботі [11] запропоновано інструментарій прогнозування розвитку технічних систем, що дозволяє визначати майбутні напрями модернізації обладнання та обґрунтовувати впровадження компонентів із підвищеними динамічними характеристиками. Праця [12] розкриває підхід до побудови та розвитку технічних систем, акцентуючи увагу на їх життєвому циклі, адаптивності та функціональній надійності. Поєднання цих підходів створює методологію для проектування вузлів верстатів, забезпечуючи їх сумісність із сучасними системами ЧПК та допоміжним обладнанням.

Особливе практичне значення для забезпечення динамічної якості обробки має дослідження [13], присвячене експериментальному вивченню процесів розточування із застосуванням різців, оснащених тензометричними датчиками. Автори доводять, що використання такого інструмента перетворює процес різання на керовану систему, де контроль параметрів здійснюється безпосередньо під час обробки. Це забезпечує стабільність геометричних

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

характеристик, підвищує точність і дозволяє адаптувати режими різання до реальних умов навантаження.

Важливим аспектом проектування приводу є дослідження кінематичної точності та її впливу на якість поверхні, що підтверджується працями [14, 15]. У першій роботі запропоновано використання методу ітерацій для багаторазового уточнення параметрів ланцюгів подач, що дозволяє мінімізувати похибки позиціонування інструмента та врахувати вплив пружних деформацій елементів приводу. Друга праця розкриває взаємозв'язок між випадковими коливаннями подачі та мікрогеометрією поверхні, доводячи, що навіть незначні відхилення у швидкості подачі здатні вивести параметр шорсткості R_a за межі допуску. Це особливо критично при обробці легованих сталей, зокрема 40X, де стабільність подачі визначає запобігання автоколиванням і забезпечує якість шийок підшипники.

Питання надійності та довговічності затискних механізмів при роботі з прутковим матеріалом детально висвітлено у праці [16]. Автори здійснили ґрунтовний аналіз процесів зношення губок цанг багатошпindelьних автоматів, показавши, що саме ця зона є критичною для забезпечення точності базування. Вони зокрема відзначають, що поступове зношення затискних елементів призводить до зміни силового контакту та появи мікропохибок у положенні заготовки. Це, у свою чергу, може спричинити відхилення геометричних параметрів деталі навіть при правильно призначених режимах різання.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Особливості запропонованого ТП деталі «Вісь ролика КМ9002»

На основі аналізу конструкції деталі, базового технологічного процесу та схем формоутворення (розділи 1.1–1.3) було розроблено модернізований технологічний процес (див. табл. 2.1), головна ідея якого полягає у концентрації операцій та переході на високопродуктивну обробку з пруткового прокату. Це рішення дозволяє поєднати економічність заготовки, автоматизацію подачі та стабільність геометрії з можливістю інтеграції сучасних ЧПК-технологій.

Таблиця 2.1 – Маршрут проектного ТП обробки деталі вісь ролика

№ операції	Найменування операції	Обладнання (модель)
005	Токарно-автоматна (чорнова обробка)	Одношпindelний токарно-револьверний автомат 1Б140
010	Токарна з ЧПК (чистова обробка, координатні отвори)	Токарний верстат 16К20Т1.02 з приводною револьверною голівкою
015	Слюсарно-зачисна	Ручний інструмент (мітчики, абразиви)
020	Термічна обробка (загартування)	Камерна електропіч
025	Круглошліфувальна (фінішна обробка)	Круглошліфувальний верстат 3Б151
030	Контрольна	Мікрометри МК 25–50, калібр-пробки

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Проць В.І.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>				22	14
<i>Реценз.</i>					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кодельник В. Р.</i>			<i>зр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>					

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

У базовому процесі використовувалася поковка, що вимагала додаткових операцій зачистки та спеціального оснащення. Натомість гарячекатаний пруток $\varnothing 25$ мм за ДСТУ 7806:2015 [1] забезпечує правильну геометричну форму, знижує собівартість і дозволяє реалізувати автоматичні цикли подачі на токарно-револьверному автоматі. Це рішення підвищує коефіцієнт використання матеріалу та забезпечує жорстке закріплення в цанговому патроні.

На операції 005 виконується чорнова обробка, а саме автоматична подача прутка, глибоке свердління отвору $\varnothing 4.2$ мм, чорнове точіння зовнішніх ступенів деталей та нарізання різьби М5.

Операція 010 передбачає використання токарного верстату з ЧПК, на ньому повинно відбутися чистове точіння посадкових шийок, формування канавок, зняття фасок та координатне свердління поперечних отворів із використанням керованої осі С. Завдяки цьому виключається потреба у спеціальних кондукторах, а точність позиціонування має високий рівень.

Фінішна обробка передбачає термічну обробку (операція 015) сталі 40Х із загартуванням до твердості 40 – 45 HRC та подальше шліфування (операція 020) на верстаті.

Завершальний контроль (операція 025) із застосуванням мікрометрів та калібр-пробок підтверджує відповідність деталі кресленню.

Порівняно з базовим процесом, модернізований варіант скорочує кількість основних верстатів із п'яти до трьох, зменшує перевстановлення деталі з п'яти до двох, забезпечує точність поперечних отворів завдяки позиціонуванню віссю С та інтегрує нарізання різьби у цикл автомата. Штучно-калькуляційний час скорочується на 20 ÷ 30%, а економічна ефективність досягається завдяки автоматизації та суміщенню переходів.

В таблиці 2.2 приведено ТП обробки деталі «Вісь ролика КМ9002» з операційними переходами в межах технологічних операцій.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таблиця 2.2 – ТП обробки деталі «Вісь ролика КМ9002» з переходами

Перехід	Виконавчий пристрій	Назва переходу	Інструмент
1	2	3	4
Операція 005 Токарно-автоматна			
005-1	Механізм подачі прутка	Висування прутка до упору	Упор
005-2	Цанговий патрон	Затиск заготовки	–
005-3	РГ поз. 1	Центрування торця	Центрувальне свердло
005-4	РГ поз. 2	Свердління глибокого отвору	Свердло Ø4.2 мм
005-5	РГ поз. 3	Розсвердлювання під захід мітчика	Свердло Ø5.3 мм
005-6	РГ поз. 4	Нарізання різьби	Мітчик М5
005-7	Передній супорт	Чорнове точіння	Прохідний різець
005-8	Задній супорт	Відрізання заготовки	Відрізний різець
Операція 010 Токарна з ЧПК			
010-1	Підрізання торця	Прохідний різець	Довжина 54.4 мм (зняття 1.6 мм)
010-2	Чистове точіння ступенів	Прохідний різець	Ø20 та Ø16, припуск +0,3 мм
010-3	Формування канавок	Канавковий різець	Ширина 3 мм, Ø19.5 та Ø15.5 мм
010-4	Зняття фасок	Фасочний різець	1 × 45° по контуру
010-5	Позиціонування шпинделя (0°)	–	Під перше свердління
010-6	Свердління поперечного отвору	Свердло Ø4.2 мм	Радіальна подача
010-7	Цекування	Цековка Ø8 мм	Опорна поверхня
010-8	Позиціонування шпинделя (180°)	–	Під друге свердління
010-9	Свердління поперечного отвору	Свердло Ø4 мм	Радіальна подача
010-10	Свердління центрального отвору	Свердло Ø6.5 мм	Глибина 2 мм
010-11	Контроль лінійних розмірів	Штангенциркуль	54.4; 28; 35; 15 мм
Операція 020 Термічна обробка			
020-1	Нагрів до температури	820 – 860 °С	Для сталі 40Х
020-2	Витримка при температурі	10 – 15 хв	Прогрів по перерізу
020-3	Охолодження	В оливі	Мінімізація поводки
020-4	Відпуск (за потреби)	150 – 200 °С	Зняття напружень

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ

Арк.

24

1	2	3	4
Операція 025 Круглошліфувальна			
025-1	Шліфування шийки Ø20H7	20.0 ÷ 20.021 мм	Ra 3.2
025-2	Шліфування шийки Ø16H7	16.0 ÷ 16.018 мм	Ra 3.2
025-3	Контроль співвісності	Биття ≤ 0.02 мм	–
Операція 030 Контрольна			
030-1	Зовнішні діаметри Ø20H7, Ø16H7	Мікрометр МК 25–50	Точність до 0.01 мм
030-2	Внутрішня різьба М5	Калібр-пробка М5	Повний прохід
030-3	Поперечні отвори Ø4, Ø4.2	Гладкі калібр-пробки	Відповідність кресленню
030-4	Лінійні розміри	Штангенциркуль	54.4; 28; 35; 15 мм
030-5	Співвісність та биття	Індикатор	≤ 0.02 мм

2.2 Обґрунтування та вибір різального інструменту

Вибір інструменту для виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002» ґрунтується на аналізі конструктивних особливостей, фізико-механічних властивостей матеріалу та вимог до точності [17]. Як зазначалось раніше деталь виготовляється з пруткового матеріалу зі Сталі 40Х, яка має твердість до 217 НВ, а після термічної обробки 40 ÷ 45 HRC. Це визначає потребу в інструментальних матеріалах з високою зносостійкістю, здатних працювати як у режимах чорнової обробки, так і при чистових переходах. Виробництво крупносерійне (75 000 шт./рік), тому пріоритетом є продуктивність, стабільність геометрії та довговічність інструменту.

Операція 005 Токарно-автоматна. Обробка буде відбуватися на токарно-револьверному автоматі 1Б140. На даному верстаті інструмент працює в автоматичному циклі, без постійного контролю оператора. Для токарних чорнових операцій використовується прохідний та відрізний різці з напайними пластинами з твердого сплаву Т5К10. Дані інструменти витримують переривчасте різання, мають високу міцність на згин і стійкість до нагрівання.

						<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Інформація про осьовий інструмент, який кріпиться в револьверній головці приведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Осьовий інструмент для револьверної головки

Позиція	Інструмент	Матеріал	Обґрунтування
1	Центрувальне свердло	P6M5	Точне введення свердла, стабільність при глибокому свердлінні
2	Свердло Ø4.2 мм	P6M5K5	Підвищена стійкість при $L/D \approx 9.4$
3	Свердло Ø5.3 мм	P6M5	Формування ступеня для заходу мітчика
4	Мітчик M5	P6M5	Гвинтові канавки для виведення стружки, робота з реверсом шпинделя

Операція 010 Токарна з ЧПК. Дана операція буде виконуватись на токарному центрі 16K20T1.02, при цьому основний акцент буде на точності оброблюваної поверхні та швидкій зміні інструменту. На верстаті будемо проводити чистову токарну обробку та обробку приводним інструментом, який кріпиться в револьверній головці. Інформація про цей інструмент приведена в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Інструмент для обробки на токарному верстаті з ЧПК

Інструмент	Матеріал	Обґрунтування
Прохідний різець (чистове точіння Ø20, Ø16)	T15K6	Висока стабільність розмірів, якість поверхні
Канавковий різець (ширина 3 мм)	T15K6	Формування канавок Ø19.5 та Ø15.5 мм
Фасочний різець ($1 \times 45^\circ$)	T15K6	Зняття фасок по контуру ступенів
Свердло Ø4.2 мм	VK8	Жорсткість, мінімізація відтискання при радіальному вході
Свердло Ø4 мм	VK8	Аналогічно
Свердло Ø6.5 мм	VK8	Центровий отвір для базування при шліфуванні
Цековка Ø8 мм	VK8	Перпендикулярність опорної поверхні

Операція 015 слюсарно-зачисна. Після завершення основних механічних операцій і перед проведенням термічної обробки деталь потребує додаткової зачистки. Це пояснюється складною внутрішньою геометрією деталі «Вісь ролика КМ9002», особливо зонами перетину поперечних отворів із центральним каналом. Саме тут утворюються заусенці та гострі кромки, які можуть заважати проходженню мастила, створювати ризик відколів металу і знижувати надійність вузла.

Для виконання цієї операції застосовується абразивний інструмент дрібної зернистості на основі електрокорунду або карбиду кремнію. Бруски використовуються для видалення заусенців та притуплення кромки у місцях виходу свердел $\varnothing 4.0$ і $\varnothing 4.2$ мм у центральний отвір $\varnothing 4.2$ мм. Це забезпечує чистоту каналу та підготовку деталі до подальшої термообробки.

Додатково використовується комплект ручних мітчиків М5. Основне нарізання різьби виконується на автоматі 1Б140, проте ручне калібрування необхідне для очищення профілю від залишків стружки та виправлення можливих відхилень. Перед загартуванням це дозволяє гарантувати правильність форми різьби, а після термічної обробки мітчики можуть бути застосовані повторно для фінального прогону різьби у випадку деформацій.

Операція 025 Круглошліфувальна. Дана операція буде виконуватись на круглошліфувальному верстаті 3Б151. На даній операції здійснюють фінішне шліфування загартованих шийок. Для цього використовують шліфувальний круг марки ПП 400x40x127 25А F60 К 5 V. В таблиці 2.5 приведені детальні характеристики даного круга.

Таблиця 2.5 – Характеристика шліфувального круга

Параметр	Значення	Обґрунтування
Матеріал зерна	Електрокорунд білий (25А)	Для сталі 40Х після загартування
Зернистість	F60 – F80	Досягнення Ra 3.2
Зв'язка	Керамічна	Стабільність форми, стійкість до нагрівання
Базування	В центрах	Мінімальне биття поверхонь

2.3 Обґрунтування та призначення контрольно-вимірювальних інструментів

Якість виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002» визначається не лише точністю виконання технологічних операцій. Вона забезпечується системою контрольних заходів, які підтверджують відповідність кресленню, стабільність геометрії та придатність деталі до роботи у вузлі. Контрольно-вимірювальні інструменти виконують функцію остаточного контролю, фіксують усі ключові параметри та гарантують надійність виробу в умовах серійного виробництва [18].

Технологічний процес передбачає проведення контролю на двох рівнях. Так проміжний контроль виконується на операції 010 для перевірки лінійних розмірів. Остаточний проводиться на операції 030, після завершення всіх механічних переходів.

Посадкові шийки $\varnothing 20H7$ та $\varnothing 16H7$ є найбільш відповідальними поверхнями. Після шліфування вони повинні відповідати 7-му квалітету з відповідними допусками $+0.021$ мм та $+0.018$ мм і мати шорсткість $Ra 3.2$. Для їх перевірки застосовується мікрометр МК 25-1 (ДСТУ/ГОСТ 6507-90). Він дозволяє контролювати допуск у межах 20 мкм та забезпечує десятикратний запас точності, похибка ± 0.004 мм, що є критично важливим для приймального контролю.

Деталь має чотири основні лінійні розміри 54.4 мм, 35 мм, 28 мм, 15 мм. Для їх перевірки використовується штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 (ДСТУ/ГОСТ 166-89). Він універсальний, дозволяє швидко виконати вимірювання та контролювати глибину цекування $\varnothing 8$ мм і центрального отвору $\varnothing 6.5$ мм. Точність 0.05 мм є достатньою, адже допуски цих розмірів відповідають 14-му квалітету.

Різьба М5 з кроком 0.8 мм і глибиною 13 мм контролюється калібр-пробкою М5-6Н (ПР/НЕ). Прохідна частина повинна загвинчуватися на всю глибину, непрохідна не більше ніж на 2–3 оберти. Використання калібра

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

замість різьбомікрометра є економічно доцільним. Контроль «придатний/брак» виконується швидко і не потребує високої кваліфікації оператора.

Деталь має три отвори $\varnothing 4.2$ мм із цекуванням $\varnothing 8$ мм, $\varnothing 4$ мм під кутом 180° , $\varnothing 6.5$ мм глибиною 2 мм. Для контролю діаметрів застосовуються гладкі калібр-пробки. Отвори малого діаметра не дозволяють використовувати нутроміри, тому калібри є єдиним технічно можливим і економічно виправданим засобом. Цекування $\varnothing 8$ мм перевіряється візуально або штангенциркулем.

Після шліфування необхідно перевірити співвісність шийок $\varnothing 20H7$ та $\varnothing 16H7$. Допустиме радіальне биття не більше 0.02 мм. Для цього використовується індикатор годинникового типу ІГ-5 або ІЧ-5 із ціною поділки 0.001 – 0.002 мм. Деталь базується в центрах, індикатор підводиться до кожної шийки при повільному обертанні. Метод класичний, точний і доступний, дозволяє виявити локальні відхилення форми поверхні.

2.4 Верстатне забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002»

Згідно із запропонованим технологічним процесом для деталі обробки деталі «Вісь ролика КМ9002» на операції 005 Токарно-автоматна ми будемо використовувати токарно-револьверний автомат моделі 1Б140 [19]. Цей верстат забезпечує автоматизацію технологічних операцій та високу точність позиціонування. Його функціональне призначення полягає у виконанні токарної обробки деталей типу тіл обертання зі ступінчастими та криволінійними профілями різної складності. Крім того, він забезпечує можливість нарізування кріпильних різьб, що розширює його технологічні можливості та робить придатним для серійного й дрібносерійного виробництва. Його технічні характеристики приведені в Додатку А.

Для виконання операції 010 обрано токарний оброблювальний центр 16К20Т1.02 [20]. Це сучасне обладнання, яке забезпечує комплексну обробку деталей складного профілю за один установ. Такий підхід відповідає стратегії

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

інтенсифікації виробництва, адже скорочує кількість перевстановлень, підвищує точність і зменшує час виготовлення.

Модифікація .02 має суттєві переваги порівняно з базовою моделлю. Вона оснащена керованою віссю С, що дозволяє виконувати координатне свердління та інші операції з точним позиціонуванням шпинделя. Додатково застосовується восьмипозиційна револьверна головка з приводом інструменту, яка забезпечує швидку зміну оснащення та розширює технологічні можливості верстата. Характеристики цього верстату приведені в Додатку Б.

Для виконання операції 025 Круглошліфувальна, в якості обладнання використовується круглошліфувальний верстат 3Б151. Це обладнання спеціалізоване на високоточному шліфуванні циліндричних поверхонь і забезпечує досягнення квалітету Н7 та шорсткості $Ra\ 3.2$, що є обов'язковими вимогами для посадкових шийок деталі «Вісь ролика КМ9002».

Даний верстат характеризується стабільністю роботи, високою жорсткістю вузлів та точністю базування. Завдяки конструкції шпиндельного вузла і системі подач він дозволяє виконувати шліфування з мінімальним радіальним биттям. Характеристики цього верстату приведені в Додатку В.

2.5 Розрахунок режимів різання

При розрахунку режимів різання для токарно-револьверних автоматів важливо враховувати, що частота обертання шпинделя n повинна бути однаковою для групи інструментів, які працюють послідовно в автоматичному циклі. Це дозволяє уникнути зайвих розгонів і гальмувань та забезпечує стабільність процесу. Режими призначаються за найбільш лімітуючим переходом. У нашому випадку це свердління глибокого отвору $\varnothing 4.2$ мм при $L/D \approx 9.4$.

В якості вихідних даних приймаємо:

- матеріал заготовки: сталь 40Х, $\sigma_B = 600 \dots 700$ МПа, твердість 217 НВ;
- заготовка: пруток гарячекатаний $\varnothing 25$ мм (ДСТУ 2590:2006);
- інструмент: свердло $\varnothing 4.2$ мм, матеріал ріжучої частини Р6М5К5;

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

- обладнання: токарно-револьверний автомат 1Б140;
- тип виробництва: крупносерійне, 75 000 шт./рік.

Оскільки ми розглядаємо процес глибокого свердління, то для визначення подачі скористаємось виразом, який враховує коефіцієнт корекції [22]:

$$S = S_{\text{рек}} \cdot k_{lS} \quad (2.1)$$

де $S_{\text{рек}}$ – рекомендоване значення подачі, $S_{\text{рек}} = 0.07$ мм/об;

k_{lS} - коефіцієнт корекції подачі при глибокому свердлінні, $k_{lS} = 0.75$.

$$S = 0.07 \cdot 0.75 = 0.0525 \text{ мм/об}$$

Приймаємо $S = 0.05$ мм/об.

При глибокому свердлінні формула для визначення швидкості різання буде містити поправочний коефіцієнт, що враховує глибину свердління [22]:

$$V = V_{\text{баз}} \cdot k_{lv} \quad (2.2)$$

де $V_{\text{баз}}$ – базове значення швидкості різання, $V_{\text{баз}} = 20$ м/хв;

k_{lv} – коефіцієнт корекції швидкості при глибокому свердлінні, $k_{lv} = 0.7$.

Після підстановки отримаємо:

$$V = 20 \cdot 0.7 = 14 \text{ м/хв}$$

Для визначення частоти обертання шпинделя скористаємось загальновідомою формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (2.3)$$

де V – розрахункове значення швидкості різання, $V = 14$ м/хв;

d – діаметр ріжучого інструменту (свердла), $d = 4.2$ мм.

В результаті обчислення отримаємо:

$$n = \frac{1000 \cdot 14}{3.14 \cdot 4.2} \approx 1061 \text{ об/хв}$$

Приймаємо найближче стандартне для верстата значення:

$$n = 1000 \text{ об/хв.}$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

На наступному кроці визначаємо дійсна швидкість різання, її визначаємо за формулою [22]:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (2.4)$$

Після підстановки та розрахунку отримаємо:

$$V_d = \frac{3.14 \cdot 4.2 \cdot 1000}{1000} = 13.2 \text{ м/хв}$$

На верстаті ми здійснюємо чорнове точіння профілю, для цього ми використовуємо прохідний різець, матеріал ріжучої пластинки Т5К10.

Глибина різання визначається за формулою [22]:

$$t = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{кін}}}{2} \quad (2.5)$$

де $D_{\text{заг}}$ - діаметр заготовки перед обробкою, $D_{\text{заг}} = 25$ мм;

$D_{\text{кін}}$ - діаметр після чорнового точіння з урахуванням припуску на чистову обробку, $D_{\text{кін}} = 20.6$ мм.

Розрахункове значення глибини різання буде становити:

$$t = \frac{25 - 20.6}{2} = 2.2 \text{ мм}$$

Величину подачі приймаємо за довідниковими даними [23]:

$$S = 0.12 \text{ мм/об}$$

Для визначення швидкості різання при точінні скористаємось формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.6)$$

де D - діаметр обробки, $D = 25$ мм;

n - частота обертання шпинделя, за лімітуючим переходом, $n = 1000$ об/хв.

Після підстановки отримаємо:

$$V = \frac{3.14 \cdot 25 \cdot 1000}{1000} = 78.5 \text{ м/хв}$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Отримане значення швидкості різання $V = 78.5$ м/хв знаходиться в допустимих межах для чорнового точіння сталі 40Х тврдосплавним різцем Т5К10.

Проведемо розрахунок режимів різання при виконанні операції розсвердлювання отвору $\varnothing 5.3$ мм, в якості інструменту використовується свердло відповідного діаметру, матеріал ріжучої кромки Р6М5.

Для розрахунку приймаємо подачу $S = 0.1$ мм/об, а величину швидкості різання $V = 20$ м/хв. При цьому частота обертання буде становити:

$$n = \frac{1000 \cdot 20}{3.14 \cdot 5.3} \approx 1200 \text{ об/хв}$$

Для узгодження циклу приймаємо $n = 1000$ об/хв.

Тоді величина дійсної швидкості різання буде становити:

$$V_d = \frac{3.14 \cdot 5.3 \cdot 1000}{1000} = 16.6 \text{ м/хв}$$

Також на даній операції буде виконуватись нарізання різьби М5, в якості інструменту використовується мітчик, матеріал ріжучої частини Р6М5.

На основі довідникової літератури [22] призначаємо величину швидкості різання $V = 5$ м/хв.

Тоді розрахункове значення частоти обертання буде становити:

$$n = \frac{1000 \cdot 5}{3.14 \cdot 5} \approx 318 \text{ об/хв}$$

Приймаємо $n = 320$ об/хв.

Прийняте значення подачі відповідає кроку різьби $P = 0.8$ мм/об.

Для виконання технологічного переходу відрізання заготовки використовується відрізний різець з пластиною Т5К10 шириною 2 мм.

Згідно рекомендацій [23] приймаємо глибину різання $t = 2.5$ мм, при величині подачі $S = 0.08$ мм/об.

При цьому розрахункове значення швидкості різання буде становити:

$$V = \frac{3.14 \cdot 20 \cdot 1000}{1000} = 62.8 \text{ м/хв}$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Перед виконанням операції свердління проводять центрування торця деталі, для цього використовується центрувальне свердло з матеріалом ріжучої частини Р6М5.

За рекомендаціями [22] приймаємо глибину різання $t = 1 \div 2$ мм, а величину подачі $S = 0.04$ мм/об. На основі лімітуючої подачі приймаємо частоту обертання шпинделя $n = 1000$ об/хв.

Для операції 005 режими різання були розраховані аналітичним методом із використанням формул та поправочних коефіцієнтів, що враховують особливості глибокого свердління та чорнового точіння. Для інших операцій (010, 025) режими призначаються табличним методом за довідковими даними [22, 23], що відповідає практиці проектування технологічних процесів у крупносерійному виробництві. Це дозволяє скоротити обсяг розрахунків і водночас забезпечити відповідність прийнятих режимів паспортним характеристикам обладнання та інструменту. Результати розрахунків зведені в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Режими різання для виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002»

Перехід	Назва переходу та інструмент	Ріжуча частина	D, мм	L, мм	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Операція 005 Токарно-автоматна</i>								
005-3	Центрування торця – центрувальне свердло	Р6М5	–	1...2	–	0.04	1000	–
005-4	Свердління глибокого отвору – свердло Ø4.2 мм	Р6М5К5	4.2	39.6	–	0.05	1000	13.2
005-5	Розсвердлювання під захід мітчика – свердло Ø5.3 мм	Р6М5	5.3	5.1	–	0.1	1000	16.6
005-6	Нарізання різьби – мітчик М5	Р6М5	5	14.6	–	0.8	320	5.0
005-7	Чорнове точіння профілю – прохідний різець	Т5К10	25	–	2,2	0.12	1000	78.5
005-8	Відрізання заготовки – відрізний різець	Т5К10	20	–	2,5	0.08	1000	62.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Операція 010 Токарна з ЧПК</i>								
010-1	Підрізання торця – прохідний різець	T15K6	25	–	1,6	0.1	1000	78.5
010-2	Чистове точіння Ø20H7 – прохідний різець	T15K6	20	–	0,3	0.08	2000	125.6
010-2	Чистове точіння Ø16H7 – прохідний різець	T15K6	16	–	0,3	0.08	2000	100.5
010-3	Формування канавки Ø19.5 – канавковий різець	T15K6	19.5	–	3,0	0.06	2000	122.5
010-3	Формування канавки Ø15.5 – канавковий різець	T15K6	15.5	–	3,0	0.06	2000	97.4
010-4	Зняття фасок 1 × 45° – фасочний різець	T15K6	–	–	1,0	0.05	2000	–
010-6	Свердління поперечного отвору Ø4.2 – приводне свердло	BK8	4.2	12	–	0.05	3790	50
010-7	Цекування Ø8 мм – цековка	BK8	8	–	1,0	0.07	1000	25.1
010-9	Свердління поперечного отвору Ø4 (180°) – приводне свердло	BK8	4	12	–	0.05	3980	50
010-10	Свердління центрового отвору Ø6.5 – приводне свердло	BK8	6.5	2	–	0.08	2450	50
<i>Операція 025 Круглошліфувальна</i>								
025-1	Шліфування шийки Ø20H7 – шліфувальний круг	25A	20	–	0.005. .0.01	–	318	20
025-2	Шліфування шийки Ø16H7 – шліфувальний круг	25A	16	–	0.005. .0.01	–	398	20

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розробка функціональної та структурно-кінематичної схем верстата

3.1.1 Розробка та обґрунтування функціональної схеми верстата

Функціональна схема верстата відображає структуру розподілу енергетичних і інформаційних (керуючих) потоків між основними вузлами системи та визначає принцип їх взаємодії в межах автоматизованого циклу обробки. Вона побудована (див. рис. 3.1) за принципом функціонального розділення рухів, відповідно до якого джерела енергії та елементи керування виконують різні ролі, але діють узгоджено в єдиній системі [11].

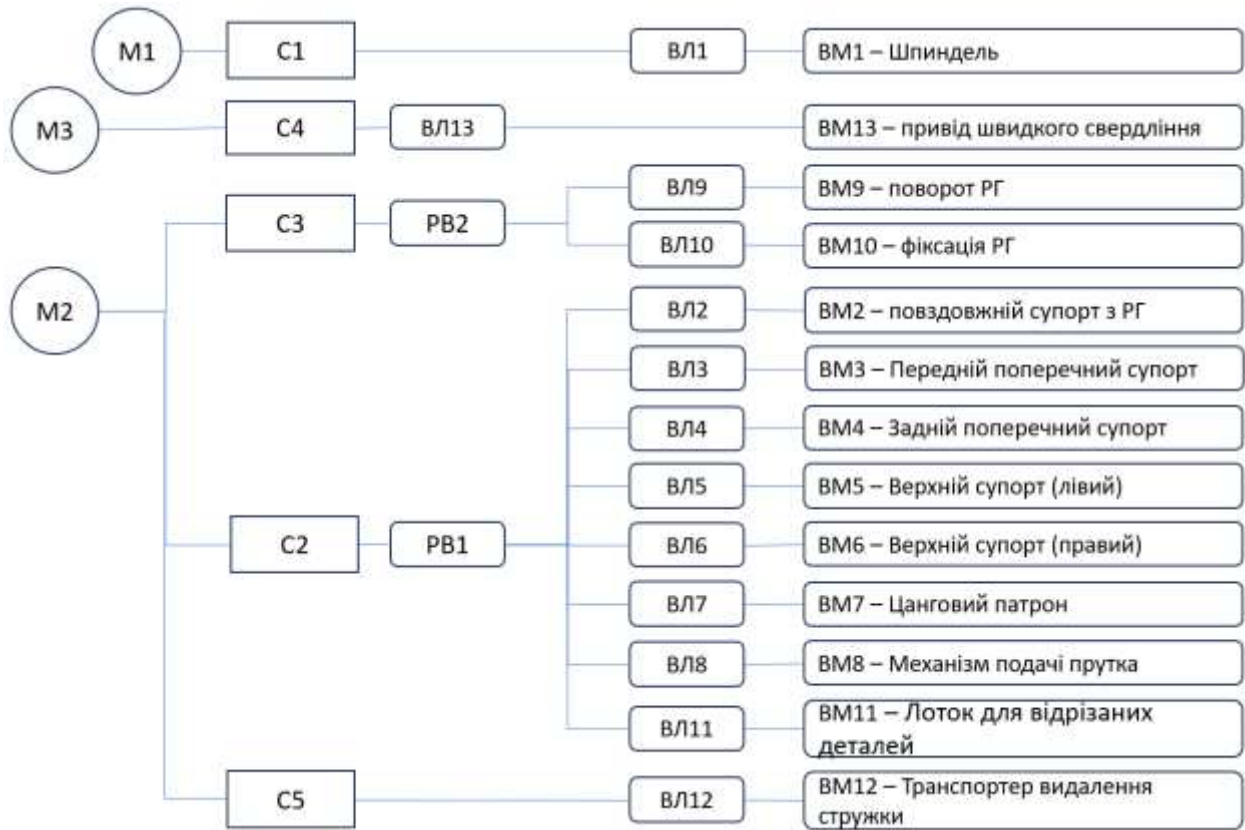


Рисунок 3.1 – Функціональна схема токарного автомата

<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Проць В.І.		
Перевір.		Склярів Р.А.		
Реценз.				
Н. Контр.		Кабельник В.Р.		
Затверд.		Крцпа В.В.		
КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА			Лит.	Арк.
			36	31
<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м. Тернопіль</i>				

Ланцюг приводу головного руху. Електродвигун М1 формує головний рух різання та через передавальний ланцюг С1, виконаний у вигляді системи змінних зубчастих коліс, забезпечує обертання шпиндельного вузла ВМ1. Частота обертання шпинделя визначається умовами різання, насамперед лімітуючим переходом, і встановлюється за допомогою органу налагодження ВЛ1. Цей ланцюг задає енергетичні параметри процесу різання та безпосередньо впливає на продуктивність і якість обробки.

Ланцюг формування робочого циклу та подачі. Електродвигун М2 забезпечує формування автоматичного циклу роботи верстата. Через орган налагодження С2 обертання передається на розподільчий вал РВ1, який виконує функцію програмного керуючого елемента. За допомогою кулачкових механізмів він координує переміщення основних виконавчих органів, а саме поздовжнього супорта з револьверною головкою ВМ2, переднього і заднього поперечних супортів ВМ3 і ВМ4, а також верхніх супортів ВМ5 і ВМ6. Цей ланцюг забезпечує формоутворюючі рухи, підрізання, точіння та формування канавок, а також водночас керує механізмом затиску прутка, а саме цанговим патроном ВМ7 та механізмом подачі прутка ВМ8. Узгоджена робота ланцюгів ВЛ7 і ВЛ8 забезпечує чітку послідовність операцій «розтиск – подача – затиск», що є критично важливим для стабільності автоматичного циклу.

Ланцюг індексації револьверної головки. Поворот револьверної головки здійснюється від розподільчого валу РВ2, що приводиться в рух від двигуна М2 через орган налагодження С3 (задає конкретне значення частоти обертання), визначає момент початку індексації та її місце в структурі циклу. Керування процесами повороту ВМ9 та фіксації ВМ10 здійснюється через ланцюги ВЛ9 і ВЛ10. Це дозволяє забезпечити жорстку механічну синхронізацію, оскільки розподільчий вал РВ2 виступає носієм циклограми роботи револьверної головки.

Ланцюг приводу швидкого свердління. Для забезпечення процесу свердління отворів малих діаметрів в конструкції верстата передбачено автономний ланцюг. Привід здійснюється від окремого електродвигуна М3, який

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

через орган налагодження С4 та кінематичний ланцюг ВЛ13 передає обертання безпосередньо на шпindel швидковердильного пристрою (ВМ13), який розташований в одній із позицій револьверної головки.

Ланцюги допоміжних механізмів. Від електродвигуна М2 через розподільчий вал РВ1 та ланцюг ВЛ11 приводиться в дію лоток ВМ11 для відведення відрізаних деталей. Це забезпечує безперервність технологічного циклу та виключає необхідність зупинки верстата для видалення готових виробів.

Додатково, від електродвигуна М2 через орган налагодження С5 формується рух для ланцюга ВЛ12, який забезпечує роботу транспортера стружки ВМ12. Його функціонування є необхідною умовою стабільності процесу різання, оскільки запобігає накопиченню стружки в зоні обробки, знижує ризик повторного різання та підвищує надійність роботи обладнання.

У функціональній схемі всі виконавчі механізми структуровані за функціональним призначенням. Окремо виділено системи головного руху, подач, затиску, індексації та допоміжні системи. Така декомпозиція спрощує аналіз роботи верстата, підвищує наочність схеми та забезпечує чітке розуміння ролі кожного елемента в загальному технологічному процесі.

3.1.2 Розробка та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстата

Перейдемо до побудови структурно-кінематичної схеми, яка є логічним продовженням функціональної, але має інший рівень деталізації. На ній нам слід показати не лише розподіл енергетичних і інформаційних (керуючих) потоків, а й конкретні ланцюги передачі руху між приводами, органами налагодження та виконавчими механізмами. При побудові даної схеми ми будемо враховувати раніше проведений аналіз формоутворюючих рухів, що визначають особливості ТП обробки деталі «Вісь ролика КМ9002», а саме операції 005 Токарна автоматна.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

точних подач із прискореними переміщеннями, що скорочує холості ходи й підвищує ефективність циклу.

Ланцюг індексації револьверної головки. Розподільчий вал РВ2 отримує обертання від двигуна М2 через орган налагодження С3 і визначає момент початку індексації. Перед початком обертання кулачки на РВ2 через систему важелів відводять фіксатор, який входить до складу механізму фіксації револьверної головки (МФРГ), звільняючи корпус для руху. Після цього інші кулачки формують керуючий сигнал для активації механізму повороту револьверної головки (МПРГ). Через систему важелів і кулачкову муфту обертання передається на мальтійський механізм, який забезпечує поворот корпусу головки на 60°.

Плавність руху досягається завдяки кінематичній побудові мальтійського механізму, що забезпечує поступовий розгін і сповільнення перед завершенням обертання. Така конструкція мінімізує динамічні навантаження, зберігає точність позиціонування інструментів і гарантує стабільність їхнього положення під час обробки.

Після завершення індексації профіль кулачка на РВ2 забезпечує повернення фіксатора у паз механізму фіксації револьверної головки, що створює жорстке закріплення у новій позиції. Такий принцип побудови ланцюга дозволяє узгодити керуючі та силові дії в межах одного циклу, забезпечуючи високу повторюваність і надійність роботи верстата.

Ланцюги допоміжних систем. До допоміжних систем належать ланцюг транспортера видалення стружки (ТВС) та ланцюг подачі лотка (ЛПЛ).

Від двигуна М2 через ВЛ11 приводиться в дію лоток, який приймає відрізані деталі та відводить їх із робочої зони без зупинки шпинделя. Це забезпечує безперервність автоматичного циклу та підвищує продуктивність роботи верстату.

Для видалення стружки використовується спеціальний транспортер, який також отримує обертовий рух від двигуна М2 через орган налагодження С5 та

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

ланцюг ВЛ12. Така побудова гарантує стабільне очищення робочої зони й потраплянню стружки в зону різання при її надмірній кількості.

Додатково в систему верстата може бути інтегровано насос системи охолодження, який подає мастильно-охолоджувальну рідину (МОР) у зону різання, що сприяє кращим умовам обробки та збільшує ресурс інструменту.

3.2 Кінематичний розрахунок верстату

3.2.1 Розрахунок потужності різання

Для проєктування приводу головного руху токарно-револьверного верстата необхідно визначити силові параметри процесу різання, які створюють навантаження на шпиндель та електродвигун. Розрахунок включає визначення сили різання P_z , потужності різання $N_{\text{різ}}$ та необхідної потужності на шпинделі з урахуванням ККД верстата.

Розрахунок будемо вести для найбільш навантаженого режиму обробки. Для деталі «Вісь ролика КМ9002» це чорнове точіння $\varnothing 25$ мм.

Щоб визначити силу різання скористаємось виразом [23]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^m \cdot K_p \quad (3.1)$$

де $C_p = 300$ – коефіцієнт для сталі 40Х при матеріалі різця Т5К10;

$x = 1.0$ – показник при глибині різання 2.2 мм;

$y = 0.75$ – показник при подачі $S = 0.12$ мм/об;

$m = -0.15$ – показник при швидкості різання $V = 78.5$ м/хв;

$K_p = 1.0$ – поправочний коефіцієнт.

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2.2^{1.0} \cdot 0.12^{0.75} \cdot 78.5^{-0.15} \cdot 1.0 \approx 700 \text{ Н}$$

Для визначення потужності різання скористаємось залежністю [23]:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (3.2)$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

В результаті обчислень отримаємо:

$$N_{\text{різ}} = \frac{700 \cdot 78.5}{1020 \cdot 60} \approx 0.90 \text{ кВт}$$

На наступному кроці проведемо розрахунок необхідної потужності на шпинделі верстата:

$$N_{\text{шп}} = \frac{N_{\text{різ}}}{\eta} \quad (3.3)$$

де $\eta = 0.85$ – прийняте значення ККД приводу верстату.

В результаті обчислень отримаємо:

$$N_{\text{шп}} = \frac{0.90}{0.85} \approx 1.06 \text{ кВт}$$

Оскільки $\varnothing 25$ мм відповідає реальній деталі, отримані результати відображають фактичне навантаження у виробничому процесі. Водночас для перевірки працездатності приводу та обґрунтування вибору двигуна необхідно врахувати граничні можливості верстата. Саме тому проведемо додатковий розрахунок потужності приводу верстату, для прутка $\varnothing 40$ мм, який дозволяє оцінити роботу вузла у найважчих умовах роботи обладнання.

Оскільки розрахунок проводиться за аналогічною методикою, то результати розрахунку подаємо в табличній формі (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку потужності різання

Параметр	$\varnothing 25$ мм	$\varnothing 40$ мм
Діаметр обробки D , мм	25	40
Глибина різання t , мм	2.2	2.0
Подача S , мм/об	0.12	0.45
Частота обертання шпинделя n , об/хв	1000	1220
Швидкість різання V , м/хв	78.5	153.5
Сила різання P_z , Н	700	1551
Потужність різання $N_{\text{різ}}$, кВт	0.90	3.89
Потужність на шпинделі $N_{\text{шп}}$, кВт	1.06	4.58

3.2.2 Вибір електродвигуна приводу головного руху

Вибір електродвигуна є одним з ключових етапів проєктування приводу головного руху верстата, оскільки саме він визначає енергетичні можливості всього кінематичного ланцюга. Правильно обраний двигун повинен забезпечувати необхідну потужність для обробки деталей у всьому діапазоні режимів різання, мати достатній запас для подолання пікових навантажень та працювати в умовах тривалих автоматичних циклів. Для розрахунку обираємо умови граничного навантаження, а саме обробку прутка 40 мм.

Для розрахунку скористаємось виразом:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{різ}}}{\eta_{\text{пр}}} \cdot K_3 \quad (3.4)$$

де: $N_{\text{різ}}$ – потужність різання при граничному режимі;

$\eta_{\text{пр}}$ – загальний коефіцієнт корисної дії приводу;

K_3 – коефіцієнт запасу потужності (для токарних верстатів $K_3 = 1.2 \dots 1.3$).

Типовий привід головного руху токарно-револьверного автомату складається з кількох елементів, кожен з яких має власний ККД. До складу приводу входить:

- клинопасова передача, для якої $\eta_{\text{пас}} = 0.95 \dots 0.97$;
- зубчасті передачі коробки швидкостей, приймаємо $\eta_{\text{зуб}} = 0.97 \dots 0.98$ на одну пару;
- шпиндельний вузол, для нього приймаємо $\eta_{\text{шп}} = 0.99$.

Тоді загальний ККД визначається як добуток:

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{пас}} \cdot \eta_{\text{зуб}}^k \cdot \eta_{\text{шп}} \quad (3.5)$$

де k – кількість пар зубчастих коліс у коробці швидкостей (орієнтовно $k = 4$).

Після підстановки отримаємо:

$$\eta_{\text{пр}} = 0.96 \cdot (0.975)^4 \cdot 0.99 \approx 0.859$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Для подальших розрахунків приймаємо $\eta_{пр} = 0.86$.

Тоді розрахункова потужність двигуна буде становити:

$$N_{дв} = \frac{3.89}{0.86} \cdot 1.2 \approx 5.43 \text{ кВт}$$

На основі виконаних розрахунків для приводу головного руху приймається асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором. Його технічні характеристики (див. табл. 3.2) відповідають вимогам силового навантаження та забезпечують стабільну роботу верстата як у робочих, так і в граничних режимах [24].

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики електродвигуна

Параметр	Значення
Тип двигуна	Асинхронний з короткозамкненим ротором
Модель	АИР112М4
Номинальна потужність $N_{дв}$, кВт	5.5
Частота обертання $n_{дв}$, об/хв	1440
Струм	Змінний, трифазний
Напруга живлення, В	380
ККД двигуна $\eta_{дв}$	0.85
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0.86

3.2.3 Розрахунок діапазону регулювання приводу

Діапазон регулювання приводу головного руху є однією з ключових характеристик верстата, оскільки визначає його технологічну універсальність. Розрахунок виконується з урахуванням вимог технологічного процесу виготовлення деталі «Вісь ролика КМ9002» та рекомендацій щодо швидкостей різання для різних видів обробки [22, 23].

Формула для визначення діапазону [25]:

$$R = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} \quad (3.6)$$

де n_{\max} – найбільша частота обертання шпинделя, об/хв;

n_{\min} – найменша частота обертання шпинделя, об/хв.

Для визначення найменшої частоти обертання шпинделя скористаємось виразом [25]:

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot d_{\max}} \quad (3.7)$$

де: V_{\min} – мінімальна швидкість різання при нарізанні різьби (для сталі 40Х прийнято $V_{\min} = 4$ м/хв);

d_{\max} – найбільший діаметр різьби, що може бути оброблений на верстаті (орієнтовно $d_{\max} = 20$ мм).

Після підстановки отримаємо:

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 4}{3.14 \cdot 20} \approx 63.7 \text{ об/хв}$$

Отримане значення слід узгодити зі стандартним рядом $R_a 20$ [26], де нормальне значення становить 63 об/хв. Приймаємо $n_{\min} = 63$ об/хв.

Для визначення максимальної частоти обертання шпинделя скористаємось виразом [25]:

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot d_{\min}} \quad (3.8)$$

де: V_{\max} – максимальна швидкість різання при чистовому точінні (для сталі 40Х і різця Т5К10 приймаємо $V_{\max} = 160$ м/хв);

d_{\min} – мінімальний діаметр обробки, що визначає найбільш швидкий режим (для даної деталі приймаємо $d_{\min} = 20$ мм).

Після підстановки та обчислення отримаємо:

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 160}{3.14 \cdot 20} \approx 2548 \text{ об/хв}$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

З урахуванням конструктивних обмежень шпиндельного вузла приймаємо найближче стандартне значення ряду $R_a 20$, яке буде становити:

$$n_{\max} = 2500 \text{ об/хв}$$

Тоді розрахункове значення діапазону регулювання приводу буде становити:

$$R = \frac{2500}{63} \approx 39.7$$

3.2.4 Розробка структурної формули, її оптимізація

Побудова раціональної структури коробки швидкостей завжди є компромісом між кількістю ступенів, габаритами верстата та технологічними вимогами до діапазону регулювання. Вихідним параметром для розрахунку є діапазон регулювання $R = 39.68$, отриманий у попередньому пункті. Для токарних автоматів загального призначення приймається знаменник геометричної прогресії $\varphi = 1.26$ [25]. Тоді кількість ступенів визначається за формулою:

$$Z_p = \frac{\ln R}{\ln \varphi} + 1 \quad (3.9)$$

Для визначення кількості ступенів проведемо підстановку:

$$Z_p = \frac{\ln 39.68}{\ln 1.26} + 1 = 16.93$$

Оскільки коробка швидкостей будується на основі цілих парних множників, найближчим зручним для реалізації значенням є $Z = 18$. Парність числа ступенів забезпечує симетрію ряду частот і зручність реалізації у тригруповій структурі.

Загальний вигляд структурної формули можна представити через аналітичну залежність [25]:

$$Z = p_1(x_1) \cdot p_2(x_2) \cdot p_3(x_3) \quad (3.10)$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

де p_i – кількість передач у групі (зазвичай 2 або 3);

x_i – характеристика групи.

Проектування коробки швидкостей передбачає мінімізацію її габаритних розмірів, тому повинна виконуватись вимога:

$$\begin{aligned} p_1 &> p_2 > p_3 \\ x_1 &< x_2 < x_3 \end{aligned} \tag{3.11}$$

При $Z = 18$ оптимальною є структура $3 \times 3 \times 2$, що дає три групи передач. Найбільш раціональним варіантом є формула $Z = 3(1) \times 3(3) \times 2(9)$, оскільки виконується умова зростання характеристик ($1 < 3 < 9$), а розкид передаточних відношень залишається помірним.

В практиці верстатобудування часто виникає потреба оптимізації структури під конкретні умови виробництва. Якщо обладнання працює в умовах крупносерійного виробництва, то доцільним є застосування змінних зубчастих коліс (гітари). Це рішення зменшує кількість валів і зубчастих пар, спрощує конструкцію та підвищує ККД приводу. При введенні змінних пар на другій ступені отримуємо формулу:

$$Z = 3(3) \times 7(1) \times 2(4) = 17$$

Це значення є дуже близьким до розрахункового $Z_p = 16.93$, що мінімізує відхилення між сусідніми частотами. Слід зазначити, що оптимізована структура має менші габарити (3 вали замість 4, та 8 зубчастих коліс замість 12). Такий підхід забезпечує простішу конструкцію та краще відповідає умовам крупносерійного виробництва, де переналагодження не є критичним фактором.

Оптимізована структурна формула забезпечує відповідність розрахунковій кількості ступенів, зменшення матеріаломісткості та підвищення ефективності роботи приводу головного руху.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

3.2.5 Побудова структурної сітки та графіка чисел обертів

Побудова структурної сітки та графіка чисел обертів шпинделя є завершальним етапом кінематичного синтезу приводу головного руху. На цьому етапі здійснюється узгодження теоретично визначених передавальних відношень із реальними конструктивними обмеженнями, а також перевіряється рівномірність і повнота сформованого ряду частот.

Для проектованої коробки приводу головного руху токарного автомата між вихідним валом коробки швидкостей та шпинделем встановлено клинопасову передачу. Вона не змінює передавальне відношення (при рівних діаметрах шківів $U_{пас} = 1$), але виконує важливі експлуатаційні функції, а саме забезпечує демпфування коливань, захист від перевантажень та плавність обертання. Пружні властивості паса зменшують передачу вібрацій на шпиндель, що покращує якість поверхні, а можливе проковзування запобігає поломці зубчастих коліс при перевантаженнях.

Синтез приводу базується на оптимізованій структурній формулі:

$$Z = 3(3) \times 7(1) \times 2(4) = 17$$

Отже, коробка швидкостей повинна забезпечувати 17 ступенів частоти обертання.

На основі розрахунків проведених раніше в якості вихідних даних приймаємо такі параметри:

- частота обертання двигуна – $n_{дв} = 1440$ об/хв;
- мінімальна частота шпинделя – $n_{min} = 63$ об/хв;
- максимальна частота – $n_{max} = 2500$ об/хв;
- знаменник геометричної прогресії – $\varphi = 1.26$.

Оскільки пасова передача не змінює частоту, весь діапазон регулювання формується коробкою швидкостей. Загальне передавальне відношення визначається як:

$$U_{заг} = \frac{n_{дв}}{n_{min}} \quad (3.12)$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Після підстановки отримаємо:

$$U_{\text{заг}} = \frac{1440}{63} \approx 22.86$$

Ряд частот будується за законом геометричної прогресії:

$$n_k = n_{\text{min}} \cdot \varphi^{k-1} \quad (3.13)$$

Отримані теоретичні значення коригуються відповідно до стандартного ряду $R_a 20$. Результати розрахунку наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Стандартний ряд частот обертання шпинделя

k	φ^{k-1}	n_k (теоретичне), об/хв	n_k (стандартне), об/хв
1	1.000	63.00	63
2	1.260	79.38	80
3	1.588	100.02	100
4	2.000	126.00	125
5	2.520	158.76	160
6	3.176	200.06	200
7	4.001	252.07	250
8	5.042	317.64	315
9	6.352	400.18	400
10	8.004	504.25	500
11	10.085	635.36	630
12	12.707	800.54	800
13	16.011	1008.69	1000
14	20.174	1270.96	1250
15	25.419	1601.40	1600
16	32.028	2017.76	2000
17	40.355	2542.36	2500

Отриманий стандартний ряд частот у діапазоні 63 ... 2500 об/хв забезпечує достатню щільність ступенів для ефективної обробки деталей різного діаметра.

Кількість інтервалів y (клітинок на структурній сітці) для кожної передачі визначається за формулою:

$$y = \frac{\ln(1/U)}{\ln \varphi} \quad (3.14)$$

де U – передавальне відношення;

$\varphi = 1.26$.

При побудові структурної сітки по вертикальній осі відкладаються частоти обертання шпинделя в логарифмічному масштабі, а по горизонтальній лінії, що відповідають валам приводу головного руху (від двигуна до шпинделя).

В результаті обчислень ми отримали значення зміщення між вузловими точками структурної сітки. Згідно методики побудови структурної сітки, промені мають перетинати вузлові точки [25], тому отримані значення слід заокруглити до найближчого цілого значення.

В таблиці 3.4 наведені значення кількості інтервалів y отримані в результаті обчислень та прийняті для побудови.

Таблиця 3.4 – Розрахункові значення для побудови структурної сітки

Передача	Передавальне відношення U	y (розрахункове)	y (прийняте)
Перша група ($p_1 = 3$)	$\frac{1}{2.52} \approx 0.397$	4.00	4
Друга група ($p_2 = 7$)	$\frac{1}{3.59} \approx 0.278$	5.54	6
Третя група ($p_3 = 2$)	$\frac{1}{2.53} \approx 0.395$	4.02	4
Пасова передача	1	0	0

На рис. 3.3 наведено розроблену структурну сітку проектного приводу з п'ятьма валами. Перші три вали (*I – III*) формують коробку приводу головного руху, *IV* і *V* вали відповідають клинопасовій передачі, яка передає обертання на шпиндель без зміни частоти. Усі 17 вузлових точок на сітці відображають частоти обертання шпинделя, що рівномірно розподілені відповідно до розрахованого ряду.

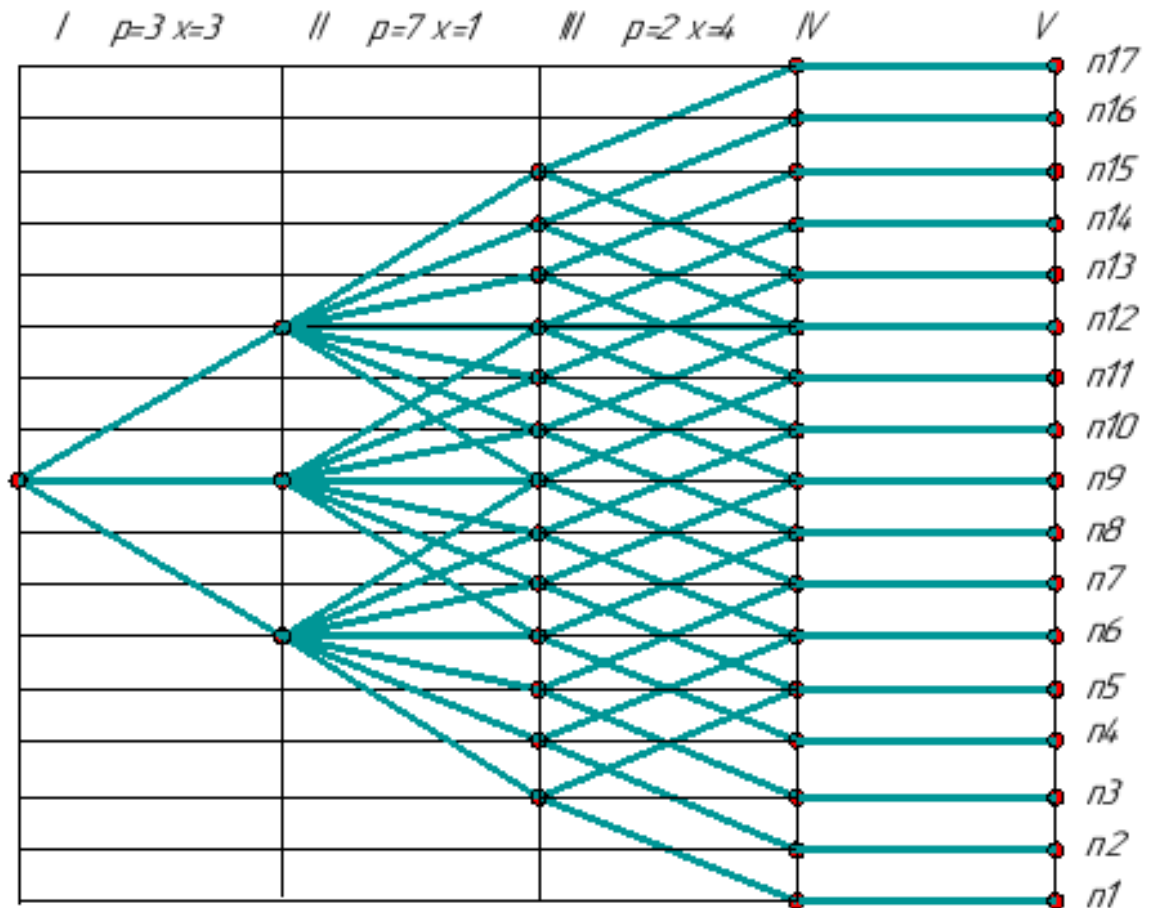


Рисунок 3.3 – Структурна сітка проектного приводу верстата

На основі структурної сітки побудовано графік чисел обертів шпинделя (рис. 3.4), який демонструє рівномірність розподілу частот і відповідність стандартному ряду.

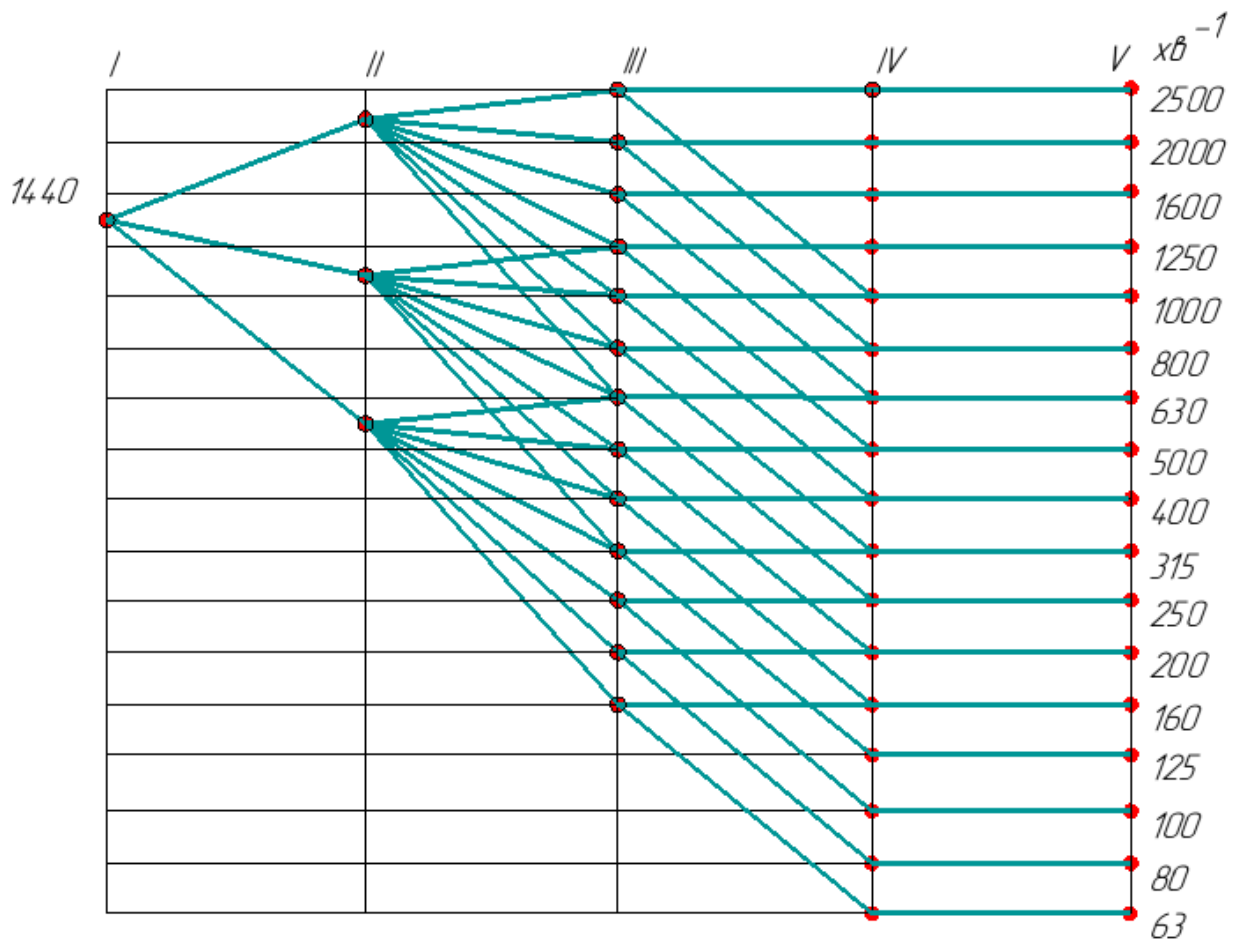


Рисунок 3.4 – Графік чисел обертів шпинделя

3.2.6 Визначення передавальних відношень та розрахунок чисел зубів

На основі побудованої структурної сітки (рис. 3.3) та графіка чисел обертів (рис. 3.4) визначаються передавальні відношення окремих пар зубчастих коліс.

Передавальні відношення визначаються кількістю інтервалів уна структурній сітці:

$$U = \varphi^y \quad (3.15)$$

Для понижуючих передач ($y < 0$) використовується обернена залежність:

$$U = \frac{1}{\varphi^{|y|}} \quad (3.16)$$

де $\varphi = 1.26$ – знаменник геометричної прогресії, що визначає кратність зміни частот обертання;

u – кількість інтервалів (клітинок) на структурній сітці, які перетинає промінь передачі;

$|u|$ – абсолютне значення кількості інтервалів (береться без знаку, оскільки для понижуючих передач $u < 0$).

Розрахунок чисел зубів для першої групи.

Перша група має три передавальних відношення, що відповідають різним променям на структурній сітці (див. табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Дані для розрахунку першої групи передач

Промінь	u	$U_{\text{теор}}$
1	+2	$1.26^2 = 1.5876$
2	-2	$\frac{1}{1.26^2} = 0.6299$
3	-6	$\frac{1}{1.26^6} = 0.3145$

При підборі враховуються кілька конструктивних умов. Мінімальна кількість зубів має бути не меншою ніж 17, що дозволяє уникнути подрізання ніжки зуба. Бажано застосовувати відносно невеликі значення, щоб не збільшувати габарити коліс. Оскільки колеса розташовані на двох валах, сума зубів у парі приймається однаковою для всіх передач групи. Це забезпечує сталість міжосьової відстані та спрощує компоновання.

Результати підбору та розрахунку приведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунок чисел зубів для першої групи

Пара	$U_{\text{теор}}$	Підібрані Z_i, Z_j	$U_{\text{факт}} = \frac{Z_i}{Z_j}$	Похибка, %
Підвищуюча	1.5876	59/37	1.5946	0.44
Понижуюча	0.6299	37/59	0.6271	0.44
Понижуюча	0.3145	23/73	0.3151	0.19

Усі підібрані комбінації зубів задовольняють умову $Z_i, Z_j \geq 17$. Похибка не перевищує 0,5%, що є допустимим для верстатів загального призначення.

Таким чином, для першої групи прийнято:

$$Z_1 = 59; Z_2 = 37; Z_3 = 37; Z_4 = 59; Z_5 = 23; Z_6 = 73$$

Розрахунок чисел зубів для другої групи.

Друга група передач утворює гітару зубчастих коліс, яка має сім передавальних відношень, що відповідають різним променям на структурній сітці. Оскільки вали II та III є фіксованими, усі пари коліс цієї гітари повинні мати однакову міжосьову відстань. При однаковому модулі це означає, що сума зубів у кожній парі приймається сталою.

Для даної групи приймаємо: $Z_i + Z_j = 100$.

Результат розрахунку зводимо в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахунок чисел зубів для другої групи

Пара	$U_{\text{теор}}$	$Z_j = \frac{100}{1 + U_{\text{теор}}}$	$Z_i = 100 - Z_j$	$U_{\text{факт}} = \frac{Z_i}{Z_j}$	Похибка, %
1	1.122	47	53	1.1277	0.51
2	0.794	56	44	0.7857	1.04
3	0.630	61	39	0.6393	1.48
4	0.500	67	33	0.4925	1.50
5	0.397	72	28	0.3889	2.04
6	0.315	76	24	0.3158	0.25
7	0.250	80	20	0.2500	0.00

Усі підібрані пари коліс задовольняють умову $Z_i, Z_j \geq 17$. Похибка не перевищує 2,1%, що є допустимим для верстатів загального призначення. Це підтверджує можливість практичної реалізації теоретичних передавальних відношень у конструкції другої групи.

Таким чином, для другої групи прийнято:

$$Z_7 = 53; Z_8 = 47; Z_9 = 44; Z_{10} = 56; Z_{11} = 39; Z_{12} = 61; Z_{13} = 33;$$

$$Z_{14} = 67; Z_{15} = 28; Z_{16} = 72; Z_{17} = 24; Z_{18} = 76; Z_{19} = 20; Z_{20} = 80$$

Розрахунок чисел зубів для третьої групи.

Третя група має два передавальних відношення, що відповідають різним променям на структурній сітці та графіку чисел обертів (див. табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Дані для розрахунку третьої групи передач

Промінь	u	$U_{\text{теор}}$
1	0	1.0000
2	-4	$\frac{1}{1.26^4} = 0.3975$

Для цієї групи прийнято сталу суму зубів у парі $Z_i + Z_j = 94$. Це забезпечує однакову міжосьову відстань для обох передач. Слід відзначити, що друга пара коліс виконує функцію реверсу, для цього використовується паразитна шестерня, що вводиться в зачеплення між колесами. Результат розрахунку зводимо в таблицю 3.9.

Таблиця 3.9 – Розрахунок чисел зубів для третьої групи

Передача	$U_{\text{теор}}$	Підібрані Z_i, Z_j	$U_{\text{факт}}$	Похибка, %
Пряма	1.0000	47 / 47	1.0000	0.00
Понижуюча	0.3975	24 / 60	0.4000	0.63

Усі підібрані комбінації зубів задовольняють умову $Z_i, Z_j \geq 17$. Похибка не перевищує 0.63 %, що є допустимим для верстатів загального призначення [25].

Таким чином, для третьої групи приймаємо:

$$Z_{21} = 47; Z_{22} = 47; Z_{23} = 24; Z_{25} = 60$$

Понижуюча передача реалізована як реверсивна за допомогою паразитної шестерні $Z_{24} = 40$, яка вводиться в зачеплення між колесами Z_{23} та Z_{25} .
Передавальне відношення визначається через добуток двох відношень:

$$U_{\text{рев}} = \frac{Z_{23}}{Z_{24}} \cdot \frac{Z_{24}}{Z_{25}}$$

Після скорочення маємо:

$$U_{\text{рев}} = \frac{Z_{23}}{Z_{25}} = \frac{24}{60} = 0.4$$

Таким чином видно, що паразитна шестерня не впливає на кінцеве передавальне відношення і вибирається конструктивно. Для даної схеми прийнято $Z_{24} = 40$.

Для зручності аналізу всі підібрані комбінації зубчастих коліс, їхні суми та фактичні передавальні відношення зведено в підсумкову таблицю 3.10.

Таблиця 3.10 – Підсумкова таблиця чисел зубів приводу головного руху

Група	Пара	Z_i	Z_j	Сума	$U_{\text{факт}}$
Перша	Z_1/Z_2	59	37	96	1.5946
	Z_3/Z_4	37	59	96	0.6271
	Z_5/Z_6	23	73	96	0.3151
Друга (гітара)	Z_7/Z_8	53	47	100	1.1277
	Z_9/Z_{10}	44	56	100	0.7857
	Z_{11}/Z_{12}	39	61	100	0.6393
	Z_{13}/Z_{14}	33	67	100	0.4925
	Z_{15}/Z_{16}	28	72	100	0.3889
	Z_{17}/Z_{18}	24	76	100	0.3158
	Z_{19}/Z_{20}	20	80	100	0.2500
Третя з механізмом реверсу	Z_{21}/Z_{22}	47	47	94	1.0000
	Z_{23}/Z_{25} (реверс)	24	60	84	0.4000
	Z_{24}	40			не впливає

На основі проведених розрахунків будемо кінематичну схему приводу головного руху, вона приведена на рис. 3.5.

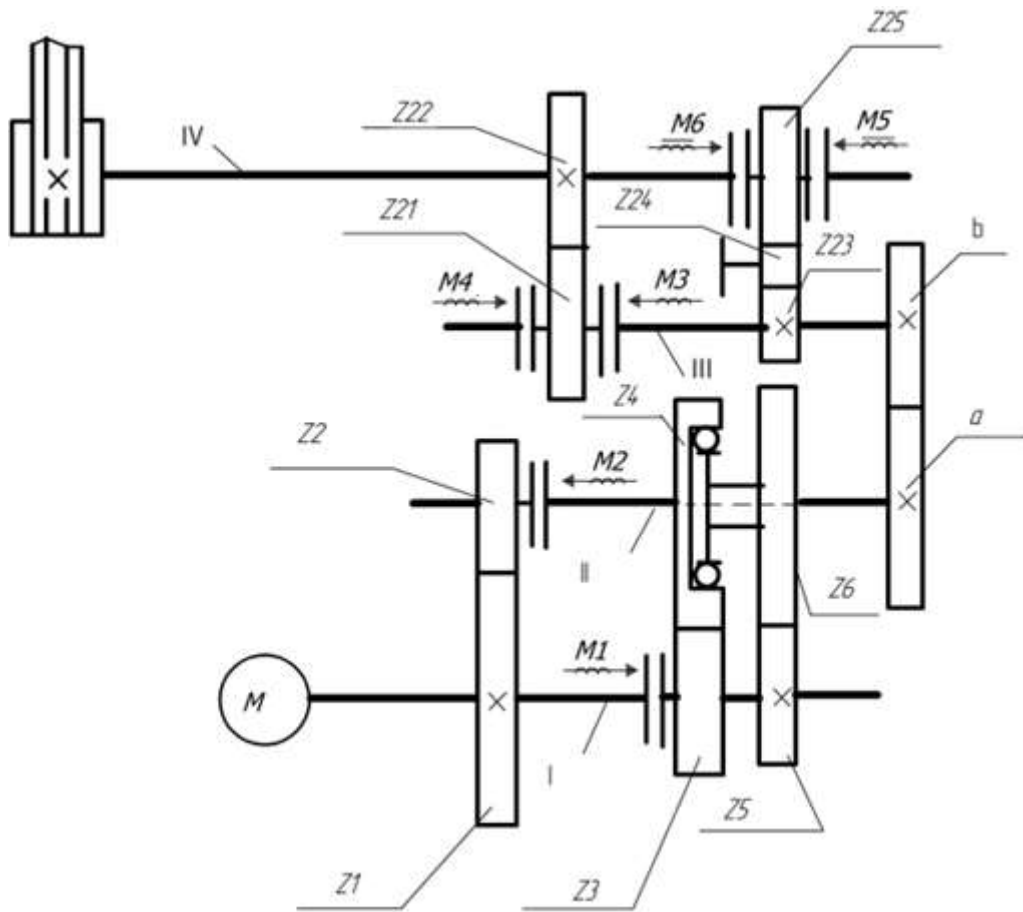


Рисунок 3.5 – Проектована кінематична схема приводу головного руху

3.3 Силовий розрахунок вузлів верстату

3.3.1 Розрахунок крутних моментів на валах приводу

Загальна формула для потужності на i -му валу:

$$N_i = N_{дв} \cdot \prod_{j=1}^i \eta_j \quad (3.17)$$

де η_j – коефіцієнт корисної дії j -го елемента (зубчаста пара, підшипники, пасова передача).

Відповідно, крутний момент обчислюється:

$$T_i = \frac{9550 \cdot N_i}{n_i} \quad (3.18)$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Для проведення розрахунків формуємо масив вихідних даних, вони приведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Позначення	Значення
Потужність двигуна	$N_{дв}$	5.5 кВт
Частота двигуна	$n_{дв}$	1440 об/хв
ККД зубчастої пари	$\eta_{зуб}$	0.97
ККД пари підшипників	$\eta_{під}$	0.99
ККД пасової передачі	$\eta_{пас}$	0.96

Результати проведених розрахунків зводимо в таблицю 3.12.

Таблиця 3.12 – Зведена таблиця формул і результатів

Вал	Формула для N_i	N_i , кВт	n_i , об/хв (min)	Вираз T_i	T_i , Н·м
I (вхідний)	$N_I = N_{дв}$	5.50	1440	$\frac{9550 \cdot N_I}{n_I}$	36.5
II	$N_{II} = N_{дв} \cdot (\eta_{зуб} \cdot \eta_{під})^1$	5.28	454	$\frac{9550 \cdot N_{II}}{n_{II}}$	111.0
III (гітара)	$N_{III} = N_{дв} \cdot (\eta_{зуб} \cdot \eta_{під})^2$	5.07	160	$\frac{9550 \cdot N_{III}}{n_{III}}$	302.6
IV	$N_{IV} = N_{дв} \cdot (\eta_{зуб} \cdot \eta_{під})^3$	4.87	63	$\frac{9550 \cdot N_{IV}}{n_{IV}}$	738.0
V (шпиндель)	$N_V = N_{дв} \cdot (\eta_{зуб} \cdot \eta_{під})^3 \cdot \eta_{пас}$	4.68	63	$\frac{9550 \cdot N_V}{n_V}$	709.5

Як видно із проведених вище розрахунків, найбільший момент виникає на валу IV (≈ 738 Н·м), а на шпинделі він зменшується до ≈ 710 Н·м через втрати в пасовій передачі.

3.3.2 Визначення модуля зубчастих передач верстата

Після кінематичного підбору чисел зубів необхідно визначити модуль, який забезпечить міцність зубців при дії максимальних навантажень. Розрахунок виконується для тихохідної ступені (вал IV), де діє найбільший крутний момент $T_{max} \approx 738 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Зубчасті колеса виготовляються зі сталі 18ХГТ, що після цементації та гартування набуває твердості 56 ... 62 HRC при межі міцності $\sigma_s \approx 1000 \text{ МПа}$. Така структура забезпечує високу контактну міцність і зносостійкість зубців.

Вали коробки швидкостей виконуються зі сталі 40ХН після поліпшення (гартування + високий відпуск). Завдяки вмісту нікелю (1.0 ... 1.5%) ця сталь має підвищену прогартуваність, що забезпечує рівномірну твердість 280 ... 320 HB по всьому перерізу валу (не лише на поверхні). Межа міцності $\sigma_b \geq 1000 \text{ МПа}$. Використання цього матеріалу гарантує високу опірність втомним навантаженням, динамічну міцність та жорсткість валів при дії максимальних крутних моментів (до 738 Н · м).

Модуль визначається за двома критеріями, а саме за контактною міцністю та міцністю на згин. Контактна міцність характеризує здатність зубців протистояти викришуванню поверхні, а міцність на згин визначає стійкість зубця до руйнування в основі.

Розрахунок за контактною міцністю.

Для розрахунку використовується формула [25, 27]:

$$m \geq K_H \cdot \sqrt[3]{\frac{T}{z_2 \cdot \psi_m \cdot [\sigma_H]^2}} \quad (3.19)$$

де: $K_H = 14$ – коефіцієнт, що враховує форму зуба та величину навантаження, прийнятий для прямозубих сталевих коліс;

$T = 738 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – максимальний крутний момент на тихохідному валу;

$z_2 = 24$ – кількість зубів меншого колеса, прийнята конструктивно;

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

$\psi_m = 14$ – коефіцієнт ширини вінця, що визначає співвідношення b/m ;

$[\sigma_H] = 850$ МПа – допустиме контактне напруження для сталі 18ХГТ після цементації.

Після підстановки та обчислення отримаємо:

$$m \geq 14 \cdot \sqrt[3]{\frac{738}{24 \cdot 14 \cdot (850)^2}} \approx 0.20 \text{ мм}$$

Отримане значення є дуже малим, тому контактна міцність не визначає модуль.

Розрахунок за міцністю на згин.

Для розрахунку використовується формула [25, 27]:

$$m \geq K_F \cdot \sqrt[3]{\frac{T}{z_2 \cdot \psi_m \cdot [\sigma_F]}} \quad (3.20)$$

де: $K_F = 12$ – коефіцієнт, що враховує форму зуба та характер напружень у небезпечному перерізі;

$T = 738$ Н · м – максимальний крутний момент;

$z_2 = 24$ – кількість зубів меншого колеса;

$\psi_m = 14$ – коефіцієнт ширини вінця;

$[\sigma_F] = 380$ МПа – допустиме напруження на згин для сталі 18ХГТ.

Після підстановки та обчислення отримаємо:

$$m \geq 12 \cdot \sqrt[3]{\frac{738}{24 \cdot 14 \cdot 380}} \approx 2.15 \text{ мм}$$

Це значення значно більше за контактне, тому саме міцність на згин є визначальним критерієм.

Згідно зі стандартним рядом ДСТУ ISO 54-2001 приймається найближче більше значення [28]:

$$m = 2.5 \text{ мм}$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

3.2.3 Геометричний розрахунок зубчастих коліс

Після визначення чисел зубів Z_i (див. п. 3.2.6) та обчислення величини модуля зубчастих коліс $m = 2.5$ мм виконується їх геометричний розрахунок для всіх груп передач. Геометричні параметри є основою для побудови робочих креслень і перевірки працездатності передачі (їх перевіряють на відсутність підрізання та загострення зубців, а також забезпечення необхідного коефіцієнта перекриття).

Розрахунок проводимо відповідно до стандартів для циліндричних прямозубих коліс, та усталеної методики розрахунку [27].

Основним параметром є ділительний діаметр:

$$d = m \cdot Z \quad (3.21)$$

де $m = 2.5$ мм – модуль, прийнятий за результатами розрахунку міцності;
 Z – число зубів (отримані раніше при кінематичному розрахунку).

Діаметр вершин зубів визначається за формулою:

$$d_a = m \cdot (Z + 2 \cdot h_a^*) \quad (3.22)$$

де $h_a^* = 1.0$ – коефіцієнт висоти головки зуба для нормальних коліс.

Після підстановки розрахунковий вираз набере вигляду:

$$d_a = m \cdot (Z + 2) \quad (3.23)$$

Діаметр впадин зубів можна визначити:

$$d_f = m \cdot (Z - 2 \cdot h_a^* - 2 \cdot c^*) \quad (3.24)$$

де $c^* = 0.25$ – коефіцієнт радіального зазору, прийнятий за стандартом.

Після підстановки розрахунковий вираз набере вигляду:

$$d_f = m \cdot (Z - 2.5) \quad (3.25)$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Для визначення висоти зуба використовується вираз:

$$h = m \cdot (2 \cdot h_a^* + c^*) \quad (3.26)$$

Після підстановки отримаємо:

$$h = 2.25 \cdot m \quad (3.27)$$

Оскільки $m = 2.5$ мм, то для всіх коліс будемо мати:

$$h = 2.25 \cdot 2.5 = 5.625 \text{ мм.}$$

Для визначення колового кроку зубців використовуємо формулу:

$$p = \pi \cdot m \quad (3.28)$$

Після підстановки отримаємо:

$$p = 3.14 \cdot 2.5 \approx 7.85 \text{ мм}$$

Для визначення товщини зуба по ділильному колу будемо використовувати вираз:

$$s = \frac{\pi \cdot m}{2} \quad (3.29)$$

Після підстановки отримаємо:

$$s = \frac{3.14 \cdot 2.5}{2} \approx 3.93 \text{ мм}$$

Ширина вінця визначається через коефіцієнт ψ_m :

$$b = m \cdot \psi_m \quad (3.30)$$

де $\psi_m = 14$ – прийнятий коефіцієнт ширини вінця для забезпечення жорсткості.

Після підстановки та обчислення отримаємо:

$$b = 2.5 \cdot 14 = 35 \text{ мм}$$

На основі приведеної вище методики проводимо розрахунок геометричних параметрів зубчастих коліс, результати розрахунку приводимо в таблиці 3.13.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Таблиця 3.13 – Геометричні параметри зубчастих коліс

Група	Пара	Z_i	Z_j	d_i , мм	d_j , мм	d_{ai} , мм	d_{aj} , мм	d_{fi} , мм	d_{fj} , мм
Перша група	Z1/Z2	59	37	147.5	92.5	152.5	97.5	142.5	87.5
	Z3/Z4	37	59	92.5	147.5	97.5	152.5	87.5	142.5
	Z5/Z6	23	73	57.5	182.5	62.5	187.5	52.5	177.5
Друга група	Z7/Z8	53	47	132.5	117.5	137.5	122.5	127.5	112.5
	Z9/Z10	44	56	110.0	140.0	115.0	145.0	105.0	135.0
	Z11/Z12	39	61	97.5	152.5	102.5	157.5	92.5	147.5
	Z13/Z14	33	67	82.5	167.5	87.5	172.5	77.5	162.5
	Z15/Z16	28	72	70.0	180.0	75.0	185.0	65.0	175.0
	Z17/Z18	24	76	60.0	190.0	65.0	195.0	55.0	185.0
	Z19/Z20	20	80	50.0	200.0	55.0	205.0	45.0	195.0
Третя група	Z21/Z22	47	47	117.5	117.5	122.5	122.5	112.5	112.5
Реверс	Z23/Z25	24	60	60.0	150.0	65.0	155.0	55.0	145.0
Паразитна	Z24	40	–	100.0	–	105.0	–	95.0	

Також необхідно провести перевірку відсутності підрізання. Так для нульових коліс (без зміщення) підрізання ніжки зуба відсутнє, якщо виконується умова:

$$Z \geq Z_{min} = \frac{2 \cdot h_a^*}{\sin^2 \alpha} \quad (3.31)$$

де $h_a^* = 1.0$, $\alpha = 20^\circ$. Підстановка дає $Z_{min} \approx 17,1$. Усі підібрані числа зубів ($Z_{min} = 20$) задовольняють цю умову, тому підрізання зубів відсутнє.

Для визначення міжосьових відстаней використовується вираз:

$$a = \frac{m \cdot (Z_i + Z_j)}{2} \quad (3.32)$$

Результати проведених розрахунків приводимо в таблицю 3.14.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Таблиця 3.14 – Міжосьові відстані для груп передач

Група	Пари	$Z_i + Z_j$	a , мм
Перша	$Z1/Z2, Z3/Z4, Z5/Z6$	96	120.0
Друга (гітара)	усі 7 пар	100	125.0
Третя	$Z21/Z22$	94	117.5
Реверс	$Z23/Z25$	84	105.0

3.2.4 Розрахунок діаметрів валів коробки швидкостей

Розрахунок діаметрів валів виконується за методикою [29], яка передбачає послідовне визначення мінімальних розмірів із умови міцності на кручення, уточнення з урахуванням згинальних навантажень та перевірку жорсткості. Остаточні діаметри формуються з урахуванням конструктивних вимог, а саме розміщення підшипників, зубчастих коліс та муфт.

Раніше ми прийняли, що вали виконуються зі сталі 40ХН.

Для розрахунків використовуємо значення крутних моментів з табл. 3.12.

Визначаємо мінімальні діаметри валів з умови міцності на кручення, для цього скористаємось виразом:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot [\tau]_{кр}}} \quad (3.33)$$

де T – крутний момент на валу, Н·м.

$[\tau]_{кр}$ – допустиме напруження на кручення, приймаємо $[\tau]_{кр} = 50$ МПа.

Результати розрахунку наведено в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 – Попередні діаметри валів (з умови міцності на кручення)

Вал	$T, \text{Н}\cdot\text{м}$	$d_{min}, \text{мм}$
I (вхідний)	36.5	15.4
II (проміжний)	111	22.3
III (гітара)	302.6	31.2
IV (вихідний)	738	41.4

Отримані значення є мінімально необхідними для гладкого валу за умови чистого кручення. Остаточні діаметри призначають з урахуванням згинальних навантажень, вимог жорсткості, наявності шліців та конструктивних особливостей.

Згідно з кінематичною схемою коробки швидкостей (див. рис. 3.5), перемикання пар зубчастих коліс здійснюється через електромагнітні муфти М1 ... М6. З метою уніфікації для всіх валів використовуємо муфти одного типорозміру, а саме ЕТМ-122-3А [30].

Посадковий діаметр обраних електромагнітних муфт, що дорівнює 40 мм, визначає основний розмір середньої частини валів I–IV. Саме цей параметр задає геометрію шліцьового профілю, який забезпечує підвищену несучу здатність порівняно з гладким валом того ж діаметра. Момент опору шліцьового перерізу зростає у 1.5 ... 1.7 раза, що компенсує різницю між номінальним моментом муфти та піковим навантаженням на вал.

Згідно технічних характеристик муфти ЕТМ-122-3А її номінальний статичний крутний момент становить 400 Н·м, а динамічний – 250 Н·м. Це менше за максимальний крутний момент на валу IV, який сягає 738 Н·м. Однак слід врахувати функціональну роль муфти: вона не передає основний силовий потік від двигуна до шпинделя, а виконує лише перемикання передач. Тому реальне навантаження на муфту визначається моментом попереднього вала III, який дорівнює 302.6 Н·м. Це значення узгоджується з номінальними характеристиками муфти та забезпечує прийнятний запас міцності.

На підставі проведених міркувань підбираємо основні діаметри для валів коробки приводу головного руху та підшипники для опорної частини валів, результати підбору наведені в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 – Прийняті діаметри валів коробки швидкостей

Вал	Ø опор (під підшипник), мм	Ø основної частини валу, мм	Ø консолей гітари, мм	Підшипник
I	35	40	–	207
II	35	40	35	307
III	35	40	35	307
IV	35	40	–	307

На основі проведених розрахунків здійснено розробку конструкції приводу головного руху токарного автомата, вона входить до графічної частини проекту.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вибір та розрахунок віброізоляції для встановлення обладнання

Вібрація, що виникає під час роботи металорізального обладнання, є наслідком дії динамічних сил, які формуються при обертанні шпинделя, роботі зубчастих передач та перемиканні електромагнітних муфт. Ці сили створюють періодичні коливання, що можуть передаватися на фундамент і несучі конструкції. Якщо їх не ізолювати, виникає небажаний ефект: зниження точності обробки, підвищений рівень шуму, прискорене зношування вузлів і навіть резонансні явища.

Система віброізоляції вводить пружний елемент між джерелом коливань і основою [31]. Завдяки цьому змінюється динамічна схема: амплітуда переданих коливань зменшується, а енергія частково поглинається матеріалом ізолятора. Ефективність роботи такої системи визначається співвідношенням між робочою частотою обладнання та власною частотою системи «верстат–опора».

Для визначення частоти збурення скористаємось виразом:

$$f = \frac{n}{60} \quad (4.1)$$

де n – частота обертання шпинделя, об/хв.

Власна частота системи повинна задовольняти умову:

$$\alpha = \frac{f}{f_0} = 3 \dots 4 \quad (4.2)$$

де f_0 – власна частота системи.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Проць В.І.</i>			БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Окіпний І.Б.</i>					67	6
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кодельник В.Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						

Статичне осідання гумового елемента визначається за формулою:

$$\delta = \frac{P}{E \cdot S} \quad (4.3)$$

де P – сила ваги;

E – модуль пружності гуми;

S – площа опори.

Висота елемента для забезпечення необхідної осадки:

$$h = \frac{E \cdot \delta}{\sigma} \quad (4.4)$$

де σ – допустиме напруження на стиск.

Площа однієї опори:

$$S = \frac{P}{N \cdot \sigma} \quad (4.5)$$

де N – кількість опор.

Для розрахунку проведемо підстановку числових значень. Розрахунки проведемо з використанням пакету MathCAD [32].

Вихідними даними для розрахунку є максимальна частота обертання шпинделя, яка становить: $n = 2500$ об/хв.

$$f = \frac{2500}{60} \approx 41.7 \text{ Гц}$$

Тоді величина власної частоти системи буде становити:

$$f_0 = \frac{41.7}{3 \dots 4} \approx 10.4 \dots 13.9 \text{ Гц}$$

Згідно паспортних даних визначаємо статичне осідання для ОВ-70 [33]:

$$\delta \approx 0.096 \text{ см}$$

Висота гумового елемента:

$$h = \frac{80 \cdot 0.096}{30} \approx 0.256 \text{ м}$$

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

Площа однієї опори:

$$S = \frac{2300 \cdot 9.81}{4 \cdot 30} \approx 188 \text{ см}^2$$

Для верстата масою 2300 кг навантаження на одну опору становить 575 кг. Це менше за допустиме значення для ОВ-70 (500 – 1350 кг залежно від модифікації). Таким чином, умова міцності виконується.

Опори ОВ-70 забезпечують власну частоту системи в межах 10 – 14 Гц, коефіцієнт передачі $\eta \leq 0.1$, ефективне демпфування та довговічність. Їхня конструкція стійка до мастильно-охолоджувальних рідин, має металеві елементи для кріплення та можливість регулювання по висоті.

4.2 Ергономічний та дизайнерський аналіз верстату

Ефективність використання токарно-револьверного автомата 1Б140 визначається не лише його технічними характеристиками [19], а й зручністю обслуговування, безпекою та комфортом оператора [34, 35]. Ергономіка у верстатобудуванні – це комплексний підхід, що поєднує фізіологію, психологію праці та інженерні рішення для мінімізації втоми оператора та підвищення продуктивності. Дизайн формує зовнішній вигляд і конструктивну логіку, поєднуючи функціональність із естетикою.

Робоче місце оператора (див. рис. 4.1) організоване за принципом функціональних зон, що забезпечують максимальну продуктивність при мінімальних енерговитратах людини та дотриманні вимог безпеки згідно з ДСТУ EN ISO 23125:2023 [34].

Габаритні розміри робочої зони: довжина верстата 1900 мм, зона обслуговування прутка 2400 мм, загальна довжина 4800 мм, ширина 5600 мм, ширина верстата 700 мм, проходи зліва та справа не менше 400 мм.

Робоча зона та доступність. Шпиндель і револьверна головка розташовані так, щоб оператор мав прямий візуальний контроль за деталлю. Зона обслуговування прутка (2400 мм) забезпечує зручну подачу матеріалу.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		69

Колірне рішення. Базова комбінація світло-сірого та зеленого кольорів знижує візуальну втому. Для модернізації рекомендовано світло-сірий матовий для основних поверхонь, сигнальний жовтогарячий або червоний для небезпечних зон, стандартні кольори для органів керування.

Ергономічний та дизайнерський аналіз верстата 1Б140 показав, що конструкція забезпечує зручний доступ до робочої зони та органів керування. Впроваджені на верстаті заходи безпеки мінімізують ризик травматизму, а дизайнерське рішення поєднує традиційну архітектуру з потенціалом модернізації.

4.3 Управління та нагляд за безпекою життєдіяльності в Україні

Система управління та нагляду за безпекою життєдіяльності в Україні є багаторівневою ієрархічною структурою, що охоплює законодавчу, виконавчу та наглядову гілки влади [36]. Її головна мета полягає у забезпеченні конституційного права громадян на безпечне життя і здоров'я, створенні належних умов праці та захисті населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного й природного характеру.

Нормативно-правова база. Основу становлять Конституція України та профільні закони: Кодекс цивільного захисту України, Закон «Про охорону праці», Закон «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», Закон «Про пожежну безпеку», Закон «Про дорожній рух».

Ієрархічна структура органів управління та нагляду. Загальнодержавний рівень представлений Верховною Радою України, Президентом та Кабінетом Міністрів. Верховна Рада приймає закони і затверджує програми, Президент гарантує права громадян, Кабінет Міністрів реалізує державну політику та визначає функції центральних органів влади.

Координаційний рівень забезпечує Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення при Кабінеті Міністрів. Вона координує взаємодію

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

органів влади, розробляє пропозиції щодо вдосконалення законодавства та контролює виконання державних рішень.

Спеціально уповноважені органи реалізують державну політику у відповідних сферах. Державна служба України з надзвичайних ситуацій відповідає за цивільний захист, техногенну та пожежну безпеку. Державна служба України з питань праці здійснює нагляд за охороною праці та промисловою безпекою. Міністерство охорони здоров'я контролює санітарно-епідемічне благополуччя. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів відповідає за екологічну безпеку.

Регіональний та місцевий рівні представлені місцевими державними адміністраціями та органами самоврядування, які реалізують політику безпеки на території області, району, міста чи села.

Об'єктовий рівень охоплює підприємства та організації, де відповідальність за стан безпеки покладається на керівників. Вони впроваджують внутрішні системи управління охороною праці, розробляють інструкції та проводять навчання персоналу.

Громадський контроль. Важливу роль відіграють професійні спілки, які здійснюють контроль за дотриманням законодавства про охорону праці. У разі відсутності профспілки контроль здійснює уповноважена працівниками особа.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

ВИСНОВКИ

Деталь «Вісь ролика КМ9002» належить до відповідальних елементів транспортних систем. Для даної деталі визначено класифікаційний код 715632, який визначає її як ступінчасте тіло обертання з центральним отвором і позаосьовими елементами, що обумовлює необхідність комплексного поєднання токарної, свердлильно-фрезерної та шліфувальної обробки.

Аналіз існуючої схеми показав значні резерви оптимізації. Використання поковки як заготовки потребує додаткових підготовчих операцій, саме тому в якості заготовки обирається пруток. Існуючий технологічний процес передбачає використання кількох універсальних верстатів, що призводить до накопичення похибок базування через багаторазові перевстановлення. Для крупносерійного виробництва (75 000 шт/рік) така схема є критичною, оскільки знижує точність і продуктивність.

Аналіз геометричних параметрів дозволив розробити раціональні набори формоутворюючих рухів, що включають точіння, осьову обробку та кругле шліфування.

Перехід від поковки до використання гарячекатаного прутка Ø25 мм зі сталі 40Х забезпечив автоматизацію подачі матеріалу та впровадження токарно-револьверного автомата на початковому етапі обробки. Використання токарного центру з ЧПК 16K20T1.02, оснащеного віссю С та приводним інструментом, дозволило сумістити чистове точіння з координатним свердлінням поперечних отворів за один установ. У результаті парк обладнання скорочено з п'яти до трьох одиниць, кількість перевстановлень зменшено з п'яти до двох, що мінімізувало похибки базування та підвищило точність.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Проць В.І.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>				73	3
<i>Реценз.</i>					<i>Висновки</i> <i>ТНТУ ім. І. Пулюя</i> <i>гр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Кантр.</i>		<i>Кабельник В. Р.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>					

Вибрано оптимальний набір різального інструменту (Т5К10, Т15К6, ВК8, Р6М5), який відповідає умовам крупносерійного виробництва та властивостям сталі 40Х. Для фінішної обробки загартованих шийок із твердістю 40–45 НРС обґрунтовано застосування шліфувальних кругів з білого електрокорунду (25А), що гарантує досягнення шорсткості Ra 3.2 мкм та точності за 7-м квалітетом.

У розділі 3 виконано повний комплекс розрахунків та обґрунтувань, що стали основою для конструювання приводу головного руху токарно-револьверного верстата. Розроблено функціональну та структурно-кінематичну схеми, визначено кінематичні параметри, зокрема діапазон регулювання $R = 39.7$. Визначено структурну формулу для проєктованого приводу головного руху $Z = 3(3) \times 7(1) \times 2(4) = 17$. На основі проведених розрахунків визначено модуль $m = 2.5$ мм, а також числа зубів, міжосьові відстані та діаметри валів. Проведено розрахунки режимів різання, потужності, крутних моментів, міцності зубчастих коліс і валів. Обґрунтовано вибір електродвигуна АІР112М4 з потужністю $N = 5.5$ кВт та електромагнітних муфт ЕТМ-122-3А.

Прийняті технічні рішення забезпечують надійну, продуктивну та точну роботу верстата в умовах крупносерійного виробництва деталі «Вісь ролика КМ9002». Результати розрахунків інтегровані у графічну частину проєкту, що включає креслення коробки швидкостей, кінематичні та функціональні схеми, і підтверджують узгодженість конструктивних параметрів із вимогами технологічності та експлуатаційної надійності.

У четвертому розділі представлено комплекс заходів, що формують систему безпечної експлуатації токарно-револьверного верстата 1Б140.

Обґрунтовано вибір і виконано розрахунок параметрів віброізолюючих опор ОВ-70, які забезпечують коефіцієнт передачі вібрації $\eta \leq 0.1$. Це рішення знижує динамічні навантаження на фундамент і мінімізує вплив вібрацій на оператора, що позитивно позначається на точності обробки та довговічності обладнання.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Ергономічний аналіз робочого місця підтвердив відповідність організації зон вимогам ДСТУ EN ISO 23125:2023. Встановлено оптимальний радіус досяжності рук, перевірено ефективність захисних кожухів, блокувань і системи аварійного вимкнення. Запропоновані заходи модернізації, зокрема локальне освітлення та оновлене кольорове оздоблення, спрямовані на зниження втоми оператора та підвищення комфорту праці.

Охарактеризовано систему управління та нагляду за безпекою життєдіяльності в Україні. Визначено її багаторівневу структуру, окреслено повноваження Верховної Ради, Кабінету Міністрів, ДСНС, Держпраці, МОЗ та Міністерства захисту довкілля. Підкреслено значення громадського контролю як важливого інструмента забезпечення дотримання законодавчих норм у сфері охорони праці та цивільного захисту.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		75

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 7806:2015. Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови (ISO 683-1:2012, NEQ; ISO 683-2:2012, NEQ). [Чинний від 2016-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 47 с.
2. Характеристики марки сталі 40Х [Електронний ресурс] // Метінвест. – Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/40x>
3. 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.
4. 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.
5. Швець С. В. Основи формоутворення поверхонь різанням: навч. посіб. / С. В. Швець. – Суми: Сумський державний університет, 2011. –127 с.
6. Четвержук Т. І., Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів / Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Залета О. М., Склярів Р. А. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк : - 2021. Випуск №71, С. 322-329.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Проць В.І.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Склярів Р.А.</i>				72	5	
<i>Реценз.</i>					ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м.Тернопіль		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Кабельник В. Р.</i>						
<i>Затверд.</i>	<i>Крцпа В.В.</i>						
<i>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</i>							

7. Склярів Р. А., Шанайда В. В. Прогнозування технічних характеристик металорізальних верстатів з використанням нейронних мереж. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XXIII Міжнародної науково-технічної конференції 28 – 31 травня 2025 року* / за заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ-Тернопіль-Свалява: ДДМА, 2025. 264 с., С. 252.

8. Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Склярів Р. А. Системний підхід як основа автоматизації проектування та модернізації токарного верстатного обладнання. *Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали V міжнар. наук.-прак. конф., 5-7 квіт. 2021 р. Академія технічних наук України*. Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М. 2021. 436с., С. 157-159

9. Крижанівський В. А., Кузнєцов Ю. М., Валявський І. А., Склярів Р. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою : навчальний посібник для ВНЗ / під ред. Ю. М. Кузнєцова. Кіровоград. 2004. 449 с.

10. Крижанівський В. А., Кузнєцов Ю. М., Склярів Р. А. Сучасний стан, прогнозування і перспективи розвитку верстатів з паралельною кінематикою. *Наукові праці ЖДТУ*. Житомир, 2005. №6, част.1. С. 320-334.

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

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

13. Zubovetska, N. T., Redko, R. H., Chetverzhuk, T. I., Skliarov, R. A., & Shanayda, V. V. (2025). Experimental study of the process of boring machine parts using a cutter equipped with tensor sensors. *Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, (1(58), 88–96. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2025-1\(58\)-88-96](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2025-1(58)-88-96)

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

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

15. Кривий П., Тимошенко Н., Шарик М., Крупа В. Вплив випадковості подачі на висоту мікронерівностей поверхні при її точінні або розточуванні. *Машинознавство*. 2013. № 9-10 (195-196). С. 76-83.

16. Редько Р.Г., Скляр Р.А., Полінкевич Р.М., Четвержук Т.І., Редько О.І. Аналіз зношення губок затискних цанг багатошпindelьних токарних автоматів. *Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки»*, Випуск 71, Луцьк, 2021, № 71. – 363 с. – С. 294-297.

17. Сердюк В. С. Основи оброблення матеріалів різанням та інструмент. Навчальний посібник для студентів спеціальності «Технічне обслуговування і ремонт устаткування підприємств машинобудування» [Текст] / В. С. Сердюк. – К. : Освіта України, 2006. –186 с.

18. Доля В. М. Діагностика та контроль робочих процесів: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної та дистанційної форм навчання – Харків: НТУ«ХП», 2019. – 129 с.

19. Одношпindelьний токарно-револьверний автомат 1Б140. Технічні характеристики та опис. *Металінструмент : електронний довідник*. URL: https://metalinstryment.com/sprav_1b140.htm

20. Токарний верстат із ЧПК 16К20Т1. Технічні характеристики та опис. *Металінструмент : електронний довідник*. URL: https://metalinstryment.com/sprav_16k20t1.htm

21. Круглошліфувальний верстат 3151 (3В151, 3В151А). Технічні характеристики та опис. *Металінструмент : електронний довідник*. URL: https://www.metalinstryment.com/sprav_3151.htm

22. 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.

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

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

24. Електродвигун АИР 112М4 (5,5 кВт 1500 об/хв) : техн. характеристики, креслення, габаритні розміри. – СЛЕМЗ : [сайт]. – URL: <https://slemz.com.ua/elektrodiviguni/zagalnopromyslovi/elektrodivigun-air-112m4-5-5kvt-1500obhv>

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

26. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Стандартизація продукції та послуг» для студентів всіх спеціальностей галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» / Уклад. В. М. Севастьянов, В. С. Маньковська. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 25 с.

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

28. ДСТУ ISO 54-2001. Передачі зубчасті циліндричні для загального і важкого машинобудування. Модулі (ISO 54:1996, IDT). – [Чинний від 2003-01-01]. – К. : Держстандарт України, 2002. – 5 с.

29. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів : підручник / за ред. Р. І. Сіліна. – Львів : Бескид Біт, 2008. – 448 с.

30. Електромагнітна муфта ЕТМ-122. – URL: <https://profmaster.com.ua/ua/p1026686727-mufta-etm-112.html>

31. Смирнов А. Ю., Контар В. С. Рекомендації щодо віброізоляції інженерного обладнання : вебсайт / Acoustic Traffic LLC. – URL: <https://www.acoustic.ua/recommendations/177>

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

33. Віброопора ОВ-70 від заводу-виробника : вебсайт / ТОВ «ГБ-ТРЕЙД». – Дніпро. – URL: <https://gb-trade.com.ua/ua/p1363978830-vibroopora-zavoda-proizvoditelya.html>

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

34. ДСТУ EN ISO 23125:2023. Верстати металорізальні. Безпека. Токарні верстати (EN ISO 23125:2015, IDT; ISO 23125:2015, IDT). – [Чинний від 2023-12-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2023. – 132 с.

35. ДСТУ 7299:2013. Дизайн і ергономіка. Робоче місце оператора. Загальні ергономічні вимоги. – [Чинний від 2014-07-01]. – К. : Мінекономрозвитку України, 2014. – 18 с.

36. Атаманчук П. С. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. – 276 с.

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>80</i>

ДОДАТКИ

					<i>КРБ 22-045.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ДОДАТКИ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Проць В.І.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					<i>81</i>	
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кодельник В. Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						
						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		

Технічні характеристики верстата 1Б140

Найменування параметра	1Б140
Основні параметри верстата	
Клас точності верстата Н за ГОСТ 8–71	Н
Найбільший діаметр прутка, що обробляється, при внутрішній/зовнішній подачі, мм	40/45
Найбільша сторона квадрата оброблюваного квадратного прутка при внутрішній/зовнішній подачі, мм	34/38
Найбільший розмір "під ключ" шестигранника, що обробляється, при внутрішній/зовнішній подачі, мм	28/30
Найбільший розмір різьблення, що нарізається мітчиком по сталі, мм	M20x2,5
Найбільший розмір різьблення, що нарізається мітчиком по латуні, мм	M27x3
Найменший розмір різьблення, що нарізається мітчиком по сталі та латуні, мм	M6x1
Найбільший розмір різьблення, що нарізається плашкою по сталі, мм	M24x2,5
Найбільший розмір різьблення, що нарізається плашкою по латуні, мм	M36x4
Найменший розмір різьблення, що нарізається плашкою по сталі та латуні, мм	M6x1
Найбільша довжина подачі прутка, мм	100
Найбільша довжина прутка, мм	3000
Діаметр отвору в шпинделі, мм	53
Відстань від торця шпинделя до револьверної головки, мм	75..210
Шпиндель	
Кількість робочих швидкостей шпинделя	13
Межі чисел оборотів шпинделя при прямому (лівому) обертанні, об/хв	160..2500
Затискач виробу	Автомат
Переключення швидкостей на ходу	Є
Захист від перевантажень	Є
Час обороту розподільчого валу, з	10,1..608,3
Прискорене обертання розподільчого валу, об/хв	8
Час перемикання швидкості обертання шпинделя, з	0,5
Час повороту револьверної головки на одну позицію, з	1
Час подачі та затискання прутка, з	1
Найбільший момент, що крутить, на шпинделі не менше, Нм (кг*м)	
Подача	
Найбільше поздовжнє (Z) переміщення револьверного супорта, мм	100
Найбільша довжина проточки від револьверного супорта, мм	90
Діаметр револьверної голівки, мм	160
Найбільша довжина регулювання револьверного супорта, мм	35
Діаметр отворів у револьверній голівці, мм	31, 75

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						82

Кількість поперечних горизонтальних супортів	2
Найбільший хід поперечних супортів, мм	45
Найбільша величина регулювання поперечних супортів, мм	10
Найбільше переміщення поперечних супортів на один поділ лімба, мм	0,062
Кількість вертикальних супортів	2
Найбільший хід вертикальних супортів, мм	45
Найбільша величина регулювання вертикальних супортів, мм	10
Кількість поздовжніх супортів	1
Найбільший хід поздовжнього супорта, мм	70
Кількість інструментів у револьверній головці	6
Електрообладнання верстата	
Кількість електродвигунів на верстаті	5
Електродвигун головного приводу, кВт (про/хв)	5,5
Електродвигун приводу допоміжного валу, кВт (про/хв)	1,1
Електродвигун насоса мастила, кВт (про/хв)	0,125
Електродвигун насоса охолодження, кВт (про/хв)	0,125
Електродвигун приводу пристроїв, кВт (про/хв)	0,7
Сумарна потужність всіх електродвигунів, кВт	7,25
Габарити та маса верстата	
Габаритні розміри верстата (довжина, ширина, висота), мм	1900 x 900 x 1580
Маса верстата, кг	2300

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Технічні характеристики верстата 1725МФ3

Параметр	Значення
Клас точності верстата (Н, П, В, А, С)	П
Найбільший діаметр деталі оброблюваної над станиною, мм	500
Найбільший діаметр деталі оброблюваної над супортом, мм	250
Найбільша довжина оброблюваної деталі, мм	1000
ЧПУ	НЦ-31
Межі частот обертання шпинделя min/max, об/хв.	63 - 2500
Потужність, кВт	30
Габарити, мм	3460_2050
Маса, кг	6500

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Технічні характеристики верстату 3Б151

Найменування параметра	3Б151
Основні параметри верстата	
Клас точності по ГОСТ 8-82	П
Найбільший діаметр виробу, що обробляється, мм	200
Найбільша довжина виробу, що обробляється, мм	700
Найбільший діаметр шліфування в люнеті, мм	60
Найбільший діаметр шліфування без люнету, мм	180
Найбільша довжина шліфування, мм	630
Відстань від осі шпинделя передньої бабки до дзеркала столу (висота центрів), мм	110
Найбільша маса виробу, що обробляється, кг	30
Робочий стіл верстата	
Найбільша довжина переміщення столу, мм	650
Ручне прискорене переміщення столу за один оберт маховика, мм	22,6
Ручне сповільнене переміщення столу за один оберт маховика, мм	5,3
Найменший хід столу від гідросистеми при перемиканні упорами, мм	8
Швидкість переміщення столу від гідросистеми (безступеневе регулювання), мм/хв	100..6000
Найбільший кут повороту верхнього столу за годинниковою стрілкою, град	3°
Найбільший кут повороту верхнього столу проти годинникової стрілки, град.	10°
Ціна поділу шкали повороту верхнього столу, град	0°20'
Конусність, мм/м	10
Шліфувальна бабка	
Діаметр шліфувального круга, мм	600..450
Найбільша ширина (висота) шліфувального круга, мм	63
Діаметр отвору у колі, мм	
Частота обертання шпинделя шліфувальної бабки, об/хв	1112, 1272
Швидкість різання шліфувального круга, м/с	
Найбільше переміщення шліфувальної бабки по гвинту (від руки), мм	200
Величина швидкого підводу шліфувальної бабки от гідравліки, мм	50
Час швидкого підведення шліфувальної бабки, з	2
Періодична подача шліфувальної бабки на діаметр виробу від храпового механізму (при реверсі праворуч, ліворуч, при кожному реверсі), мм	0,005..0,06
Періодична подача шліфувальної бабки на діаметр виробу від механізму врізання (при реверсі праворуч, ліворуч, при кожному реверсі), мм	-
Безперервна подача для врізного шліфування швидкість, мм/хв.	-

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Безперервна подача для врізного шліфування, мм на оборот виробу.	-
Ціна ділення лімба поперечної подачі на діаметр виробу, мм	0,005
Величина поперечного переміщення шліфувальної бабки за один оборот маховика, мм	1
Передня бабка. Бабка виробу	
Частота обертання виробу (безступеневе регулювання), об/хв	63..400
Конус отвору в шпинделі передньої бабки	Морзе 4
Задня бабка	
Величина відведення пінолі задньої бабки от руки, мм	35±2
Величина відведення пінолі задньої бабки от гідросистеми, мм	35±2
Конус отвору в шпинделі задньої бабки	Морзе 4
Привід і електрообладнання верстата	
Кількість електродвигунів на машині	7
Електродвигун шпинделя шліфувальної бабки, кВт (об/хв)	7,5
Електродвигун приводу виробу, кВт (об/хв)	0,76
Електродвигун насоса гідросистеми, кВт (об/хв)	1,5
Електродвигун насоса системи змазки підшипників шпинделя, кВт (об/хв)	0,08
Електродвигун насоса системи змазки направляючих стола, кВт (об/хв)	0,08
Електродвигун насоса системи охолодження, кВт (об/хв)	0,12
Електродвигун магнітного сепаратора, кВт (об/хв)	0,08
Габаритні розміри і маса верстату	
Габаритні розміри верстату (довжина x ширина x висота), мм	3100 x 2100 x 1500
Маса верстата з електрообладнанням і охолодженням, кг	4200

					<i>КРБ 23-364.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86