Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)
Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Модернізація приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата для забезпечення технологічного процесу обробки деталі ”Корпус КС6Б-50.257”.

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи МВ-41
напряму підготовки (спеціальності)
133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

		Білобран В.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)

Тернопіль
2026

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ *Крупа В.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

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

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

студенту Білобрану Володимиру Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата для забезпечення технологічного процесу обробки деталі "Корпус КС6Б-50.257".

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 *Тех. креслення деталі. Базовий технологічний процес виготовлення деталі. Базовий технологічний процесс виготовлення корпусних деталей. Технічна документація та технічна характеристика вертикально-свердлильного верстата 2Н135. Конструктивні та кінематичні схеми приводів головного руху металорізальних верстатів.*

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналітична частина. Аналіз конструкції вертикально-свердлильного верстата Технологічна частина. 2Н135, приводу головного руху та технологічності деталі «Корпус КС6Б-50.257». Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257», вибір заготовки, обладнання, інструменту та режимів обробки. Конструкторська частина. Модернізація приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135, розроблення структурно- кінематичної схеми, коробки швидкостей та шпиндельного вузла, виконання необхідних кінематичних і перевірочних розрахунків. Охорона праці. Розроблення заходів з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Деталь «Корпус КС6Б-50.257» – 1 арк. А1.
Технологічний маршрут виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» – 1 арк. А1.
Загальний вигляд модернізованого вертикально-свердлильного верстата 2Н135 – 1 арк. А1.
Структурно-кінематична схема модернізованого приводу головного руху – 1 арк. А1.
Коробка швидкостей модернізованого приводу головного руху – 1 арк. А1.
Шпиндельний вузол модернізованого приводу головного руху – 1 арк. А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	*к.т.н., доцент Окіпний І.Б.*		

7. Дата видачі завдання 26.01.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	*Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу*	*05.02.2026*	
2	*Аналітична частина*	*02.04.2026*	
3	*Технологічна частина*	*01.05.2026*	
4	*Конструкторська частина*	*01.06.2026*	
5	*Охорона праці та безпека життєдіяльності*	*10.06.2026*	
6	*Графічна частина*	*20.06.2026*	
7	*Підготовка до захисту*	*21.06.2026*	

Студент _____ Білобран В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Білобран В.В. *– Модернізація приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата для забезпечення технологічного процесу обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257»*. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування / керівник А.А. Сеник. Тернопіль: факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2026.

У роботі розроблено технологічний процес виготовлення деталі та виконано модернізацію приводу головного руху верстата 2Н135. Проведено аналіз конструкції деталі та верстата, обґрунтовано вибір технологічного обладнання, виконано розрахунок режимів різання, розроблено структурно-кінематичну схему приводу, конструкцію коробки швидкостей і шпиндельного вузла. Підтверджено працездатність модернізованого приводу для забезпечення технологічного процесу обробки деталі.

Ключові слова: вертикально-свердлильний верстат, привід головного руху, модернізація, коробка швидкостей, шпиндельний вузол.

ABSTRACT

Bilobran V.V. *– Modernization of the main drive of a vertical drilling machine to ensure the machining process of the part "Housing KS6B-50.257".* Bachelor's Qualification Thesis in Specialty 133 – Industrial Mechanical Engineering / Supervisor A.A. Senyk. Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

The thesis presents the development of a manufacturing process for the part and the modernization of the main drive of the 2H135 vertical drilling machine. The design of the part and machine tool was analyzed, machining parameters were determined, and a modernized drive, gearbox and spindle unit were designed. The calculations confirmed the operability of the proposed technical solutions.

Keywords: vertical drilling machine, main drive, modernization, gearbox, spindle unit.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ …….

ВСТУП ……

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу ……

1.2 Характеристика деталі ……..

1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі ……

1.4 Аналіз існуючого технологічного процессу ……..

1.5 Аналіз конструкції вертикально-свердлильного верстата та приводу головного руху ……...

1.7 Висновки до розділу 1 …….

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Визначення типу виробництва та вибір заготовки ……...

2.2 Вибір технологічних баз ……..

2.3 Розроблення маршрутного технологічного процессу ……..

2.4 Розрахунок режимів різання ……...

2.5 Верстатне, інструментальне та контрольне забезпечення технологічного процессу ……..

2.6 Розрахунок технічних норм часу ……

2.7 Висновки до розділу 2 …….

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз існуючої конструкції приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата …….

3.2 Обґрунтування модернізації приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135 …….

3.3 Вибір та обґрунтування структурно-кінематичної схеми модернізованого приводу головного руху ……

3.4 Кінематичний розрахунок приводу головного руху ……

3.5 Конструкція коробки швидкостей модернізованого приводу головного руху ……..

3.6 Конструкція та перевірочний розрахунок шпиндельного вузла …….

3.7 Перевірка модернізованого приводу за умовами обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257» …….....

3.8 Висновки до розділу 3 …….

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів ……...

4.2 Заходи безпеки при роботі на вертикально-свердлильному верстаті …….

4.3 Пожежна та електробезпека ……

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ……...

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ ……..

ДОДАТКИ ……...

ВСТУП

Сучасне машинобудування характеризується постійним підвищенням вимог до точності, продуктивності та економічної ефективності технологічних процесів механічної обробки. Одним із важливих напрямів підвищення ефективності виробництва є модернізація існуючого металорізального обладнання, що дозволяє забезпечити необхідні режими обробки деталей без значних капітальних витрат на придбання нових верстатів.

Вертикально-свердлильні верстати моделі 2Н135 широко застосовуються на машинобудівних підприємствах для виконання операцій свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання та розточування отворів. Разом з тим зміна вимог до точності та продуктивності обробки сучасних деталей вимагає удосконалення окремих вузлів верстата, насамперед приводу головного руху, який визначає діапазон частот обертання шпинделя, величину крутного моменту та стабільність режимів різання.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» та привід головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135.

Предметом дослідження є конструктивні та кінематичні параметри приводу головного руху, які впливають на забезпечення необхідних режимів механічної обробки корпусної деталі.

Метою роботи є модернізація приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135 для забезпечення технологічного процесу обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257» із заданими показниками точності, продуктивності та надійності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– проаналізувати конструкцію та службове призначення деталі «Корпус КС6Б-50.257»;

– розробити технологічний процес її виготовлення;

– вибрати технологічне обладнання, інструмент та режими різання;

– виконати аналіз конструкції вертикально-свердлильного верстата 2Н135;

– розробити структурно-кінематичну схему модернізованого приводу головного руху;

– виконати кінематичні та перевірочні розрахунки приводу;

– розробити конструкцію коробки швидкостей та шпиндельного вузла;

– перевірити працездатність модернізованого приводу за умовами обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257».

Практичне значення роботи полягає у розробленні технічних рішень щодо модернізації приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135, які забезпечують реалізацію необхідних режимів різання під час обробки відповідальних поверхонь корпусної деталі та можуть бути використані в умовах машинобудівного виробництва.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу

Розвиток сучасного машинобудування нерозривно пов'язаний із підвищенням ефективності технологічного обладнання, яке забезпечує виготовлення деталей із заданими показниками точності та якості поверхонь. В умовах серійного виробництва особливого значення набуває модернізація існуючих металорізальних верстатів, оскільки вона дозволяє покращити їх експлуатаційні характеристики без значних капіталовкладень у придбання нового обладнання.

Серед широкої номенклатури металорізальних верстатів значне поширення отримали вертикально-свердлильні верстати, що використовуються для виконання операцій свердління, зенкерування, розгортання та нарізання різі. Якість виконання зазначених операцій значною мірою визначається технічними параметрами приводу головного руху, який забезпечує передачу потужності від електродвигуна до шпинделя.

Згідно із завданням кваліфікаційної роботи необхідно виконати модернізацію приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата та розробити технологічний процес виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257».

Реалізація поставленого завдання передбачає виконання комплексу технологічних та конструкторських розрахунків, спрямованих на підвищення продуктивності обробки та покращення техніко-економічних показників виробництва.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257» шляхом модернізації приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата та розроблення удосконаленого технологічного процесу її виготовлення.

1.2 Характеристика деталі

Деталь «Корпус КС6Б-50.257» належить до класу корпусних деталей машинобудування. Основним призначенням деталі є забезпечення точного взаємного розташування встановлюваних елементів та сприйняття експлуатаційних навантажень. Конструкція деталі містить систему базових площин, кріпильних отворів та точних розточених поверхонь Ø100H8 і Ø85H8, які визначають функціональне призначення виробу.

Конструктивно корпус являє собою складну просторову відливку з розвиненою системою внутрішніх та зовнішніх поверхонь. У конструкції передбачені посадочні отвори під підшипники кочення, кріпильні отвори для встановлення кришок, технологічні бази та опорні поверхні. Наявність декількох співвісних отворів обумовлює підвищені вимоги до точності їх взаємного розташування та якості механічної обробки.

Відповідно до класифікації деталей машин корпус відноситься до групи корпусних деталей середнього рівня складності. Особливістю конструкції є поєднання значної жорсткості з відносно невеликою масою, що досягається використанням раціональної конфігурації стінок та ребер жорсткості.

Матеріалом деталі є сірий чавун марки СЧ20. Застосування даного матеріалу обумовлене його високими ливарними властивостями, задовільною міцністю, добрими антифрикційними характеристиками та здатністю ефективно поглинати вібрації. Завдяки цьому забезпечується стабільність геометричних параметрів корпусу в процесі роботи механізму та підвищується довговічність вузла в цілому.

Основними робочими поверхнями корпусу є посадочні отвори під підшипники, опорні торцеві поверхні та елементи кріплення кришок. Саме вони визначають точність складання вузла та забезпечують правильне функціонування механізму.

Особливо відповідальними є отвори під підшипникові опори, для яких встановлені жорсткі вимоги щодо точності розмірів, співвісності та шорсткості поверхні. Від якості їх виготовлення залежить точність розташування валів, плавність роботи передач та довговічність підшипникових вузлів.

Значна частина допоміжних поверхонь виконує функції технологічних баз під час механічної обробки. Правильний вибір базових поверхонь дозволяє забезпечити необхідну точність взаємного розташування всіх конструктивних елементів деталі та скоротити похибки базування.

Аналіз конструкції показує, що для виготовлення деталі найбільш доцільним є використання литої заготовки з подальшою механічною обробкою відповідальних поверхонь. Такий підхід забезпечує необхідну точність виготовлення, зменшує обсяг механічної обробки та сприяє зниженню собівартості продукції.

Отже, деталь «Корпус КС6Б-50.257» є характерним представником корпусних деталей машинобудування, виготовлення яких потребує забезпечення високої точності посадочних поверхонь, раціонального вибору технологічних баз та застосування ефективного технологічного процесу механічної обробки.

Хімічний склад чавуну СЧ-20 представлено в Таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад чавуну СЧ-20 по ДСТУ 8833:2019.

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Група відливки
3,0-3,3	1,3-1,7	0,8-1,2	≤0,3	≤0,15	0,3	0,5	0,5	II

Призначення чавуну СЧ-20 по ДСТУ 8833:2019- корпуса й обойми, катки, вилки, кронштейни та інші деталі, які працюють під дією малих та середніх статичних та динамічних навантажень. Відрізняються непоганими антифрикційними та корозійними властивостями, досить технологічні у виготовленні та обробці. До основних недоліків технологічних властивостей

слід віднести їх високу твердість а також малу пластичність.

Для визначення технологічних баз, робочих та допоміжних поверхонь проведено аналіз конструкції деталі. Результати класифікації поверхонь наведено на рисунку 1.1.

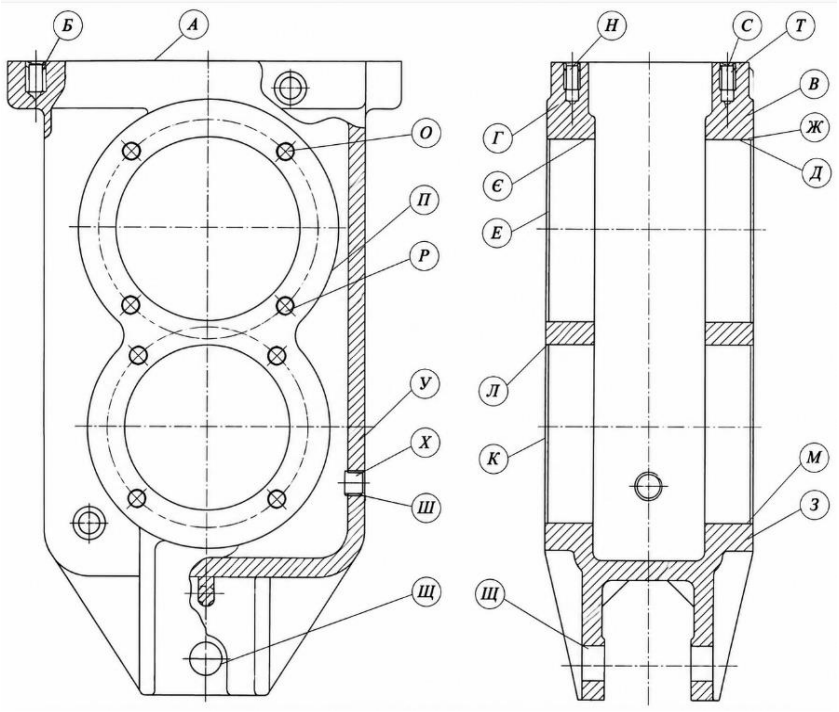


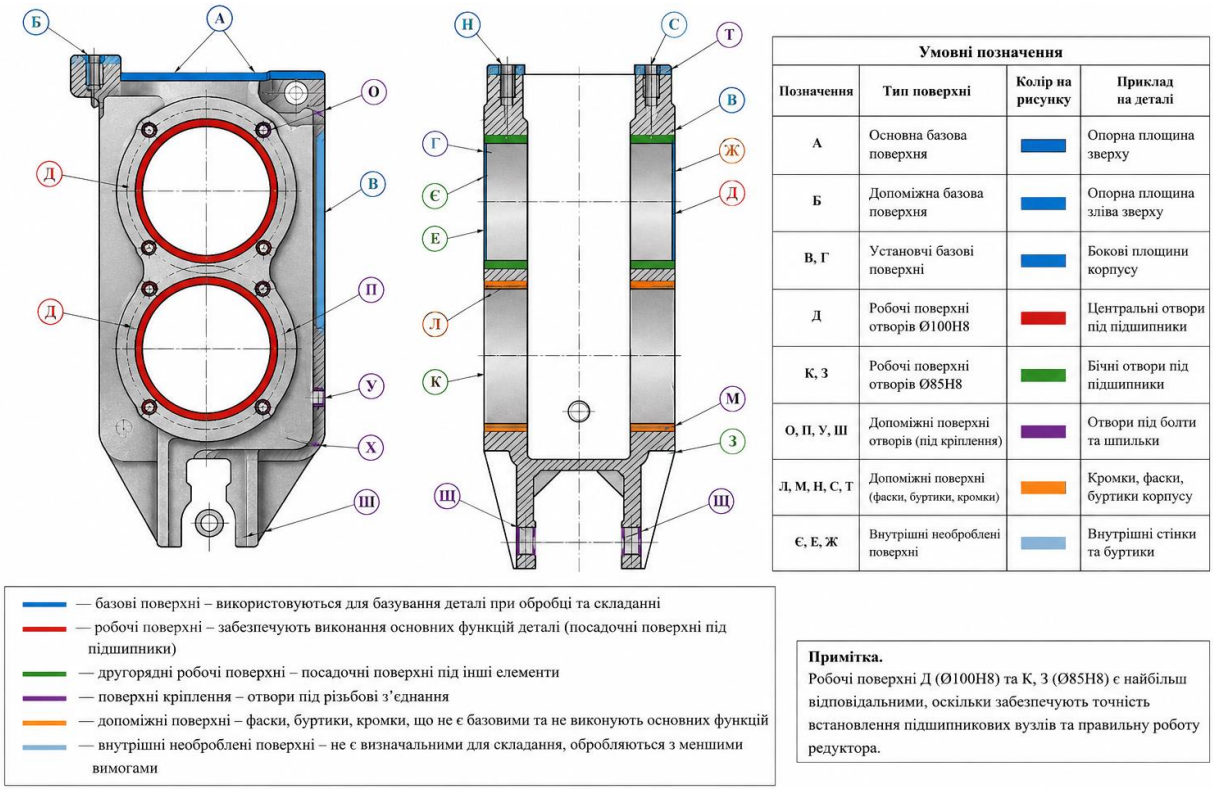
Рисунок 1.1 - Деталь «Корпус КС6Б-50.257» з позначенням поверхонь

Виходячи з огляду конструкції корпуса видно, що основними робочими поверхнями являються поверхні А, Д, Е, К і З.

Поверхня А - площина розмірами 110х210 мм виконана по 12 квалітету точності, шорсткістю Rz 40, до неї кріпиться кришка редуктора.

Поверхня Б - технологічний отвір Ø14Н12, виконаний по 12 квалітету точності, шорсткістю Rz40, по якому базується корпус редуктора на послідуючих операціях механічної обробки.

Поверхні В і Г - бокові площини корпуса які виконані по 10 квалітету точності, шорсткістю Rz12,5, до них кріпляться кришки валів редуктора, в яких розміщено ущільнення опор кочення.



Умовні позначення

Позначення	Тип поверхні	Колір на рисунку	Приклад на деталі
А	Основна базова поверхня		Опорна площина зверху
Б	Допоміжна базова поверхня		Опорна площина зліва зверху
В, Г	Установчі базові поверхні		Бокові площини корпусу
Д	Робочі поверхні отворів Ø100H8		Центральні отвори під підшипники
К, З	Робочі поверхні отворів Ø85H8		Бічні отвори під підшипники
О, П, У, Ш	Допоміжні поверхні отворів (під кріплення)		Отвори під болти та шпильки
Л, М, Н, С, Т	Допоміжні поверхні (фаски, буртики, кромки)		Кромки, фаски, буртики корпусу
Є, Е, Ж	Внутрішні необроблені поверхні		Внутрішні стінки та буртики

Примітка.
Робочі поверхні Д (Ø100H8) та К, З (Ø85H8) є найбільш відповідальними, оскільки забезпечують точність встановлення підшипникових вузлів та правильну роботу редуктора.

Рисунок 1.2 – Класифікація поверхонь деталі «Корпус КС6Б-50.257»

Поверхні ДіЕ- отвори Ø100H8 в яких розміщено підшипники кочення тихохідного валу редуктора, виконані по 8 квалітету точності, з шорсткістю Ra 2,5. Поверхні КіЗ- отвори Ø85H8 в яких розміщено підшипники кочення швидкохідного валу редуктора, виконані по 8 квалітету точності, з шорсткістю Ra2,5.

Поверхні Ж, Є, Л і М - фаски на внутрішніх отворах редуктора, виконані по 14 квалітету точності з шорсткістю поверхні Rz25.

Поверхні О - отвори Ø8,4 (+0,30) для нарізання різі, в які вкручуються болти кріплення кришок підшипників редуктора, шорсткість поверхні Ra 12,5.

Поверхні П - фаски на внутрішніх отворах кріплення кришок редуктора, виконані по 14 квалітету точності з шорсткістю поверхні Ra25.

Поверхні Р - різь в отворах кріплення кришок редуктора, виконана по 7 квалітету точності з шорсткістю поверхні Ra12,5.

Поверхня У - торець кріплення заливної пробки редуктора, виконана по квалітету точності 14, шорсткістю Ra25.

Поверхня Ш - різь конічна К3/8, виконана по 7 квалітету точності з шорсткістю поверхні Ra25.

Поверхня Щ - отвір для кріплення тяги Ø17, виконаний по 9 квалітету точності з шорсткістю поверхні Ra25.

Аналіз конструкції показав, що поверхні деталі мають різне функціональне призначення. Частина поверхонь використовується як технологічні бази під час механічної обробки, інші виконують робочі функції та забезпечують встановлення підшипникових вузлів, а допоміжні поверхні призначені для кріплення та складання вузла.

Проведемо аналіз технічних умов на виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» і представимо їх у вигляді Таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Аналіз технічних вимог до виготовлення деталі

Позначення поверхні	**Технічна вимога**	**Метод виконання**	**Метод контролю**
А	Забезпечити шорсткість Rz 40	Напівчистове фрезерування	Штангенциркуль цифровий згідно ДСТУ EN ISO 13385-1, еталони шорсткості згідно ДСТУ ISO 1302
Б	Забезпечити точність розміру Ø14H8 та шорсткість Rz40	Свердління	Штангенциркуль цифровий ДСТУ EN ISO 13385-1
В, Г	Забезпечити розмір 114±0,8 мм та шорсткість Ra 12,5	Чистове фрезерування	Штангенциркуль цифровий ДСТУ EN ISO 13385-1, профілометр згідно ДСТУ ISO 4287
Д, Е	Забезпечити точність отворів Ø100H8 та шорсткість Ra 2,5	Чистове розточування	Граничні калібри-пробки згідно ДСТУ ISO 1938-1, профілометр ДСТУ ISO 4287
К, З	Забезпечити точність отворів Ø85H8 та шорсткість Ra 2,5	Чистове розточування	Граничні калібри-пробки згідно ДСТУ ISO 1938-1, профілометр ДСТУ ISO 4287
Ж, Є, Л, М, Н, П	Забезпечити шорсткість Ra 25	Зенкування або чистове розточув.	Універсальні калібри, профілометр ДСТУ ISO 4287
О, С, Х, Щ	Забезпечити точність розмірів за 8 квалітетом та шорсткість Ra 25	Чистове свердління	Калібри-пробки згідно ДСТУ ISO 1938-1, штангенциркуль цифровий ДСТУ EN ISO 13385-1

Аналіз технічних вимог показує, що найбільш відповідальними поверхнями деталі є отвори Ø100H8 та Ø85H8, які визначають точність встановлення валів редуктора. Саме для цих поверхонь необхідно забезпечити мінімальні відхилення форми та розташування під час механічної обробки.

1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

Конструкція деталі «Корпус КС6Б-50.257» проаналізована з позицій забезпечення технологічності виготовлення в умовах серійного виробництва. Під технологічністю розуміють сукупність конструктивних властивостей деталі, які забезпечують мінімальні витрати праці, матеріалів та часу під час її виготовлення при дотриманні встановлених вимог до точності та якості.

Аналіз конструкції показує, що корпус має достатньо просту та раціональну форму, яка дозволяє отримувати заготовку методом лиття із сірого чавуну СЧ20. Наявність плавних переходів між стінками, відсутність тонких елементів та значних перепадів товщин сприяє якісному формуванню відливки та зменшує ймовірність виникнення ливарних дефектів.

Важливою перевагою конструкції є наявність розвинених базових поверхонь А, Б, В та Г, які можуть бути використані як технологічні бази під час механічної обробки. Це забезпечує можливість реалізації принципу суміщення конструкторських та технологічних баз і сприяє підвищенню точності взаємного розташування поверхонь.

Основні робочі поверхні деталі представлені отворами Ø100H8 та Ø85H8, призначеними для встановлення підшипникових опор валів редуктора. Конструкція зазначених поверхонь забезпечує можливість їх обробки стандартними розточувальними інструментами на універсальних горизонтально-розточувальних верстатах без застосування спеціального оснащення.

Конструкція корпусу не містить важкодоступних внутрішніх порожнин або поверхонь складної конфігурації, що забезпечує вільний доступ різального інструменту під час виконання операцій свердління, фрезерування та розточування. Це дозволяє використовувати стандартний різальний інструмент та знижує витрати на технологічну підготовку виробництва.

Деталь характеризується зручністю встановлення та закріплення у

пристроях завдяки наявності плоских опорних поверхонь. Це створює сприятливі умови для механізації та автоматизації окремих операцій технологічного процесу.

Таким чином, конструкція деталі «Корпус КС6Б-50.257» є технологічною та придатною для виготовлення в умовах серійного виробництва. Вона забезпечує можливість використання литої заготовки, стандартного різального інструменту, раціонального базування та ефективної механічної обробки відповідальних поверхонь.

1.4 Аналіз існуючого технологічного процесу

Базовий технологічний процес обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257» складається з операцій, поданих у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3- Базовий технологічний процес виготовлення деталі.

№ операції	Зміст операції	Обладнання	Примітка
005	Горизонтально-фрезерна	6Р83	Можлива для вдосконалення
010	Свердлильна	2Н150	Можлива для вдосконалення
015	Повздовжньо - фрезерна	ГФ2286	-
020	Поздовжньо - фрезерна	ГФ2286	Можлива для вдосконалення
025	Горизонтально-розточна	2Д450	Можлива для вдосконалення
030	Горизонтально - розточна	2Д450	Можлива для вдосконалення
035	Вертикально - свердлильна	2Н135	-
040	Вертикально - свердлильна	2Н135	-
045	Вертикально - свердлильна	2Н135	-
050	Вертикально - свердлильна	2Н135	-
055	Вертикально - свердлильна	2Н135	-
060	Вертикально - свердлильна	2Н135	-
065	Вертикально - свердлильна	2Н135	-

Існуючий маршрут технологічного процесу виготовлення деталі має ряд недоліків, які можна виправити впровадивши більш технологічні методи обробки поверхонь, які призведуть до зменшення трудомісткості виготовлення деталей та знизить їх собівартість.

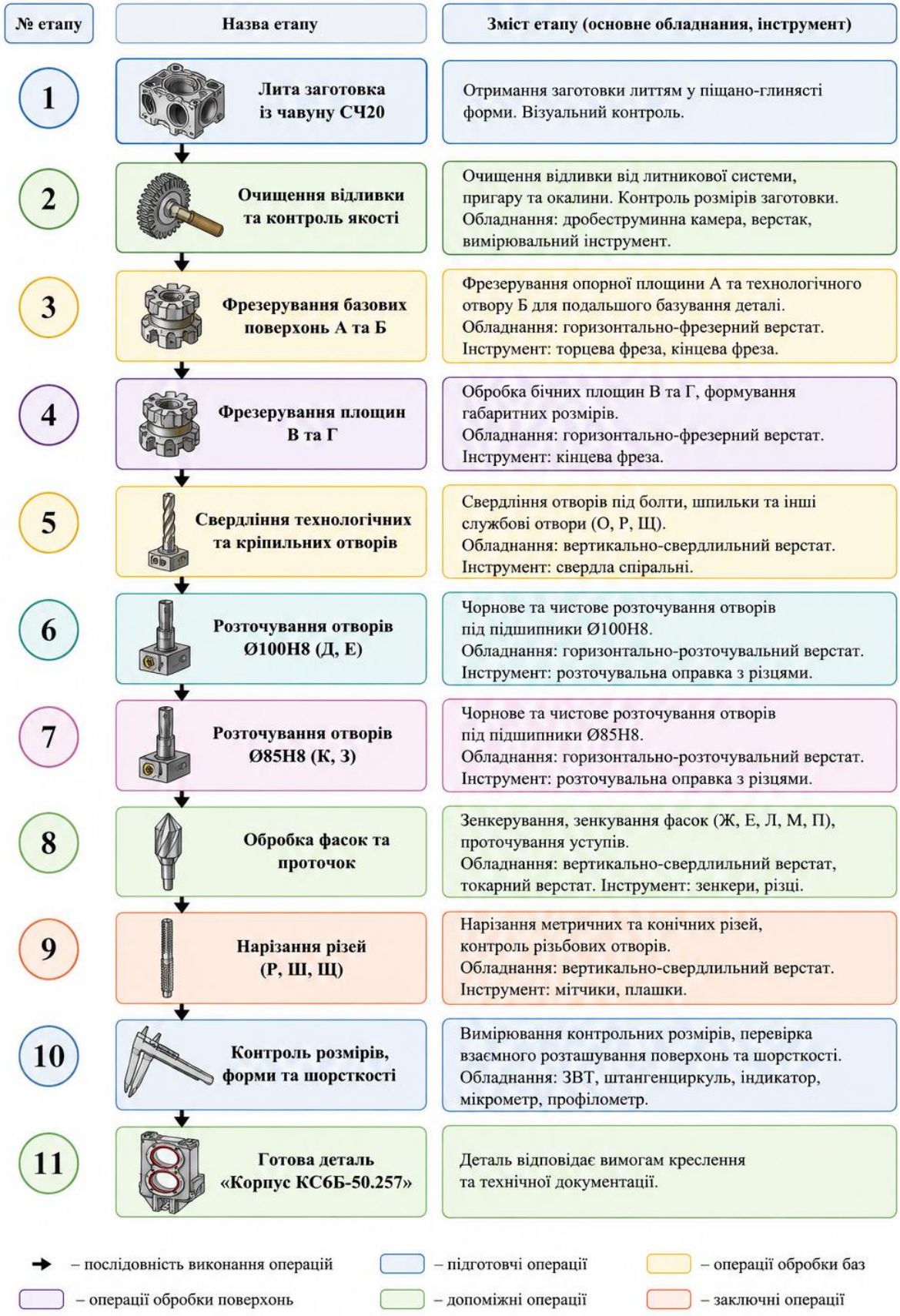


Рисунок 1.3 – Структурна схема технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257»

Базовий технологічний процес передбачає використання універсального металорізального обладнання, зокрема горизонтально-фрезерних, свердлильних та горизонтально-розточувальних верстатів. Обробка здійснюється послідовно на різних робочих місцях, що супроводжується багаторазовим переустановленням заготовки.

Першочерговими операціями є обробка базових поверхонь, які надалі використовуються для орієнтації деталі під час виконання наступних переходів. Після формування технологічних баз виконують обробку посадочних отворів під підшипникові вузли, а також свердління та нарізання різьб у кріпильних отворах.

Аналіз маршруту показує, що значна кількість часу витрачається не безпосередньо на різання металу, а на допоміжні переходи, пов’язані з транспортуванням заготовки між робочими місцями, її встановленням та вивірянням. Це призводить до збільшення тривалості виробничого циклу та підвищення собівартості виготовлення деталі.

Суттєвим недоліком існуючого технологічного процесу є велика кількість установок корпусу. Кожне повторне базування супроводжується виникненням додаткових похибок взаємного розташування поверхонь, що особливо критично для корпусних деталей із співвісними отворами.

Одним із перспективних напрямів удосконалення технологічного процесу є концентрація операцій шляхом використання багатоцільового обладнання або верстатів з числовим програмним керуванням. Це дозволяє виконувати декілька переходів за одне встановлення деталі та значно підвищувати точність взаємного розташування оброблюваних поверхонь.

Таким чином, проведений аналіз показав наявність можливостей для вдосконалення існуючого технологічного процесу шляхом скорочення кількості установок, підвищення рівня концентрації операцій та застосування сучасного технологічного обладнання.

1.5 Аналіз конструкції вертикально-свердлильного верстата та приводу головного руху

Вертикально-свердлильні верстати належать до найбільш поширених видів металорізального обладнання, що використовується для виконання операцій свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання та нарізання різі. Їх широке застосування у машинобудуванні зумовлене універсальністю, простотою конструкції та достатньою точністю обробки.

Серед найбільш поширених моделей слід відзначити верстати 2Н125, 2Н135 та 2А135. Вони мають подібну конструктивну схему, що включає станину, коробку швидкостей, шпиндельний вузол, механізм подачі та електропривід головного руху.

Верстат 2Н125 використовується переважно в умовах дрібносерійного виробництва та забезпечує обробку отворів діаметром до 25 мм. Верстат 2Н135 характеризується більшою потужністю, підвищеною жорсткістю конструкції та можливістю свердління отворів діаметром до 35 мм. Модель 2А135 є подальшим розвитком даної серії та відрізняється вдосконаленою кінематичною схемою і підвищеною надійністю.

Для порівняльного аналізу основних технічних характеристик досліджуваних моделей складено таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – Порівняння вертикально-свердлильних верстатів

Параметр	2Н125	2Н135	2А135
Найбільший діаметр свердління, мм	25	35	35
Потужність електродвигуна, кВт	2,2	4,0	5,5
Кількість швидкостей шпинделя	9	12	12
Діапазон частот обертання шпинделя, хв$^{-1}$	45–2000	31,5–1400	31,5–1400
Максимальний хід шпинделя, мм	200	225	225
Маса верстата, кг	950	1200	1350
Жорсткість конструкції	середня	висока	висока
Придатність до модернізації приводу	середня	висока	найвища

Проведений аналіз показує, що найбільш доцільним об'єктом модернізації є вертикально-свердлильний верстат 2Н135, який поєднує достатню потужність, жорсткість конструкції та широке поширення на машинобудівних підприємствах. Тому саме цей верстат прийнято як базовий об'єкт модернізації у даній роботі.

Рисунок 1.4 – Основні напрями модернізації приводу головного руху.

Привід головного руху забезпечує передачу механічної енергії від електродвигуна до шпинделя та визначає продуктивність, точність і надійність роботи верстата. У більшості вертикально-свердлильних верстатів рух передається через пасову передачу та коробку швидкостей до шпиндельного вузла.

У конструкціях вертикально-свердлильних верстатів переважно використовуються механічні коробки швидкостей зі ступінчастим регулюванням частоти обертання. Їх перевагами є простота конструкції, висока ремонтопридатність та надійність експлуатації. Разом з тим

ступінчасте регулювання не завжди дозволяє вибрати оптимальний режим різання.

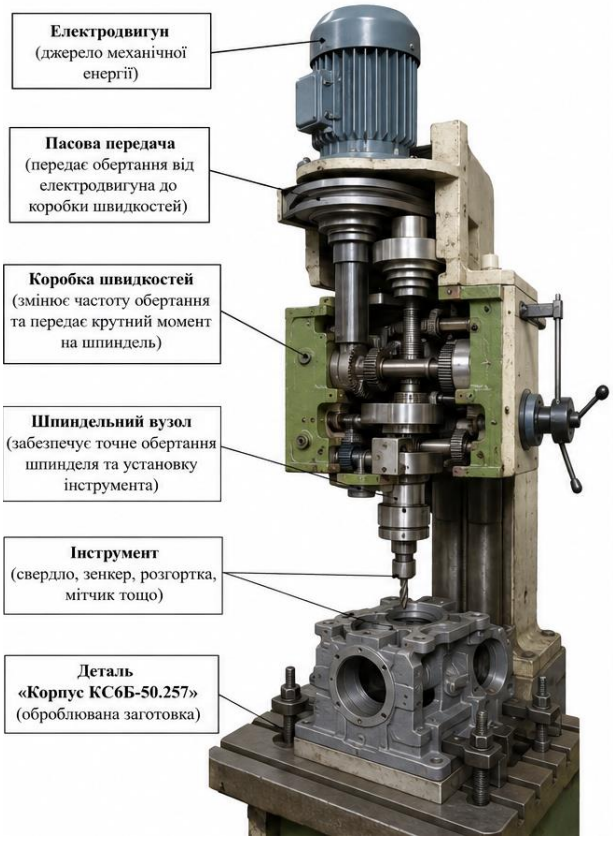


Рисунок 1.5 – Структурна схема приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата.

Сучасні конструкції коробок швидкостей передбачають використання зубчастих муфт постійного зачеплення та косозубих передач, що забезпечує зниження динамічних навантажень, підвищення плавності роботи та довговічності механізмів. Одним із перспективних напрямів розвитку є застосування частотних перетворювачів, однак для більшості машинобудівних підприємств модернізація існуючих механічних приводів залишається найбільш економічно доцільним рішенням.

Аналіз конструкції вертикально-свердлильного верстата 2Н135 показав, що його кінематична схема забезпечує необхідний діапазон частот обертання шпинделя, однак виконання операцій розточування отворів Ø100Н8 та Ø85Н8 деталі «Корпус КС6Б-50.257» висуває підвищені вимоги до

потужності приводу, жорсткості шпиндельного вузла та навантажувальної здатності коробки швидкостей. У зв'язку з цим виникає необхідність перевірки та модернізації приводу головного руху.

1.6 Висновки до розділу 1

У результаті виконання аналітичних досліджень було розглянуто особливості завдання на кваліфікаційну роботу та визначено основні напрямки подальших розробок.

Встановлено, що деталь «Корпус КС6Б-50.257» належить до класу корпусних деталей та характеризується наявністю відповідальних посадочних поверхонь і отворів, до яких висуваються підвищені вимоги щодо точності та якості обробки.

Проведений аналіз конструкції деталі показав можливість використання литої заготовки із сірого чавуну СЧ20, що забезпечує необхідні експлуатаційні характеристики виробу та раціональні умови його механічної обробки. Дослідження існуючого технологічного процесу дозволило виявити ряд недоліків, пов'язаних із великою кількістю установок деталі, значними витратами допоміжного часу та використанням обладнання, яке не повністю відповідає сучасним вимогам виробництва.

Аналіз конструкцій вертикально-свердлильних верстатів показав, що найбільш перспективним напрямом підвищення ефективності їх роботи є модернізація приводу головного руху та удосконалення коробки швидкостей.

На основі проведеного огляду встановлено, що сучасні приводи повинні забезпечувати широкий діапазон частот обертання шпинделя, високу жорсткість кінематичного ланцюга, надійність роботи та енергоефективність.

Отримані результати є підставою для розроблення удосконаленого технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» та модернізованої конструкції приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата, які будуть розглянуті у наступних розділах.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Визначення типу та організаційної форми виробництва

Одним із перших етапів розроблення технологічного процесу є визначення типу виробництва, оскільки від нього залежать рівень спеціалізації робочих місць, склад технологічного оснащення, вибір обладнання та організація виробничого процесу.

Для встановлення типу виробництва використовують коефіцієнт закріплення операцій, який характеризує співвідношення кількості технологічних операцій до кількості робочих місць виробничої дільниці.

$$K_{ЗО} = \frac{\sum O}{\sum P}, \tag{2.1}$$

де:

$\sum O$ – сумарна кількість технологічних операцій, що виконуються на дільниці протягом місяця;

$\sum P$ – кількість робочих місць виробничої дільниці.

Кількість операцій для окремого робочого місця визначають за формулою:

$$O = \frac{60 \cdot F_M \cdot K_B \cdot \eta_H}{T_{ШТ} \cdot N_M} \tag{2.2}$$

де:

$F_M = \frac{4015}{12} = 334{,}5$ год – місячний фонд часу роботи обладнання при двозмінному режимі роботи;

$K_B = 1{,}3$ – коефіцієнт виконання норм;

$\eta_B = 0{,}8$ – коефіцієнт завантаження обладнання;

$T_{ШТ}$ – штучний час виконання операції;

$N_м = \frac{N}{12} = \frac{5000}{12} = 416$ – місячна програма випуску деталей.

Згідно із завданням річна програма випуску деталі «Корпус КС6Б-50.257» становить 5000 шт.

Результати визначення кількості операцій для основних робочих місць наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Визначення коефіцієнта закріплення операцій

Робоче місце	**Обладнання**	**Кількість операцій**
О1	Горизонтально-фрезерний 6Р83	1,72
О2	Вертикально-свердлильний 2Н135	1,43
О3	Горизонтально-фрезерний ГФ2286	1,28
О4	Горизонтально-фрезерний ГФ2286	1,36
О5	Горизонтально-розточний 2Д450	1,24
О6	Вертикально-свердлильний 2Н135	1,12
О7	Вертикально-свердлильний 2Н135	1,08
О8	Вертикально-свердлильний 2Н135	1,14
О9	Вертикально-свердлильний 2Н135	1,21
О10	Вертикально-свердлильний 2Н135	1,29
О11	Вертикально-свердлильний 2Н135	1,33
ΣО	—	14,20

За результатами розрахунків коефіцієнт закріплення операцій становить: Кз.о.=14,2. Відповідно до прийнятої класифікації типів виробництва значення коефіцієнта закріплення операцій у межах від 10 до 20 відповідає середньосерійному типу виробництва.

Отже, виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» доцільно здійснювати в умовах середньосерійного виробництва. Для такого типу виробництва характерними є предметно-потокова організація робочих місць, використання універсального та спеціалізованого обладнання, а також застосування універсально-налагоджуваного технологічного оснащення.

Після визначення типу виробництва виконується вибір способу одержання заготовки. Деталь «Корпус КС6Б-50.257» є корпусною деталлю

складної конфігурації та виготовляється із сірого чавуну СЧ20, який характеризується високими ливарними властивостями та доброю оброблюваністю різанням.

З урахуванням конструктивних особливостей деталі, матеріалу та програми випуску розглянуто два варіанти виготовлення заготовки:

– лиття у піщано-глинисті форми;

– лиття за виплавлюваними моделями.

Порівняльний аналіз показує, що для умов середньосерійного виробництва більш економічно доцільним є застосування лиття у піщано-глинисті форми, яке забезпечує необхідну точність заготовки при мінімальних витратах на виготовлення оснащення та підготовку виробництва.

Таким чином, для виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» прийнято литу заготовку із сірого чавуну СЧ20, отриману методом лиття у піщано-глинисті форми.

2.2 Вибір технологічних баз

Одним із найважливіших етапів проектування технологічного процесу є вибір технологічних баз. Правильний вибір базових поверхонь забезпечує необхідну точність взаємного розташування поверхонь деталі, зменшує похибки встановлення та сприяє підвищенню якості обробки.

Під технологічною базою розуміють поверхню, вісь або сукупність елементів деталі, відносно яких визначається положення заготовки під час виконання технологічної операції. При виборі баз необхідно дотримуватися принципів єдності, суміщення та сталості баз.

Деталь «Корпус КС6Б-50.257» належить до корпусних деталей складної конфігурації та характеризується наявністю декількох відповідальних отворів, опорних площин і кріпильних поверхонь. Основними конструкторськими базами є посадочні отвори Ø100H8 та Ø85H8, а також опорні площини корпуса.

На першій операції механічної обробки необхідно забезпечити отримання чистових технологічних баз. Для цього як чорнові бази доцільно використовувати зовнішні литі поверхні заготовки, які мають достатню площу контакту та забезпечують стійке встановлення деталі на верстаті.

Під час обробки базових площин корпус встановлюється на литі опорні поверхні та закріплюється механічними притискачами. Така схема забезпечує надійне фіксування заготовки та дозволяє отримати необхідну точність базових поверхонь.

Після обробки базових площин вони використовуються як чистові технологічні бази для виконання наступних операцій. Застосування оброблених поверхонь як баз дозволяє реалізувати принцип сталості баз та забезпечити високу точність взаємного розташування отворів і площин.

Для виконання операції розточування технологічними базами є площина А (основна база), площина Б (напрямна база) та площина В (упорна база), що забезпечують реалізацію принципу повного базування за схемою 3–2–1.

Під час виконання свердлильних операцій корпус базується по вже оброблених площинах та посадочних отворах. Така схема дозволяє забезпечити необхідну точність розташування кріпильних отворів відносно осей посадочних поверхонь. Вибір технологічних баз наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вибір технологічних баз

Операція	**Технологічна база**	**Призначення**
Фрезерування базових площин	Литі поверхні заготовки	Отримання чистових баз
Розточування отворів Ø100H8	Площини А і Б	Забезпечення співвісності та точності
Розточування отворів Ø85H8	Площини А і Б	Формування посадочних поверхонь
Свердління кріпильних отворів	Площина А та отвір Ø100H8	Забезпечення точності розташування
Контрольна операція	Площина А, отвори Ø100H8 і Ø85H8	Контроль геометричних параметрів

Для наочного представлення прийнятої схеми рекомендується

побудувати рисунок:

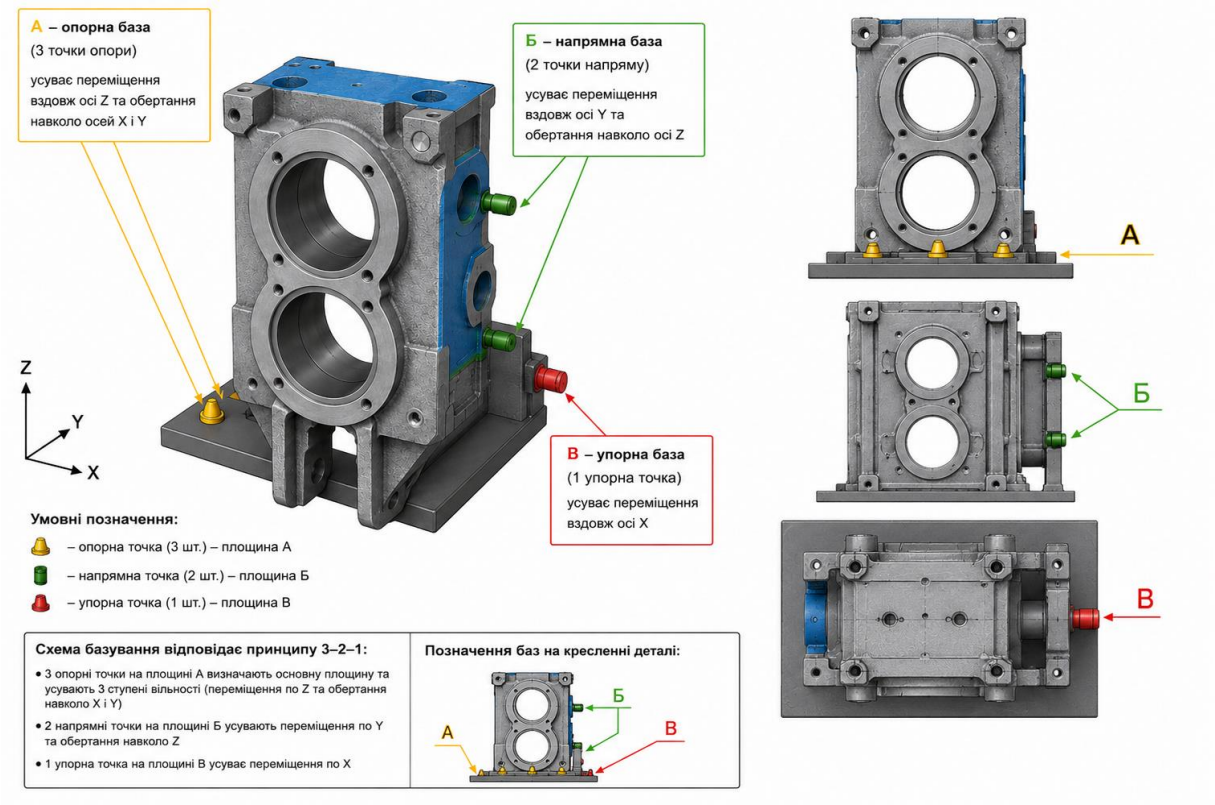


Рисунок 2.1 – Схема базування деталі «Корпус КС6Б-50.257» при обробці базових поверхонь.

Під час обробки базових поверхонь деталь «Корпус КС6Б-50.257» встановлюється за схемою повного базування відповідно до принципу шести точок. Як головна опорна база використовується площина А, яка забезпечує стійке положення заготовки на пристрої. Напрямною базою є площина Б, що визначає положення деталі у горизонтальній площині. Остаточне орієнтування здійснюється по площині В, яка виконує функцію упорної бази. Така схема дозволяє виключити всі шість ступенів вільності заготовки та забезпечує необхідну точність взаємного розташування оброблюваних поверхонь.

Таким чином, прийнята схема базування забезпечує реалізацію принципів суміщення та сталості баз, створює необхідні умови для досягнення заданої точності обробки та дозволяє ефективно виконувати всі операції технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257».

2.3 Розроблення маршрутного технологічного процесу

Після визначення типу виробництва, вибору заготовки та технологічних баз виконується розроблення маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257».

Основною метою проектування маршруту є забезпечення заданої точності та якості поверхонь при мінімальних витратах часу і матеріальних ресурсів. Під час розроблення технологічного процесу враховувались конструктивні особливості корпусної деталі, технічні вимоги до точності посадочних отворів Ø100H8 і Ø85H8, а також умови середньосерійного виробництва. Технологічний процес побудований за принципом послідовного формування технологічних баз та подальшої обробки відповідальних поверхонь від вже отриманих чистових баз.

На першому етапі виконують обробку базових площин, які надалі використовуються для встановлення деталі під час виконання основних операцій. Після формування баз здійснюють обробку бічних поверхонь корпуса та виконують розточування основних посадочних отворів. Завершальними є операції свердління, нарізання різі та контроль готової деталі.

Маршрутний технологічний процес наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі

№ опер.	Найменування операції	Обладнання
005	Комплексна фрезерно-свердлильна	ГФ2171С5
015	Повздовжньо-фрезерна	ГФ2286
025	Комплексна розточувально-фрезерна	2206ВМФ4
035	Вертикально-свердлильна	2Н135
040	Вертикально-свердлильна	2Н135
045	Вертикально-свердлильна	2Н135
050	Вертикально-свердлильна	2Н135
055	Вертикально-свердлильна	2Н135
060	Вертикально-свердлильна	2Н135
065	Контрольна	Контрольний пост

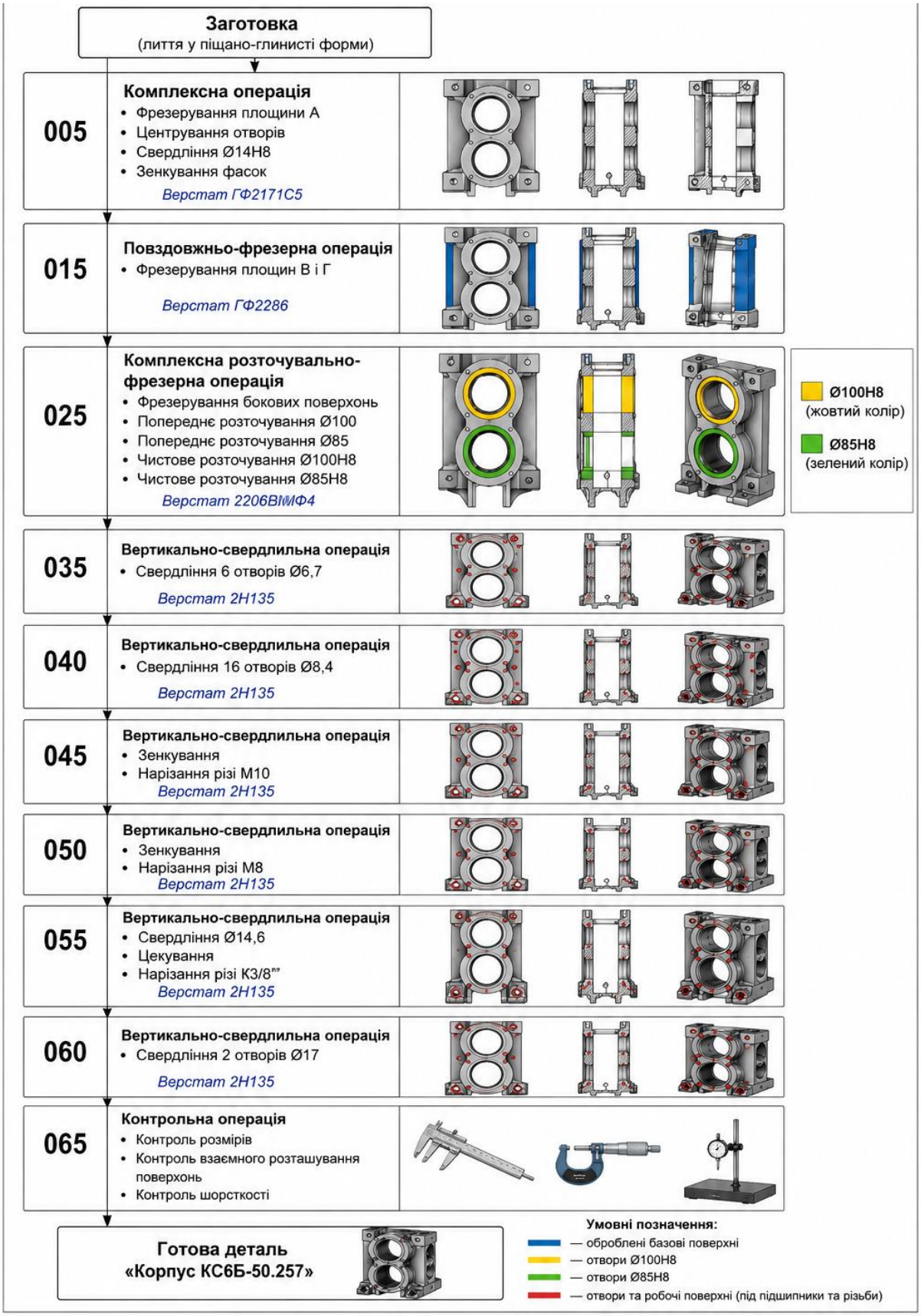


Рисунок 2.2 – Структура маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257»

Маршрут побудовано таким чином, щоб найбільш точні поверхні оброблялись після завершення основних чорнових операцій. Це дозволяє мінімізувати вплив внутрішніх напружень виливка на точність розташування посадочних поверхонь.

Особливу увагу приділено обробці посадочних отворів Ø100H8 та Ø85H8. Для забезпечення необхідної точності всі операції попереднього та остаточного розточування виконуються на багатоцільовому верстаті з ЧПК моделі 2206ВМФ4, що дозволяє підвищити точність взаємного розташування поверхонь та скоротити кількість переустановлень деталі.

На основі проведеного аналізу та вибору оптимального варіанту маршруту технологічного процесу виготовлення деталі проведемо детальне проектування техпроцесу подано у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Технологічний процес виготовлення деталі

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Оброблювані поверхні	Базові поверхні	Обладнання
1	2	3	4	5
005	Комплексна операція 1. Фрезерувати підошву в розмір *25 ±1,5* 2. Центрувати два отвори в розмір *180±0,1* 3. Свердлити два отвори в розмір Ø14H8 4. Зенкувати фаску в розмір *1x45°*	А Б Б	Й	Верстат моделі ГФ2171С5
015	Повздовжньо-фрезерна операція 1. Фрезерувати дві площини в розміри *114±0,8* і *26,5*.	В, Г	А, Б	Горизонтально-фрезерний верстат моделі ГФ2286

025	Комплексна операція. 1. Фрезерувати послідовно бокові поверхні з двох сторін в розмір 110±0,87. 2. Розточити попередньо два отвори до Ø92,5. 3. Розточити попередньо два отвори до Ø96. 4. Розточити попередньо два отвори до Ø99,5. 5. Розточити фаску в отворі в розмір 1,5х45°. 6. Розточити попередньо два отвори до Ø80. 7. Розточити попередньо два отвори до Ø84,5. 8. Розточити фаску в отворі в розмір 1,5х45°. 9. Розточити попередньо два отвори до Ø99,8. 10. Розточити два отвори в розмір Ø100Н8 11. Розточити два отвори в розмір Ø85Н8.	В, Г Д, Е Д, Е Д, Е Ж З, К З, К Є Д, Е Д, Е З, К	А, Б	Багатоцільовий верстат з ЧПК моделі 2206ВМФ4
035	Вертикально-свердлильна операція 1. Свердлити одночасно 6 отворів Ø6,7 в розміри 82; 26±1,5.	С	Б	Вертикально-свердлильний моделі 2Н135
040	Вертикально-свердлильна операція 1. Свердлити одночасно 8 отворів Ø8,4 в розмір Ø105 2. Переустановити дві деталі 3. Свердлити одночасно 8 отворів Ø8,4 в розмір Ø120	О	В, Г, Д, Е, К, З	Вертикально-свердлильний моделі 2Н135
045	Вертикально-свердлильна операція 1. Зенкувати фаску в 8 отворах в розмір 1,5х45 2. Замінити інструмент 3. Нарізати послідовно різь М10 в 8 отворах на довжину 14±0,4 4. Перевстановити деталь 5. Замінити інструмент 6. Зенкувати фаску в 8 отворах в розмір 1,5х45° 7. Замінити інструмент 8. Нарізати послідовно різь М10 в 8 отворах на довжину 14±0,2	П Р П Р	В, Г, Д, Е, К, З	Вертикально-свердлильний моделі 2Н135
050	Вертикально-свердлильна операція 1. Зенкувати послідовно фаску в 6 отворах в розмір 1,6х45° 2. Замінити інструмент 3. Нарізати послідовно різь М8 в 6 отворах на довжину 14±0,2	Н Т	А, Б	Вертикально-свердлильний моделі 2Н135

055	Вертикально-свердлильна операція 1. Свердлити отвір Ø14,6+0,2 225±1,2 2. Замінити інструмент 3. Цекувати торець в розміри 3±1 і 25-0,25. 4. Замінити інструмент 5. Нарізати різь К 3/8	У Х Ш	В,Г,Д,Е,К,З	Вертикально-свердлильний моделі 2Н135
060	Вертикально-свердлильна операція 1. Свердлити послідовно два отвори Ø17+0,4 в розмір 120±0,8	Щ	В,Г,Д,Е,К,З	Вертикально-свердлильний моделі 2Н135

Позначення оброблюваних і базових поверхонь, використаних у таблиці 2.4, відповідають класифікації поверхонь деталі «Корпус КС6Б-50.257», наведеній на рисунку 1.2.

Розроблений маршрутний технологічний процес забезпечує виконання всіх технічних вимог до деталі «Корпус КС6Б-50.257», відповідає умовам середньосерійного виробництва та створює необхідні передумови для подальшого розрахунку режимів різання і вибору технологічного оснащення.

2.4 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання виконується з метою визначення раціональних параметрів механічної обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257», а також перевірки відповідності потужності вибраного технологічного обладнання умовам виконання операцій. Отримані результати використовуються для оцінювання навантаження на привід головного руху верстата та подальшого обґрунтування його модернізації.

Найбільш відповідальною та енергоємною є операція 025 – комплексна розточувально-фрезерна операція, під час якої виконуються попереднє та остаточне розточування посадочних отворів Ø100Н8 і Ø85Н8. Саме в межах цієї операції формуються основні робочі поверхні деталі, від точності яких залежить правильність установлення підшипникових вузлів та експлуатаційні характеристики виробу.

Для перевірочного розрахунку режимів різання приймаємо перехід чорнового розточування отвору Ø85Н8, оскільки він характеризується найбільшою глибиною різання, підвищеними силовими навантаженнями на

різальний інструмент та максимальним навантаженням на шпиндельний вузол верстата. Результати розрахунку дозволяють перевірити виконання умови достатності потужності приводу головного руху:

$$N_{різ} < N_{верстата}$$

та підтвердити можливість виконання даної операції на вибраному обладнанні без перевантаження його основних вузлів.

Ø77,791 мм. - діаметр заготовки;

Ø80,012 мм. - діаметр чорнового розточування отвору.

Отже:

$$t = \frac{D_{дет} - D_{заг}}{2} = \frac{80{,}012 - 77{,}791}{2} = \frac{2{,}559}{2} = 1{,}28 \text{ мм.},$$

Ріжучий інструмент - розточний різець із твердого сплаву ВК8.

Січення державки різця 32х25 мм.

Параметри різця:

$$r = 1{,}2 \text{ мм.}, \ \varphi = 45°, \ \lambda = 0, \ \varphi_1 = 45°.$$

Назначаємо подачу S = 0,3÷0,5 $\frac{мм}{об}$ - при чорновому розточуванні при вильоті різця l = 100 мм. Приймаємо подачу S = 0,3 $\frac{мм}{об}$. Період стійкості різця T = 60 хв.

Швидкість різання при токарній обробці визначається за формулою:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V;$$

Значення коефіцієнту C_V і показників степеней вибираємо з Табл. 17 [3, с.270]

$$C_V = 292; \ x = 0{,}15; \ y = 0{,}2; \ m = 0{,}2.$$

Загальний поправочний коефіцієнт швидкості різання визначаємо із залежності:

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{nv} \cdot K_{\varphi 1V} \cdot K_{\lambda V} \cdot K_{OV} \cdot K_{uV}$$

де: $K_{MV} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{nV} = 1 \cdot \left(\frac{750}{380}\right)^{-0,9} = 0,74$ - коефіцієнт, що залежить від властивостей оброблюваного матеріалу ($K_r = 1$; $n_V = -0,9$).

Pz	Py	Px
Ср=300	Ср=243	Ср = 339
x = 1,0	x = 0,9	x = 1,0
y = 0,75	y = 0,6	y = 0,5
n = -0,15	n=-0,3	n = -0,4

Поправочний коефіцієнт визначаємо по формулі:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{nv} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}$$

де: $K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$ - коефіцієнт, що враховує вплив властивостей оброблюваного матеріалу на силові залежності;

$$K_{Mpz} = \left(\frac{520}{750}\right)^{0,4} = 0,87$$

$$K_{Mpy} = \left(\frac{520}{750}\right)^{1,0} = 0,69$$

$$K_{Mpx} = \left(\frac{520}{750}\right)^{0,8} = 0,75$$

$K_{\varphi p_{x,y,z}} = 1,0$ - поправочний коефіцієнт при $\varphi = 45°$ [4, Т.23, с.275];

$K_{\gamma p_{x,y,z}} = 1,0$ - поправочний коефіцієнт переднього кута [4, Т.23, с.275];

$K_{\lambda p_{x,y,z}} = 1,0$ - поправочний коефіцієнт кута нахилу ріжучої кромки [4, Т.23,с.275];

Krp, враховується тільки при обробці різцями із шидкоріжучої сталі.

Тоді:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,28^{1,0} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 61,2^{-0,15} \cdot 0,87 = 1900\ H$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 1,28^{0,9} \cdot 0,3^{0,6} \cdot 61,2^{-0,3} \cdot 0,69 = 1300\ H$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 1{,}28^{1{,}0} \cdot 0{,}3^{0{,}5} \cdot 61{,}2^{-0{,}4} \cdot 0{,}75 = 1600 \ H$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1900 \cdot 61.2}{1020 \cdot 60} = 1{,}9 \quad \text{кВт}$$

Knv = 0,8 - коефіцієнт, що залежить від стану оброблюваної поверхні [3, Т. 5, с.263];

Kuv = 0,93 - коефіцієнт, що залежить від матеріалу ріжучої частини інструменту [3, Т. 6, с.263];

$K_{\varphi v}$ = 1 - коефіцієнт, що залежить від геометричних параметрів різця (при φ = 45°) [3, Т. 18, с. 271];

Kov = 0,9 - коефіцієнт, що враховує вид обробки поверхні [6, Т. 11, с. 427]; $K_{\varphi 1V}$ та *Krv* враховуються тільки при обробці різцями із швидкоріжучої сталі.

Звідси швидкість різання:

$$V = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 1{,}28^{0,15} \cdot 0{,}3^{0,2}} \cdot 0{,}74 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}93 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}9 = 62{,}6 \quad \text{м/хв}$$

Визначаємо розрахункове число обертів шпинделя верстату:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 62{,}6}{3{,}14 \cdot 77{,}791} = 224 \quad \text{об/хв}$$

Коректуємо число обертів шпинделя по паспорту верстату: n = 220 об/хв. Дійсна швидкість різання буде складати:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 88{,}5 \cdot 220}{1000} = 61{,}2 \quad \text{м/хв}$$

Силу різання прийнято розкладати на складові сили, які напрямлені по осях координат верстату (Pz, Py, Px).

При розточуванні ці складові розраховуються по залежності [3,с.271]:

$$P_{x,y,z} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p$$

Коефіцієнти і показники степеней для складових сил різання знаходимо по [3, Т. 22, с.273]:

Проведемо перевірку достатності потужності приводу головного руху верстату необхідній потужності різання:

$$N_{різ} < N_{шп}$$

де: $N_{шп} = N_д \cdot \eta$, $N_{шп}$ =11кВт - потужність електродвигуна приводу головного руху;

$\eta = 0{,}85$ - коефіцієнт корисної дії механізму приводу верстату.

$$1{,}9 < (11 \cdot 0{,}85) = 9{,}35 \text{ кВт.}$$

З розрахунків видно, що потужність верстату достатня для обробки даної деталі.

Основний технологічний час на обробку визначається по формулі:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S};$$

де: L- довжина різання з урахуванням врізання і перебігу різця:

$L = l + y + \Delta = 25 + 3 + 0 = 28$ мм

$l = 25$ мм. - довжина обробки по кресленню деталі;

y = 3 мм. - врізання різця;

$\Delta = 0$ мм. - перебіг відсутній, так як отвір "глухий".

$$T_o = \frac{28 \cdot 1}{220 \cdot 0{,}3} = 0{,}42 \text{ хв.}$$

Аналіз маршрутного технологічного процесу показав, що найбільш відповідальною операцією є комплексна розточувально-фрезерна операція 025, під час якої формуються основні посадочні поверхні Ø100H8 та Ø85H8. Саме ця операція визначає точність взаємного розташування базових поверхонь корпуса та забезпечує виконання основних функціональних вимог до деталі. Тому подальші розрахунки режимів різання виконуються саме для даної операції.

2.5 Верстатне, інструментальне та контрольне забезпечення технологічного процесу

Ефективність виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» значною мірою залежить від правильного вибору технологічного обладнання, різального інструменту та засобів контролю. Вибране обладнання повинно забезпечувати необхідну точність обробки, продуктивність, жорсткість технологічної системи та відповідати умовам середньосерійного виробництва.

Відповідно до розробленого маршрутного технологічного процесу для виготовлення деталі використовуються фрезерні, свердлильні та багатоцільові верстати з ЧПК. Вибір обладнання здійснювався з урахуванням конструктивних особливостей корпусної деталі, точності виконання посадочних поверхонь, вимог до продуктивності та економічної доцільності застосування відповідного устаткування.

Для виконання операції 005 використовується спеціалізований горизонтально-фрезерний верстат моделі ГФ2171С5, який забезпечує обробку базових поверхонь та свердління базових отворів за один установ. Такий підхід дозволяє підвищити точність взаємного розташування поверхонь та зменшити кількість переустановлень заготовки.

Для операції 015 застосовується поздовжньо-фрезерний верстат ГФ2286, який забезпечує обробку площин В і Г з необхідною точністю та шорсткістю поверхні.

Найбільш відповідальною є операція 025, яка виконується на багатоцільовому верстаті з ЧПК моделі 2206ВМФ4. На даному обладнанні здійснюється попереднє та остаточне розточування посадочних отворів Ø100H8 та Ø85H8, що визначають точність встановлення підшипникових вузлів і працездатність виробу в цілому.

Операції свердління, зенкування та нарізання різей виконуються на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2Н135. Верстат має достатній діапазон частот обертання шпинделя, необхідну жорсткість конструкції та

забезпечує виконання отворів діаметром до 35 мм.

Перевірка відповідності верстата 2Н135 за діаметром свердління

Максимальний діаметр свердління для верстата 2Н135 становить:

$$D_{max}=35 \text{ мм.}$$

У технологічному процесі найбільший діаметр отвору, що свердлиться, становить:

$$D=17 \text{ мм}$$

Тоді

$$D<Dmax;\ 17<35 \text{ мм}$$

Отже, можливості верстата 2Н135 повністю забезпечують виконання всіх свердлильних операцій технологічного процесу.

Перевірка достатності потужності верстата 2Н135

Для найбільш навантаженої свердлильної операції 060 потужність різання становить:

$$N_{різ}=2,16 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна верстата:

$$N_{дв}=4,0 \text{ кВт}$$

Потужність на шпинделі:

$$N_{шп}=N_{дв}*\eta$$

$$N_{шп}=4,0*0,85=3,4 \text{ кВт}$$

Перевіряємо умову:

$$N_{різ}<N_{шп}$$

$$2,16<3,4 \text{ кВт}$$

Таким чином, потужності приводу головного руху верстата 2Н135 достатньо для виконання всіх свердлильних операцій.

Перевірка багатоцільового верстата 2206ВМФ4

Для операції 025 за результатами розрахунків режимів різання отримано:

$$N_{різ}=1,9 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна верстата:

$$N_{дв}=11\ кВт$$

Потужність на шпинделі:

$$N_{шп}=11*0,85=9,35\ кВт$$

Перевірка:

$$N_{різ}<N_{шп}$$

$$1,9<9,35\ кВт$$

Отже, верстат 2206ВМФ4 має достатній запас потужності для виконання операції розточування посадочних отворів.

Таблиця 2.6 – Технологічне обладнання, що використовується при виготовленні деталі «Корпус КС6Б-50.257»

№ операції	Найменування операції	Модель верстата
005	Комплексна фрезерно-свердлильна	ГФ2171С5
015	Повздовжньо-фрезерна	ГФ2286
025	Комплексна розточувально-фрезерна	2206ВМФ4
035	Свердлильна	2Н135
040	Свердлильна	2Н135
045	Зенкувально-різенарізна	2Н135
050	Зенкувально-різенарізна	2Н135
055	Свердлильно-різенарізна	2Н135
060	Свердлильна	2Н135
065	Контрольна	Контрольний пост

Для обробки базових та допоміжних площин використовуються торцеві насадні фрези зі змінними твердосплавними пластинами. Такі фрези забезпечують високу продуктивність обробки та стабільність геометричних параметрів поверхонь.

Для свердління отворів застосовуються спіральні свердла зі швидкорізальної сталі Р6М5 та твердосплавні свердла для відповідальних отворів.

Розточування посадочних отворів Ø100H8 та Ø85H8 виконується розточувальними різцями й оправками з пластинами із твердого сплаву ВК8. Даний інструмент забезпечує отримання 8-го квалітету точності та шорсткості поверхні R_a 2,5.

Для нарізання різей використовуються машинні мітчики М8, М10 та К3/8.

Таблиця 2.7 – Різальний інструмент

Операція	Інструмент
005	Торцева фреза, центрувальне свердло, свердло Ø14, зенківка
015	Торцева фреза
025	Розточувальна оправка, розточувальний різець ВК8
035	Свердло Ø6,7
040	Свердло Ø8,4
045	Зенківка 90°, мітчик М10
050	Зенківка 90°, мітчик М8
055	Свердло Ø14,6, цековка, мітчик К3/8
060	Свердло Ø17

Контроль точності виготовлення деталі здійснюється універсальними та спеціальними засобами вимірювання. Для контролю лінійних розмірів використовуються штангенциркулі ШЦ-І-125-0,1 відповідно до ДСТУ EN ISO 13385-1.

Контроль посадочних отворів Ø100H8 та Ø85H8 здійснюється граничними калібрами-пробками ПР і НЕ. Шорсткість поверхонь контролюється шляхом порівняння із зразками шорсткості відповідно до ДСТУ ISO 1302 та ДСТУ ISO 4287.

Таблиця 2.8 – Засоби контролю

Контрольований параметр	Засіб контролю
Лінійні розміри	Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,1
Отвір Ø100H8	Калібр-пробка ПР/НЕ
Отвір Ø85H8	Калібр-пробка ПР/НЕ
Різь М8, М10	Різьбові калібри
Шорсткість поверхонь	Зразки шорсткості
Міжосьова відстань	Штангенрейсмас, індикатор

Проведені перевірочні розрахунки підтвердили достатність потужності та технологічних можливостей вибраних верстатів. Найбільш відповідальною є операція 025, під час якої формуються посадочні отвори Ø100H8 та Ø85H8. Обране верстатне, інструментальне та контрольне забезпечення створює необхідні умови для стабільного виконання технологічного процесу та є вихідною базою для подальшого конструкторського розрахунку модернізованого приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата.

2.6 Розрахунок технічних норм часу

Технічне нормування операцій технологічного процесу виконується з метою визначення трудомісткості виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257», розрахунку виробничої програми, завантаження обладнання та оцінювання ефективності прийнятого технологічного процесу.

До складу норми часу входять:

- основний технологічний час;
- допоміжний час;
- час на обслуговування робочого місця;
- час на відпочинок та особисті потреби;
- підготовчо-завершальний час.

Загальна норма штучного часу визначається за формулою:

$$Тшт = То + Тд + Тобс + Твідп,$$

де: *То* — основний технологічний час, хв;

Тд — допоміжний час, хв;

Тобс — час обслуговування робочого місця, хв;

Твідп — час на відпочинок і особисті потреби, хв.

Розрахунок норми часу для операції 025

Найбільш трудомісткою операцією технологічного процесу є

комплексна розточувально-фрезерна операція 025, яка виконується на багатоцільовому верстаті з ЧПК 2206ВМФ4.

Згідно з результатами розрахунку режимів різання сумарний основний час становить:

$$To=24,1\ хв$$

Допоміжний час для встановлення та зняття деталі приймаємо:

$$Тд=2,6\ хв$$

Час на обслуговування робочого місця становить:

$$Тобс=5\%*To$$

$$Тобс=0,05*24,1=1,21\ хв.$$

Час на відпочинок та особисті потреби:

$$Твідп=4\%*To$$

$$Твідп=0,04*24,1=0,96\ хв$$

Тоді норма штучного часу становить:

$$Тшт=24,1+2,6+1,21+0,96$$

$$Тшт=28,87\ хв$$

Розрахунок норми часу для операції 045

Операція 045 включає зенкування та нарізання різі М10.

Основний час:

$$To=5,18\ хв$$

Допоміжний час:

$$Тд=1,2\ хв$$

Час обслуговування:

$$Тобс=0,05*5,18=0,26\ хв$$

Час відпочинку:

$$Твідп=0,04*5,18=0,21\ хв$$

Штучний час:

$$Тшт=5,18+1,2+0,26+0,215,18+1,2+0,26+0,21$$

$$Тшт=6,85\ хв$$

Розрахунок норми часу для операції 055

Операція включає свердління отвору Ø14,6, цекування та нарізання різі К3/8.

Основний час:

$$To=1,67 \text{ хв}$$

Допоміжний час:

$$Тд=0,8 \text{ хв}$$

Час обслуговування:

$$Тобс=0,05*1,67=0,08 \text{ хв}$$

Час відпочинку:

$$Твідп=0,04*1,67=0,07 \text{ хв}$$

Тоді:

$$Тшт=1,67+0,8+0,08+0,07.$$

$$Тшт=2,62 \text{ хв}$$

Таблиця 2.9 – Технічні норми часу

№ операції	**Найменування операції**	***То, хв***	***Тд, хв***	***Тобс, хв***	***Твідп, хв***	***Тшт, хв***
005	Комплексна фрезерно-свердлильна	8,50	1,50	0,43	0,34	10,77
015	Повздовжньо-фрезерна	5,80	1,20	0,29	0,23	7,52
025	Комплексна розточувально-фрезерна	24,10	2,60	1,21	0,96	28,87
035	Свердлильна	0,78	0,50	0,04	0,03	1,35
040	Свердлильна	3,16	0,90	0,16	0,13	4,35
045	Зенкувально-різенарізна	5,18	1,20	0,26	0,21	6,85
050	Зенкувально-різенарізна	2,58	0,80	0,13	0,10	3,61
055	Свердлильно-різенарізна	1,67	0,80	0,08	0,07	2,62
060	Свердлильна	1,49	0,60	0,07	0,06	2,22

Проведене технічне нормування показало, що найбільш трудомісткою є комплексна розточувально-фрезерна операція 025, частка якої становить понад 40 % загальної трудомісткості виготовлення деталі. Саме ця операція визначає продуктивність технологічного процесу та висуває найбільші вимоги

до приводу головного руху верстата. Отримані значення технічних норм часу можуть бути використані для подальшого розрахунку завантаження обладнання, визначення собівартості виготовлення деталі та обґрунтування модернізації приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата.

2.7 Висновки до розділу 2

У даному розділ розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257», що забезпечує виконання вимог креслення щодо точності, шорсткості та взаємного розташування поверхонь.

На основі аналізу річної програми випуску деталей визначено, що виготовлення корпуса доцільно здійснювати в умовах середньосерійного виробництва. Встановлено коефіцієнт закріплення операцій Кз.о = 14,2, що відповідає середньосерійному типу виробництва та обумовлює використання універсального й спеціалізованого технологічного обладнання.

Обґрунтовано вибір способу одержання заготовки. Для виготовлення деталі прийнято литу заготовку із сірого чавуну СЧ20, отриману литтям у піщано-глинисті форми, що забезпечує необхідні технологічні властивості, економічність виробництва та мінімальні витрати на технологічне оснащення.

Виконано вибір технологічних баз відповідно до принципів суміщення, єдності та сталості баз. Розроблена схема базування за принципом 3–2–1 забезпечує необхідну точність взаємного розташування посадочних отворів Ø100H8 і Ø85H8, а також інших відповідальних поверхонь деталі.

Розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення деталі, який включає комплекс фрезерних, розточувальних, свердлильних та різенарізних операцій. Встановлено раціональну послідовність обробки поверхонь, за якої формування точних посадочних отворів Ø100H8 і Ø85H8 виконується після завершення основних чорнових операцій, що дозволяє мінімізувати вплив внутрішніх напружень литої заготовки на точність деталі.

Виконано розрахунок режимів різання для найбільш навантаженої

операції 025, що виконується на багатоцільовому верстаті з ЧПК моделі 2206ВМФ4. Визначено сили різання, потужність різання та технологічний час. Встановлено, що необхідна потужність різання становить 1,9 кВт, що не перевищує допустиму потужність приводу верстата і забезпечує надійне виконання операції. Проведено вибір верстатного, інструментального та контрольного оснащення. Підтверджено можливість виконання свердлильних операцій на вертикально-свердлильному верстаті 2Н135, який забезпечує необхідний діапазон частот обертання шпинделя, потужність приводу та жорсткість технологічної системи. Перевірочні розрахунки показали, що потужність на шпинделі верстата 2Н135 становить 3,4 кВт, що перевищує необхідну потужність різання.

Виконано технічне нормування технологічного процесу та визначено норми часу для основних операцій. Отримані результати дозволяють оцінити трудомісткість виготовлення деталі, рівень завантаження обладнання та ефективність прийнятого технологічного процесу.

Результати, отримані в технологічній частині роботи, є вихідними даними для подальшого виконання конструкторської частини та модернізації приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата моделі 2Н135. Розраховані режими різання, сили різання, потужності та навантаження будуть використані при розрахунку кінематичної схеми приводу, виборі електродвигуна, визначенні параметрів коробки швидкостей і обґрунтуванні конструктивних рішень модернізованого верстата.

За результатами розрахунку режимів різання встановлено, що найбільш навантаженою операцією технологічного процесу є чистове розточування отворів Ø100Н8 та Ø85Н8. Отримані значення сил різання, крутних моментів та потужності різання будуть використані в конструкторській частині при перевірці працездатності модернізованого приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз існуючої конструкції приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата

Верстат моделі 2Н135 призначений для обробки отворів діаметром до 35 мм у деталях із сталі, чавуну та кольорових сплавів. Конструкція верстата забезпечує виконання широкого спектра технологічних операцій без застосування складного спеціального оснащення.

Технічні характеристики верстата 2Н135 наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики верстата 2Н135

Параметр	Значення
Найбільший діаметр свердління в сталі	35 мм
Потужність електродвигуна	4 кВт
Кількість частот обертання шпинделя	12
Діапазон частот обертання шпинделя	31,5–1400 хв$^{-1}$
Кількість подач	9
Діапазон подач	0,1–1,6 мм/об
Конус шпинделя	Морзе №4
Найбільший хід шпинделя	225 мм

Головний рух у верстаті здійснюється від електродвигуна через клинопасову передачу та коробку швидкостей до шпинделя. Така схема приводу є традиційною для універсальних свердлильних верстатів і забезпечує можливість ступінчастого регулювання частоти обертання шпинделя залежно від виду виконуваної операції та властивостей оброблюваного матеріалу.

Привід головного руху складається з асинхронного електродвигуна, клинопасової передачі, багатоступеневої коробки швидкостей та шпиндельного вузла. Передача потужності від двигуна до шпинделя здійснюється через систему зубчастих коліс, що забезпечує необхідний діапазон частот обертання.

Перевагами конструкції верстата 2Н135 є:

- простота конструкції та обслуговування;
- висока ремонтопридатність;
- достатня жорсткість основних вузлів;
- універсальність використання;

широкий діапазон технологічних можливостей.

Разом з тим аналіз конструкції показує, що верстат був розроблений для умов виробництва, характерних для другої половини XX століття, тому при виконанні сучасних технологічних процесів виникає ряд недоліків.

До основних недоліків приводу головного руху належать:

- значний фізичний знос окремих елементів коробки швидкостей;
- недостатня жорсткість окремих вузлів при роботі на максимальних режимах;
- підвищені втрати потужності у кінематичному ланцюзі;
- обмежені можливості оптимального вибору режимів різання;
- зниження точності обробки внаслідок зношування підшипникових опор шпинделя;

підвищений рівень шуму та вібрацій при високих частотах обертання.

Особливо актуальними зазначені недоліки стають при виконанні технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257». Відповідно до розробленого технологічного процесу найбільш відповідальними операціями є попереднє та остаточне розточування отворів Ø100H8 і Ø85H8, для яких необхідно забезпечити високу точність взаємного розташування поверхонь та стабільність режимів різання.

Проведені в розділі 2 розрахунки режимів різання показали, що при виконанні операцій розточування на шпиндель діють значні сили різання та крутні моменти. Тому виникає необхідність перевірки існуючого приводу головного руху та окремих його елементів на відповідність умовам обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257».

З метою забезпечення необхідної продуктивності, точності та надійності роботи верстата в даному дипломному проєкті передбачається модернізація приводу головного руху шляхом уточнення його кінематичної структури, перевірки параметрів електроприводу, розрахунку коробки швидкостей та шпиндельного вузла відповідно до умов обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257».

Таким чином, аналіз конструкції вертикально-свердлильного верстата моделі 2Н135 показав, що його кінематична схема є достатньо раціональною та придатною для подальшого вдосконалення. Це дозволяє використати базову конструкцію верстата як основу для модернізації приводу головного руху та забезпечення ефективного виконання технологічного процесу механічної обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257».

3.2 Обґрунтування модернізації приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135

Ефективність технологічного процесу механічної обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257» значною мірою визначається технічними можливостями металорізального обладнання, на якому виконуються найбільш відповідальні операції. Проведений у розділі 2 аналіз технологічного процесу показав, що найбільш навантаженими операціями є попереднє та чистове розточування отворів Ø100Н8 і Ø85Н8, до яких висуваються підвищені вимоги щодо точності розмірів, взаємного розташування поверхонь та шорсткості.

Під час виконання зазначених операцій на різальний інструмент і шпиндельний вузол діють значні сили різання та крутні моменти, величина яких визначається режимами різання, властивостями оброблюваного матеріалу та геометрією різального інструменту. При цьому надійність забезпечення встановлених параметрів обробки залежить від працездатності приводу головного руху, який повинен забезпечувати необхідну потужність, діапазон частот обертання та достатню жорсткість кінематичного ланцюга.

Вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н135 широко застосовується у машинобудівному виробництві завдяки простоті конструкції, універсальності та високій ремонтопридатності. Разом з тим конструкція приводу головного руху була розроблена для умов виробництва попередніх десятиліть і не повною мірою враховує сучасні вимоги до продуктивності та точності механічної обробки.

Аналіз конструкції приводу головного руху показав, що найбільш відповідальними елементами системи є коробка швидкостей та шпиндельний вузол. Саме вони визначають можливість передачі необхідної потужності від електродвигуна до різального інструмента та забезпечують стабільність процесу різання при виконанні навантажених операцій розточування.

При обробці отворів Ø100Н8 та Ø85Н8 особливого значення набувають такі характеристики приводу:

– достатня потужність електродвигуна;

– оптимальний діапазон частот обертання шпинделя;

– мінімальні втрати потужності в кінематичному ланцюзі;

– висока жорсткість шпиндельного вузла;

– надійність роботи коробки швидкостей при тривалих навантаженнях;

– забезпечення стабільності режимів різання.

У зв'язку з цим модернізація приводу головного руху повинна бути спрямована на перевірку відповідності його параметрів вимогам технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257», а також

на уточнення конструктивних параметрів основних вузлів приводу.

Для попередньої оцінки відповідності приводу умовам обробки визначимо необхідну частоту обертання шпинделя для найбільш відповідальної операції — чистового розточування отворів Ø100H8 та Ø85H8.

Частота обертання шпинделя визначається за залежністю:

$$n = 1000 \cdot V / (\pi \cdot D),$$

де V — швидкість різання, м/хв; D — діаметр оброблюваного отвору, мм.

Для отвору Ø100H8 при V = 80 м/хв:

$$n100 = 1000 \cdot 80 / (3{,}14 \cdot 100) = 255 \text{ хв}^{-1}.$$

Для отвору Ø85H8 при V = 80 м/хв:

$$n85 = 1000 \cdot 80 / (3{,}14 \cdot 85) = 300 \text{ хв}^{-1}.$$

Отримані значення частоти обертання знаходяться в межах діапазону частот шпинделя верстата 2H135, який становить 31,5–1400 хв^{-1}. Найближчими стандартними ступенями є 250 хв^{-1} та 315 хв^{-1}, що підтверджує можливість виконання операцій розточування на даному обладнанні.

Разом з тим при виконанні чистового розточування важливим є не лише забезпечення необхідної частоти обертання, але й передача достатнього крутного моменту та збереження жорсткості шпиндельного вузла. Тому в подальших підрозділах буде виконано кінематичний розрахунок приводу, розрахунок коробки швидкостей та перевірку шпиндельного вузла.

3.3 Вибір та обґрунтування структурно-кінематичної схеми модернізованого приводу головного руху

Кінематична схема вертикально-свердлильного верстата 2H135 побудована за класичною схемою, яка включає електродвигун, клинопасову передачу, коробку швидкостей та шпиндельний вузол. Передача руху від

електродвигуна до шпинделя здійснюється через багатоступеневу коробку швидкостей, що забезпечує ступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя.

Наявність дванадцяти ступенів частот обертання дозволяє здійснювати свердління, зенкерування, розгортання та нарізання різей у широкому діапазоні режимів різання. Разом з тим ступінчастий характер регулювання не завжди дозволяє вибрати оптимальні режими обробки для конкретної деталі, що може призводити до зниження продуктивності або збільшення навантаження на інструмент.

Для виконання операцій механічної обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257» особливе значення мають жорсткість шпиндельного вузла, навантажувальна здатність коробки швидкостей та потужність приводу головного руху. Тому в подальших підрозділах буде проведено аналіз кінематичної структури приводу, вибір його параметрів та перевірку працездатності при виконанні найбільш навантажених операцій технологічного процесу.

Привід головного руху верстата 2Н135 складається з асинхронного електродвигуна, клинопасової передачі, коробки швидкостей та шпиндельного вузла. Передача потужності від двигуна до шпинделя здійснюється через систему зубчастих передач, розміщених у коробці швидкостей.

Електродвигун забезпечує обертальний рух ведучого шківа клинопасової передачі. За допомогою пасової передачі крутний момент передається на вхідний вал коробки швидкостей. Подальша зміна частоти обертання здійснюється шляхом перемикання зубчастих коліс, що дозволяє отримати необхідний ряд частот обертання шпинделя.

Коробка швидкостей забезпечує дванадцять ступенів частоти обертання шпинделя в межах від 31,5 до 1400 хв$^{-1}$. Такий діапазон дозволяє виконувати свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання та

нарізання різей для широкого спектра матеріалів.

Шпиндельний вузол є завершальною ланкою кінематичного ланцюга приводу головного руху. Саме на нього передаються всі сили різання та крутні моменти, що виникають під час механічної обробки. Тому від жорсткості шпинделя, точності його опор та надійності підшипникових вузлів значною мірою залежать точність обробки та довговічність верстата.

Аналіз кінематичної схеми показує, що конструкція приводу є достатньо простою, технологічною та ремонтопридатною. Разом з тим багатоланковий кінематичний ланцюг призводить до втрат потужності в передачах та підвищення динамічних навантажень при роботі на високих частотах обертання. Крім того, ступінчасте регулювання швидкості не завжди забезпечує вибір оптимального режиму різання для конкретних умов обробки.

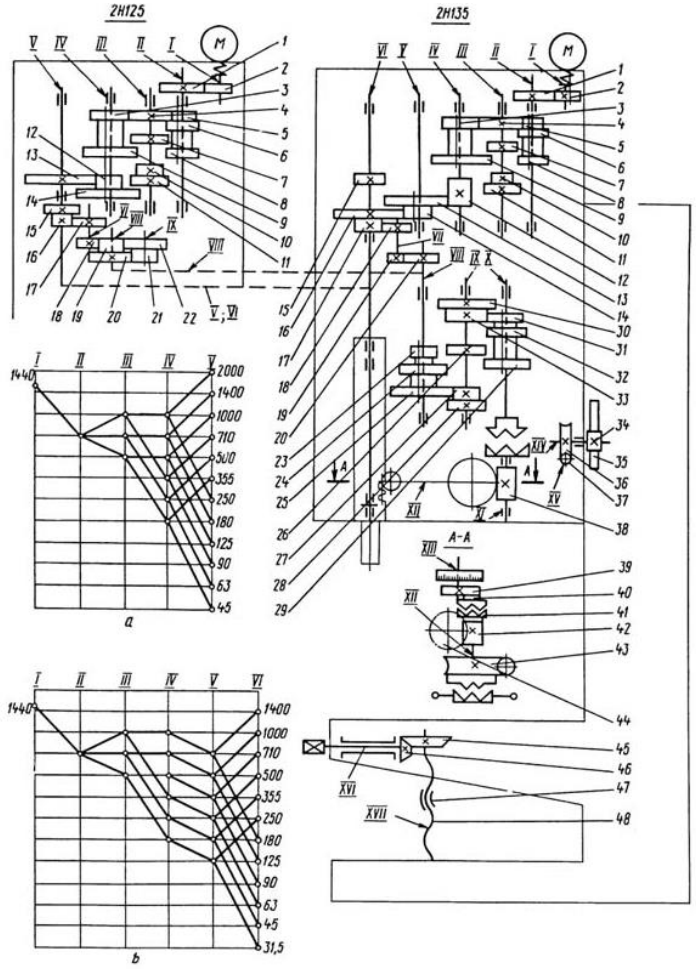


Рисунок 3.1 – Кінематична схема приводу головного руху верстата

2Н135

Для виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» найбільш навантаженими є операції попереднього та чистового розточування отворів Ø100Н8 та Ø85Н8. Під час виконання цих операцій на шпиндель діють значні радіальні сили та крутні моменти, що висуває підвищені вимоги до жорсткості шпиндельного вузла та навантажувальної здатності коробки швидкостей.

У зв'язку з цим у подальших підрозділах буде виконано вибір структури приводу головного руху, кінематичний розрахунок, а також перевірку основних елементів приводу на відповідність умовам обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257».

На підставі результатів аналізу технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» та конструкції вертикально-свердлильного верстата 2Н135 прийнято структурно-кінематичну схему модернізованого приводу головного руху, наведену на рисунку 3.2.

Основною функцією приводу головного руху є передача механічної енергії від електродвигуна до різального інструмента із забезпеченням необхідної частоти обертання шпинделя та передачі потрібного крутного моменту. При цьому привід повинен забезпечувати виконання всіх операцій механічної обробки, передбачених технологічним процесом виготовлення деталі.

До складу модернізованого приводу входять:

– асинхронний електродвигун;

– клинопасова передача;

– коробка швидкостей;

– шпиндельний вузол.

Передача потужності здійснюється за схемою:

Електродвигун → Клинопасова передача → Коробка швидкостей → Шпиндельний вузол → Різальний інструмент.

Для приводу верстата використовується трифазний асинхронний електродвигун потужністю $N_{дв}$=4 кВт із номінальною частотою обертання $n_{дв}$=1440 хв$^{-1}$.

Передача руху від електродвигуна до коробки швидкостей здійснюється за допомогою клинопасової передачі з передаточним числом $i_п$=2,8.

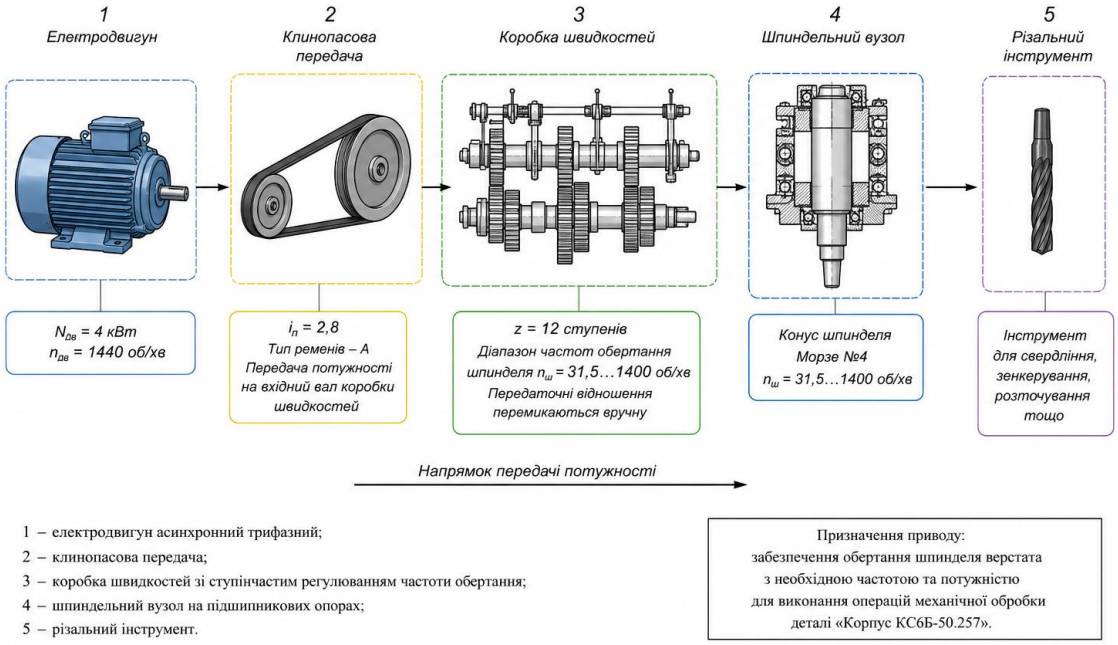


Рисунок 3.2 – Структурно (кінематична) схема модернізованого приводу головного руху верстата 2Н135.

Частота обертання вхідного вала коробки швидкостей визначається за формулою (3.1).

$$n_{вх} = \frac{n_{дв}}{i_п}, \tag{3.1}$$

де: $n_{вх}$ – частота обертання вхідного вала коробки швидкостей, хв$^{-1}$;

$n_{дв}$ – частота обертання електродвигуна, хв$^{-1}$;

i_n – передаточне число клинопасової передачі.

Підставляючи вихідні дані, отримуємо:

$$n_{вх} = \frac{1440}{2{,}8} = 514 хв^{-1}, \tag{3.2}$$

Отримане значення забезпечує нормальну роботу коробки швидкостей та дозволяє реалізувати необхідний діапазон частот обертання шпинделя.

Коробка швидкостей верстата забезпечує дванадцять ступенів регулювання частоти обертання шпинделя в межах:

$$31{,}5 \le n_ш \le 1400 \text{ хв}^{-1}. \tag{3.3}$$

Встановлено, що для найбільш навантажених операцій технологічного процесу обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257» необхідні частоти обертання знаходяться в межах 250–315 хв$^{-1}$. Таким чином, робочі режими розташовані в середній частині діапазону регулювання коробки швидкостей, що позитивно впливає на довговічність елементів приводу та забезпечує стабільність процесу різання.

Шпиндельний вузол є завершальною ланкою кінематичного ланцюга і безпосередньо сприймає сили різання та крутні моменти, що виникають під час механічної обробки. Тому його конструкція повинна забезпечувати необхідну жорсткість, точність та довговічність роботи.

Попередньо оцінимо крутний момент на валу електродвигуна за формолою (3.4):

$$M_{дв} = \frac{9550 \cdot N_{дв}}{n_{дв}}. \tag{3.4}$$

Підставивши вихідні дані, отримаємо:

$$M_{дв} = \frac{9550 \cdot 4}{1440} = 26, \text{ Н·м}$$

Прийнята структурно-кінематична схема модернізованого приводу характеризується простотою конструкції, високою надійністю та забезпечує

реалізацію всіх режимів різання, необхідних для обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257». Вона є основою для подальшого кінематичного розрахунку приводу головного руху, розрахунку коробки швидкостей та перевірки шпиндельного вузла.

Основними елементами приводу є асинхронний електродвигун, клинопасова передача, коробка швидкостей та шпиндельний вузол. Передача крутного моменту від електродвигуна до шпинделя здійснюється послідовно через зазначені вузли, що забезпечує отримання необхідних частот обертання для виконання різних операцій механічної обробки.

Таким чином, результати аналізу технологічного процесу та конструкції верстата 2Н135 підтверджують доцільність модернізації приводу головного руху. Подальші розрахунки будуть спрямовані на вибір структури приводу, визначення його кінематичних параметрів, перевірку коробки швидкостей і шпиндельного вузла на відповідність умовам обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257».

3.4 Кінематичний розрахунок приводу головного руху

Кінематичний розрахунок приводу головного руху виконується з метою перевірки можливості забезпечення необхідних режимів різання під час обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257», а також визначення відповідності параметрів коробки швидкостей вимогам технологічного процесу.

Для вертикально-свердлильного верстата моделі 2Н135 передбачено дванадцять ступенів частоти обертання шпинделя в межах від 31,5 до 1400 $хв^{-1}$. Такий діапазон забезпечує виконання свердлильних, зенкерувальних, розгортальних та розточувальних операцій при обробці різноманітних матеріалів.

Визначення діапазону регулювання частоти обертання шпинделя.

Діапазон регулювання частоти обертання визначається як відношення

максимальної частоти обертання шпинделя до мінімальної:

$$R_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} \tag{3.6}$$

де: R_n – діапазон регулювання частоти обертання;

n_{max} – максимальна частота обертання шпинделя, хв$^{-1}$;

n_{min} – мінімальна частота обертання шпинделя, хв$^{-1}$.

Підставляючи значення для верстата 2Н135, отримуємо:

$$R_n = \frac{1400}{31,5} = 44,4 \tag{3.7}$$

Отже, діапазон регулювання приводу головного руху становить: R_n=44,4 що відповідає технічним характеристикам верстата.

Визначення знаменника геометричного ряду частот обертання

Оскільки коробка швидкостей має дванадцять ступенів регулювання, частоти обертання шпинделя утворюють геометричний ряд.

Знаменник геометричної прогресії визначається за залежністю:

$$\varphi = \sqrt[z-1]{R_n} \tag{3.8}$$

де: φ – знаменник геометричного ряду;

z – кількість ступенів швидкостей.

Для коробки швидкостей верстата 2Н135: z = 12

Тоді:

$$\varphi = \sqrt[11]{44,4} = 1,41 \tag{3.9}$$

Отримане значення практично співпадає зі стандартним знаменником ряду Р40 (φ=1,41), який широко використовується при проектуванні металорізальних верстатів.

Ряд частот обертання шпинделя

На підставі отриманого знаменника приймається стандартний ряд частот обертання шпинделя, реалізований у коробці швидкостей верстата 2Н135.

Таблиця 3.4 – Ряд частот обертання шпинделя

№ ступені	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$n_{ш}$, хв$^{-1}$	31,5	45	63	90	125	180	250	355	500	710	1000	1400

Аналіз наведеного ряду показує, що він забезпечує плавне ступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя в широкому діапазоні.

Перевірка відповідності режимам обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257»

У розділі 2 було встановлено, що найбільш навантаженими операціями технологічного процесу розточування потрібні такі частоти обертання:

Для отвору Ø100H8: n100 ≈ 255; хв$^{-1}$;

Для отвору Ø85H8: n85 ≈ 300; хв$^{-1}$;

Порівняння отриманих значень із рядом частот обертання коробки швидкостей показує, що для виконання зазначених операцій можуть бути використані стандартні ступені:

для Ø100H8 → $n_{100} \approx 255$ хв$^{-1}$ → найближча стандартна ступінь: **250 хв$^{-1}$**
для Ø85H8 → $n_{85} \approx 300$ хв$^{-1}$ → найближча стандартна ступінь: **355 хв$^{-1}$**

Відхилення фактичних значень від розрахункових знаходиться в допустимих межах і не впливає на якість механічної обробки.

Таким чином, кінематичні можливості приводу головного руху верстата 2Н135 забезпечують реалізацію режимів різання, необхідних для виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257».

3.5 Конструкція коробки швидкостей модернізованого приводу головного руху

Коробка швидкостей є одним із основних вузлів приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135. Її призначення полягає у передачі крутного моменту від електродвигуна до шпиндельного вузла та забезпеченні необхідного ступінчастого регулювання частоти обертання

шпинделя залежно від умов виконання технологічних операцій.

Конструкція коробки швидкостей модернізованого приводу наведена на рисунку 3.3.

У процесі виконання технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» виникає необхідність забезпечення широкого діапазону частот обертання шпинделя. Це досягається застосуванням багатоступеневої зубчастої коробки швидкостей, яка дозволяє отримати дванадцять значень частоти обертання в межах від 31,5 до 1400 хв $^{-1}$.

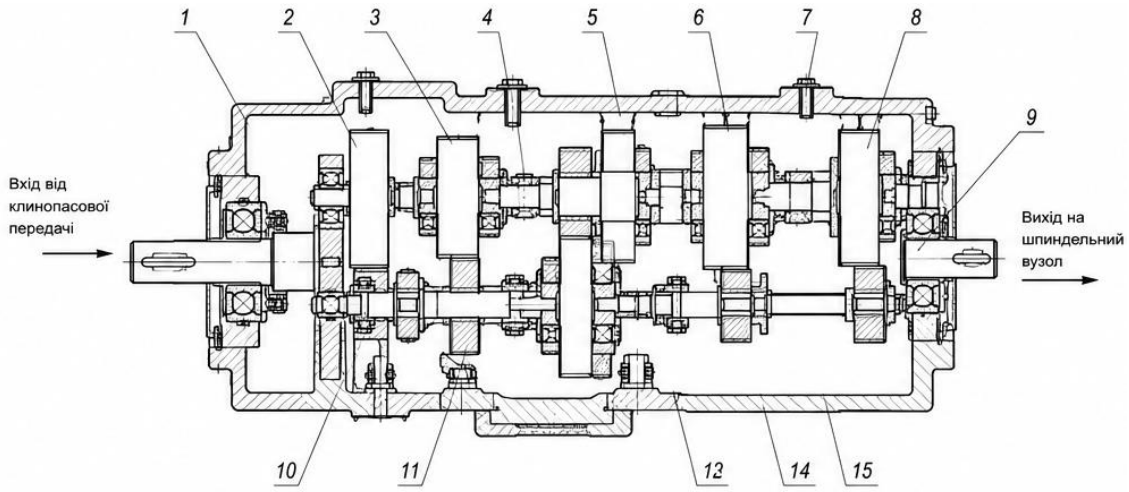


Рисунок 3.3 - Конструкція коробки швидкостей модернізованого приводу головного руху.

Основними елементами коробки швидкостей є:

– корпус;

– вхідний вал;

– проміжні вали;

– вихідний вал;

– зубчасті колеса;

– муфти перемикання;

– підшипникові опори;

– система змащування.

Передача крутного моменту здійснюється від вхідного вала до

вихідного через систему зубчастих передач, що забезпечують реалізацію необхідних передаточних чисел. Зміна частоти обертання шпинделя здійснюється шляхом переміщення зубчастих муфт, які забезпечують включення відповідних зубчастих пар.

Корпус коробки швидкостей виконує функції базового несучого елемента конструкції. У корпусі розташовуються всі вали, підшипники та механізми перемикання передач. Конструкція корпусу забезпечує необхідну жорсткість вузла та збереження взаємного розташування елементів кінематичного ланцюга.

Для забезпечення надійної роботи коробки швидкостей використовуються підшипники кочення, які сприймають радіальні та осьові навантаження, що виникають під час передачі крутного моменту. Застосування підшипників кочення дозволяє зменшити втрати потужності та підвищити довговічність приводу.

Зубчасті колеса виготовляються зі сталей, які піддаються термічній обробці з метою підвищення зносостійкості робочих поверхонь зубців. Використання загартованих зубчастих передач забезпечує стабільність кінематичних характеристик коробки швидкостей протягом тривалого терміну експлуатації.

Однією з важливих умов надійної роботи коробки швидкостей є ефективне змащування елементів передачі. Для цього передбачена циркуляційна система змащування, яка забезпечує подачу мастила до зубчастих передач та підшипникових вузлів.

Проведений кінематичний розрахунок показав, що коробка швидкостей забезпечує реалізацію всіх необхідних режимів різання, визначених технологічним процесом виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257». Особливо важливим є забезпечення режимів розточування отворів Ø100H8 та Ø85H8, для яких використовуються середні ступені частот обертання шпинделя.

Таким чином, прийнята конструкція коробки швидкостей забезпечує передачу необхідної потужності та реалізацію діапазону частот обертання шпинделя, необхідних для виконання технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257».

Розрахуємо крутний момент на вхідному валу коробки швидкостей:

$$M_{\text{вх}} = \frac{9550 \cdot N}{n_{\text{вх}}} \tag{3.10}$$

- N=4 кВт;
- $n_{вх}$=514 хв$^{-1}$ (із п.3.3).

$$M_{\text{вх}} = \frac{9550 \cdot 4}{514} = 74,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \tag{3.11}$$

Максимальний крутний момент на шпинделі для найменшої швидкості:

$$n_{min} = 31,5 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо ККД коробки: η=0,92

$$M_{\text{шп}} = \frac{9550 \cdot N \cdot \eta}{n_{min}} \tag{3.12}$$

$$M_{\text{шп}} = \frac{9550 \cdot 4 \cdot 0,92}{31,5} = 1117 \text{ Н} \cdot \text{м} \tag{3.13}$$

Перевірка для робочого режиму розточування Ø100H8

Для ступеня: n=250 хв$^{-1}$

$$M_{250} = \frac{9550 \cdot 4 \cdot 0,92}{250} = 140,6 \text{ Н} \cdot \text{м} \tag{3.14}$$

Перевірка для розточування Ø85H8

Для ступеня: n=355 хв$^{-1}$

$$M_{355} = \frac{9550 \cdot 4 \cdot 0,92}{355} = 99,0 \text{ Н} \cdot \text{м} \tag{3.15}$$

З метою перевірки навантажувальної здатності коробки швидкостей визначено крутні моменти, що передаються елементами кінематичного ланцюга. Розрахунок показав, що на вхідному валу коробки швидкостей передається крутний момент 74,3 Н·м. Максимальний крутний момент на шпинделі при мінімальній частоті обертання становить 1117 Н·м. Для найбільш навантажених операцій розточування отворів Ø100H8 та Ø85H8 крутний момент відповідно становить 140,6 Н·м та 99,0 Н·м. Отримані значення знаходяться в межах допустимих для коробки швидкостей верстата 2Н135 і підтверджують можливість виконання технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257».

3.6 Конструкція та перевірочний розрахунок шпиндельного вузла

Шпиндельний вузол є завершальною ланкою приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135 і призначений для передачі крутного моменту від коробки швидкостей до різального інструмента. Від його конструкції залежать точність обробки, жорсткість технологічної системи та довговічність роботи верстата.

Розрахункова схема шпиндельного вузла на навантаження наведена на рис. 3.4.

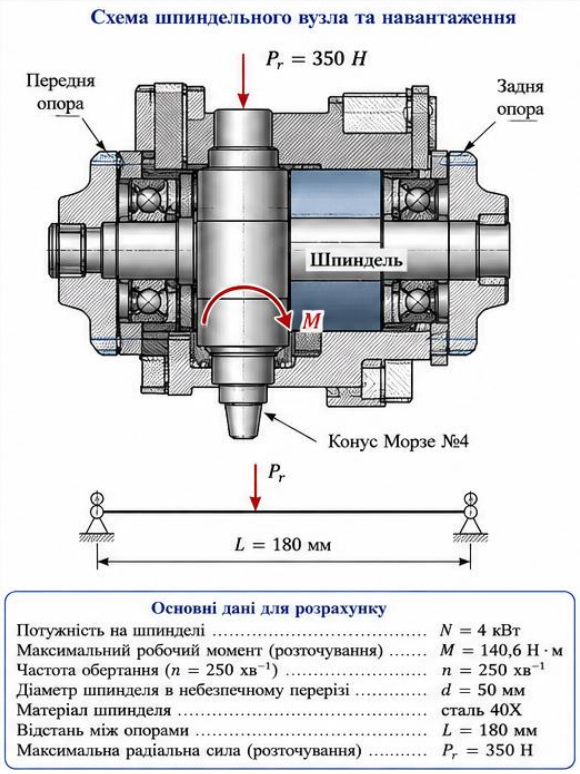


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема перевірочного розрахунку шпиндельного вузла.

Основними елементами вузла є:

– шпиндель;

– корпус шпиндельної бабки;

– передня та задня підшипникові опори;

– дистанційні втулки;

– ущільнювальні елементи;

– пристрої регулювання зазорів.

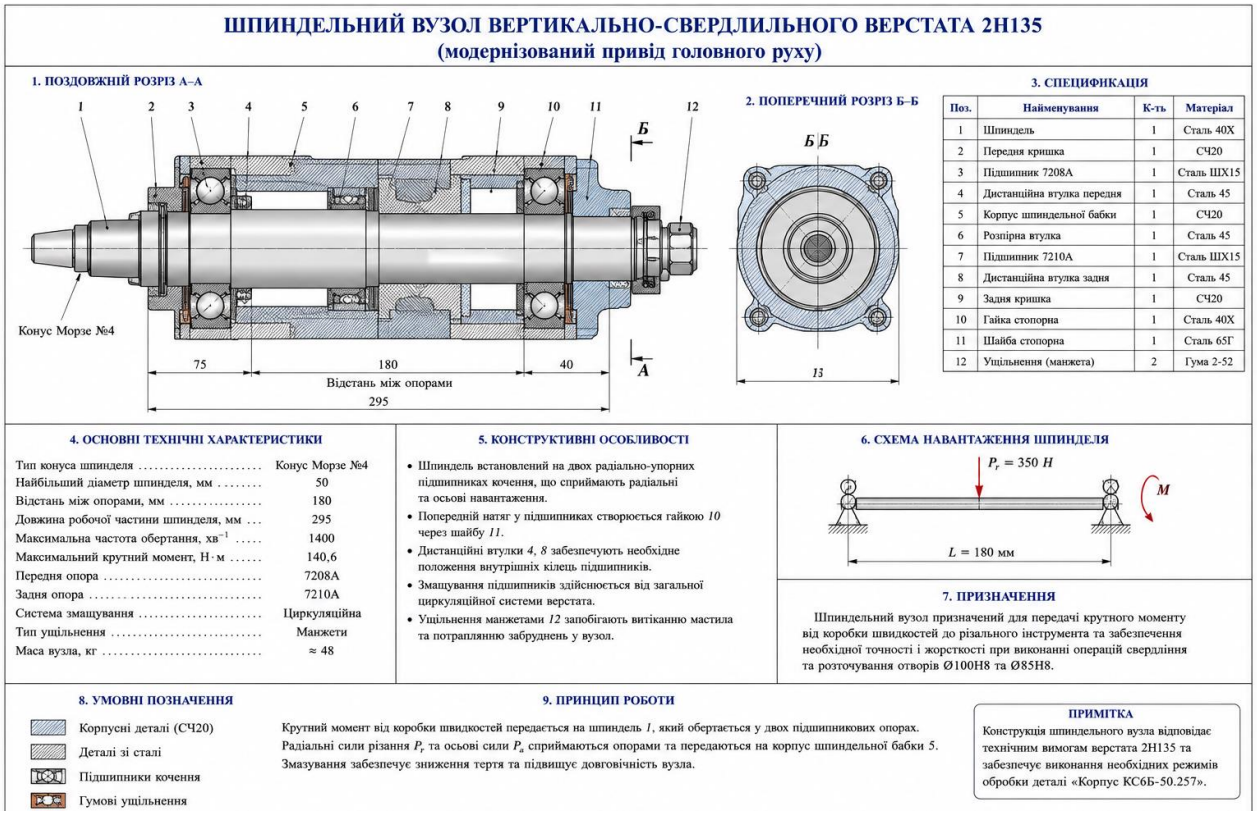


Рисунок 3.5 – Шпиндельний вузол модернізованого приводу головного руху верстата 2Н135.

Для встановлення різального інструмента використовується конус Морзе №4, що відповідає технічним характеристикам верстата 2Н135 та забезпечує можливість застосування стандартного інструментального оснащення.

Під час виконання операцій свердління та розточування шпиндель сприймає:

– крутний момент;

– радіальну силу різання;

– осьову силу подачі.

Найбільш навантаженою операцією технологічного процесу є чистове розточування отворів Ø100Н8 та Ø85Н8, тому перевірочний розрахунок виконується саме для цих режимів.

Перевірка шпинделя за крутним моментом

Згідно з результатами розрахунку коробки швидкостей максимальний робочий крутний момент на шпинделі при виконанні операцій розточування становить:

M_{max}=140,6 Н\м

Переведемо значення у Н·мм:

M_{max}=140600 Н\мм

Приймаємо діаметр шпинделя в небезпечному перерізі:

d=50 мм

Напруження кручення визначається за формулою.

$$\tau = \frac{16M}{\pi d^3} \tag{3.16}$$

де: Н – крутний момент, Н мм;

d – діаметр шпинделя, мм.

Підставляючи числові значення, отримуємо:

$$\tau = \frac{16 \cdot 140600}{3{,}14 \cdot 50^3} = 5{,}73 \text{ МПа} \tag{3.17}$$

Допустиме напруження для шпинделя зі сталі 40Х після термічної обробки становить:

$$[\tau] = 60 \ldots 80 \text{ МПа}$$

Отже,

$$\tau = 5{,}73 \text{ МПа} < [\tau] = 60 \ldots 80 \text{ МПа}$$

що свідчить про достатню міцність шпинделя.

Перевірка жорсткості шпиндельного вузла

Однією з основних вимог до шпиндельного вузла є забезпечення мінімальних пружних деформацій під дією сил різання.

Для операцій розточування приймаємо максимальну радіальну силу:

Pr=350 Н, (отримано в розділі 2).

Відстань між підшипниковими опорами:

L=180 мм

Максимальний згинальний момент:

$$M_{зг} = \frac{P_r \cdot L}{4} \tag{3.18}$$

де: P_r – радіальна сила різання (350 Н), Н;

L – відстань між опорами (180 мм), мм.

Підставивши значення отримаємо:

$$M_{зг} = \frac{350 \cdot 180}{4} = 15750 \text{ Н} \cdot \text{мм} \tag{3.19}$$

Отримане значення не перевищує допустимих для конструкції шпиндельного вузла верстата 2Н135.

Таким чином, жорсткість шпиндельного вузла забезпечує необхідну точність обробки отворів Ø100Н8 та Ø85Н8.

Виконаний перевірочний розрахунок показав, що шпиндельний вузол має достатній запас міцності та жорсткості для виконання найбільш навантажених операцій технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257». Отримані значення напружень є значно меншими від допустимих, що підтверджує працездатність конструкції та можливість її використання у модернізованому приводі головного руху.

3.7 Перевірка модернізованого приводу за умовами обробки деталі «Корпус КС6Б-50.257»

Метою даного підрозділу є перевірка відповідності модернізованого приводу головного руху вимогам технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257».

На підставі результатів розрахунків, наведених у розділі 2, встановлено, що найбільш навантаженою операцією є чистове розточування

отворів Ø100H8 та Ø85H8. Саме для цієї операції виконується перевірка працездатності модернізованого приводу.

Відповідно до прийнятих режимів різання:

- швидкість різання (V = 80) м/хв;
- подача (S = 0,3) мм/об;
- сила різання (P_z = 350) Н;
- необхідна частота обертання шпинделя (n = 250…315) $хв^{-1}$.

Згідно з результатами кінематичного розрахунку коробка швидкостей забезпечує дванадцять ступенів частоти обертання шпинделя в межах від 31,5 до 1400 $хв^{-1}$.

Для виконання операції розточування можуть бути використані такі ступені:

250 $хв^{-1}$; 355 $хв^{-1}$.

Таким чином, необхідні режими різання знаходяться всередині робочого діапазону коробки швидкостей.

Перевірка потужності приводу

Потужність різання визначається за залежністю:

Формула (3.20)

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{60000} \tag{3.20}$$

де: P_z – сила різання, Н;

V – швидкість різання, м/хв.

Підставляючи вихідні дані, отримуємо:

$$N_p = \frac{350 \cdot 80}{60000} = 0{,}47 \text{ кВт} \tag{3.21}$$

Номінальна потужність електродвигуна становить:

$N_{дв}$=4,0 кВт

Коефіцієнт запасу потужності:

$$k_N = \frac{N_{дв}}{N_р} \tag{3.22}$$

$$k_N = \frac{4,0}{0,47} = 8,5 \tag{3.23}$$

Отримане значення свідчить про достатній запас потужності приводу.

Запас потужності $k_N = 8,5 > [k_N] = 1,5...2,0$

Потужність приводу достатня.

Перевірка крутного моменту

Для найбільш навантаженого режиму роботи при частоті обертання 250 хв$^{-1}$ крутний момент на шпинделі становить: $M_{шп}$=140,6 Н\м

Розрахунок шпиндельного вузла, виконаний у підрозділі 3.6, показав, що фактичні напруження кручення не перевищують допустимих значень.

Таким чином, шпиндельний вузол має достатній запас міцності для передачі необхідного крутного моменту.

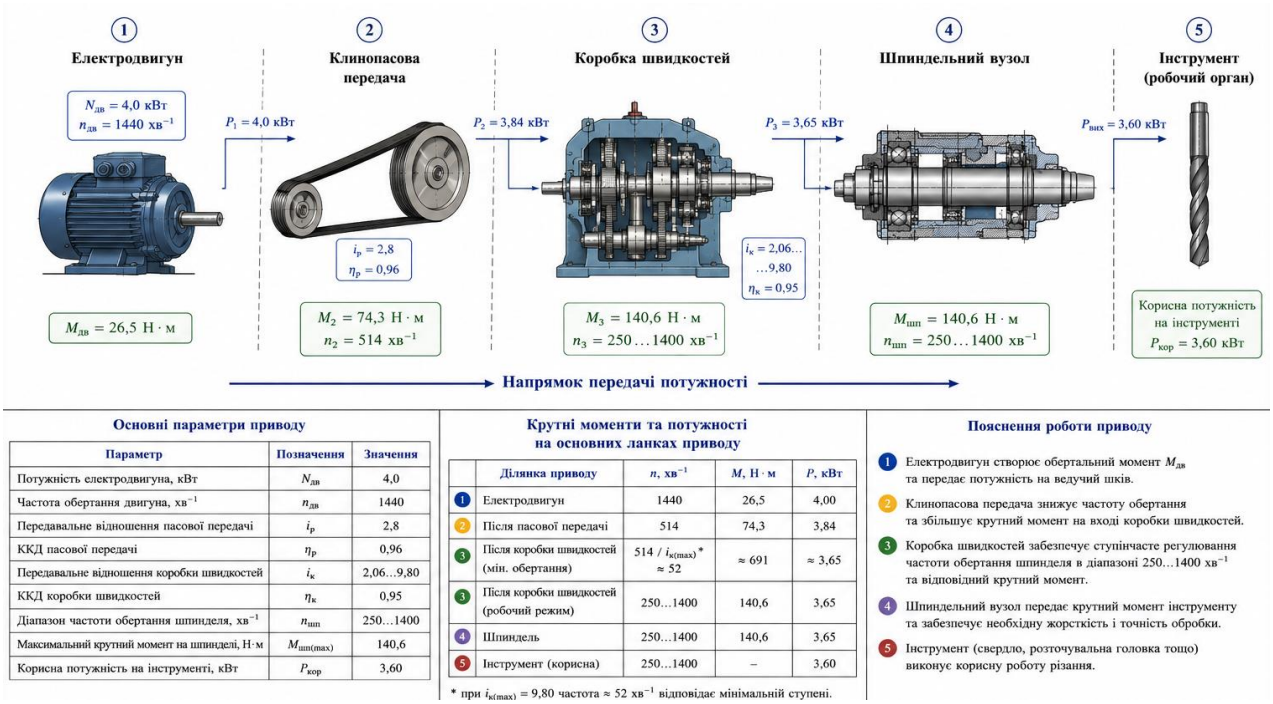
Оцінка відповідності приводу технологічному процесу

Порівняння результатів розрахунків показує:

- діапазон частот приводу повністю перекриває необхідні режими різання;
- потужність електродвигуна перевищує необхідну потужність різання у 8,5 раза;
- коробка швидкостей забезпечує передачу необхідного крутного моменту;
- шпиндельний вузол має достатню міцність та жорсткість;

- забезпечується виконання вимог до точності обробки отворів Ø100H8 та Ø85H8.

Отже, модернізований привід головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135 забезпечує реалізацію технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» та може бути рекомендований для використання у виробничих умовах.



Основні параметри приводу

Параметр	Позначення	Значення
Потужність електродвигуна, кВт	$N_{дв}$	4,0
Частота обертання двигуна, хв$^{-1}$	$n_{дв}$	1440
Передавальне відношення пасової передачі	i_p	2,8
ККД пасової передачі	η_p	0,96
Передавальне відношення коробки швидкостей	$i_к$	2,06…9,80
ККД коробки швидкостей	$\eta_к$	0,95
Діапазон частоти обертання шпинделя, хв$^{-1}$	$n_{шп}$	250…1400
Максимальний крутний момент на шпинделі, Н·м	$M_{шп(max)}$	140,6
Корисна потужність на інструменті, кВт	$P_{кор}$	3,60

Крутні моменти та потужності на основних ланках приводу

	Ділянка приводу	n, хв$^{-1}$	M, Н · м	P, кВт
1	Електродвигун	1440	26,5	4,00
2	Після пасової передачі	514	74,3	3,84
3	Після коробки швидкостей (мін. обертання)	514 / $i_{к(max)}$ * ≈ 52	≈ 691	≈ 3,65
3	Після коробки швидкостей (робочий режим)	250…1400	140,6	3,65
4	Шпиндель	250…1400	140,6	3,65
5	Інструмент (корисна)	250…1400	–	3,60

* при $i_{к(max)}$ = 9,80 частота ≈ 52 хв$^{-1}$ відповідає мінімальній ступені.

Пояснення роботи приводу

1. Електродвигун створює обертальний момент $M_{дв}$ та передає потужність на ведучий шків.
2. Клинопасова передача знижує частоту обертання та збільшує крутний момент на вході коробки швидкостей.
3. Коробка швидкостей забезпечує ступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя в діапазоні 250…1400 хв$^{-1}$ та відповідний крутний момент.
4. Шпиндельний вузол передає крутний момент інструменту та забезпечує необхідну жорсткість і точність обробки.
5. Інструмент (свердло, розточувальна головка тощо) виконує корисну роботу різання.

Рисунок 3.6 - Силова схема модернізованого приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135.

3.8. Висновок до розділу 3

У розділі виконано аналіз конструкції вертикально-свердлильного верстата 2Н135, обґрунтовано необхідність модернізації приводу головного руху та розроблено його структурно-кінематичну схему. Виконано кінематичний розрахунок приводу, перевірку коробки швидкостей і шпиндельного вузла на працездатність. Результати розрахунків показали, що

модернізований привід забезпечує необхідні режими різання, має достатній запас потужності, міцності та жорсткості для виконання технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257».

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 шпиндель, 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.

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 частини обладнання	Шпиндель, 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 огородженнями;
- 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;

- 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.

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.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне вирішення інженерного завдання, спрямованого на забезпечення ефективного технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» шляхом модернізації приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135. Робота охоплює аналітичні дослідження, розроблення технологічного процесу механічної обробки, виконання необхідних технологічних та конструкторських розрахунків, а також розроблення комплекту конструкторської документації на модернізовані вузли верстата.

У результаті аналізу службового призначення та конструкції деталі встановлено, що «Корпус КС6Б-50.257» належить до класу корпусних деталей середньої складності та характеризується наявністю відповідальних посадочних поверхонь Ø100Н8 і Ø85Н8, до точності та якості яких висуваються підвищені вимоги. Проведений аналіз технологічності конструкції показав можливість виготовлення деталі із застосуванням литої заготовки із сірого чавуну СЧ20 з подальшою механічною обробкою основних поверхонь.

На основі аналізу виробничої програми встановлено, що виготовлення деталі доцільно здійснювати в умовах середньосерійного виробництва. Визначено раціональний спосіб отримання заготовки – лиття у піщано-глинисті форми, що забезпечує необхідну точність, технологічність та економічну ефективність виробництва. Розроблено схему базування відповідно до принципу шести точок, яка гарантує отримання необхідної точності взаємного розташування оброблюваних поверхонь та реалізує принципи суміщення і сталості технологічних баз.

Розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257», який включає операції фрезерування базових поверхонь, розточування посадочних отворів Ø100H8 та Ø85H8, свердління отворів Ø14H12, нарізання різі M10, контроль якості та завершальні операції. Вибрано раціональне металорізальне обладнання, різальний та вимірювальний інструмент, визначено режими різання для основних переходів обробки. Розроблений технологічний процес забезпечує досягнення необхідних показників точності, шорсткості поверхонь та продуктивності виготовлення деталі.

У конструкторській частині виконано аналіз конструкції вертикально-свердлильного верстата 2H135 та встановлено, що його кінематична структура є достатньо раціональною для подальшого удосконалення. Визначено, що найбільш відповідальними вузлами приводу головного руху є коробка швидкостей і шпиндельний вузол, які безпосередньо впливають на точність та продуктивність механічної обробки. Проведений аналіз показав необхідність модернізації приводу для забезпечення стабільної роботи верстата при виконанні операцій розточування відповідальних отворів корпусної деталі.

Розроблено структурно-кінематичну схему модернізованого приводу головного руху, до складу якого входять асинхронний електродвигун потужністю 4 кВт, клинопасова передача, коробка швидкостей та модернізований шпиндельний вузол. Виконано кінематичний розрахунок приводу, визначено параметри передачі потужності та підтверджено можливість забезпечення необхідного діапазону частот обертання шпинделя для виконання всіх операцій технологічного процесу. Розрахунками встановлено, що робочі частоти обертання, необхідні для розточування отворів Ø100H8 та Ø85H8, знаходяться у межах робочого діапазону модернізованого приводу та відповідають стандартним ступеням коробки швидкостей.

У результаті проектування модернізованої коробки швидкостей

забезпечено отримання дванадцяти ступенів частот обертання шпинделя в діапазоні від 31,5 до 1400 хв$^{-1}$, що дозволяє ефективно виконувати операції свердління, розсвердлювання, розточування та нарізання різі. Вибрана структура коробки швидкостей забезпечує необхідну надійність роботи, достатню навантажувальну здатність та зниження втрат потужності в кінематичному ланцюзі.

Розроблено конструкцію модернізованого шпиндельного вузла, який забезпечує передачу необхідного крутного моменту та сприйняття сил різання, що виникають під час виконання найбільш навантажених операцій механічної обробки. Виконані перевірочні розрахунки підтвердили достатню жорсткість і міцність шпиндельного вузла, а також його відповідність умовам роботи при обробці деталі «Корпус КС6Б-50.257». Використання модернізованого вузла дозволяє підвищити точність обробки, знизити рівень вібрацій та забезпечити стабільність режимів різання.

Розроблений комплект графічної документації включає креслення деталі «Корпус КС6Б-50.257», технологічний маршрут її виготовлення, загальний вигляд модернізованого верстата, структурно-кінематичну схему приводу головного руху, креслення коробки швидкостей, шпиндельного вузла та силову схему модернізованого приводу.

Таким чином, поставлена в роботі мета досягнута повністю. Розроблений технологічний процес забезпечує виготовлення деталі «Корпус КС6Б-50.257» із заданими показниками точності та якості поверхонь, а модернізований привід головного руху вертикально-свердлильного верстата 2Н135 забезпечує необхідні режими обробки, достатню потужність, жорсткість та надійність роботи технологічного обладнання. Реалізація запропонованих технічних рішень сприятиме підвищенню продуктивності обробки, покращенню якості продукції та зниженню експлуатаційних витрат у машинобудівному виробництві.

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., Kropivnya 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. Kryvyy 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.

8. Kovalov V., Klymenko G., Vasylchenko 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. Сеник А., Кобельник В., Лещук Р., Кобельник О. Підвищення довговічності приводних роликових ланцюгів шляхом формування регулярних мікрорельєфів на згортних втулках методом віброобкочування. 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. Скляров 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., Скляров Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем : навчальний посібник. Київ : ГНОЗІС, 2004. 323 с.

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. Скляров. 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. Hahalyuk, V. Krupa. Scientific Journal of TNTU. 2023. Vol. 111, No. 3. P. 67–75.
22. Krupa V., Hahalyuk 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.

Д О Д А Т К И

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітки
				Документація		
A1			КРБ МВ 22-225.00.00.000 СК	Складальне креслення		
		1	КРБ МВ 22-225.03.00.000 СК	Загальний вигляд верстата 2Н135	1	Складальне креслення
			Складальні одиниці			
		2	КРБ МВ 22-225.03.01.000 СК	Станина з колоною та робочим столом	1	
		3	КРБ МВ 22-225.03.02.000 СК	Свердлильна головка (модернізована)	1	
		4	КРБ МВ 22-225.03.03.000 СК	Привід головного руху	1	
		5	КРБ МВ 22-225.03.04.000 СК	Привід подачі	1	
		6	КРБ МВ 22-225.03.05.000 СК	Механізм підйому столу	1	
		7	КРБ МВ 22-225.03.06.000 СК	Система охолодження	1	
		8	КРБ МВ 22-225.03.07.000 СК	Електрообладнання	1	
			Деталі			
		9	КРБ МВ 22-225.03.00.009	Корпус захисного кожуха ремінної передачі	1	Сталь 20
		10	КРБ МВ 22-225.03.00.010	Кожух клинопасової передачі	1	Сталь 20
		11	КРБ МВ 22-225.03.00.011	Кронштейн електродвигуна	1	Сталь 45
		12	КРБ МВ 22-225.03.00.012	Плита кріплення двигуна	1	Сталь 20
		13	КРБ МВ 22-225.03.00.013	Кожух муфти	1	Сталь 20
			Стандартні вироби			
		14	ДСТУ ISO 15:2017	Підшипник 205	4	
		15	ДСТУ ISO 15:2017	Підшипник 206	2	
		16	ДСТУ ISO 4017:2019	Болт М12×35	16	
		17	ДСТУ ISO 4017:2019	Болт М16×45	8	
		18	ДСТУ ISO 4032:2019	Гайка М12	16	
		19	ДСТУ ISO 4032:2019	Гайка М16	8	
		20	ДСТУ ISO 7089:2019	Шайба 12	16	
		21	ДСТУ ISO 7089:2019	Шайба 16	8	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ МВ 22-225.00.00.000 СК		
Розробив		Білобран В.			Загальний вигляд верстата 2Н135	Літера	Аркуш 1 / Аркушів 2
Перевірив		Сеник				У	
Консульт.						ТНТУ, МВ-41	
Н. контр.		Кобельник					
Затв.		Крупа В.В.					

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітки
			ДСТУ ГОСТ 23360:2019	Шпонка 8×7×50	4	
			Матеріали			
			ДСТУ 3135.0:2008	Олива індустріальна І-20А	3 л	
		25	ДСТУ ГОСТ 23360:2019	Шпонка 8×7×50	4	
		26	**Матеріали**			
			ДСТУ 3135.0:2008	Олива індустріальна І-20А	3 л	
		28				
					6	
		29				
		32			1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ МВ 22-225.00.00.000 СК	Арк. 2

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-ть	Примітки
				Документація		
A1	–	–	КРБ МВ 22-225.04.00.000 СК	Складальне креслення	1	
				Деталі		
A4	–	1	КРБ МВ 22-225.04.00.001	Корпус коробки швидкостей	1	СЧ20
A4	–	2	КРБ МВ 22-225.04.00.002	Кришка передня	1	СЧ20
A4	–	3	КРБ МВ 22-225.04.00.003	Кришка задня	1	СЧ20
A4	–	4	КРБ МВ 22-225.04.00.004	Вал вхідний	1	Сталь 40Х
A4	–	5	КРБ МВ 22-225.04.00.005	Вал проміжний I	1	Сталь 40Х
A4	–	6	КРБ МВ 22-225.04.00.006	Вал проміжний II	1	Сталь 40Х
A4	–	7	КРБ МВ 22-225.04.00.007	Вал вихідний	1	Сталь 40Х
A4	–	8	КРБ МВ 22-225.04.00.008	Шестерня z=20	1	Сталь 40Х
A4	–	9	КРБ МВ 22-225.04.00.009	Шестерня z=35	1	Сталь 40Х
A4	–	10	КРБ МВ 22-225.04.00.010	Шестерня z=21	1	Сталь 40Х
A4	–	11	КРБ МВ 22-225.04.00.011	Шестерня z=42	1	Сталь 40Х
A4	–	12	КРБ МВ 22-225.04.00.012	Шестерня z=23	1	Сталь 40Х
A4	–	13	КРБ МВ 22-225.04.00.013	Шестерня z=46	1	Сталь 40Х
A4	–	14	КРБ МВ 22-225.04.00.014	Муфта перемикання	2	Сталь 45
A4	–	15	КРБ МВ 22-225.04.00.015	Вилка перемикання	2	Сталь 45
A4	–	16	КРБ МВ 22-225.04.00.016	Кришка підшипника	6	Сталь 20

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ МВ 22-225.04.00.000		
Розроб.		Білобран В.В.			Коробка швидкостей модернізована верстата 2Н135	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Сеник А.А.				Н	1	2
Н. контр.		Кобельник В.Р.			Специфікація	ТНТУ, гр. МВ-41		
Зав. каф.		Крупа В.В.						

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-ть	Примітки
				Стандартні вироби		
	–	17		Підшипник 205 ДСТУ ISO 15:2017	4	
	–	18		Підшипник 206 ДСТУ ISO 15:2017	2	
	–	19		Шпонка 8×7×50 ДСТУ ГОСТ 23360:2019	4	
	–	20		Гвинт М10×30 ДСТУ ISO 4762:2019	12	
	–	21		Гвинт М12×35 ДСТУ ISO 4762:2019	18	
	–	22		Шайба 10 ДСТУ ISO 7089:2019	12	
	–	23		Шайба 12 ДСТУ ISO 7089:2019	18	
	–	24		Манжета 1-2-45×72-1 ДСТУ 8752:2019	2	
				Матеріали		
	–	25		Олива індустріальна І-20А ДСТУ 3135.0:2008	2,5 л	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ МВ 22-225.04.00.000	Арк. 2