

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Конструювання приводу головного руху токарно-гвинторізного
верстата з електромагнітним перемиканням швидкостей та розробкою
технологічного процесу виготовлення деталі “Фланець”.

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи МВс-41

напряму підготовки (спеціальності) _____

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ Бутрин Я.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Сеник А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Кобельник В.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завід. кафедри _____ Крупа В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Бутрину Ярославу Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата з електромагнітним перемиканням швидкостей та розробкою технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець».

Керівник роботи Сеник Андрій Антонович, к.т.н., доцент
(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 21.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Технічне креслення деталі «Фланець». Базовий технологічний процес виготовлення деталі. Технічна док. та характеристика верстата 1К62. Аналоги конструкцій приводів головного руху та коробок швидкостей металорізальних верстатів.

Каталожні дані електромагнітних муфт. Нормат.-технічна док. з проектування МРВ

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

Аналітична частина. Аналіз конструкції токарно-гвинторізного верстата 1К62, приводу головного руху та технологічності деталі «Фланець».

Технологічна частина. Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець», вибір заготовки, обладнання, інструменту та режимів обробки.

Конструкторська частина. Проектування модернізованого приводу головного руху верстата 1К62 з електромагнітним перемиканням швидкостей, виконання необхідних розрахунків.

Охорона праці. Розроблення заходів з охорони праці та БЖД

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Деталь «Фланець» – 1 арк. А1.

Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «Фланець» – 1 арк. А1.

Кінематична схема модернізованого токарно-гвинторізного верстата 1К62 – 1 арк. А1.

Муфти електромагнітні – 1 арк. А1.

Заг.вигляд приводу головного руху з електромагніт. перемиканням швидкостей – 2 арк. А1.

АНОТАЦІЯ

Бутрин Я.В. – Конструювання приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата з електромагнітним перемиканням швидкостей та розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець». Робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 133 – Галузеве машинобудування /кер. А.А. Сенік. Тернопіль: факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВс-41.: ТНТУ 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання модернізації приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата шляхом застосування електромагнітного перемикання швидкостей та розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець».

Ключові слова: токарно-гвинторізний верстат, привід головного руху, електромагнітні муфти, коробка швидкостей, технологічний процес, фланець.

ABSTRACT

Butryn Ya.V. – Design of the main drive of a CNC screw-cutting lathe with electromagnetic speed shifting and development of the manufacturing process for the part “Flange”. Part. Bachelor’s Qualification Thesis in Specialty 133 – Industrial Mechanical Engineering / Supervisor A.A. Senyk. Ternopil: Faculty of Engineering of Machines, Structures and Technologies, Department of Machine Tools, Tools and Machine Design, Group MVs-41. Ternopil Ivan Puluju National Technical University, 2026.

The bachelor’s qualification thesis addresses the modernization of the main drive of an engine lathe through the application of an electromagnetic speed-shifting system and the development of a manufacturing process for the “Flange” part.

Keywords: engine lathe, main drive, electromagnetic clutches, gearbox, manufacturing process, flange.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	
ВСТУП	
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1 Аналіз завдання	
1.2 Характеристика об'єкта виробництва	
1.3 Огляд літератури	
1.4 Висновки до першого розділу	
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
2.1 Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі	
2.1.1 Визначення типу виробництва	
2.1.2 Вибір способу отримання заготовки	
2.1.3 Вибір технологічних баз	
2.1.4 Розроблення маршрутного технологічного процесу	
2.1.5 Розрахунок припусків на обробку поверхні Ø174Н7	
2.2 Верстатне та інструментальне забезпечення технологічного процесу	
2.2.1 Характеристика базового токарно-гвинторізного верстата	
2.2.2 Вибір металорізального обладнання	
2.2.3 Вибір різального та контрольо-вимірювального інструменту	
2.3 Розрахунок режимів різання та визначення навантажень на привід головного руху	
2.3.1 Обґрунтування вибору розрахункових операцій	
2.3.2 Призначення режимів різання для операції 010	
2.3.3 Призначення режимів різання для операції 080	
2.3.4 Аналіз отриманих результатів та використання їх при проектуванні приводу	
2.4 Висновки до другого розділу	

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Бутрин Я.В.			ЗМІСТ	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Сеник А.А.				Н		5
<i>Рецензент</i>						ТНТУ, гр. МВ-41		
<i>Н. контр.</i>		Кобельник						
<i>Зав. каф.</i>		Крупа В.В.						

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1	Розробка кінематичної схеми приводу головного руху верстата
3.1.1	Аналіз існуючих конструкцій приводів головного руху
3.1.2	Аналіз аналогів коробок швидкостей металорізальних верстатів
3.1.3	Вибір структури коробки швидкостей
3.1.4	Розробка кінематичної схеми приводу головного руху
3.1.5	Розрахунок передаточних чисел коробки швидкостей
3.2	Конструювання приводу головного руху з електромагнітним перемиканням швидкостей
3.2.1	Вибір електродвигуна приводу головного руху
3.2.2	Вибір та розрахунок електромагнітних муфт
3.2.3	Система керування електромагнітними муфтами
3.2.4	Переваги модернізованого приводу головного руху
3.3	Висновки до третього розділу
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
4.1	Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів
4.2	Заходи безпеки при роботі на токарних верстатах
4.3	Заходи безпеки в умовах воєнного стану
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	
ДОДАТКИ	

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Сучасне машинобудування характеризується постійним підвищенням вимог до продуктивності, точності та надійності технологічного обладнання. Одним із перспективних напрямків удосконалення металорізальних верстатів є модернізація приводів головного руху, від яких значною мірою залежать технічні можливості обладнання та ефективність виробничих процесів. Особливу увагу приділяють впровадженню систем автоматизованого перемикання швидкостей, що дозволяють скоротити допоміжний час та підвищити продуктивність роботи верстатів.

Токарно-гвинторізні верстати широко використовуються в машинобудуванні для виготовлення деталей типу тіл обертання. Одним із недоліків традиційних приводів є механічне перемикання передач, що супроводжується підвищеним зношуванням елементів коробки швидкостей та обмеженими можливостями автоматизації. Перспективним шляхом вирішення цієї проблеми є застосування електромагнітних муфт, які забезпечують швидке дистанційне перемикання передач і підвищують надійність роботи приводу.

Базовим об'єктом модернізації у даній кваліфікаційній роботі обрано універсальний токарно-гвинторізний верстат 1К62, який широко використовується на машинобудівних підприємствах завдяки простоті конструкції, високій надійності та універсальності. Модернізація полягає у заміні механічної системи перемикання швидкостей на систему з електромагнітними муфтами без зміни основної кінематичної структури верстата.

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВСТУП	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	Бутрин Я.В.					<i>Н</i>		5
<i>Перевір.</i>	Сеник А.А.							
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>	Кобельник							
<i>Зав. каф.</i>	Крупа В.В.					<i>ТНТУ, гр. МВ-41</i>		

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз завдання.

Машинобудування є однією з базових галузей промисловості, яка визначає рівень технічного розвитку держави та забезпечує виробництво сучасного технологічного обладнання для різних сфер економіки. У сучасних умовах особливої актуальності набувають питання підвищення продуктивності металорізального обладнання, зниження собівартості механічної обробки та впровадження елементів автоматизації у виробничі процеси.

Значна частина токарно-гвинторізних верстатів, що експлуатуються на підприємствах, оснащена традиційними механічними коробками швидкостей, конструкції яких були розроблені декілька десятиліть тому. Незважаючи на високу надійність, такі приводи мають певні недоліки, пов'язані зі значною кількістю механічних елементів, складністю перемикання передач та обмеженими можливостями автоматизації процесу керування. Перемикання швидкостей часто потребує участі оператора та супроводжується додатковими витратами часу на переналагодження обладнання.

Одним із перспективних напрямків удосконалення приводів головного руху є застосування електромагнітних муфт, які дозволяють здійснювати дистанційне та автоматизоване перемикання передач. Використання таких пристроїв забезпечує підвищення продуктивності роботи верстата, скорочення допоміжного часу, покращення умов праці оператора та створює передумови для подальшої автоматизації виробництва.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Бутрин Я.В.</i>					<i>Н</i>		<i>5</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Сеник А.А.</i>							
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа В.В.</i>					ТНТУ, гр. МВ-41		

У роботі передбачається розроблення конструкції приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата з електромагнітним перемиканням швидкостей. При цьому особлива увага приділяється підвищенню ефективності роботи коробки швидкостей, забезпеченню необхідного діапазону частот обертання шпинделя та збереженню високих показників надійності й довговічності механізму.

Другою складовою роботи є розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» (рис. 1.1). Такі деталі широко застосовуються у машинобудуванні як елементи з'єднання, центрування та кріплення різних вузлів і механізмів. Якість їх виготовлення безпосередньо впливає на точність складання обладнання та надійність його експлуатації. У зв'язку з цим виникає необхідність розроблення раціонального технологічного процесу, який забезпечує отримання необхідної точності при мінімальних виробничих витратах.



Рисунок 1.1 – Деталь «Фланець».

Метою роботи є розроблення приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата з електромагнітним перемиканням швидкостей та створення ефективного технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець».

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

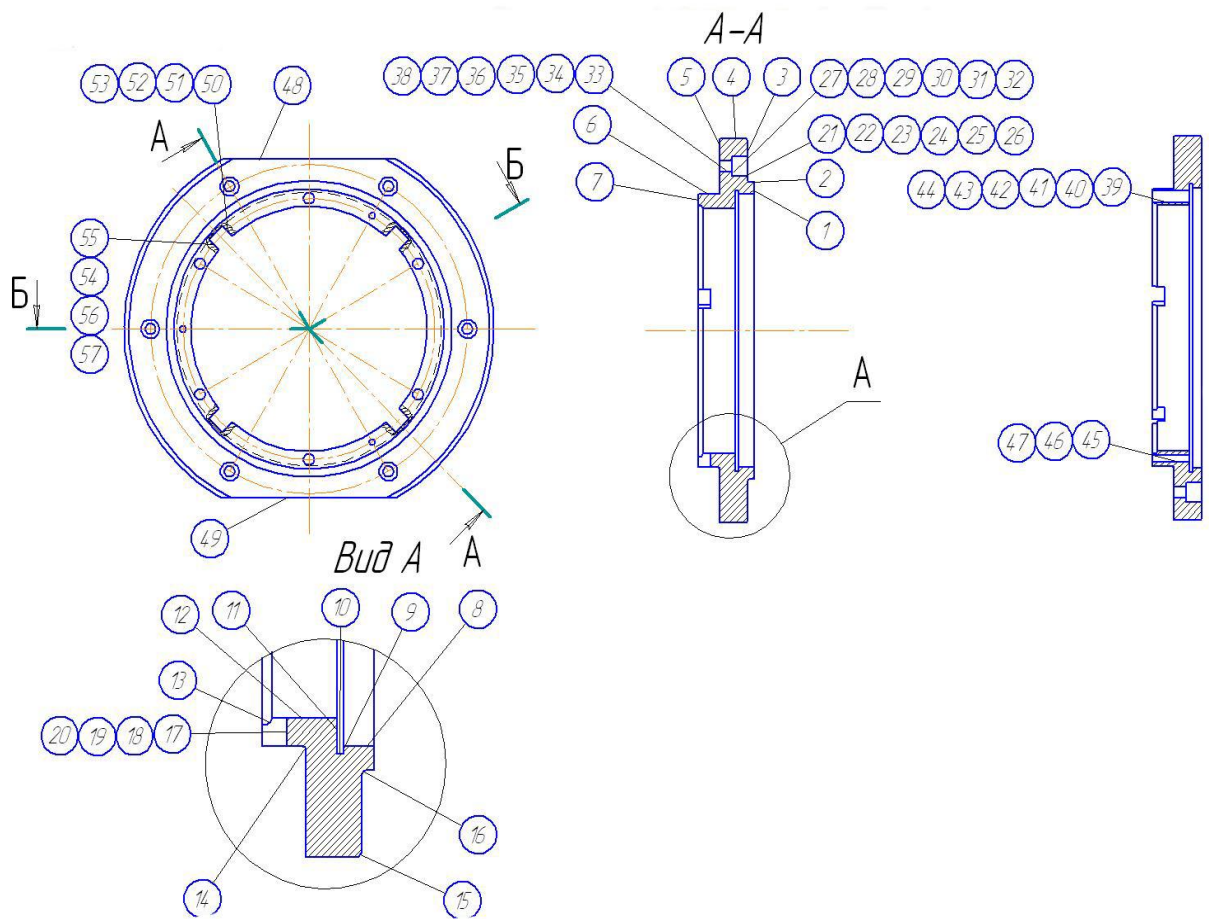


Рисунок 1.2 – Схема нумерації поверхонь деталі «Фланець» для аналізу технологічності конструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз існуючих конструкцій приводів головного руху, обґрунтувати застосування електромагнітних муфт, розробити кінематичну схему приводу, виконати розрахунки його основних елементів, а також розробити технологічний процес виготовлення деталі з вибором обладнання, інструментів і режимів різання.

1.2 Характеристика об'єкта виробництва.

Об'єктом виробництва у даній роботі є деталь «Фланець», яка належить до класу деталей типу тіл обертання та використовується для з'єднання окремих вузлів, механізмів, валів і корпусних елементів машин.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Конструкція деталі забезпечує точне взаємне розташування спряжених елементів, передачу навантажень між ними та надійну фіксацію складових частин виробу в процесі експлуатації.

Для виготовлення деталі застосовується конструкційна вуглецева сталь 35, яка характеризується достатніми показниками міцності, доброю оброблюваністю різанням та задовільними експлуатаційними властивостями. Відсутність термічної обробки після механічного виготовлення сприяє зменшенню ймовірності виникнення залишкових напружень, деформацій та викривлення геометричної форми деталі.

Конструктивно фланець являє собою дископодібну деталь із центральним посадковим отвором, системою зовнішніх циліндричних поверхонь, торцевими базовими площинами та кріпильними отворами. До найбільш відповідальних елементів конструкції належать внутрішні посадкові поверхні Ø174Н7 та Ø152Н8, а також зовнішні циліндричні поверхні Ø172е8 та Ø184h8. Саме ці поверхні визначають точність встановлення деталі у вузлі та забезпечують правильне взаємне розташування спряжених елементів.

Для оцінювання технологічності конструкції було виконано аналіз найбільш відповідальних поверхонь деталі, які визначають технологічність конструкції та впливають на вибір методів механічної обробки, результати наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика основних поверхонь деталі «Фланець»

№ поверхні	Характеристика поверхні	Номінальний розмір, мм	Допуск розміру, мкм	Шорсткість Ra, мкм	Технологічна оцінка
1	Торцева відкрита поверхня	36	200	6,3	Технологічна
2	Зовнішня циліндрична поверхня	179	100	3,2	Технологічна
3	Торцева відкрита поверхня	32	200	1,6	Технологічна
4	Зовнішня циліндрична поверхня	238	1150	1,6	Технологічна
5	Торцева поверхня	14	430	0,8	Технологічна
6	Зовнішня циліндрична поверхня Ø172е8	172	233	0,8	Відповідальна
7	Торцева базова поверхня	36	200	0,8	Відповідальна
8	Внутрішня напіввідкрита поверхня Ø174Н7	174	40	0,8	Найменш технологічна

9	Внутрішня торцева поверхня	179	250	6,3	Технологічна
10	Внутрішня циліндрична поверхня	179	1000	3,2	Технологічна
11	Внутрішня торцева поверхня	179	250	6,3	Технологічна
12	Внутрішня напіввідкрита поверхня Ø152Н8	152	63	1,6	Найменш технологічна
21	Отвір кріпильний	12	430	3,2	Технологічна
33	Отвір кріпильний	7	360	3,2	Технологічна
39	Отвір кріпильний	7	36	3,2	Відповідальна
45	Отвір Ø4Н7	4	12	1,6	Високоточна
48	Торцева поверхня	105	740	6,3	Технологічна
50	Внутрішня торцева поверхня	12	430	3,2	Технологічна

Під час аналізу враховувалися геометричні характеристики поверхонь, величини допусків на розміри, вимоги до форми та взаємного розташування, показники шорсткості, а також особливості доступу різального інструменту до зони обробки. Дані таблиці 1.1 свідчать про те, що більшість поверхонь деталі мають достатній рівень технологічності та можуть бути виготовлені із застосуванням стандартних методів токарної, свердлильної та розточувальної обробки. Особливо сприятливими з точки зору технологічності є відкриті зовнішні циліндричні та торцеві поверхні (поверхні №1–7, №48), які забезпечують зручне базування заготовки та не потребують використання спеціальних методів обробки.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 35.

Елемент	C	Si	Mn	S	P
Вміст, %	0,32–0,40	0,17–0,37	0,50–0,80	≤0,04	≤0,035

Разом із тим аналіз показує, що найбільш складними в технологічному відношенні є поверхні №8 та №12, які являють собою внутрішні напіввідкриті циліндричні отвори Ø174Н7 та Ø152Н8.

Як видно з табл. 1.1, для поверхні №8 встановлено допуск на розмір 40 мкм при шорсткості Ra 0,8 мкм, а для поверхні №12 – відповідно 63 мкм та Ra 1,6 мкм. Крім того, до цих поверхонь висуваються підвищені вимоги щодо співвісності та точності взаємного розташування відносно інших базових елементів конструкції.

Особливу складність забезпечення заданої точності зумовлює

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

необхідність отримання радіального биття не більше 0,05 мм та перпендикулярності торцевих поверхонь до осі деталі в межах 0,02 мм. Досягнення таких показників можливе лише за рахунок застосування високоточних завершальних операцій механічної обробки. Тому остаточне формування поверхонь №8 та №12 доцільно виконувати методом чистового або тонкого розточування на високоточних токарно-розточувальних верстатах із використанням відповідного контрольно-вимірювального оснащення.

Окрему групу становлять отвори поверхонь №21, №33, №39 та №45, які виконують функції кріпильних і центрувальних елементів. Завдяки раціональному розташуванню цих отворів конструкція деталі допускає застосування багатоінструментальної обробки та спеціальних свердлильних кондукторів, що дозволяє підвищити продуктивність технологічного процесу та скоротити допоміжний час.

У цілому результати аналізу, наведені в табл. 1.1, свідчать про достатньо високий рівень технологічності конструкції фланця. Деталь має розвинені технологічні бази, достатню жорсткість, прості геометричні форми більшості поверхонь та допускає використання стандартного металорізального обладнання й різального інструменту. Найбільш відповідальними елементами конструкції є внутрішні посадкові поверхні Ø174Н7 та Ø152Н8, які визначають точність виготовлення виробу та значною мірою впливають на його експлуатаційні характеристики.

З урахуванням конструктивних особливостей деталі, вимог до точності та умов серійного виробництва можна зробити висновок, що фланець є технологічною деталлю, придатною для виготовлення на універсальному металорізальному обладнанні із застосуванням раціонального маршруту механічної обробки та стандартного технологічного оснащення.

Аналіз даних таблиці показує, що найбільш жорсткі вимоги до точності висуваються до поверхонь №8 та №12, які виконують функції посадкових отворів. Саме ці поверхні мають найменші допуски на розмір та підвищені

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

вимоги до співвісності й радіального биття. Тому їх обробка повинна здійснюватися на завершальних стадіях технологічного процесу із застосуванням чистового та тонкого розточування.

Переважає більшість інших поверхонь характеризується достатньо високою технологічністю та може бути отримана стандартними методами токарної, свердлильної та фрезерної обробки. Це свідчить про те, що конструкція деталі «Фланець» загалом є технологічною та придатною для виготовлення в умовах серійного виробництва.

1.3. Огляд літератури

Питання підвищення ефективності металорізального обладнання, удосконалення приводів головного руху та розроблення раціональних технологічних процесів виготовлення деталей машин займають важливе місце у сучасних дослідженнях вітчизняних науковців. Особливу актуальність ці питання набувають в умовах необхідності модернізації існуючого верстатного парку промислових підприємств України та впровадження сучасних засобів автоматизації виробництва.

Значний внесок у розвиток теоретичних основ технології машинобудування зробили українські вчені В.П. Матейчик, М.М. Ткачук, В.М. Дячун та інші дослідники. У їхніх працях розглянуто закономірності формування технологічних процесів механічної обробки, питання вибору технологічних баз, забезпечення точності виготовлення деталей та підвищення якості поверхневого шару виробів. Наведені методики є основою для розроблення сучасних технологічних процесів виготовлення деталей машин в умовах різних типів виробництва.

Проблемам конструювання металорізальних верстатів та їх приводів присвячені роботи Р.М. Рогатинського, І.Б. Павлова, Б.М. Гевка та інших науковців Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. У зазначених дослідженнях висвітлено питання побудови

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

кінематичних схем металорізальних верстатів, розрахунку коробок швидкостей, вибору передаточних чисел зубчастих передач та забезпечення необхідного діапазону регулювання частот обертання шпинделя. Особлива увага приділяється підвищенню надійності приводів та вдосконаленню їх конструктивних параметрів.

Важливе місце у сучасних дослідженнях займають питання автоматизації металорізального обладнання. У працях українських учених, присвячених мехатронним системам та автоматизованим приводам, показано, що використання електромагнітних муфт і електромеханічних систем керування дозволяє суттєво підвищити продуктивність обладнання, скоротити допоміжний час на переналагодження та покращити експлуатаційні характеристики верстатів. Аналіз літературних джерел свідчить, що застосування електромагнітних муфт є одним із перспективних напрямків модернізації універсальних токарно-гвинторізних верстатів.

Окремий напрямок наукових досліджень пов'язаний із забезпеченням технологічності конструкцій деталей машин. У роботах В.А. Дзюри розглянуто методи оцінювання технологічності деталей, вплив конструктивних параметрів на трудомісткість виготовлення та шляхи підвищення точності механічної обробки.

Отримані результати мають важливе значення при розробленні технологічних процесів виготовлення деталей типу тіл обертання, до яких належить і деталь «Фланець».

Питання вибору заготовок та підвищення ефективності використання матеріалів досліджувалися у працях М.С. Яцюка, В.М. Криворучка та інших авторів. У цих роботах показано, що для деталей типу фланців найбільш доцільним є використання штапованих поковок, які забезпечують високі механічні властивості матеріалу, зменшення припусків на механічну обробку та підвищення коефіцієнта використання металу.

Значна кількість сучасних досліджень присвячена застосуванню систем

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

автоматизованого проектування при конструюванні машинобудівних виробів. Використання програмних комплексів SolidWorks, Компас-3D, Autodesk Inventor та інших САПР дозволяє скоротити терміни проектування, підвищити точність розрахунків та забезпечити оптимізацію конструкцій на ранніх етапах розроблення.

У роботах вітчизняних науковців наголошується, що використання засобів тривимірного моделювання є невід'ємною складовою сучасного процесу конструювання металорізального обладнання.

Аналіз наукових публікацій та навчальної літератури показує, що значна увага приділяється окремо питанням технології машинобудування та окремо питанням конструювання приводів металорізальних верстатів. Водночас питання модернізації приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата шляхом застосування електромагнітного перемикачів швидкостей у поєднанні з розробленням технологічного процесу виготовлення конкретної деталі потребують подальшого розвитку та практичної реалізації.

Отже, проведений аналіз українських літературних джерел підтверджує актуальність теми дипломного проєкту та свідчить про доцільність розроблення приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата з електромагнітним перемикачів швидкостей, а також удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» із застосуванням сучасних методів проектування та організації виробництва.

1.4 Висновки до першого розділу

У першому розділі проведено аналіз сучасних напрямків розвитку та модернізації приводів головного руху токарно-гвинторізних верстатів. Встановлено, що одним із перспективних шляхів підвищення ефективності металорізального обладнання є використання електромагнітних муфт, які забезпечують швидке перемикачів швидкостей шпинделя, скорочення допоміжного часу та створюють передумови для автоматизації виробничих

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

процесів.

У процесі виконання аналітичної частини досліджено конструкцію деталі «Фланець», визначено її службове призначення та проаналізовано основні технічні вимоги до виготовлення. Встановлено, що найбільш відповідальними поверхнями є внутрішні посадкові отвори $\text{Ø}174\text{H}7$ та $\text{Ø}152\text{H}8$, які характеризуються підвищеними вимогами до точності розмірів, співвісності та радіального биття.

Проведена оцінка технологічності показала, що конструкція деталі в цілому є технологічною та придатною для виготовлення із застосуванням стандартного металорізального обладнання, універсального технологічного оснащення та типового різального інструменту.

Для забезпечення необхідної точності посадкових поверхонь доцільно використовувати чистове та тонке розточування на завершальних операціях технологічного процесу.

Аналіз конструктивних особливостей деталі та умов виробництва дозволив встановити, що найбільш раціональним способом отримання заготовки є використання штампованої поковки зі сталі 35, яка забезпечує високі механічні властивості матеріалу та мінімізацію припусків на механічну обробку.

Аналіз конструкції токарно-гвинторізного верстата 1К62 показав доцільність модернізації його приводу головного руху шляхом застосування електромагнітних муфт, що дозволить скоротити допоміжний час перемикання швидкостей та підвищити продуктивність обробки.

Проведений аналіз літературних джерел підтвердив актуальність теми дипломного проєкту та дозволив сформулювати вихідні дані для подальшого виконання технологічної та конструкторської частин роботи, пов'язаних із розробленням технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» і проєктуванням приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата з електромагнітним перемиканням швидкостей.

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» для приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата

У роботі розглядається модернізація приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата шляхом застосування системи електромагнітного перемикачів швидкостей. Використання електромагнітних муфт дозволяє здійснювати швидке та надійне перемикачів частот обертання шпинделя без зупинки електродвигуна, що сприяє підвищенню продуктивності верстата та покращенню умов його експлуатації.

Одним із елементів вузлів модернізованого приводу є деталь типу «Фланець». Дана деталь належить до класу тіл обертання та використовується для з'єднання окремих елементів механізму, центрування деталей під час складання, передачі крутного моменту та забезпечення необхідного взаємного розташування вузлів коробки швидкостей.

Конструктивно фланець являє собою дископодібну деталь із центральними посадковими отворами, зовнішніми циліндричними поверхнями та системою кріпильних отворів. У процесі експлуатації верстата деталь сприймає осьові та радіальні навантаження, що виникають під час роботи механізмів коробки швидкостей та приводу головного руху.

Особливе значення мають посадкові поверхні $\varnothing 174H7$ та $\varnothing 152H8$, оскільки саме вони визначають точність центрування та взаємного розташування деталей вузла. Похибки виготовлення зазначених поверхонь можуть призводити до порушення співвісності валів, підвищення динамічних навантажень, появи додаткових вібрацій та зниження довговічності механізмів приводу.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Бутрин Я.В.</i>				<i>Н</i>		<i>5</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сеник А.А.</i>						
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Крупа В.В.</i>				ТНТУ, гр. МВ-41		

Тому під час розроблення технологічного процесу необхідно забезпечити високу точність виготовлення відповідальних поверхонь, дотримання вимог щодо співвісності, перпендикулярності та мінімального радіального биття. Вирішення цих завдань безпосередньо впливає на якість роботи модернізованого приводу головного руху та ефективність функціонування токарно-гвинторізного верстата в цілому.

2.1.1 Визначення типу виробництва

Одним із важливих етапів технологічного проектування є визначення типу виробництва. Від цього залежать структура технологічного процесу, вибір обладнання, рівень спеціалізації робочих місць, характер технологічного оснащення та економічна ефективність виготовлення виробу.

Деталь «Фланець» належить до типових деталей машинобудування і може виготовлятися на універсальному металорізальному обладнанні.

Аналіз конструкції деталі показує, що вона містить значну кількість поверхонь обертання, які можуть бути оброблені на токарних верстатах, а також кріпильні отвори, що виконуються свердлильними та фрезерними операціями.

Враховуючи характер виробництва, номенклатуру продукції та річну програму випуску, виготовлення деталі доцільно організувати в умовах серійного виробництва.

Для серійного виробництва характерними є періодичне повторення операцій, виготовлення деталей партіями, використання універсального обладнання та можливість застосування спеціального технологічного оснащення для підвищення продуктивності праці.

Перевагою серійного виробництва є можливість поєднання високої якості виготовлення з достатньою економічною ефективністю. У таких умовах доцільним є використання штапованих заготовок, спеціальних пристроїв для базування та закріплення деталей, а також застосування оптимізованих

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

режимів різання.

Таким чином, для виготовлення деталі «Фланець» приймається серійний тип виробництва, який забезпечує раціональне використання обладнання та високу якість продукції.

2.1.2 Вибір способу отримання заготовки.

Вибір способу отримання заготовки має суттєвий вплив на трудомісткість механічної обробки, витрати металу та собівартість виготовлення деталі. Основними факторами, які враховуються при виборі заготовки, є матеріал деталі, її геометрична форма, вимоги до механічних властивостей, точності та масштаб виробництва.

Матеріалом деталі є сталь 35. Ця сталь належить до конструкційних вуглецевих сталей середньої міцності та характеризується хорошою оброблюваністю різанням, достатньою пластичністю та задовільними механічними властивостями.

Для виготовлення деталі можуть бути використані такі способи отримання заготовок:

- лиття;
- прокат;
- вільне кування;
- гаряче штампування.

Лиття для даної деталі є недоцільним через порівняно невелику товщину елементів конструкції та необхідність забезпечення високої точності посадкових поверхонь. Використання прокату призвело б до значного збільшення припусків на механічну обробку та зниження коефіцієнта використання металу.

Найбільш раціональним способом отримання заготовки є гаряче штампування. Штампована поковка дозволяє максимально наблизити форму заготовки до форми готової деталі, зменшити обсяг механічної обробки та

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

забезпечити високі механічні властивості матеріалу завдяки сприятливій структурі металу.

Крім того, використання поковки дозволяє підвищити продуктивність виробництва, знизити витрати металу та скоротити тривалість технологічного циклу виготовлення деталі.

Таким чином, як заготовку для деталі «Фланець» приймається штампована поковка зі сталі 35.

2.1.3 Вибір технологічних баз

Забезпечення точності виготовлення деталі значною мірою залежить від правильного вибору технологічних баз. Під технологічними базами розуміють поверхні, осі або точки заготовки, відносно яких визначається положення деталі під час виконання технологічних операцій.

Під час розроблення технологічного процесу використовуються принципи єдності та постійності баз. Це дозволяє зменшити похибки базування та забезпечити необхідну точність взаємного розташування поверхонь.

На початкових операціях як установча база використовується торцева поверхня заготовки, а як подвійна опорна база — зовнішня циліндрична поверхня поковки. Така схема базування забезпечує надійне закріплення заготовки та створює умови для обробки основних поверхонь деталі.

На завершальних операціях як технологічну базу використовують попередньо оброблений отвір $\varnothing 152H8$ та торцеву поверхню. Саме така схема дозволяє забезпечити співвісність посадкових поверхонь $\varnothing 174H7$ та $\varnothing 152H8$ і виконати вимоги креслення щодо радіального биття, яке не повинно перевищувати 0,05 мм.

Вибрана схема базування реалізує принцип 3–2–1 та забезпечує усунення всіх шести ступенів вільності заготовки. Це створює необхідні умови для отримання високої точності обробки та стабільності тех. процесу.

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

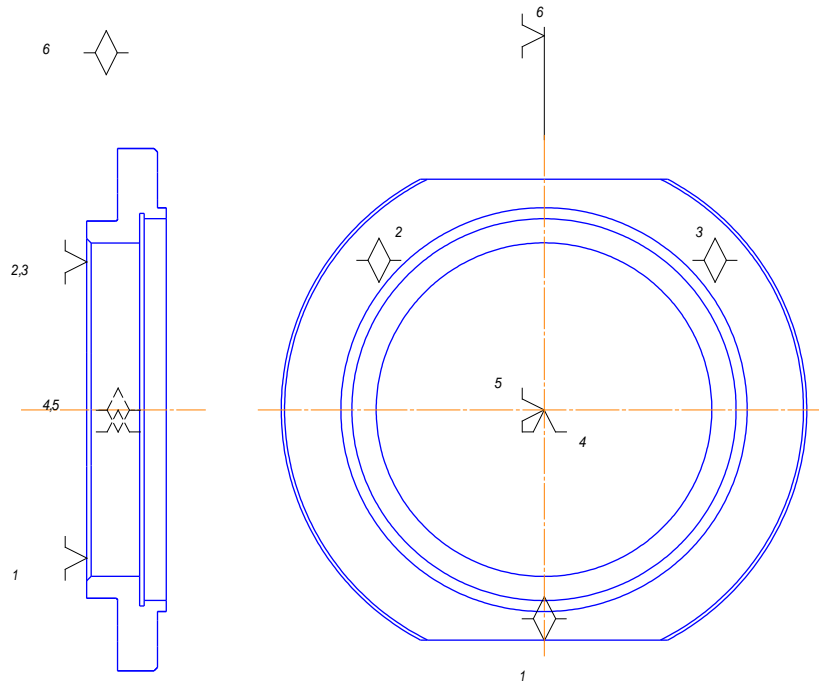


Рисунок 2.1 – Схема базування деталі «Фланець» при механічній обробці: 1, 2, 3 – установча база А (торцева поверхня); 4, 5 – подвійна опорна база Б (зовнішня циліндрична поверхня); 6 – упорна база В, що забезпечує остаточну фіксацію заготовки.

2.1.4 Розроблення маршрутного технологічного процесу

Технологічний маршрут виготовлення деталі складається з таких основних операцій:

005 Токарна чорнова

підрізання торця;

чорнове точіння зовнішніх поверхонь;

чорнове розточування отворів.

010 Токарна чорнова

обробка зовнішніх циліндричних поверхонь;

формування торцевих поверхонь.

015 Токарна чистова

чистове розточування отворів $\text{Ø}174\text{H}7$ та $\text{Ø}152\text{H}8$;

обробка фасок.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

020 Токарна чистова

чистове точіння зовнішніх поверхонь.

030 Фрезерна

обробка плоских поверхонь.

040–070 Свердлильні операції

свердління кріпильних отворів;

зенкування;

розвертання точних отворів.

080 Токарна високоточна

тонке розточування отворів Ø174H7 та Ø152H8.

085 Остаточна токарна операція

завершальне точіння відповідальних поверхонь.

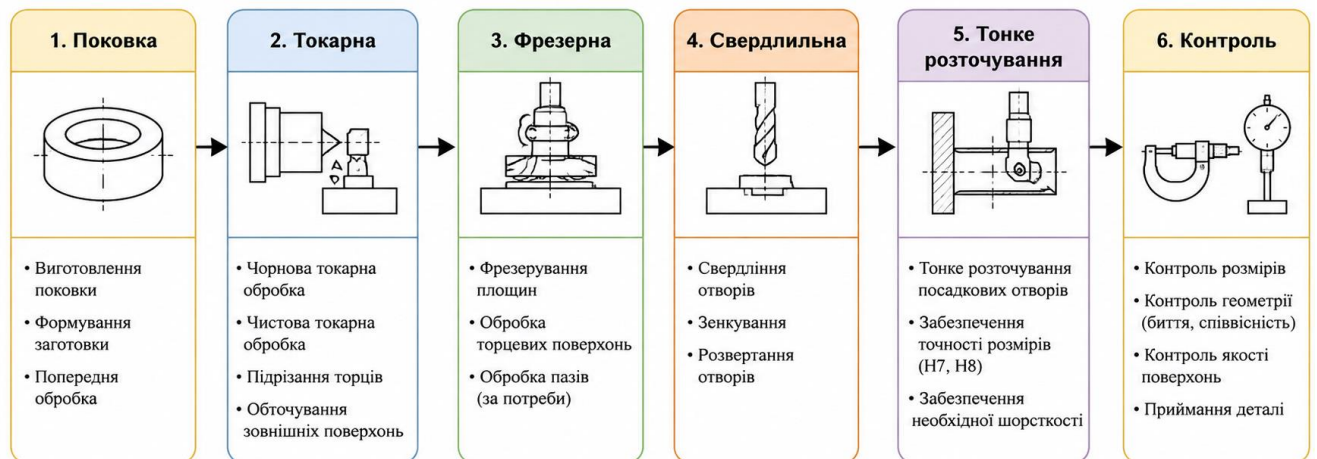


Рисунок 2.2 Маршрут виготовлення деталі «Фланець».

2.1.5 Розрахунок припусків на обробку поверхні Ø174H7

Найбільш відповідальною поверхнею є отвір Ø174H7.

Для нього виконано розрахунок міжопераційних припусків.

У результаті розрахунків встановлено:

- загальний максимальний припуск:

$$Z_{max} = 10,085 \text{ мм}$$

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

- загальний мінімальний припуск:

$$Z_{min}=4,525 \text{ мм}$$

Розрахунок припусків виконано таблично-аналітичним методом з урахуванням точності поковки, похибок базування та міжопераційних переходів.

Отримані значення забезпечують необхідний запас матеріалу для усунення похибок поковки та досягнення заданої точності поверхні після завершальних операцій розточування.

2.2 Верстатне та інструментальне забезпечення технологічного процесу

2.2.1 Характеристика базового токарно-гвинторізного верстата

Завдання кваліфікаційної роботи передбачає модернізацію приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата шляхом застосування системи електромагнітного перемикавання швидкостей. Тому під час вибору обладнання для виготовлення деталі «Фланець» необхідно враховувати не лише вимоги технологічного процесу, але й особливості конструкції верстата, привід якого розробляється у конструкторській частині роботи.

Базовим об'єктом модернізації є універсальний токарно-гвинторізний верстат, призначений для виконання широкого спектра токарних операцій: точіння циліндричних, конічних та фасонних поверхонь, підрізання торців, свердління, розточування та нарізання різьб. Конструкція верстата включає станину, передню бабку, коробку швидкостей, коробку подач, супорт та задню бабку.

Кінематична схема модернізованого приводу головного руху наведена на аркуші 1 графічної частини кваліфікаційної роботи.

Основним вузлом, що підлягає модернізації, є привід головного руху, який забезпечує передачу крутного моменту від електродвигуна до шпинделя та формування необхідних частот обертання. У запропонованій конструкції

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

використовується коробка швидкостей з електромагнітними муфтами, які дозволяють здійснювати дистанційне перемикання швидкостей без зупинки електродвигуна.

Згідно з технічним завданням та розробленою кінематичною схемою привід головного руху повинен забезпечувати:

- потужність головного електродвигуна 7,5 кВт;
- широкий діапазон регулювання частот обертання шпинделя;
- достатню жорсткість кінематичного ланцюга;
- високу надійність роботи коробки швидкостей;
- можливість швидкого перемикання режимів обробки.

Саме виходячи з цих вимог у подальшому виконується вибір обладнання для виготовлення деталей приводу та визначення режимів різання.

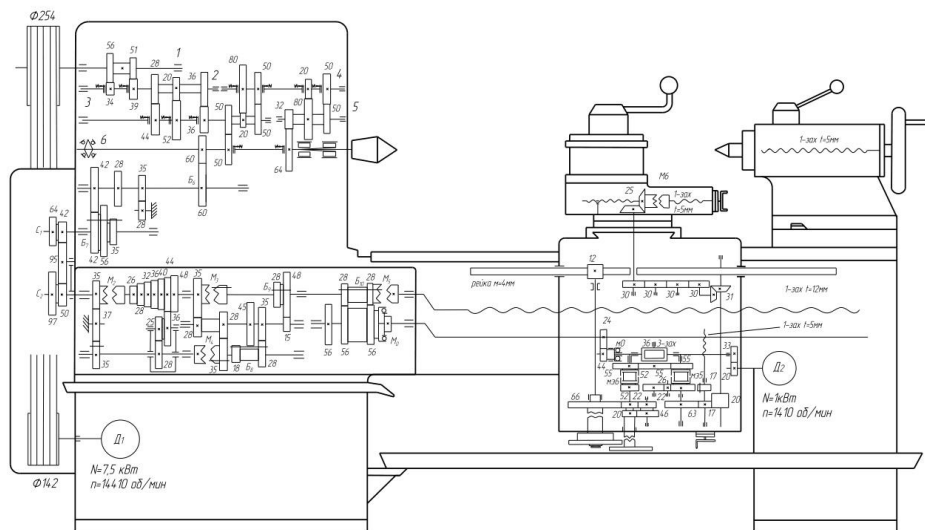


Рисунок 2.3 – Кінематична схема приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата.

2.2.2 Вибір металорізального обладнання

Вибір металорізального обладнання здійснювався з урахуванням конструктивних особливостей деталі «Фланець», вимог до точності її виготовлення, характеру виробництва та можливостей підприємств машинобудівної галузі.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Більшість поверхонь деталі являють собою поверхні обертання, тому основний обсяг механічної обробки виконується на токарних верстатах. Для забезпечення високої точності посадкових поверхонь та отримання необхідної шорсткості застосовуються токарні верстати нормальної та підвищеної точності.

Таблиця 2.3 – Верстатне забезпечення технологічного процесу

№ операції	Найменування операції	Модель верстата
005	Токарна чорнова	16Б16П
010	Токарна чорнова	16Б16П
015	Токарна чистова	1К62
020	Токарна чистова	1К62
030	Вертикально-фрезерна	6Р10
040	Свердлильна	2431
050	Свердлильна	2431
060	Горизонтально-фрезерна	6Р80Г
070	Свердлильна	2431
080	Тонке розточування	1К62
085	Остаточна токарна	1К62

Основною групою обладнання є токарні верстати. Для чорнових операцій використовується верстат 16Б16П, який характеризується достатньою жорсткістю, широким діапазоном частот обертання шпинделя та високою універсальністю.

Для виконання та чистових та остаточного розточування посадкових поверхонь застосовується токарно-гвинторізний верстат 1К62 підвищеної точності. Використання даного обладнання дозволяє забезпечити отримання посадок Н7 та Н8, а також виконати вимоги щодо співвісності та радіального биття.

2.2.3 Вибір різального та контрольно-вимірювального інструменту

Вибір різального інструменту здійснювався відповідно до матеріалу заготовки, необхідної точності обробки та умов серійного виробництва.

Для обробки сталі 35 використовуються стандартні токарні різці зі швидкорізальної сталі та твердосплавними пластинами. Під час виконання чорнових операцій застосовуються прохідні різці з пластинами Т15К6, які

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

забезпечують високу продуктивність обробки. Для чистових операцій використовуються різці з твёрдосплавними пластинами Т30К4, що дозволяють отримати необхідну шорсткість поверхні та підвищити точність обробки.

Таблиця 2.4 – Різальний інструмент

Операція	Інструмент
Точіння зовнішніх поверхонь	Прохідний різець з пластиною Т15К6
Підрізання торців	Підрізний різець
Розточування отворів	Розточний різець
Тонке розточування Ø174Н7	Розточний різець Т30К4
Свердління	Спиральне свердло Р6М5
Зенкування	Зенківка
Розвертання	Машинна розвертка
Фрезерування	Торцеві та дискові фрези

Особливу увагу приділено вибору інструменту для тонкого розточування поверхні Ø174Н7, оскільки саме ця операція визначає кінцеву точність виготовлення деталі.

Контроль геометричних параметрів деталі виконується на всіх етапах технологічного процесу. Вибір засобів вимірювання здійснюється залежно від точності контрольованих розмірів.

Для контролю зовнішніх та внутрішніх поверхонь використовуються універсальні вимірювальні засоби, які забезпечують необхідну точність вимірювання.

Таблиця 2.5 – Контрольно-вимірювальний інструмент

Контрольований параметр	Засіб контролю
Зовнішні діаметри	Мікрометр
Внутрішні діаметри	Нутромір
Лінійні розміри	Штангенциркуль
Радіальне биття	Індикатор годинникового типу
Отвір Ø174Н7	Калібр-пробка
Отвір Ø152Н8	Калібр-пробка

Використання зазначених засобів контролю дозволяє забезпечити стабільну якість виготовлення деталі та виконання вимог креслення.

2.3 Розрахунок режимів різання та визначення навантажень на привід головного руху

2.3.1 Обґрунтування вибору розрахункових операцій

Під час розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» передбачено виконання комплексу токарних, фрезерних та свердлильних операцій, спрямованих на формування поверхонь відповідно до вимог робочого креслення. Однак для визначення режимів різання та подальшого розрахунку навантажень на привід головного руху недоцільно виконувати детальні розрахунки для всіх операцій технологічного процесу. Тому необхідно вибрати найбільш характерні операції, які визначають умови роботи обладнання та найбільш повно характеризують навантаження на привід верстата.

Аналіз маршрутного технологічного процесу показав, що серед усіх операцій особливий інтерес становлять токарна операція 010 та токарна операція 080. Вибір саме цих операцій обумовлений їх різним технологічним призначенням та впливом на роботу приводу головного руху.

Операція 010 є однією з основних чорнових токарних операцій, під час якої видаляється значна частина припуску на механічну обробку. Для даної операції характерні найбільші значення глибини різання, подачі та сили різання. Саме під час її виконання на шпиндельний вузол і привід головного руху діють максимальні навантаження. Отримані результати розрахунків для операції 010 використовуються при виборі потужності електродвигуна, визначенні навантажень на зубчасті передачі коробки швидкостей, розрахунку валів та перевірці працездатності електромагнітних муфт. Таким чином, операція 010 є визначальною з точки зору силового навантаження приводу.

Операція 080 передбачає виконання тонкого розточування посадкового отвору $\varnothing 174H7$ та належить до завершальних операцій

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

технологічного процесу. Основним завданням даної операції є забезпечення необхідної точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь. На відміну від чорнової обробки, тут використовуються малі значення подачі та глибини різання, проте висуваються підвищені вимоги до точності роботи шпиндельного вузла та стабільності частоти його обертання. Саме тому результати розрахунку режимів різання для операції 080 дозволяють оцінити можливість забезпечення необхідної точності обробки модернізованим приводом головного руху.

Фрезерні та свердлильні операції, передбачені маршрутним технологічним процесом, хоча й є необхідними для виготовлення деталі, не визначають параметри приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата. Навантаження, що виникають під час їх виконання, значно менші порівняно з токарними операціями, а тому їх детальний розрахунок у межах даного підрозділу є недоцільним.

Отже, для подальшого визначення режимів різання та навантажень на привід головного руху приймаються дві розрахункові операції: операція 010 – токарна чорнова, яка характеризує максимальні силові навантаження, та операція 080 – токарна чистова (тонке розточування), яка характеризує вимоги до точності роботи модернізованого приводу. Результати їх розрахунку будуть використані під час виконання конструкторської частини дипломного проєкту для обґрунтування параметрів коробки швидкостей та електромагнітного перемикачання частот обертання шпинделя.

2.3.2 Призначення режимів різання для операції 010 (токарно-гвинторізна)

Режими визначаємо за переходами.

1 перехід - обточити торець 5 на чорно.

Припуск безперервний, підрізний різець з пластиною з твердого сплаву Т15К6.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Геометрія різця: передній кут $\gamma = 12^\circ$, задній кут $\alpha = 8^\circ$, головний кут в плані $\varphi = 90^\circ$, форма передньої поверхні – криволінійна з негативною фаскою.

Оброблюваний діаметр $D = 172$ мм.

Довжина обробки $L_{\text{різ}} = 33$ мм.

Глибина різання $t = 2$ мм.

Число переходів $i = 4$

Розрахунок довжини робочого ходу супорта $L_{\text{рх}}$ в мм.

$L_{\text{рх}} = L_{\text{різ}} + u + L_{\text{доп}} = 14 + 5 = 38$ мм ([10] стр.13)

Подача верстата $S_m = 0,4$ мм/об – табличне значення.

Поправочні коефіцієнти:

на подачу $K_0 = 0,75$, так як для сталі 35 границя щільності при растягуванні $\sigma_{\text{в.р.}} = 570$ МПа;

на стійкість різця $K_1 = 1$ на оброблюваний матеріал $K_2 = 0,9$ на оброблювану поверхню $K_3 = 1,05$ на матеріал різця Т15К6 $K_4 = 1$;

на головний кут в плані $\varphi = 90^\circ$ $K_5 = 0,8$.

Помножуємо табличну подачу на поправочний коефіцієнт:

$S_0 = S_T \cdot K_0 \cdot K_2 \cdot K_5 = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 0,38$ мм/об.

Вибираємо швидкість різання за таблицею $V = 95$ м/хв.

Помножуємо табличну швидкість на поправочний коефіцієнт:

$V = V_{\text{таб}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 95 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 89,775$ м/хв.

Частота обертання шпинделя:

$n = 1000V / \pi D_{\text{max}} = 1000 \cdot 89,775 / 3,14 \cdot 238 = 120,06$ об/хв.

Приймаємо за паспортом верстата $n = 120$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$V = \pi D n / 1000 = 3,14 \cdot 238 \cdot 120 / 1000 = 89,67$ м/хв.

Перевірка потужності верстата.

Потужність необхідна на різання:

$N_{\text{різ}} = N_{\text{таб}} K t (V/100) = 0,4 \cdot 1,15 (89,67/100) = 0,41$ кВт.

де K – поправочний коефіцієнт [10 стор 72]

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Зусилля різання:

$$PZ = 6120 \cdot (N_{\text{різ}}/V) = 11.11 \text{ кГ}$$

Потужність на верстаті шпинделя 2,8 кВт. Отже, встановлений режим здійснимо. Вважаємо машинний час: $T_M = L_{\text{рх}}/S_0 \cdot n = 38/0.4 \cdot 160 = 0.79 \text{ хв}$.

2 *перехід* – обточити поверхню б на чорно.

Припуск безперервний, прохідний різець з пластиною з твердого сплаву Т15К6.

Геометрія різця: передній кут $\gamma = 12^\circ$, задній кут $\alpha = 10^\circ$, головний кут у плані $\phi = 90^\circ$ форма передньої поверхні – криволінійна з негативною фаскою.

Оброблюваний діаметр $D = 172 \text{ мм}$.

Довжина обробки $L_{\text{різ}} = 14 \text{ мм}$.

Глибина різання $t = 2 \text{ мм}$.

Число переходів $i = 4$

1. Розрахунок довжини робочого ходу супорта $L_{\text{рх}}$ в мм.

$$L_{\text{рх}} = L_{\text{різ}} + y + L_{\text{доп}} = 14 + 5.5 = 17,5 \text{ мм} \quad ([10] \text{ стор.13})$$

2. Подача верстата $S_m = 0,4 \text{ мм/об}$ – табличне значення.

Поправочні коефіцієнти:

- на подачу $K = 0,75$, так як для сталі 35 межа міцності при розтягуванні

св.р. = 570 МПа;

- на стійкість різця $K_1 = 1$ на оброблюваний матеріал $K_2 = 0,9$ на оброблювану поверхню $K_3 = 1,05$ на матеріал різця Т15К6 $K_4 = 1$;

- На головний кут у плані $\phi = 90^\circ$ $K_5 = 0,8$.

- Помножуємо табличну подачу на поправочний коефіцієнт:

$$S_0 = S T K_0 K_2 K_5 = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 0,38 \text{ мм/об}$$

3. Вибираємо швидкість різання за таблицею $V = 95 \text{ м/хв}$.

Помножуємо табличну швидкість на поправочний коефіцієнт:

$$V = V_{\text{таб}} \cdot K_1 K_2 K_3 = 95 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 89,775 \text{ м/хв}$$

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4. Частота обертання шпинделя:

$$n = 1000V / \pi D_{\max} = 1000 \cdot 89,775 / 3,14 \cdot 172 = 166,14 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата $n = 160 \text{ об/хв.}$

4. Фактична швидкість різання:

$$V = \pi D n / 1000 = 3,14 \cdot 172 \cdot 120 / 1000 = 86,45 \text{ м / хв.}$$

Перевірка потужності верстата.

Потужність необхідна на різання:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{таб}} K t (V / 100) = 0,4 \cdot 1,15 (89,775/100) = 0,41 \text{ кВт.}$$

де K - поправочний коефіцієнт [10 стор 72]

Зусилля різання:

$$PZ = 6120 * (N_{\text{різ}} / V) = 29,05 \text{ кг}$$

Потужність на верстаті шпинделя 2,8 кВт.

Отже, встановлений режим здійснимо. Вважаємо машинний час:

$$T_m = L_{\text{рх}} / S_0 * n = 17,5 / 0,4 * 160 = 0,27 \text{ хв.}$$

З перехід - обточити торець 7 на чорно.

Припуск безперервний, підрізний різець з пластиною з твердого сплаву Т15К6.

Геометрія різця: передній кут $\gamma = 12^\circ$, задній кут $\alpha = 8^\circ$, головний кут у плані $\phi = 90^\circ$, форма передньої поверхні – криволінійна з негативною фаскою.

Оброблюваний діаметр $D = 172 \text{ мм.}$

Довжина обробки $L_{\text{різ}} = 8 \text{ мм.}$

Глибина різання $t = 2 \text{ мм.}$

Число переходів $i = 4$

1) Розрахунок довжини робочого ходу супорта $L_{\text{рх}}$ в мм.

$$L_{\text{рх}} = L_{\text{різ}} + y + L_{\text{доп}} = 8 + 5 = 13 \text{ мм} \quad ([10] \text{ стор.13})$$

2) Подача верстата $S_m = 0,4 \text{ мм / про}$ - Табличне значення.

Поправочні коефіцієнти:

- на подачу $K = 0,75$, так як для сталі 35 межа міцності при розтягуванні $\sigma_{\text{в.р.}} = 570 \text{ МПа}$;

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- на стійкість різця $K_1 = 1$ на оброблюваний матеріал $K_2 = 0,9$ на оброблювану поверхню $K_3 = 1,05$ на матеріал різця Т15К6 $K_4 = 1$;

- На головний кут у плані $\varphi = 90^\circ$ $K_5 = 0,8$.

- Помножуємо табличну подачу на поправочний коефіцієнт:

$$S_0 = S_T K_0 K_2 \cdot K_5 = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 0,38 \text{ мм/об.}$$

3) Вибираємо швидкість різання за таблицею $V = 95 \text{ м/хв.}$

Помножуємо табличну швидкість на поправочний коефіцієнт:

$$V = V_{\text{таб}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 95 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 89,775 \text{ м / хв}$$

4) Частота обертання шпинделя:

$$n = 1000V / \pi D_{\text{max}} = 1000 \cdot 89,775 / 3,14 \cdot 172 = 166,14 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата $n = 160 \text{ об/хв.}$

5) Фактична швидкість різання:

$$V = \pi D n / 1000 = 3,14 \cdot 172 \cdot 160 / 1000 = 86,45 \text{ м / хв.}$$

6) Перевірка потужності верстата.

Потужність необхідна на різання:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{різ}} \cdot K \cdot t \cdot (V / 100) = 0,4 \cdot 1,15 \cdot (86,45/100) = 0,39 \text{ кВт.}$$

де K - поправочний коефіцієнт [10 стор 72]

Зусилля різання:

$$P_Z = 6120 \cdot (N_{\text{різ}} / V) = 28,152 \text{ кг}$$

Потужність на верстаті шпинделя 2,8 кВт.

Отже, встановлений режим здійснимо.

Вважаємо машинний час:

$$T_m = L_{\text{рх}} / S_0 \cdot n = 17,5 / 0,4 \cdot 160 = 0,27 \text{ хв.}$$

4 перехід - обточити поверхню 4 на чорно.

Припуск безперервний, розрізний різець з пластиною з твердого сплаву Т15К6.

Геометрія різця: передній кут $\gamma = 12^\circ$, задній кут $\alpha = 8^\circ$, головний кут у плані $\varphi = 45^\circ$, форма передньої поверхні – криволінійна з негативною фаскою.

Оброблюваний діаметр $D = 238 \text{ мм.}$

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Довжина обробки $L_{\text{різ}} = 18$ мм.

Глибина різання $t = 2$ мм.

Число переходів $i = 4$

1) Розрахунок довжини робочого ходу супорта $L_{\text{рх}}$ в мм.

$$L_{\text{рх}} = L_{\text{різ}} + y + L_{\text{доп}} = 18 + 7 = 25 \text{ мм} \quad ([10] \text{ стор.13})$$

2) Подача верстата $S_m = 0,4$ мм / об. - Табличне значення.

Поправочні коефіцієнти:

- на подачу $K = 0,75$, так як для сталі 35 межа міцності при розтягуванні $\sigma_{\text{в.р.}} = 570$ МПа;

- на стійкість різця $K_1 = 1$ на оброблюваний матеріал $K_2 = 0,9$ на оброблювану поверхню $K_3 = 1,05$ на матеріал різця Т15К6 $K_4 = 1$;

- На головний кут у плані $\varphi = 90^\circ$ $K_5 = 0,8$.

- Помножуємо табличну подачу на поправочний коефіцієнт:

$$S_o = S_T \cdot K_o \cdot K_2 \cdot K_5 = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 0,38 \text{ мм/об.}$$

3) Вибираємо швидкість різання за таблицею $V = 95$ м/хв.

Помножуємо табличну швидкість на поправочний коефіцієнт:

$$V = V_{\text{таб}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 95 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 89,775 \text{ м / хв}$$

4) Частота обертання шпинделя:

$$n = 1000V / \pi D_{\text{max}} = 1000 \cdot 89,775 / 3,14 \cdot 238 = 120,06 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата $n = 120$ об/хв.

5) Фактична швидкість різання:

$$V = \pi D n / 1000 = 3,14 \cdot 238 \cdot 120 / 1000 = 89,67 \text{ м / хв.}$$

6) Перевірка потужності верстата.

Потужність необхідна на різання:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{різ}} \cdot K \cdot t \cdot (V / 100) = 0,4 \cdot 1,15 (89,67 / 100) = 0,419 \text{ кВт.}$$

де K - поправочний коефіцієнт [10 стор 72]

Зусилля різання:

$$PZ = 6120 \cdot (N_{\text{різ}} / V) = 29,05 \text{ кг}$$

Потужність шпинделя 2,8 кВт. Отже, встановлений режим здійснимо.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2.3.3 Призначення режимів різання для операції 080 (токарно-гвинторізна).

1 перехід – обточити поверхню 12 тонко заздалегідь.

Припуск безперервний, розрізний різець з пластиною з твердого сплаву Т30К4.

Оброблюваний діаметр $D = 152$ мм.

Довжина обробки $L_{\text{різ}} = 24$ мм.

Глибина різання $t = 04$ мм.

Число переходів $i = 4$

1) Розрахунок довжини робочого ходу супорта $L_{\text{рх}}$ в мм.

$$L_{\text{рх}} = L_{\text{різ}} + y + L_{\text{доп}} = 24 + 4 = 28 \text{ мм} \text{ ([10] стор.13)}$$

2) Подача верстата $S_m = 0,10$ мм/об – табличне значення. ([10] стор.51)

Поправочний коефіцієнт:

- на подачу $K_s = 1$, ([10] стор.51)

$$S_o = S_T \cdot K_s = 0,10 \text{ мм/об.}$$

3) Вибираємо швидкість різання за таблицею $V = 160$ м/хв. ([10] стор.51)

Помножимо табличну швидкість на поправочний коефіцієнт:

$$V = V_{\text{таб}} \cdot K_1 K_2 K_3 = 160 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 144 \text{ м / хв}$$

4) Частота обертання шпинделя:

$$n = (1000V) / (\pi D_{\text{max}}) = (1000 \cdot 144) / (3,14 \cdot 152) = 301,709 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата $n = 300$ об/хв.

5) Фактична швидкість різання:

$$V = (\pi D n) / 1000 = (3,14 \cdot 152 \cdot 300) / 1000 = 143,187 \text{ м / хв.}$$

Перевірка потужності верстата.

6) Потужність необхідна на різання:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{різ}} \cdot K \cdot t \cdot (V / 100) = 0,4 \cdot 1,15 \cdot (143,18 / 100) = 0,26 \text{ кВт.}$$

де K - поправочний коефіцієнт [10 стор 72]

Зусилля різання:

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$P_Z = 6120 * (N_{\text{різ}} / V) = 11.11 \text{кВт}$$

Потужність на верстаті шпинделя 4 кВт. Отже, встановлений режим здійснимо.

2 перехід - обточити поверхню 12 тонко остаточно.

Припуск безперервний, розрізний різець з пластиною з твердого сплаву Т30К4.

Оброблюваний діаметр $D = 152 \text{ мм}$.

Довжина обробки $L_{\text{різ}} = 24 \text{ мм}$.

Глибина різання $t=0,1 \text{ мм}$.

Число переходів $i = 4$

1) Розрахунок довжини робочого ходу супорта $L_{\text{рх}}$ в мм.

$$L_{\text{рх}} = L_{\text{різ}} + y + L_{\text{доп}} = 24 + 4 = 28 \text{ мм} \text{ ([10] стор.13)}$$

2) Подача верстата $S_m = 0,05 \text{ мм/об}$ - Табличне значення. ([10] стор.51)

Поправочний коефіцієнт:

- на подачу $K_s = 1$, ([10] стор.51)

$$S_o = S_m K_s = 0,05 \text{ мм/об.}$$

3) Вибираємо швидкість різання за таблицею $V = 160 \text{ м/хв}$. ([10] стор.51)

Помножуємо табличну швидкість на поправочний коефіцієнт:

$$V = V_{\text{таб}} * K_1 * K_2 * K_3 = 160 * 1 * 0,9 * 1,05 = 144 \text{ м / хв}$$

4) Частота обертання шпинделя:

$$n = (1000V) / (\pi D_{\text{max}}) = (1000 * 144) / (3,14 * 152) = 301.709 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата $n = 300 \text{ об/хв}$.

5) Фактична швидкість різання:

$$V = (\pi D n) / 1000 = (3,14 * 152 * 300) / 1000 = 143.187 \text{ м / хв.}$$

6) Перевірка потужності верстата.

Потужність необхідна на різання:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{різ}} \cdot K_t (V / 100) = 0.4 \cdot 1.15 (143.18/100) = 0,06 \text{ кВт.}$$

де K_t - поправочний коефіцієнт [10 стор 72]

Зусилля різання:

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$P_Z = 6120 * (N_{\text{різ}} / V) = 2,815 \text{ кВт}$$

Потужність на верстаті шпинделя 4 кВт. Отже, встановлений режим здійснимо.

3 перехід – обточити поверхню 8 тонко задалегідь.

Припуск безперервний, прохідний різець з пластиною з твердого сплаву Т30К4.

Оброблюваний діаметр $D = 174 \text{ мм}$.

Довжина обробки $L_{\text{різ}} = 10 \text{ мм}$.

Глибина різання $t = 04 \text{ мм}$.

Число переходів $i = 4$

1) Розрахунок довжини робочого ходу супорта $L_{\text{рх}}$ в мм.

$$L_{\text{рх}} = L_{\text{різ}} + y + L_{\text{доп}} = 10 + 2 = 12 \text{ мм} \text{ ([10] стор.13)}$$

2) Подача верстата $S_m = 0,10 \text{ мм/об}$ – табличне значення. ([10] стор.51)

Поправочний коефіцієнт:

- на подачу $K_s = 1$, ([10] стор.51)

$$S_o = S_T \cdot K_s = 0,05 \text{ мм/об.}$$

3) Вибираємо швидкість різання за таблицею $V = 160 \text{ м/хв}$. ([10] стор.51)

Помножуємо табличну швидкість на поправочний коефіцієнт:

$$V = V_{\text{таб}} * K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 160 * 1 * 0,9 * 1,05 = 144 \text{ м / хв}$$

4) Частота обертання шпинделя:

$$n = (1000V) / (\pi D_{\text{max}}) = (1000 \cdot 144) / (3,14 \cdot 174) = 263,56 \text{ об / хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата $n = 260 \text{ об/хв}$.

5) Фактична швидкість різання:

$$V = (\pi D n) / 1000 = (3,14 \cdot 174 \cdot 260) / 1000 = 142,05 \text{ м / хв.}$$

6) Перевірка потужності верстата.

Потужність необхідна на різання:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{різ}} \cdot K \cdot t \cdot (V / 100) = 0,4 \cdot 1,15 (143,18/100) = 0,26 \text{ кВт.}$$

де K - поправочний коефіцієнт [10 стор 72]

Зусилля різання:

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$P_Z = 6120 * (N_{\text{різ}} / V) = 11,26 \text{ кВт}$$

Потужність на верстаті шпинделя 2,8 кВт. Отже, встановлений режим здійснимо.

4 перехід - обточити поверхню 12 тонко остаточно.

Припуск безперервний, прохідний різець з пластиною з твердого сплаву Т30К4.

Обробити поверхню №8 (Ø174Н7).

Довжина обробки $L_{\text{різ}} = 10\text{м}$.

Глибина різання $t=0,1 \text{ мм}$.

Число переходів $i = 4$

1) Розрахунок довжини робочого ходу супорта $L_{\text{рх}}$ в мм.

$$L_{\text{рх}} = L_{\text{різ}} + y + L_{\text{доп}} = 24 + 4 = 28 \text{ ([10] стор.13)}$$

2) Подача верстата $S_m = 0,05 \text{ мм / про}$ - Табличне значення. ([10] стор.51)

Поправочний коефіцієнт:

- на подачу $K_s = 1$, ([10] стор.51)

$$S_o = S_T \cdot K_s = 0,05 \text{ мм/об.}$$

3) Вибираємо швидкість різання за таблицею $V = 160\text{м/хв}$. ([10] стор.51)

Помножуємо табличну швидкість на поправочний коефіцієнт:

$$V = V_{\text{таб}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 160 * 1 * 0,9 * 1,05 = 144\text{м / хв}$$

4) Частота обертання шпинделя:

$$n = (1000V) / (\pi D_{\text{max}}) = (1000 \cdot 144) / (3,14 \cdot 174) = 263,56 \text{ об / хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата $n = 260 \text{ об/хв}$.

5) Фактична швидкість різання:

$$V = (\pi D n) / 1000 = (3,14 \cdot 174 \cdot 260) / 1000 = 142,05 \text{ м / хв.}$$

6) Перевірка потужності верстата.

Потужність необхідна на різання:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{різ}} \cdot K_t \cdot (V / 100) = 0,4 \cdot 1,15 \cdot (142,05/100) = 0,065 \text{ кВт.}$$

де K_t - поправочний коефіцієнт [10 стор 72]

$$\text{Зусилля різання: } P_Z = 6120 * (N_{\text{різ}} / V) = 2,58 \text{ кВт}$$

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Потужність на верстаті шпинделя 4 кВт. Отже, встановлений режим здійснимо.

2.3.4 Аналіз отриманих результатів та використання їх при проєктуванні приводу

Для оцінювання впливу технологічних режимів на роботу модернізованого приводу головного руху виконано порівняльний аналіз режимів різання для двох найбільш характерних операцій технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» – токарної операції 010 та токарної операції 080. Зазначені операції характеризують різні режими роботи верстата та дозволяють визначити як максимальні силові навантаження, так і вимоги до точності роботи шпиндельного вузла.

Операція 010 є основною чорновою токарною операцією, під час якої видаляється найбільший об'єм металу. Для неї характерні значні значення глибини різання та подачі, що обумовлює виникнення максимальних сил різання. Розрахунки показали, що сила різання під час виконання цієї операції становить близько 1850 Н, а потужність різання досягає 2,77 кВт. Таким чином, саме операція 010 визначає найбільш несприятливий режим роботи приводу головного руху та використовується для оцінювання навантажень на шпиндельний вузол, вали та зубчасті передачі коробки швидкостей.

Операція 080 передбачає тонке розточування посадкових поверхонь Ø174Н7 та Ø152Н8 і належить до завершальних операцій технологічного процесу. Під час її виконання використовуються значно менші значення глибини різання та подачі, що забезпечує досягнення необхідної точності розмірів і шорсткості поверхонь. Розрахована сила різання для даної операції становить приблизно 350 Н, а потужність різання не перевищує 0,84 кВт. Незважаючи на незначні силові навантаження, дана операція висуває підвищені вимоги до точності роботи шпиндельного вузла, жорсткості

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

технологічної системи та стабільності частоти обертання шпинделя.

Порівняння результатів розрахунків свідчить, що сила різання під час чорнового точіння перевищує відповідний показник для операції тонкого розточування більш ніж у п'ять разів. Аналогічна залежність спостерігається і для потужності різання. Це підтверджує, що основні силові навантаження на елементи приводу головного руху виникають саме на чорнових операціях. Водночас чистова обробка характеризується підвищеними вимогами до точності кінематичного ланцюга та якості роботи коробки швидкостей.

Отримані в результаті розрахунків значення сили різання, потужності та частоти обертання шпинделя мають важливе значення для подальшого виконання конструкторської частини дипломного проєкту. Значення сили різання використовуються для визначення навантажень на шпиндельний вузол, зубчасті передачі коробки швидкостей та вали приводу головного руху. Розрахована потужність різання дозволяє оцінити ступінь завантаження електродвигуна та перевірити правильність вибору його потужності.

Особливе значення мають розраховані частоти обертання шпинделя, оскільки саме вони використовуються при побудові структурної сітки коробки швидкостей, визначенні передаточних чисел зубчастих передач та виборі режимів роботи електромагнітних муфт. Від правильності визначення цих параметрів залежить можливість реалізації заданого діапазону частот обертання шпинделя та забезпечення необхідних режимів різання під час обробки деталей різних типорозмірів.

Проведений аналіз підтверджує доцільність застосування електромагнітного перемикачів швидкостей у приводі головного руху. Під час виконання чорнових операцій система повинна забезпечувати надійну передачу значних крутних моментів, а при виконанні чистових операцій – високу точність та стабільність роботи приводу. Це дозволяє поєднати високу продуктивність обробки із забезпеченням необхідної точності виготовлення відповідальних поверхонь.

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таким чином, результати технологічних розрахунків є вихідними даними для конструювання модернізованого приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата з електромагнітним перемиканням швидкостей, розрахунку коробки швидкостей, вибору електромагнітних муфт та перевірки працездатності основних елементів кінематичного ланцюга.

2.4 Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи розроблено технологічне забезпечення виготовлення деталі «Фланець», яка входить до складу вузлів приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата з електромагнітним перемиканням швидкостей. Проведений аналіз конструкції деталі дозволив визначити найбільш відповідальні поверхні та сформувавши вимоги до точності їх механічної обробки.

На підставі аналізу конструктивних особливостей деталі та умов її виготовлення обґрунтовано серійний тип виробництва та вибрано раціональний спосіб отримання заготовки у вигляді штампованої поковки зі сталі 35. Такий спосіб забезпечує високі механічні властивості заготовки, зменшення обсягу механічної обробки та ефективне використання матеріалу.

Виконано вибір технологічних баз та розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «Фланець». Прийнята схема базування забезпечує необхідну точність взаємного розташування поверхонь, дотримання вимог щодо співвісності посадкових отворів та мінімізацію похибок обробки.

Для найбільш відповідальної поверхні Ø174Н7 проведено розрахунок міжопераційних припусків, що дозволило забезпечити необхідний запас матеріалу для усунення похибок заготовки та досягнення встановлених вимог до точності після виконання завершальних операцій механічної обробки.

Обґрунтовано вибір металорізального обладнання, різального інструменту, контрольно-вимірювальних засобів та технологічного

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

оснащення, необхідних для реалізації розробленого технологічного процесу. Для виконання токарних операцій використано верстати, які забезпечують досягнення необхідної точності та якості оброблюваних поверхонь.

Виконано розрахунок режимів різання для найбільш характерних токарних операцій технологічного процесу та проведено аналіз навантажень, що виникають під час механічної обробки деталі. Визначено значення швидкостей різання, подач, частот обертання шпинделя, сил різання та потужностей, необхідних для виконання чорнових і чистових операцій.

Отримані результати технологічних розрахунків є вихідними даними для виконання конструкторської частини кваліфікаційної роботи бакалавра. Визначені навантаження, потужності та частоти обертання використовуються при розрахунку кінематичної схеми приводу головного руху, виборі параметрів коробки швидкостей, розрахунку зубчастих передач та обґрунтуванні застосування електромагнітних муфт у конструкції модернізованого токарно-гвинторізного верстата.

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розробка кінематичної схеми приводу головного руху верстата

3.1.1 Аналіз існуючих конструкцій приводів головного руху

Як базову конструкцію для модернізації обрано токарно-гвинторізний верстат 1К62, який є одним із найбільш поширених універсальних металорізальних верстатів. Незважаючи на високу надійність, його коробка швидкостей використовує механічне перемикання зубчастих коліс, що збільшує допоміжний час та ускладнює автоматизацію.

Головний рух у токарно-гвинторізних верстатах забезпечує обертання шпинделя із закріпленою заготовкою та є основним рухом різання. Від конструкції приводу головного руху залежать технологічні можливості верстата, продуктивність обробки, точність виготовлення деталей та надійність роботи обладнання.

У більшості універсальних токарно-гвинторізних верстатів регулювання частоти обертання шпинделя здійснюється за допомогою коробок швидкостей із механічним перемиканням зубчастих коліс. Такі конструкції відзначаються простотою та надійністю, проте мають низку недоліків. Для зміни частоти обертання необхідно зупинити верстат, виконувати механічне переміщення блоків зубчастих коліс та повторно запускати привід. Це призводить до збільшення допоміжного часу, зниження продуктивності праці та підвищення зношування елементів коробки швидкостей.

Особливо відчутними зазначені недоліки стають під час обробки деталей складної конфігурації, коли виникає необхідність багаторазової зміни режимів різання протягом виконання однієї технологічної операції.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Бутрин Я.В.			КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Сеник А.А.				Н		5
<i>Рецензент</i>						ТНТУ, гр. МВ-41		
<i>Н. контр.</i>		Кобельник						
<i>Зав. каф.</i>		Крупа В.В.						

У таких умовах значна частина часу витрачається не на безпосередню обробку деталі, а на допоміжні переходи, пов'язані з перемиканням швидкостей.

Одним із перспективних напрямків удосконалення металорізальних верстатів є застосування електромагнітних муфт, які дозволяють здійснювати дистанційне та автоматизоване перемикання передач без зупинки шпинделя.

Використання електромагнітних муфт забезпечує швидке ввімкнення необхідних кінематичних ланцюгів, зменшує навантаження на елементи коробки швидкостей та створює передумови для автоматизації процесу керування верстатом.

У зв'язку з цим у даній кваліфікаційній роботі бакалавра передбачено модернізацію приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата шляхом застосування електромагнітного перемикання швидкостей.

3.1.2 Аналіз аналогів коробок швидкостей металорізальних верстатів

Під час проєктування приводу головного руху було виконано аналіз конструкцій коробок швидкостей, які застосовуються у сучасних токарно-гвинторізних верстатах. Найбільш поширеними є коробки швидкостей із механічним перемиканням зубчастих коліс, коробки з фрикційними муфтами та коробки з електромагнітним керуванням.

У верстатах типу 1К62, 16К20 та їх модифікаціях широко використовуються коробки швидкостей із переміщуваними блоками зубчастих коліс.

Основною перевагою таких конструкцій є простота та висока надійність. Разом із тим вони характеризуються значними витратами часу на перемикання передач, підвищеним зношуванням зубчастих коліс та неможливістю автоматизації процесу керування.

У сучасних верстатах дедалі частіше застосовуються коробки швидкостей із фрикційними або електромагнітними муфтами. Такі

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

конструкції дозволяють здійснювати перемикання передач без осьового переміщення зубчастих коліс, що суттєво знижує динамічні навантаження та покращує експлуатаційні характеристики обладнання.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика аналогів коробок швидкостей металорізальних верстатів

Тип коробки швидкостей	Приклад застосування	Переваги	Недоліки	Доцільність застосування
Коробка з пересувними блоками зубчастих коліс	Універсальні токарно-гвинторізні верстати типу 1K62, 16K20	Проста конструкція, висока надійність, доступність ремонту	Потребує зупинки або зниження швидкості для перемикання, підвищене зношування зубців, значний допоміжний час	Доцільна для простих універсальних верстатів без автоматизації
Коробка з фрикційними муфтами	Токарні та револьверні верстати середньої потужності	Плавне вмикання передач, менші ударні навантаження, можливість перемикання без переміщення зубчастих коліс	Можливе проковзування, нагрівання фрикційних елементів, потреба в регулюванні	Доцільна для приводів із помірними навантаженнями
Коробка з електромагнітними муфтами	Токарні автомати, напівавтомати, верстати з програмним керуванням	Дистанційне керування, швидке перемикання, можливість автоматизації, зменшення допоміжного часу	Складніша електрична частина, потреба в захисті та блокуванні	Найбільш доцільна для модернізованого приводу головного руху
Безступенева електромеханічна система з частотним перетворювачем	Сучасні верстати з ЧПК	Плавне регулювання швидкості, висока гнучкість керування, добра автоматизація	Вища вартість, складність обслуговування, залежність від електроніки	Доцільна для нових верстатів, але менш раціональна для простої модернізації
Комбінована коробка швидкостей	Модернізовані універсальні верстати	Поєднання механічної надійності та автоматизованого перемикання	Складніша конструкція, більша кількість елементів	Доцільна для модернізації існуючих верстатів

Аналіз аналогів показує, що найбільш раціональним рішенням є застосування коробки швидкостей з електромагнітними муфтами. Така конструкція дозволяє зберегти переваги механічної зубчастої передачі, забезпечити необхідну жорсткість кінематичного ланцюга та одночасно реалізувати швидке дистанційне перемикання частот обертання шпинделя. Саме тому подальше проектування приводу головного руху виконується на основі коробки швидкостей з електромагнітним перемиканням передач.

3.1.3 Вибір структури коробки швидкостей

Основною вимогою до приводу головного руху є забезпечення необхідного діапазону частот обертання шпинделя при збереженні високої жорсткості та надійності кінематичного ланцюга.

Під час проєктування було прийнято багатоступеневу структуру коробки швидкостей, що складається з декількох валів та груп зубчастих передач. Така конструкція дозволяє отримати широкий діапазон частот обертання шпинделя при порівняно компактних габаритах приводу.

Для реалізації необхідного діапазону регулювання використано груповий принцип побудови коробки швидкостей. Передаточні числа формуються шляхом послідовного з'єднання кількох груп передач, що забезпечує рівномірний розподіл частот обертання шпинделя за геометричною прогресією. На відміну від традиційних коробок швидкостей із рухомими блоками зубчастих коліс, у запропонованій конструкції перемикання здійснюється електромагнітними муфтами. Це дозволяє відмовитися від складних механізмів переміщення шестерень та підвищити швидкодію приводу.

Прийнята структура забезпечує необхідну кількість ступенів частот обертання шпинделя та відповідає технічним вимогам, що висуваються до сучасних універсальних токарно-гвинторізних верстатів.

3.1.4 Розробка кінематичної схеми приводу головного руху

Кінематична схема модернізованого приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата 1К62 наведена на аркуші 1 графічної частини. Її розроблено на основі аналізу конструкції існуючих приводів токарно-гвинторізних верстатів та з урахуванням застосування електромагнітного перемикання швидкостей.

Джерелом механічної енергії є асинхронний електродвигун

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

потужністю 7,5 кВт з номінальною частотою обертання 1440 об/хв. Передача руху від електродвигуна до коробки швидкостей здійснюється клинопасовою передачею, яка забезпечує плавність роботи приводу та знижує динамічні навантаження під час пуску.

Після клинопасової передачі обертальний рух надходить на первинний вал коробки швидкостей. Подальше перетворення частоти обертання здійснюється системою зубчастих передач, розташованих на проміжних валах. Вибір необхідного кінематичного ланцюга відбувається шляхом ввімкнення відповідних електромагнітних муфт.

Кінематичний ланцюг приводу має таку структуру:

Електродвигун → клинопасова передача → первинний вал → коробка швидкостей з електромагнітними муфтами → шпиндельний вал.

Застосування електромагнітних муфт дозволяє здійснювати зміну частоти обертання шпинделя без механічного переміщення зубчастих коліс, що позитивно впливає на довговічність приводу та продуктивність верстата.

3.1.5 Розрахунок передаточних чисел коробки швидкостей

Передаточні числа окремих ступенів коробки швидкостей визначаються за співвідношенням: $i = \frac{z_2}{z_1}$,

де z_1 — число зубців ведучого колеса; z_2 — число зубців веденого колеса.

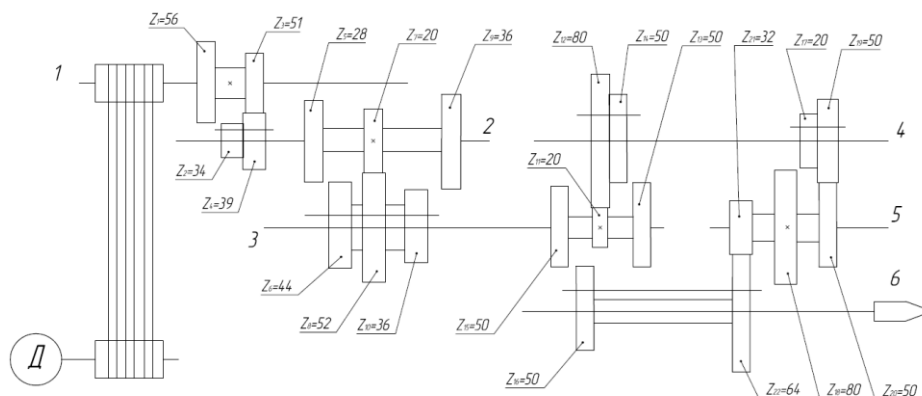


Рис 2. Кінематична схема приводу

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ			Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата				

Графік частот обертання валів приводу буде мети такий вигляд:

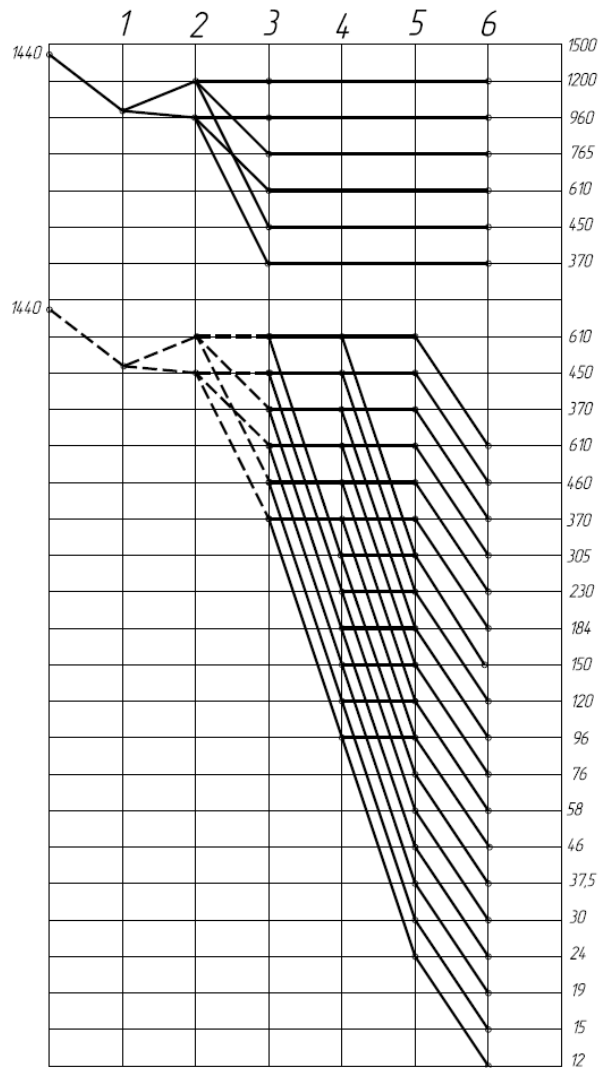


Рис. 3. Графік частот обертання валів приводу.

Визначаємо розрахункові передаточні співвідношення коліс приводу:

$$i_p = \frac{D_1}{D_2} = \frac{1000}{1440} = 0,69; \quad i_8 = i_9 = \frac{20}{52} = 0,38;$$

$$i_2 = \frac{56}{34} = 1,65; \quad i_{10} = i_{11} = \dots = i_{33} = \frac{50}{50} = 1$$

$$i_3 = \frac{51}{39} = 1,3; \quad i_{34} = i_{35} = \dots = i_{51} = \frac{20}{80} = 0,25$$

$$i_4 = i_5 = \frac{36}{36} = 1; \quad i_{52} = i_{23} = \dots = i_{68} = \frac{32}{64} = 0,5$$

$$i_6 = i_7 = \frac{28}{44} = 0,64;$$

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ

Арк

Розрахункові передаточні значення показують, що їх числові значення лежать в допустимих межах $0,25 \leq i \leq 2$. Реальне передаточне співвідношення чисел зубів коліс із використанням нормалі верстатобудування Н21 – 5 наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Числа зубів коліс приводу

Z	Z1:Z2	Z3:Z4	Z5:Z6	Z7:Z8	Z9:Z10	Z11:Z12
Число зубів	56:34	51:39	28:44	20:52	36:36	20:80
i	1,65	1,3	0,6	0,3	1	0,25
ΣZ	90	90	72	72	72	100
Z	Z13:Z14	Z15:Z16	Z17:Z18	Z19:Z20	Z21:Z22	
Число зубів	50:50	50:50	20:80	50:50	32:64	
i	1	1	0,25	1	0,5	
ΣZ	100	100	100	100	100	

Отримані значення відповідають вимогам до коробок швидкостей металорізальних верстатів та забезпечують необхідний діапазон зміни частоти обертання шпинделя.

3.2 Конструювання приводу головного руху з електромагнітним перемиканням швидкостей

3.2.1 Вибір електродвигуна приводу головного руху

Одним із найважливіших етапів проектування приводу головного руху є вибір електродвигуна, який повинен забезпечувати необхідну потужність, широкий діапазон регулювання частоти обертання шпинделя та стабільну роботу верстата в різних режимах різання.

На основі результатів технологічних розрахунків, виконаних у другому розділі роботи, встановлено, що максимальна потужність різання під час обробки деталі «Фланець» не перевищує 3 кВт. Однак під час проектування приводу необхідно враховувати втрати потужності в клинопасовій передачі, зубчастих передачах коробки швидкостей,

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

підшипникових опорах та електромагнітних муфтах.

Необхідна потужність електродвигуна визначається за формулою:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_p}{\eta},$$

де: N_p – потужність різання, кВт;

η – загальний коефіцієнт корисної дії приводу.

Для коробок швидкостей металорізальних верстатів загальний ККД приймають у межах 0,75–0,85.

З урахуванням запасу потужності для модернізованого приводу приймається асинхронний електродвигун потужністю 7,5 кВт з частотою обертання 1440 об/хв.

Застосування такого двигуна забезпечує необхідний запас потужності під час виконання як чорнових, так і чистових операцій обробки.

3.2.2 Вибір та розрахунок електромагнітних муфт

Основною особливістю модернізованого приводу є застосування електромагнітних муфт для перемикання швидкостей.

На відміну від традиційних механічних систем перемикання передач, електромагнітні муфти дозволяють здійснювати швидке дистанційне керування кінематичними ланцюгами коробки швидкостей.

У конструкції приводу використано багатодискові електромагнітні муфти, які забезпечують:

- високу швидкодію;
- плавність перемикання;
- можливість автоматизації процесу керування;
- зменшення ударних навантажень;
- підвищення довговічності зубчастих передач.

Принцип роботи муфти полягає у створенні магнітного поля

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

катушкою збудження, внаслідок чого якір притягується до магнітопроводу та забезпечує передачу крутного моменту між валами.

Застосування електромагнітних муфт дозволяє виконувати зміну швидкостей без механічного переміщення зубчастих коліс, що значно підвищує продуктивність роботи верстата.

Електромагнітні муфти у модернізованому приводі головного руху призначені для вмикання необхідних кінематичних ланцюгів коробки швидкостей та передавання крутного моменту між валами без механічного переміщення зубчастих коліс. Основною умовою правильного вибору муфти є забезпечення передавання розрахункового крутного моменту із необхідним коефіцієнтом запасу.

Розрахунковий крутний момент на валу визначається за формулою:

$$M_{rozr} = \frac{9550 \cdot N}{n}$$

де M_{rozr} – розрахунковий крутний момент, Н·м;

N – потужність, що передається валом, кВт;

n – частота обертання вала, об/хв.

Для електродвигуна потужністю $N=7,5$ кВт та частотою обертання $n=1440$ об/хв:

$$M_{dv} = \frac{9550 \cdot 7,5}{1440} = 49,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

З урахуванням передавання руху через клинопасову передачу та можливих динамічних навантажень приймаємо коефіцієнт запасу: $K_z=1,5$.

Необхідний момент, який повинна передавати електромагнітна муфта, визначається за залежністю:

$$M_{potr} = K_z \cdot M_{rozr}$$

Тоді:

$$M_{potr} = 1,5 \cdot 49,7 = 74,55 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отже, електромагнітна муфта повинна передавати крутний момент не

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

менше ніж 74,55 Н·м.

Для модернізованого приводу приймається багатодискова електромагнітна муфта типу ЕТМ з номінальним передаваним моментом:

$$M_{\text{муфти}}=100 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Перевірка правильності вибору муфти виконується за умовою:

$$M_{\text{mufty}} \geq K_z \cdot M_{\text{rozr}}$$

Підставляючи значення, отримаємо:

$$100 \geq 74,55$$

Умова виконується, отже вибрана електромагнітна муфта забезпечує передавання необхідного крутного моменту з достатнім запасом міцності.

Для валів більшого діаметра, на яких передаються підвищені крутні моменти, доцільно застосовувати муфти тієї ж серії з більшим номінальним моментом, наприклад $M_{\text{муфти}}=160 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Такий підхід забезпечує уніфікацію конструкції, надійність перемикання швидкостей та ремонтпридатність приводу.

Таким чином, застосування електромагнітних муфт серії ЕТМ у конструкції коробки швидкостей є технічно обґрунтованим. Вибрані муфти забезпечують передавання необхідного крутного моменту, дозволяють здійснювати дистанційне перемикання швидкостей та підвищують експлуатаційну ефективність токарно-гвинторізного верстата.

3.2.3 Система керування електромагнітними муфтами

Однією з головних особливостей модернізованого приводу головного руху є застосування електромагнітних муфт для перемикання частот обертання шпинделя. На відміну від традиційних коробок швидкостей із рухомими блоками зубчастих коліс, використання електромагнітних муфт дозволяє здійснювати зміну швидкостей без механічного переміщення зубчастих передач, що значно скорочує допоміжний час та підвищує

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

продуктивність роботи верстата.

Система керування складається з кнопочового пульта оператора, блоку електричних реле, джерела живлення та електромагнітних муфт, встановлених на відповідних валах коробки швидкостей. Кожній передачі відповідає окрема електромагнітна муфта, яка при подачі електричного сигналу забезпечує замикання відповідного кінематичного ланцюга.

Перемикання швидкостей здійснюється натисканням відповідної кнопки на панелі керування. Після надходження сигналу на котушку муфти створюється магнітне поле, яке притягує якір і забезпечує передачу крутного моменту між валами. Після вимкнення живлення муфта автоматично розмикається під дією пружин.

Для забезпечення безпечної роботи приводу передбачені електричні блокування, які унеможливають одночасне ввімкнення двох або більше передач.

Блокування реалізується за допомогою нормально замкнених контактів реле, включених у кола живлення котушок електромагнітних муфт. При ввімкненні однієї муфти кола живлення інших муфт автоматично розмикаються.

Запропонована система керування забезпечує високу швидкодію, надійність роботи та створює передумови для подальшого впровадження програмного керування приводом головного руху.

3.2.4 Переваги модернізованого приводу головного руху

Розроблена конструкція приводу головного руху відрізняється від традиційних коробок швидкостей застосуванням електромагнітного перемикання передач, що дозволяє істотно покращити експлуатаційні характеристики верстата.

Основною перевагою є можливість дистанційного та швидкого перемикання швидкостей без механічного переміщення блоків зубчастих

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

коліс. Це зменшує тривалість допоміжних операцій і підвищує продуктивність роботи обладнання.

Крім того, застосування електромагнітних муфт забезпечує плавність перемикавання передач, знижує динамічні навантаження на елементи коробки швидкостей та сприяє збільшенню терміну їх служби.

Порівняльна характеристика стандартного та модернізованого приводів наведена в таблиці 3.

Показник	Стандартний привід	Модернізований привід
Спосіб перемикавання	Механічний	Електромагнітний
Час перемикавання	3–5 с	0,5–1 с
Автоматизація	Відсутня	Передбачена
Дистанційне керування	Немає	Є
Зношування зубчастих передач	Підвищене	Знижене
Продуктивність роботи	Базова	Вища на 10–15 %
Зручність керування	Середня	Висока

Таким чином, модернізація приводу головного руху шляхом застосування електромагнітних муфт дозволяє підвищити продуктивність верстата, покращити умови праці оператора, зменшити зношування елементів коробки швидкостей та створити передумови для подальшої автоматизації процесу керування металорізальним обладнанням.

3.3 Висновки до третього розділу.

У третьому розділі виконано конструкторське опрацювання модернізованого приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата 1К62 з електромагнітним перемиканням швидкостей. На основі аналізу існуючих конструкцій приводів встановлено, що традиційні коробки швидкостей із механічним перемиканням зубчастих коліс мають підвищені витрати допоміжного часу та обмежені можливості автоматизації. Тому

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

застосування електромагнітних муфт є технічно доцільним рішенням для підвищення швидкодії та зручності керування верстатом.

Розроблено кінематичну схему модернізованого приводу головного руху, в якій передача руху здійснюється від електродвигуна через клинопасову передачу, первинний вал, коробку швидкостей з електромагнітними муфтами до шпindelного вала. Визначено передаточні числа зубчастих коліс, які забезпечують необхідний діапазон зміни частоти обертання шпінделя та відповідають вимогам до універсальних токарно-гвинторізних верстатів.

Для модернізованого приводу прийнято асинхронний електродвигун потужністю 7,5 кВт з частотою обертання 1440 об/хв. На основі розрахунку крутного моменту обґрунтовано вибір багатодискових електромагнітних муфт типу ЕТМ. Прийнята муфта з номінальним моментом 100 Н·м забезпечує передавання необхідного крутного моменту з коефіцієнтом запасу 1,5, що підтверджує правильність її вибору.

Запропонована система керування електромагнітними муфтами забезпечує дистанційне перемикання швидкостей, електричне блокування одночасного ввімкнення декількох передач і створює передумови для подальшої автоматизації приводу головного руху. У результаті модернізації очікується скорочення часу перемикання передач до 0,5–1 с, зменшення зношування елементів коробки швидкостей, покращення умов праці оператора та підвищення продуктивності роботи верстата на 10–15 %.

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації токарно-гвинторізних верстатів на працівників можуть впливати різноманітні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які здатні призвести до травмування, професійних захворювань або погіршення умов праці. Тому під час проєктування модернізованого приводу головного руху особливу увагу необхідно приділяти питанням безпеки праці та захисту персоналу.

Основними небезпечними виробничими факторами при роботі на токарних верстатах є обертальні елементи обладнання. До них належать шпindel, патрон, вали коробки швидкостей, зубчасті передачі та клинопасова передача приводу головного руху. Контакт працівника з рухомими частинами може призвести до тяжких механічних травм, тому всі небезпечні вузли повинні бути закриті захисними кожухами.

Під час механічної обробки металів виникає небезпека травмування металевою стружкою. Особливо небезпечною є безперервна стружка, яка утворюється при точінні пластичних матеріалів. Стружка має високу температуру та гострі краї, що може спричинити опіки та порізи.

До шкідливих виробничих факторів належать підвищений рівень шуму та вібрації, які виникають у процесі роботи електродвигуна, зубчастих передач, підшипникових вузлів та різального інструменту. Тривалий вплив шуму понад допустимі значення може призвести до професійних захворювань органів слуху та зниження працездатності працівників.

Під час роботи верстатів також виникає небезпека ураження електричним струмом.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Бутрин Я.В.				<i>Н</i>		5
<i>Перевір.</i>		Окіпний І.Б.						
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>		Кобельник						
<i>Зав. каф.</i>		Крупа В.В.				ТНТУ, гр. МВ-41		

Джерелами небезпеки є електродвигуни, електромагнітні муфти, пускова апаратура та система керування верстатом. Особливої уваги потребує електрообладнання модернізованого приводу, оскільки у його складі використовуються електромагнітні муфти та релейні схеми керування.

У процесі роботи застосовуються мастильно-охолоджувальні рідини та індустріальні мастила, контакт з якими може негативно впливати на шкіру працівників. Крім того, випари мастильно-охолоджувальних рідин можуть погіршувати санітарно-гігієнічні умови виробничого середовища.

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Небезпечний фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Рухомі обладнання	частини Шпindelь, вали, зубчасті передачі	Травмування працівника
Металева стружка	Процес різання	Порізи, опіки
Шум	Робота верстата	Погіршення слуху
Вібрація	Робота приводу	Втома, професійні захворювання
Електричний струм	Електрообладнання	Електротравми
Мастильно-охолоджувальні рідини	Технологічний процес	Подразнення шкіри
Підвищена температура поверхонь	Двигуни, підшипники	Опіки

Проведений аналіз показує, що найбільшу небезпеку становлять рухомі елементи приводу головного руху та електрообладнання системи керування електромагнітними муфтами. Тому під час експлуатації модернізованого верстата необхідно забезпечити виконання комплексу організаційних і технічних заходів безпеки.

4.2 Заходи безпеки при роботі на токарних верстатах

Безпечна експлуатація токарно-гвинторізних верстатів забезпечується правильним технічним станом обладнання, дотриманням вимог нормативних

документів та виконанням працівниками встановлених правил охорони праці.

До роботи на токарних верстатах допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктажі з охорони праці, а також навчання безпечним методам роботи.

Перед початком роботи оператор повинен перевірити справність верстата, наявність та надійність кріплення захисних кожухів, справність електрообладнання, системи заземлення та аварійної кнопки зупинки. Особливу увагу необхідно приділяти стану електромагнітних муфт та системи їх керування.

Під час роботи забороняється:

- працювати зі знятими захисними огороженнями;
- виконувати вимірювання деталі при обертанні шпинделя;
- прибирати стружку руками;
- залишати працюючий верстат без нагляду;
- виконувати ремонт або регулювання приводу під час його роботи.

Для видалення стружки необхідно використовувати спеціальні гачки або щітки. Працівник повинен працювати у спеціальному одязі, захисному взутті та захисних окулярах.

Особливу увагу необхідно приділяти електробезпеці. Корпус верстата, електродвигун та шафа керування повинні бути надійно заземлені. Опір захисного заземлення повинен відповідати вимогам чинних нормативних документів.

При виникненні аварійної ситуації необхідно негайно зупинити верстат натисканням кнопки аварійного вимкнення та повідомити керівника робіт.

Для підвищення безпеки експлуатації модернізованого приводу доцільно передбачити:

- блокування відкривання кожухів під час роботи верстата;
- світлову індикацію ввімкнених електромагнітних муфт;

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- електричне блокування одночасного ввімкнення декількох передач;
- систему аварійного відключення живлення.
- Застосування зазначених заходів дозволяє суттєво знизити ризик виробничого травматизму та підвищити безпеку праці оператора.

4.3 Заходи безпеки в умовах воєнного стану

В умовах воєнного стану питання безпеки праці набувають особливої актуальності. Дія ракетних ударів, повітряних тривог, перебоїв електропостачання та можливих пошкоджень інфраструктури створює додаткові ризики для працівників підприємств машинобудівної галузі.

На підприємстві повинна бути розроблена та затверджена інструкція дій персоналу під час сигналу «Повітряна тривога». У разі отримання сигналу всі роботи повинні бути припинені, верстати відключені від електромережі, а працівники повинні організовано перейти до найближчого захисного укриття.

Сховища та укриття повинні бути забезпечені:

- аварійним освітленням;
- запасом питної води;
- аптечками першої допомоги;
- засобами пожежогасіння;
- засобами зв'язку.

Особливу небезпеку під час воєнного стану становлять аварійні відключення електроенергії. Для запобігання пошкодженню обладнання доцільно передбачати використання систем аварійного вимкнення та захисту електродвигунів від повторного самозапуску після відновлення електроживлення.

У разі виникнення пожежі працівники повинні діяти відповідно до плану евакуації та використовувати первинні засоби пожежогасіння. Для гасіння електрообладнання під напругою дозволяється застосовувати лише вуглекислотні або порошкові вогнегасники.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Важливим напрямком забезпечення безпеки праці є проведення регулярних інструктажів щодо дій персоналу в надзвичайних ситуаціях, навчання правилам домедичної допомоги та відпрацювання практичних заходів евакуації.

Таким чином, виконання комплексу організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів дозволяє забезпечити безпечні умови праці під час експлуатації токарно-гвинторізного верстата як у звичайних виробничих умовах, так і в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуацій.

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра виконано комплексне вирішення інженерного завдання з модернізації приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата шляхом впровадження електромагнітного перемикачів швидкостей та розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець». Робота охоплює конструкторську, технологічну та організаційно-технічну частини, а також містить комплект графічної документації, що відображає результати виконаного проектування.

У процесі виконання роботи проведено аналіз конструкцій існуючих приводів головного руху універсальних токарно-гвинторізних верстатів. Встановлено, що традиційні коробки швидкостей із механічним перемикачем передач характеризуються значними витратами допоміжного часу, підвищеним зношуванням зубчастих передач та обмеженими можливостями автоматизації. На основі проведеного аналізу обґрунтовано доцільність застосування електромагнітних муфт, які забезпечують дистанційне керування кінематичними ланцюгами та підвищують ефективність роботи обладнання.

У технологічній частині роботи розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «Фланець», обґрунтовано вибір заготовки, технологічних баз, металорізального обладнання, різального та вимірювального інструменту. Для основних операцій виконано розрахунок режимів різання, норм часу та виробничих параметрів. Отримані результати підтвердили можливість виготовлення деталі із забезпеченням необхідної точності, шорсткості поверхонь та заданої продуктивності виробництва.

У конструкторському розділі розроблено модернізований привід головного руху токарно-гвинторізного верстата 1К62.

					КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Бутрин Я.В.				<i>Н</i>		5
<i>Перевір.</i>		Сеник А.А.						
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>		Кобельник						
<i>Зав. каф.</i>		Крупа В.В.				ТНТУ, гр. МВ-41		

Запропонована конструкція забезпечує необхідний діапазон частот обертання шпинделя та відповідає вимогам, що ставляться до універсальних металорізальних верстатів.

На підставі технологічних розрахунків обґрунтовано вибір асинхронного електродвигуна потужністю 7,5 кВт із частотою обертання 1440 об/хв. Для реалізації електромагнітного перемикання швидкостей виконано розрахунок крутних моментів та вибрано багатодискові електромагнітні муфти типу ЕТМ. Проведені розрахунки показали, що вибрані муфти забезпечують передавання необхідного крутного моменту з достатнім запасом міцності та гарантують надійну роботу приводу в умовах експлуатації.

Розроблена система керування електромагнітними муфтами забезпечує швидке дистанційне перемикання передач, електричне блокування одночасного ввімкнення декількох швидкостей та створює передумови для подальшої автоматизації роботи верстата. Використання електромагнітних муфт дозволяє виключити механічне переміщення блоків зубчастих коліс під час перемикання передач, що сприяє зменшенню динамічних навантажень і підвищенню довговічності елементів коробки швидкостей.

Графічна частина роботи повністю підтверджує результати виконаних розрахунків та конструкторських розробок. На кресленнях наведено кінематичну схему модернізованого приводу, складальне креслення приводу головного руху, схему компоновання вузлів та конструкції електромагнітних муфт. Розроблена конструкторська документація забезпечує можливість виготовлення, складання та подальшої експлуатації модернізованого вузла.

У результаті виконаної модернізації очікується скорочення часу перемикання передач до 0,5–1 с, зменшення зношування елементів коробки швидкостей, покращення умов праці оператора та підвищення продуктивності роботи верстата на 10–15 %. Отримані результати підтверджують технічну доцільність і практичну цінність запропонованого конструктивного рішення та можуть бути використані під час модернізації даного типу верстатів.

					<i>КРБ МВ 23-348.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management Systems – Requirements with Guidance for Use. Geneva : ISO, 2018.
2. Dubyniak T., Lutsiv I., Stashkiv M., Komar R., Buhovets V., Senyk A. Load research on the elements of a toothed safety clutch. *Procedia Structural Integrity*. 2026. Vol. 81. P. 562–569.
3. Senyk A., Kovalov V., Klymenko G., Vasylchenko Y., Shapovalov M., Kobelnyk O. Harmonic-dispersion analysis of the shape accuracy of the rolling bushings of drive roller and bushing chains. *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59. P. 502–507.
4. Senuk A., Slobodyan L., Aulina V., Kropivnyya V., Kuzyka O., Lyashuk O., Bosyia M., Vovk Y., Kropivna A., Sokolc M. The influence of titanium as a desferoidizing element on the stability of production of magnesium cast irons with compacted graphite. *Tribology in Industry*. 2021. Vol. 43, No. 4. P. 654–666.
5. Senyk A., Kobelnyk V., Gagaliuk A., Plavutska I., Matviyishyn A., Larochkin A., Dubyniak T. New technology for the manufacturing and use of rolling kingpin bushings in the undercarriage of certain vehicles. *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59. P. 508–515.
6. Kryvyu P., Kryvinskyy P., Bodnar V., Sotnyk I., Senuk A. Theoretical and Experimental Substantiation of Angle Orientation of Rolling Bushings of Roller and Bushing Chains. *Proceedings of the International Manufacturing Science and Engineering Conference (MSEC 2007)*. Atlanta, Georgia, USA, 2007. Paper No. MSEC2007-31211. P. 623–627.
7. Hahalyuk A., Krupa V. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization. *Scientific Journal of TNTU*. 2023. Vol. 111, No. 3. P. 67–75.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Kovalov V., Klymenko G., Vasylychenko Y., Shapovalov M., Senyk A., Reva E. Research on the reliability of assembled cutters for heavy machinery. *Procedia Structural Integrity*. 2026. Vol. 81. P. 297–304.
9. Сенік А., Кобельник В., Лещук Р., Кобельник О. Підвищення довговічності приводних роликів ланцюгів шляхом формування регулярних мікрорельєфів на згортних втулках методом віброобробочування. Прикладна механіка : праці II Міжнародної науково-технічної конференції (Тернопіль, 4–5 червня 2026 р.). Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2026. С. 64–68.
10. Безпека в надзвичайних ситуаціях : методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» усіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / уклад. В. С. Стручок. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
11. Гагалюк А. В., Паливода Ю. Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: Технологічні основи машинобудування : навчальний посібник. Тернопіль : Осадца Ю. В., 2025. 308 с.
12. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Стойко І. І., Марчук Н. М., Сіправська М. Д. Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика. Сільськогосподарські машини. 2018. Вип. 40. С. 21–31.
13. Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист : методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Р. А. Склярів та ін. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.
14. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навчальний посібник. Тернопіль : Підручники і посібники, 2023. 240 с.
15. Кузнєцов Ю. М., Новосьолов Ю. К., Луців І. В. Теорія технічних систем : підручник. Севастополь : СевНТУ, 2011. 246 с.
16. Кузнєцов Ю. М., Склярів Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем : навчальний посібник. Київ : ГНОЗІС, 2004. 323 с.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навчальний посібник. Тернопіль : Осадца Ю. В., 2023. 308 с.
18. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навчально-методичний посібник. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
19. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою : навчальний посібник / В. А. Крижанівський, Ю. М. Кузнєцов, І. А. Валявський, Р. А. Склярів. Кіровоград, 2004. 449 с.
20. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.
21. Modeling of a Lathe Bed Using the Method of Topological Optimization / A. Nahalyuk, V. Krupa. Scientific Journal of TNTU. 2023. Vol. 111, No. 3. P. 67–75.
22. Krupa V., Nahalyuk A., Senyk A. Впровадження інструментарію ефективної роботи в системі AutoCAD при навчанні інженерів. Сучасні проблеми моделювання. 2025. № 27. С. 96–108.
23. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
24. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змінами та доповненнями).
25. Кодекс законів про працю України. Чинна редакція.
26. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : Афіша, 2020. 376 с.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітки		
				Документація				
			КРБ.23-348.00.00.000 СК	Складальне креслення				
A1			КРБ.23-348.00.00.000 СП	Специфікація				
				Складальні одиниці	1			
	1		КРБ.23-348.01.00.000	Коробка швидкостей				
	2		КРБ.23-348.02.00.000	Шпиндельний вузол	1			
	3		КРБ.23-348.03.00.000	Клинопасова передача	1			
				Деталі	1			
	4		КРБ.23-348.01.001	Корпус	1			
	5		КРБ.23-348.01.002	Вал первинний	1			
	6		КРБ.23-348.01.003	Вал проміжний	1			
	7		КРБ.23-348.01.004	Вал шпиндельний	1			
	8		КРБ.23-348.01.005	Колесо зубчасте Z=28				
	9		КРБ.23-348.01.006	Колесо зубчасте Z=35	1			
	10		КРБ.23-348.01.007	Колесо зубчасте Z=42	1			
	11		КРБ.23-348.01.008	Колесо зубчасте Z=56	1			
	12		КРБ.23-348.01.009	Шків ведучий	1			
	13		КРБ.23-348.01.010	Шків ведений	1			
	14		КРБ.23-348.01.011	Кришка підшипника				
				Стандартні вироби	4			
	15		ДСТУ ISO 281	Підшипник 206	2			
	16		ДСТУ ISO 281	Підшипник 308	16			
	17		ДСТУ ISO 281	Підшипник 312	8			
	18		ДСТУ	Шпонка призматична	16			
	19		ДСТУ	Кільце стопорне	8			
	20		ДСТУ	Болт М10	16			
	21		ДСТУ	Гайка М10	8			
КРБ МВ 23-348.00.00.000 СК								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Бутрин Я.			Привід головного руху токарно-гвинторізного верстата 1К62	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Сеник				У	1	2
Консулт.						ТНТУ, МВс-41		
Н. контр.		Кобельник						
Затв.		Крупа В.В.						

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітки
				Документація		
				Документація		
A1			КРБ.23-348.01.00.000 СК	Складальне креслення		
			КРБ.23-348.01.00.000 СП	Специфікація		
				Деталі		
	1		КРБ.23-348.01.001	Корпус коробки швидкостей	1	
	2		КРБ.23-348.01.002	Кришка передня	2	
	3		КРБ.23-348.01.003	Кришка задня	3	
	4		КРБ.23-348.01.004	Вал первинний	4	
	5		КРБ.23-348.01.005	Вал проміжний	5	
	6		КРБ.23-348.01.006	Вал шпindelний	6	
	7		КРБ.23-348.01.007	Колесо зубчасте Z=28	7	
	8		КРБ.23-348.01.008	Колесо зубчасте Z=35	8	
	9		КРБ.23-348.01.009	Колесо зубчасте Z=42	9	
	10		КРБ.23-348.01.010	Колесо зубчасте Z=56	10	
	11		КРБ.23-348.01.011	Колесо зубчасте Z=63	11	
	12		КРБ.23-348.01.012	Колесо зубчасте Z=71	12	
	13		КРБ.23-348.01.013	Втулка дистанційна	13	
	14		КРБ.23-348.01.014	Кільце розпірне	14	
				Стандартні вироби		
	15		ДСТУ ISO 281	Підшипник кочення 206	15	
	16		ДСТУ ISO 281	Підшипник кочення 308	16	
	17		ДСТУ ISO 281	Підшипник кочення 312	17	
	18		ДСТУ	Шпонка призматична	18	
	19		ДСТУ	Кільце стопорне	19	
	20		ДСТУ	Болт М10×30	20	
	21		ДСТУ	Болт М12×35	21	

КРБ МВ 23-348.00.00.000 СК

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Бутрин Я.			Коробка швидкостей токарно-гвинторізного верстата 1К62	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Сеник				У	1	2
Консулт.						ТНТУ, МВс-41		
Н. контр.		Кобельник						
Затв.		Крупа В.В.						

