

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра механічної інженерії та технології машинобудування

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ПИСОВ ВАСИЛЬ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 621.9

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА
МОДИФІКАЦІЇ 6Р13 З РОЗРОБКОЮ КОНСТРУКЦІЇ МОТОР-
ШПИНДЕЛЯ

133 «Галузеве машинобудування»
Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних розробок. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Писов В.С.

Керівник роботи
Шубенко В.О.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир - 2025

АНОТАЦІЯ

Писов В.С. Удосконалення вертикально-фрезерного верстата модифікації 6P13 з розробкою конструкції мотор-шпинделя. - Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». – Поліський національний університет, Житомир, 2025 р.

Бакалаврська робота спрямована на модернізацію вертикально-фрезерного верстата 6P13, спрямована на розширення його технологічного потенціалу, зокрема шляхом оновлення шпиндельного вузла, є ключовим заходом для покращення продуктивності та ефективності обробки.

Завдяки вдосконаленню шпиндельного вузла вдалося значно знизити вібрації та підвищити стабільність роботи, що забезпечило краще виконання операцій і покращило якість оброблюваних поверхонь.

Інтеграція новітніх технологічних рішень дала змогу істотно підвищити швидкість роботи верстата. Це дозволило значно збільшити кількість оброблених деталей за одиницю часу та скоротити витрати на виробничі процеси.

Завдяки модернізації шпиндельного вузла верстат став здатним обробляти ширший спектр матеріалів і виконувати більш складні операції, що зробило його більш універсальним та ефективним для різних виробничих завдань.

Впровадження сучасних технологій і компонентів дозволило суттєво скоротити споживання енергії верстатом. Це не лише знижує виробничі витрати, а й позитивно впливає на екологічність, зменшуючи шкідливі викиди.

Використання зносостійких матеріалів у конструкції шпиндельного вузла сприяло збільшенню довговічності верстата та скороченню частоти його обслуговування, що значно зменшило витрати на ремонт і технічну підтримку.

Інвестиції у вдосконалення шпиндельного вузла виявилися високорентабельними. Підвищення продуктивності та зниження витрат на енергоресурси і технічне обслуговування привели до значного скорочення витрат і збільшення рентабельності підприємства.

Ключові слова: верстат, розробка, працездатність, мотор-шпиндель, удосконалення.

ANNOTATION

Pysov V.S. Improvement of the vertical milling machine modification 6P13 with the development of the design of the motor-spindle. - *Qualification work in the form of a manuscript.*

Qualification work for the first bachelor's degree in specialty 133 "Industrial mechanical engineering". - Polesie National University, Zhytomyr, 2025

The bachelor's work is aimed at the modernization of the vertical milling machine 6P13, aimed at expanding its technological potential, in particular by updating the spindle assembly, which is a key measure for improving productivity and processing efficiency.

Thanks to the improvement of the spindle assembly, it was possible to significantly reduce vibrations and increase the stability of work, which ensured better performance of operations and improved the quality of the machined surfaces.

The integration of the latest technological solutions made it possible to significantly increase the speed of the machine. This allowed to significantly increase the number of processed parts per unit of time and reduce the costs of production processes.

Thanks to the modernization of the spindle assembly, the machine tool became capable of processing a wider range of materials and performing more complex operations, which made it more versatile and effective for various production tasks.

The introduction of modern technologies and components allowed to significantly reduce the energy consumption of the machine tool. This not only reduces production costs, but also has a positive effect on environmental friendliness, reducing harmful emissions.

The use of wear-resistant materials in the design of the spindle assembly contributed to an increase in the durability of the machine tool and a reduction in the frequency of its maintenance, which significantly reduced the costs of repairs and technical support.

Investments in improving the spindle assembly turned out to be highly profitable. Increased productivity and reduced costs for energy resources and maintenance led to a significant reduction in costs and increased profitability of the enterprise.

Keywords: machine tool, development, performance, motor-spindle, improvement.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ЗАГАЛЬНОТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	5
1.1. Загальна характеристика вертикально-фрезерного верстата мод. 6P13.....	5
1.2. Патентний пошук існуючих конструкцій шпиндельних вузлів вертикально-фрезерних верстатів.....	10
1.3. Опис існуючого шпиндельного вузла.....	15
1.4. Запропонований варіант модернізації.....	17
2. ПРОЄКТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА	18
2.1. Конструювання шпиндельного вузла.....	18
2.2. Розрахунки жорсткості та швидкості шпиндельного вузла.....	19
3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	28
3.1. Характеристики обраного мотор-шпинделя.....	28
3.2. Обґрунтування вибору виду та форми заготовки корпуса.....	31
3.3. Моделювання шпиндельного вузла в програмному продукті SolidWorks.....	34
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Писов В.С.			Пояснювальна записка		
Перевір.		Шубенко В.О.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Медведський О.В.					
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ПНУ, група ГМз-21+23ск		

ВСТУП

Актуальність теми. Вертикально-фрезерні верстати широко застосовуються у різних галузях промисловості для виконання технологічних операцій обробки заготовок з високою точністю. Модифікація верстата 6P13 є однією з найбільш популярних завдяки своїй надійності, функціональності та можливості адаптації до різних типів обробки. Проте, із розвитком сучасних технологій та зростанням вимог до якості продукції і ефективності виробничих процесів виникає необхідність модернізації існуючих моделей.

Основними проблемами є:

1. Підвищення продуктивності: Сучасні вимоги до швидкості обробки та зменшення виробничого циклу висувають високі вимоги до потужності шпиндельного вузла.
2. Забезпечення точності обробки: Старі конструкції можуть демонструвати зниження точності через зношення елементів приводу шпинделя.
3. Енергоефективність: Використання застарілих приводів призводить до високих витрат енергії, що не відповідає сучасним стандартам економії ресурсів.

Розробка нової конструкції мотор-шпинделя є актуальним напрямком, оскільки вона дозволить:

- Підвищити потужність і обертовий момент шпинделя, що розширить функціональні можливості верстата.
- Знизити рівень вібрацій, що позитивно вплине на якість обробки поверхонь.
- Оптимізувати енергоспоживання завдяки інтеграції сучасних двигунів і систем керування.
- Підвищити надійність вузла завдяки використанню матеріалів і технологій, стійких до зношування.

Таким чином, модернізація верстата 6P13 із впровадженням мотор-шпинделя відповідає актуальним потребам машинобудівної галузі, сприяє

						Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зниженню витрат на виробництво і підвищенню конкурентоспроможності продукції. Це обґрунтовує необхідність науково-дослідної роботи в цьому напрямку.

Мета роботи. Розробка конструкції мотор-шпинделя для вертикально-фрезерного верстата модифікації 6P13 з метою підвищення його продуктивності, точності обробки, енергоефективності та надійності, що забезпечить конкурентоспроможність верстата у сучасних умовах виробництва.

Для досягнення поставленої мети потрібно визначити наступні **завдання:**

- провести аналіз конструктивних особливостей верстата мод.6P13;
- провести аналіз існуючих розробок у сфері мотор-шпинделів.

Визначити перспективні напрямки модернізації для реалізації в умовах даного верстата.

- розробити конструктивну схему мотор-шпинделя для інтеграції у верстат 6P13.

- розрахувати основні параметри вузла (потужність, швидкість обертання, рівень вібрацій).

- провести комп'ютерне моделювання конструкції шпинделя.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Основний текст роботи викладений на 36 сторінках, повний обсяг роботи становить 40 сторінки, включаючи 20 рисунків. Список використаних джерел нараховує 9 найменувань.

						Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНОТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Загальна характеристика вертикально-фрезерного верстата мод. 6P13

Вертикально-фрезерний верстат моделі 6P13 (рис.1.1) є універсальним металорізальним обладнанням, призначеним для виконання широкого спектра технологічних операцій: фрезерування площин, пазів, канавок, обробки контурів, формоутворюючого та копіювального фрезерування деталей. Завдяки своїй надійності, простоті експлуатації та універсальності ця модель широко застосовується в машинобудуванні, приладобудуванні та інших галузях промисловості.

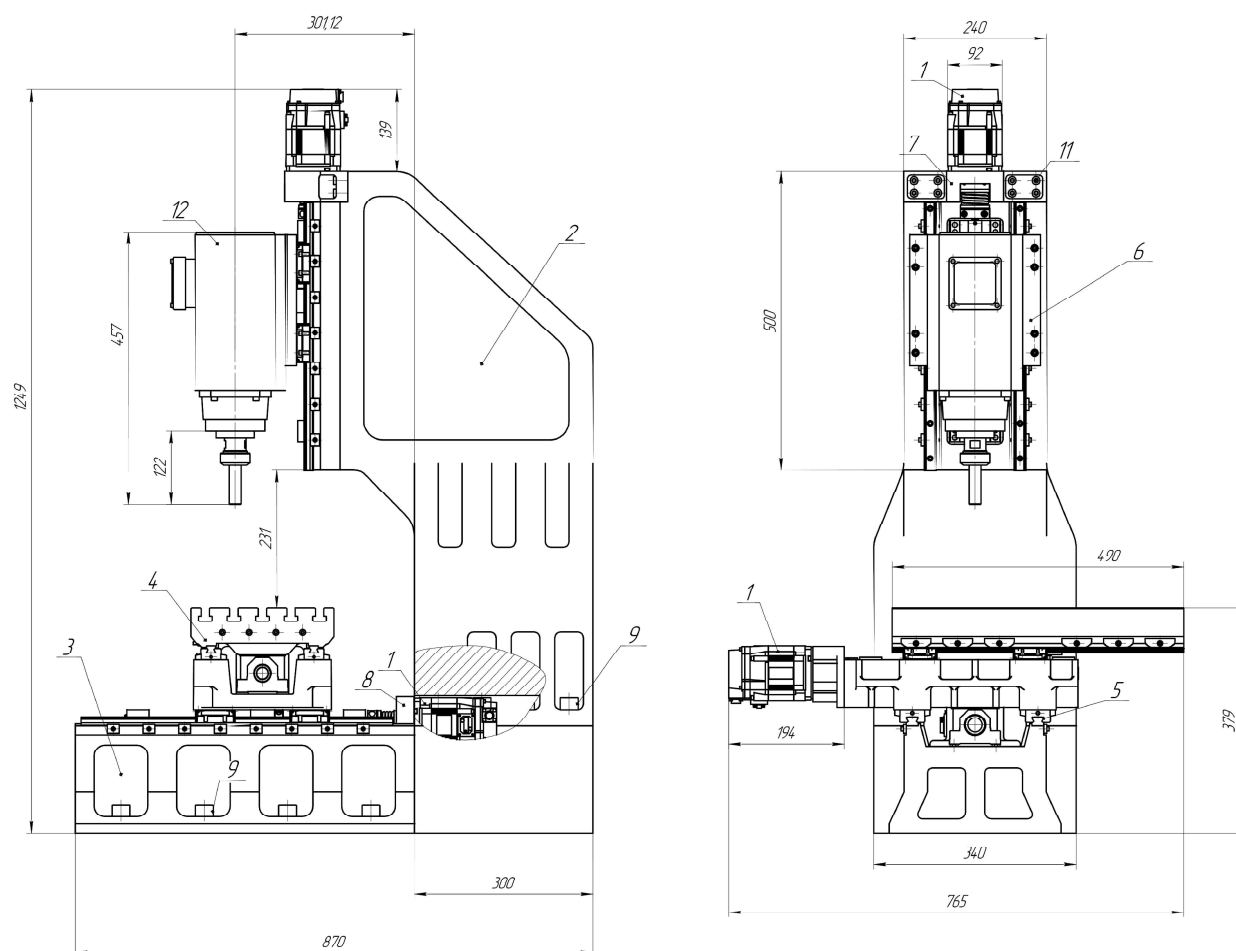


Рис.1.1. Вертикально-фрезерний верстат мод. 6P13

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	5

Основні технічні характеристики верстата 6P13

1. Тип конструкції: вертикально-фрезерний.
 - Фрезерний шпиндель розташований вертикально, що дозволяє обробляти заготовки різної складності.
2. Робочі параметри:
 - Розмір столу: 250 × 1250 мм.
 - Хід столу:
 - поздовжній – 800 мм;
 - поперечний – 250 мм;
 - вертикальний – 370 мм.
3. Шпиндельний вузол:
 - Діапазон обертів шпинделя: 45–2000 об/хв (12 ступенів).
 - Тип кріплення інструменту: конус ISO 40.
 - Максимальна потужність двигуна шпинделя: 4 кВт.
4. Механізм подачі:
 - Включає механізовані приводи для поздовжнього, поперечного та вертикального переміщень столу.
 - Швидкість подачі: 15–750 мм/хв.
5. Маса:
 - Маса: приблизно 2200 кг.

Особливості конструкції

1. Шпиндельний вузол:

Оснащений механізмом швидкого перемикання швидкостей, що забезпечує зручність роботи та високу продуктивність.
2. Вертикальна стійка:

Забезпечує високу жорсткість конструкції та стабільність у роботі.
3. Робочий стіл:

Має Т-подібні пази для кріплення заготовок, що дозволяє використовувати різноманітні пристосування для обробки.

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Привод подачі:

Механізм автоматичної подачі з можливістю регулювання дозволяє оптимізувати режими обробки.

5. Система змащення та охолодження:

Використовується для зниження тертя та охолодження оброблюваної поверхні, що забезпечує високу якість обробки та тривалий строк служби інструменту.

Основні переваги верстата 6P13

- Універсальність: можливість обробки різноманітних матеріалів і виконання широкого спектра операцій.
- Простота в експлуатації: легкість налаштувань і обслуговування.
- Надійність і довговічність: міцна конструкція забезпечує тривалий термін служби навіть при інтенсивному використанні.

Недоліки моделі 6P13

1. Моральна застарілість: базова модель не відповідає сучасним вимогам до продуктивності й точності.
2. Відносно низька енергоефективність: використання застарілих приводів призводить до значного енергоспоживання.
3. Обмеження швидкості обертання шпинделя: не дозволяє обробляти сучасні матеріали, які потребують високошвидкісного фрезерування.

Перспективи удосконалення

Для підвищення конкурентоспроможності верстата можливо:

- Інтегрувати сучасні мотор-шпинделі з підвищеною потужністю та енергоефективністю.
- Оснастити верстат системами ЧПК (числового програмного керування).

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Модернізувати систему охолодження та подачі.

Верстат 6P13 залишається затребуваним у виробництві, однак модернізація ключових вузлів дозволить забезпечити його відповідність сучасним стандартам.

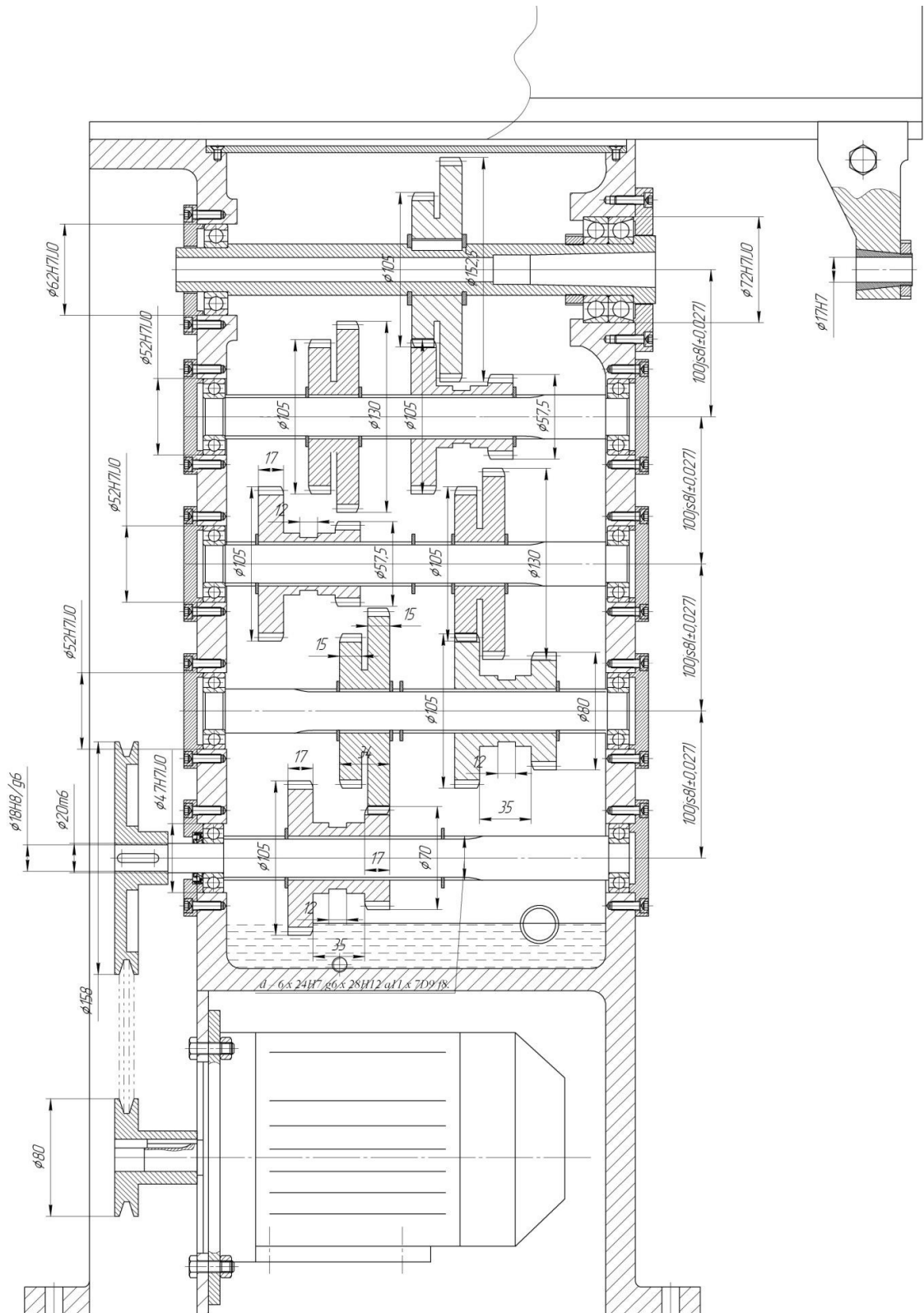


Рис.1.2. Варіант компоновки привода верстата 6P13

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	8

Для покращення експлуатаційних характеристик на верстаті встановлено світильник для місцевого освітлення. Він кріпиться на гнучкій гофрованій стійці, що дозволяє змінювати його положення відносно оброблюваної деталі.

Перед початком роботи на верстаті необхідно уважно ознайомитися з інструкцією з експлуатації. У ній детально описані процедури профілактичного обслуговування, методи заміни та заточування фрез, а також наведені еталонні характеристики обладнання.

Монтаж верстата повинен виконуватися відповідно до рекомендацій виробника. Робочий стіл має бути встановлений на рівній площині. Для забезпечення рівності можна використовувати регульовані ніжки верстата або платформу, на якій він змонтований.

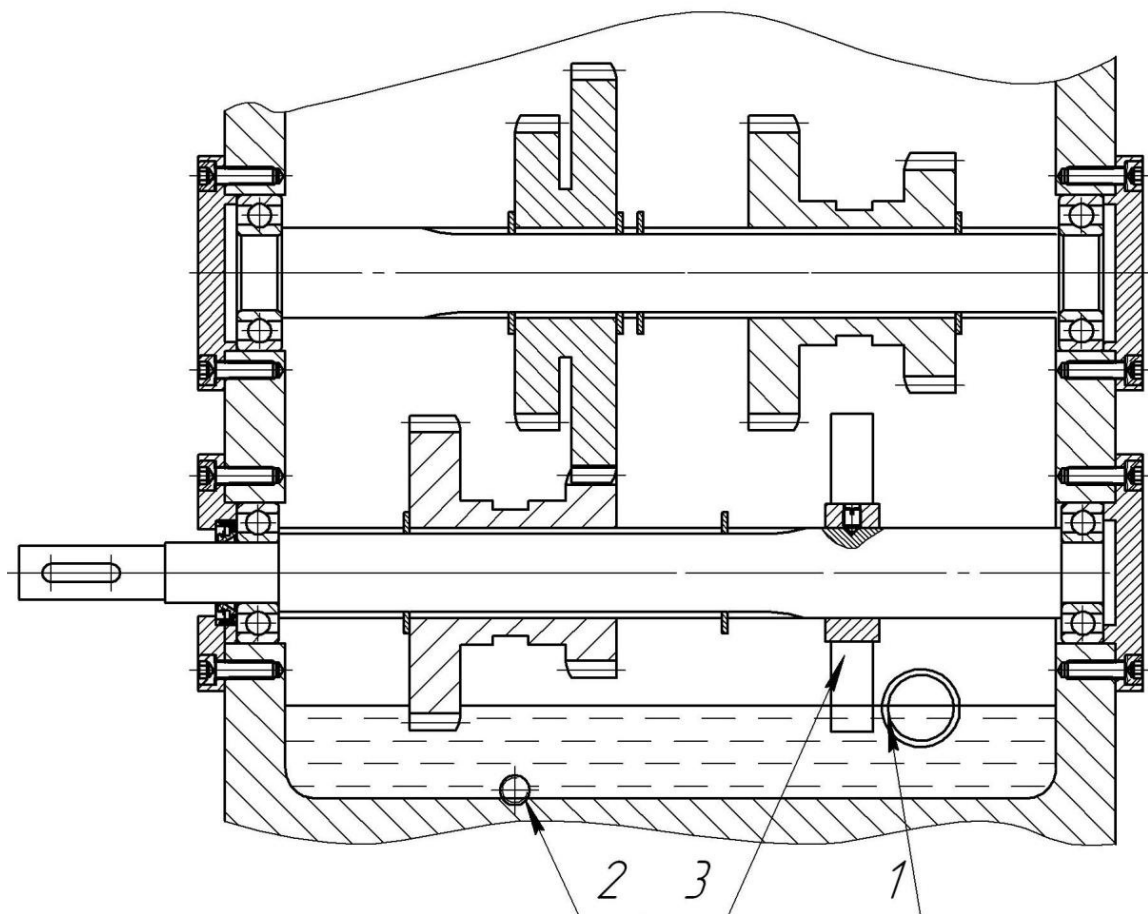


Рис.1.3. Змащення зубчастих коліс: 1 – масло вказівник; 2 – зливна пробка;
3 – розбризкуюча лопать

					Арк.
					9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Для змащування зубчастих коліс коробки передач у задній частині конструкції передбачено спеціальний модуль. Під час активації система подачі ЗОР (змащувально-охолоджувальної рідини) забезпечує надходження мастила в коробку передач, де змащування здійснюється методом розбризкування.

З метою покращення ефективності змащування в конструкцію було додано додаткову лопать, яка посилює процес розбризкування мастила, забезпечуючи більш рівномірне покриття робочих поверхонь.

1.2. Патентний пошук існуючих конструкцій шпиндельних вузлів вертикально-фрезерних верстатів

Для проведення патентного пошуку конструкцій шпиндельних вузлів вертикально-фрезерних верстатів рекомендується використовувати такі ресурси:

1. Espacenet: Європейська патентна база даних, що надає доступ до патентних документів з усього світу. Використовуйте ключові слова, такі як «spindle unit vertical milling machine», для пошуку відповідних патентів.

2. PATENTSCOPE: Пошукова система Всесвітньої організації інтелектуальної власності (ВОІВ), яка дозволяє отримати доступ до мільйонів патентних документів. Використовуйте аналогічні ключові слова для пошуку.

Рекомендації щодо проведення пошуку:

- Використання ключових слів: Вводьте різні варіанти ключових слів, такі як "шпиндельний вузол", "вертикально-фрезерний верстат", "spindle unit", "vertical milling machine", щоб охопити максимальну кількість релевантних документів.

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Класифікаційні індекси: Використовуйте міжнародні патентні класифікації (IPC), наприклад, B23C (фрезерування) або B23Q (деталі або допоміжні пристрої для верстатів), для точнішого пошуку.

- Фільтри та сортування: Застосовуйте фільтри за датою публікації, країною реєстрації та іншими параметрами для звуження результатів пошуку.

Додаткові ресурси:

- Всеросійська патентно-технічна бібліотека (ВПТБ): Надає доступ до різноманітних патентних баз даних та ресурсів для проведення патентного пошуку.

- Наукові публікації та дисертації: Роботи, такі як "Дослідження динамічних характеристик шпиндельного вузла вертикально-фрезерного верстату" Elartu, можуть містити огляди існуючих конструкцій та посилання на відповідні патенти.

Патентний пошук проводився у базі даних Укрпатенту. Виявлено патенти на шпиндельні вузли [2], які можуть бути застосовані у вертикально-фрезерних верстатах. Нижче наведено короткий опис їх конструктивних особливостей.

Шпиндельний вузол (рис. 1.4) [3] включає шпиндель 1, розташований на опорах 2 з ексцентриситетом у втулці 3. Втулка 3 з ексцентриситетом закріплена на напрямних 4, розташованих у втулці 5. Втулка 5 обертається на напрямних 6, які знаходяться в корпусі 7. Обертання втулки 5 на напрямних 6 в корпусі 7 забезпечується двигуном малих переміщень 8, встановленим на корпусі 7.

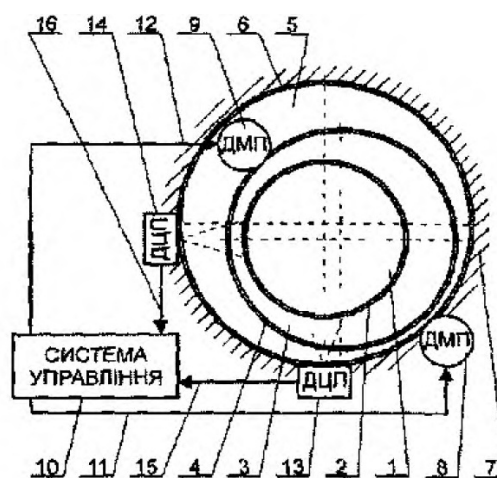


Рис.1.4. Шпиндельний вузол

Обертання втулки 3 на напрямних 4 у втулці 5 забезпечується двигуном малих переміщень 9, встановленим на втулці 5. Керування двигунами 8 і 9 здійснюється системою управління 10 через канали 11 і 12 відповідно. Положення шпинделя 1 відносно корпусу 7 контролюється за допомогою двох взаємно перпендикулярних датчиків положення циліндричної поверхні 13 і 14, закріплених на корпусі 7. Сигнали з датчиків 13 і 14 передаються через канали 15 і 16 до системи управління 10.

У разі пружних деформацій шпиндельного вузла або зміщення через зношення опор, датчики 13 і 14 фіксують величину зміщення циліндричної поверхні шпинделя 1 відносно корпусу 7 і передають сигнали через канали 15 і 16 до системи управління 10. Система управління порівнює отримані сигнали з еталонними, які відповідають початковому положенню шпинделя 1. Виходячи з різниці між цими сигналами, система генерує керуючі імпульси, які надсилаються через канали 11 і 12 до двигунів 8 і 9. Двигуни забезпечують відповідне обертання втулок 3 і 5, в результаті чого шпиндель 1 повертається у початкове положення.

Шпиндельний вузол [4] (рис. 1.5) складається зі шпинделя 1, який підтримується передньою 2 і задньою 3 опорами. На кінці шпинделя 1 розташований затискний патрон або оправка 4, у якій закріплений інструмент 5. Шпиндель 1 знаходиться всередині пінолі 6, яка під час осьового переміщення захищена від обертання за допомогою шпонки 7, що ковзає по поздовжньому пазу «а» у корпусі 8.

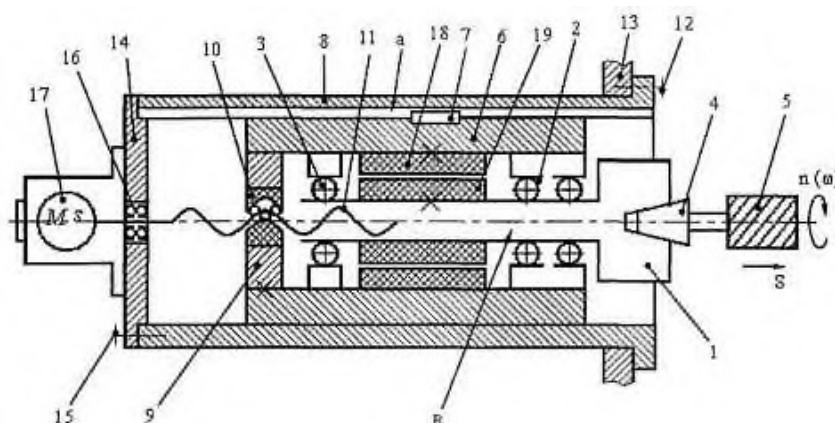


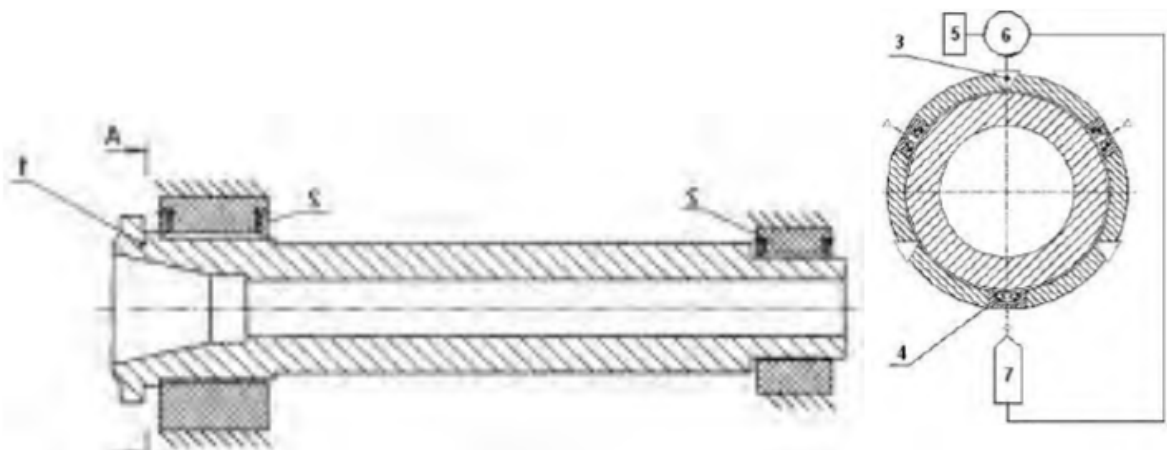
Рис.1.5. Шпиндельний вузол

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	12

Ліворуч до пінолі 6 жорстко закріплений фланець 9, у якому розташована гайка 10, що взаємодіє з гвинтом 11. Вільний кінець гвинта 11 входить у отвір «в» шпинделя 1, що дозволяє зменшити осьові розміри шпиндельного вузла. Корпус 8 оснащений фланцем, який за допомогою болтів 12 закріплений на нерухомій частині 13 верстата. На протилежному кінці корпусу 8 встановлено перехідний фланець 14, який також закріплений болтами 15. Усередині перехідного фланця 14 розташована опора 16 для гвинта 11, до торця якого під'єднаний привід подачі пінолі, наприклад, кроковий електродвигун 17. Обороти цього двигуна через систему ЧПК перетворюються на поступальний рух пінолі 6 з подачею S.

При подачі напруги на обмотку статора 18 створюється магнітне поле, яке взаємодіє з двошаровою активною поверхнею ротора 19, примушуючи шпиндель 1 обертатися з необхідною частотою n. Для реалізації подачі шпинделя напруга подається на електродвигун 17, обороти якого через систему ЧПК перетворюються на поступальний рух пінолі 6, забезпечуючи потрібну подачу S.

Шпиндельний вузол (рис. 1.6) включає шпиндель 1, встановлений на опорах 2. У передній частині шпинделя рівномірно по колу розташовані датчики 3 пружної деформації, які входять до складу системи автоматичного регулювання. Передня опора 2 має гідростатичну конструкцію та складається з трьох рівномірно розташованих по колу секцій 4, причому кожна секція розташована навпроти відповідного датчика.



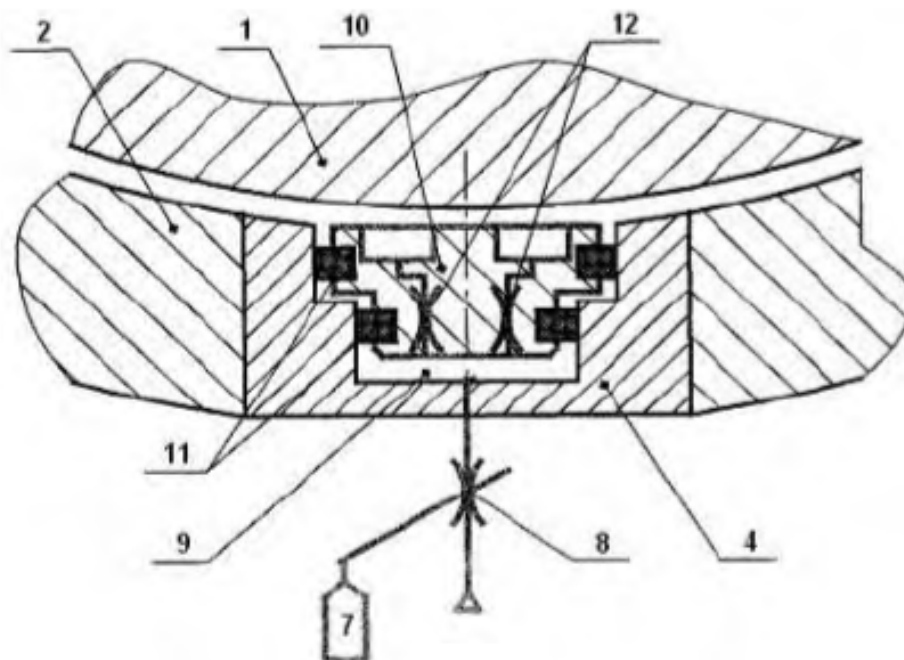


Рис.1.6. Шпиндельний вузол

Прецизійний шпиндельний вузол (рис. 1.7) складається з корпусу 1, в якому шпиндель 2 розміщений у передній 3 і задній 4 опорах. Між підшипниками передньої та задньої опор встановлений демпфер, що включає додаткову опору 6 і тонкостінну пружну втулку консольного виконання 5 з фланцем, який жорстко зв'язаний з корпусом біля однієї з опор.

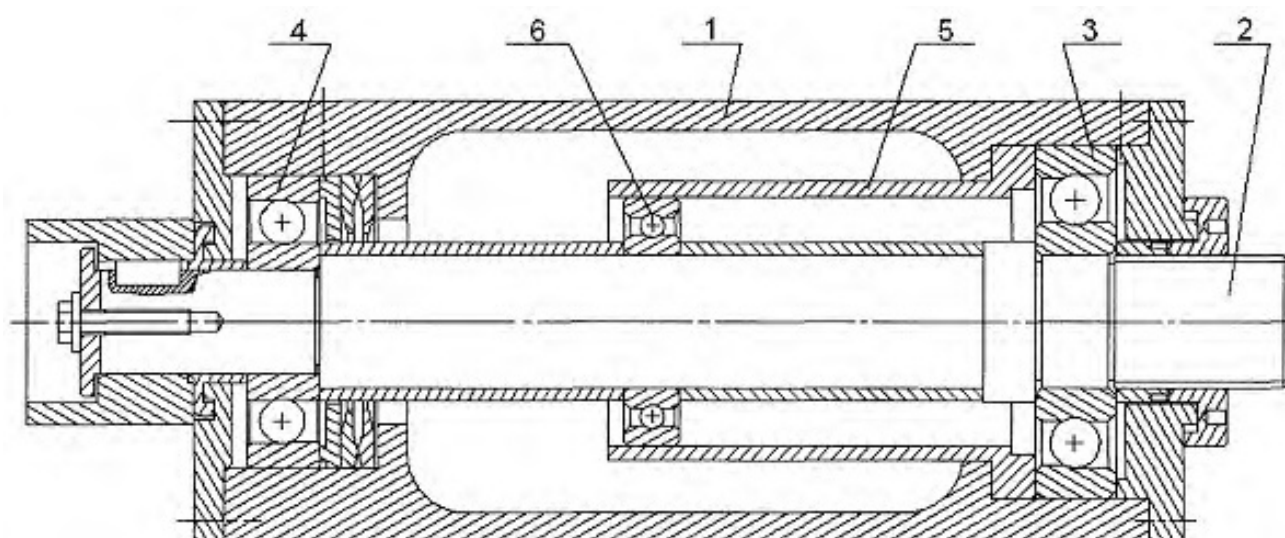


Рис.1.7. Шпиндельний вузол

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	14

1.3. Опис існуючого шпиндельного вузла

Шпиндельний вузол фрезерного верстата 6P13 є центральним елементом механізму, що забезпечує виконання основних технологічних операцій з обробки матеріалів. Його конструкція та функціональні можливості значною мірою визначають точність, продуктивність і надійність роботи верстата.

Основні компоненти шпиндельного вузла:

1. Шпиндель – основна обертова частина вузла, призначена для встановлення інструмента (фрези). Він виготовлений з високоякісної сталі, що забезпечує необхідну жорсткість і точність.

2. Підшипники – забезпечують плавність обертання шпинделя. Найчастіше використовуються високоточні радіально-упорні підшипники, які забезпечують стабільну роботу при високих обертах і навантаженнях.

3. Корпус шпиндельного вузла – виготовляється з литого чавуну або сталі. Служить для фіксації шпинделя та підшипників, забезпечує жорсткість конструкції й мінімізує вібрації.

4. Привід шпинделя – складається з електродвигуна і системи передачі обертання (наприклад, ремінної передачі або шестерень). Привід дозволяє регулювати швидкість обертання шпинделя для оптимального режиму обробки.

5. Система змащення – призначена для зниження зносу підшипників і забезпечення стабільної роботи вузла. Використовується мастило або олива, яка може подаватися як автоматично, так і вручну.

Основні характеристики шпиндельного вузла 6P13:

- Діаметр шпинделя: залежить від моделі й становить кілька десятків міліметрів.
- Максимальна швидкість обертання: від 4000 до 8000 об/хв.
- Потужність приводного двигуна: від 1 до 3 кВт, залежно від конфігурації.

						Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Система кріплення інструменту: застосовуються різні типи, наприклад, конус Морзе або цанги ER.

Функціональні можливості:

- Висока точність обробки завдяки жорсткій конструкції та високоякісним підшипникам.
- Швидка зміна інструменту завдяки стандартним системам кріплення.
- Регулювання швидкості обертання шпинделя для адаптації до обробки різних матеріалів і завдань.

Шпиндельний вузол 6P13 (рис. 1.8) є ключовим елементом, що забезпечує точну та ефективну роботу фрезерного верстата, відповідаючи вимогам сучасного виробництва.

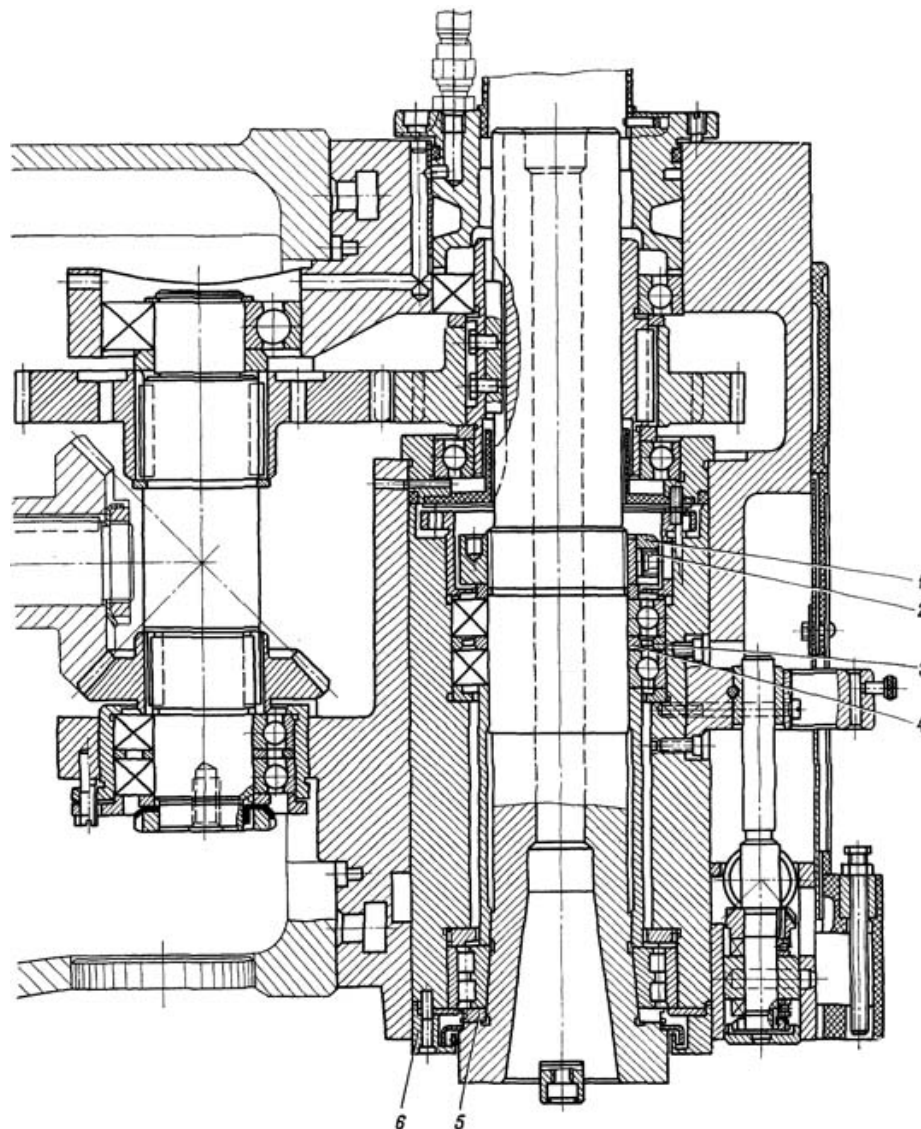


Рис.1.8. Шпиндельний вузол верстата 6P13

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	16

1.4. Запропонований варіант модернізації

Модернізація вертикально-фрезерного верстата моделі 6P13 може включати кілька напрямків удосконалення для підвищення ефективності, точності, зниження енерговитрат та адаптації до сучасних виробничих вимог. Нижче наведено запропонований варіант модернізації:

1. Механічна модернізація з заміною шпиндельного вузла. Установлення сучасного шпинделя з підшипниками високої точності або гідростатичними підшипниками для зменшення вібрацій і підвищення точності обробки.

						Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА

2.1. Конструювання шпиндельного вузла

Під час проєктування шпиндельного вузла слід врахувати такі вимоги:

1. Забезпечення жорсткості: необхідно уникати надмірних деформацій у процесі різання, як у радіальному, так і в осьовому напрямках. Жорсткість ділянки між опорами має відповідати нормальній роботі підшипників і знаходитися в межах 250–500 Н/мкм.
2. Стабільність осі обертання: геометрична вісь шпинделя має зберігати стабільне положення під час обертання, що забезпечує високу точність роботи.
3. Високі динамічні властивості: шпиндельний вузол повинен мати високу вібростійкість, яка характеризується амплітудою коливань переднього кінця шпинделя. Частота власних коливань вузла має бути нижчою за 500–600 Гц.

Конструкція шпиндельного вузла визначається типом і призначенням верстата, необхідною точністю, умовами експлуатації, способом зміни інструменту або оброблюваної деталі, а також типом і розташуванням привідних елементів та конструктивними особливостями підшипників.

На сьогодні понад 95% верстатів оснащуються шпиндельними вузлами на підшипниках кочення. Вибір компоновальної схеми шпиндельного вузла здійснюється відповідно до вимог швидкохідності. Приклад компоновальної схеми шпиндельного вузла представлений на рис. 2.1.



Рис.2.1. Компоновочна схема шпиндельного вузла

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2.2. Розрахунки жорсткості та швидкості шпиндельного вузла

2.2.1. Цей розрахунок проводимо для II валу (шпиндель)

Знаходимо ті зачеплення при якому згині сили будуть максимальні, визначаємо сили які діють на вал при ньому:

$$P = \frac{2 \cdot M_{kp}}{m \cdot z}, T = 0,63 \cdot P$$

$$M_{kp} = \frac{M_{\partial\partial}}{i} \Rightarrow P = \frac{2 \cdot M_{\partial\partial}}{m \cdot z \cdot i}$$

$$M_{\partial\partial} = \frac{N}{2 \cdot V1 \cdot n} = \frac{14000 \cdot 60}{2 \cdot V1 \cdot 1000} = 134 H \cdot m = 134000 H \cdot mm$$

$$P_{a2} = \frac{2 \cdot 134000}{2,5 \cdot 72 \cdot 1,41^{-11}} = 65204 H$$

2.2.2. Розрахунок реакцій в опорах

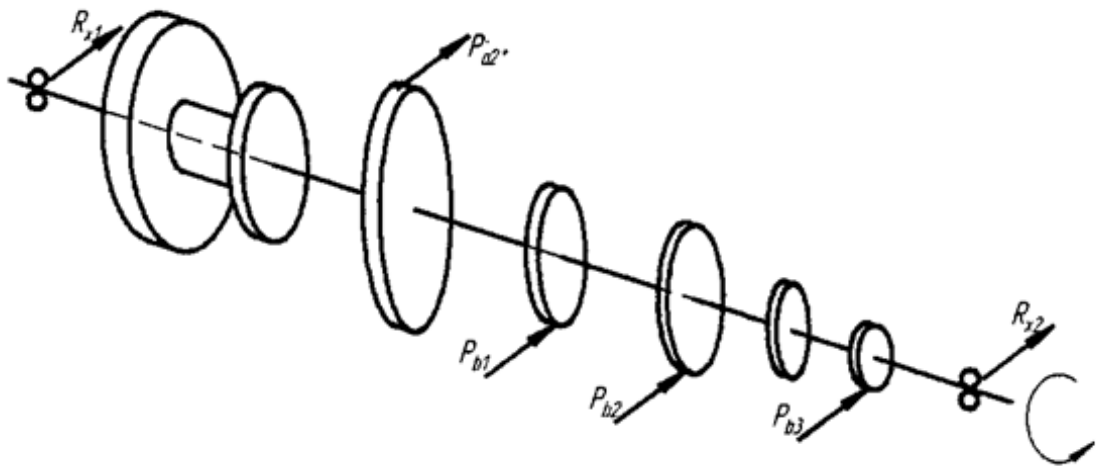


Рис.2.2. Реакції в опорах

Знаходим саму найбільшу силу, яка діє на другий вал з вала три; виходячи із наступних формул:

$$M_{зг} = P \cdot l; l_{b2} = 178 \text{ мм}, l_{b1} = 304 \text{ мм}; l_{b3} = 35 \text{ мм}$$

						Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{зг1} = 65204 \cdot 304 = 1,98 \cdot 10^7 \text{ Н/мм}$$

$$M_{зг2} = 97806 \cdot 178 = 1,71 \cdot 10^7 \text{ Н/мм}$$

$$M_{зг3} = 16001 \cdot 35 = 5,11 \cdot 10^6 \text{ Н/мм}$$

З вище приведених розрахунків виходить, що самою найбільшою силою є P_{b1} .

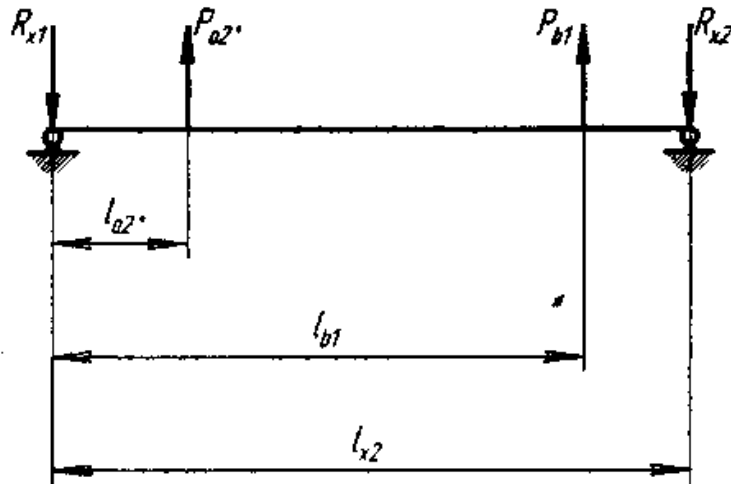


Рис.2.3. Сили, що діють

$$l_{a2} = 155,5; l_{b1} = 294; l_{x2} = 598.$$

$$\sum M1 = -P_{a2} \cdot l_{a2} - P_{b1} \cdot l_{b1} + R_{x2} \cdot l_{x2} = 0 \rightarrow$$

$$R_{x2} = \frac{P_{a2} \cdot l_{a2} + P_{b1} \cdot l_{b1}}{l_{x2}} = \frac{65204 \cdot 155,5 + 65204 \cdot 294}{598} = 49012 \text{ Н}$$

$$\sum M2 = -K_{ч1} \cdot l_{x2} - P_{a2} \cdot (l_{x2} - l_{a2}) + P_{b1} \cdot (l_{x2} - l_{b1}) = 0 \rightarrow$$

$$R_{x1} = \frac{P_{a2} \cdot (l_{x2} - l_{a2}) + P_{b1} \cdot (l_{x2} - l_{b1})}{l_{x2}} = \frac{65204 \cdot (598 - 155,5) + 65204 \cdot (598 - 294)}{598} = 81396 \text{ Н}$$

$$\text{Робимо перевірку} \quad \sum X = P_{a2} + P_{b1} - R_{x1} - R_{x2} = 0$$

$$\sum X = 65204 + 65204 - 81396 - 49012 = 0$$

2.3.3. Епюри згинних і крутних моментів

а) горизонтальна площина:

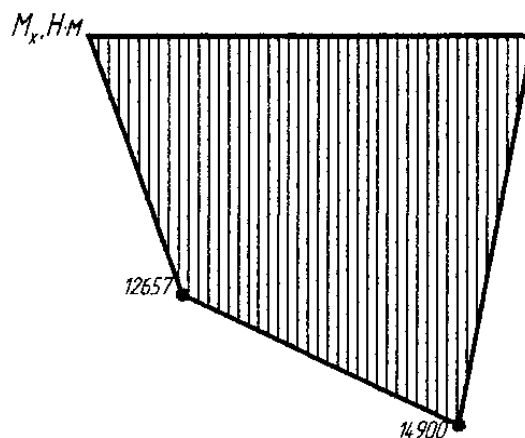


Рис.2.4. Горизонтальна площина

б) епюра крутних моментів:

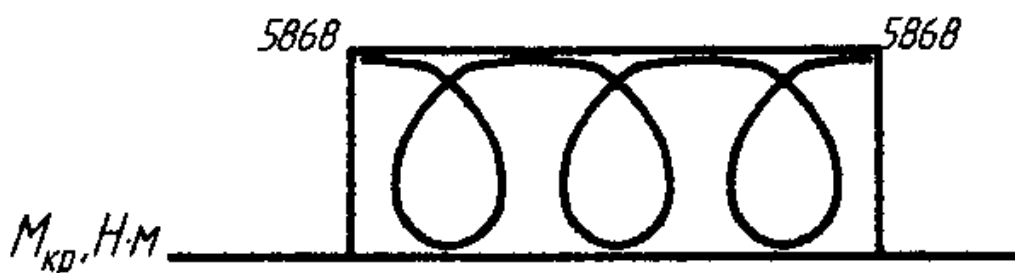


Рис.2.5. Епюра крутних моментів

2.2.4. Розрахунок приведенного (еквівалентного) моменту

З сумарної епюри видно, що критичний переріз знаходиться під колесом б3. Враховуючи це, маємо:

$$M_{пр} = \sqrt{M_{сум}^2 + 0,75 \cdot M_{кр}^2} = \sqrt{14900^2 + 0,75 \cdot 5868^2} = 15743 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

2.2.5. Розрахунок діаметра ваги в критичному перерізі

$$d = 10^3 \sqrt{M_{np} / 0,2 \cdot \sigma_3},$$

де в якості матеріалу беремо сталь 18ХГТ, яка пройшла цементацію та загартування тому $[\sigma]_3 = 400 \text{ МПа}$.

$$d = 10^3 \sqrt{\frac{15743}{0,2 \cdot 400}} \approx 44,5 \text{ мм}$$

Із стандартного ряду валів приймаємо $d_u = 45 \text{ мм}$.

VII. Розрахунок і проектування шпинделя і шпиндельного вузла

1 Розрахунок геометричних параметрів шпинделя

- Діаметр передньої опори:

$$d_1 = \frac{(dn) \cdot 10^5}{n_{\max}} = \frac{2,5 \cdot 10^5}{2800} = 89 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $d_1 = 90 \text{ мм}$

- Діаметр задньої опори:

$$d_2 = (0,6 \dots 0,8) d_1 = 0,75 \cdot 90 = 67 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $d_2 = 70 \text{ мм}$

- Відстань між опорами:

$$l = (2,5 \dots 5) d_1 = 5 \cdot 90 = 450 \text{ (мм)}$$

2 Розрахунок шпинделя на міцність

- Мінімальний діаметр пустотілого шпинделя:

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{M_{np} \cdot k}{(1 - \xi^4) \cdot 0,1 \cdot \sigma_{-1}}};$$

$M_{np} = \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + 0,75 M_{\text{кр}}^2} = \sqrt{0 + 0,75 \cdot (2,9 \cdot 10^3)^2} = 2500 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$ - приведений момент інерції;

$k = 1,2 \dots 1,5$ - коефіцієнт запасу міцності;

$\xi = \frac{d_{\text{внутр}}}{d_{\text{внешн}}}$ - відношення внутрішнього діаметра до зовнішнього

(для токарних верстатів $\xi = 0,5 \dots 0,7$);

						Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{-1} = 250 \dots 340 \text{ Н/мм}^2$$

$$d_{\text{шт}} = \sqrt[3]{\frac{2500 \cdot 1,35}{(1 - 0,6^4) \cdot 0,1 \cdot 300}} = 50,6 \text{ (мм)}$$

3. Розрахунок радіальної жорсткості шпинделя, розвантаженого від згинного згину моменту.

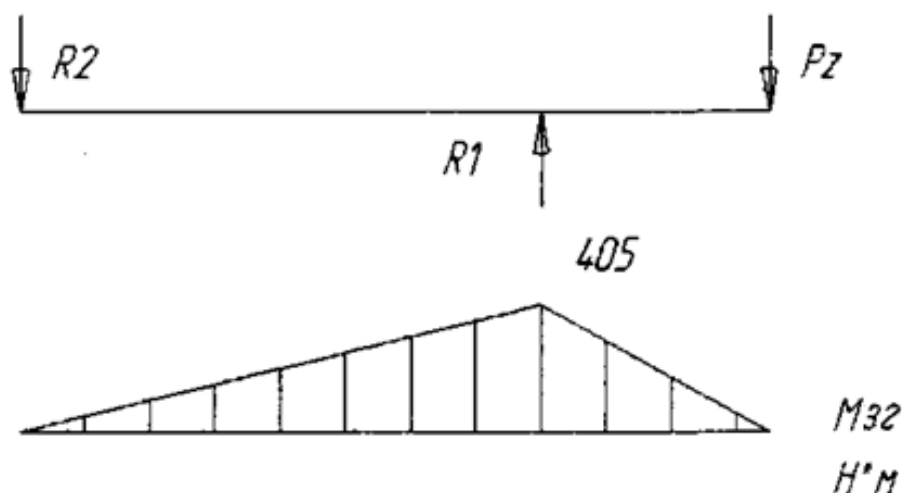


Рис.2.6. Радіальна жорсткість шпинделя

- Розрахункова схема шпиндельного вузла:

- Реакції в опорах:

$$R_1 = \frac{P_z(a+1)}{l} = \frac{4700(450+90)}{450} = 5650 \text{ (Н)}$$

$$R_2 = \frac{P_z \cdot a}{l} = \frac{4700 \cdot 90}{450} = 950 \text{ (Н)}$$

- Пружне зближення тіл кочення та кілець підшипника

а) в передній опорі:

$$\delta'_1 = k_p \cdot R_1 = 4 \cdot 10^{-7} \cdot 5650 = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ (мм)}$$

$k_p = \frac{0,4}{d \cdot 10^4} = \frac{0,4}{100 \cdot 10^4} = 4 \cdot 10^{-7}$ - коефіцієнт деформації для роликових підшипників.

б) в задній опорі

$$\sigma'_r = k_p \cdot R_2 = 8 \cdot 10^{-7} \cdot 950 = 0.8 \cdot 10^{-3} \quad (\text{мм})$$

$$k_p = \frac{0.7 - 0.002 \cdot d}{d \cdot 10^4} = \frac{0.7 - 0.002 \cdot 70}{70 \cdot 10^4} = 8 \cdot 10^{-7} \quad - \text{ коефіцієнт деформації для}$$

кулькових підшипників

- Контактна деформація поверхонь опор

а) в передній опорі:

$$\sigma'_2 = \frac{4R_1 \cdot \left(1 + \frac{d}{D}\right)}{\pi \cdot d \cdot b} = \frac{4 \cdot 5650 \cdot 0.0015 \cdot \left(1 + \frac{90}{140}\right)}{3.14 \cdot 90 \cdot 37} = 5.3 \cdot 10^{-3} \quad (\text{мм})$$

$k_g = 0.001 \dots 0.002$ - коефіцієнт деформації;

d, D, b - розміри підшипника

б) в задній опорі:

$$\delta''_2 = \frac{4R_2 \cdot k_g \left(1 + \frac{d}{D}\right)}{\pi \cdot d \cdot b} = \frac{4 \cdot 950 \cdot 0.0015 \left(1 + \frac{80}{125}\right)}{3.14 \cdot 80 \cdot 22} = 1.7 \cdot 10^{-3} \quad (\text{мм})$$

- Радіальна жорсткість

а) в передній опорі:

$$l' = \frac{R_1}{\delta'_1 + \delta'_2} = \frac{5650}{2.3 + 5.3} = 743 \quad (\text{Н/мкм}) < [l] = 2 \cdot 500 = 1000 \quad (\text{Н/мкм})$$

б) в задній опорі:

$$l'' = \frac{R_2}{\delta''_1 + \delta''_2} = \frac{950}{0.8 + 1.7} = 380 \quad (\text{Н/мкм}) = [l] = 410 \quad (\text{Н/мкм})$$

Приймаємо в передній опорі один роликовий дворядний підшипник 318118; в задній опорі два кулькових радіально-упорних однорядних 36 114.

- Податливість:

а) в передній опорі:

$$\varepsilon' = \frac{1}{l'} = \frac{1}{743} = 1.3 \cdot 10^{-3} \quad (\text{мкм/Н})$$

б) в задній опорі

$$\varepsilon'' = \frac{1}{l''} = \frac{1}{380} = 2.6 \cdot 10^{-3} \quad (\text{мкм/Н})$$

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Переміщення переднього кінця шпинделя

а) від податливості опор:

$$Y_e = P_z \left[\frac{e_1 [a(1-\varepsilon) + l^2]}{l^2} + \frac{e_2 \cdot a^2 (1-\varepsilon)}{l^2} \right] = 4700 \left[\frac{1.3 \cdot 10^6 (1-0.35) + 450^2}{450^2} + \frac{2.6 \cdot 10^6 \cdot 90^2 (1-0.35)}{450^2} \right] =$$

$$= 8.1 \cdot 10^{-3}$$

$\varepsilon = 0.35$ - коефіцієнт защемлення

б) від зсуву поперечними силами:

$$Y_G = \frac{P_z \cdot a}{G \cdot S_k} + \frac{P_z \cdot a^2 \cdot (1-\varepsilon)}{G \cdot S_m \cdot l} = \frac{4700 \cdot 90}{0.85 \cdot 10^5 \cdot 3042} + \frac{4700 \cdot 90^2 \cdot (1-0.35)}{0.85 \cdot 10^5 \cdot 1707 \cdot 450} = 2.0 \cdot 10^{-3}$$

$$S_k = \frac{\pi(D^2 + d^2)}{4} = \frac{3.14(90^2 - 55^2)}{4} = 3042 \text{ (мм)} - \text{площа січення передньої опори};$$

$$S_m = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3.14(80^2 - 55^2)}{4} = 1707 \text{ (мм)} - \text{площа січення між опорами.}$$

в) від згинних навантажень:

$$Y_n = \frac{P_z \cdot a^2}{3E} \left[\frac{(1-\varepsilon)l}{I_1} + \frac{a}{I_2} \right] = \frac{4700 \cdot 90^2}{3 \cdot 2.1 \cdot 10^5} \left[\frac{(1-0.35) \cdot 450}{5.2 \cdot 10^6} + \frac{90}{2.7 \cdot 10^6} \right] = 5.4 \cdot 10^{-3}$$

$$I_1 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} = \frac{3.14(90^4 - 55^4)}{32} = 5.2 \cdot 10^6 \text{ (мм)} - \text{момент інерції січення під}$$

передньою опорою;

$$I_2 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} = \frac{3.14(80^4 - 55^4)}{32} = 2.7 \cdot 10^6 \text{ (мм)} - \text{момент інерції січення між}$$

опорами.

- Радіальна жорсткість шпиндельного вузла:

$$l_{ш} = \frac{P_z}{Y_e + Y_G + Y_n} = \frac{4700}{8.1 + 2.0 + 5.4} = 303$$

По графіку (1, с. 161) знаходимо при $a = 90$; мм: $k = 4$; $d_{опт} = 110$ мм

Оптимальну відстань між опорами: $l_{опт} = k \cdot d_{опт} = 4 \cdot 110 = 440$ мм

- Радіальна жорсткість шпиндельного вузла при оптимальних параметрах:

					Арк.
					25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$l_{omm} = P_z \cdot a^2 \left[\frac{l(1-\varepsilon)}{3EI_1} + \frac{a}{3EI_2} \right] + \frac{P_z}{l} \left[e_1[a(1-\varepsilon)+l]^2 + \frac{e_2 a^2(1-\varepsilon)}{l} \right] + P_z a \left[\frac{1}{G \cdot S_k} + \frac{a(1-\varepsilon)}{G \cdot S_m \cdot l} \right] = 378$$

4. Розрахунок осової жорсткості шпинделя

- Осьова сила

$$F_0 = (0.25 - 0.5)P_z = 0.35 \cdot 4700 = 1700 \text{ (Н)}$$

- Пружинне зближення тіл кочення і кілець підшипника:

$$\delta'_o = k_d F_0 = 1.2 \cdot 10^{-3} \cdot 1700 = 2.04 \text{ (мкм)}$$

$$k_d = 0.75 \cdot 10^{-43} \sqrt{z^2 d} = 0.75 \cdot 10^{-43} \sqrt{15^2 \cdot 19} = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ - коефіцієнт деформації}$$

контактних поверхонь; z, d - число и діаметр тіл кочення підшипника.

- Контактна деформація кілець підшипника та корпуса опори в місцях контакта:

$$\delta_o'' = k_d F_0 \sqrt{S_k} = 0.125 \cdot 10^{-4} \cdot 4700 \cdot \sqrt{8416} = 5.39 \text{ (мкм)}$$

$k_d = 0.125 \cdot 10^{-4}$ – коефіцієнт деформації соприкосновения;

$$S_k = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3.14(125^2 - 70^2)}{4} = 8416 \text{ (мм}^2\text{)} - \text{ площа контакту}$$

- Осьова жорсткість:

$$l_o = \frac{F_o}{\delta'_o + \delta_o''} = \frac{1700}{2.04 + 5.39} = 229 \text{ (Н/мкм)} \gg l_{\text{табл}} = 220 \text{ Н/мкм}$$

Приймаємо конструкцію задньої опори - 2 радіально-упорних шарикопідшипника 36118.

5. Розрахунок точності підшипників шпиндельного вузла

- Биття переднього кінця шпинделя

$$\delta = v \cdot Y_{\text{ш}} = 1,35 \cdot 15,5 = 20,9 \text{ (мкм)}$$

$\beta = 1,35$ - для верстатів нормальної точності;

$Y_{\text{ш}} = 15,5 \text{ мкм}$ - радіальна жорсткість ШВ

- Розрахункове биття переднього кінця шпинделя:

$$\delta_p = (0,5 - 0,7)d = 0,6 \cdot 20,9 = 12,5 \text{ (мкм)}$$

- Биття вісі шпинделя в передній опорі:

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta_a = \frac{0.5 \cdot \delta_p}{\frac{a}{l} + 1} = \frac{0.5 \cdot 12.5}{\frac{90}{450} + 1} = 5.2 \quad (\text{мкм})$$

а, l - довжина консолі та міжопорна відстань відповідно

Приймаємо клас точності підшипників в передній опорі: 2

Клас точності підшипників в задній опорі приймаємо на 2-3 нижче: 5.

На рис.2.7 представлено модернізований варіант мотор-шпинделя.

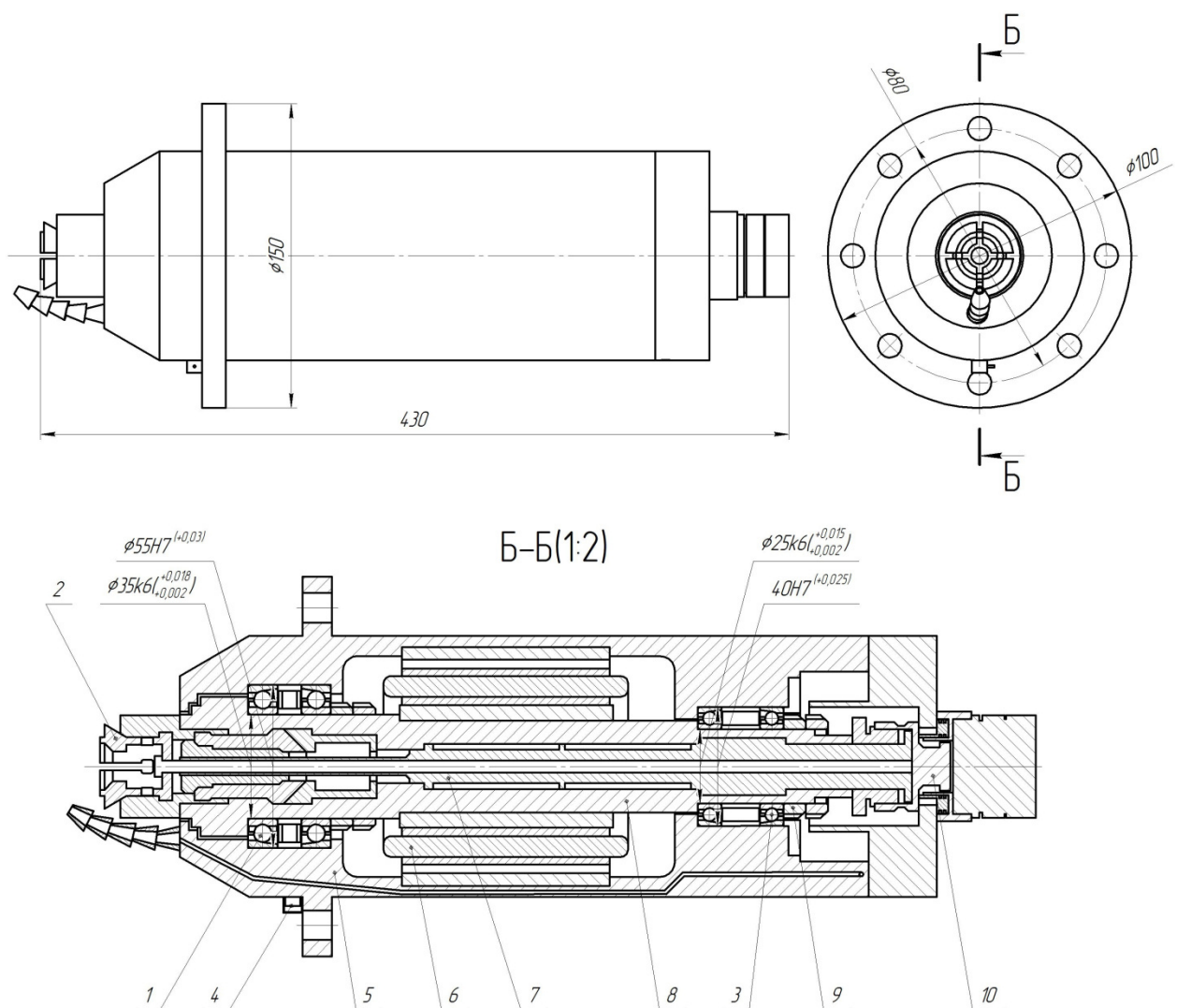


Рис.2.7. Конструкція мотор-шпинделя

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	27

3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Характеристики обраного мотор-шпинделя

Для встановлення було обрано мотор-шпиндель компанії Microlab із діаметром корпусу 100 мм. Загалом Microlab випускає п'ять типів вбудованих мотор-шпинделів із цим діаметром корпусу [3].

Особливостями конструкції мотор-шпинделів цього виробника (діаметр корпусу 100 мм) є такі [3]:

- Вологовідштовхувальне кільце: ефективно захищає шпиндель від попадання охолоджувальної рідини, запобігаючи проникненню будь-яких забруднень у лабіринт під час високошвидкісного різання.

- Лабіринт із повітряним ущільненням: позитивний тиск повітря, що виходить із лабіринту, виключає потрапляння сторонніх часток у шпиндель при високошвидкісному фрезеруванні.

- Високоєфективний спіральний охолоджувальний канал: ефективно відводить тепло від статора і підшипників, знижуючи вплив термічних деформацій на точність роботи.

- Антиабертаційне напрямне кільце: запатентована конструкція кільця забезпечує мінімізацію шумів і вібрацій динамічного балансу під час прискорення та уповільнення шпинделя.

- Контроль точності шайб: кожна шайба перевіряється на відповідність вимогам точності для забезпечення високої якості готового виробу.

- Тестування твердості критичних елементів: після термообробки ключові деталі перевіряються на твердість, щоб забезпечити їхню відповідність заданим характеристикам і знизити ризик пошкоджень під час експлуатації.

Обраний мотор-шпиндель (модель M25-GMS-FG) має інструментальний тримач відповідно до стандарту ISO25, є фланцевого типу, і здатний

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розвивати максимальну швидкість обертання 30 000 об/хв [3]. Загальний вигляд мотор-шпинделя представлені на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Загальний вигляд мотор-шпинделя

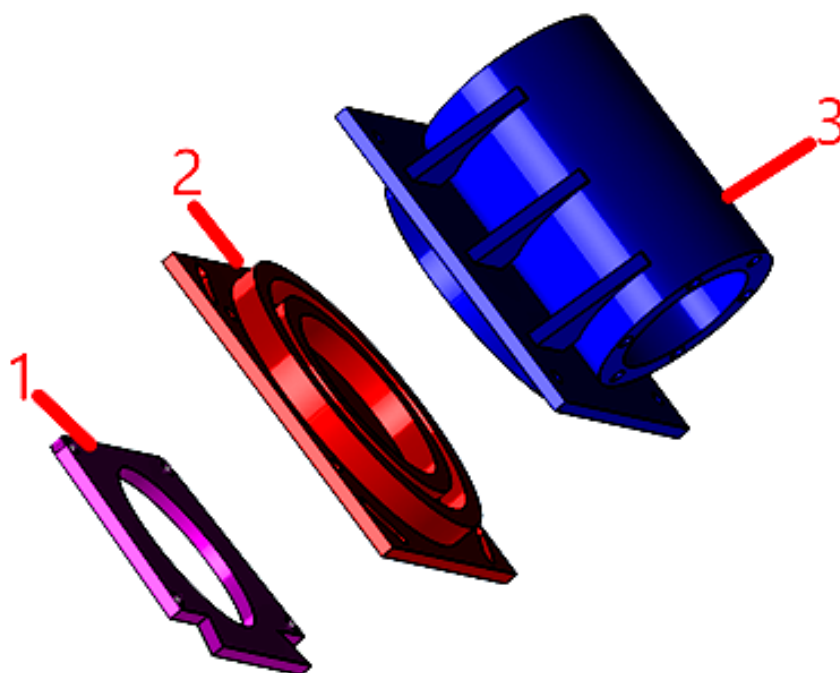


Рис. 3.2. рознесений вид вузла для встановлення мотор шпинделя на консоль верстата: 1- плита, яка кріпиться на верстат; 2 - базова деталь для установки зварного корпусу шпинделя; 3 - зварний корпус шпинделя

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Згідно з рис. 3.2, вузол для кріплення мотор-шпинделя на консоль верстата складається з трьох елементів, серед яких деталь 3 (зварний корпус) є зварною конструкцією. Для забезпечення якісного зварювання ця деталь повинна бути виготовлена з низьковуглецевої або середньовуглецевої сталі. Для виробництва зварного корпусу обрана сталь марки 35, яка є конструкційною вуглецевою сталлю. Вона застосовується для виготовлення деталей з невисокими вимогами до міцності, які витримують помірні навантаження .

Сталь 35 відповідає стандарту ДСТУ 7809 і є оптимальним вибором для цієї конструкції, оскільки у шпиндельному вузлі не передбачається значних напружень, а ключовим параметром є жорсткість. Висока зварюваність без обмежень робить її ідеальним матеріалом для зварного корпусу.

Як зазначено в літературі, ця сталь широко використовується для виготовлення осей циліндрів, колінчастих валів, шатунів, шпинделів, зірочок, тяг та інших подібних деталей.

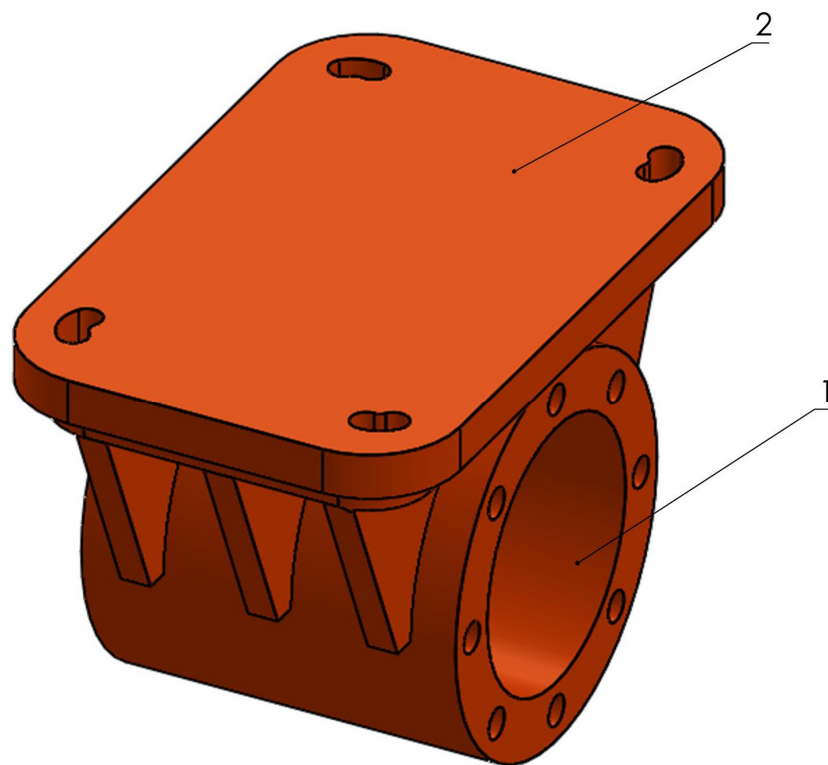


Рис.3.3. Зварний корпус

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Обґрунтування вибору виду та форми заготовки корпусу

Вибір заготовок є важливим етапом для забезпечення техніко-економічної ефективності виготовлення деталей. Раціональне рішення дозволяє оптимізувати процес обробки, мінімізуючи витрати матеріалу.

Фактори, що впливають на вибір заготовки:

1. Конструкція деталі.
2. Матеріал виробу.
3. Призначення виробу.
4. Технічні вимоги до готової деталі.
5. Річний обсяг випуску (N_p).
6. Тип виробництва.
7. Організація виробничого процесу.
8. Вартість матеріалу або напівфабрикату.
9. Собівартість виготовлення заготовки обраним методом.
10. Витрати матеріалу.
11. Собівартість виготовлення деталі із заготовки.

Пріоритет при виборі заготовки

Заготовка і метод її отримання повинні забезпечувати мінімальну собівартість виготовлення деталі. Залежно від методу отримання, собівартість може значно варіюватися. Одними з найдешевших є заготовки з прокату.

Заготовки з прокату

У машинобудуванні використовуються прокати різних форм і розмірів, зокрема гарячекатані прокати звичайної точності. Найпоширенішою формою поперечного перерізу є круги, квадрати, шестигранники, штаби, кутники, таври тощо.

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вітчизняна промисловість випускає:

- Круглий прокат: діаметром від 5 до 250 мм.
- Квадратний прокат: зі стороною від 8 до 250 мм.
- Шестигранний прокат: розміром під ключ від 3 до 100 мм.
- Товстостінні безшовні труби: діаметром від 25 до 820 мм.

Круглий прокат є найбільш поширеним у машинобудуванні через доступність і низьку вартість. Точність розмірів досягає 12-го квалітету, а матеріали доступні на ринку за невисокою ціною.

Обґрунтування вибору заготовки

Для виготовлення деталі "тримач" зі сталі 35 (ДСТУ 7809:2015) заготовка отримується шляхом зварювання кількох елементів:

1. Круглий прокат діаметром $\varnothing 140$ мм.
2. Листовий прокат для плити розмірами $250 \times 250 \times 35$ мм.
3. Листовий прокат шириною 10 мм для шести ребер жорсткості.

Обрані матеріали легко доступні на вітчизняному ринку та мають прийнятну вартість.

Технічні характеристики заготовки

- Річний обсяг випуску: 1 штука.
- Маса заготовки: 4,97 кг.
- Тип виробництва: одиничний.
- Матеріал заготовки: сталь 35.

Технологія виготовлення заготовки

1. Попередня обробка круглого прокату (створення отвору $\varnothing 94$ мм).
2. Зварювання деталей (круглого прутка, плити, ребер жорсткості).
3. Підрізка торцевих поверхонь з припуском 2,4 мм (за довідником технолога).

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна довжина заготовки визначається відповідно до розрахункових параметрів:

$$L_z = L_d + 2x_{\text{пдр}} = 200 + 2,4 = 202,4 \text{ мм}$$

де L_d – номінальна довжина деталі за робочим кресленням, мм.

Граничну відхилення на довжину заготовки встановлюємо за довідковими таблицями.

Виходячи з граничних відхилень, загальну довжину заготовки округлюємо до цілих одиниць. Приймаємо довжину заготовки 220 мм.

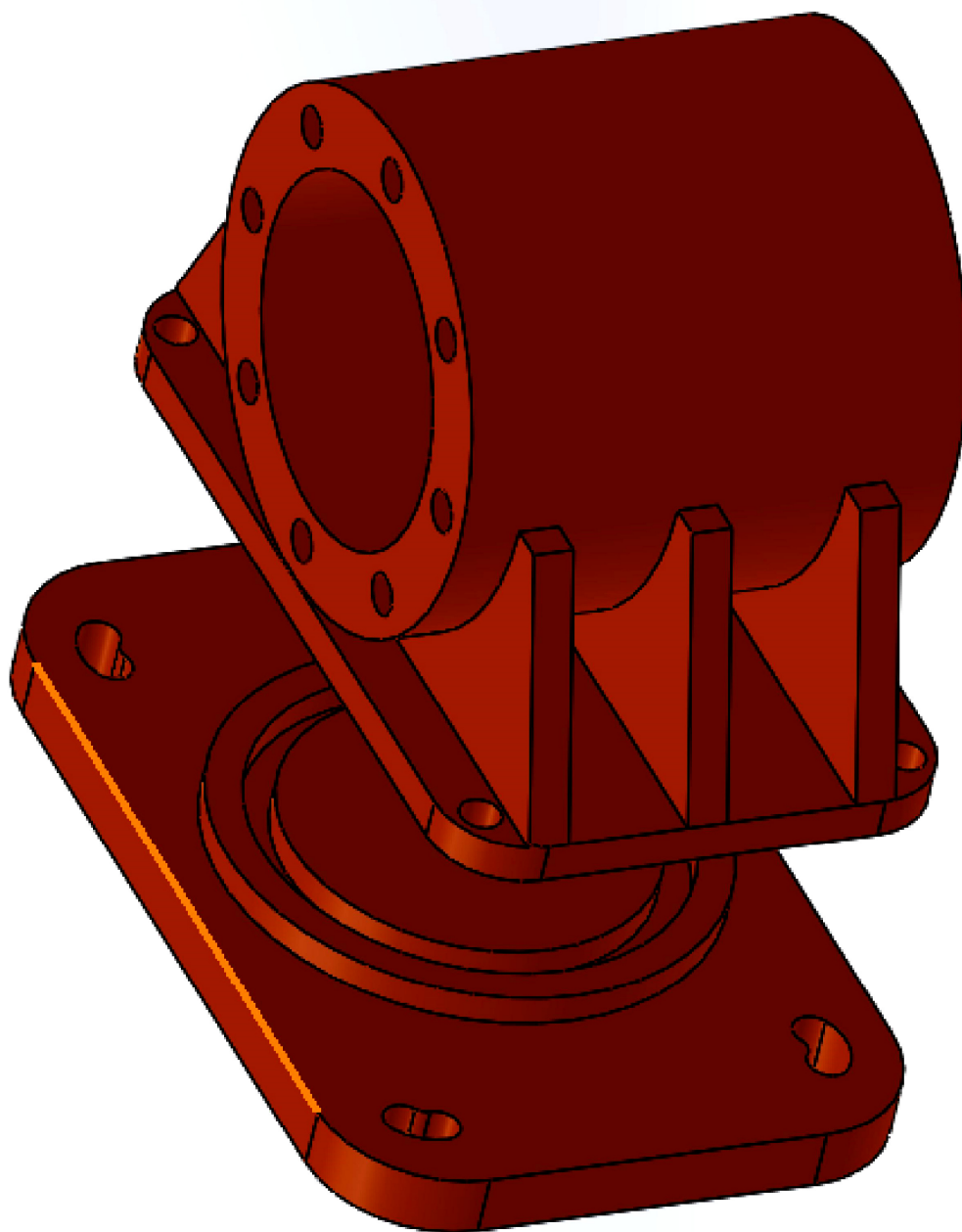


Рис.3.4. Рознесена конструкція корпусу

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3.3. Моделювання шпиндельного вузла в програмному продукті SolidWorks

Моделювання шпиндельного вузла в SolidWorks дозволило детально візуалізувати і проаналізувати модернізовану конструкцію. Основні етапи моделювання включають:

1. Створення тривимірної моделі.
2. Аналіз навантажень та деформацій.
3. Симуляція температурних режимів.
4. Оптимізація конструкції.

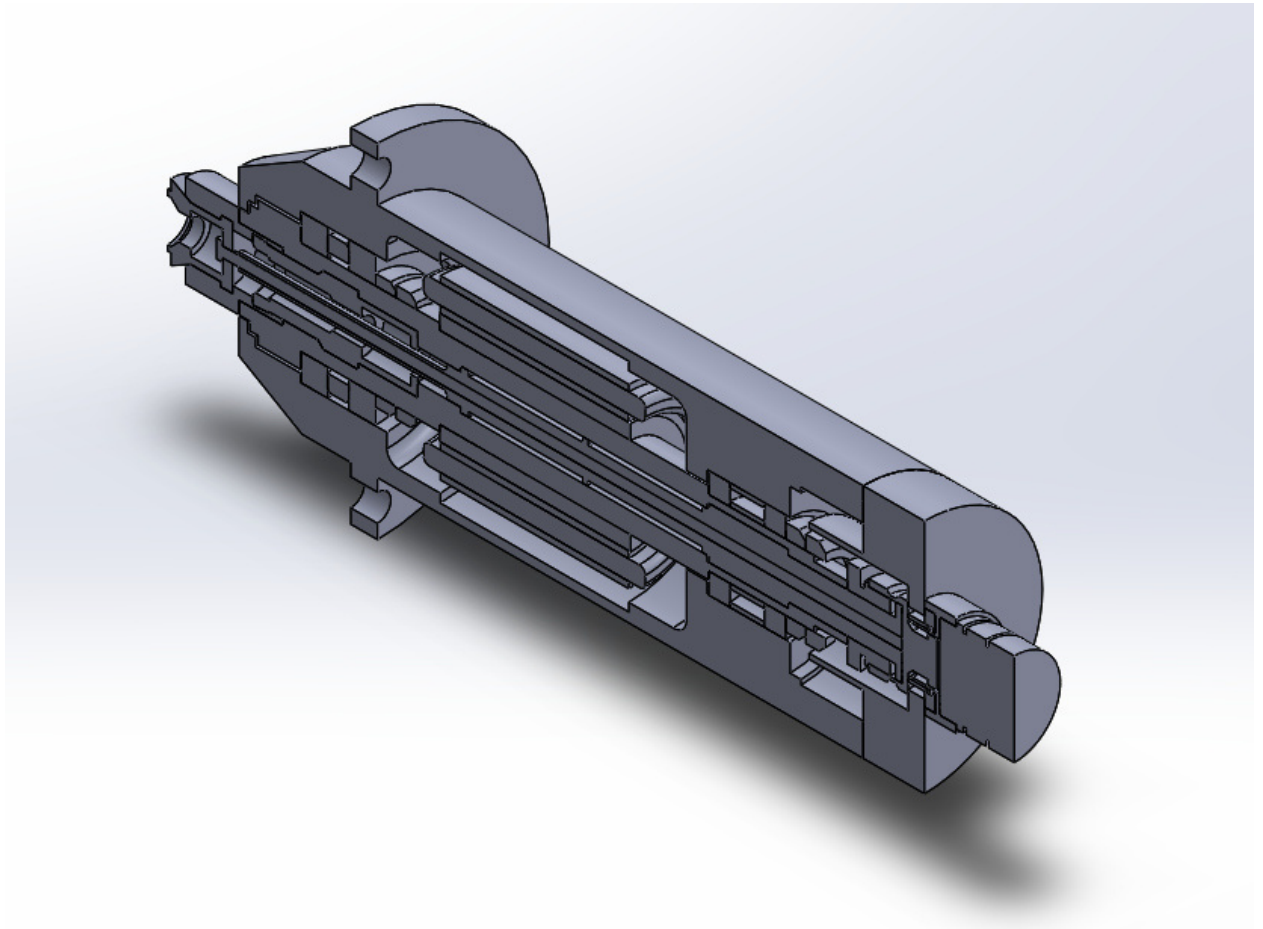
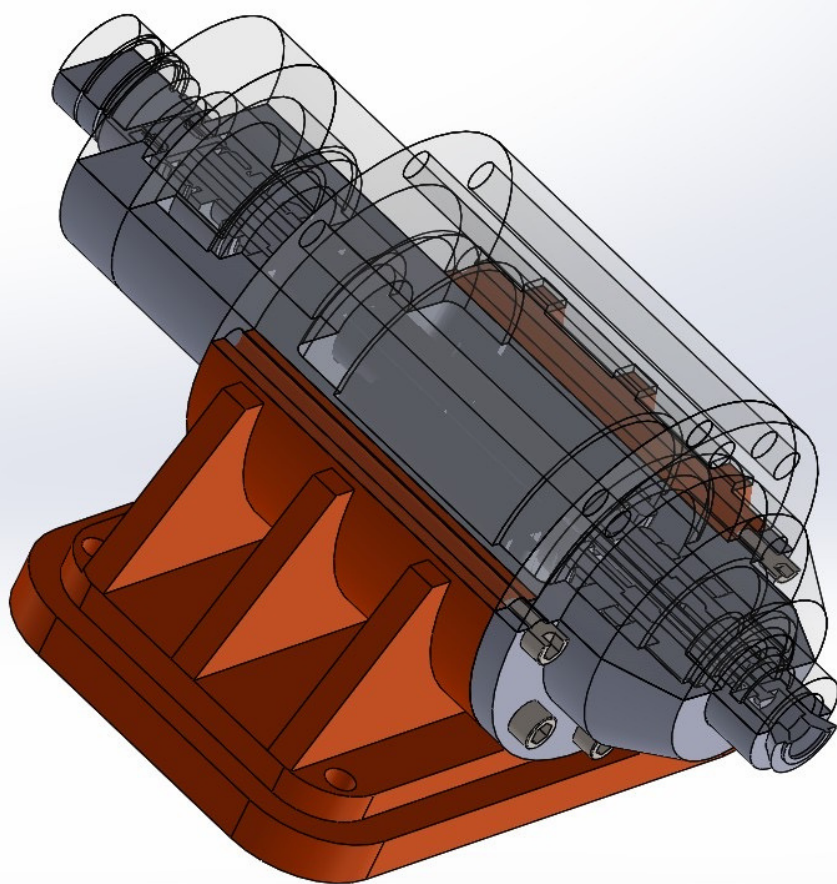
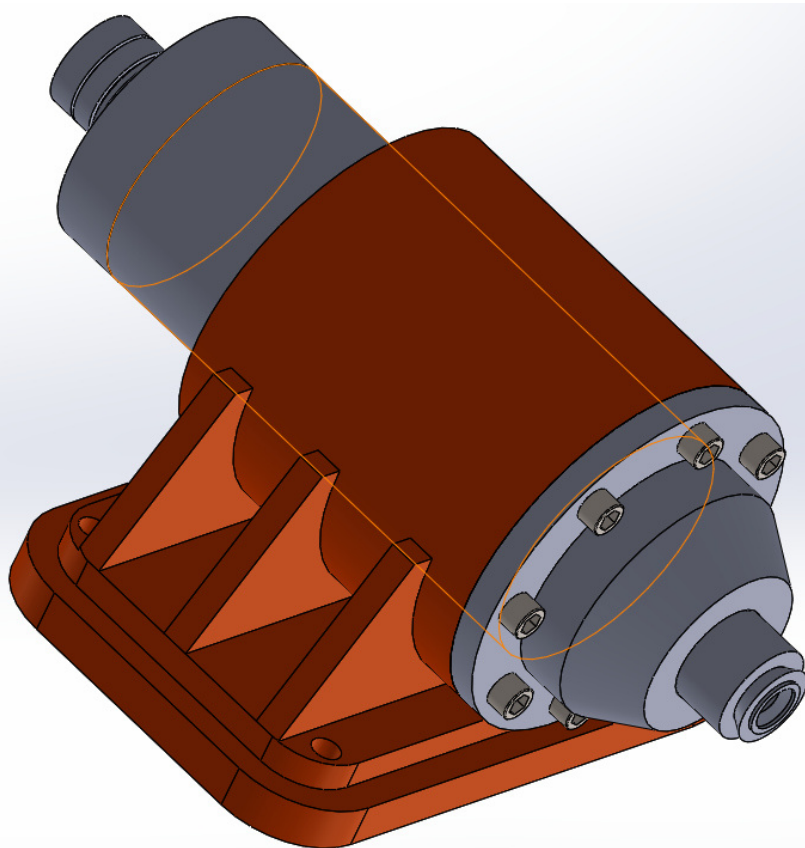


Рис.3.5. Мотор-шпиндель в SolidWorks



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

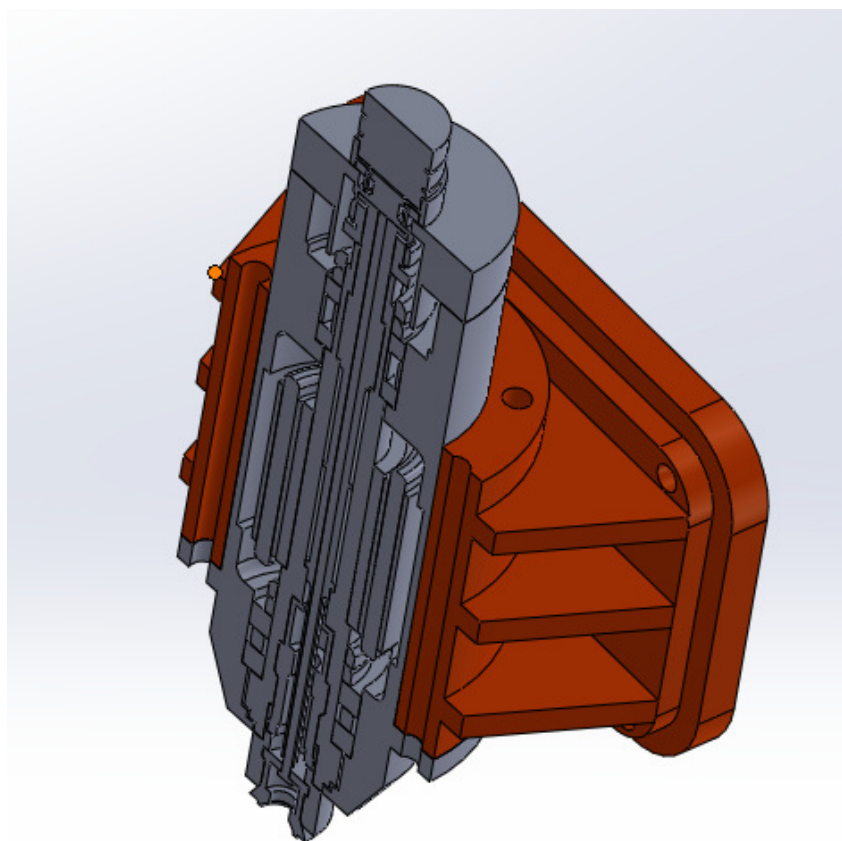
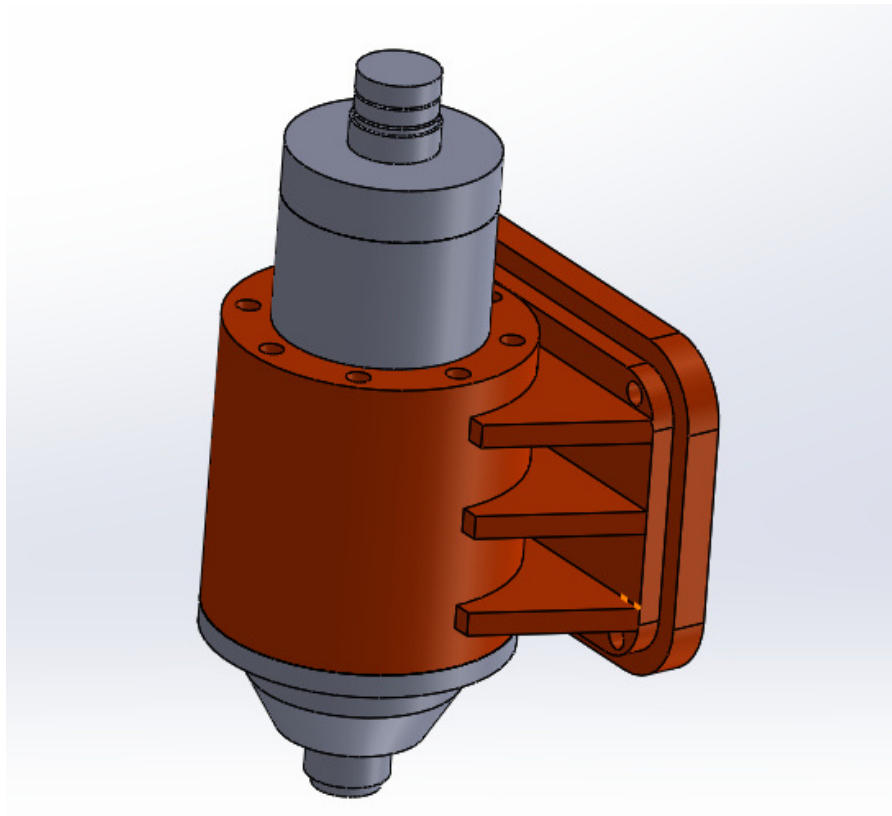


Рис.3.6. Вид вузла для встановлення мотор шпинделя на консоль верстата

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Модернізація вертикально-фрезерного верстата 6P13, спрямована на розширення його технологічного потенціалу, зокрема шляхом оновлення шпиндельного вузла, є ключовим заходом для покращення продуктивності та ефективності обробки. Проведене дослідження дозволило зробити наступні висновки:

1. Завдяки вдосконаленню шпиндельного вузла вдалося значно знизити вібрації та підвищити стабільність роботи, що забезпечило краще виконання операцій і покращило якість оброблюваних поверхонь.

2. Інтеграція новітніх технологічних рішень дала змогу істотно підвищити швидкість роботи верстата. Це дозволило значно збільшити кількість оброблених деталей за одиницю часу та скоротити витрати на виробничі процеси.

3. Завдяки модернізації шпиндельного вузла верстат став здатним обробляти ширший спектр матеріалів і виконувати більш складні операції, що зробило його більш універсальним та ефективним для різних виробничих завдань.

4. Впровадження сучасних технологій і компонентів дозволило суттєво скоротити споживання енергії верстатом. Це не лише знижує виробничі витрати, а й позитивно впливає на екологічність, зменшуючи шкідливі викиди.

5. Використання зносостійких матеріалів у конструкції шпиндельного вузла сприяло збільшенню довговічності верстата та скороченню частоти його обслуговування, що значно зменшило витрати на ремонт і технічну підтримку.

6. Інвестиції у вдосконалення шпиндельного вузла виявилися високорентабельними. Підвищення продуктивності та зниження витрат на енергоресурси і технічне обслуговування привели до значного скорочення витрат і збільшення рентабельності підприємства.

						Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Виконане оновлення вертикально-фрезерного верстата 6Р13 є важливим стратегічним кроком, який дозволяє підвищити ефективність виробничих процесів, покращити якість продукції та забезпечити конкурентоспроможність компанії. Вдосконалення сприяють довгостроковій економічній стабільності, розширенню виробничого потенціалу та мають велике значення для розвитку машинобудівної галузі.

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коротун, М.М. 2527 Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи "Кінематичний розрахунок привода металорізальних верстатів" з дисципліни "Металорізальні верстати", "Металообробне обладнання" [Текст] : для студ. спец. 6.090202, 6.090203, 6.090204 усіх форм навчання / М. М. Коротун. - Суми : СумДУ, 2009. – 23 с.

2. Коротун, М.М. 3510 Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з теми "Проектування та розрахунки привода верстатів" [Текст] : для студ. напряму підготовки 6.050503, 7.05050301, 8.05050301 усіх форм навчання / М. М. Коротун, О. В. Івченко. - Суми : СумДУ, 2013. - 35 с.

3. Пат. UA 65488 МПК В23В 47/00, В23В 19/00, (2006.01) Шпиндельний вузол верстата / Кузнецов Ю. М., Фіранський В.Б., Шинкаренко В.Ф., Гойдаєнко Ю.В.; заявник та патентовласник НТУУ «КПІ» – u 2012 11892. Заявл. 15.10.2012. Опубл. 25.04.2013, Бюл.№ 8

4. Пат. UA 69541A МПК В 24 В 41 /00, (2006.01) Шпиндельний вузол / Крижанівський В.А., Пестунов В.М., Каприця О.С. заявник та патентовласник Кіровоградський ДТУ – u2003076800. Заявл. 18.07.2003. Опубл. 15.09.2004. бюл. № 9/2004

5. Пат. UA 4408 МПК В 24Q 37 /00, (2006.01) Шпиндельний вузол / Крижанівський В.А., Пестунов В.М., Гречка А.І., Ткачук К.Ю. заявник та патентовласник Кіровоградський НТУ – u 20040503396. Заявл. 06 05 2004. Опубл. 17 01 2005, Бюл №1, 2005р.

6. Пат. UA 18847 МПК В 24 В 19 /00, (2006.01) Шпиндельний вузол / Коротун М.М., Крамаренко В.С. заявник та патентовласник СумДУ – u200606506. Заявл. 13.06.2006. Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11, 2006 р.

7. Пат. UA 16043 МПК В 24 В 19 /00, (2006.01) Прецизійний шпиндельний вузол / Данильченко Ю.М., Руденко М.А. заявник та патентовласник НТУУ КПІ – u200601638. Заявл. 16.02.2006. Опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7, 2006 р.

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Пат. UA 79058 МПК F16 В 9 /00, (2006.01) Шпиндельний вузол металорізального верстата / Пестунов В.М., Бабич В.М. заявник та патентовласник Кіровоградський НТУ – и 2012 11622. Заявл. 08.10.2012. Опубл. 10.04.2013, Бюл.№ 7.

9. <https://chipmaker.com.ua/index.php?/classifieds/item/238927-%7B?%7D/>

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		