

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  
токарного патронного верстата з ЧПК для забезпечення технологічного  
процесу виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-10.01»**

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

спеціальності 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_  
(підпис) Сергій ВОРОНЧАК  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис) Руслан СКЛЯРОВ  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_  
(підпис) Володимир КОБЕЛЬНИК  
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис) Володимир КРУПА  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

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 Ворончаку Сергію Ігоровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання компонентів приводу головного руху токарного патронного верстата з ЧПК для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б- 0.01»

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 «Кришка редуктора КС6Б - 10.01» 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 головки; вирішення питань безпеки життєдіяльності та охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
Аналіз формуютьорюючих рухів – 1 ф.А1

Кінематична схема верстата – 1 ф.А1

Привід головного руху – 1 ф.А0.

Головка револьверна – 1 ф.А1.



## Анотація

Ворончак Сергій. Конструювання компонентів приводу головного руху токарного патронного верстата з ЧПК для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-10.01» : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 133 – галузеве машинобудування / наук. кер. Р. А. Склярів. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026. 81 с.

Ключові слова: токарний патронний верстат з ЧПК, привід головного руху, механічна обробка, режими різання.

В кваліфікаційній роботі приведені технологічні розрахунки та призначено режими для технологічних переходів на виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-10.01». Розроблено кінематичну схему верстата. Здійснено розробку конструкції приводу головного руху. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

## Annotation

Voronchak Serhii. Design of components of the main drive of a CNC chuck lathe to support the manufacturing process of the part «Gearbox cover KS6B-10.01» : Thesis for the bachelor's degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering / Supervisor R. A. Skliarov. Ternopil : Ivan Puluj Ternopil National Technical University, 2026. 81 p.

Keywords: CNC chuck lathe, main drive, machining, cutting data

The qualification thesis presents technological calculations and assigns cutting data for technological steps in the manufacturing of the "Gearbox Cover KS6B-10.01" part. The kinematic diagram of the machine tool has been developed. The design of the main drive has been carried out. Occupational health and safety as well as life safety issues have been addressed.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ворончак С.І.</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 зр. МВ-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 .....	17
1.4 Огляд літератури .....	20
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	24
2.1 Особливості запропонованого ТП обробки деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01» .....	24
2.2 Обґрунтування та вибір різального інструменту .....	26
2.3 Обґрунтування та призначення контрольно-вимірювальних інструментів.....	30
2.4 Розрахунок режимів різання для токарних операцій.....	32
2.5 Розрахунок режимів різання для свердлильно-різьбонарізної операції. ....	38
2.6 Верстатне забезпечення основних технологічних операцій.....	39
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	41
3.1 Вибір та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстата .....	41
3.2 Розрахунок та обґрунтування параметрів приводу головного руху.....	42
3.2.1 Техніко-технологічне обґрунтування характеристик приводу головного руху .....	42
3.2.2 Визначення діапазону регулювання приводу головного руху .....	44
3.2.3 Побудова сітки частот та графіка обертів.....	50
3.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору зубчасто-пасової передачі..	51
3.4 Силовий та конструктивний розрахунок коробки швидкостей.....	52
3.4.1 Розрахунок передавальних чисел та чисел зубців .....	52
3.4.2 Розрахунок крутних моментів на валах приводу .....	54
3.4.3 Визначення модуля зубчастих передач верстата.....	56
3.4.4 Геометричний розрахунок зубчастих коліс .....	59
3.4.5 Проектний розрахунок діаметрів валів коробки швидкостей .....	60

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Воранчак С.І.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>			5	2	
<i>Реценз.</i>					<i>ЗМІСТ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В. Р.</i>			<i>ТНТУ ім. І. Пулюя</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>			<i>зр. МВ-41, м.Тернопіль</i>		

3.5	Опис конструкції і принцип роботи револьверної головки .....	63
4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	65
4.1	Таксонометрія небезпек .....	65
4.2	Характеристика небезпечних зон обладнання та заходи безпеки для токарного патронного верстата з ЧПК.....	66
4.3	Заходи з особистої гігієни при роботі на токарному патронному верстаті з ЧПК .....	68
	ВИСНОВКИ.....	70
	Перелік посилань.....	72
	ДОДАТКИ .....	77

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ВСТУП

Актуальність теми визначається сучасними тенденціями розвитку машинобудування, де ключову роль відіграє вдосконалення конструкцій верстатів та верстатних комплексів. Особлива увага приділяється обладнанню з числовим програмним керуванням (ЧПК), багатофункціональним оброблювальним центрам, гнучким виробничим модулям (ГВМ), а також високоточним і важким верстатам. У світовій практиці машинобудування значний інтерес викликає створення автоматизованих і роботизованих систем, що інтегруються у гнучкі виробничі комплекси. Їхня ефективність значною мірою залежить від універсальності токарних автоматів, здатних виконувати операції, які традиційно не належали до токарної групи, зокрема поперечне свердління, фрезерування та нарізування різьби.

На сучасному етапі розвитку промисловості ключове значення має концепція Індустрії 4.0 [1, 2]. Вона передбачає інтеграцію цифрових технологій у виробничі процеси, використання автоматизованих систем управління, промислового інтернету речей, систем моніторингу та інтелектуального аналізу даних. У межах цієї концепції металорізальні верстати з числовим програмним керуванням поступово перетворюються на інтелектуальні виробничі модулі. Такі модулі здатні забезпечувати адаптивне керування режимами обробки, здійснювати контроль технічного стану обладнання, підвищувати енергоефективність та інтегруватися у єдині цифрові виробничі системи.

Розвиток систем ЧПК відкриває нові можливості для автоматизації вимірювань, контролю процесу різання та комплексної діагностики стану обладнання. Це створює передумови для підвищення точності та стабільності технологічних процесів.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ворончак С.І.</i>			<i>Лит.</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>ВСТУП</i> <i>ТНТУ ім. І. Пулюя</i> <i>гр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кабельник В.Р.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>					

Серед різноманіття верстатного обладнання особливе місце займають токарні патронні верстати з ЧПК. Вони забезпечують концентрацію технологічних переходів, дозволяють виконувати складні операції різання з мінімальним втручанням оператора та гарантують високу якість обробки.

Ефективність роботи токарного патронного верстата визначається конструкцією приводу головного руху. Саме шпindelний вузол забезпечує необхідний діапазон частот обертання, крутний момент, жорсткість та стійкість до вібрацій. Від правильності його проєктування залежить стабільність технологічного процесу, досягнення заданих допусків і шорсткості поверхні, а також економічна ефективність виробництва.

Об'єктом дослідження є деталь «Кришка редуктора КС6Б-0.01», що входить до складу бурякозбирального комбайна КС-6Б. Вона виконує функцію відповідального елемента механічного приводу, тому її виготовлення потребує високої точності та надійності. Конфігурація деталі включає зовнішній фланець діаметром 326 мм, центрувальний поясок діаметром 305 мм, точний отвір діаметром 120 мм, а також систему кріпильних і посадкових елементів. Такі параметри зумовлюють необхідність виконання на токарному верстаті з ЧПК операцій підрізання торця, обробки центрувального пояска, розточування отвору з високими вимогами до співвісності та шорсткості, а також проточування канавок і буртиків.

Обробка кришки великого діаметра вимагає стабільного крутного моменту на низьких частотах обертання, що визначає конструктивні особливості приводу головного руху.

Таким чином, актуальність дослідження полягає у необхідності створення конструкції приводу головного руху токарного патронного верстата з ЧПК, здатної забезпечити технологічну можливість досягнення всіх розмірів та допусків деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01». Реалізація цього завдання сприятиме підвищенню продуктивності обробки, зменшенню допоміжного часу, зниженню енергоспоживання та забезпеченню стабільної якості виготовлення в умовах серійного виробництва.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

Метою роботи є проектування та обґрунтування конструкції компонентів приводу головного руху токарного патронного верстата з ЧПК для ефективного виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01».

**Структура і обсяг роботи.** Представлена кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів та основних висновків. Записка містить 71 аркушів пояснювального матеріалу, 17 рисунків та 16 таблиць. При виконанні роботи використано різноманітну спеціалізовану літературу, а також публікації з мережі Internet. Перелік літератури містить 37 найменувань, які розміщені на 5 сторінках, а також 2 додатків на 5 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 81 сторінка.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз завдання

Деталь «Кришка редуктора КС6Б-0.01» (див. рис. 1.1) є відповідальним елементом сепараторного пристрою коренезбиральної машини КС6Б-05 з ротаційним очисним механізмом. Її функціональне призначення полягає у герметизації внутрішньої порожнини редуктора, точному базуванні підшипникового вузла, встановленні ущільнювальної манжети та захисті механізму від зовнішнього середовища.

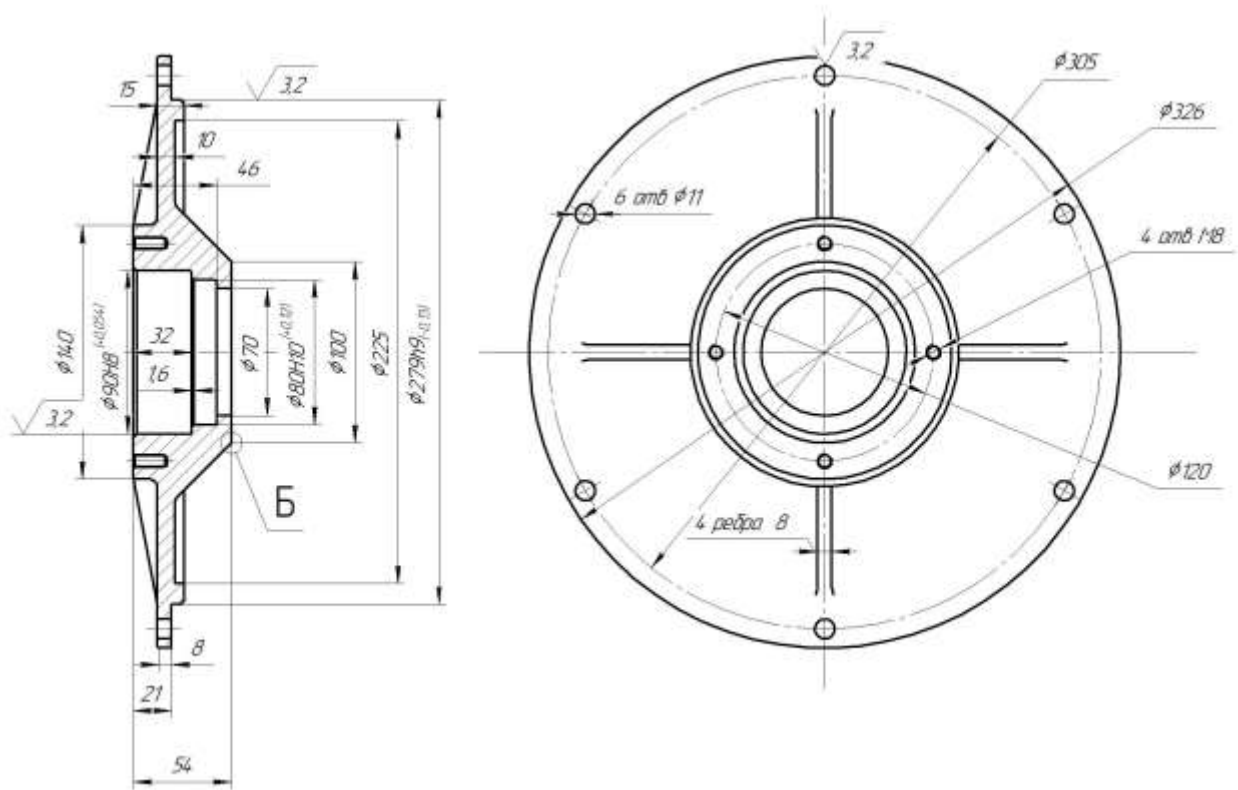


Рисунок 1.1 – Деталь «Кришка редуктора КС6Б-0.01»

Відповідно до вимог ЄСКД та Класифікатора деталей машинобудування деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01» присвоєно шифр 711142 [3]. Цей код є шестизначним і відображає конструктивні та геометричні особливості деталі.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Разроб.		Ворончак С.І.			Лит.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Склярів Р.А.				10	14
Реценз.					ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м. Тернопіль		
Н. Контр.		Кабельник В. Р.					
Затверд.		Крцпа В.В.					
					АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА		

Перші дві цифри 71 визначають клас. До нього належать деталі типу тіл обертання з відношенням довжини до максимального діаметра  $L/D \leq 0.5$ . Це диски, фланці, кришки та кільця. Для даної деталі максимальний діаметр фланця становить 326 мм, загальна висота близько 54 мм, тому відношення  $L/D \approx 0.17$ , що повністю відповідає класу.

Третя цифра 1 означає підклас. Він охоплює тіла обертання без зовнішнього різьблення чи гвинтового нарізу, з гладким або ступінчастим контуром. Кришка має ступінчастий зовнішній контур ( $\emptyset 326$ ,  $\emptyset 278$ ,  $\emptyset 140$  мм) і не містить зовнішньої різьби.

Четверта цифра 1 визначає групу. Це деталі з центральним отвором круглої форми у поперечному перерізі, з гладким або ступінчастим внутрішнім контуром. У нашому випадку кришка має ступінчастий центральний отвір ( $\emptyset 90H8$ ,  $\emptyset 80H10$ ,  $\emptyset 70$  мм).

П'ята цифра 4 відповідає підгрупі. Вона включає деталі з елементами нетіл обертання на торцях або периферії. Кришка має шість наскрізних отворів  $\emptyset 11H13$  та чотири різьбові отвори М8-6Н на торці фланця.

Шоста цифра 2 визначає вид. Це деталі з відростками, фланцями, виступами чи ребрами жорсткості. Кришка має чотири радіальні ребра жорсткості товщиною 8 мм, що остаточно підтверджує її належність до цього виду.

Основні функціональні поверхні згідно з кресленням (див. рис. 1.1) включають центрувальний пояс  $\emptyset 278h9$ , який забезпечує точне спряження з корпусом редуктора, високоточний отвір  $\emptyset 90H8$  для встановлення радіального шарикопідшипника серії 308, отвір  $\emptyset 80H10$  для монтажу гумової манжети, шість кріпильних отворів  $\emptyset 11H13$  на фланці та чотири різьбові отвори М8-6Н для захисної кришки. Торцеві поверхні з розмірами 21H12,  $54 \pm 0.1$ , 32H12,  $46 \pm 0.1$ ,  $15 \pm 0.1$  формують висотне положення деталі у вузлі, а фаски  $1 \times 45^\circ$ ,  $1.6 \times 30^\circ$ ,  $2 \times 45^\circ$  полегшують складання та підвищують надійність з'єднань.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Усі поверхні обертання є концентричними, що дозволяє реалізувати принцип концентрації операцій. Більшість токарних переходів виконуються за дві установки, що відповідає сучасним вимогам до серійного виробництва.

При річній програмі випуску 50 000 штук, базовий ТП на підприємстві передбачає отримання заготовки литтям у піщано-глинисті форми відповідно до ДСТУ EN ISO 8062-3:2015. Такий вибір зумовлений поєднанням економічної доцільності та технологічної стабільності.

Прийняті на підприємстві параметри заготовки відповідають умовам серійного виробництва. Клас точності вилівка визначено як 10, він забезпечує необхідний баланс між точністю та собівартістю. Ряд припусків на механічну обробку прийнято 4, у межах 2 ... 5, що відповідає типовим вимогам до сталевих виливків у піщано-глинистих формах. Конструкція заготовки передбачає ливарні ухили близько одного градуса та радіуси заокруглень, що полегшують процес формоутворення. Поверхневий шар має твердість у межах 160 ... 180 НВ без утворення карбідного відбілу, що позитивно впливає на довговічність інструменту при подальшій механічній обробці.

У межах базового ТП виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01» використовується послідовна схема обробки, що ґрунтується на принципі високої технологічної диференціації. Загальний обсяг механічної обробки розподілено на вісім дискретних операцій, які виконуються на різному за типом обладнанні.

Структура маршруту має такий вигляд:

*Операція 005.* Первинне чорнове видалення ливарного припуску виконується на токарно-гвинторізному верстаті з ЧПК моделі 1В340Ф30. Обробляються зовнішні контури фланця  $\varnothing 326$  та  $\varnothing 278$  мм, а також чорнове розточування центрального отвору до  $\varnothing 85$  мм для підготовки баз під подальші переходи.

*Операція 010.* Чистова обробка основних конструкторських баз здійснюється на тому ж верстаті. Формуються торець 21Н12, поясок  $\varnothing 278h9$  та посадкова поверхня  $\varnothing 90H8$ . Виконується підрізання торців із розмірами  $54 \pm 0.1$  та  $15 \pm 0.1$ .

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

*Операція 015.* Після перевстановлення заготовки проводиться чистове точіння протилежної сторони. Формується спряжений поясок  $\varnothing 278h9$ , розточуються отвори  $\varnothing 80H10$  та  $\varnothing 70 + 0.62$ , знімаються контурні фаски.

*Операція 020.* На вертикально-свердильному верстаті моделі 2Н135 із застосуванням кондуктора виконується координатне свердління першої групи отворів на фланці, а саме 6 наскрізних отворів  $\varnothing 11H13$  по колу  $\varnothing 305$ .

*Операція 025.* Свердління другої групи отворів здійснюється також на вертикально-свердильному верстаті. Формуються 4 глухі отвори  $\varnothing 6.8$  мм під нарізання різьби М8 на внутрішньому торці  $\varnothing 140$ .

*Операція 030.* Виконується зенкування або цекування торцевих поверхонь навколо отворів для усунення задирок та забезпечення площинності під кріплення, також формуються фаски  $1 \times 45^\circ$ .

*Операція 035.* На тому ж обладнанні обробляються фаски  $2 \times 45^\circ$  та  $1.6 \times 30^\circ$  у різьбових і наскрізних отворах.

*Операція 040.* Нарізання внутрішньої метричної різьби М8-6Н у чотирьох глухих отворах виконується на за допомогою різьбонарізної головки на свердильному верстаті.

Базовий ТП характеризується багатократним перебудуванням заготовки, використанням різнотипного обладнання та значною кількістю допоміжних операцій. Це забезпечує необхідну точність, але водночас створює передумови для накопичення похибок і зниження продуктивності при великосерійному виробництві.

## 1.2 Характеристика об'єкту виробництва

Згідно виданого завдання на проектування для деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01» використовується Сталь 35Л [4], її хімічний склад та механічні властивості приведені в таблиці 1.1.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

Таблиця 1.1 – Хімічний склад та механічні властивості Сталі 45Л

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	
0,32-0,40	0,20-0,52	0,40-0,90	до 0,30	до 0,045	до 0,040	до 0,30	до 0,30	
Сортамент	Розмір	Напрямок	$\sigma_B$ межа міцності при розтягу	$\sigma_T$ межа текучості	$d^5$ відносне видовження	$\psi$ відносне звуження	KCU ударна в'язкість	Термообробка
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж/м <sup>2</sup>	-
Виливки	до 100	-	500	280	15	25	350	Нормалізація 860–880 °С, відпуск 600–630 °С

Проведено аналіз креслення деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01», який дозволив систематизувати всі поверхні (див. рис. 1.2) та оцінити їх з точки зору точності, шорсткості та доступності обробки. Усього виділено 32 позиції, для кожної визначено зміст вимог, метод виконання та рекомендований спосіб контролю, їх приведено в таблиці 1.2.

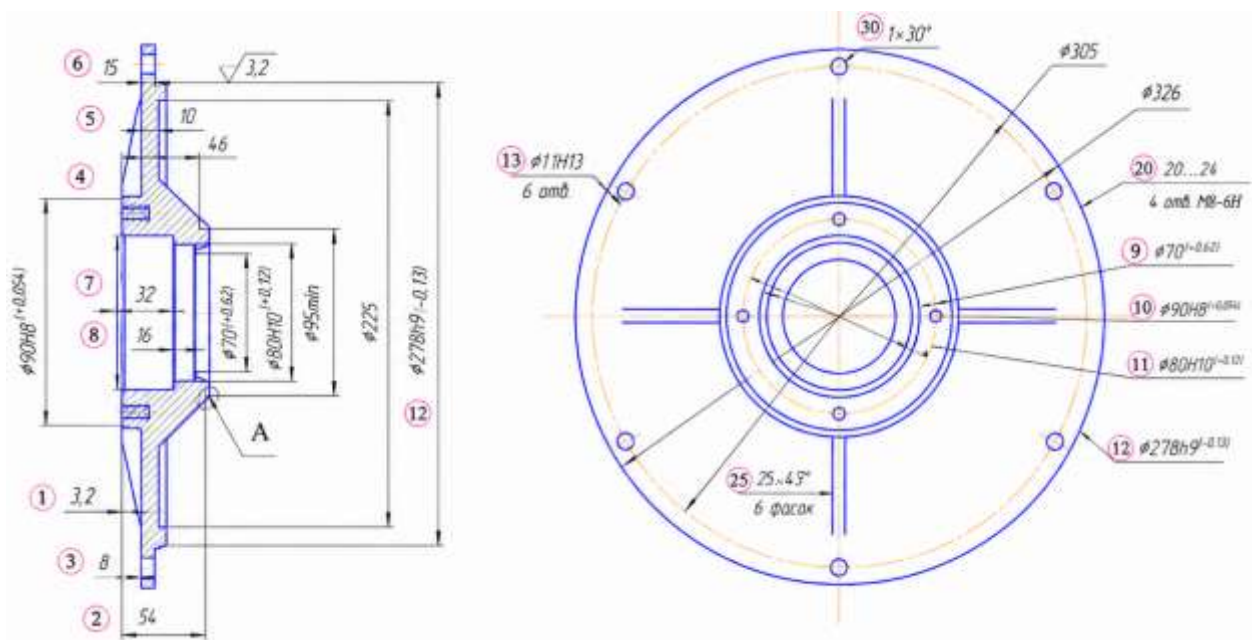


Рисунок 1.2 – Основні поверхні деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01»

Таблиця 1.2 – Аналіз технічних вимог деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01»

№ поверхні	Зміст вимог	Метод виконання	Метод контролю
1	21Н12 <sup>(10.25)</sup>	Чорнова підрізка торця	ШЦ-I-125-0,1-1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
2	54±0.1	Чорнова підрізка торця	
3	8±1.5	Чорнова підрізка торця	
4	Ø95 <sub>min</sub>	Чорнове обточування	
5	46±0.1	Чорнове обточування	
6	15±0.1	Чорнова підрізка торця	
7	32Н12 <sup>(0.2)</sup>	Чорнове розточування торця	
8	15±0.1	Чорнова підрізка торця	
9	Ø70 <sup>(+0.62)</sup>	Чорнова розточка отвору	
10	Ø90Н8 <sup>(+0.054)</sup>	Чорнова розточка отвору	
11	Ø80Н10 <sup>(+0.12)</sup>	Напівчистова розточка отв.	
12	Ø278h9 <sup>(-0.13)</sup>	Чистова підрізка торця	
13....19	Ø11	Свердління шести отворів	Калібр розташування ДСТУ ISO 1502
20.....24	ØМ8 × 6Н	Нарізання різьби	Калібр пробка різьбовий ДСТУ ISO 1502:2004
25.....29	1 × 45 <sup>0</sup>	Росвердлювання фаски	Фаскомір індикаторний ФІ-50 ДСТУ ISO 25178-1
30	1 × 30 <sup>0</sup>	Підрізка фаски	
31	2 × 45 <sup>0</sup>	Розточка фаски	
32	2 × 45 <sup>0</sup>	Розточка фаски	

Найбільш відповідальні поверхні – це отвір Ø90Н8<sup>+0.054</sup> та поясок Ø278h9<sub>-0.13</sub> мм. Вони потребують чистового точіння та розточування з обов'язковим контролем калібрами, адже саме ці елементи забезпечують точне базування підшипникового вузла та спряження з корпусом редуктора.

До поверхонь середньої точності належать торці 21Н12 та 32Н12, а також отвір Ø80Н10. Вони можуть бути оброблені напівчистовими методами з контролем штангенциркулем або нутроміром. Таке рішення є економічно доцільним, оскільки не потребує застосування високоточних інструментів для кожної операції.

					КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Отвори та різьби, зокрема шість наскрізних  $\varnothing 11H13$  та чотири різьбові М8-6Н, вимагають координатного позиціювання або використання спеціального кондуктора. Це забезпечує правильне розташування отворів відносно базових поверхонь та гарантує точність з'єднань у вузлі.

Фаски мають вільні допуски та виконуються зенкуванням або підрізанням. Контроль здійснюється фаскоміром, що дозволяє швидко перевірити відповідність геометрії без складних вимірювань.

Для визначення рівня технологічності деталі «Кришка редуктора КСББ-0.01» проведено кількісний аналіз, який охоплює три ключові показники, а саме точність обробки, параметри шорсткості та ступінь уніфікації конструктивних елементів. Такий підхід дозволяє не лише оцінити складність механічної обробки, а й визначити придатність конструкції до серійного виробництва на сучасному обладнанні.

Середній квалітет точності розраховано на основі всіх поверхонь і становить  $IT_{cp} \approx 12.97$ . Відповідно коефіцієнт точності визначається за виразом:

$$K_T = 1 - \frac{1}{IT_{cp}} \quad (1.1)$$

де  $IT_{cp}$  – розрахункове значення середнього квалітету точності.

$$K_T = 1 - \frac{1}{12.97} = 0.923$$

Отримане значення перевищує нормативний поріг 0.8, що свідчить про технологічність конструкції з точки зору точності. В цілому деталь належить до категорії середньої точності, при цьому отвір  $\varnothing 90H8$  потребує високоточного контролю. Це позитивно впливає на загальну технологічність, адже більшість поверхонь не вимагають застосування складних методів фінішної обробки.

Середній показник шорсткості визначено як  $Ra_{cp} \approx 2.9$  мкм. Коефіцієнт шорсткості становить:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ra_{cp}} \quad (1.2)$$

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

де  $Ra_{cp}$  – середній показник шорсткості.

$$K_{ш} = \frac{1}{2.9} \approx 0.345$$

Оскільки значення перевищує норматив 0.16, деталь належить до категорії неважкооброблюваних. Це означає, що задана шорсткість може бути отримана стандартними методами точіння та свердління. Використання сучасних твердосплавних інструментів і автоматизованого керування режимами різання на верстатах з ЧПК забезпечує стабільність параметрів поверхні та знижує потребу у додаткових оздоблювальних операціях.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів визначається за виразом:

$$K_y = \frac{N_{уніф}}{N_{\Sigma}} \quad (1.3)$$

де  $N_{уніф}$  – кількість уніфікованих елементів;

$N_{\Sigma}$  – загальна кількість елементів конструкції.

Для даної деталі:

$$K_y = \frac{32}{32} = 1.0$$

Отримане значення свідчить про високий ступінь стандартизації конструктивних елементів.

Використання типових фасок, різьбових з'єднань та отворів дозволяє застосовувати стандартний інструмент, спрощує технологічну підготовку та скорочує тривалість допоміжних операцій.

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

Поверхні деталей, які підлягають механічній обробці, можна розглядати як неперервну множину послідовних положень відтворювальних ліній. Одна з них називається твірною, інша напрямною [5, 6]. При обробці на верстатах ці лінії

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

утворюються матеріальними точками та ріжучими кромками інструмента завдяки відносним рухам інструмента та заготовки.

Кожен метод формоутворення описується комбінацією функціональних залежностей  $\Phi$ . Якщо  $\Phi = 0$ , то формоутворення здійснюється за рахунок форми інструмента (копіювання). Якщо  $\Phi = 1$ , то поверхня утворюється завдяки одному відносному руху (слід). Позначення  $\Phi_s$  відповідає поступальному руху, а  $\Phi_v$  обертовому.

Для виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01» застосовуються точіння, розточування, свердління, зенкерування, цекування та нарізання різьби.

*Формоутворення при свердлінні.* Свердління (див. рис. 1.3) використовується для отримання шести наскрізних отворів  $\varnothing 11H13$  та чотирьох глухих отворів під різьбу М8. Спіральне свердло здійснює обертальний рух  $\Phi_v(O_1)$ , який формує твірну лінію, та поступальний рух  $\Phi_s(\Pi_3)$ , що визначає напрямну. Твірна є колом, напрямна прямою. Заготовка при цьому залишається нерухомою.

1- твірна-коло-  
метод сліду  $\Phi=1: \Phi_v=(O_1)$ ;  
2- направляюча-пряма-  
метод сліду  $\Phi=1: \Phi_s=(\Pi_3)$   
 $\Phi_s=2: \Phi_v=(O_1), \Phi_s(\Pi_3)$

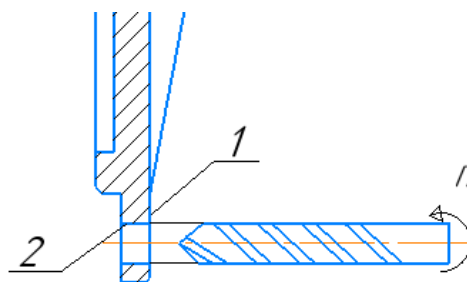


Рисунок 1.3 – Формоутворюючі рухи при свердлінні отворів

*Формоутворення при точінні.* Зовнішнє точіння (див. рис. 1.4) застосовується для обробки поверхонь  $\varnothing 278h9$ ,  $\varnothing 95$  та торців 21H12,  $54 \pm 0,1$ ,  $46 \pm 0,1$ ,  $15 \pm 0,1$ . При поздовжньому точінні твірною є коло, напрямною пряма, що відповідає подачі супорта. При поперечному точінні твірною виступає пряма, а напрямною коло, яке утворюється обертанням заготовки.

					КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



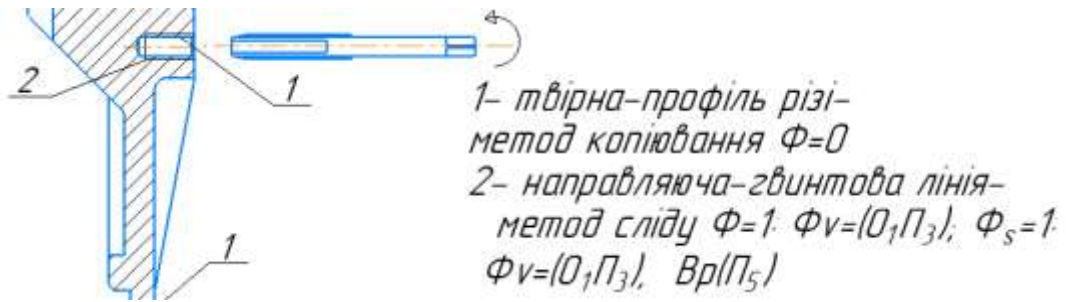


Рисунок 1.6 – Формоутворюючі рухи при розточуванні отворів

Формоутворення при обробці фасок та зенкуванні. Фаски (див. рис. 1.7)  $1 \times 45^\circ$ ,  $2 \times 45^\circ$  та  $1 \times 30^\circ$  отримуються методом копіювання. Твірною є профіль різця, напрямною є коло. Точність фасок невисока, контроль здійснюється фаскоміром.

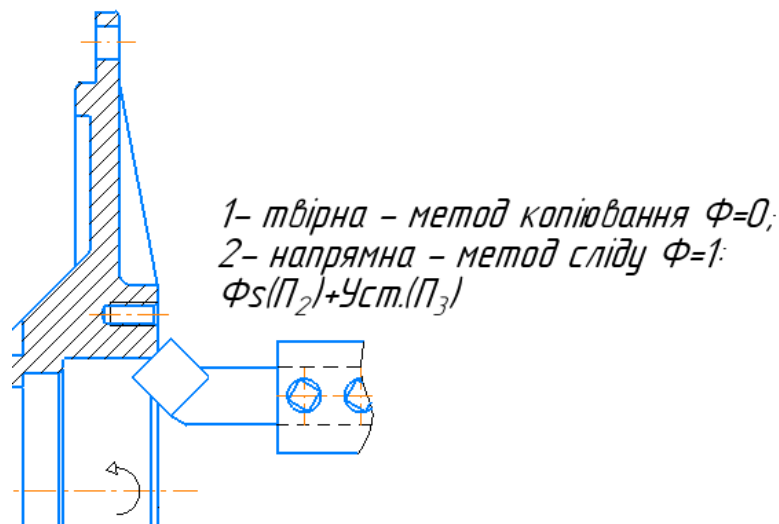


Рисунок 1.7 – Формоутворюючі рухи при точінні фаски

#### 1.4 Огляд літератури

Дослідження науково-виробничого потенціалу металорізального обладнання та пошук шляхів його вдосконалення на сучасному етапі розвитку машинобудування нерозривно пов'язане з оптимізацією методологічних підходів до конструювання. У цьому контексті важливим є системний аналіз,

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

який дозволяє поєднувати теоретичні засади з практичними рішеннями для підвищення ефективності виробничих процесів.

В роботах [7, 8] автори розглядають системний підхід як базову основу для автоматизації процесів проектування та комплексної модернізації токарної групи верстатів. У дослідженні акцентовано увагу на інтеграції інтелектуальних систем керування, що забезпечують узгодженість між конструктивними параметрами обладнання та вимогами виробництва. Важливим аспектом є те, що системний підхід трактується не лише як метод організації проектних робіт, а й як інструмент для створення адаптивних виробничих систем. Це дозволяє розглядати токарні верстати не ізольовано, а як складові єдиного комплексу, де взаємодія між обладнанням, програмним забезпеченням та технологічними процесами формує новий рівень продуктивності.

Подальший розвиток методології конструювання металорізального обладнання потребує використання положень загальної теорії інженерного проектування. Важливим джерелом у цьому напрямі є навчальний посібник [9], присвячений теорії технічних систем та закономірностям їх побудови. Автор розглядає машину як ієрархічну структуру взаємопов'язаних підсистем, що забезпечують виконання цільової функції. Для токарного патронного верстата з ЧПК такою функцією є стабільне виконання технологічного процесу обробки деталей типу тіл обертання в умовах високої концентрації операцій.

Важливою умовою ефективного проектування металорізального обладнання є аналіз вихідних техніко-економічних даних із використанням сучасних методів прогнозування. У роботі [10] розглянуто закономірності розвитку технічних систем та методи наукового передбачення, що дозволяють визначати ключові тенденції у верстатобудуванні ще на етапі ескізного проектування. У контексті створення приводів токарних верстатів із ЧПК теорія прогнозування дає можливість окреслити оптимальні межі частот обертання та потужності шпинделя, передбачити заміну багатоступеневих механічних коробок швидкостей інтегрованими мехатронними модулями, а також закласти параметри жорсткості та точності позиціонування, що перевищують серійні аналоги.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

Практичний інструментарій цього підходу деталізовано у дослідженні [11], де показано застосування програмного пакету Mathcad для прогнозування та оптимізації параметрів металорізальних верстатів.

Сучасне проектування та модернізація металорізального обладнання з ЧПК характеризується активним використанням інтелектуальних комп'ютерних технологій, здатних працювати з великими масивами нелінійних даних. На зміну класичним детермінованим моделям приходять методи штучного інтелекту. Цей перехід у методології прогнозування технічних характеристик верстатів досліджено у працях [12, 13]. Автори показують, що багатошарові перцептори (нейронні мережі) дозволяють аналізувати складні взаємозв'язки між конструктивними параметрами верстатів, відкриваючи приховані закономірності там, де традиційні аналітичні методи вимагали надмірних спрощень.

У контексті аналізу сучасних тенденцій розвитку металорізального обладнання особливе значення мають праці, присвячені створенню верстатів із принципово новими кінематичними структурами [14, 15]. Автори розглядають особливості використання та проектування технологічного обладнання з паралельною кінематикою, зокрема механізмів просторової структури типу гексаподів і триподів. Аналіз цих праць підтверджує загальну тенденцію до спрощення кінематичних ланцюгів та підвищення жорсткості несучих систем

Важливим напрямом у проектуванні сучасних металорізальних комплексів є дослідження їхньої динамічної поведінки під час інтенсивних та нестационарних режимів роботи. Саме такі процеси розглядаються в праці [16], автори якої зосередили увагу на моделюванні перехідних процесів у електроприводах металорізальних верстатів із використанням сучасних інформаційних технологій. У їхній праці показано, що комп'ютерне моделювання дозволяє детально аналізувати навантаження в електричній та механічній підсистемах приводу під час експлуатації обладнання, що створює практичну основу для підвищення його надійності та довговічності.

Вагомим складником забезпечення високої якості деталей у процесі автоматизованої обробки є прецизійне керування взаємопов'язаними рухами формоутворення. Цю проблематику глибоко досліджено у працях [17, 18]. У

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22

роботі [17] автори показують прикладне використання ітераційних методів для аналізу точності підсистеми подач, що дозволяє враховувати накопичення похибок у кінематичних ланцюгах ще на етапі проектування. Логічним продовженням є дослідження [18], де розглянуто вплив випадкових коливань миттєвої подачі на формування мікрогеометрії поверхні при контурному точінні та розточуванні.

Практичне підтвердження цього напряму знаходимо у роботі [19], де досліджено процес розточування точних отворів із застосуванням розточувального різця, інтегрованого з тензометричними датчиками. Такий підхід забезпечує реєстрацію параметрів зрізання металу в реальному часі та дозволяє оцінювати динаміку процесу.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Особливості запропонованого ТП обробки деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01»

Аналіз базового ТП показав, що лиття у піщано-глинисті форми (10 клас точності, 4 ряд припусків) має низку недоліків. Припуски на механічну обробку є великими, їх розподіл по контуру нерівномірний. Зростає ризик появи дефектів, таких як раковини чи пористість. Витрати матеріалу та інструменту також значні.

Для запропонованого технологічного процесу прийнято метод лиття в кокіль згідно з ДСТУ EN ISO 8062-3:2015 [20]. Металева форма точніше відтворює конфігурацію деталі, прискорене охолодження формує дрібнозернисту структуру та підвищує міцність. Геометричні розміри залишаються стабільними від партії до партії.

Прийняті параметри: клас точності вилівка 7, ряд припусків 2. Це забезпечує допуски на розміри на два-три квалітети точніші та зменшення припусків майже удвічі. В таблиці 2.1 приведено порівняльну характеристику методів отримання заготовки для базового та запропонованого ТП.

Таблиця 2.1 – Порівняння методів отримання заготовок

Параметр	Базовий ТП (піщано- глинисті форми)	Новий ТП (лиття в кокіль)
Нормативний документ	ДСТУ EN ISO 8062-3:2015	
Клас точності вилівка	10	7
Ряд припусків	4	2
Допуски на розмір $\varnothing 90$	$\approx \pm 0.5 \dots 0.7$ мм	$\approx \pm 0.2 \dots 0.3$ мм
Припуск на сторону для $\varnothing 326$	2.5 ... 3.5 мм	1.2 ... 1.8 мм
Твердість поверхні	160 ... 170 НВ (нерівномірна)	170 ... 180 НВ (рівномірна)

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Разроб.		<i>Воранчак С.І.</i>			Лит.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Склярів Р.А.</i>				24	17
Реценз.					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		
Н. Кантр.		<i>Кодельник В. Р.</i>					
Затверд.		<i>Крцпа В.В.</i>					
<i>ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</i>							

Перехід на заготовку, отриману литтям у кокіль, дозволив суттєво спростити маршрут обробки. Запропоновано варіант ТП, що поєднує токарні переходи на одному верстаті з ЧПК та об'єднує свердлильно-різьбонарізні роботи на вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК. Це рішення зменшує кількість установок, скорочує допоміжний час і забезпечує єдність технологічних баз.

Таблиця 2.2 – Структура нового технологічного процесу

Обладнання	Основні переходи	Базування
<i>005 Токарна (чорнова + чистова, установ А)</i>		
Токарний патронний верстат з ЧПК 1В340Ф30	підрізання торця $54 \pm 0.1$ ; точіння $\varnothing 278h9$ ; розточування $\varnothing 90H8$ ; розточування $\varnothing 80H10$ ; чистове формування пояска та фаски	$\varnothing 278h9$ та торець 21H12
<i>010 Токарна (переустановлення, установ Б)</i>		
Токарний патронний верстат з ЧПК 1В340Ф30	підрізання торця 21H12; розточування торця 32H12; підрізання торця $8 \pm 1.5$ ; обточування $\varnothing 95$ ; формування фаски	$\varnothing 278h9$ та торець $54 \pm 0.1$
<i>015 Вертикально-свердлильна</i>		
Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК 2Р135Ф2-1	свердління 6 отворів $\varnothing 11H13$ ; зенкування фасок; свердління 4 глухих отворів $\varnothing 6.8$ ; цекування отворів; нарізання різьби М8	Координатне позиціонування системою ЧПК

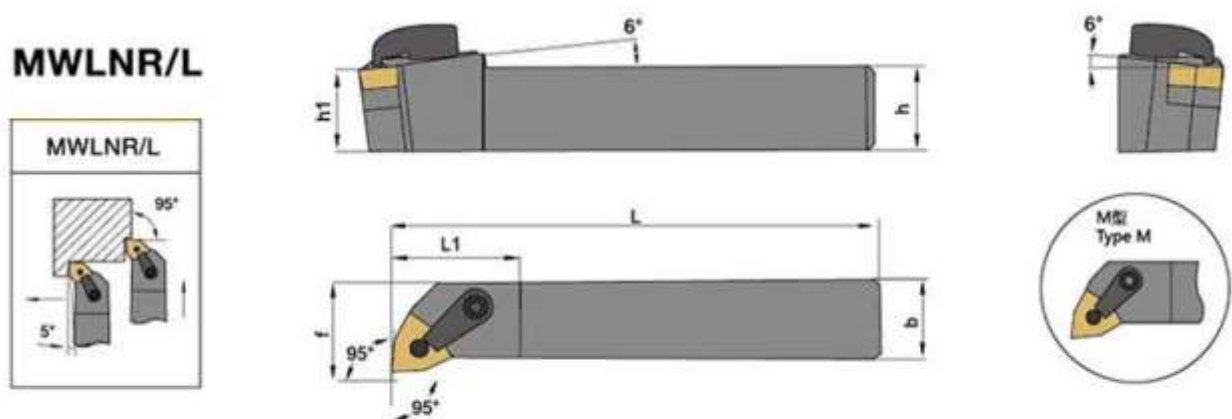
Зменшення кількості операцій і установок не лише скорочує час, а й знижує ризик накопичення похибок. Використання координатного позиціонування замість кондукторів підвищує точність розташування отворів. Автоматична зміна інструменту на свердлильному верстаті з ЧПК забезпечує стабільність режимів і швидке переналагодження.

## 2.2 Обґрунтування та вибір різального інструменту

При розробці технології обробки деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01» ми здійснили вибір різального інструменту, який забезпечує стабільність розмірів, високу продуктивність та якість поверхонь. Матеріалом заготовки є Сталь 35Л із твердістю 170 ... 180 НВ. Як було показано у попередньому пункті, деталь отримано литтям у кокіль. Це означає наявність ливарної кірки, нерівномірного припуску та потребу в інструменті, здатному витримувати ударні навантаження.

Аналіз показав, що компанія Sandvik Coromant [21, 22] пропонує сучасні твердосплавні марки змінних багатогранних пластин із покриттям Inveio® та Zertivo™, а також системи Silent Tools для гасіння вібрацій. Саме ці характеристики стали визначальними при виборі пластин для чорнових і чистових токарних переходів, відповідних тримачів для їх кріплення, а також свердлильного та різьбонарізного інструменту.

Для чорнових токарних переходів обрано пластини GC4425 у тримачах системи *T – Max P*. Вони забезпечують міцність ріжучої кромки та стійкість до ударних навантажень при знятті нерівномірного припуску.



Type	Insert	Size(mm)						Shim	Pin	Clamp	Clamp Screw	Wrench
		h	b	L	L1	h1	f					
MWLNR/L1616H06	WN□□0604□□	16	16	100	23	16	20	MW 0603	MCT513	HL 1814	MCS625	L2.0, L3.0
MWLNR/L2020K06		20	20	125	23	20	25					L2.5, L3.0
MWLNR/L2525M06	WN□□0804□□	25	25	150	23	25	32	MW 0804	MCT617	HL 1814	MCS625	L2.5, L3.0
MWLNR/L1616H08		16	16	100	25	16	20					
MWLNR/L2020K08		20	20	125	25	20	25					
MWLNR/L2525M08		25	25	150	25	25	32					
MWLNR/L3232P08		32	32	170	25	32	40					

Рисунок 2.1 – Токарний різець системи *T – Max P*

Для чистових переходів використано GC4405 у штангах CoroTurn 107 (див. рис. 2.2), що гарантують стабільність розмірів і якість поверхні  $Ra$  1.6 – 3.2. Розточування отворів  $\varnothing 90H8$  та  $\varnothing 80H10$  виконується пластинами TCMT, де чорнові операції забезпечує GC4425, а чистові, відповідно GC4405 із геометрією FP для досягнення квалітету H8.

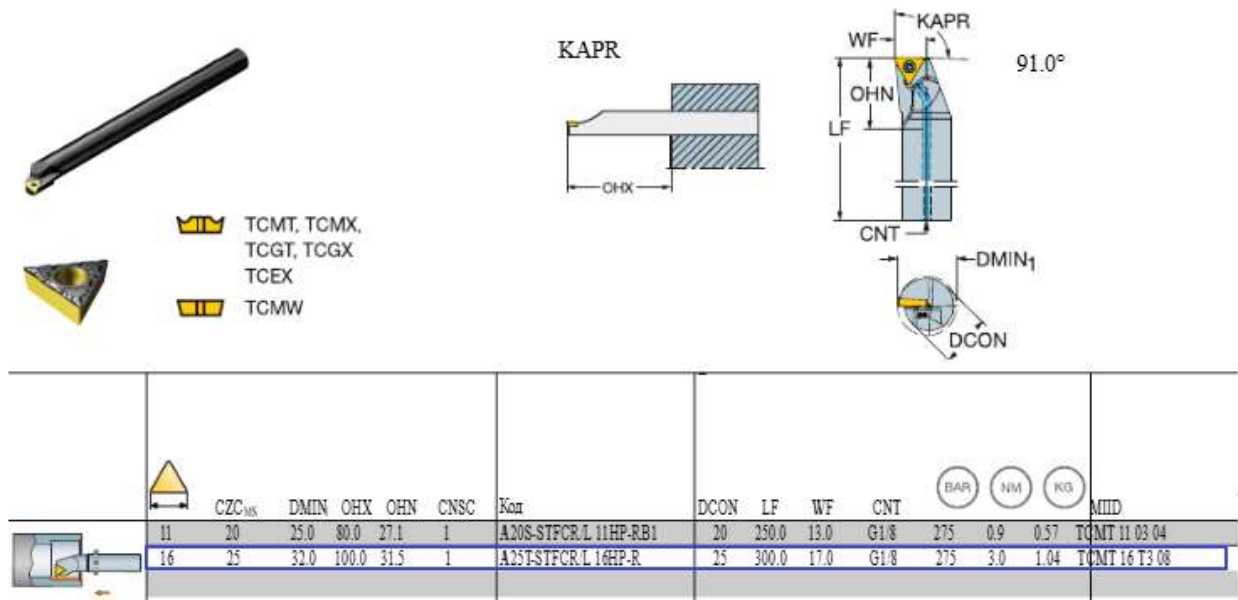


Рисунок 2.2 – Штанга CoroTurn 107

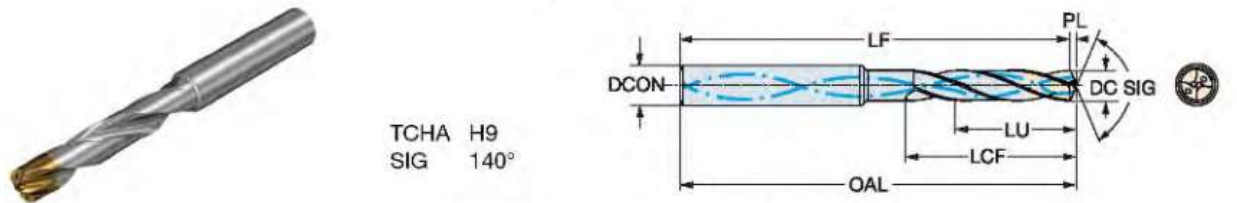
Результати вибору інструменту для токарних операцій приведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Рекомендовані інструменти для токарних операцій

Перехід	Інструмент	Призначення
1	2	3
Торцювання $\varnothing 326$	Державка MWLNR 2020K 06 (T – Max P) Пластина WNMG 060408 – MM GC4425	Чорнова обробка
Чистове точіння $\varnothing 278h9$	Державка MWLNR 2020K 06 (T – Max P) Пластина WNMG 060404 – FF GC4405	Допуск $h9$ , $Ra$ 3.2



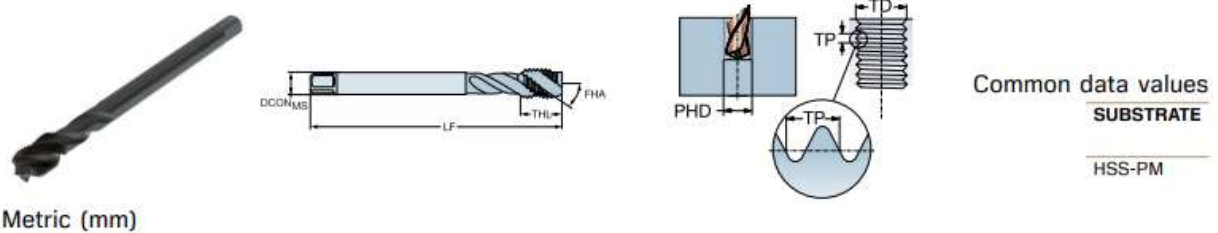
Для глухих отворів Ø6.8 під різьбу М8 використано CoroDrill 860, що гарантує точність осевого положення (див. рис. 2.4).



DC	DC'	LU	LU'	ULDR	CZC <sub>MS</sub>	Código de pedido	Dimensiones, mm, pulg.															
							P	M	K	N	S	H										
6.75	.266	21.4	.843	3	8	860.1-0675-020A1-GM	*	*	*	*	*	*	DCON <sub>MS</sub>	DCON <sub>E'</sub>	OAL	OAL'	LF	LF'	LCF	LCF'	PL	PL'
6.75	.266	35.0	1.378	5	8	860.1-0675-034A1-GM	*	*	*	*	*	*	8.0	.315	91	3.583	89.8	3.534	53	2.087	1.2	.048
6.80	.268	21.6	.850	3	8	860.1-0680-020A1-GM	*	*	*	*	*	*	8.0	.315	79	3.110	77.8	3.062	34	1.339	1.2	.049
6.80	.268	35.2	1.386	5	8	860.1-0680-035A1-GM	*	*	*	*	*	*	8.0	.315	91	3.583	89.8	3.534	53	2.087	1.2	.049
6.80	.268	55.6	2.189	8	8	860.1-0680-055A1-GM	*	*	*	*	*	*	8.0	.315	126	4.961	124.8	4.913	84	3.307	1.2	.047
6.90	.272	21.9	.862	3	8	860.1-0690-020A1-GM	*	*	*	*	*	*	8.0	.315	79	3.110	77.7	3.061	34	1.339	1.3	.049

Рисунок 2.4 – Свердло CoroDrill 860

Нарізання різьби здійснюється мітчиками CoroTap 300, розробленими спеціально для глухих отворів.



Ordering code	M		TDZ	TP [mm]	TD [mm]	DCON <sub>MS</sub> [mm]	LU [mm]	TCTR	LF [mm]	THL [mm]	NOF	PHD [mm]	BSG	THCHT	COATING
	C145	C110													
T300-MM100IA-M6	●	M 6	1.00	6.00	6.30	27.00	6H	66.00	10.00	3	5.00	ISO529	C = 2-3xTP	PVD TiAlN+WC/C	
T300-MM100IA-M6	●	M 6	1.00	6.00	6.30	27.00	6H	66.00	10.00	3	5.00	ISO529	C = 2-3xTP	PVD FeN	
T300-MM100IA-M8	●	M 8	1.25	8.00	8.00	31.00	6H	73.00	12.00	3	6.80	ISO529	C = 2-3xTP	PVD TiAlN+WC/C	
T300-MM100IA-M8	●	M 8	1.25	8.00	8.00	31.00	6H	72.00	12.00	3	6.80	ISO529	C = 2-3xTP	PVD FeN	
T300-MM100IA-M10	●	M 10	1.50	10.00	10.00	35.00	6H	80.00	15.00	3	8.50	ISO529	C = 2-3xTP	PVD TiAlN+WC/C	

Рисунок 2.5 – Мітчик CoroTap 300

В таблиці 2.4 приведено характеристики прийнятого осевого інструменту.

Таблиця 2.4 – Інструменти для свердлильних та різьбонарізних операцій

Перехід	Інструмент	Призначення
Свердління 6 отворів Ø11H13 з фаскою	<i>CoroDrill 870 – 1100 – 8 – C1 + 870 – 1100 – 8 – PM – GC4334</i>	Свердління та фаска
Свердління 4 глухих отворів Ø6.8	<i>CoroDrill 860.1-0680-035A1-GM</i>	Підготовка під різьбу М8
Нарізання різьби М8 6Н	<i>CoroTap 300 T300-MM100IA-M8 PVD TiAlN + WC/C</i>	Нарізання різьби у глухих отворах

### 2.3 Обґрунтування та призначення контрольно-вимірювальних інструментів

Для забезпечення точності виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01» застосовуються засоби вимірювання, що відповідають допускам на розміри та параметри розташування поверхонь. Вибір здійснено відповідно до настанов ДСТУ-Н 7918: 2015 [23], а також з урахуванням вимог до конструкції та метрологічних характеристик засобів вимірювання, визначених у ДСТУ EN ISO 3611:2022 [24], ДСТУ EN ISO 1938-1:2022 [25] та ДСТУ EN ISO 13385-1:2022 [26].

Аналіз креслення дозволив виділити кілька груп параметрів. Посадкові поверхні високої точності Ø90H8 та Ø278h9 визначають працездатність вузла і контролюються повністю за допомогою калібрів відповідно до ДСТУ EN ISO 1938-1:2022 [25]. Поверхні середньої точності, такі як Ø80H10 та розміри торців 21H12,  $54 \pm 0.1$ , 32H12,  $46 \pm 0.1$ ,  $15 \pm 0.1$ , перевіряються вибірково штангенциркулем, що відповідає вимогам ДСТУ EN ISO 13385-1:2022 [26]. Отвори Ø11H13 контролюються калібрами-пробками, різьби М8 перевіряються різьбовими калібрами згідно з ДСТУ EN ISO 1938-1:2022 [25]. Співвісність Ø90H8 та Ø278h9, а також

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

позиційний допуск отворів  $\varnothing 11H13$  контролюються спеціальними калібрами. Геометрія фасок  $1 \times 45^\circ$ ,  $2 \times 45^\circ$ ,  $1 \times 30^\circ$  перевіряється фаскоміром.

З урахуванням серійності виробництва (50 000 шт. на рік) та необхідної точності призначено засоби вимірювання, характеристики яких зведені в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Контрольно-вимірювальні інструменти

Контрольований параметр	Допуск	Засіб вимірювання	Точність
$\varnothing 90H8$	+0.054 мм	Калібр-пробка $\varnothing 90H8$ , ДСТУ EN ISO 1938-1: 2022	0.005 мм
$\varnothing 80H10$	+0.12 мм	Калібр-пробка $\varnothing 80H10$ , ДСТУ EN ISO 1938-1: 2022	0.01 мм
$\varnothing 278h9$	-0.13 мм	ШЦ І 125 0.1, ДСТУ EN ISO 13385-1: 2022	0.1 мм
21H12	+0.25 мм	ШЦ І 125 0.1, ДСТУ EN ISO 13385-1: 2022	0.1 мм
$54 \pm 0.1$	$\pm 0.1$ мм	ШЦ І 125 0.1, ДСТУ EN ISO 13385-1: 2022	0.1 мм
$46 \pm 0.1$	$\pm 0.1$ мм	ШЦ І 125 0.1, ДСТУ EN ISO 13385-1: 2022	0.1 мм
$15 \pm 0.1$	$\pm 0.1$ мм	ШЦ І 125 0.1,	0.1 мм
32H12	+0.2 мм	ДСТУ EN ISO 13385-1: 2022	0.1 мм
6 отворів $\varnothing 11H13$	H13	Калібр-пробка $\varnothing 11$ , ДСТУ EN ISO 1938-1: 2022	0.02 мм
Розташування отворів $\varnothing 11$	Допуск 0.1 мм	Калібр розташування, ДСТУ-Н 7918: 2015	0.05 мм
Різьба М8 6Н	6Н	Калібр різьбовий пробковий М8, ДСТУ EN ISO 1938-1: 2022	—
Фаски $1 \times 45^\circ$ , $2 \times 45^\circ$ , $1 \times 30^\circ$	$\pm 1^\circ$	Фаскомір спеціальний, ДСТУ-Н 7918: 2015	$\pm 0.5^\circ$

Оскільки деталь «Кришка редуктора КС6Б-0.01» містить відповідальні поверхні, то вони перевіряються повністю, а саме розмір  $\varnothing 90H8$  калібром-пробкою,  $\varnothing 278h9$  вибірково штангенциркулем з обов'язковим візуальним контролем кожної деталі, різьба М8 калібром-пробкою. Вибірковий контроль у межах 5 – 10% партії проводиться для розмірів  $\varnothing 80H10$ , торців 21Н12,  $54 \pm 0.1$ ,  $46 \pm 0.1$ ,  $15 \pm 0.1$ , 32Н12 та отворів  $\varnothing 11H13$ . Періодичний контроль один раз на зміну здійснюється для позиційного допуску отворів за допомогою калібру розташування. Фаски перевіряються фаскоміром вибірково для 5% деталей, що дозволяє виявити задирки та підтвердити відповідність геометрії.

## 2.4 Розрахунок режимів різання для токарних операцій

Розрахунок режимів різання є одним із ключових етапів проектування технологічного процесу. Від його результатів залежить не лише продуктивність обробки, а й правильність вибору верстатного обладнання, інструменту та оснащення. Метою даного розрахунку є визначення раціональних параметрів різання, які забезпечують необхідну точність, якість поверхні та максимальну стійкість інструменту при мінімальних витратах часу.

Розрахунок виконуємо для найбільш навантаженої операції чорнового точіння, а саме зовнішнього контуру  $\varnothing 278h9$  (операція 005, перехід 3). Саме цей перехід визначає вимоги до потужності та крутного моменту приводу головного руху верстата. Додатково проведемо розрахунок для чистового розточування  $\varnothing 90H8$ , як найбільш відповідальної операції з точки зору точності (допуск Н8, шорсткість  $Ra$  1.6 мкм).

Методика розрахунку базується на офіційних рекомендаціях виробника інструменту Sandvik Coromant [21], які враховують сучасні твердосплавні марки та геометрію ріжучої частини, а також на спеціальній довідниковій літературі [27, 28].

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Перед виконанням розрахунку систематизуємо всі вихідні параметри, які впливають на процес різання, їх приведено в таблиці 2.6. До них належать характеристики матеріалу заготовки, геометричні параметри інструменту, його марка та тип покриття, ми їх попередньо визначили в п.2.2.

Таблиця 2.6 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення
Матеріал заготовки	Сталь 35Л, $HB = 170 \dots 180$ , група ISO P
Інструмент для чорнового точіння	Пластина <i>WNMG 060408-MM GC4425</i> у державці <i>MWLNR 2020K 06</i> , система <i>T-Max P</i>
Інструмент для чистового розточування	Пластина <i>TCMT 110304-FP GC4405</i> у штанзі <i>A20S-STFCR 11HP-RB1</i> , система <i>CoroTurn 107</i>

Обрана для чорнкової обробки пластина *GC4425* належить до нового покоління твердосплавних марок із *CVD*-покриттям. Вона забезпечує високу стійкість до ударних навантажень, що особливо важливо при знятті нерівномірного ливарного припуску. Пластина *GC4405* для чистової обробки має гострішу ріжучу кромку та спеціальну геометрію стружколому *FP*, що дозволяє досягти високої якості поверхні при малих глибинах різання.

Для даного інструменту рекомендовані режими різання обираємо за каталогом, що пропонує фірма Sandvik Coromant [21], їх приведено нижче в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Рекомендовані режими різання

Параметр	Значення з поясненням
Швидкість різання $v_c$	$v_c = 120 \dots 200$ м/хв, для сталі ISO P
Подача $f_n$	$f_n = 0.25 \dots 0.40$ мм/об, для чорнкової обробки
Глибина різання $t$	$t = 1.5 \dots 3.0$ мм, для чорнкової обробки

Для розрахунку приймаємо такі значення:

$$v_c = 140 \text{ м/хв}, \quad f_n = 0.30 \text{ мм/об}, \quad t = 3.0 \text{ мм}$$

Вибір нижньої межі швидкості та значень подачі й глибини пояснюється необхідністю забезпечення підвищеної стійкості інструменту при обробці ливарної сталі 35Л. Поверхневий шар заготовки може містити включення, раковини та нерівномірну твердість, тому такий режим гарантує стабільність процесу та зменшення ризику передчасного зношування ріжучої кромки.

Проведемо розрахунок необхідної частоти обертання шпинделя, яка є одним із основних кінематичних параметрів. Вона визначає продуктивність обробки та впливає на стабільність процесу. Для її визначення використовується загальновідома [29]:

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

де  $D_m = 278$  мм – діаметр зовнішнього контуру деталі після лиття в кокіль.

Після підстановки отримаємо:

$$n = \frac{140 \cdot 1000}{3.14 \cdot 278} \approx 160 \text{ об/хв}$$

Отримане значення частоти обертання входить до діапазону швидкостей, характерного для сучасних токарних патронних верстатів із ЧПК середнього типорозміру.

Для чорнового точіння характерними є відносно низькі частоти обертання. Саме вони забезпечують необхідний крутний момент на шпинделі, що дозволяє ефективно знімати великі припуски та гарантує стабільність процесу навіть при наявності ливарної кірки чи нерівномірної структури матеріалу.

Сила різання є одним із ключових параметрів процесу механічної обробки. Вона визначає навантаження на привід головного руху, формує величину крутного моменту на шпинделі та безпосередньо впливає на інтенсивність зношування інструменту. Для її визначення застосовується методика Sandvik Coromant [21], в основі якої лежить поняття питомої сили різання  $k_c$ . Ця величина залежить від товщини стружки та властивостей матеріалу заготовки.

Загальна формула для тангенціальної складової сили різання має вигляд:

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$F_c = t \cdot f_n \cdot k_c \quad (2.2)$$

де  $t$  – глибина різання, мм;

$f_n$  – подача на оберт, мм/об;

$k_c$  – питома сила різання, Н/мм<sup>2</sup>.

Тоді питома сила різання визначається за емпіричною залежністю:

$$k_c = k_{c0,4} \cdot \left(\frac{h_m}{0.4}\right)^{m_c} \quad (2.3)$$

де  $k_{c0,4} = 2000$  Н/мм<sup>2</sup> – базове значення для сталей групи ISO P при товщині стружки 0.4 мм;

$m_c = 0.29$  – коефіцієнт впливу товщини стружки;

$h_m$  – середня товщина стружки, мм.

Середня товщина стружки визначається з урахуванням головного кута в плані різця  $\kappa_r$ . Для державки MWLNR 2020K 06 цей кут становить  $\kappa_r = 95^\circ$ . Оскільки  $\sin 95^\circ \approx 0.996 \approx 1.0$ , то з достатньою точністю можна прийняти:

$$h_m = f_n = 0.30 \text{ мм}$$

Після підстановки отримаємо наступне значення питомої сили різання:

$$k_c = 2000 \cdot \left(\frac{0.30}{0.4}\right)^{0,29} = 2174 \text{ Н/мм}^2$$

Тоді величина тангенціальної сили різання буде становити:

$$F_c = 3.0 \cdot 0.30 \cdot 2174 \approx 1656 \text{ Н}$$

Потужність, що витрачається на процес різання, визначає енергетичні вимоги до приводу верстата. Це один із ключових параметрів при виборі електродвигуна головного руху, адже саме він показує, чи зможе обладнання стабільно працювати в умовах реального навантаження.

Формула для визначення потужності має вигляд:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 1000} \quad (2.4)$$

де  $F_c$  – сила різання, Н;  $v_c$  – швидкість різання, м/хв.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Виконаємо підстановку числових значень:

$$P_c = \frac{1656 \cdot 140}{60000} \approx 3.86 \text{ кВт}$$

Отримане значення характеризує потужність безпосередньо процесу різання. Для визначення необхідної потужності електродвигуна верстата слід врахувати коефіцієнт корисної дії кінематичного ланцюга приводу. Для токарних верстатів з ЧПК ККД механічної частини приводу зазвичай становить  $\eta = 0.7 \dots 0.8$ . Приймаємо  $\eta = 0.8$ .

Проведемо розрахунок потужності на шпинделі верстата:

$$N_{\text{шп}} = \frac{P_c}{\eta} \quad (2.5)$$

Після підстановки отримаємо:

$$N_{\text{шп}} = \frac{3.86}{0.8} \approx 4.83 \text{ кВт}$$

Крутний момент на шпинделі є важливою характеристикою, яка визначає здатність верстата виконувати чорнову обробку на низьких частотах обертання. Це особливо актуально при обробці деталей великого діаметра, у нашому випадку  $\varnothing 278$  мм, де потрібні значні крутні моменти для стабільного зняття припуску.

Формула для визначення крутного моменту має вигляд:

$$M = \frac{F_c \cdot D_m}{2 \cdot 1000} \quad (2.6)$$

де  $F_c$  – сила різання, Н;

$D_m$  – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

Виконаємо підстановку числових значень:

$$M = \frac{1656 \cdot 278}{2000} \approx 230 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Технічне нормування операцій є невід'ємною частиною проектування технологічного процесу. Воно дозволяє оцінити очікувану продуктивність та

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

порівняти різні варіанти маршрутів обробки. Основний (машинний) час  $T_0$  визначається як час безпосереднього контакту різального інструменту із заготовкою.

Наступним етапом є визначення розрахункової довжини обробки  $L$ , для цього скористаємось виразом:

$$L = l + l_1 + l_2 \quad (2.7)$$

де  $l$  – довжина оброблюваної поверхні згідно з кресленням, мм;

$l_1$  – величину врізання, мм,  $l_1 = 2 \dots 3$  мм;

$l_2$  – перебіг інструменту, мм,  $l_2 = 1 \dots 2$  мм.

Для чорнового точіння  $\emptyset 278h9$  довжина оброблюваної поверхні згідно з кресленням становить  $l = 54$  мм. Приймаємо  $l_1 = 2$  мм,  $l_2 = 1$  мм. Тоді:

$$L = 54 + 2 + 1 = 57 \text{ мм}$$

Основний час визначається за формулою:

$$T_0 = \frac{L}{f_n \cdot n} \quad (2.8)$$

де  $f_n$  – подача на оберт, мм/об;

$n$  – частота обертання шпинделя, об/хв.

Після підстановки отримаємо:

$$T_0 = \frac{57}{0.30 \cdot 160} \approx 1.19 \text{ хв } (\approx 71 \text{ с})$$

На інші технологічні переходи токарної операції режими різання призначаємо табличним методом [27]. Розрахунки проводимо за приведеною вище методикою, їх результати приведені в таблиці 2.8.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Таблиця 2.8 – Режими різання для основних переходів токарної обробки

Перехід	Тип обробки	$t$ , мм	$f_n$ , мм/об	$v_c$ , м/хв	$n$ , об/хв	$F_c$ , Н	$P_c$ , кВт	$T_0$ , хв
Чорнове точіння $\emptyset 278h9$	Чорнова	3.0	0.30	140	160	1656	3.86	1.19
Чистове точіння $\emptyset 278h9$	Чистова	0.3	0.10	150	172	–	–	0.40
Чорнове розточування $\emptyset 90H8$	Чорнова	2.5	0.25	100	354	–	–	0.40
Чистове розточування $\emptyset 90H8$	Чистова	0.75	0.08	150	530	191	0.48	0.82
Підрізання торців	Чорнова	2.0	0.30	140	137	–	–	0.35
Підрізання торців	Чистова	0.3	0.10	150	146	–	–	0.25

## 2.5 Розрахунок режимів різання для свердлильно-різьбонарізної операції

Розрахунок проводимо на основі рекомендацій, які дає виробник інструменту Sandvik Coromant [22]. Ми не подаємо детальний покроковий розрахунок, а відразу узагальнюємо результати у вигляді зведеної таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Режими різання для свердлильно-різьбонарізної операції 015

Перехід	Інструмент	$v_c$ , м/хв	$f_n$ , мм/об	$n$ , об/хв	$v_f$ , мм/хв	$L$ , мм	$T_0$ , хв 1 отвір
Свердління 6 отворів Ø11Н13 з фаскою	<i>CoroDrill</i> 870	110	0.18	1600	288	18	0.0625
Свердління 4 глухих отворів Ø6.8	<i>CoroDrill</i> 860	80	0.10	1600	160	18	0.1125
Нарізання різьби М8-6Н (4 отвори)	<i>CoroTap</i> 300	10	крок 1.25 мм/об	400	–	15	0.03

## 2.6 Верстатне забезпечення основних технологічних операцій

Для реалізації технологічного процесу виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01» обрано два верстати з числовим програмним керуванням. Так для виконання токарних операцій будемо застосовувати токарно-револьверний патронний верстат моделі 1В340Ф30. Для здійснення свердлильно-різьбонарізних переходів обираємо вертикально-свердлильний верстат моделі 2Р135Ф2-1. Обране обладнання відповідає габаритам деталі та вимогам серійного виробництва.

Так токарно-револьверний верстат 1В340Ф30 призначений для токарної обробки деталей із прямолінійним, ступінчастим та криволінійним профілем. На ньому виконуються обточування, розточування, підрізання торців, проточування канавок, свердління, зенкерування, розгортання та нарізання різьб. Його технічні характеристики [30] приведені в Додатку А.

Габарити деталі не перевищують можливості верстата, що забезпечує вільне встановлення. Точність позиціонування 5 – 10 мкм дозволяє виконати обробку поверхонь  $\varnothing 90H8$  та  $\varnothing 278h9$ . Частота обертання для чистового розточування  $\varnothing 90H8$  входить у робочий діапазон. Восьмипозиційна револьверна головка дає змогу закріпити всі необхідні різці без переналагодження.

Розрахункова потужність на шпинделі при найбільш навантаженому переході чорнового точіння становить 4.83 кВт, що не перевищує потужність головного приводу верстата 1В340Ф30 (6 кВт). Отже, енергетичні характеристики верстата забезпечують виконання операцій механічної обробки, закріплених за даним обладнанням у технологічному процесі виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01»

Вертикально-свердлильний верстат 2Р135Ф2-1 призначений для свердління, розсвердлювання, зенкування, розгортання, нарізання різьби та фрезерування. Його застосовують для обробки корпусних деталей і деталей типу «фланець», «кришка», «плита». Основні технічні характеристики та загальний вигляд [31] приведені в Додатку Б.

Діаметр свердління  $\varnothing 11$  та  $\varnothing 6.8$  мм значно менші за максимальний діаметр обробки, що може забезпечити верстат. Частота обертання для свердління  $\varnothing 11$  входить у робочий діапазон. Шестишпindelна револьверна головка дозволяє встановити всі необхідні інструменти та виконувати автоматичну їх зміну за програмою. Хрестовий стіл із ЧПК забезпечує координатне позиціонування отворів без кондукторів. Точність позиціонування 0.05 мм відповідає допуску на розташування отворів. Верстат дозволяє виконати всі необхідні операції за один установ.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



У проєктованій схемі виділяються три основні кінематичні ланцюги. Перший ланцюг забезпечує головний обертовий рух шпинделя. Електродвигун постійного струму через клинопасову передачу передає обертання на вхідний вал коробки швидкостей. Далі рух поширюється через систему зубчастих передач безпосередньо на шпиндель. Така структура дозволяє отримати широкий діапазон частот обертання від 10 до 2000 об/хв.

Другий ланцюг відповідає за рухи подач. Поздовжнє та поперечне переміщення супорта здійснюється окремими приводами з кроковими двигунами, які керуються сигналами системи ЧПК. Це забезпечує високу точність позиціонування та повторюваність рухів.

Третій ланцюг реалізує нарізання різьби. Для цього використовується ходовий гвинт у поєднанні зі змінними зубчастими колесами. Система забезпечує синхронізацію обертання шпинделя та поздовжньої подачі, що є необхідною умовою для якісного формування різьби.

Вибір такої структури пояснюється прагненням забезпечити стабільну роботу при різних режимах. Особливо важливою є можливість підтримання постійної швидкості різання, це дозволяє досягти високої чистоти поверхні при обробці отвору  $\varnothing 90H8$ , де вимоги до шорсткості становлять  $Ra1.6$  мкм.

### 3.2 Розрахунок та обґрунтування параметрів приводу головного руху

#### 3.2.1 Техніко-технологічне обґрунтування характеристик приводу головного руху

Проектування приводу головного руху токарно револьверного верстата потребує точного узгодження його кінематичних та силових характеристик із технологічними навантаженнями, що виникають під час обробки деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01». Найбільш показовими є режими чорнового точіння зовнішнього контуру  $\varnothing 278h9$  та чистового розточування  $\varnothing 90H8$ .

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Потужність різання ми визначали в другому розділі, її величина становить  $P_c = 3.86$  кВт.

Номінальна потужність на шпинделі визначається з урахуванням коефіцієнта корисної дії привода:

$$P_{\text{шп}} = \frac{P_c}{\eta} \quad (3.1)$$

де  $\eta = 0.8$ .

$$P_{\text{шп}} = \frac{3.86}{0.8} = 4.83 \text{ кВт}$$

З урахуванням динамічних перевантажень вводимо коефіцієнт запасу  $K_3 = 1.25$ . Тоді розрахункова потужність двигуна визначається:

$$N_{\text{дв}} = P_{\text{шп}} \cdot K_3 \quad (3.2)$$

Після підстановки отримаємо:

$$N_{\text{дв}} = 4.83 \cdot 1.25 \approx 6.04 \text{ кВт}$$

На основі проведеного силового та кінематичного розрахунку, для модернізованого привода головного руху токарно-револьверного верстата слід обрати двигун, потужність якого більша від розрахованого значення.

Визначаємо крутний момент на шпинделі, для цього скористаємось формулою:

$$M_{\text{шп}} = \frac{F_c \cdot D}{2 \cdot 1000} \quad (3.3)$$

де  $F_c$  – сила різання, Н;

$D$  – діаметр обробки, мм.

Для  $\varnothing 278$  мм при  $F_c = 1656$  Н:

$$M_{\text{шп}} = \frac{1656 \cdot 278}{2000} \approx 230 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу  $K_3 = 1.25$ :

$$M_{\text{шп}}^{\text{макс}} = M_{\text{шп}} \cdot K_3 = 230 \cdot 1.25 \approx 287.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таким чином, кінематичний ланцюг головного привода має забезпечувати передачу моменту до 287.5 Н·м без втрати стійкості та точності.

### 3.2.2 Визначення діапазону регулювання привода головного руху

Головний привід токарно-револьверного верстата з ЧПК проектується як універсальний привід, здатний забезпечити ефективну обробку широкої номенклатури деталей типу тіл обертання у всьому діапазоні технічних можливостей обладнання.

Приводи шпинделів верстатів з ЧПК відрізняються від універсальних тим, що мають вищу потужність. Це дозволяє інтенсивніше знімати метал і скорочувати машинний час обробки. Діапазон швидкостей обертання у таких системах зазвичай відповідає аналогічним універсальним моделям, проте реалізується сучасними методами регулювання.

Для визначення діапазону регулювання використовують два способи. Перший базується на структурному підході, коли загальна величина розглядається як добуток окремих зон регулювання.

Загальний діапазон регулювання привода головного руху визначається за виразом [32]:

$$R = R_e \cdot R_M \quad (3.4)$$

де  $R_e$  – електричний діапазон регулювання двигуна;

$R_M$  – діапазон, що забезпечується механічною коробкою швидкостей.

Електричний діапазон складається з двох зон роботи двигуна:

$$R_e = R_{дМ} \cdot R_{дР} \quad (3.5)$$

де  $R_{дМ}$  – діапазон регулювання у зоні постійного моменту;

$R_{дР}$  – діапазон регулювання у зоні постійної потужності.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Підставляючи цей вираз у загальну формулу, отримуємо [32]:

$$R = R_{дМ} \cdot R_{дР} \cdot R_M \quad (3.6)$$

Такий підхід дозволяє оцінити можливості привода з точки зору його конструктивних елементів.

Другий спосіб визначається відношенням граничних частот обертання:

$$R = \frac{n_{max}}{n_{min}} \quad (3.7)$$

де  $n_{max}$  – найбільша частота обертання шпинделя;

$n_{min}$  – найменша частота обертання шпинделя.

Цей вираз дає безпосереднє уявлення про робочі можливості верстата.

Частота обертання шпинделя визначається співвідношенням між швидкістю різання та діаметром обробки:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (3.8)$$

де  $n$  – частота обертання шпинделя, об/хв;

$v$  – швидкість різання, м/хв;

$D$  – діаметр обробки, мм.

Спочатку визначаємо мінімальну розрахункову частоту обертання шпинделя, вона потрібна для чорнової обробки деталей максимального габариту при мінімально допустимій швидкості різання.

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot v_{min}}{\pi \cdot D_{max}} \quad (3.9)$$

Після підстановки отримаємо:

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot 55}{3.14 \cdot 400} \approx 43.8 \text{ об/хв}$$

Округляємо до паспортного значення:

$$n_{min} = 45 \text{ об/хв}$$

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Визначаємо максимальну розрахункову частоту обертання шпинделя, вона потрібна для чистової обробки деталей мінімального діаметра сучасним інструментом із надтвердих матеріалів. Для верстатів даного типорозміру приймаємо мінімальний діаметр обробки  $d_{min} = 25$  мм. Максимальна швидкість різання для чистової обробки  $v_{max} = 160$  м/хв.

Для цього скористаємось виразом:

$$n_{max} = \frac{1000 \cdot v_{max}}{\pi \cdot d_{min}} \quad (3.10)$$

Після підстановки отримаємо:

$$n_{max} = \frac{1000 \cdot 160}{3.14 \cdot 25} \approx 2038 \text{ об/хв}$$

Округляємо до паспортного значення:

$$n_{max} = 2000 \text{ об/хв}$$

Для особливо важких умов доцільно розширити нижню межу частот обертання до значення  $n_{min} = 8$  об/хв. Таке рішення є проектним і реалізується за рахунок застосування частотного регулювання асинхронного двигуна у модернізованому приводі головного руху. В результаті цього ми зможемо здійснювати обробку зі швидкістю різання близько  $v \approx 10$  м/хв при діаметрі  $D = 400$  мм.

Таким чином, необхідний діапазон після модернізації:

$$R = \frac{2000}{8} = 250$$

Для реалізації необхідного діапазону  $R = 250$  приймаємо структуру модернізованого приводу, в якому будемо використовувати асинхронний двигун з частотним керуванням та триступеневу коробку швидкостей, яка має знаменник геометричного ряду  $\varphi = 2$ .

Для модернізованого приводу головного руху приймається асинхронний шпиндельний двигун *FRYB – 380 – 200L – 15 – 80 – 7R5* (виробник FRECON Electric), призначений для роботи з частотним перетворювачем. Основні технічні характеристики двигуна [33]:

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- потужність  $P = 7.5$  кВт;
- номінальна частота обертання  $n_{\text{НОМ}} = 1500$  об/хв;
- максимальна частота обертання  $n_{\text{д,мак}} = 8000$  об/хв;
- мінімальна частота обертання, обумовлена можливостями векторного керування та енкодера зворотного зв'язку,  $n_{\text{міндв}} \approx 128$  об/хв.
- номінальний крутний момент  $M_{\text{НОМ}} = 48$  Н·м;
- клас захисту  $IP55$ , ізоляція класу  $F$ .

У зоні постійного моменту двигун працює від мінімальної частоти до номінальної. Це дає діапазон:

$$R_{\text{дМ}} = \frac{n_{\text{НОМ}}}{n_{\text{мін}}} \quad (3.11)$$

$$R_{\text{дМ}} = \frac{1500}{128} \approx 11.72$$

Тобто двигун може знизити швидкість приблизно у 12 разів, зберігаючи при цьому сталий момент.

У зоні постійної потужності двигун працює від номінальної частоти до максимальної. Це дає діапазон:

$$R_{\text{дР}} = \frac{n_{\text{двмак}}}{n_{\text{НОМ}}} \quad (3.12)$$

$$R_{\text{дР}} = \frac{8000}{1500} \approx 5.33$$

Тобто у цій зоні частота може збільшуватися приблизно у 5.33 рази, при цьому потужність залишається сталою.

Коробка швидкостей має три механічні ступені зі знаменником геометричного ряду  $\varphi = 2$ . Це забезпечує діапазон:

$$R_{\text{М}} = \varphi^{z-1} \quad (3.13)$$

$$R_{\text{М}} = 2^{3-1} = 4$$

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Тоді загальний діапазон регулювання привода буде становити:

$$R = 11.72 \cdot 5.33 \cdot 4 = 250$$

Для побудови структурної сітки приводу головного руху необхідно визначити мінімальні, граничні та максимальні частоти обертання шпинделя для кожної з трьох механічних передач коробки швидкостей. Вихідними даними є мінімальна технологічна частота  $n_{1min} = 8$  об/хв, знаменник геометричного ряду  $\varphi = 2$ , діапазон регулювання в зоні постійного моменту  $R_{дМ} = 7.81$  та діапазон регулювання в зоні постійної потужності  $R_{дР} = 2$ .

Розрахуємо мінімальну частоту в зоні постійного моменту для першої механічної ступені:

$$n_{1.M} = n_{1min} = 8 \text{ об/хв}$$

Гранична частота переходу до зони постійної потужності визначається як:

$$n_{1.P} = n_{1.M} \cdot R_{дМ} \quad (3.14)$$

$$n_{1.P} = 8 \cdot 11.72 \approx 93.8 \text{ об/хв}$$

Максимальна частота на першому ступені становить:

$$n_{1.max} = n_{1.P} \cdot R_{дР} \quad (3.15)$$

$$n_{1.max} = 93.8 \cdot 5.33 \approx 500 \text{ об/хв}$$

Таким чином, перший ступінь забезпечує діапазон від 8 до 500 об/хв.

Проведемо розрахунок для другої ступені.

Мінімальна частота у зоні постійного моменту визначається:

$$n_{2.M} = n_{1.M} \cdot \varphi \quad (3.16)$$

$$n_{2.M} = 8 \cdot 2 = 16 \text{ об/хв}$$

Гранична частота переходу до зони постійної потужності визначається:

$$n_{2.P} = n_{2.M} \cdot R_{дМ} \quad (3.17)$$

$$n_{2.P} = 16 \cdot 11.72 \approx 187.5 \text{ об/хв}$$

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Максимальна частота на другому ступені визначається:

$$n_{2.max} = n_{2.P} \cdot R_{дР} \quad (3.18)$$

$$n_{2.max} = 187.5 \cdot 5.33 = 1000 \text{ об/хв}$$

Отже, другий ступінь охоплює діапазон від 16 до 1000 об/хв.

Проведемо розрахунок для третьої ступені.

Мінімальна частота у зоні постійного моменту визначається як:

$$n_{3.M} = n_{2.M} \cdot \varphi \quad (3.19)$$

$$n_{3.M} = 16 \cdot 2 = 32 \text{ об/хв}$$

Гранична частота переходу до зони постійної потужності визначається:

$$n_{3.P} = n_{3.M} \cdot R_{дМ} \quad (3.20)$$

$$n_{3.P} = 32 \cdot 11.72 \approx 375 \text{ об/хв}$$

Максимальна частота на третьому ступені визначається:

$$n_{3.max} = n_{3.P} \cdot R_{дР} \quad (3.21)$$

$$n_{3.max} = 375 \cdot 5.33 = 2000 \text{ об/хв}$$

Таким чином, третій ступінь забезпечує діапазон від 32 до 2000 об/хв.

Результати проведених розрахунків приведені в таблиці 3.1.

Механічний ступінь	Діапазон, об/хв
I (нижній)	8 ... 500
II (середній)	16 ... 1000
III (верхній)	32 ... 2000

Отримані значення забезпечують безперервне регулювання частоти обертання шпинделя в усьому діапазоні від 8 до 2000 об/хв, що повністю відповідає вимогам модернізованого привода головного руху.

### 3.2.3 Побудова сітки частот та графіка обертів

Для побудови структурної сітки та графіка частот обертання необхідно визначити кількість інтервалів, що характеризують кінематику привода. Перший показник  $K_1$  відображає різницю між максимальною частотою електродвигуна та максимальною частотою шпинделя. Другий показник  $K_2$  визначає кількість інтервалів у межах робочого діапазону шпинделя від мінімальної до максимальної частоти. Їх розрахунок здійснимо за наступними аналітичними залежностями:

$$K_1 = \frac{\lg\left(\frac{n_{\text{ед. max}}}{n_{\text{max}}}\right)}{\lg(\varphi)} \quad (3.22)$$

$$K_2 = \frac{\lg\left(\frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}}\right)}{\lg(\varphi)} \quad (3.23)$$

Після підстановки отримаємо наступні значення:

$$K_1 = \frac{\lg\left(\frac{8000}{2000}\right)}{\lg(2)} = 2$$

$$K_2 = \frac{\lg\left(\frac{2000}{8}\right)}{\lg(2)} \approx 7.97 \approx 8$$

Визначаємо загальну кількість інтервалів для проєктованої кінематичної сітки, для цього використаємо вираз:

$$K_{\text{заг}} = K_1 + K_2 \quad (3.24)$$

В результаті підстановки отримаємо:

$$K_{\text{заг}} = 2 + 8 = 10$$

Використовуючи дані нормалі Н11-1, обираємо стандартний ряд частот обертання (від 8 до 2000  $\text{хв}^{-1}$ ). На основі цього ряду будується графік (рис. 3.2), який відображає передавальні відношення на кожному ступені регулювання та забезпечує плавне перекриття всього робочого діапазону.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

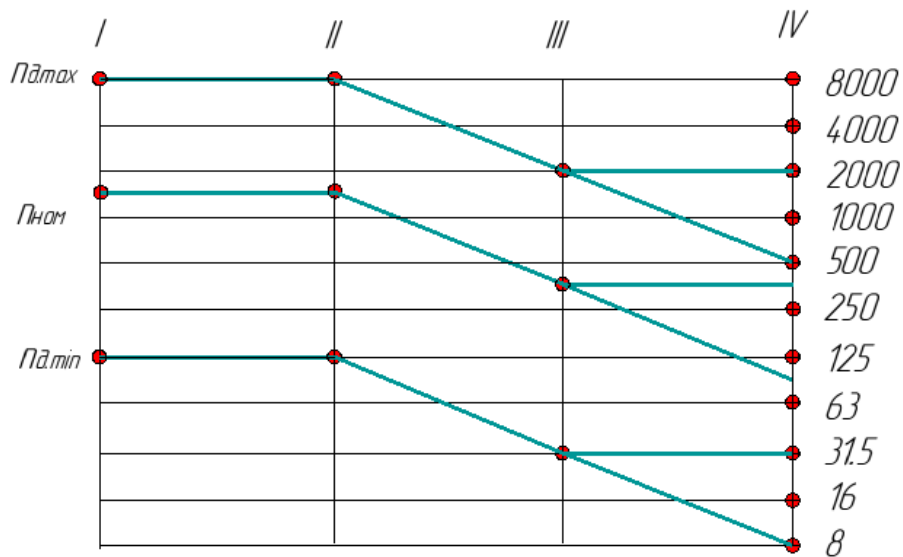


Рисунок 3.2 – Кінематична сітка приводу головного руху

### 3.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору зубчасто-пасової передачі

Використовуючи програму «Комплекс інженерних розрахунків» проведемо розрахунок зубчасто-пасової передачі. Вихідними даними для проведення розрахунків є максимальна потужність, яку передає передача, граничні частоти обертання та її передаточне відношення.

Результати розрахунку приведені на рис. 3.3.

Розрахунок пасової передачі (зубчастої)

ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ДОВІДКА ОФОРМЛЕННЯ ВИВІД

Потужність, яка передається передачею, кВт	7,5	Число зубців меншого шківа (див. дов.)	60
Передаточне відношення	1	Коефіцієнт динамічності навантаження	1
Номинальна частота обертання меншого шківа, об/хв	1500	Число натяжних роликів	1
Максимальна частота обертання меншого шківа, об/хв	8000	Число змін роботи передачі	1

#### РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

Ширина ремня, мм	25	32	40	50
Число зубів ведучого шківа	60	60	60	60
Число зубів веденого шківа	60	60	60	60
Число зубів ремня	140	140	140	140
Модуль, мм	5	5	5	5
Міжосьова відстань, мм	628,00	628,00	628,00	628,00
Довжина ремня, мм	2198,00	2198,00	2198,00	2198,00
Дільний діам. ведучого шківа, мм	300	300	300	300
Дільний діам. веденого шківа, мм	300	300	300	300
Висота зуба, мм	4,50	4,50	4,50	4,50
Ширина шківа, мм	30,00	37,00	45,00	55,00
Напруження зсуву, МПа	0,041	0,032	0,026	0,020
Допустиме напруження зсуву, МПа	0,750	0,750	0,750	0,750
Колова сила, Н	325,	325,	325,	325,
Гранична колова сила, Н	875	1120	1400	1750
Максимальна колова швидкість, м/с	125,60	125,60	125,60	125,60

Рисунок 3.3 – Автоматизований розрахунок зубчасто-пасової передачі

### 3.4 Силовий та конструктивний розрахунок коробки швидкостей

#### 3.4.1 Розрахунок передавальних чисел та чисел зубців

Кінематична структура коробки швидкостей передбачає три зубчасті пари, які формують робочі діапазони (див. рис. 3.4).

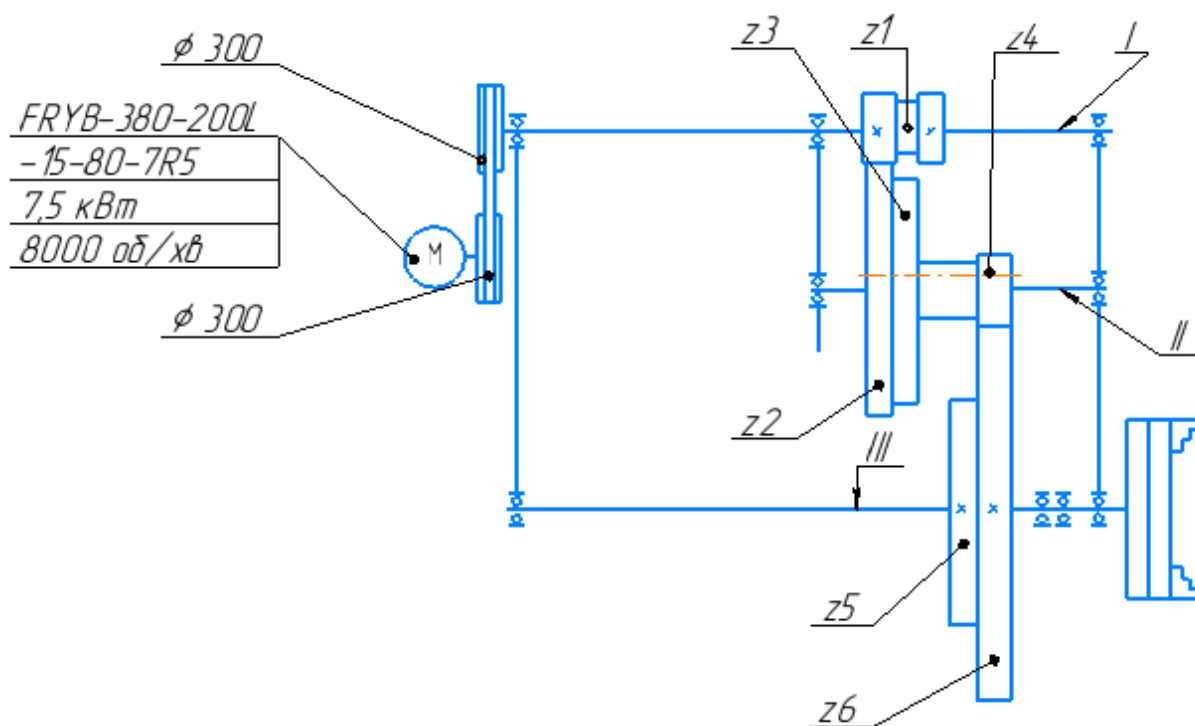


Рисунок 3.4 – Розрахункова кінематична схема приводу головного руху

Розрахунок зубчастих передач коробки швидкостей виконується на основі побудованого графіка частот обертання (рис. 3.2) та прийнятої кінематичної схеми (рис. 3.4). Кожна передача формує власний діапазон регулювання і має визначене функціональне призначення у забезпеченні роботи привода головного руху.

Пасова передача характеризується передаточним відношенням  $i_{II} = 1.0$ , оскільки діаметри шківів однакові. Її роль полягає у передачі обертання від електродвигуна до вхідного вала коробки швидкостей без зміни частоти. Це виражається співвідношенням:

									Арк.
									52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ				

$$i_{\text{п}} = \frac{D_1}{D_2} \quad (3.25)$$

де  $D_1$  – діаметр ведучого шківa, мм;

$D_2$  – діаметр веденого шківa, мм.

Діаметри шківів пасової передачі ми розраховали раніше. Після підстановки ми отримаємо:

$$i_{\text{п}} = \frac{300}{300} = 1,0$$

Згідно графіка перша понижувальна передача має передаточне число  $i_1 = 0.25$ , що відповідає відношенню  $U_1 = 4.0$ . Її функція полягає у формуванні нижньої гама швидкостей, необхідної для силових режимів різання та обробки важкорізальних матеріалів. При сумі зубів  $\Sigma Z_1 = 110$  визначаємо числа зубів:

$$z_2 = \frac{\Sigma Z_1 \cdot U_1}{U_1 + 1} \quad (3.26)$$

В результаті обчислення отримаємо:

$$z_2 = \frac{110 \cdot 4}{5} = 88$$

$$z_1 = \Sigma Z_1 - z_2 = 110 - 88 = 22$$

Фактичне передаточне число становить:

$$U_1 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{88}{22} = 4.0 \quad (i_1 = 0.25)$$

Друга передача є прямою, з передаточним числом  $i_2 = 1.0$ . Вона забезпечує передачу обертання без зміни частоти, що необхідно для отримання середніх та максимальних швидкостей шпинделя. При сумі зубів  $\Sigma Z_2 = 120$  отримуємо:

$$z_3 = \frac{\Sigma Z_2}{2} = 60, z_4 = \Sigma Z_2 - z_3 = 60$$

Фактичне відношення дорівнює:

$$U_2 = \frac{z_3}{z_4} = \frac{60}{60} = 1.0$$

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Третя понижувальна передача має передаточне число  $i_3 = 0.25$ , що відповідає  $U_3 = 4.0$ . Вона використовується у силовому діапазоні, коли необхідний значний запас моменту при мінімальних швидкостях. При сумі зубів  $\Sigma Z_3 = 120$  визначаємо:

$$z_6 = \frac{\Sigma Z_3 \cdot U_3}{U_3 + 1} = \frac{120 \cdot 4}{5} = 96$$

$$z_5 = \Sigma Z_3 - z_6 = 24$$

Фактичне передаточне число становить

$$U_3 = \frac{z_6}{z_5} = \frac{96}{24} = 4.0 \quad (i_3 = 0.25)$$

Зведені результати розрахунків наведено у таблиці 3.2, де показано суми зубів, визначені числа зубів для кожної передачі та фактичні передаточні відношення.

Таблиця 3.2 – Передаточні числа та числа зубів

Передача	$\Sigma Z$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	Фактичне відношення
Перша понижувальна	110	22	88	–	–	–	–	$U_1 = 4.0$
Друга (пряма)	120	–	–	60	60	–	–	$U_2 = 1.0$
Третя понижувальна	120	–	–	–	–	24	96	$U_3 = 4.0$

### 3.4.2 Розрахунок крутних моментів на валах приводу

Розрахунок крутних моментів на валах приводу є необхідним етапом для забезпечення надійності роботи коробки швидкостей та правильного вибору параметрів зубчастих коліс, підшипників і допоміжних елементів.

Вихідними даними для розрахунку є:

- потужність електродвигуна  $P = 7.5$  кВт;
- номінальна частота обертання двигуна  $n_{\text{ном}} = 1500$  об/хв;
- максимальна частота в зоні ослаблення поля  $n_{\text{д,мах}} = 8000$  об/хв;
- ККД пасової передачі  $\eta_{\text{пас}} = 0.96$ ;
- ККД однієї пари зубчастих коліс  $\eta_{\text{зп}} = 0.99$ ;
- ККД пари підшипників  $\eta_{\text{підш}} = 0.985$ .

Крутний момент на валу двигуна визначається за формулою [32]:

$$T_{\text{дв}} = \frac{9550 \cdot P}{n_{\text{ном}}} \quad (3.27)$$

В результаті підстановки отримаємо:

$$T_{\text{дв}} = \frac{9550 \cdot 7.5}{1500} = 47.75 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При максимальній частоті обертання двигуна у зоні ослаблення поля момент зменшується:

$$T_{\text{дв,мах}} = \frac{9550 \cdot P}{n_{\text{д,мах}}} \cdot \eta_{\text{дв}} \quad (3.28)$$

$$T_{\text{дв,мах}} = \frac{9550 \cdot 7.5}{8000} \cdot 0.95 \approx 8.95 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

На вхідному валу коробки швидкостей після пасової передачі момент становить

$$T_I = T_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{пас}} \quad (3.29)$$

$$T_I = 47.75 \cdot 0.96 = 45.84 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для проміжного валу після першої понижувальної передачі з відношенням  $i_1 = 0.25$  момент збільшується:

$$T_{II} = \frac{T_I \cdot \eta_{\text{зп}}}{i_1} \quad (3.30)$$

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$T_{II} = \frac{45.84 \cdot 0.99}{0.25} = 181.5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

На третьому валу при прямій передачі ( $i_2 = 1.0$ ) момент дорівнює

$$T_{III}^{\text{пр}} = T_{II} \cdot \eta_{зп} \cdot i_2 \quad (3.31)$$

$$T_{III}^{\text{пр}} = 181.5 \cdot 0.99 \cdot 1.0 = 179.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При знижувальній передачі ( $i_3 = 0.25$ ) він зростає:

$$T_{III}^{\text{зн}} = \frac{T_{II} \cdot \eta_{зп}}{i_3} \quad (3.32)$$

$$T_{III}^{\text{зн}} = \frac{181.5 \cdot 0.99}{0.25} = 718.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

На шпинделі при прямій передачі момент становить:

$$T_{\text{шп}}^{\text{пр}} = T_{III}^{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{підшп}} \quad (3.33)$$

$$T_{\text{шп}}^{\text{пр}} = 179.7 \cdot 0.985 = 177.0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

А при знижувальній передачі:

$$T_{\text{шп}}^{\text{зн}} = T_{III}^{\text{зн}} \cdot \eta_{\text{підшп}} \quad (3.34)$$

$$T_{\text{шп}}^{\text{зн}} = 718.8 \cdot 0.985 = 708.0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Таким чином, максимальні значення моментів виникають у силовому діапазоні роботи привода. Отримані значення крутних моментів приймаються як розрахункові для подальшого проектування зубчастих коліс та вибору підшипників.

### 3.4.3 Визначення модуля зубчастих передач верстата

Розрахунок виконується для останньої передачі коробки швидкостей, оскільки саме вона передає на шпиндель найбільший крутний момент і визначає

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

міцність усієї системи. Це критичний етап, адже від правильного вибору параметрів залежить надійність роботи всього привода.

Вихідними даними для розрахунку є:

- крутний момент на шестерні  $T = 718.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;
- коефіцієнт навантаження  $K_n = 1.1$  (враховує дію помірних ударних навантажень, які виникають у процесі різання);
- коефіцієнт форми зуба  $y = 0.284$  (відображає геометричні особливості профілю зуба);
- коефіцієнт ширини зуба  $\psi_m = 6$  (забезпечує оптимальне співвідношення міцності та габаритів);
- допустиме контактне напруження  $[\sigma]_H = 700 \text{ МПа}$  (для сталі 40Х після термічного поліпшення).

Величину модуля передачі визначаємо за умовою міцності на згин [32]:

$$m = \sqrt[3]{\frac{12,6 \cdot T \cdot K_n}{y \cdot z_1 \cdot \psi_m \cdot [\sigma]_H}} \quad (3.35)$$

де  $T$  – крутний момент на шестерні;

$K_n$  – коефіцієнт навантаження;

$y$  – коефіцієнт форми зуба;

$z_1$  – число зубів шестерні;

$\psi_m$  – коефіцієнт ширини зуба;

$[\sigma]_H$  – допустиме контактне напруження матеріалу.

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$m = \sqrt[3]{\frac{12.6 \cdot 718.8 \cdot 1.1}{0.284 \cdot 24 \cdot 6 \cdot 700}} \approx 3.81 \text{ мм}$$

Згідно зі стандартним рядом модулів приймається значення  $m = 4 \text{ мм}$ . Це забезпечує технологічну уніфікацію та спрощує виготовлення коліс.

Визначення міжосьової відстані. Міжосьова відстань визначається співвідношенням:

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$a_w = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2} \quad (3.36)$$

де  $m$  – модуль передачі;

$z_1$  – число зубів шестерні;

$z_2$  – число зубів колеса.

Для останньої передачі при  $z_1 = 24$  та  $z_2 = 96$  отримаємо:

$$a_w = \frac{4 \cdot (24 + 96)}{2} = 240 \text{ мм}$$

Визначаємо міжосьові відстані для інших передач.

Для першої передачі ( $z_1 = 22, z_2 = 88$ ), згідно розрахунків міжосьова відстань становить:

$$a_w = \frac{4 \cdot (22 + 88)}{2} = 220 \text{ мм}$$

Для другої передачі ( $z_3 = 60, z_4 = 60$ ) отримуємо:

$$a_w = \frac{4 \cdot (60 + 60)}{2} = 240 \text{ мм}$$

Таким чином, усі передачі мають однаковий модуль  $m = 4$  мм, що забезпечує єдність конструкції та зручність виготовлення.

Результати розрахунків приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок модуля зубчастих коліс по валах коробки

Передача	$z_1$	$z_2$	$m$ , мм	$a_w$ , мм	$i$	Примітка
Перша	22	88	4	220	0.25	Знижувальна
Друга	60	60	4	240	1.0	Пряма
Третя (остання)	24	96	4	240	0.25	Знижувальна, розрахункова

### 3.4.4 Геометричний розрахунок зубчастих коліс

Геометричний розрахунок виконується для визначення параметрів, що забезпечують працездатність передачі: ділільних діаметрів, діаметрів вершин і западин, міжосьових відстаней, висоти та товщини зуба, а також ширини вінця. Ці величини визначаються не лише з умов міцності, але й з урахуванням технологічності виготовлення та конструктивних обмежень, що впливають із креслення шпиндельної коробки.

Для верстата проєктовано верстату, згідно попередньо проведених розрахунків прийнято модуль зубчастих коліс  $m = 4$  мм. Матеріал – Сталь 40Х, загартована ТВЧ до твердості 45 ... 50HRC. Кут тиску  $\alpha = 20^\circ$ .

Геометричний розрахунок коліс проводимо за усталеною методикою, тому спочатку наводимо розрахункові вирази, а самі результати обчислень зводимо у таблицю.

Ділільний діаметр:

$$d = m \cdot z \quad (3.37)$$

де  $m$  – модуль зубчастого колеса, мм;

$z$  – число зубів.

Діаметр вершин зубів (зовнішній діаметр):

$$d_a = d + 2 \cdot m \quad (3.38)$$

Діаметр западин (внутрішній діаметр):

$$d_f = d - 2.5 \cdot m \quad (3.39)$$

Висота зуба:

$$h = 2.25 \cdot m \quad (3.40)$$

Коловий крок:

$$p = \pi \cdot m \quad (3.41)$$

Товщина зуба по ділильному колу:

$$S = 1.571 \cdot m \quad (3.42)$$

Ширина зубчастого вінця:

$$b = \psi_m \cdot m \quad (3.43)$$

де  $\psi_m = 6 \dots 10$  – коефіцієнт ширини вінця (прийнято  $\psi_m = 6$ ) для зменшення габаритів).

Міжосьова відстань:

$$A = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2} \quad (3.44)$$

Отримані результати розрахунків приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Зведені результати геометричного розрахунку

Колесо	$z$	$m$ , мм	$d$ , мм	$d_a$ , мм	$d_f$ , мм	$h$ , мм	$p$ , мм	$S$ , мм	$b$ , мм	$A$ , мм
$z_1$	22	4	88	96	78	9	12.566	6.283	24	220
$z_2$	88	4	352	360	342	9	12.566	6.83	24	220
$z_3$	60	4	240	248	230	9	12.566	6.283	24	240
$z_4$	60	4	240	248	230	9	12.566	6.283	24	240
$z_5$	24	4	96	104	86	9	12.566	6.283	24	240

### 3.4.5 Проектний розрахунок діаметрів валів коробки швидкостей

Розрахунок діаметрів валів коробки швидкостей виконується з метою підтвердження працездатності конструкції та відповідності прийнятих технічних рішень умовам міцності. Вали працюють під дією крутних моментів, що виникають у процесі передачі потужності через зубчасті зачеплення, а також під впливом згинальних навантажень.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Для виготовлення валів використовується сталь 40Х після гартування та високого відпуску. Такий матеріал забезпечує високу міцність і технологічність, проте при розрахунку враховується концентрація напружень у місцях шліцьових з'єднань та посадок під підшипники. Допустиме напруження кручення приймається рівним  $[\tau] = 30$  МПа, що гарантує запас міцності.

Максимальний крутний момент виникає на проміжному валі при роботі на знижувальній передачі з передаточним відношенням  $i = 0.25$ . Його значення становить  $M_{кр} = 718.8 \text{ Н}\cdot\text{м} = 718800 \text{ Н}\cdot\text{мм}$ . Саме цей режим є найбільш навантаженим і визначає мінімально допустимий діаметр валу.

Умова міцності круглого суцільного валу на кручення має вигляд [32]:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p} \leq [\tau] \quad (3.45)$$

де  $M_{кр}$  – крутний момент;

$W_p$  – полярний момент опору перерізу.

Для круглого валу:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad (3.46)$$

Після перетворення отримуємо формулу для визначення мінімального діаметра:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{кр}}{\pi \cdot [\tau]}} \quad (3.47)$$

Підстановка числових значень дає:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 718800}{3.14 \cdot 30}} \approx 49.6 \text{ мм}$$

Округлюючи до стандартного ряду, приймається діаметр  $d = 50$  мм.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Отримане значення є мінімально допустимим. У конструкції фактичні діаметри приймаються більшими з кількох причин: підвищення жорсткості валів, компенсація концентрації напружень у шліцьових з'єднаннях, відповідність стандартним посадкам підшипників, наявність осьового отвору у шпинделі, а також вимоги вібростійкості та технологічності виготовлення.

Зведені результати розрахунку наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахункові та прийняті діаметри валів коробки швидкостей

Вал	Крутний момент, Н·м	Розрахунковий діаметр, мм	Прийнятий діаметр, мм	Причина збільшення
Вхідний (I)	45.8	20	35	Жорсткість, посадки під підшипники
Проміжний (II)	718.8	50	55 ... 60	Шліци, жорсткість, підшипники
Шпиндель (III)	708.0	50	85	Наскрізний отвір Ø40мм, жорсткість, точність обробки

У графічній частині роботи представлено креслення конструкції коробки швидкостей. На ньому показано взаємне розташування валів, зубчастих коліс та опорних елементів, що утворюють єдину кінематичну систему. Кожна пара коліс має своє функціональне призначення, а їхнє узгоджене розташування забезпечує правильний розподіл навантажень.

Запропонована конструкція привода головного руху підтверджує результати проведених розрахунків. Вона демонструє відповідність геометричних параметрів і діаметрів валів умовам міцності, а також узгодженість між перевірочними та проєктними даними. Завдяки цьому досягається плавне перекриття всього діапазону частот обертання шпинделя.



Фіксуючий пристрій складається з двох торцевих мілкозубих напівмуфт 6 і 7. Перша напівмуфта закріплена на основі 3, друга встановлена на корпусі. Для попереднього утримання застосовується підпружинений упор 8 односторонньої дії.

Механізм повороту розташований у порожнині стакану 2 та пов'язаний з віссю 9. Електродвигун 10 через зубчасті колеса 12, 13 і 14 та планетарну передачу із сателітами 15 з'єднується з центральними колесами з внутрішнім зачепленням, що взаємодіють зі стаканом 2 і муфтою затиску. Муфта затиску виконана у вигляді двох гвинтових напівмуфт: одна жорстко пов'язана з приводним колесом 16, інша (позиція 17) через проміжну муфту 18 з'єднана з віссю 9.

Принцип роботи полягає у тому, що при включенні електродвигуна обертання передається на гвинтову напівмуфту 16. Корпус головки під дією пружин основи 3 підіймається по гвинтових зубах напівмуфти 17, розчіплюючи напівмуфти 6 і 7. У цей момент корпус повертається до нового положення, яке контролюється мікровимикачами командного апарату 19, розташованого у верхній частині стакану 2. Після спрацювання одного з мікровимикачів подається команда на реверс електродвигуна. Корпус повертається до упора 8, після чого затискається гвинтовою муфтою у заданому положенні. Окремий мікровимикач вимикає двигун, завершуючи цикл індексації.

Таким чином, револьверна головка забезпечує точне позиціонування інструментальних блоків, автоматизований поворот у потрібне положення та стабільність процесу обробки. Її конструкція поєднує компактність, надійність і функціональну гнучкість, що дозволяє ефективно виконувати обробку деталей, зокрема таких як «Кришка редуктора КС6Б 0.01».

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64

# 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

## 4.1 Таксонометрія небезпек

Таксономія небезпек у сучасній науці про безпеку життєдіяльності розглядається як системний інструмент упорядкування та класифікації явищ, процесів і факторів, що мають потенціал завдавати шкоди людині, суспільству чи довкіллю [34]. Це не статична модель, а динамічна система, яка постійно оновлюється у відповідь на появу нових техногенних, природних та комбінованих загроз.

Ключовим напрямом є класифікація за генезисом. Природні небезпеки формуються стихійними процесами геосфер і біосфери, техногенні виникають унаслідок інженерної діяльності людини, соціально-політичні пов'язані з внутрішніми конфліктами та кризами, комбіновані поєднують кілька джерел і часто мають найбільш руйнівний характер.

Важливим критерієм є просторове середовище прояву. Загрози можуть бути космічними, атмосферними, літосферними чи гідросферними. Кожна сфера має власні специфічні чинники, які потребують окремих методів прогнозування та захисту.

Не менш значущою є класифікація за сферою життєдіяльності. Виробничі небезпеки охоплюють промислові аварії та шкідливі фактори робочого середовища, дорожньо-транспортні пов'язані з рухом на шляхах, побутові виникають у повсякденному житті, спортивні — під час фізичних навантажень чи екстремальних занять.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ворончак С.І.</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>					65	5
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кодельник В.Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						

Часова динаміка дозволяє розрізнити імпульсні небезпеки, що проявляються миттєво, та кумулятивні, які накопичуються поступово і мають прихований характер. Механізм взаємодії з організмом людини також є визначальним: активні чинники випромінюють або вивільняють енергію, пасивні ж стають небезпечними лише при контакті з людиною.

Наслідки класифікують за характером шкоди. Це можуть бути соціальні руйнування, технічні втрати або екологічні катастрофи. Такий підхід дозволяє оцінювати не лише джерело небезпеки, а й її кінцевий результат.

Таксономія небезпек є основою для ідентифікації та квантифікації ризиків. Ідентифікація полягає у виявленні та описі загрози, визначенні її просторово-часових характеристик. Квантифікація переводить якісні ознаки у кількісні показники, що дає змогу застосовувати математичні моделі, статистичні методи та шкали оцінювання. Ступінь ризику виражається через фінансові збитки, кількість постраждалих, рівень руйнації інфраструктури чи масштаби екологічного забруднення.

#### **4.2 Характеристика небезпечних зон обладнання та заходи безпеки для токарного патронного верстата з ЧПК**

Робота на токарному патронному верстаті з ЧПК супроводжується впливом небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Важливою метою є їхня ідентифікація та розробка комплексу заходів, що гарантують безпечну експлуатацію обладнання під час серійного виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01».

До основних факторів належать рухомі частини обладнання, які створюють ризик захоплення одягу чи рук оператора [35, 36].

Значну небезпеку становить стружка: при обробці сталі вона утворюється у вигляді довгих зливних елементів з високою температурою, а при обробці чавуну, у вигляді дрібних частинок, що подразнюють шкіру та очі. Різальний

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		66

інструмент формує зону різання з високим тиском, і при порушенні режимів можливе руйнування пластини та розліт уламків. Загроза виникає також при ненадійному закріпленні заготовки, коли вона може бути вирвана з патрона. Додатковими чинниками є шум від електродвигуна та зубчастих передач, а також психофізіологічне навантаження на оператора при великосерійному виробництві.

Найбільш небезпечною є зона різання, де відбувається контакт інструменту із заготовкою. Тут можливий відліт гарячої стружки та уламків інструменту. Зона обертання патрона та заготовки потребує особливої уваги через великі діаметри деталей і високі швидкості обертання. Зона переміщення револьверної головки та супорта створює ризик защемлення, а ходові гвинти та вали можуть захопити одяг оператора.

Для зниження ризиків застосовуються інженерні рішення. Зона різання закривається прозорим огороженням з триплексу, що блокується системою керування. Патрон обладнується кожухом, який не дозволяє запускати шпindel при відкритому положенні. Для боротьби зі стружкою використовуються стружколомачі на різцях, стаціонарні екрани та автоматичні транспортери. Передбачено блокування пуску при незакріпленій задній бабці або відкритих дверцятах електрошафи. Затиск заготовки здійснюється гідравлічним патроном, що виключає використання ключа.

Організаційні заходи включають дотримання розрахованих режимів різання, правильне встановлення інструменту та регламентований порядок зупинки верстата. Оператор повинен працювати у спеціальному одязі, користуватися захисними окулярами, рукавицями, берушами та діелектричними засобами при роботі з електрообладнанням.

Виконання зазначених заходів безпеки є обов'язковою умовою для серійного виробництва. Вони враховують особливості верстата 1В340Ф30, його кінематичну схему та специфіку обробки сталі 35Л. Такий комплексний підхід гарантує захист персоналу, збереження працездатності обладнання та стабільність технологічного процесу.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		67

### 4.3 Заходи з особистої гігієни при роботі на токарному патронному верстаті з ЧПК

Дотримання правил особистої гігієни повинно розглядатися як обов'язкова умова безпечної експлуатації токарного патронного верстату з ЧПК [36, 37]. Обробка деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01», матеріалом для якої є Сталь 35Л та використання в процесі обробки мастильно-охолоджувальних рідин створює умови, що потребують особливої уваги до гігієнічних норм.

Робоча зона має утримуватися в чистоті. Стружка та пролита рідина повинні видалятися, щоб уникнути падінь і ковзання. Підлога повинна бути рівною та міцною, з ухилом для відведення рідини. Не допускається захаращення робочого простору сторонніми предметами чи інструментами.

Стружку слід видаляти лише механізованим способом. Використання транспортерів забезпечує її автоматичне відведення у контейнери. Забороняється прибирати стружку руками або під час роботи верстата. Очищення необхідно проводити лише після повної зупинки обладнання, використовуючи спеціальні щітки чи скребки.

Оператор повинен бути забезпечений спецодягом із міцної тканини, що щільно застібається та не має вільних кінців. Волосся слід закривати головним убором. Взуття має бути міцним, зі сталевим підноском і протиковзкою підошвою. Очі необхідно захищати окулярами або маскою-щитком, особливо при утворенні дрібної стружки. Руки слід захищати рукавицями, які не повинні бути надто вільними. При роботі з охолоджувальними рідинами застосовуються рукавички з маслобензостійкого матеріалу. При рівні шуму понад 80 дБА слід використовувати беруші або протишумні навушники.

Перед початком роботи необхідно застосовувати захисні мазі чи пасти для шкіри, після завершення рекомендуються до використання живильні креми. Руки слід ретельно мити після контакту зі стружкою чи мастилами. Використання бензину або ацетону для очищення категорично заборонене. Усі порізи та подряпини повинні бути закриті пластирем або напальчиком.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

У зоні розташування верстатів слід забезпечити ефективну вентиляцію для видалення пилу та аерозолю мастильно-охолоджувальних рідин. Освітлення має бути достатнім, не менше 500 лк, без сліпучої дії, з герметичними світильниками.

Режим праці повинен включати регламентовані перерви кожні півтори-дві години для відпочинку та гімнастики очей. Оператори повинні проходити попередні та періодичні медичні огляди, що включають перевірку стану шкіри, зору та нервової системи.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		69

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи проведено комплексний аналіз, спрямований на удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Кришка редуктора КС6Б-0.01» та модернізацію привода головного руху токарного патронного верстата з ЧПК.

В аналітичній частині встановлено, що деталь класифікується як тіло обертання класу 71 за ЄСКД (шифр 711142). Основними базовими поверхнями є отвір  $\varnothing 90H8$  та поясок  $\varnothing 278h9$ . Кількісний аналіз підтвердив високий рівень технологічності конструкції: коефіцієнт точності  $K_T = 0.923$ , коефіцієнт шорсткості  $K_{ш} = 0.345$ , коефіцієнт уніфікації  $K_y = 1.0$ , що дозволяє обмежитися стандартною лезовою обробкою.

У технологічному розділі обґрунтовано перехід від лиття у піщано-глинисті форми (10 клас точності, 4 ряд припусків, 8 операцій) до лиття в кокіль (7 клас точності, 2 ряд припусків). Це дозволило скоротити маршрут до трьох операцій, кількість установок з п'яти–шести до двох та зменшити допоміжний час на 73%. Вибір сучасного інструменту Sandvik Coromant (GC4425, GC4405, CoroDrill 870, CoroTap 300) забезпечив стабільність розмірів і якість поверхонь. Розраховані режими різання підтвердили правильність вибору базового верстата 1В340Ф30 з паспортною потужністю 6 кВт.

У конструкторській частині прийнято рішення про використання асинхронного двигуна потужністю 7,5 кВт, що забезпечує запас потужності. Діапазон регулювання частоти обертання шпинделя розширено від 8 до 2000 об/хв, що дозволяє виконувати як силові чорнові, так і високоточні чистові операції. Розрахунок зубчасто-пасової передачі та коробки швидкостей підтвердив правильність вибору передаточних чисел і забезпечив необхідний запас міцності та точності.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Воранчак С.І.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кабельник В. Р.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						<i>70</i>	<i>2</i>
					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		

У розділі «Безпека життєдіяльності та охорона праці» розроблено комплекс заходів, що включає інженерні та організаційні рішення, а також правила особистої гігієни. Це гарантує захист оператора, стабільність технологічного процесу та надійну експлуатацію обладнання.

Запропоновані в кваліфікаційній роботі технічні рішення мають практичну значущість, вони дозволяють підвищити ефективність виробництва, забезпечити стабільність якості продукції, знизити собівартість та створити безпечні умови праці.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		71

## Перелік посилань

1. Сосновська О. О., Вакофян В. Г. Індустрія 4.0: сутність і тенденції розвитку. Бізнес Інформ. 2022. №1. С. 137–144.
2. Скіцько В. І. Індустрія 4.0 як промислове виробництво майбутнього. *Інвестиції: практика та досвід*. 2016. № 5. С. 33–40.
3. Складання класифікаційних характеристик виробів за класифікатором ЄСКД [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ., які навчаються за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», 142 «Енергетичне машинобудування», спеціалізацією «Тепло- і парогенеруючі установки»; спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізаціями «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів», «Комп'ютерно-інтегровані технології приладів точної механіки», / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. М. Надкернична, О. О. Лебедева.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 116 с.
4. Сталь 35Л : матеріалознавчі характеристики та властивості. *Evek GmbH : міжнародний постачальник металопродукту*. URL: <https://evек.com.ua/materials/stal-35l.html>
5. Металорізальні верстати. Кінематичний аналіз. Практикум до виконання практичних та лабораторних робіт [Електронний ресурс]: Навч. посібник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи» / О. В. Шевченко, А. Ю. Беляєва ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 6,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 86 с.
6. Швець С. В. Основи формоутворення поверхонь різанням: навч. посіб. / С. В. Швець. – Суми: Сумський державний університет, 2011. –127 с.

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>			
					<i>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Воранчак С.І.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					72	5
<i>Реценз.</i>					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м.Тернопіль</i>			
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В. Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						

7. 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

8. Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Залета О. М., Склярів Р. А. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів. *Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки»*, Випуск 71, Луцьк, 2021, № 71. 363 с., С. 322-329

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

10. 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.

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

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

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

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

14. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. / Крижанівський В. А., Кузнєцов Ю. М., Валявський І. А., Склярів Р. А. – Кіровоград, 2004. – 449 с.

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

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

17. 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.

18. 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.

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

20. ДСТУ EN ISO 8062-3:2015 (EN ISO 8062-3:2007, IDT; ISO 8062-3:2007, IDT) Геометричні технічні умови на вироби (GPS). Розмірні та геометричні допуски для виливків. Частина 3. Граничні відхилення розмірів і геометричних параметрів та припуски на механічну обробку. [Чинний від 2016-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 36 с.

21. Sandvik Coromant. Turning tools : E-publication catalog / Sandvik Coromant. URL:

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

<https://epublications.sandvik.coromant.com/frontend/getcatalog.do?catalogId=1157651&catalogVersion=2&lang=en>

22. Sandvik Coromant. Rotating tools : E-publication catalog / Sandvik Coromant.  
URL:

<https://epublications.sandvik.coromant.com/frontend/getcatalog.do?catalogId=1248927&catalogVersion=1&lang=en>

23. ДСТУ-Н 7918:2015 Система технологічного підготовки виробництва. Настанови щодо вибирання засобів контролювання. – [Чинний від 2016-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 32 с.

24. ДСТУ EN ISO 3611:2022 Геометричні специфікації виробу (GPS). Обладнання для вимірювання розмірів. Мікрометри для зовнішніх вимірювань. Конструкція та метрологічні характеристики (EN ISO 3611:2010, IDT; ISO 3611:2010, IDT). – [Чинний від 2023-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 24 с.

25. ДСТУ EN ISO 1938-1:2022 Геометричні специфікації виробу (GPS). Обладнання для вимірювання розмірів. Частина 1. Гладкі граничні калібри лінійних розмірів (EN ISO 1938-1:2015, IDT; ISO 1938-1:2015, IDT). – [Чинний від 2023-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 38 с.

26. ДСТУ EN ISO 13385-1:2022 Геометричні специфікації виробу (GPS). Обладнання для вимірювання розмірів. Частина 1. Конструкція та метрологічні характеристики штангенциркулів (EN ISO 13385-1:2019, IDT; ISO 13385-1:2019, IDT). – [Чинний від 2023-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 28 с.

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

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

30. Верстат токарно-револьверний з ЧПУ 1В340Ф30: схеми, опис, характеристики [Електронний ресурс] // Металообробний інструмент та обладнання : довідник верстатів. – Режим доступу: [https://www.metalinstrument.com/sprav\\_1v340f30.htm](https://www.metalinstrument.com/sprav_1v340f30.htm).

31. Вертикально-свердлильний верстат з револьверною головкою та ЧПУ 2Р135Ф2: опис, характеристики [Електронний ресурс] // Металообробний інструмент та обладнання : довідник верстатів. – Режим доступу: [https://www.metalinstrument.com/sprav\\_2r135f2.htm](https://www.metalinstrument.com/sprav_2r135f2.htm).

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

33. FRECON Electric Co., Ltd. SD300S series spindle servo system [Електронний ресурс] / FRECON Electric. – Режим доступу: <https://frecon-inverter.com/static/upload/file/20250731/1753946382906460.pdf>

34. 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.

35. Вовк Ю. Я., Вовк І. П. Охорона праці в галузі. Навчальний посібник. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А. – 2015. – 172 с.

36. Пістун І. П., Стець Р. Є., Трунова І. О. Охорона праці в галузі машинобудування: Навч. посіб. – Суми: Університетська книга, 2011. – 557 с.

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

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

# ДОДАТКИ

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ворончак С.І.</i>			<i>ДОДАТКИ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					77	
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В. Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>						

## Токарно-револьверний верстат моделі 1В340F30

Найменування параметру	Значення
<b>Основні параметри верстату</b>	
Позначення системи ЧПУ	NC-31
Найбільший діаметр виробу, що обробляється над станиною, мм	400
Найбільший діаметр прутка, що обробляється, на передньому затиску, мм	50
Найбільший діаметр оброблюваного прутка в затискній і трубі, що подає, мм	40
Діаметр отвору в шпинделі, мм	
Найбільша довжина виробу, що встановлюється в центрах (РМЦ), мм	120
<b>Шпиндель</b>	
Потужність двигуна головного руху, кВт	6
Кількість робочих швидкостей шпинделя	12
Межі чисел оборотів шпинделя, об/хв	45...2000
Частота обертання шпинделя в I діапазоні, об/хв	45...1400
Частота обертання шпинделя у II діапазоні, об/хв	63...2000
Межі чисел оборотів шпинделя (зворотне обертання), об/хв	45...250
Кінець шпинделя фланцевий згідно з ГОСТ 12595-75.	1-6С
Найбільший момент, що крутить, на шпинделі не менше, Нм (кг*м)	40
<b>Подача</b>	
Найбільше переміщення револьверного супорта: поздовжнє (Z)/поперечне (X), мм	310/110
Діапазон швидкостей поздовжніх та поперечних подач револьверного супорта, мм/хв.	1..2500
Число подач револьверного супорта	6/с
Швидкість швидких поздовжніх/поперечних ходів, м/хв.	10/ 5
Діапазон швидкостей поздовжніх та поперечних подач відрізного супорта, мм/хв.	5..600
Число подач відрізного супорта	6/с
Швидкість швидких ходів відрізного супорта, м/хв.	8
Кількість позицій (інструментів) у револьверній головці	8
Найбільше зусилля поздовжніх/поперечних подач, кгс	600/300
<b>Параметри системи ЧПУ</b>	
Позначення системи ЧПУ	NC-31
Число координат	2
Кількість одночасно керованих координат	2
Дискретність завдання координат у поздовжньому/поперечному напрямку (дискретність завдання по осі Z, X)	0,001

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						78

<b>Електроустаткування верстата</b>	
Кількість електродвигунів на верстаті, кВт	6
Електродвигун головного приводу, кВт	6
Електродвигун поздовжніх подач, кВт	1,5
Електродвигун поперечних подач, кВт	1,5
Електродвигун станції мастила, кВт	0,37
Електродвигун гідростанції, кВт	2,2
Електродвигун насоса охолодження, кВт	0,12
Електродвигун інструментальної головки, кВт	
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	11,69
Сумарна потужність верстата, кВт	
<b>Габарити та маса верстата</b>	
Габаритні розміри верстата з ЧПУ (довжина, ширина, висота), мм	2840
	1770
	1670
Маса верстата з ЧПУ, кг	3600



Рисунок А.1 – Загальний вигляд верстату 1В340Ф30

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

## Вертикально-свердлильний верстат моделі 2P135Ф2-1

Найменування параметру	Значення
<b>Основні параметри верстата</b>	
Найбільший діаметр свердління в сталі 45, мм	35
Найбільший діаметр різьби в сталі 45, мм	M24
Найбільша і найменша відстань від торця шпинделя до поверхні столу, мм	40..600
Відстань від осі вертикального шпинделя до направляючих стійки (виліт), мм	450
Найбільший діаметр фрези, мм	100
Найбільша глибина фрезерування, мм	2
Найбільша ширина фрезерування, мм	60
Повздовжнє переміщення столу по направляючим салазок (Вісь X), мм	630
Поперечне переміщення салазок по направляючих станини по програмі (Вісь Y), мм	360
Найбільше переміщення шпиндельної бабки по програмі (Вісь Z), мм	560
<b>Супорт. Шпиндельна бабка. Шпиндель</b>	
Частота обертання шпинделя, об/хв	45..2000 31..1400
Кількість швидкостей шпинделя	12
Швидкість швидкого переміщення супорта (шпиндельної бабки), м/хв	4
Кількість подач супорту по осі Z, мм	18
Подачі супорта, мм	10..500
Найбільший допустимий крутний момент, Нм	200
<b>Робочий стіл</b>	
Розміри робочої поверхні столу, мм	400 x 710
Максимальне навантаження на стіл (по центру), кг	
Число Т-подібних пазів Розміри Т-подібних пазів	3
Швидкість швидкого переміщення столу та санок, м/хв	7
Швидкість подачі столу та санок при фрезеруванні, м/хв.	0,22
Мінімальна швидкість переміщення столу, м/хв	0,05
Точність позиціонування столу та санок на довжині ходу, мм	0,05
Система ЧПК 2П32-3	
Число керованих координат	3
Число одночасно керованих координат	2
Дискретність завдання переміщення столу, санок і супорта, мм	0,01

<b>Електроустаткування, привід</b>	
Електродвигун приводу головного руху, кВт	3,7
Електродвигун приводу переміщення шпindelної бабки (супорта), кВт	1,3
Електродвигун приводу переміщення санок та столу, кВт	1,1
Електродвигун приводу обертання револьверної головки, кВт	0,75
Електронасос охолоджувальної рідини Х14-22М, кВт	0,125
Стендовий калібр	
Габарити верстата, мм	1800 x 2170 x 2700
Маса верстата, кг	5390

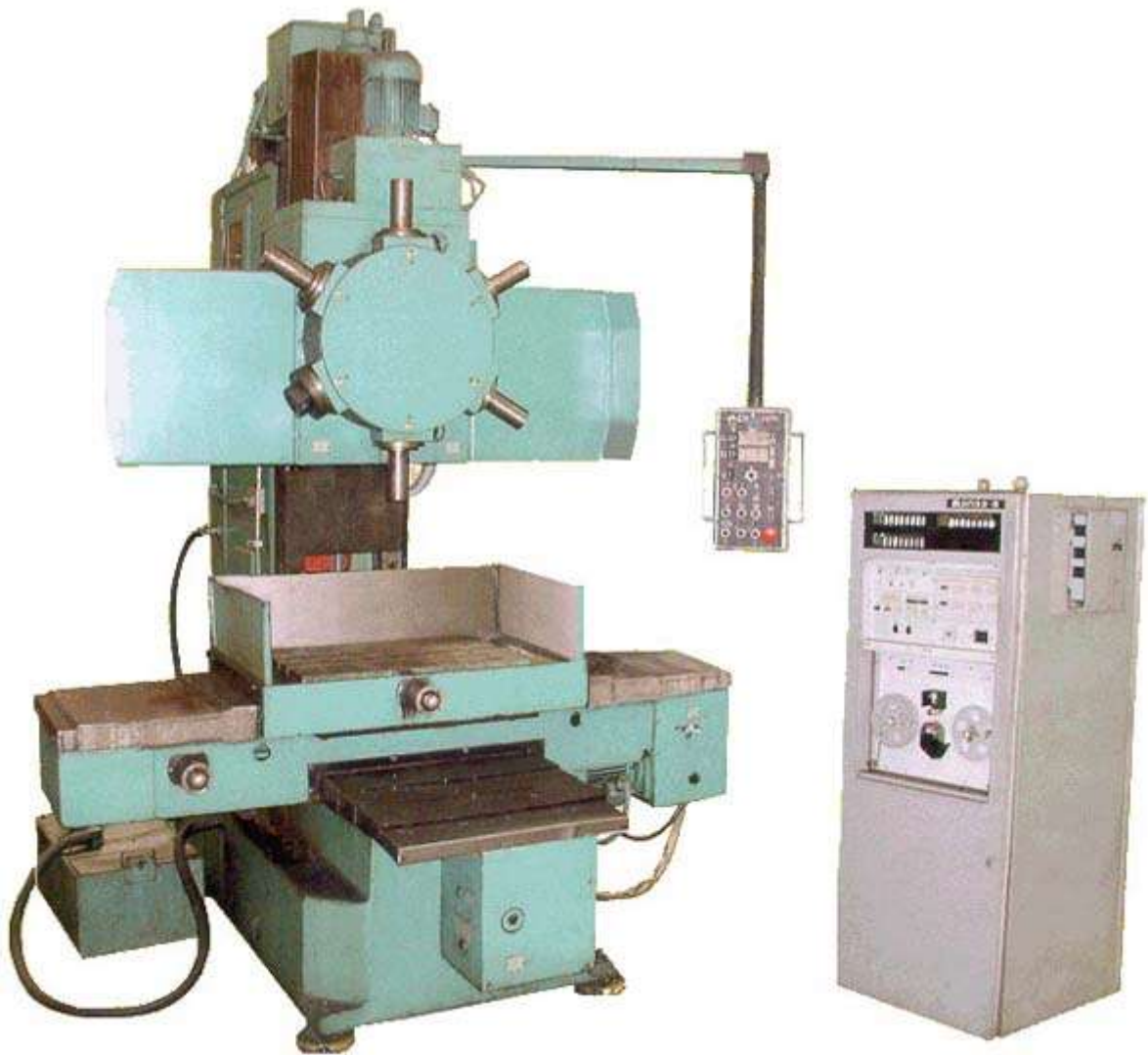


Рисунок Б.1 – Загальний вигляд верстату 2P135Ф2

					<i>КРБ 22-033.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81