

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-гвинторізного верстату з ЧПК для забезпечення технологічного  
процесу виготовлення деталі «Фланець КС-4574А-20.14»

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

спеціальності 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Віталій ГРИЦЬКІВ  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

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 ГРИЦЬКІВУ Віталію  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання компонентів приводу головного руху токарно-гвинторізного верстату з ЧПК для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець КС-4574А-20.14»

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 «Фланець КС-4574А-20.14», 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; 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 верстату – 1 ф. А1  
Бабка шпіндельна – 1 ф.А1  
Патрон електромеханічний – 1 ф.А1



## Анотація

Грицьків Віталій. Конструювання компонентів приводу головного руху токарно-гвинторізного верстату з ЧПК для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець КС-4574А-20.14» : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 133 – галузеве машинобудування / наук. кер. Р. А. Склярів. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026. 80 с.

Ключові слова: токарно-гвинторізний верстат з ЧПК, фланець, механічна обробка, режими різання, привід головного руху.

В кваліфікаційній роботі приведені технологічні розрахунки на операцію «Токарна з ЧПК» для деталі «Фланець КС-4574А-20.14». Розроблено кінематичну схему верстата. Здійснено розробку конструкції приводу головного руху. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

## Annotation

Hrytskiv Vitalii. Design of components of the main drive of a CNC screw-cutting lathe to ensure the manufacturing process of the part «Flange KS-4574A-20.14» : Thesis for the bachelor's degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering / supervisor R. A. Skliarov. Ternopil : Ivan Puluj Ternopil National Technical University, 2026. 80 p.

Keywords: CNC lathe-screw-cutting machine, flange, machining, cutting modes, main drive motion.

The qualification work presents technological calculations for the CNC turning operation of the part «Flange KS-4574A-20.14». A kinematic diagram of the machine has been developed. The design of the main drive motion has been carried out. Issues of occupational safety and life safety have been addressed.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Грицьків В.</i>			<i>Анотація</i>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					4	1
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВс-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В. Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	10
1.1 Аналіз завдання .....	10
1.2 Характеристика об'єкту виробництва .....	13
1.3 Аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь та вибір раціональних схем оброблення поверхонь .....	15
1.4 Огляд літератури .....	18
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	20
2.1 Особливості запропонованого ТП обробки деталі «Фланець КС-4574А-20.14» .....	20
2.2 Обґрунтування та вибір різального інструменту .....	25
2.3 Обґрунтування та призначення контроль-вимірювальних інструментів .....	31
2.4 Верстатне забезпечення токарних операцій.....	32
2.5 Розрахунок режимів різання для технологічної операції .....	32
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	36
3.1 Розрахунок та обґрунтування параметрів комбінованого приводу головного руху.....	36
3.1.1 Визначення вихідних технологічних вимог до приводу головного руху .....	36
3.1.2 Корекція розрахункових значень та визначення робочого діапазону частот обертання шпинделя .....	38
3.1.3 Вибір електродвигуна для приводу головного руху .....	38
3.1.4 Розрахунок та обґрунтування параметрів комбінованого приводу головного руху .....	40
3.1.5 Побудова сітки частот та графіка обертів .....	43

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>					
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ЗМІСТ</i>					
<i>Розроб.</i>		<i>Грицьків В.</i>						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>						5	2	
<i>Реценз.</i>								<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВс-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кодельник В. Р.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>								

3.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору поліклінової пасової передачі .....	45
3.3 Комплексний силовий та конструктивний розрахунок коробки швидкостей .....	49
3.3.1 Визначення передавальних чисел та чисел зубців .....	49
3.3.2 Розрахунок крутних моментів на валах приводу .....	52
3.3.3 Визначення модуля зубчастих передач верстата .....	53
3.3.4 Геометричний розрахунок зубчастих коліс .....	55
3.3.5 Проектний розрахунок діаметрів валів коробки швидкостей та шпинделя .....	57
3.4 Розробка конструкції механізму затиску деталі .....	62
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	63
4.1 Організація управління охороною праці на підприємстві .....	63
4.2 Вентиляція та кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях ..	65
4.3 Оповіщення та інформування у сфері цивільного захисту .....	69
ВИСНОВКИ .....	71
Перелік посилань .....	73
ДОДАТКИ .....	78

## ВСТУП

Сучасний етап промислової революції, що розгортається під впливом концепцій Індустрії 4.0 та цифрової трансформації, суттєво змінює вимоги до машинобудівного комплексу. Ця галузь виступає фундаментом технологічного розвитку та конкурентоспроможності будь-якої економіки, а її еволюція характеризується переходом від автоматизації окремих операцій до створення інтегрованих інтелектуальних виробничих систем. У такому контексті верстатне обладнання з числовим програмним керуванням розглядається не лише як інструмент механічної обробки, а як ключовий елемент виробничої інфраструктури, що визначає якість, ефективність та гнучкість технологічних процесів.

Актуальність розвитку верстатобудування зумовлена необхідністю швидкої адаптації до динамічних умов ринку, виробництва складних деталей з високою точністю та мінімізацією витрат матеріальних і енергетичних ресурсів. Незважаючи на появу нових технологій, механічна обробка й надалі зберігає провідні позиції у виробництві, оскільки саме вона забезпечує досягнення необхідних експлуатаційних характеристик, точність геометричних параметрів та стабільну якість поверхні. Її роль особливо важлива у виготовленні відповідальних елементів машинобудівних систем, де від точності та надійності залежить безпека і довговічність конструкцій.

Тенденції розвитку приводів головного руху верстатів спрямовані на вдосконалення їх динамічних, енергетичних та керуючих характеристик.

Серед ключових напрямів варто відзначити поширення конструкцій з прямим приводом, що забезпечують підвищення коефіцієнта корисної дії та точності обертання.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Грицьків В.</i>			<i>ВСТУП</i>	<i>Лист.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					<i>7</i>	<i>3</i>
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВс-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						

Важливим аспектом є впровадження систем адаптивного керування, здатних у режимі реального часу оптимізувати режими різання на основі даних сенсорного моніторингу.

Значну увагу приділяють високошвидкісній та високопродуктивній обробці, яка потребує використання потужних серводвигунів, спеціалізованих підшипникових вузлів та ефективних систем охолодження.

Перспективним напрямом розвитку є цифрове проектування та створення цифрових двійників вузлів приводу, що дозволяє прогнозувати їх поведінку та здійснювати проактивне технічне обслуговування.

Процес створення нового верстатного обладнання або модернізації існуючих конструкцій традиційно розпочинається з формування технічного завдання, яке виступає основним нормативним документом для подальшої інженерної діяльності. Воно визначає стратегічні цілі та функціональні вимоги до майбутнього виробу, встановлює обмеження та критерії ефективності, а також задає орієнтири для вибору оптимальних технічних рішень.

На основі цього завдання здійснюється комплексний аналіз вихідних даних, що включає дослідження конструктивних особливостей, технологічних можливостей, умов експлуатації та економічних чинників. Результатом є формування попередніх технічних рішень, які стають фундаментом для наступних етапів проектування.

На початкових стадіях розробки доцільно застосовувати положення теорії технічних систем [21], що дозволяють розглядати верстат як багаторівневу структуру з взаємопов'язаними елементами.

Використання системного підходу [33, 35] забезпечує комплексний аналіз усіх складових, врахування їх взаємодії та узгодження функцій, що підвищує узгодженість і надійність майбутньої конструкції.

Важливим інструментом на цьому етапі є методи прогнозування [23, 31, 32], які дозволяють оцінити перспективи розвитку обладнання, передбачити його поведінку в різних експлуатаційних умовах та визначити напрями вдосконалення. Прогнозування у процесі проектування має особливе значення для формування технічних характеристик обладнання, оскільки дає змогу

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

визначити оптимальні параметри конструкції ще до її практичної реалізації, оцінити довговічність та надійність вузлів, передбачити рівень енергоспоживання, точність обробки та продуктивність.

Кваліфікаційна робота бакалавра має прикладний інженерний характер і спрямована на вирішення конкретних завдань у сфері машинобудування. Вона виконана відповідно до затвердженої структури [17], що забезпечує методологічну послідовність та відповідність академічним вимогам. Основна увага приділена розробці конструктивних рішень, необхідних для реалізації технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець КС-4574А-20.14». У роботі здійснено проектування конструкції приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата з числовим програмним керуванням. Обґрунтовано вибір інженерних рішень, що забезпечують підвищення ефективності роботи обладнання, стабільність технологічних режимів та надійність експлуатації. Представлені результати мають практичну значущість, оскільки спрямовані на вдосконалення верстатного обладнання та підвищення якості механічної обробки у сучасних виробничих умовах.

**Структура і обсяг роботи.** Представлена кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів та основних висновків. Записка містить 72 аркушів пояснювального матеріалу, 30 рисунків та 13 таблиць. При виконанні роботи використано різноманітну спеціалізовану літературу, а також публікації з мережі Internet. Перелік літератури містить 36 найменувань, які розміщені на 5 сторінках, а також 1 додатку на 3 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 80 сторінок.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз завдання

Вихідними даними для виконання кваліфікаційної роботи є технічна документація на деталь «Фланець КС 4574А 20.14», діючий технологічний процес її виготовлення та річна виробнича програма, що становить 20000 одиниць. Такий обсяг відповідає умовам серійного виробництва і визначає вимоги до організації технологічного процесу.

Деталь «Фланець КС 4574А 20.14» (див. рис. 1.1) належить до класу тіл обертання ступінчастого типу. Її функціональне призначення полягає у забезпеченні надійного з'єднання та передачі крутного моменту між карданним валом і коробкою відбору потужності в механізмі автокрана КС 4574А.

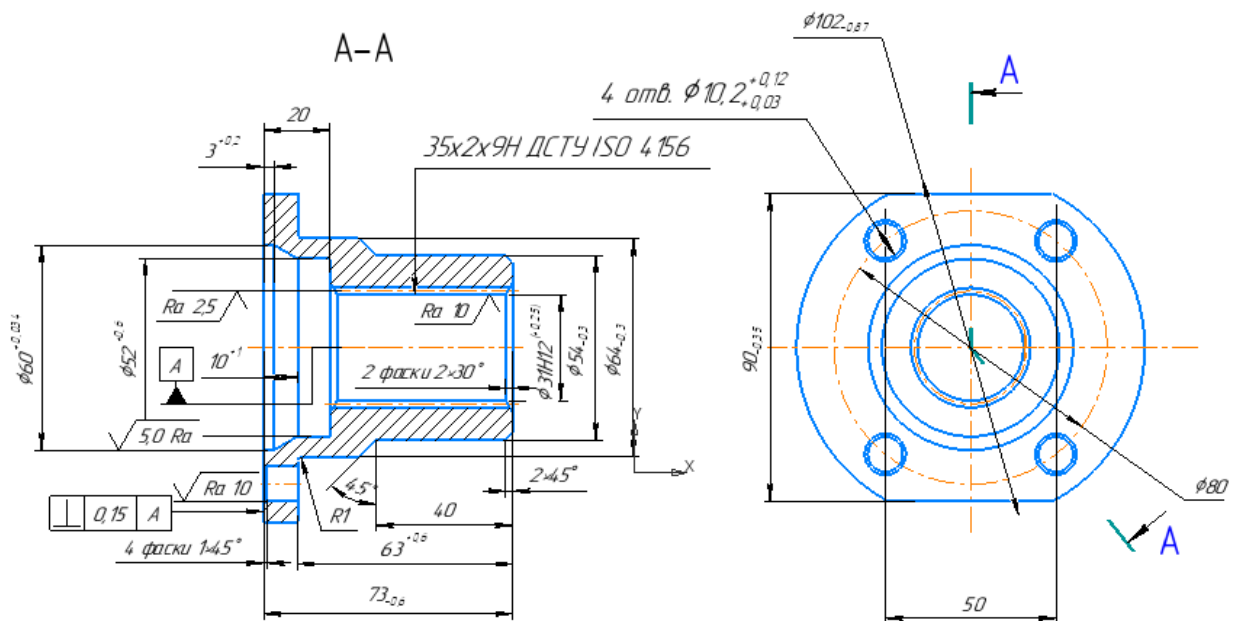


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд деталі «Фланець КС-4574А-20.14»

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Разроб.	Грицьків В.				Лит.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Склярів Р.А.					10	10
Реценз.					ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопіль		
Н. Контр.	Кобельник В. Р.						
Затверд.	Крцпа В.В.						
					АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА		

Конструкція фланця включає кілька технологічно важливих елементів. Центральна частина містить шліцевий отвір  $35 \times 2 \times 9\text{H}$  відповідно до вимог ДСТУ ISO 4156 [6], що забезпечує жорстке з'єднання з валом. Фланцевий диск діаметром 102 мм має чотири наскрізні отвори  $\varnothing 10.2$  мм для кріпильних болтів. Додатково передбачено систему послідовних циліндричних поверхонь різного діаметра (54 мм, 64 мм, 102 мм), які виконують функції опорних та ущільнювальних шийок. Загальні габарити деталі становлять 73 мм у довжину та 102 мм у діаметрі, маса близько 1,1 кг. Незважаючи на компактність, до сполучних і опорних поверхонь висуваються підвищені вимоги щодо точності (квалітети 7–9) та шорсткості ( $Ra 1,25 \div 2,5$  мкм), що зумовлено її роботою у складі силового приводу.

У базовому (заводському) варіанті технологічного процесу (ТП) в якості вихідної заготовки використовується штампована поковка, отримана на молотах. Такий тип заготовки забезпечує необхідну міцність матеріалу та наближену геометрію, проте потребує значного обсягу подальшої механічної обробки.

На підприємстві виготовлення деталі здійснюється за маршрутною технологією, яка включає вісім операцій на різному обладнанні (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Маршрутна схема базового технологічного процесу

№ операції	Найменування операції	Обладнання (модель)
005	Токарно-гвинторізна	1К62
010	Горизонтально-протяжна	7Б55
015	Пресова	Прес гідравлічний
020	Токарна	1А720
025	Пресова	Прес гідравлічний
030	Токарно-гвинторізна	1К62
035	Радіально-свердлильна	2М55
040	Вертикально-фрезерна	6Т12

Критичний розгляд чинної маршрутної технології дає змогу окреслити низку факторів, що істотно обмежують ефективність виробництва фланця. Насамперед відзначається надмірна розпорошеність операцій та децентралізація обробки. Велика кількість технологічних переходів із багаторазовим перебазуванням деталі призводить до накопичення сумарної похибки, що ускладнює забезпечення жорстких допусків на співвісність та перпендикулярність поверхонь відповідно до вимог ДСТУ ISO 2768 [5].

Другою проблемою є технологічна застарілість парку обладнання. Використання універсальних верстатів моделей 1К62 та 2М55 з ручним керуванням зумовлює високу варіативність параметрів точності. Це підвищує ризик виникнення дефектів через вплив людського фактора та не дозволяє досягти стабільної відтворюваності геометричних характеристик у межах великої партії, що становить двадцять тисяч штук.

Ще одним обмеженням виступає низька логістична ефективність. Рознесення токарних, свердлильних та фрезерних операцій по різних виробничих дільницях збільшує тривалість технологічного циклу та підвищує витрати на внутрішньозаводське транспортування.

Окремо слід зазначити високу енергоємність та значні експлуатаційні витрати. Обладнання попередніх поколінь не відповідає сучасним вимогам енергоефективності, визначеним стандартом ДСТУ ISO 14955-1:2019 [4]. У серійному виробництві це призводить до суттєвого зростання собівартості одиниці продукції та знижує економічну доцільність застосування такої технології.

Таким чином, чинний технологічний процес забезпечує виготовлення деталі, проте його ефективність у серійному виробництві залишається обмеженою через значну трудомісткість, високі енерговитрати та залежність від ручних операцій. Оптимізація виробництва потребує впровадження сучасного обладнання з числовим програмним керуванням. Така організація процесу сприятиме скороченню тривалості технологічного циклу, підвищенню точності обробки та стабільності якості продукції.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

## 1.2 Характеристика об'єкту виробництва

Як зазначалося раніше, вихідною заготовкою для виготовлення деталі «Фланець КС 4574А 20.14» слугує штампована поковка, отримана методом гарячого об'ємного штампування на молотах. Матеріалом для виготовлення обрано конструкційну вуглецеву сталь марки 45 згідно з чинним стандартом ДСТУ 7809:2015 [3], яка характеризується збалансованими механічними властивостями, високою оброблюваністю та широким застосуванням у машинобудуванні для деталей, що працюють під навантаженням.

Фізико-механічні та хімічні характеристики сталі 45 наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Комплексна характеристика сталі 45 (ДСТУ 7809:2015)

Параметр	Позначення / Одиниця	Значення	Примітка
Границя міцності	$\sigma_B$ , МПа	590–690	Після нормалізації
Границя текучості	$\sigma_T$ , МПа	340–390	Залежить від термообробки
Відносне видовження	$\delta$ , %	14–17	Пластичність
Відносне звуження	$\psi$ , %	35–45	Деформаційна здатність
Ударна в'язкість	KCU, кДж/м <sup>2</sup>	50–60	За температури +20 °С
Твердість	HВ	170–207	До термообробки
Вуглець	C, %	0,42–0,50	Основний елемент легування
Кремній	Si, %	0,17–0,37	Підвищує пружність і міцність
Марганець	Mn, %	0,50–0,80	Покращує проковуваність
Фосфор	P, %	≤0,035	Шкідлива домішка
Сірка	S, %	≤0,040	Знижує ударну в'язкість
Хром	Cr, %	≤0,25	Залишковий елемент
Мідь	Cu, %	≤0,30	Залишкова домішка
Нікель	Ni, %	≤0,30	Залишкова домішка
Залізо (основа)	Fe, %	~97	Основна маса

Згідно з класифікатором ЄСКД [12], деталь «Фланець КС-4574А-20.14» належить до класу 71, а саме «Деталі типу тіла обертання». На рис. 1.2 представлено повний класифікаційний індекс, що дозволяє однозначно ідентифікувати деталь у системі конструкторської документації.

Класифікаційна характеристика:

711616

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

▶ Вид: фланці з шліцевим з'єднанням, що мають опорні шийки та отвори для болтового кріплення

▶ Підгрупа: фланці з наскрізними отворами

▶ Група: фланці

▶ Підклас: втулки, фланці, кільця, стакани

▶ Клас: деталі тіл обертання

▶ Загальна категорія: кільця, диски, втулки, вали, осі, шпинделі

Рисунок 1.2 – Класифікаційний індекс деталі «Фланець КС-4574А-20.14»

Аналіз креслення дозволив встановити основні геометричні параметри та вимоги до точності обробки, вони приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Геометричні параметри та вимоги до точності обробки

№	Елемент конструкції	Розмір / Позначення	Допуск (посадка)	Шорсткість, Ra (мкм)
1	Циліндрична поверхня	Ø102	h14	20
2	Циліндрична поверхня	Ø64	h12	20
3	Циліндрична поверхня	Ø54	h12	20
4	Циліндрична поверхня	Ø60	H9	5
5	Циліндрична поверхня	Ø52	H14	20
6	Циліндрична поверхня	Ø31	H12	10
7	Шліцевий отвір	35×2×9H	–	2,5
8	Кріпильні отвори (4 шт.)	Ø10,2	H10	10
9	Фаска	2×45	h14	20
10	Фаска	1×45	H14	20
11	Довжина	L = 73	h14	20
12	Довжина	L = 50	h14	20

Найбільш точними є поверхні, що забезпечують з'єднання та базування: шліцевий отвір, отвори під болти, а також посадкові шийки. Саме ці елементи визначають функціональну надійність деталі у складі силового вузла.

### 1.3 Аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь та вибір раціональних схем оброблення поверхонь

Забезпечення геометричної точності та відповідності поверхонь деталі «Фланець КС-4574А-20.14» потребує узгодження морфологічних характеристик із кінематичними можливостями обладнання. Кожен технологічний перехід ґрунтується на специфічній комбінації відносних рухів інструмента і заготовки (формоутворюючих рухів), що визначає підхід до операцій механічної обробки [25].

Аналіз базового ТП маршруту обробки дозволяє виокремити чотири основні кінематичні схеми, які забезпечують повне формування деталі.

**Осьова обробка отворів (операції свердління та зенкування).** Формування наскрізних отворів діаметром 10,2 мм та їх фасок здійснюється поєднанням головного обертального руху інструмента і поступального руху осьової подачі. Така схема, хоча й проста за структурою, вимагає високої жорсткості системи. Вона забезпечує точність розташування отворів по діаметру фланця та якість їх крамок (рис. 1.3).

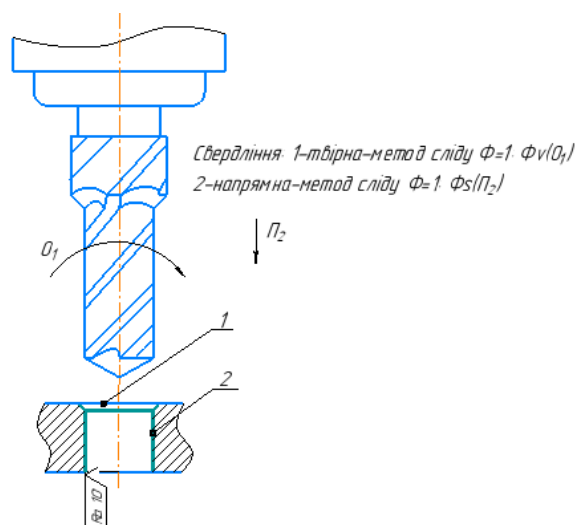


Рисунок 1.3 – Формоутворюючі рухи при свердлінні та зенкуванні

					КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

**Токарна обробка (точіння та розточування).** Формування зовнішніх ступеневих поверхонь  $\varnothing 54$ ,  $\varnothing 64$  та  $\varnothing 102$  мм (див. рис. 1.4), а також внутрішніх отворів  $\varnothing 52$  та  $\varnothing 60$  мм (див. рис. 1.5) реалізується за класичною схемою, де головним рухом виступає обертання заготовки, а подача здійснюється переміщенням різця вздовж або поперек осі.

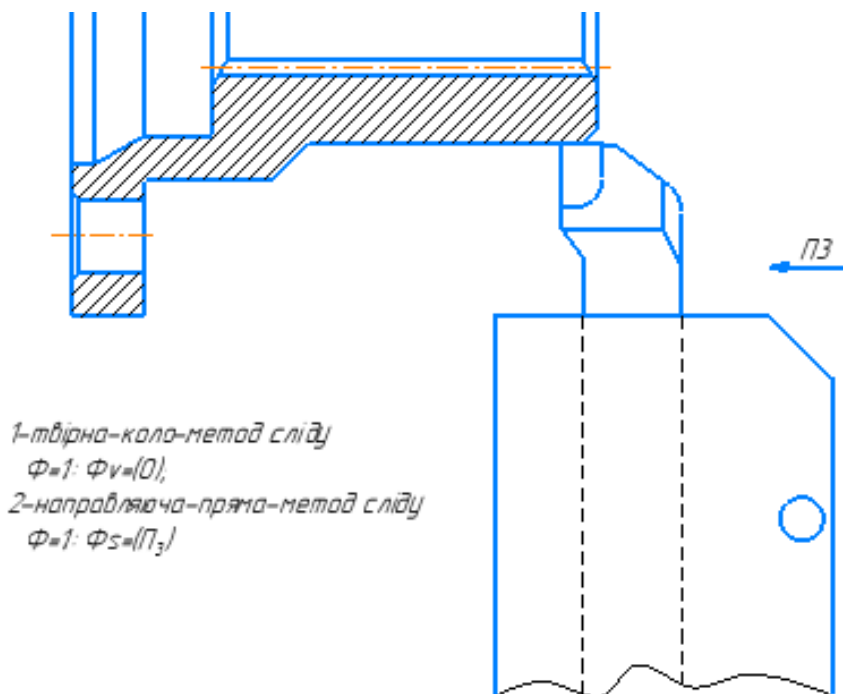


Рисунок 1.4 – Формоутворюючі рухи при зовнішньому точінні

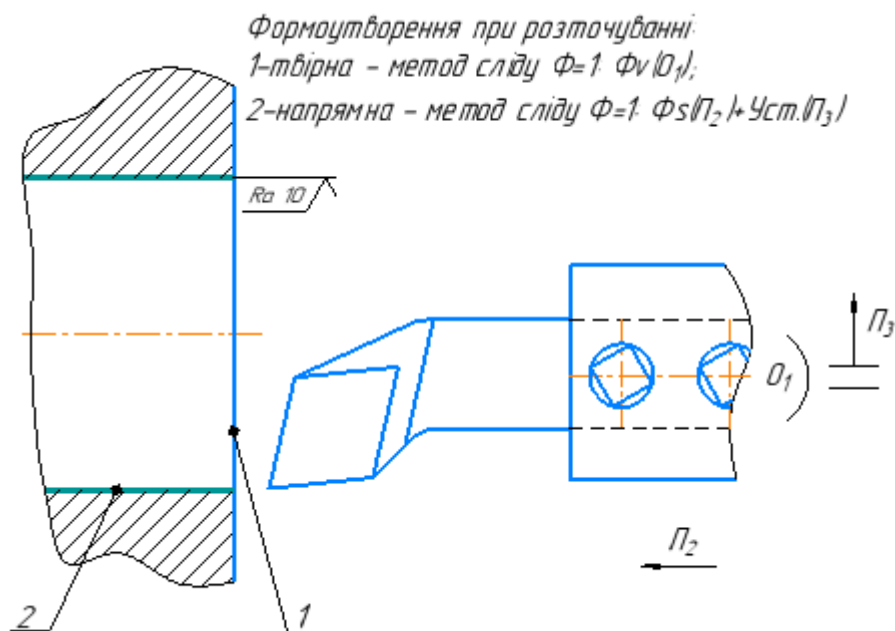


Рисунок 1.5 – Формоутворюючі рухи при розточуванні отворів

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Для отримання фасок із параметрами  $2 \times 45^\circ$  та  $2 \times 30^\circ$  необхідне узгодження поздовжньої та поперечної подачі (див. рис. 1.6).

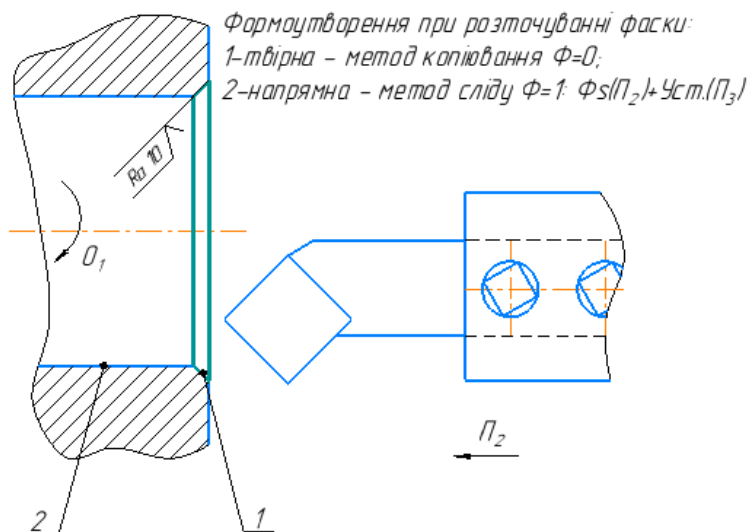


Рисунок 1.6 – Формоутворюючі рухи при розточуванні отворів

**Фрезерна обробка.** У базовому технологічному процесі ця операція може бути інтегрована на фрезерному верстаті. Формоутворення периферійних ділянок, здійснюється завдяки обертанню фрези як головного руху та поступальному переміщенню заготовки як руху подачі вздовж координатних осей (рис. 1.7).

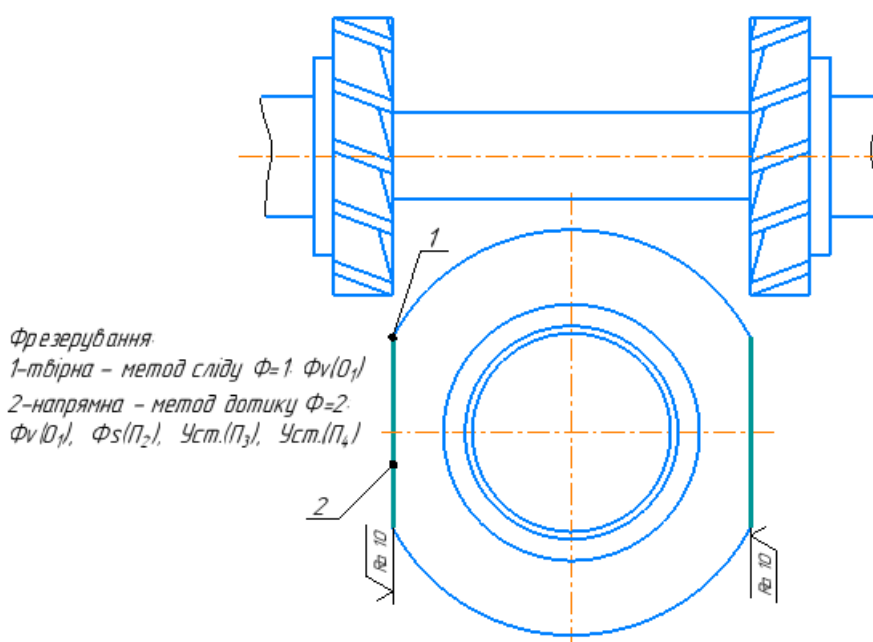


Рисунок 1.7 – Формоутворюючі рухи при обробці набором фрез

**Протягування.** Формування внутрішнього шлицевого профілю  $35 \times 2 \times 9H$  виконується на протяжному верстаті. У цьому випадку прямолінійний поступальний рух протяжки одночасно виконує функції головного руху та подачі (рис. 1.8). Метод забезпечує високу точність профілю та продуктивність, проте потребує використання окремого інструмента та спеціального верстата.

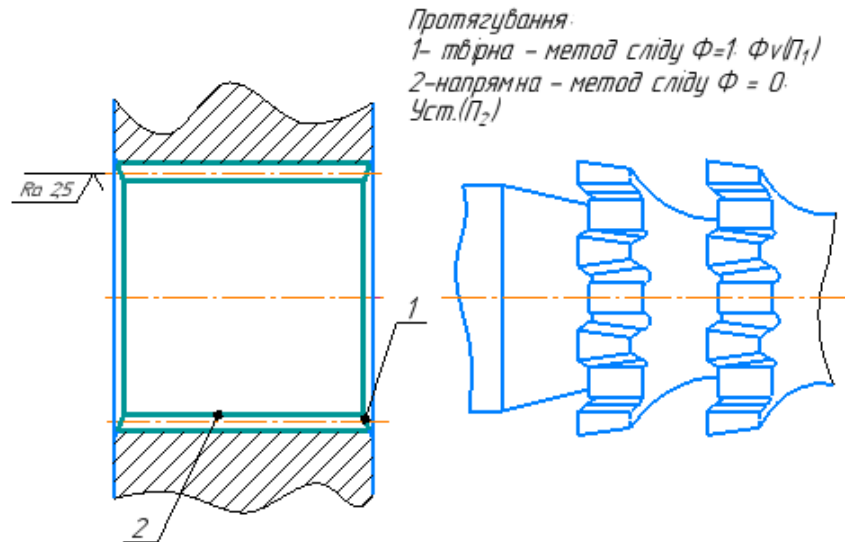


Рисунок 1.8 – Формоутворюючі рухи при протягуванні

Різноманітність операцій обробки фланця підтверджує необхідність гнучкості та універсальності сучасного верстатного парку. У серійному виробництві доцільним є концентрування операцій на токарно-гвинторізному верстаті з числовим програмним керуванням. Для цього привід головного руху має забезпечувати стабільне обертання шпинделя в широкому діапазоні швидкостей, достатню потужність та динамічну жорсткість, що дозволяє ефективно виконувати як чорнові, так і чистові переходи. Аналіз формоутворюючих рухів у цьому контексті формує технічне завдання для проектування складових приводу.

#### 1.4 Огляд літератури

Тематика конструювання компонентів приводу головного руху токарних верстатів з числовим програмним керуванням для виготовлення деталей типу

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

«Фланець» становить комплексне науково-технічне завдання. Сучасний підхід до проєктування передбачає інтеграцію системного аналізу, параметричної оптимізації та методів активного моніторингу точності.

Фундаментом для автоматизації процесів проєктування і модернізації токарного обладнання виступає системний підхід, обґрунтований у працях [33, 35]. У цих дослідженнях верстат розглядається як ієрархічна система, де статистичне моделювання технічних характеристик дозволяє прогнозувати експлуатаційну надійність приводу.

У роботі [20] у контексті конструювання коробок швидкостей запропоновано методику двокритеріальної оптимізації, спрямовану на підвищення жорсткості вихідного валу та зменшення навантаження на опорні вузли.

Важливим етапом є створення точних геометричних моделей, що описують технологію формування CAD-моделей на основі точкових рядів. Такий підхід є критичним для проєктування зубчастих зачеплень приводу [34]. Для забезпечення динамічної стабільності на високих обертах доцільним є застосування методів статичного збалансування вузлів у середовищі SOLIDWORKS [16].

Проблематика точності кінематичних ланцюгів розглядається у роботі [18], де використано метод ітерацій для аналізу точності подач. У дослідженні [19] доведено, що випадкові коливання подачі безпосередньо впливають на висоту мікронерівностей поверхні при розточуванні.

Сучасні тенденції «розумного» виробництва формують потребу в адаптивному керуванні. У роботі [24] запропоновано векторну модель руху ріжучої кромки, яка враховує процес зношування інструмента.

Практична реалізація такого контролю можлива завдяки використанню різців із тензометричними датчиками, що підтверджено експериментальними дослідженнями [14]. Застосування цього підходу забезпечує корекцію кутової швидкості приводу в реальному часі та стабільність процесу обробки сталі 45.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Особливості запропонованого ТП обробки деталі «Фланець КС-4574А-20.14»

Вихідною умовою для проектування ТП виготовлення деталі «Фланець КС-4574А-20.14» є середньо-серійний тип виробництва з річною програмою  $N_p = 20\ 000$  одиниць. Згідно з ДСТУ 2391:2010 [2], для деталей із масогабаритними характеристиками, подібними до фланця, така програма класифікується як середньосерійна.

Як альтернативу поковці, виготовленій на молотах, розглядається застосування горизонтально-кувальної машини (ГКМ), що дозволяє зменшити припуски на обробку та знизити собівартість виробу.

Попередні розрахунки (не наведені в даній роботі) дозволили здійснити проектування заготовки, ескізи якої подано на рис. 2.1.

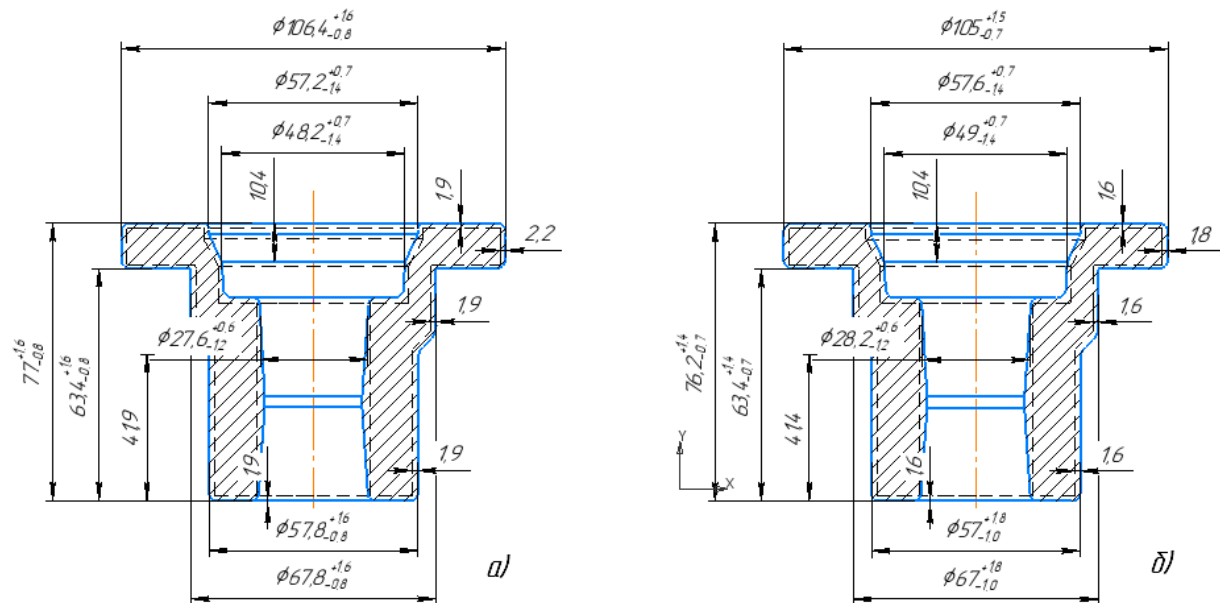


Рисунок 2.1 - Ескізи заготовок:

а) - поковка виготовлена на молотах; б) поковка виготовлена на ГКМ

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Грицьків В.			Лит.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Склярів Р.А.				20	16
Реценз.					ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопіль		
Н. Контр.		Кабельник В. Р.					
Затверд.		Крцпа В.В.					
					<i>ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</i>		

Проведений аналіз показав, що поковка, отримана на ГKM, є економічно доцільнішою завдяки меншій витраті матеріалу та зниженим витратам на механічну обробку.

Організаційна форма середньосерійного виробництва передбачає обробку заготовки на дільниці де обладнання згруповано відповідно до послідовності технологічного маршруту. Такий підхід дозволяє реалізувати принцип групового розташування верстатів, що сприяє скороченню внутрішньоцехової логістики та зменшенню кількості перебазувань.

Стратегія обробки базується на концентрації операцій на сучасному обладнанні з числовим програмним керуванням. Це забезпечує можливість сукупного виконання токарних, фрезерних і свердлильних переходів, підвищує повторюваність результатів та стабільність точності, знижуючи вплив людського фактору. Обробка на дільниці буде проводитись на токарних верстатах з ЧПК, які дозволяють використовувати стандартний високоефективний інструмент і не потребують високої кваліфікації оператора.

Забезпечення точності обробки при серійному випуску залежить від правильного вибору та послідовного використання технологічних баз. Керівними принципами виступають принцип постійності базових поверхонь та їх суміщення з конструкторськими і вимірювальними базами.

На рисунку 2.2 подано ескіз деталі з позначенням поверхонь, що підлягають обробці.

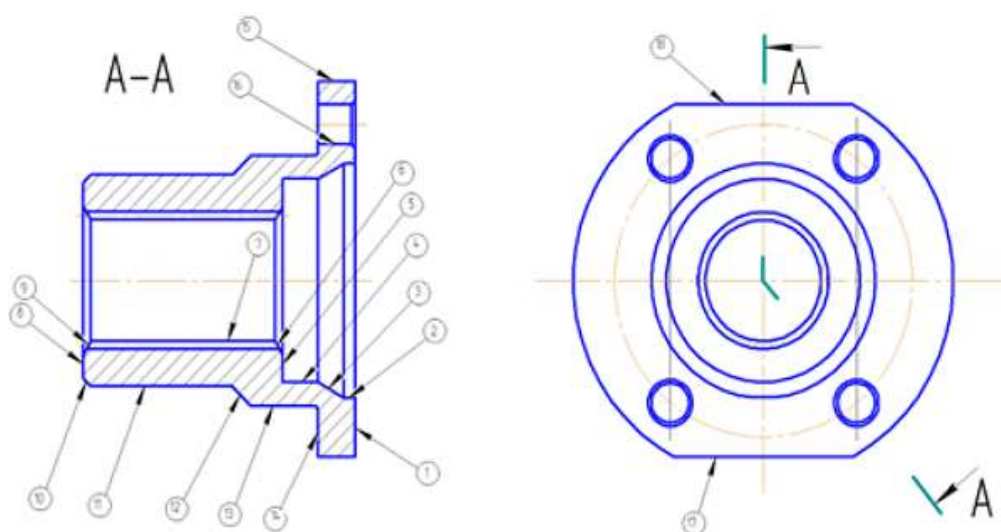


Рисунок 2.2 – Ескіз деталі «Фланець КС-4574А-20.14» з нумерацією оброблюваних поверхонь

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Таблиця 2.1 містить систематизований перелік операцій із відповідними технологічними базами та обґрунтуванням їх вибору.

Таблиця 2.1 – Вибір та обґрунтування технологічних баз

№ операції	Найменування операції	Технологічна база	Обґрунтування вибору та розрахунок похибки базування
005	Токарна з ЧПК (чорнова)	Пов. 11 ( $\varnothing 57^{+1.2}_{-0.6}$ ) та торець 8	Формується чистова база. Обробка центрального отвору $\varnothing 52H9$ (пов. 4) та торця 1 з високою точністю. Зовнішня поверхня забезпечує надійне центрування в кулачковому патроні.
010	Токарна з ЧПК (чистова)	Пов. 4 отвір ( $\varnothing 52^{+0.6}$ ) та торець 1	Реалізується принцип єдності баз. Базування на отвір і торець забезпечує співвісність зовнішніх ступеневих поверхонь та другого торця.
015	Горизонтально-протяжна (шліци)	Пов. 11 ( $\varnothing 54_{-0,3}$ ) та торець 1	Забезпечується симетрія шліців. Базування гарантує правильне орієнтування протяжки та рівномірний розподіл шліців ( $35 \times 2 \times 9H$ ).
020	Радіально-свердлильна з ЧПК $\varnothing 10.2 \times 4$	Торець 1 та отвір $\varnothing 60H9$ (пов. 2)	Забезпечується точність розташування отворів по роздільному діаметру. Похибка базування на радіус не перевищує 0,05 мм, що значно менше допуску.
025	Горизонтально-фрезерна (обробка лисок)	Торець 1 та отвір $\varnothing 60H9$ (пов. 2)	Контролюється кутова орієнтація пазу. Похибка базування на кут становить $\Delta\alpha \approx 0.33^\circ$ , що менше конструкторського допуску $\pm 0,5^\circ$ .

Визначення технологічних баз є ключовим етапом у побудові маршрутного процесу, адже саме вони формують логіку послідовності операцій, забезпечуючи раціональність обробки та досягнення необхідної точності. На основі цих баз було розроблено проєктний технологічний маршрут, який концентрує основні переходи лише на п'яти операціях. Такий підхід дозволяє скоротити кількість установів, оптимізувати використання обладнання та підвищити продуктивність.

В таблиці 2.2 приведено проєктний варіант технологічного процесу обробки деталі «Фланець КС-4574А-20.14». Така концентрація операцій забезпечує скорочення допоміжного часу та зменшення кількості переналагоджень.

Таблиця 2.2 – Маршрут проєктного ТП обробки фланця

№ операції	Найменування операції	Обладнання (модель)
005	Токарна з ЧПК (чорнова)	16К20Ф3
010	Токарна з ЧПК (чистова)	16К20Ф3
015	Горизонтально-протяжна (шліци)	7Б55
020	Радіально-свердлильна з ЧПК	2Р135Ф2
025	Горизонтально-фрезерна (лиски)	6Р82Г

Побудований маршрут дає змогу оцінити ефективність проєктного рішення у порівнянні із заводським процесом.

При його складанні ми виходили з наступних міркувань. Використання штамповки на ГKM знижує матеріаломісткість і забезпечує стабільність параметрів. Автоматизація токарної обробки на верстатах 16К20Ф3 з ЧПК ліквідує суб'єктивні похибки та скорочує допоміжний час. Концентрація операцій досягається заміною двох вертикально-фрезерних операцій на одну горизонтально-фрезерну з набором фрез, що зменшує кількість установів. Використання комбінованого свердла-зенківки дозволяє сумістити два переходи в один. Механізація затиску за допомогою електромеханічних та пневматичних пристроїв забезпечує стабільність закріплення та безпеку праці. Інструментальне забезпечення твердосплавним інструментом дозволяє інтенсифікувати режими різання, зберігаючи якість поверхні.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

В таблиці 2.3 приведено проектну маршрутну технологію обробки деталі «Фланець КС-4574А-20.14».

Таблиця 2.3 – Проектна маршрутна технологія обробки фланця

Назва операції та зміст переходів	Виконавчі розміри, мм та технічні вимоги
<b>005 Токарна з ЧПК (чорнова), Поверхні: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7</b>	
1. Установити, закріпити за пов. 11 штамповки.	Базування: зовнішня чорнова поверхня.
2. Точити торець пов. 1.	Торцева база (пов.1): $\varnothing 32_{-0,1}$
3. Розточити отвори:	Шорсткість $Ra_{6,3}$
– пов. 2 (центральний) на чисто;	Центр. отвір (пов.2): $\varnothing 60 H9_0^{+0,074}$
– пов. 4 на чорново;	Внутрішня камера (пов.4): $\varnothing 64 \pm 0,5$
– пов. 7 на чорново (під протяжку).	Отвір під шліци (пов.7): $\varnothing 31 H12_0^{+0,25}$
4. Формувати чорнові фаски та торці (пов. 3, 5, 6).	Чорнові пов.3–6: припуск 0,3–0,5 мм;
<b>010 Токарна з ЧПК (чистова), Поверхні: 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15</b>	
1. Установити на розтиск за пов. 2 та торець 1.	Реалізація принципу єдності баз.
2. Точити зовн. контур хвостовика та фланця:	Шорсткість $Ra_{2,5}$
– пов. 8 (зовнішній діаметр фланця)	Фланець (пов.8): $\varnothing 102_{-0,87}$
– пов. 11 (посадочна поверхня);	Хвостовик (пов.11): $\varnothing 64 h9_{-0,074}^0$
– пов. 13 (шийка).	Шийка (пов.13): $\varnothing 54_{-0,3}$
3. Обробка фасок та торців:	
– пов. 9 (вхід до шліців);	Фаска $2 \times 30^\circ$
– пов. 15 (хвостовик кінцево);	Торець (пов.15): $\varnothing 57_{-0,3}$
– фаски 10, 12, 14 кінцево.	Фаски (пов.10, 12, 14): $1,5 \times 45^\circ$
<b>015 Горизонтально-протяжна, Поверхня: 7</b>	
1. Установити за пов. 11 та торець 1.	Шорсткість $Ra_{1,6}$
2. Протягнути шліцевий профіль.	Профіль: $35 \times 2 \times 9H_0^{+0,052}$
<b>020 Свердлильна з ЧПК, Поверхня: 16</b>	
1. Установити за пов. 2 та торець 1.	Пневматичний затискний пристрій.
2. Свердлити 4 отвори із зенкуванням фасок.	$4 \times \varnothing 10,2_{+0,03}^{+0,12}$ , на $\varnothing 80 \pm 0,1$ з фаскою $1 \times 45^\circ$ Шорсткість $Ra_{3,2}$
<b>025 Горизонтально-фрезерна, Поверхні: 17, 18</b>	
1. Установити за пов. 2 та торець 1.	
2. Фрезерувати дві лиски одночасно.	Розмір $90h12_{-0,35}^0$ , Допуск: 0,15 Шорсткість $Ra_{6,3}$

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2 Обґрунтування та вибір різального інструменту

На основі аналізу конфігурації деталі «Фланець КС-4574А-20.14», її матеріалу (Сталь 45) та вимог до точності (IT9–IT11) і шорсткості поверхонь ( $Ra$  2,5...6,3), проведено вибір сучасного різального інструменту. Для виконання операцій на верстатах з ЧПК перевагу надано інструменту зі змінними багатограними твёрдосплавними пластинами, що забезпечує високу продуктивність та швидку переналадку [10, 11]. Узагальнені дані щодо обраного інструменту для кожної стадії обробки наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Рекомендовані інструменти за переходами

Назва та зміст переходу	Рекомендований інструмент
1	2
005 Токарна з ЧПК (чорнова)	
Торцювання торцевої бази (пов. 1)	Токарний різець <i>MTJNR 2525 M22 (Vorgen)</i> + пластина <i>TNMG 220408-TT8020 (Taegutec)</i> (рис. 2.3)
Розточування центрального отвору (пов. 2)	Державка <i>S25S-SCLCR-12 (Vorgen)</i> + пластина <i>CCMT 120404</i> (рис. 2.4)
Розточування внутрішньої камери (пов. 4)	Державка <i>S25S – DCLNR – 12 (Vorgen)</i> + пластина <i>CNMG 1204</i> (рис. 2.5)
Розточування отвору під шліци (пов. 7)	Державка <i>S16S-SCLCR-09 (Vorgen)</i> + пластина <i>CCMT 09T308</i> (рис. 2.4)
Формування чорнових фасок та торців (пов. 3–6)	Різець розточувальний <i>E20S SCLCR 09 (АККО)</i> + пластина <i>CCMT 09T304</i> (рис. 2.6)
010 Токарна з ЧПК (чистова)	
Чистове точіння зовнішнього контуру (пов. 8, 10, 11, 13, 14, 15)	Державка <i>MWLNR 2525 M08 (Vorgen)</i> + пластина <i>WNMG 080404</i> (рис. 2.7)
Обробка фасок та торців (пов. 9, 12)	Державка <i>SVJCR 2525 M16 (Vorgen)</i> + пластина <i>VCMT 160404</i> (рис. 2.8)

015 Горизонтально протяжна	
Протягування шліців (пов. 7)	Протяжка шліцева ДСТУ ГОСТ 24643:2009, модульна, Ø31 мм (рис. 2.9)
020 Свердлильна з ЧПК	
Свердління 4 отворів з фасками (пов. 16)	Комбіноване свердло <i>T-CHAMFER-100-32T1-09</i> (Taegutec DrillRush) (рис. 2.10)
025 Горизонтально-фрезерна	
Фрезерування двох лисок одночасно (пов.17, 18)	Фреза торцева дискова тристороння <i>VRDF – D80 × 18 – d27 – Z06</i> (Vorgen). + пластини <i>CCMT 120408</i> (рис. 2.11)

Вибір різального інструменту зумовлений необхідністю забезпечення заданої точності та мінімізації допоміжного часу на переналадку верстата.

### Операція 005. Токарна з ЧПК (чорнова).

Для торцювання базової поверхні (поверхня 1) застосовано токарний різець *MTJNR 2525 M22* (Vorgen) з пластиною *TNMG 220408* (рис. 2.3). Інструмент забезпечує точність IT9–10 та шорсткість *Ra 3,2 – 6,3*.

TECHNICAL DRAWING

TAKIM KODU ORDERING CODE	ÜRÜN KODU PRODUCT CODE	KATER ÖLÇÜLERİ DIMENSIONS (mm)	KESİCİ UÇ INSERT	YEDEK PARÇALAR SPARE PARTS
<b>MTJNR/L 93°</b>	Sol / Left    Sağ / Right	h    b    L    f		
MTJNR/L - 2020 - K16	VRM1165    VRM1228	20    20    125    25		
MTJNR/L - 2525 - M16	VRM1167    VRM1230	25    25    150    32	<b>TNM..</b> <b>16 04..</b>	VMP 03    VRV 01 M5    VRTN 16    VAV 08 M5    VRY 01    AA3
MTJNR/L - 3232 - P16	VRM1169    VRM1232	32    32    170    40		

Рисунок 2.3 - Токарний різець *MTJNR 2525 M22* з пластиною *TNMG 220408*

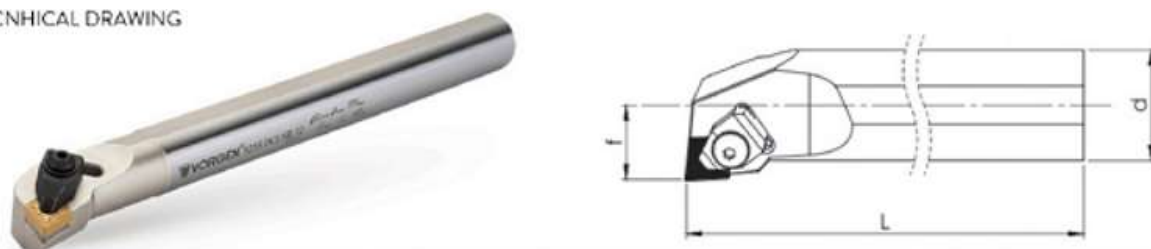
Розточування центрального отвору  $\varnothing 60H9$  (поверхня 2) виконується державкою *S25S-SCLCR-12* (Vorgen) з пластиною *CCMT 120404* (рис. 2.4), що гарантує чистову обробку з досягненням співвісності.



Рисунок 2.4 - Токарний різець серії *SCLCR/L 95°-XX* з пластиною *CCMT*

Для розточування внутрішньої камери  $\varnothing 64 \pm 0,5$  (поверхня 4) обрано державку *S25S-DCLNR-12* (Vorgen) з пластиною *CNMG 1204* (рис. 2.5), яка дозволяє стабільно знімати нерівномірний припуск.

TECNHICAL DRAWING



TAKIM KODU ORDERING CODE	ÜRÜN KODU PRODUCT CODE	KATER ÖLÇÜLERİ DIMENSIONS (mm)	KESİCİ UÇ INSERT	YEDEK PARÇALAR SPARE PARTS
<b>DCLNR/L 95°</b>	Sol Left / Sağ Right	d / h / L / f / Dmin		
S20R - DCLNR/L - 12	VRI1413 / VRI1588	20 / 18 / 200 / 13 / 25	VDP 02	VRV 01 M6
S25S - DCLNR/L - 12	VRI1415 / VRI1590	25 / 23 / 250 / 17 / 32	CNM.. 12 04..	VRV 01 M6
S32T - DCLNR/L - 12	VRI1417 / VRI1592	32 / 30 / 300 / 22 / 40	VDP 02	VRV 02 M6
S40U - DCLNR/L - 12	VRI1419 / VRI1594	40 / 37 / 350 / 27 / 50	VRCN 12	VAV 02 M5
S50V - DCLNR/L - 12	VRI1421 / VRI1596	50 / 47 / 420 / 35 / 63		VRV 01

Рисунок 2.5 – Токарний різець серії *S25S – DCLNR – 12* з пластиною *CNMG 1204*

Отвір під шліці  $\varnothing 31H12$  (поверхня 7) формується державкою *S16S SCLCR 09* (Vorgen) з пластиною *CCMT 09T308* (рис. 2.4).



Для фінішної обробки фасок у важкодоступних зонах біля бурта (поверхні 9, 12) застосовано різець *SVJCR 2525 M16* (Vorgen) з пластиною *VCMT 160404* (рис. 2.8), що забезпечує необхідний доступ інструмента без ризику зіткнення державки з тілом деталі.

TECHNICAL DRAWING

TAKIM KODU ORDERING CODE	ÜRÜN KODU PRODUCT CODE	KATER ÖLÇÜLERİ DIMENSIONS (mm)	KESİCİ UÇ INSERT	YEDEK PARÇALAR SPARE PARTS
<b>SVJCR/L</b>	<b>93°</b>	Sol / Left    Sağ / Right	h    b    L    f	    
SVLCR/L - 1616 - H16	VRS1523	VRS1524	16    16    100    20	
SVJCR/L - 2020 - K16	VRS1299	VRS1406	20    20    125    25	<b>VCM..</b> <b>VRT 07</b> <b>VRVB</b> <b>VAV 06</b> <b>T15</b> <b>16 04..</b> <b>M3,5x11</b> <b>16</b> <b>M5.05</b>
SVJCR/L - 2525 - M16	VRS1301	VRS1408	25    25    150    32	
SVJCR/L - 3232 - P16	VRS1303	VRS1410	32    32    170    40	

Рисунок 2.8 – Токарний різець *SVJCR 2525 M16* з пластиною *VCMT 160404*

### Операція 015 Горизонтально протяжна

Шліцьовий профіль (поверхня 7) формується евольвентною протяжкою згідно з ДСТУ ISO 4156-3:2003 (рис. 2.9), що є єдиним способом забезпечити необхідну точність шліцьового з'єднання в серійному виробництві.

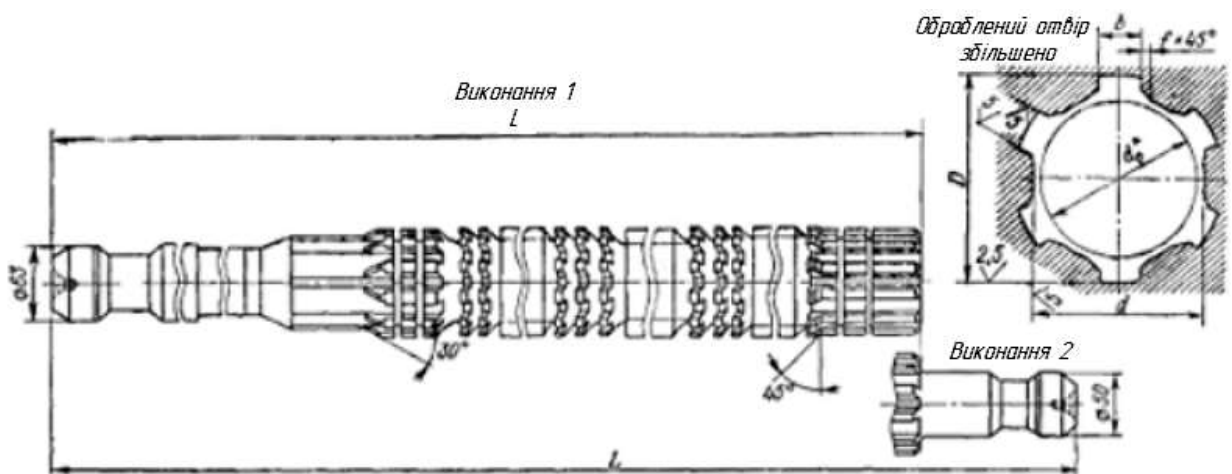


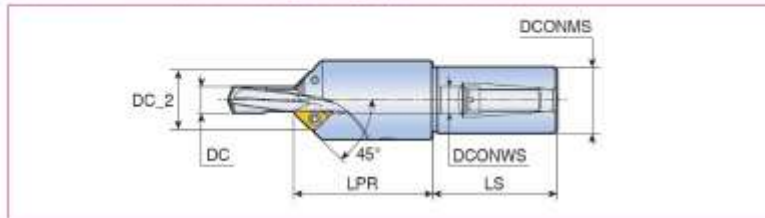
Рисунок 2.9 - Протяжка для шліцевих отворів  $D = 35 \times 2 \times 9H$ ;  $m = 2$ ;  $z = 8$ ;  $b = 6$  мм;  $L = 1500$  мм;  $d = 32$  мм

## Операція 020 Свердлильна з ЧПК.

Для свердління чотирьох отворів  $\varnothing 10,2$  мм з фасками (поверхня 16) обрано комбіноване свердло *T-CHAMFER DrillRush* (рис. 2.10), яке поєднує свердління та зняття фасок, скорочуючи кількість позицій інструменту в магазині верстата.

**TCHAMFER**

TCHAMFER...T1 : Drill holders of chamfering and drilling together for solid carbide drills



Designation	DCN	DCX	DCONMS	DC_2	DCONWS	LPR	LS
TCHAMFER 080-20T1-06	7.10	8.00	20.00	18.80	8.00	47.4	50.0
TCHAMFER 090-20T1-06	8.10	9.00	20.00	19.80	9.00	47.4	50.0
TCHAMFER 100-32T1-09	9.10	10.00	32.00	24.90	10.00	67.3	60.0
TCHAMFER 110-32T1-09	10.10	11.00	32.00	25.90	11.00	67.3	60.0

Рисунок 2.10 – Комбіноване свердло *T-CHAMFER DrillRush*  $\varnothing 10,2$  мм з фаскою  $45^\circ$

## Операція 025 Горизонтально-фрезерна.

Фрезерування лисок (поверхні 17, 18) виконується дисковою тристоронньою фрезою *VRDF-D80x18-d27-Z06* з пластинами *CCMT 120408* (рис. 2.11), яка за один робочий хід забезпечує високу площинність та точність лінійного розміру між лисками.

TAKIM KODU ORDERING CODE	ÜRÜN KODU PRODUCT CODE	TAKIM ÖLÇÜLERİ DIMENSIONS (mm)
<b>VRDF</b>		<b>Z</b> <b>Z1</b> <b>D</b> <b>b</b> <b>a</b> <b>d</b> <b>B</b>
VRDF - D80x16 - d27-Z06	VRT2929	6 3 80 16 17 27 20
VRDF - D100x16 - d32-Z08	VRT2930	8 4 100 16 25 32 20
VRDF - D125x16 - d40-Z10	VRT2931	10 5 125 16 35 40 20

Рисунок 2.11 – Фреза торцева дискова тристороння *VRDF – D80 × 18 – d27 – Z06* з пластиною *CCMT 120408*

## 2.3 Обґрунтування та призначення контрольно-вимірювальних інструментів

При виборі контрольно-вимірювального інструменту враховується тип виробництва, програма випуску, конструктивні розміри деталі та вимоги до точності. У серійному виробництві застосовуються як стандартні, так і спеціальні вимірні та контрольні інструменти. Для контролю розмірів і форми поверхонь деталі «Фланець КС-4574А-20.14» підібрано комплекс засобів вимірювання [6], наведений у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вибір контрольно-вимірювального інструменту

№ та назва операції	Назва і вид інструмента	Основні розміри, мм
005 Токарна з ЧПК	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,05 ДСТУ ISO 13385-1	$L = 63_{-0,6}$
	Калібр-пробка $\varnothing 52^{+0,6}$ ДСТУ ГОСТ 14810:2005 ПР і НЕ	$\varnothing 52^{+0,6}$
	Калібр-пробка $\varnothing 31^{+0,23}$ ДСТУ ГОСТ 14810:2005 ПР і НЕ	$\varnothing 31^{+0,23}$
010 Токарна з ЧПК	Калібр-скоба $\varnothing 54_{-0,3}$ ДСТУ ГОСТ 18360:2005 ПР і НЕ	$\varnothing 54_{-0,3}$
	Калібр-скоба $\varnothing 64_{-0,3}$ ДСТУ ГОСТ 18360:2005 ПР і НЕ	$\varnothing 64_{-0,3}$
	Калібр-скоба $\varnothing 102_{-0,87}$ ДСТУ ГОСТ 18360:2005 ПР і НЕ	$\varnothing 102_{-0,87}$
	Калібр-скоба $L = 73_{-0,6}$ ДСТУ ГОСТ 18360:2005 ПР і НЕ	$L = 73_{-0,6}$
015 Горизонтально протяжна	Калібр-пробка шліцева спеціальна $35 \times 2 \times 9H$ ДСТУ ISO 4156-3:2003	$35 \times 2 \times 9H$
020 Свердлильна з ЧПК	Калібр-пробка $\varnothing 10,2^{0,12}_{0,03}$ ДСТУ ГОСТ 14810:2005 ПР і НЕ	$\varnothing 10,2^{0,12}_{0,03}$
025 Горизонтально-фрезерна	Калібр-скоба $L = 90_{-0,35}$ ДСТУ ГОСТ 18360:2005 ПР і НЕ	$L = 90_{-0,35}$

## 2.4 Верстатне забезпечення токарних операцій

Для виготовлення деталі «Фланець КС-4574А-20.14» ми будемо використовувати токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі 16К20Ф3 [13]. 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.

Зовнішній вигляд верстату моделі 16К20Ф3 та його основні технічні характеристики наведені у Додатку А. Технічні характеристики інших верстатів у даній роботі не приводяться, оскільки вони стосуються інших видів обробки, що не входять до предмета дослідження.

## 2.5 Розрахунок режимів різання для технологічної операції

Розрахунок режимів різання виконується аналітичним способом для одного з переходів операції 005 «Токарна з ЧПК (чорнова)». Для інших переходів та операцій режими призначаються за нормативними даними та узагальнюються у таблиці 2.6. Методика базується на використанні емпіричних формул та отриманих експериментальним шляхом [22, 28, 29]. При визначенні параметрів враховуються розміри інструменту, матеріал його робочої частини, властивості заготовки та технічні характеристики обладнання.

В якості заготовки ми прийняли поковку зі сталі 45. Обробка буде виконуватись на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К20Ф3 з ЧПК. Закріплення заготовки здійснюється у трикулачковому патроні. Різальний інструмент підібрано згідно з таблицею 2.4, вимірний інструмент відповідає даним таблиці 2.5.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

### Перехід 1. Торцювання базової поверхні.

В якості різального інструменту обираємо токарний різець *MTJNR 2525 M22 (Vorgen)* з пластиною *TNMG 220408 TT8020 (Taegutec)*.

Глибина різання:

$$t = 1,6 \text{ мм}$$

Подача:

$$S_0 = 0,5 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot T^m}{t^x \cdot S_0^y} \cdot K_v \quad (2.1)$$

де  $C_v = 350$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,45$ ;  $m = 0,20$ ;  $T = 60$  хв.

Коефіцієнт  $K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv}$ .

$K_{mv} = 1,23$  (для Сталі 45);

$K_{nv} = 0,8$  (для поковки з кіркою);

$K_{iv} = 1,0$  (для пластини із покриттям).

$$K_v = 1,23 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,98$$

В результаті підстановки отримаємо:

$$V = \frac{350 \cdot 60^{0,20}}{1,6^{0,15} \cdot 0,5^{0,45}} \cdot 0,98 = 138,5 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.2)$$

де  $D = 102$  мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 138,5}{3,14 \cdot 102} \approx 432 \text{ об/хв}$$

Коригуємо по паспорту верстата:

$$n_{\text{кор}} = 400 \text{ об/хв}$$

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{кор}}}{1000} \quad (2.3)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 105 \cdot 400}{1000} = 128,1 \text{ м/хв}$$

Сила різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_0^y \cdot V_d^n \cdot K_r \quad (2.4)$$

де  $C_p = 300$ ;  $x = 1,0$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = -0,15$ ;  $K_r = 0,8$ .

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,6^{1,0} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 128,1^{-0,15} \cdot 0,8 \approx 1238 \text{ Н}$$

Потужність різання:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V_d}{60 \cdot 1000} \quad (2.5)$$

$$N_p = \frac{1238 \cdot 128,1}{60000} = 2,64 \text{ кВт}$$

Паспортна потужність верстата  $N_{\text{ел}} = 11 \text{ кВт}$ .

Умова виконується  $N_p < N_{\text{ел}}$ .

Машинний час:

$$T_0 = \frac{L}{S_0 \cdot n} \quad (2.6)$$

де  $L = 25 \text{ мм}$  (довжина проходу з урахуванням врізання)

$$T_0 = \frac{25}{0,5 \cdot 400} = 0,125 \text{ хв}$$

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Аналогічні розрахунки виконуються для переходів 2 і 3, результати яких разом із нормативними даними для інших операцій наведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір режимів різання

№ переходу	Глибина $t$ , мм	Подача $S_0$ , мм/об	Швидкість $V$ , м/хв	Частота $n$ , об/хв	Сила $P_z$ , Н	Основний час $T_0$ , хв
005-1	1,6	0,5	128,1	400	1238	0,13
005-2	1,5	0,45	114,3	710	1950	0,18
005-3	0,3	0,15	155,7	1600	2100	0,22
010-1	1,6	0,4	140,5	800	1080	0,30
010-2	0,5	0,15	160,0	1000	3800	0,45
015-1	2,0	0,1	6,0	–	2800	0,12
020-1	5,1	0,18	44,8	1400	1200	0,25
025-1	12,0	450	125,6	500	1500	0,21

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Розрахунок та обґрунтування параметрів комбінованого приводу головного руху

#### 3.1.1 Визначення вихідних технологічних вимог до приводу головного руху

Привод головного руху токарного верстата з ЧПК має забезпечувати обробку широкої номенклатури деталей. До цього спектра входять силові операції на великих діаметрах із важкорізальними матеріалами та високошвидкісні чистові переходи на малих діаметрах із легкорізальними сплавами. Поєднання таких вимог формує складність у проєктуванні, адже необхідно забезпечити високий крутний момент при низьких швидкостях і водночас можливість роботи на високих частотах обертання для досягнення високої точності та якості поверхні.

Для розрахунків у якості вихідних технологічних параметрів приймаємо:

- $D_{max} = 400$  мм – максимальний діаметр обробки;
- $D_{min} = 5$  мм – мінімальний діаметр обробки;
- $\sigma_B \geq 2000$  МПа – важкооброблюваний матеріал, сталь 43ХСНМВФА після гартування;
- $\sigma_B \approx 360$  МПа – легкооброблюваний матеріал, алюмінієвий сплав Д16Т.

Проведемо розрахунок теоретичних меж частот обертання шпинделя, при цьому розрахуємо мінімальну частоту при силовому різанні сталі:

$$n_{min}^{теор} = \frac{1000 \cdot V_{min}}{\pi \cdot D_{max}} \quad (3.1)$$

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Грицьків В.				Літ.	Арк.
Перевір.		Склярів Р.А.					Аркушів
Реценз.							36
Н. Контр.		Кабельник В. Р.					27
Затверд.		Крцпа В.В.			ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВс-41, м. Тернопіль		
КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА							

Мінімальна швидкість різання  $V_{min} = 8,5$  м/хв приймається на основі довідкових даних для нарізання різі у високоміцних гартованих сталях [28]. Таке значення забезпечує стійкість інструмента, запобігає перегріву та відповідає рекомендованим межах швидкостей ( $6 \div 12$  м/хв) для обробки матеріалів із межею міцності понад 2000 МПа.

$$n_{min}^{теор} = \frac{1000 \cdot 8,5}{3,14 \cdot 400} \approx 6,8 \text{ об/хв}$$

Розрахуємо максимальну частоту при чистовому точінні алюмінію:

$$n_{max}^{теор} = \frac{1000 \cdot V_{max}}{\pi \cdot D_{min}} \quad (3.2)$$

Алюмінієвий сплав Д16Т має відносно низьку міцність ( $\sigma_b \approx 360$  МПа) та високу пластичність, що дозволяє застосовувати значно більші швидкості різання порівняно з гартованими сталями. Для чистової обробки алюмінієвих сплавів рекомендовані швидкості становлять  $200 \div 300$  м/хв. У розрахунках прийнято усереднене значення  $V_{max} = 250$  м/хв, яке забезпечує оптимальний баланс між точністю, чистотою поверхні та продуктивністю процесу [28].

$$n_{max}^{теор} = \frac{1000 \cdot 250}{3,14 \cdot 5} \approx 15900 \text{ об/хв}$$

Визначаємо теоретичний діапазон регулювання:

$$R_{теор} = \frac{n_{max}^{теор}}{n_{min}^{теор}} \quad (3.3)$$

Після підстановки отримаємо:

$$R_{теор} = \frac{15900}{6,8} \approx 2350$$

Отримані значення показують, що верстат повинен забезпечувати діапазон частот від 6,8 до 15900 об/хв. Проте верхня межа є недосяжною для конструкції шпиндельного вузла та системи закріплення. Це обґрунтовує необхідність корекції розрахункових значень і прийняття реалістичного робочого діапазону.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

### 3.1.2 Корекція розрахункових значень та визначення робочого діапазону частот обертання шпинделя

З урахуванням конструктивних обмежень та практики верстатобудування приймаємо реалістичний робочий діапазон частот обертання шпинделя:

$$n_{min} = 6,3 \text{ об/хв}$$

$$n_{max} = 2500 \text{ об/хв}$$

Відповідно, робочий діапазон регулювання становить:

$$R_{роб} = \frac{n_{max}}{n_{min}} \quad (3.4)$$

Після підстановки отримаємо:

$$R_{роб} = \frac{2500}{6,3} \approx 397$$

Таким чином, прийнятий діапазон частот обертання забезпечує можливість виконання силових операцій на великих діаметрах та високошвидкісних чистових переходів на малих деталях, відповідаючи реальним конструктивним можливостям шпиндельного вузла та вимогам технологічного процесу.

### 3.1.3 Вибір електродвигуна для приводу головного руху

Вибір електродвигуна для приводу головного руху здійснюється на основі визначеного робочого діапазону частот обертання шпинделя та вимог до забезпечення необхідного крутного моменту при силовій обробці. Основними критеріями є відповідність потужності технологічним навантаженням, можливість роботи у широкому діапазоні частот, стабільність швидкості при змінних навантаженнях та сумісність із системою ЧПК.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

З урахуванням цих вимог обрано асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором 1PH7 131 NF фірми Siemens [12]. Його технічні характеристики приведені нижче:

- номінальна потужність  $P_{\text{ном}} = 11$  кВт;
- номінальна частота обертання  $n_{\text{ном}} = 500$  хв<sup>-1</sup>;
- максимальна частота обертання  $n_{\text{max}} = 6700$  хв<sup>-1</sup>;
- номінальний крутний момент  $M_{\text{кр.ном}} = 70$  Н·м.

Обрана модель двигуна забезпечує достатній запас потужності для силових режимів різання, широкий діапазон регулювання частоти обертання та високий номінальний крутний момент, необхідний для обробки деталей з важкорізальних матеріалів. Крім того, двигун сумісний із системами частотного регулювання, що дозволяє реалізувати плавне керування швидкістю та стабільність роботи при змінних навантаженнях.

Діапазон регулювання в зоні постійної потужності визначається як відношення максимальної частоти обертання до номінальної:

$$R_d = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{ном}}} \quad (3.5)$$

Підставивши дані отримаємо:

$$R_d = \frac{6700}{500} \approx 13,4$$

Отримане значення суттєво перевищує нормативне мінімальне ( $R_d > 8$ ), що підтверджує придатність двигуна для роботи у широкому діапазоні швидкостей без втрати потужності та дозволяє мінімізувати кількість механічних ступенів у коробці швидкостей.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

### 3.1.4 Розрахунок та обґрунтування параметрів комбінованого приводу головного руху

Загальний технологічний діапазон регулювання шпинделя, визначений у попередніх розрахунках, становить:

$$R_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{шп.маx}}}{n_{\text{шп.мін}}} \quad (3.6)$$

$$R_{\text{заг}} = \frac{2500}{6,3} \approx 397$$

Оскільки діапазон регулювання електродвигуна  $R_d = 13,4$  є меншим за необхідний технологічний  $R_{\text{роб}} \approx 397$ , для забезпечення повного покриття діапазону застосовується комбінована структура привода (див. рис. 3.1). Вона поєднує електронне регулювання частоти обертання двигуна та механічну коробку швидкостей, що дозволяє реалізувати двозонний режим роботи: у межах  $n < n_{\text{ном}}$  забезпечується регулювання з постійним моментом, а при  $n > n_{\text{ном}}$  – з постійною потужністю.

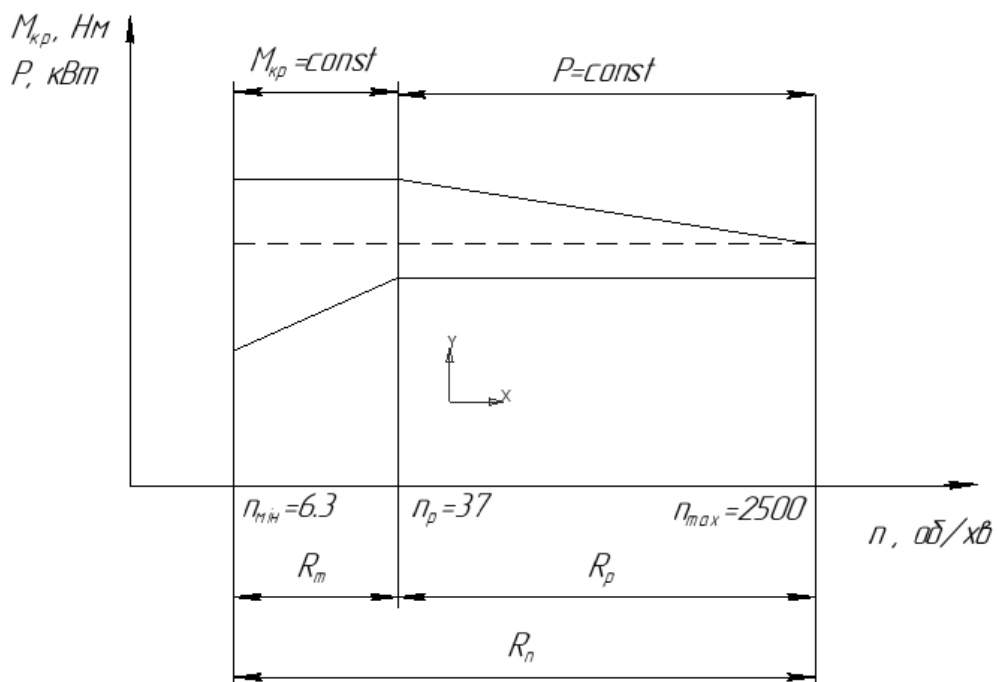


Рисунок 3.1 – Зони регулювання привода головного руху

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

На рисунку 3.1 показано зміну енергетичних параметрів привода головного руху (крутного моменту  $M_{кр}$  та потужності  $P$ ) залежно від частоти обертання шпинделя  $n$ . Комбіноване регулювання формує дві основні зони роботи:

Зона  $R_m$  (від  $n_{min} = 6,3$  до  $n_p = 37 \text{ хв}^{-1}$ ) – режим постійного крутного моменту ( $M_{кр} = const$ ), що використовується для силових чорнових операцій та нарізання різьб і шліців.

Зона  $R_p$  (від  $n_p = 37$  до  $n_{max} = 2500 \text{ хв}^{-1}$ ) – режим постійної потужності ( $P = const$ ), який забезпечує стабільну продуктивність при чистовій обробці та високошвидкісному точінні.

Загальний діапазон регулювання  $R_{II}$  охоплює всі технологічні потреби: від низькошвидкісних силових процесів до високошвидкісних фінішних переходів. Точка перегину  $n_p = 37 \text{ хв}^{-1}$  відповідає розрахунковому значенню, що забезпечує оптимальне поєднання характеристик електродвигуна Siemens та передавальних відношень коробки швидкостей.

Розрахункова частота переходу між зонами визначається як:

$$n_p^{теор} = \frac{n_{шп.мах}}{R_d} \quad (3.7)$$

Після підстановки отримаємо:

$$n_p^{теор} = \frac{2500}{13,4} \approx 186,6 \text{ хв}^{-1}$$

Теоретично розраховане значення  $n_p^{теор} \approx 186,6 \text{ хв}^{-1}$  не відповідає практиці верстатобудування, оскільки на низьких швидкостях необхідно забезпечити запас крутного моменту для силових операцій. Тому частоту переходу приймають із нормалізованого ряду частот ( $\varphi = 1,26$ ), що дозволяє узгодити кінематичну сітку з типовими параметрами та забезпечити технологічну гнучкість. Значення  $n_p = 31,5 \text{ хв}^{-1}$  є стандартним і гарантує оптимальне поєднання тягових можливостей двигуна та передавальних відношень коробки швидкостей.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Розрахуємо кількість груп передач для проєктованої коробки швидкостей, для цього скористаємось виразом:

$$m = \frac{\log\left(\frac{R_{\text{заг}}}{R_{\text{д}}}\right)}{\log(K_m)} \quad (3.8)$$

де  $\varphi = 1,26$  – стандартний знаменник ряду;

$K_m \leq 9$  – максимально допустима кількість інтервалів у групі.

Після підстановки отримаємо:

$$m = \frac{\log\left(\frac{397}{13,4}\right)}{\log(9)} \approx \frac{1,47}{0,74} \approx 1,99 \Rightarrow m = 2$$

Приймається двоступенева коробка швидкостей, що забезпечує низьку та високу гама швидкостей.

Для подальших розрахунків приймаємо стандартне значення знаменника геометричної прогресії  $\varphi = 1,26$ .

Для цього визначаємо кількість інтервалів у кінематичній сітці:

$$K_{\text{заг}} = \frac{\lg(R_{\text{заг}})}{\lg(\varphi)} \quad (3.9)$$

В результаті розрахунків отримаємо:

$$K_{\text{заг}} = \frac{\lg(397)}{\lg(1,26)} \approx 26$$

Згідно з конструктивними обмеженнями, кількість інтервалів у межах однієї групи передач не повинна перевищувати 9, тому приймаємо  $K_m = 9$ . Решта інтервалів компенсується електронним регулюванням двигуна.

Визначаємо фактичний діапазон коробки швидкостей:

$$R_{\text{ф.к}} = \varphi^{K_m} \cdot \sqrt{R_{\text{д}}} \quad (3.10)$$

$$R_{\text{ф.к}} = 1,26^9 \cdot \sqrt{13,4} \approx 31$$

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Тоді фактичний діапазон комбінованого привода буде становити:

$$R_{ф.п} = R_{ф.к} \cdot R_{д} \quad (3.11)$$

$$R_{ф.п} = 31 \cdot 13,4 \approx 415$$

Отримане значення  $R_{ф.п} \approx 415$  повністю перекриває необхідний технологічний діапазон  $R_{роб} \approx 397$ , що підтверджує правильність обраної структури привода.

### 3.1.5 Побудова сітки частот та графіка обертів

Для графічного відображення кінематики привода визначимо кількість інтервалів між максимальною частотою електродвигуна та шпинделя ( $K_1$ ), а також між межами частот шпинделя ( $K_2$ ).

Розрахунок проведемо за виразами:

$$K_1 = \frac{\lg\left(\frac{n_{ед.мах}}{n_{мах}}\right)}{\lg(\varphi)} \quad (3.12)$$

$$K_2 = \frac{\lg\left(\frac{n_{мах}}{n_{мін}}\right)}{\lg(\varphi)} \quad (3.13)$$

Підставивши у вирази попередньо розраховані значення отримаємо:

$$K_1 = \frac{\lg\left(\frac{6700}{2500}\right)}{\lg(1,26)} \approx 4,3 \Rightarrow \text{приймаємо } 4$$

$$K_2 = \frac{\lg\left(\frac{2500}{6,3}\right)}{\lg(1,26)} \approx 26$$

Загальна кількість інтервалів у кінематичній сітці буде становити:

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$K_{\text{заг}} = K_1 + K_2 \quad (3.14)$$

Розрахункове значення буде становити:

$$K_{\text{заг}} = 4 + 26 = 30$$

Відповідно до нормалі Н11-1, обираємо стандартний ряд частот обертання (від 6,3 до 8000  $\text{хв}^{-1}$ ). На основі цього ряду будується графік частот (рис. 3.2), який відображає передавальні відношення на кожному ступені регулювання та забезпечує плавне перекриття всього робочого діапазону.

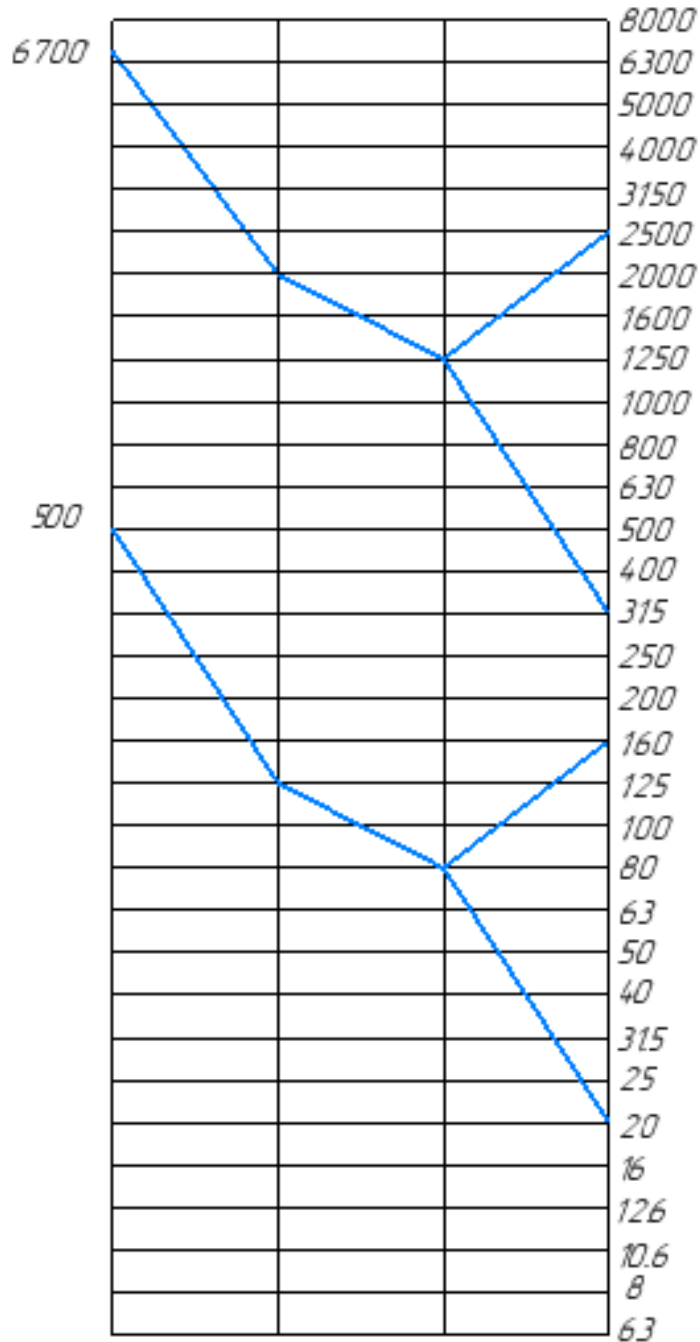


Рисунок 3.2 – Кінематична сітка приводу головного руху

### 3.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору поліклинової пасової передачі

Для передачі обертального руху від електродвигуна до вхідного валу коробки швидкостей у приводі головного руху застосовано поліклинову пасову передачу. Її використання обґрунтовується комплексом переваг, що мають вирішальне значення для верстатів з ЧПК. До таких переваг належать високий коефіцієнт корисної дії та плавність ходу, що забезпечують стабільність швидкості різання і високу якість поверхні; компактність конструкції порівняно з клинопасовими передачами аналогічної потужності; можливість роботи на шківках малого діаметра, що зменшує міжосьову відстань і габарити вузла; а також надійність і довговічність завдяки рівномірному розподілу навантаження між численними ребрами паса.

Вихідними даними для розрахунку пасової передачі є потужність електродвигуна  $N = 11$  кВт та частота обертання ведучого валу приводу верстата  $n_1 = 500$  хв<sup>-1</sup>.

Вибір діаметрів шківів здійснено з урахуванням вимог стандарту ДСТУ ISO 9982:2006 та кінематичних параметрів приводу [7]. Ведучий шків прийнято діаметром  $d_1 = 125$  мм, що перевищує мінімально допустиме значення для профілю  $PL$  ( $d_{\min} = 75$  мм) і забезпечує допустимий радіус згину паса. Ведений шків прийнято діаметром  $d_2 = 400$  мм. Такий вибір забезпечує оптимальне співвідношення між кінематичними характеристиками, навантажувальною здатністю та технологічністю виготовлення.

Передавальне число пасової передачі визначається:

$$i_{\text{пас}} = \frac{d_2}{d_1} \quad (3.16)$$

Розраховане значення передавального числа буде становити:

$$i_{\text{пас}} = \frac{400}{125} \approx 3,2.$$

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Тоді частота обертання вхідного валу коробки:

$$n_1 = \frac{n_{\text{ДВ}}}{i_{\text{пас}}} \quad (3.17)$$

Після підстановки отримаємо:

$$n_1 = \frac{500}{3,2} \approx 156 \text{ хв}^{-1}.$$

Розрахований крутний момент становить:

$$M_1 = \frac{9550 \cdot N \cdot \eta_{\text{пас}} \cdot \eta_{\text{підш}}}{n_1} \quad (3.18)$$

де  $\eta_{\text{пас}} = 0,95$  – ККД пасової передачі;

$\eta_{\text{підш}} = 0,99$  – ККД підшипників.

Підставивши дані отримаємо:

$$M_1 = \frac{9550 \cdot 11 \cdot 0,95 \cdot 0,99}{156} = 633,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Проведемо геометричний розрахунок пасової передачі.

Тоді розрахункова міжосьова відстань:

$$a_{\text{min}} = 0,55 \cdot (d_1 + d_2) + H \quad (3.19)$$

$$a_{\text{max}} = 2 \cdot (d_1 + d_2) \quad (3.20)$$

Розрахункові значення будуть відповідно становити:

$$a_{\text{min}} = 0,55 \cdot (125 + 400) + 9,5 \approx 298 \text{ мм},$$

$$a_{\text{max}} = 2 \cdot (125 + 400) = 1050 \text{ мм}.$$

Приймаємо орієнтовне значення  $a = 350$  мм.

Розрахункова довжина паса:

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$L_p \approx 2 \cdot a + \frac{\pi}{2} \cdot (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \cdot a} \quad (3.21)$$

$$L_p \approx 2 \cdot 350 + \frac{3,14}{2} \cdot (125 + 400) + \frac{(400 - 125)^2}{4 \cdot 350} \approx 1579 \text{ мм.}$$

Зі стандартного ряду довжин (R20) обираємо найближчу стандартну довжину:  $L = 1600$  мм.

Визначимо розрахункову швидкість паса:

$$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60 \cdot 1000} \quad (3.22)$$

Розрахункове значення буде становити:

$$v = \frac{3,14 \cdot 125 \cdot 500}{60000} \approx 3,27 \text{ м/с.}$$

Приймаємо значення кута охоплення малого шківa:  $\alpha_1 \approx 180^\circ$ .

Визначаємо кількість ребер в пасі.

Допустима потужність на одне ребро:

$$[N_1] = N'_0 \cdot C_\alpha \cdot C_L \cdot C_p \quad (3.23)$$

де  $N'_0 \approx 2,8$  кВт/ребро,

$$C_\alpha = 1,0;$$

$$C_L = 1,02;$$

$$C_p = 0,8.$$

$$[N_1] = 2,8 \cdot 1 \cdot 1,02 \cdot 0,8 = 2,28 \text{ кВт}$$

Необхідна кількість ребер:

$$z = \frac{N}{[N_1]} \quad (3.24)$$

$$z = \frac{11}{2,28} \approx 4,8 \Rightarrow z = 6.$$

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Приймається шків на 6 ребер, це забезпечує достатній запас міцності.

Проведемо конструкторський розрахунок шківів.

Ширина шківів:

$$B = (z - 1) \cdot p + 2 \cdot f \quad (3.25)$$

Розрахункове значення буде становити:

$$B = (6 - 1) \cdot 4,8 + 2 \cdot 5,5 = 34,5 \text{ мм.}$$

Проведемо розрахунок колової сили:

$$F_t = \frac{2 \cdot M_1}{d_1} \quad (3.26)$$

Після підстановки отримаємо:

$$F_t = \frac{2 \cdot 633,6}{0,4} \approx 3168 \text{ Н.}$$

Проведемо розрахунок попереднього натягу:

$$F_0 \approx 1,5 \cdot F_t \quad (3.24)$$

В результаті обчислень отримаємо:

$$F_0 \approx 1,5 \cdot 3168 \approx 4752 \text{ Н.}$$

Тоді значення сили у гілках:

$$S_1 \approx F_0 + \frac{F_t}{2} \quad (3.25)$$

$$S_2 \approx F_0 - \frac{F_t}{2} \quad (3.26)$$

Отримані розрахункові значення:

$$S_1 \approx 4752 + \frac{3168}{2} \approx 6336 \text{ Н}$$

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$S_2 \approx 4752 - \frac{3168}{2} \approx 3168 \text{ Н.}$$

Величина радіального навантаження:

$$F_R = 2 \cdot F_0 \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) \quad (3.27)$$

Величина радіального навантаження буде становити:

$$F_R = 2 \cdot 4752 \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{2}\right) \approx 9504 \text{ Н.}$$

### 3.3 Комплексний силовий та конструктивний розрахунок коробки швидкостей

#### 3.3.1 Визначення передавальних чисел та чисел зубців

Кінематична структура коробки швидкостей передбачає три зубчасті пари, які формують робочі діапазони (див. рис. 3.3).

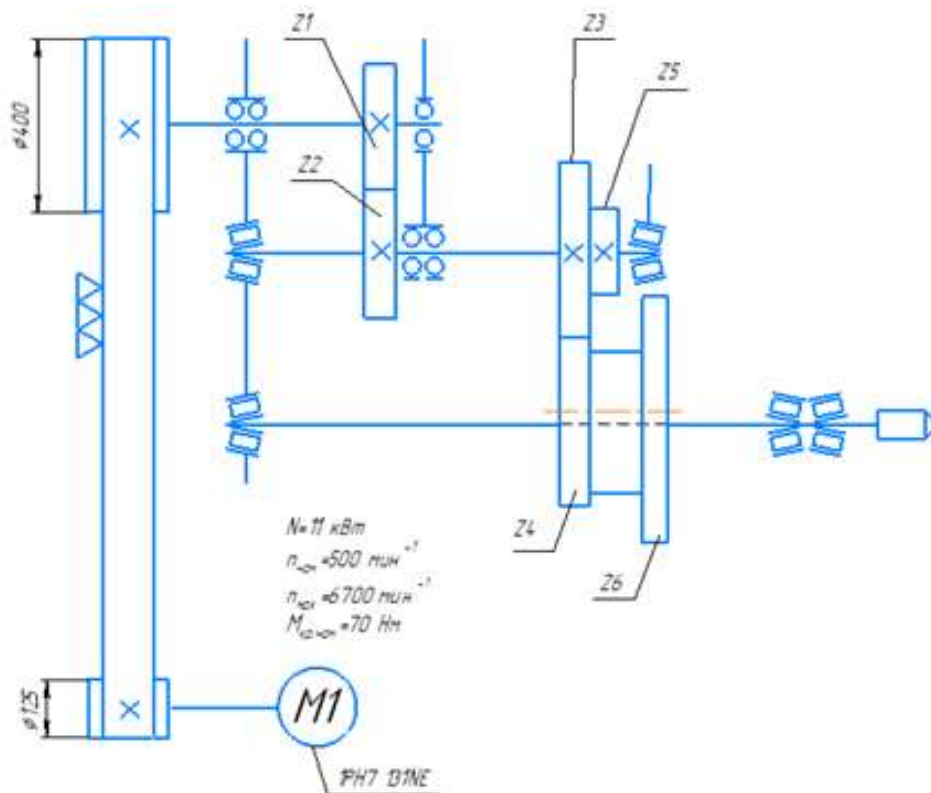


Рисунок 3.3 – Розрахункова кінематична схема приводу головного руху

На основі побудованого графіка частот обертання (див. рис. 3.2) визначено передавальні відношення для кожної складової привода головного руху. Кожна ланка має своє функціональне призначення у формуванні загального діапазону регулювання [15].

*Пасова передача* має передаточне число  $i_0 = 3,2$ . Вона виконує роль первинного редуктора, знижуючи частоту обертання електродвигуна та одночасно збільшуючи крутний момент на вхідному валу коробки швидкостей. Це дозволяє узгодити кінематичні параметри двигуна з робочими режимами шпинделя.

$$i_0 = \frac{D_1}{D_2} = \frac{125}{400} = 0,3125 \approx 0,31$$

*Перша понижувальна зубчаста передача* характеризується передаточним числом  $i_1 = 1,59$ .

Її функція полягає у формуванні нижньої гами швидкостей, необхідної для силових режимів різання, різьбонарізання та обробки деталей із важкорізальних матеріалів.

При сумі зубів  $\Sigma Z_1 = 80$  визначаємо:

$$z_2 = \frac{\Sigma Z_1 \cdot i_1}{i_1 + 1} = \frac{80 \cdot 1,59}{1,59 + 1} = \frac{127,2}{2,59} \approx 49 \quad (3.28)$$

$$z_1 = \Sigma Z_1 - z_2 = 80 - 49 = 31 \quad (3.29)$$

Фактичне передаточне число першої понижувальної передачі:

$$U_1 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{49}{31} \approx 1,58. \quad (3.30)$$

*Друга підвищувальна зубчаста передача* має передаточне число  $i_2 = 2,0$ . Вона забезпечує перехід до високошвидкісних режимів, що відповідають чистовій обробці, високоточним переходам та операціям, де критичною є якість поверхні.

При сумі зубів  $\Sigma Z_2 = 90$  визначаємо:

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$z_3 = \frac{\Sigma Z_2 \cdot i_2}{i_2 + 1} = \frac{90 \cdot 2,0}{2,0 + 1} = \frac{180}{3} = 60 \quad (3.31)$$

$$z_4 = \Sigma Z_2 - z_3 = 90 - 60 = 30 \quad (3.32)$$

Фактичне передаточне число другої підвищувальної передачі:

$$U_2 = \frac{z_3}{z_4} = \frac{60}{30} = 2,0. \quad (3.33)$$

Друга понижувальна (силова) передача повинна забезпечувати передаточне число  $i_3 = 4,0$ . Вона використовується у «силовому» діапазоні, коли необхідний значний запас моменту при мінімальних швидкостях обертання шпинделя. Це дозволяє виконувати чорнові операції на великих діаметрах із високим навантаженням.

При сумі зубів  $\Sigma Z_2 = 90$  визначаємо:

$$z_6 = \frac{\Sigma Z_2 \cdot i_3}{i_3 + 1} = \frac{90 \cdot 4,0}{4,0 + 1} = \frac{360}{5} = 72 \quad (3.34)$$

$$z_5 = \Sigma Z_2 - z_6 = 90 - 72 = 18 \quad (3.35)$$

Фактичне передаточне число другої понижувальної передачі:

$$U_3 = \frac{z_5}{z_6} = \frac{18}{72} = 0,25 \equiv i_3 = 4,0.$$

Отримані результати розрахунків для кожної передачі зведено у таблицю 3.1, де наведено задані передаточні числа, фактичні відношення та визначені числа зубів

Таблиця 3.1 - Передаточні числа та числа зубів

Передача	Сума зубів $\Sigma Z$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	Фактичне відношення
Перша понижувальна	80	31	49					$U_1 \approx 1,58$
Друга підвищувальна	90			60	30			$U_2 = 2,0$
Друга понижувальна	90					18	72	$U_3 = 0,25$

### 3.3.2 Розрахунок крутних моментів на валах приводу

Крутний момент на кожному наступному валу визначається через момент на попередньому валу, передавальне відношення відповідної ланки та ККД передач і підшипників.

#### 1. Вал I (вхідний вал коробки).

Момент на першому валу визначається з урахуванням втрат у пасовій передачі ( $\eta_{\text{пас}} = 0,95$ ) та на одній парі підшипників ( $\eta_{\text{підш}} = 0,99$ ):

$$M_1 = \frac{9550 \cdot P_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{пас}} \cdot \eta_{\text{підш}}}{n_1} \quad (3.36)$$

$$M_1 = \frac{9550 \cdot 11 \cdot 0,95 \cdot 0,99}{156} = 633,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

#### Вал II (проміжний вал).

Момент на другому валу залежить від того, яка пара зубчастих коліс задіяна (перша понижувальна  $i_1$  чи друга підвищувальна  $i_2$ ). Для силових розрахунків критичним є максимальний момент, який виникає при роботі через понижувальну передачу ( $U_1 \approx 1,58$ ):

$$M_{II} = M_1 \cdot U_1 \cdot \eta_{\text{зуб}} \cdot \eta_{\text{підш}} \quad (3.37)$$

де  $\eta_{\text{зуб}} = 0,97$  – ККД циліндричної зубчастої передачі.

$$M_{II} = 633,6 \cdot 1,58 \cdot 0,97 \cdot 0,99 \approx 961,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

#### 3. Вал III (шпиндель).

Максимальний крутний момент на шпинделі досягається при роботі через найбільш понижувальну силову пару ( $U_3 = 0,25$ , або  $i_3 = 4,0$ ):

$$M_{III} = M_{II} \cdot i_3 \cdot \eta_{\text{зуб}} \cdot \eta_{\text{підш}} \quad (3.38)$$

$$M_{III} = 961,8 \cdot 4,0 \cdot 0,97 \cdot 0,99 \approx 3692,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Отримані значення крутних моментів на валах привода головного руху наведено у таблиці 3.2, де показано частоти обертання, відповідні моменти та характеристику кожної ланки.

Таблиця 3.2 – Крутні моменти на валах привода

Вал	Частота обертання $n, \text{хв}^{-1}$	Крутний момент $M, \text{Н} \cdot \text{м}$	Характеристика ланки
Вал двигуна	500	70	<i>Siemens 1PH7</i>
Вал I	156	633,6	Пасова передача $i_0 = 3,2$
Вал II	98,7	961,8	Понижувальна пара $z_1/z_2$
Шпиндель	24,7	3692,8	Силова пара $z_5/z_6$

### 3.3.3 Визначення модуля зубчастих передач верстата

При розрахунку зубчастих передач верстатів модулі визначаються не лише виходячи з міцності зубів на вигин ( $m_{зг}$ ), але й з умови витривалості поверхневих шарів за контактними напруженнями ( $m_{пов}$ ).

Проведемо розрахунок модулів, для цього скористаємось виразами [15]:

$$m_{пов} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot N \cdot k}{b \cdot z \cdot [\sigma_{пов}]^2 \cdot \psi_0 \cdot n \cdot y \cdot i}} \quad (3.39)$$

де  $z$  – число зубів лімітуючого колеса;

$[\sigma_{пов}]$  – допустиме контактне напруження за витривалістю поверхневих шарів, МПа;

$N$  – потужність, яка реально передається на дану передачу з урахуванням усіх втрат, кВт;

$n$  – розрахункова частота обертання меншого колеса,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$y$  – коефіцієнт форми зуба (при  $z = 20 \dots 60$ ,  $y = 0,243 \div 0,268$ );

$i$  – передаточне відношення (для понижувальних передач береться величина, обернена до передаточного числа);

$b$  – ширина зубчастого вінця, мм;

$\psi_0$  – коефіцієнт ширини вінця (при симетричному розташуванні і жорстких валах

$\psi_0 = 0,7 \div 1,6$ ; при консольному розташуванні  $\psi_0 = 0,4 \div 0,6$ );

$k$  – коефіцієнт навантаження.

$$N = N_H \cdot \eta_i$$

де  $N_H$  – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$\eta_i$  – ККД від електродвигуна до розрахункової передачі.

$$k = k_d \cdot k_k \cdot k_r$$

де  $k_d = 1,1 \div 1,2$  – коефіцієнт динамічного навантаження;

$k_k = 1,2 \div 1,4$  – коефіцієнт концентрації навантаження;

$k_r = 1,1 \div 1,3$  – коефіцієнт режиму.

Допустимі контактні напруження визначаються за формулою:

$$[\sigma_{\text{пов}}] = \frac{\sigma_{0\text{пов}}}{S_n}$$

де  $\sigma_{0\text{пов}}$  – межа контактної витривалості матеріалу (шестерні або колеса);

$S_n = 1,1$  – коефіцієнт запасу міцності при розрахунку на контактну витривалість.

Для матеріалу Сталь 40Х при об'ємній закалці твердість становить HRC 45 ÷ 55, що забезпечує необхідні значення  $\sigma_{0\text{пов}}$ .

Для розрахунку модуля за міцністю на вигин скористаємось виразом:

$$m_{\text{зг}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot N \cdot k}{b \cdot z \cdot [\sigma_{\text{зг}}]^2 \cdot \psi_0 \cdot n \cdot y \cdot i}} \quad (3.40)$$

де  $[\sigma_{\text{зг}}]$  – допустиме напруження на вигин, МПа,

$$[\sigma_{\text{зг}}] = \frac{\sigma_{0\text{зг}}}{S_u}$$

де  $\sigma_{0\text{зг}}$  – межа витривалості матеріалу на вигин;

$S_u = 1,75$  – коефіцієнт запасу міцності при розрахунку на вигин.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розраховані значення модуля для пар зубчастих передач наведено у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Розраховані значення модуля зубчастих передач верстата

Параметр	Перша понижувальна	Друга підвищувальна	Друга понижувальна
$\Sigma Z$	80	90	90
$z$ (лімітуюче)	31	30	18
$n, \text{хв}^{-1}$	156	98,7	24,7
$i$	1,59	2,0	4,0
$b, \text{мм}$	30	30	30
$[\sigma_{\text{пов}}], \text{МПа}$	1000	1000	1000
$[\sigma_{\text{зг}}], \text{МПа}$	343	343	343
$m_{\text{пов}}, \text{мм}$	3,8	3,7	3,9
$m_{\text{зг}}, \text{мм}$	4,1	4,0	4,2
Остаточний $m, \text{мм}$	4	4	4

### 3.3.4 Геометричний розрахунок зубчастих коліс

Геометричний розрахунок зубчастих коліс є необхідним етапом при проектуванні передач, оскільки він визначає основні конструктивні параметри, що забезпечують правильну роботу механізму та відповідність міжосьових відстаней. Для прямозубих коліс основні геометричні величини визначаються за наступними формулами:

Розрахункове значення ділильного діаметру:

$$d = m \cdot z \quad (3.41)$$

Розрахункове значення зовнішнього діаметру колеса:

$$d_a = m \cdot (z + 2) \quad (3.42)$$

Розрахункове значення внутрішнього діаметру (діаметру западин):

$$d_f = m \cdot (z - 2,5) \quad (3.43)$$

Розрахункове значення міжосьової відстані:

$$a = (d_1 + d_2)/2 \quad (3.44)$$

де  $m$  – модуль зубчастого колеса, мм;

$z$  – число зубів колеса;

$d$  – ділительний діаметр;

$d_a$  – зовнішній діаметр;

$d_f$  – діаметр западин;

$a$  – міжосьова відстань між колесами пари.

При проведенні розрахунків скористаємось пакетом математичних розрахунків MathCAD [36], який дозволяє виконувати параметричні обчислення, автоматично формувати залежності та перевіряти коректність отриманих результатів. Результати розрахунків зведені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Геометричні параметри зубчастих коліс приводу головного руху

Параметр	Перша передача	Друга передача	Третя передача
$z_1$	31	60	18
$z_2$	49	30	72
$d_1$ , мм	124	240	72
$d_2$ , мм	196	120	288
$d_{a_1}$ , мм	132	248	80
$d_{a_2}$ , мм	204	128	296
$d_{f_1}$ , мм	114	230	62
$d_{f_2}$ , мм	188	110	278
$a$ , мм	160	180	180

### 3.3.5 Проектний розрахунок діаметрів валів коробки швидкостей та шпинделя

Для першої пари зубчастих коліс коробки швидкостей ( $z_1 = 31$ ,  $z_2 = 49$ ) ми прийняли матеріал сталь *18X2H4MA*, яка після цементації та гартування забезпечує твердість поверхневого шару *HRC 58 ... 62*. Такий вибір обумовлений високими вимогами до навантажувальної здатності передач при обмежених габаритах вузла.

Допустимі напруження для розрахунку становлять:

$$[\sigma_{\text{пов}}] = 1500 \text{ МПа}, [\sigma_{\text{зг}}] = 700 \text{ МПа}$$

Для виконання розрахунків зубчастих передач використано спеціалізований програмний пакет «Комплекс інженерних розрахунків», який дозволяє автоматизувати процес визначення геометричних параметрів, силових характеристик та перевірки міцності зубів.

На рис. 3.4 наведено результати конструкторського розрахунку зубчастих коліс, що включають визначення ділільних діаметрів, міжосьових відстаней, ширини вінців та сил у зачепленні.

Розрахунок зубчастих коліс  
ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ДОВІДКА ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД


ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	
Ном. частота обертання шестерні (1/хв)	156
Макс. частота обертання колеса (1/хв)	781
Потужність передачі (кВт)	10.34
Кут нахилу зуба (градуси)	0
Відношення ширини зубч. вінця до діаметру	0.21
Передаточне відношення	0.633
Ступінь точності передачі	6

МАТЕРІАЛ	
Допустимі контактні напруги (МПа)	1500
Допустимі напруги на згин (МПа)	700


СХЕМА ВСТАНОВЛЕННЯ

Код встановлення 2

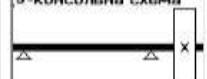
1- симетрична схема



2- асиметрична схема



3- консольна схема



Прийняті позначення в таблиці результатів розрахунків:  
 $Z_1$  - число зубів шестерні  
 $Z_2$  - число зубів колеса  
 $m_k$  - розрахунковий модуль по контактних напругах  
 $m_b$  - розрахунковий модуль по напругах на згин  
 $m_{st}$  - стандартний модуль  
 $a_w$  - міжосьова відстань  
 $b_w$  - ширина зубчастого вінця  
 $v_{\text{max}}$  - колова швидкість на шестерні  
 $d_{w1}$  - ділільний діаметр шестерні  
 $d_{w2}$  - ділільний діаметр колеса  
 $F_t$  - тангенціальна сила в зачепленні  
 $F_r$  - радіальна сила в зачепленні  
 $F_o$  - осьова сила в зачепленні

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ												
$z_1$	$z_2$	$m_k, \text{мм}$	$m_b, \text{мм}$	$m_{st}, \text{мм}$	$a_w, \text{мм}$	$b_w, \text{мм}$	$v_{\text{max}}, \text{м/с}$	$d_{w1}, \text{мм}$	$d_{w2}, \text{мм}$	$F_t, \text{Н}$	$F_r, \text{Н}$	$F_o, \text{Н}$
22	35	5.240	4.761	5	142.50	23.10	4.50	110	175	11515	4189	0
23	37	5.012	4.609	5	150.00	24.15	4.70	115	185	11014	4007	0
24	38	4.803	4.468	5	155.00	25.20	4.90	120	190	10555	3840	0
25	40	4.611	4.338	4.5	146.25	23.63	4.60	112.5	180	11259	4096	0
26	41	4.434	4.218	4.5	150.75	24.57	4.78	117	184.5	10826	3938	0
27	43	4.269	4.106	4.5	157.50	25.52	4.97	121.5	193.5	10425	3792	0
28	44	4.117	4.001	4	144.00	23.52	4.58	112	176	11309	4114	0
29	46	3.975	3.903	4	150.00	24.36	4.74	116	184	10919	3972	0
30	48	3.843	3.811	4	156.00	25.20	4.90	120	192	10555	3840	0
31	49	3.719	3.724	4	160.00	26.04	5.07	124	196	10215	3716	0
32	51	3.602	3.642	3.5	145.25	23.52	4.58	112	178.5	11309	4114	0
33	52	3.493	3.564	3.5	148.75	24.26	4.72	115.5	182	10967	3989	0

Рисунок 3.4 – Конструкторський розрахунок для пари зубчастих коліс  $z_1 = 31$  та  $z_2 = 49$



Розрахунок зубчастих коліс

ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ДОВІДКА ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	
Ном. частота обертання шестерні (1/хв)	98,7
Макс. частота обертання колеса (1/хв)	494
Потужність передачі (кВт)	10.04
Кут нахилу зуба (градуси)	0
Відношення ширини зубч. вінця до діаметру	0.25
Передаточне відношення	0,5
Ступінь точності передачі	6

МАТЕРІАЛ	
Допустимі контактні напруги (МПа)	1500
Допустимі напруги на згин (МПа)	700

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ												
z1	z2	mk, мм	mi, мм	mст, мм	aw, мм	bw, мм	vmax, м/с	dw1, мм	dw2, мм	Ft, Н	Fr, Н	Fo, Н
20	40	6,116	5,594	6	180,00	30,00	3,10	120	240	16199	5893	0
21	42	5,825	5,393	6	189,00	31,50	3,26	126	252	15428	5612	0
22	44	5,560	5,210	5,5	181,50	30,25	3,13	121	242	16065	5844	0
23	46	5,318	5,043	5,5	189,75	31,63	3,27	126,5	253	15367	5590	0
24	48	5,097	4,889	5	180,00	30,00	3,10	120	240	16199	5893	0
25	50	4,893	4,747	5	187,50	31,25	3,23	125	250	15551	5657	0
26	52	4,705	4,616	4,5	175,50	29,25	3,02	117	234	16615	6044	0
27	54	4,530	4,493	4,5	182,25	30,38	3,14	121,5	243	15999	5820	0
28	56	4,369	4,378	4,5	189,00	31,50	3,26	126	252	15428	5612	0
29	58	4,218	4,271	4,5	195,75	32,63	3,37	130,5	261	14896	5419	0
30	60	4,077	4,170	4	180,00	30,00	3,10	120	240	16199	5893	0
31	62	3,946	4,075	4	186,00	31,00	3,21	124	248	15677	5703	0

Рисунок 3.6 – Конструкторський розрахунок для пари зубчастих коліс  $z_3 = 60$  та  $z_4 = 30$

На рис. 3.7 представлено перевірочний розрахунок, який підтверджує працездатність передачі та відповідність її параметрів вимогам міцності при тривалому циклічному навантаженні.

Проведемо розгляд (силової) групи передач, яка працює на найнижчих обертах шпинделя та передає максимальний крутний момент. Для цього використовується пара зубчастих коліс з числами зубів  $z_5 = 18$  та  $z_6 = 72$ .

Дана передача є критичним вузлом конструкції, оскільки мала кількість зубів шестерні ( $z_5 = 18$ ) підвищує ризик зламу та потребує особливої уваги до перевірки міцності. Для даної пари коліс також проведемо автоматизований розрахунок.

На рис. 3.8 наведено результати конструкторського розрахунку для пари зубчастих коліс  $z_5 = 18$  та  $z_6 = 72$ .

ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ  
ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД

Число зубів шестерні	30
Число зубів колеса	60
Модуль передачі, мм	4
Ширина зубчастого вінця, мм	30
Крутний момент, Нм	972
Частота вращения шестерни, об/мин	98,7

Розрахунок на контактну витривалість		Розрахунок на витривалість на згин	
Коефіцієнт торцевого перекриття	1,720	Коефіцієнт форми зуба	3,800
Коефіцієнт довжини контактних ліній	0,872	Коефіцієнт перекриття зубів	1,000
Коефіцієнт розподілення навантаження	1,074	Коефіцієнт розподілення навантаження	1,127
Коефіцієнт впливу виду передачі	0,010	Коефіцієнт впливу передачі	0,011
Коефіцієнт впливу різниці кроків	53	Коефіцієнт впливу різниці кроків	53
Колова швидкість мередачі, м/с	0,620	Колова швидкість передачі, м/с	0,620
Питома колова динамічна сила, Н/мм	3,12	Питома колова динамічна сила, Н/мм	3,43
Коефіцієнт динамічного навантаження	1,005	Коефіцієнт динамічного навантаження	1,006
Питома розрахункова колова сила, Н/мм	583,100	Питома розрахункова колова сила, Н/мм	611,912
Діючі контактні напруги, МПа	1135,002	Діючі згинні напруги, МПа	581,308
Допустимі контактні напруги, МПа	1500	Допустимі згинні напруги, МПа	700

Рисунок 3.7 – Перевірочний розрахунок для пари зубчастих коліс  $z_3 = 60$  та  $z_4 = 30$

Розрахунок зубчастих коліс

ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ДОВІДКА ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ		СХЕМА ВСТАНОВЛЕННЯ										
Ном. частота обертання шестерні (1/хв)	98,7	Код встановлення 2										
Макс. частота обертання колеса (1/хв)	494	1- симетрична схема										
Потужність передачі (кВт)	10,04	2- асиметрична схема										
Кут нахилу зуба (градуси)	0	3- консольна схема	<p>Прийняті позначення в таблиці результатів розрахунків:</p> <p>Z1 - число зубів шестерні Z2 - число зубів колеса mk - розрахунковий модуль по контактних напругах mi - розрахунковий модуль по напругах на згин mст - стандартний модуль aw - міжосьова відстань bw - ширина зубчастого вінця vmax - колова швидкість на шестерні dw1 - дільний діаметр шестерні dw2 - дільний діаметр колеса Ft - тангенціальна сила в зачепленні Fr - радіальна сила в зачепленні Fo - осьова сила в зачепленні</p>									
Відношення ширини зубч. вінця до діаметру	0,9											
Передаточне відношення	0,25											
Ступінь точності передачі	6											
МАТЕРІАЛ												
Допустимі контактні напруги (МПа)	1500											
Допустимі напруги на згин (МПа)	700											
РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ												
z1	z2	mk, мм	mi, мм	mст, мм	aw, мм	bw, мм	vmax, м/с	dw1, мм	dw2, мм	Ft, Н	Fr, Н	Fo, Н
17	68	4,383	4,086	4,5	191,25	68,85	1,98	76,5	306	25411	9244	0
18	72	4,139	3,917	4	180,00	64,80	1,86	72	288	26999	9821	0
19	76	3,921	3,759	4	190,00	68,40	1,96	76	304	25578	9304	0
20	80	3,725	3,615	4	200,00	72,00	2,07	80	320	24299	8839	0
21	84	3,548	3,486	3,5	183,75	66,15	1,90	73,5	294	26448	9621	0
22	88	3,387	3,368	3,5	192,50	69,30	1,99	77	308	25246	9184	0
23	92	3,239	3,260	3,5	201,25	72,45	2,08	80,5	322	24148	8784	0
24	96	3,104	3,160	3,5	210,00	75,60	2,17	84	336	23142	8418	0

Рисунок 3.8 – Конструкторський розрахунок для пари зубчастих коліс  $z_5 = 18$  та  $z_6 = 72$

На рис. 3.9 представлено перевірочний розрахунок, який підтверджує працездатність передачі та відповідність її параметрів вимогам міцності при тривалому циклічному навантаженні.

ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ  
ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД

Число зубів шестерні	18
Число зубів колеса	72
Модуль передачі, мм	4
Ширина зубчастого вінця, мм	65
Крутний момент, Нм	972
Частота вращения шестерни, об/мин	98,7

Розрахунок на контактну витривалість		Розрахунок на витривалість на згин	
Коефіцієнт торцевого перекриття	1,658	Коефіцієнт форми зуба	4,199
Коефіцієнт довжини контактних ліній	0,884	Коефіцієнт перекриття зубів	1,000
Коефіцієнт розподілення навантаження	1,301	Коефіцієнт розподілення навантаження	1,525
Коефіцієнт впливу виду передачі	0,010	Коефіцієнт впливу передачі	0,011
Коефіцієнт впливу різниці кроків	53	Коефіцієнт впливу різниці кроків	53
Колова швидкість мередачі, м/с	0,372	Колова швидкість передачі, м/с	0,372
Питома колова динамічна сила, Н/мм	1,32	Питома колова динамічна сила, Н/мм	1,45
Коефіцієнт динамічного навантаження	1,002	Коефіцієнт динамічного навантаження	1,002
Питома розрахункова колова сила, Н/мм	541,772	Питома розрахункова колова сила, Н/мм	634,871
Діючі контактні напрути, МПа	1306,814	Діючі згинні напрути, МПа	666,411
Допустимі контактні напрути, МПа	1500	Допустимі згинні напрути, МПа	700

Рисунок 3.9 – Перевірочний розрахунок для пари зубчастих коліс  $z_5 = 18$  та  $z_6 = 72$

На основі проведених автоматизованих розрахунків геометричних параметрів та перевірки міцності зубчастих передач розроблено конструкцію коробки швидкостей. Вона враховує результати конструкторського та перевірконого розрахунків для першої та другої пари зубчастих коліс, а також узгоджена з проєктними розрахунками діаметрів валів і шпинделя.

Готова конструкція коробки швидкостей наведена у графічній частині роботи, де відображено взаємне розташування валів, зубчастих коліс та опорних елементів.

### 3.4 Розробка конструкції механізму затиску деталі

Для закріплення деталей типу фланець на токарному верстаті застосовується токарний патрон з електромеханічним приводом, який поєднує механічну точність із автоматизованим керуванням процесом затиску.

Конструкція патрона забезпечує рівномірний розподіл зусилля затиску по колу завдяки трикулачковій схемі закріплення. Електромеханічний привід трансформує електричну енергію у механічне зусилля, що гарантує стабільність та повторюваність процесу. Наявність змінних кулачків дозволяє адаптувати патрон до різних геометричних параметрів заготовок, забезпечуючи універсальність та технологічну гнучкість. Система блокування виключає можливість випадкового розтиску під час роботи, що відповідає вимогам безпеки та стандартам точності.

Принцип дії полягає у тому, що після подачі керуючого сигналу електромеханічний привід активує механізм кулачків, які синхронно переміщуються та здійснюють затиск деталі. Така схема забезпечує високу точність центрування та мінімізує похибки при подальшій обробці.

Конструкція даного механізму приведена в графічній частині кваліфікаційної роботи.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Організація управління охороною праці на підприємстві

Відповідно до Закону України «Про охорону праці» [9] роботодавець зобов'язаний створювати у кожному структурному підрозділі та на кожному робочому місці умови праці, що відповідають вимогам чинних нормативних актів, а також гарантувати дотримання прав працівників у сфері охорони праці. З цією метою на підприємстві забезпечується функціонування системи управління охороною праці, яка інтегрується у загальну систему управління виробництвом [26].

Роботодавець формує відповідні служби та призначає посадових осіб, відповідальних за вирішення питань охорони праці. Для них затверджуються інструкції, що визначають обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених функцій. У співпраці з профспілковими організаціями розробляються та реалізуються комплексні заходи, спрямовані на дотримання встановлених нормативів, впровадження сучасних технологій, досягнень науки і техніки, засобів механізації та автоматизації виробництва, а також вимог ергономіки та позитивного досвіду у сфері безпеки праці.

Особлива увага приділяється усуненню причин, що можуть призвести до нещасних випадків або професійних захворювань. Роботодавець контролює виконання профілактичних заходів, визначених комісіями за результатами розслідувань, організовує проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці та атестації робочих місць на відповідність нормативним актам. На основі отриманих результатів вживаються заходи для усунення небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Грицьків В.</i>			<b>БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Окіпний І.Б.</i>					63	8
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВс-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Кантр.</i>		<i>Кабельник В. Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						

У межах підприємства розробляються та затверджуються положення, інструкції й інші нормативні документи з охорони праці, які встановлюють правила виконання робіт та поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках і робочих місцях. Працівники забезпечуються цими документами безкоштовно. Постійний контроль здійснюється за дотриманням технологічних процесів, правил експлуатації машин та устаткування, використанням засобів колективного й індивідуального захисту. Важливим напрямом діяльності є пропаганда безпечних методів праці.

За рахунок коштів підприємства організуються медичні огляди працівників, зайнятих на важких роботах або роботах зі шкідливими та небезпечними умовами праці. Огляди проводяться при прийомі на роботу, періодично протягом трудової діяльності, у випадках професійного відбору, а також щорічно для осіб віком до 21 року.

Служба охорони праці входить до структури підприємства як одна з основних виробничо-технічних служб і може бути ліквідована лише у випадку ліквідації самого підприємства. Вона підпорядковується безпосередньо роботодавцю і залежно від чисельності працівників може функціонувати як самостійний підрозділ або у вигляді одного спеціаліста, у тому числі за сумісництвом. Комплектування служби здійснюється фахівцями з вищою освітою та стажем роботи за профілем виробництва не менше трьох років.

При створенні служби враховується сфера діяльності підприємства та кількість працівників. Якщо чисельність перевищує п'ятдесят осіб, роботодавець зобов'язаний створити службу охорони праці. На підприємствах із меншою чисельністю функції можуть виконуватися за сумісництвом або передаватися стороннім спеціалістам на договірних засадах. Керівники та спеціалісти служби охорони праці прирівнюються за посадою і заробітною платою до керівників та спеціалістів основних виробничо-технічних служб. Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення вимог законодавства у сфері охорони праці.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64

Організаційна структура системи управління охороною праці формується на основі діючої структури управління виробництвом і підпорядковується загальним принципам управління. Координація робіт здійснюється шляхом розподілу обов'язків та визначення порядку взаємодії осіб, структурних підрозділів і служб, що беруть участь у реалізації завдань системи. Для нормального функціонування наказом роботодавця розподіляються функції між керівними та виконавчими службами і підрозділами.

Управління охороною праці здійснюється не лише штатними посадовими особами та структурними підрозділами, але й комісією з питань охорони праці, створеною рішенням трудового колективу та профспілкової організації. До роботи залучаються також уповноважені представники трудових колективів структурних підрозділів підприємства, що забезпечує комплексний підхід до реалізації завдань у сфері охорони праці.

#### **4.2 Вентиляція та кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях**

Організація повітрообміну у виробничих приміщеннях здійснюється відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [1], які визначають допустимі параметри температури, вологості та швидкості руху повітря. У системах механічної вентиляції переміщення повітря забезпечується вентиляторами, що дозволяє підтримувати нормативні умови мікроклімату та створювати безпечне середовище для працівників.

На машинобудівних підприємствах найбільшого поширення набула комбінована вентиляція, яка поєднує загальнообмінну припливно-витяжну систему з локальними засобами видалення забруднень. Конструкція та вимоги до таких систем регламентуються ДСТУ Б А.3.2-12:2009 «Системи вентиляційні. Загальні вимоги» [8]. Припливна частина включає повітрязабірний пристрій, фільтр для очищення повітря від пилу, калорифери для підігріву, вентилятор, систему повітроводів та припливні насадки. Схему комбінованої механічної вентиляції [26] наведено на рис. 4.1.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

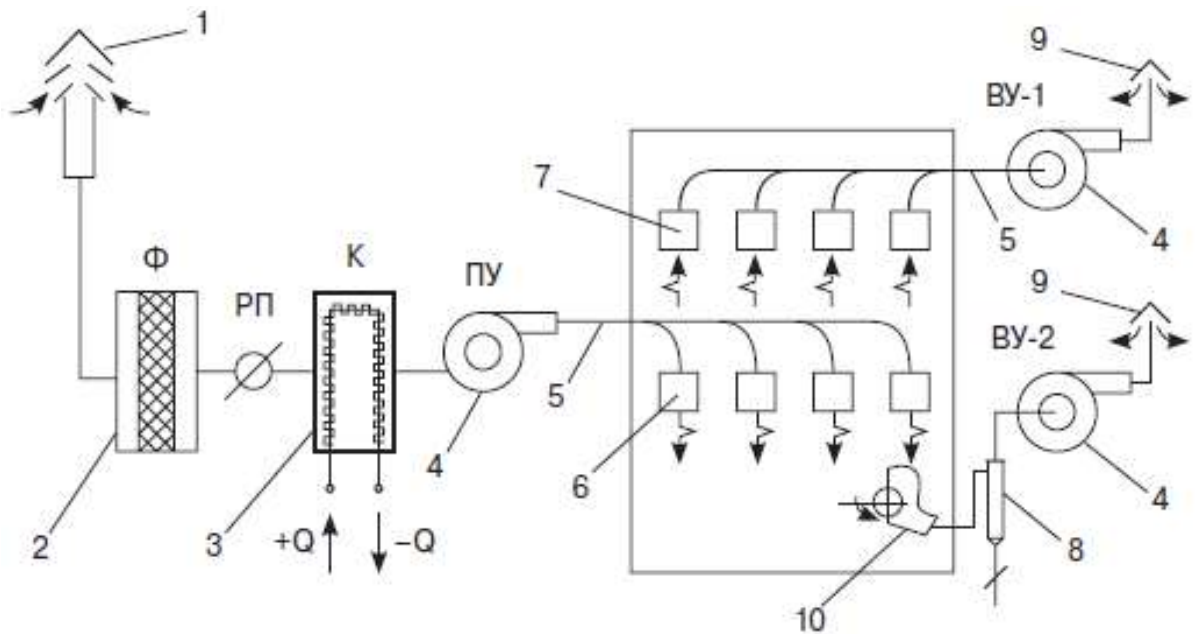


Рисунок 4.1 – Схема системи розподілу та очищення повітря у виробничому приміщенні

Система розподілу та очищення повітря призначена для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях шляхом підготовки, транспортування та регулювання повітряних потоків. Вона складається з комплексу функціональних елементів, які взаємодіють між собою для створення безпечних та комфортних умов праці.

Повітря надходить у систему через повітрязабірний пристрій (позиція 1), після чого проходить через фільтр (позиція 2), що забезпечує його очищення від пилу та механічних домішок. Далі рух повітря регулюється вентилятором або нагнітачем (позиція 3), який створює необхідний тиск у системі. У блоці кондиціонування (позиція 4) здійснюється теплове оброблення повітря – його підігрів або охолодження залежно від технологічних вимог. Розподільний пристрій (позиція 5) направляє підготовлене повітря у систему повітроводів (позиція 6), які транспортують його до робочих зон. Через припливні насадки або дифузори (позиція 7) очищене та кондиціоноване повітря надходить у приміщення.

Відпрацьоване повітря відводиться через зворотний повітропровід (позиція 8) та витяжні отвори (позиція 9), що забезпечує його видалення назовні. Контрольний блок або датчики (позиція 10) здійснюють автоматичний

										Арк.
										66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>					

моніторинг параметрів мікроклімату, регулюючи роботу системи відповідно до заданих умов. Система має дві гілки витяжної системи ВУ – 1 та ВУ – 2, які можуть функціонувати незалежно одна від одної. У схемі процеси теплового балансу відображені умовними позначеннями  $+Q$  та  $-Q$ , які інтерпретуються як енергетичні потоки, що характеризують відповідно надходження тепла до системи та його відведення у процесі функціонування.

Таким чином, схема демонструє комплексний підхід до організації повітрообміну у виробничих приміщеннях, що поєднує процеси очищення, кондиціювання та регулювання параметрів повітряного середовища відповідно до санітарно-гігієнічних норм.

Кондиціювання повітря передбачає створення та автоматичне підтримання в приміщенні заданих параметрів мікроклімату. Розрізняють комфортне і технологічне кондиціювання. Комфортне кондиціювання спрямоване на забезпечення оптимальних умов для працівників, тоді як технологічне кондиціювання використовується для підтримання специфічних кліматичних режимів, необхідних для виконання технологічного процесу [26]. Схему центрального кондиціонера наведено на рис. 4.2.

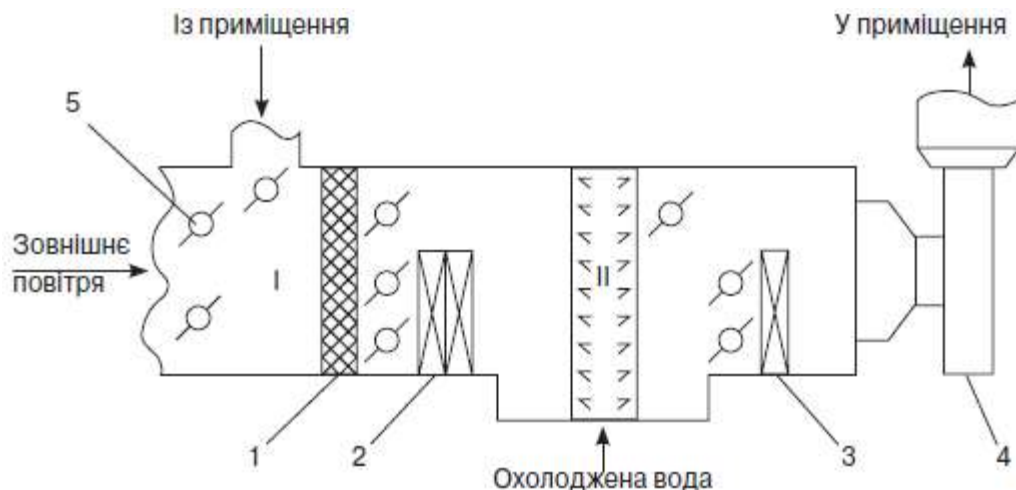


Рисунок 4.2 – Схема центрального кондиціонера

Центральний кондиціонер призначений для комплексної підготовки повітря, його очищення, охолодження або підігріву та подальшого розподілу у виробничих приміщеннях. Система функціонує за принципом змішування

зовнішнього та рециркуляційного повітря, що надходить із приміщення, після чого воно проходить через низку функціональних елементів.

У камері змішування здійснюється поєднання зовнішнього та внутрішнього повітряних потоків. Далі повітря проходить через фільтри (позиція 1), які забезпечують його очищення від пилу та механічних домішок. У калориферах першого підігріву (позиція 2) відбувається нагрівання повітря до необхідної температури. Наступним етапом є камера зрошення (позиція II), де повітря зволожується за допомогою подачі холодної води. Після цього воно проходить через калорифери другого підігріву (позиція 3), що дозволяє стабілізувати температуру та забезпечити відповідність мікроклімату нормативним вимогам. Завершальним елементом є вентилятор (позиція 4), який створює необхідний тиск і забезпечує подачу підготовленого повітря у приміщення. Кількість повітря, що проходить через кондиціонер, регулюється клапанами (позиція 5), які дозволяють підтримувати оптимальний баланс між зовнішнім та внутрішнім повітрям.

Таким чином, схема центрального кондиціонера демонструє послідовність технологічних процесів підготовки повітря, що включають його очищення, зволоження, підігрів або охолодження, а також автоматичне регулювання параметрів мікроклімату. Це забезпечує створення комфортних умов для працівників та виконання технологічних вимог у виробничих приміщеннях.

Вентиляція та кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях є ключовими елементами системи охорони праці та забезпечення технологічних вимог. Їхнє функціонування спрямоване на підтримання нормативних параметрів мікроклімату, що визначають безпеку та комфорт працівників, а також стабільність технологічних процесів. Використання комбінованих систем вентиляції та центральних кондиціонерів дозволяє комплексно вирішувати завдання очищення, підготовки та регулювання повітряних потоків, забезпечуючи відповідність санітарно-гігієнічним нормам і підвищуючи ефективність виробництва.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

#### 4.3 Оповіщення та інформування у сфері цивільного захисту

Оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій полягає у своєчасному доведенні відповідної інформації до органів управління цивільного захисту, сил цивільного захисту, суб'єктів господарювання та населення. Його метою є забезпечення готовності до дій та мінімізація можливих наслідків надзвичайних ситуацій [27].

Функціонування системи оповіщення здійснюється шляхом використання загальнодержавної, територіальних і місцевих автоматизованих систем централізованого оповіщення, а також спеціальних, локальних та об'єктових систем. Для доведення інформації застосовуються телекомунікаційні мережі загального користування, мережі радіомовлення і телебачення різних рівнів, а також інші технічні засоби передавання та відображення повідомлень. Важливим елементом є автоматизація процесу передачі сигналів і повідомлень, що забезпечує оперативність та достовірність інформування. На об'єктах підвищеної небезпеки функціонують автоматизовані системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення, інтегровані з централізованими системами. Для безпосереднього доведення інформації використовуються сигнально-гучномовні пристрої та електронні інформаційні табло, встановлення яких покладається на органи місцевого самоврядування та суб'єктів господарювання.

Органи управління цивільного захисту зобов'язані надавати населенню оперативну та достовірну інформацію про прогнозовані або виниклі надзвичайні ситуації із зазначенням їх класифікації, меж поширення та можливих наслідків. Інформація повинна містити відомості про способи та методи захисту, а також про діяльність органів цивільного захисту. Вона має бути доступною для всіх категорій населення, включаючи осіб з вадами зору та слуху. Для доведення інформації використовуються засоби масової інформації, спеціальні буклети, проспекти та листівки, які випускаються центральними й місцевими органами виконавчої влади.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		69

Система оповіщення являє собою комплекс організаційно-технічних заходів, апаратури та каналів зв'язку, призначених для своєчасного доведення сигналів і повідомлень про надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру. Відповідно до «Положення про організацію оповіщення і зв'язку в надзвичайних ситуаціях», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 1999 року № 192, система оповіщення складається із загальнодержавної, регіональних і спеціальних систем централізованого оповіщення, локальних та об'єктових систем, а також систем циркулярного виклику.

Автоматизована система оповіщення може поєднувати місцеву телефонну мережу та мережу мобільного зв'язку для подачі сигналу «Увага всім» і доведення повної інформації через засоби радіомовлення та телебачення. Сигнал може дублюватися місцевими радіотрансляційними вузлами, гудками підприємств, сиренами транспорту, ударами в рейку чи дзвонами. У мирний час він повідомляє населення про надзвичайні ситуації, а у воєнний час – про загрозу нападу противника. Тривалі гудки означають попередження. Почувши їх, необхідно увімкнути радіо чи телевізор і прослухати офіційну інформацію про необхідні дії. За відсутності технічних засобів слід отримати відомості від інших осіб, які вже ознайомлені з повідомленням, та виконувати всі вказівки, що містяться у тексті сигналу.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи проведено комплексний аналіз, спрямований на удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець КС4574А20.14» та обґрунтування конструктивних рішень приводу головного руху токарного верстата з ЧПК.

Аналітична частина дозволила встановити основні недоліки чинного маршрутного процесу, серед яких надмірна кількість операцій, технологічна застарілість обладнання та високі енерговитрати. Це обґрунтувало необхідність переходу до сучасних методів обробки з використанням верстатів з числовим програмним керуванням.

У технологічному розділі розроблено проектний маршрут обробки, що концентрує основні переходи на п'яти операціях, забезпечує скорочення допоміжного часу та зменшення кількості установів. Обґрунтовано вибір різального та вимірювального інструменту, що відповідає вимогам точності та продуктивності серійного виробництва.

У конструкторській частині виконано розрахунок параметрів комбінованого приводу головного руху, який поєднує електронне регулювання частоти обертання та двоступеневу коробку швидкостей. Обґрунтовано вибір електродвигуна та поліклінової пасової передачі, проведено силові та кінематичні розрахунки зубчастих передач. Це забезпечує необхідний діапазон частот обертання шпинделя та стабільність роботи при різних режимах обробки.

У розділі «Безпека життєдіяльності та охорона праці» розглянуто організацію управління охороною праці на підприємстві, системи вентиляції та кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях, а також питання оповіщення та інформування у сфері цивільного захисту. Це підтверджує комплексний підхід до забезпечення безпечних умов праці та відповідність нормативним вимогам.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ВИСНОВКИ</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Грицьків В.</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>
						<i>71</i>	<i>2</i>
					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопіль</i>		

Таким чином, виконана робота має практичну значущість, оскільки запропоновані рішення дозволяють підвищити ефективність виробництва, забезпечити стабільність якості продукції, знизити собівартість та створити безпечні умови праці. Результати дослідження можуть бути використані для модернізації технологічних процесів та удосконалення конструкційних рішень у сучасному машинобудуванні.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		72

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : Державні санітарні норми : затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42. – Київ : МОЗ України, 1999. – 15 с.
2. ДСТУ 2391:2010. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2011-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 34 с.
3. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. – [Чинний від 2016-01-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 43 с. – (Національний стандарт України).
4. ДСТУ ISO 14955-1:2019 (ISO 14955-1:2017, IDT). Верстати. Екологічне оцінювання верстатів. Частина 1. Методологія енергоефективного проектування верстатів. – [Чинний від 2020-01-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 38 с. – (Національний стандарт України).
5. ДСТУ ISO 2768-2:2001. Загальні допуски. Частина 2. Геометричні допуски для елементів без безпосереднього зазначення допусків (ISO 2768-2:1989, IDT). – [Чинний від 2002-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2002. – 15 с. – (Національний стандарт України).
6. ДСТУ ISO 4156-1:2009. З'єднання шліцьові евольвентні з кутом профілю 30°. Частина 1. Основні положення (ISO 4156-1:2005, IDT). – [Чинний від 2010-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2011. – 42 с. – (Національний стандарт України).

<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>													
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>										
<i>Розроб.</i>		<i>Грицьків В.</i>		<i>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</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>											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"><i>Літ.</i></td> <td style="width: 10%;"><i>Арк.</i></td> <td style="width: 10%;"><i>Аркушів</i></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">73</td> <td style="text-align: center;">5</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВС-41, м. Тернопіль</i></td> </tr> </table>					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>		73	5	<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВС-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>											
	73	5											
<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВС-41, м. Тернопіль</i>													

7. ДСТУ ISO 9982:2006. Пасові приводи. Шківни та паси поліклінові для промислового застосування. Профілі PH, PJ, PK, PL та PM. Розміри (ISO 9982:1998, IDT). [Чинний від 2007-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 18 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=29450](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=29450)

8. ДСТУ Б А.3.2-12:2009. Системи вентиляційні. Загальні вимоги. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://ksv.do.am/GOST/DSTY\\_ALL/DSTY4/dsty\\_b\\_a.3.2-12-2009.pdf](https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY4/dsty_b_a.3.2-12-2009.pdf)

9. Закон України «Про охорону праці» : Закон України від 14 жовтня 1992 р. № 2694-XII // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 49. – Ст. 668. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

10. IMC Companies. Taegutec DrillRush T-Chamfer Catalog [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.imc-companies.com/TaeguTec/ttkCatalog/Family.aspx?fnum=1248&mapp=DR&app=402&GFSTYP=M&fr=1>.

11. Ocean.biz.ua. Каталог токарного та розточного інструменту Vorgen [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ocean.biz.ua/ua/rizci-zi-zminnimi-plastinami>.

12. Simotics M-1PH7 Main Motors. Configuration Manual. Siemens AG, 2014. 544 p. URL: [https://www.avigan.com.ua/library/PDF/ENG\\_117874.PDF](https://www.avigan.com.ua/library/PDF/ENG_117874.PDF)

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

14. Zubovetska N. T. et al. Experimental study of the process of boring machine parts using a cutter equipped with tensor sensors. *Scientific Bulletin of IFNTUNG*. 2025. № 1(58). С. 88–96.

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

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

16. Гороховський В., Гордєєв А., Костюк Н. Дослідження кінематики руху статично збалансованих спеціальних токарних пристроїв в процесі їх проектування в SOLIDWORKS. *Технічні науки (ХНУ)*. 2025. № 353. С. 47–52.

17. Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: Р. А. Склярів, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сенік, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.

18. 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.

19. 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.

20. Кріль О. С., Алієв В. Е. Дослідження компоновок коробок швидкостей металорізальних верстатів методом параметричного моделювання. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. 2022. № 2 (272). С. 29–35.

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

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

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

24. Лежнін К. В. Моделювання процесів токарної обробки з урахуванням зносу інструментів. *Академічні візії*. 2025. Вип. 46. DOI: 10.5281/zenodo.17167147.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

25. 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 дані (1 файл: 6,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 86 с.

26. Основи охорони праці: Навч. посіб. / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; За заг. ред. В. В. Березуцького. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х. : Факт, 2007. – 480 с.

27. Охорона праці та цивільний захист [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» спец. 131 Прикладна механіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. Г. Левченко. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 362 с.

28. 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.

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

30. 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.

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		76

31. Склярів Р. А., Гагалюк А. В. Використання методу нейронних мереж для прогнозування металорізальних верстатів. Матеріали ХХІ наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. – 212 с. (Машинознавство та машинобудування). - С. 34

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

33. Склярів Р.А. Четвержук Т. І., Полінкевич Р.М., Редько Р. Г., 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

34. Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А. Розробка технології формування САД-моделей поверхонь технічних виробів. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 1.

35. 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.

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

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

# ДОДАТКИ

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Грицьків В.</i>			<i>ДОДАТКИ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					<i>78</i>	<i>3</i>
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кодельник В. Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						

## Токарний верстат моделі 16К20Ф3

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

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ	Арк.
						79



Рисунок А.1 – Загальний вигляд верстату 16К20Ф3

					<i>КРБ 23-351.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80