

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Верстатне та інструментальне забезпечення виготовлення деталі «ФормаDFS3-1» та розробка формоутворюючих вузлів координатно-розточувального верстата

Виконали: студенти 4 курсу, групи MB-41

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

		Олександр ТАРАПАТА
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
		Станіслав ДОЛІШНИЙ
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Володимир КРУПА
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Володимир КОБЕЛЬНИК
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		Володимир КРУПА
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир КРУПА
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Тарапаті Олександрову Степановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Верстатне та інструментальне забезпечення виготовлення деталі
«ФормаDFS3-1» та розробка формоутворюючих вузлів координатно-розточувального верстата

Керівник роботи Крупа Володимир Васильович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 23 » 01 2025 року № 4/7-35

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Креслення та базовий технологічний процес виготовлення деталі
«ФормаDFS3-1», паспортні дані базової моделі верстата, та верстатів аналогів

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

1. Аналітичний розділ: аналіз базової моделі верстата, аналіз конструкцій та характеристик верстатів-аналогів, аналіз граничних режимів обробки. 2. Технологічний розділ: вибір і обґрунтування методу обґрунтування заготовки, структурний аналіз і синтез технологічного маршруту механічної обробки, вибір різального і вимірювального інструменту, 3. Конструкторський розділ: кінематичний розрахунок приводу головного руху, конструкторський розрахунок приводу головного руху. 4. Автоматизовані розрахунки деяких деталей: автоматизований розрахунок шпинделя 5. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.
Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1 Кінематична схема верстата – 1 ф. А1; 2. Креслення шпиндельної бабки – 2 ф. А1;

3. 3D модель шпиндельного вузла 4. Карта РТК – 1 ф. А1. Плакатні листи – 3ф.

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Олександр ТАРАПАТА

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир КРУПА

(прізвище та ініціали)

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир КРУПА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

студенту Долішному Станіславу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Верстатне та інструментальне забезпечення виготовлення деталі

«ФормаDFS3-1» та розробка формоутворюючих вузлів координатно-розточувального верстата

Керівник роботи Крупа Володимир Васильович, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 23 » 01 2025 року № 4/7-35

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Креслення та базовий технологічний процес виготовлення деталі «ФормаDFS3-1», паспортні дані базової моделі верстата, та верстатів аналогів

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

1. Аналітичний розділ: службове призначення та характеристика деталі та аналіз технічних умов на виготовлення, визначення типу та організаційної форми виробництва. 2. Технологічний розділ: аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі, вибір технологічних баз, призначення, будова і принцип роботи пристосування. 3. Конструкторський розділ: кінематичний розрахунок приводу подач, визначення передавальних відношення передач та числа зубів, конструкторський розрахунок приводу подач. 4. Автоматизовані розрахунки деяких деталей: автоматизований розрахунок вала. 5. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1 Кінематична схема верстата – 1 ф. А1; 2. Креслення коробки подач – 2 ф. А1; 3.

Пристосування – 1ф. А1, Креслення заготовки – 1ф. А3; Плакатні листи – 3 ф.

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Станіслав ДОЛІШНИЙ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир КРУПА

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тарапата Олександр Степанович, Долішний Станіслав Сергійович.
Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Верстатне та інструментальне забезпечення виготовлення деталі "Форма DFS3-1" та розробка конструкції формоутворюючих вузлів координатно - розточувального верстата»

У роботі було проведено аналіз та технічний опис базової моделі верстата, а також конструкцій та характеристик верстатів-аналогів, проведено аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі. Здійснено аналіз граничних режимів різання. Було обґрунтовано метод отримання заготовки, аналіз базового технологічного процесу та вибір технологічних баз. Виконано кінематичний та конструкторський розрахунок приводу головного руху та приводу подачі. Проведено автоматизований розрахунок вала та шпинделя в середовищі SolidWorks Simulation.

Ключові слова: заготовка, координатно-розточувальний верстат, точність, шпиндельний вузол, привод головного руху, привід подачі.

SUMMARY

Oleksandr Tarapata and Stanislav Dolishnyi. Bachelor's qualification work of on the topic: «Machine tool and instrumentation support for manufacturing the Part "Form DFS3-1" and development of the design of forming units of a jig boring machine».

The work includes an analysis and technical description of the base model of the machine tool, as well as the designs and characteristics of analog machines. An analysis of the basic technological process of manufacturing the part. The limiting cutting conditions were analyzed. The method of obtaining the workpiece was substantiated, along with an analysis of the basic technological process and the selection of technological datums. Kinematic and design calculations were performed for the main drive and the feed drive. An automated analysis of the shaft and spindle was conducted in the SolidWorks Simulation environment.

Keywords: workpiece, coordinate boring machine, accuracy, spindle assembly, main motion drive, feed drive

ЗМІСТ

ВСТУП	
1.АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	
1.1 Аналіз базової моделі верстата.....	
1.1.1 Технічний опис та призначення верстата	
1.1.2 Конструкція та характеристика верстата	
1.1.3 Опис кінематичної схеми верстату	
1.1.4 Складові частини верстата	
1.2 Аналіз конструкцій та характеристик верстатів-аналогів	
1.3 Аналіз граничних режимів обробки	
1.4 Службове призначення та характеристика деталі та аналіз технічних умов на виготовлення	
1.5 Визначення типу та організаційної форми виробництва	
1.6 Висновки по розділу, постановка мети та завдань кваліфікаційної роботи .	
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки	
2.2 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	
2.3 Вибір технологічних баз	
2.4 Структурний аналіз та синтез технологічного маршруту механічної обробки.....	
2.5 Вибір і обґрунтування технологічного обладнання і оснащення	

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ						
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата							
Розроб.		Тарапата О.С.			Зміст				Літ	Аркуш	Аркушів
Розроб		Долішній С.С									
Переір.		Крупа В.В.									
Н. контр.		Кобельник В.Р.							ТНТУ, ФМТ, МВ-41		
Зав. каф.		Крупа В.В.									

2.6	Вибір різального та вимірювального інструменту
2.7.	Розрахунок режимів різання.
2.8	Технічне нормування розробленого технологічного процесу
2.9	Визначення кількості обладнання та побудова графіків завантаження та використання
2.10	Призначення, будова і принцип роботи пристосування
2.11	Схема базування та розрахунок похибки базування
2.12	Висновки по розділу
3.	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ
3.1.	Кінематичний розрахунок приводу головного руху
3.2.	Кінематичний розрахунок приводу подач
3.3.	Визначення передавальних відношень передач та числа зубів
3.4	Конструкторський розрахунок приводу головного руху
3.4.1	Розрахунок плоскопасової передачі
3.4.2	Розрахунок плоскопасової передачі з натяжним роликком
3.4.3	Розрахунок шпиндельного вузла
3.5	Конструкторський розрахунок приводу подач
3.5.1	Визначення розрахункових навантажень
3.5.2	Розрахунок плоскопасової передачі
3.5.3	Розрахунок черв'ячної передачі
3.5.4	Проектні розрахунки зубчастих передач
3.5.5	Розрахунок другої черв'ячної передачі
3.5.6	Розрахунок передачі колесо-рейка
3.6	Опис конструкцій і роботи вузлів.....

3.6.1	Опис конструкції шпиндельної головки з шпинделем.....
3.6.2	Опис конструкції приводу подач
3.7	Висновки по розділу
4.	АВТОМАТИЗОВАНІ РОЗРАХУНКИ ДЕТАЛЕЙ
4.1	Автоматизований розрахунок вала
4.1.1	Вихідні дані
4.1.2	Результати автоматичних розрахунків
4.2	Автоматизований розрахунок шпинделя
4.2.1	Вихідні дані
4.2.2	Результати автоматичних розрахунків
4.2.3	Визначення динамічних характеристик шпинделя
4.3	Висновки по розділу
5.	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ
5.1.	Організація служби охорони праці на підприємстві
5.2.	Виробничий шум. Класифікація, вплив на оточуючих, вимоги та методи забезпечення норм безпеки
5.3.	Забезпечення пожежної безпеки. Профілактичні заходи запобіганню пожежі
5.4.	Вимоги до виробничого освітлення та його нормування

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

Координатно-розточувальні верстати посідають особливе місце у точному машинобудуванні, забезпечуючи найвищий клас точності при обробці отворів та площин у корпусних деталях, прес-формах, штампах та іншому відповідальному оснащенні. Виготовлення складних формоутворюючих деталей, якою є "Форма DFS3-1", ставить жорсткі вимоги не лише до точності самого обладнання, але й до спеціалізованого верстатного та інструментального забезпечення.

Ключову роль у досягненні необхідної якості та геометричної точності таких виробів відіграють формоутворюючі вузли верстата. Їх конструкція, жорсткість та надійність безпосередньо впливають на точність позиціонування, стабільність процесу обробки та, як наслідок, на якість і довговічність кінцевої деталі. Від ефективності цих вузлів залежить можливість реалізації складного профілю деталі "Форма DFS3-1" з дотриманням усіх конструкторських вимог.

Основною метою є створення оптимальної конструкції формоутворюючих вузлів, що забезпечить високу точність, надійність та продуктивність обробки на координатно-розточувальному верстаті. Особлива увага приділяється аналізу існуючих рішень, вибору матеріалів, а також проведенню інженерних розрахунків, що підтверджують працездатність та довговічність проекрованої конструкції.

Метою роботи є розробка верстатного та інструментального забезпечення для виготовлення деталі "Форма DFS3-1" та конструювання формоутворюючих вузлів для координатно-розточувального верстата, що забезпечать необхідну точність та якість обробки.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ						
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата							
Розроб.		Тарапата О.С.			Вступ				Літ	Аркуш	Аркушів
Розроб		Долішній С.С.									
Переір.		Крупа В.В.									
Н. контр.		Кобельник В.Р.							ТНТУ, ФМТ, МВ-41		
Зав. каф.		Крупа В.В.									

1.АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз базової моделі верстата

1.1.1 Технічний опис та призначення верстата

Координатно-розточувальний одностійковий верстат особливо точної моделі 2421 з оптичною системою відліку координат призначений для виконання чистових операцій в деталях масою до 150 кг, де потрібна особливо висока точність взаємного розташування оброблюваних отворів і поверхонь. Завдяки своїм конструктивним рішенням та широким технологічним можливостям верстат задовольняє вимоги до обробки прецизійних деталей приладобудівної, годинникової та радіотехнічної промисловості, а також інструментальних цехів інших галузей. Велика кількість приладдя та спеціальний різальний інструмент, якими комплектується верстат, розширюють його технологічні можливості.

На верстаті можна виконувати такі види робіт: свердління, розсвердлювання, розвертання і розточування отворів, підрізування торців, чистове фрезерування, точне розмічання шаблонів, контроль лінійних розмірів і міжцентрових відстаней.

Верстат оснащений простим поворотним столом, на якому можливий поділ кола на задані кути й обробка отворів, розташованих по колу.

Верстат забезпечує точність і нормальну роботу при температурі в приміщенні 20 ± 1 °C і відносній вологості не більше 55%.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ						
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата							
Розроб.	Тарапата О.С.				1. Аналітичний розділ				Літ	Аркуш	Аркушів
Розроб	Долішній С.С.										
Перевір.	Крупа В.В.								ТНТУ, ФМТ, МВ-41		
Н. контр.	Кобельник В.Р.										
Зав. каф.	Крупа В.В.										



Рис. 1.1 Загальний вигляд верстата

1.1.2 Конструкція та характеристика верстата

Верстат складається з таких основних вузлів: шпиндельної головки, шпинделя, коробки подач, колони, станини, стола та салазок, оптичних відлікових пристроїв поздовжнього та поперечного переміщення стола (рис. 1.2).

На жорсткій станині закріплена колона верстата, по напрямних якої переміщується шпиндельна головка.

Салазки розташовані на двох горизонтальних і одній вертикальній напрямних станини, а стіл — на двох горизонтальних і одній вертикальній напрямних салазок.

Електродвигун головного привода встановлений в електрошафі.

Коробка подач розташована в колоні. Для здійснення подачі шпинделя та ручного переміщення шпиндельної головки на останній встановлено дві проміжні рейки.

При такому компонуванні розточувальної групи шпиндельна головка

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

розвантажена від осьових зусиль, що виникають при різанні, значно зменшені її габарити по ширині, а також поліпшено технологічність та геометрію шпинделя.

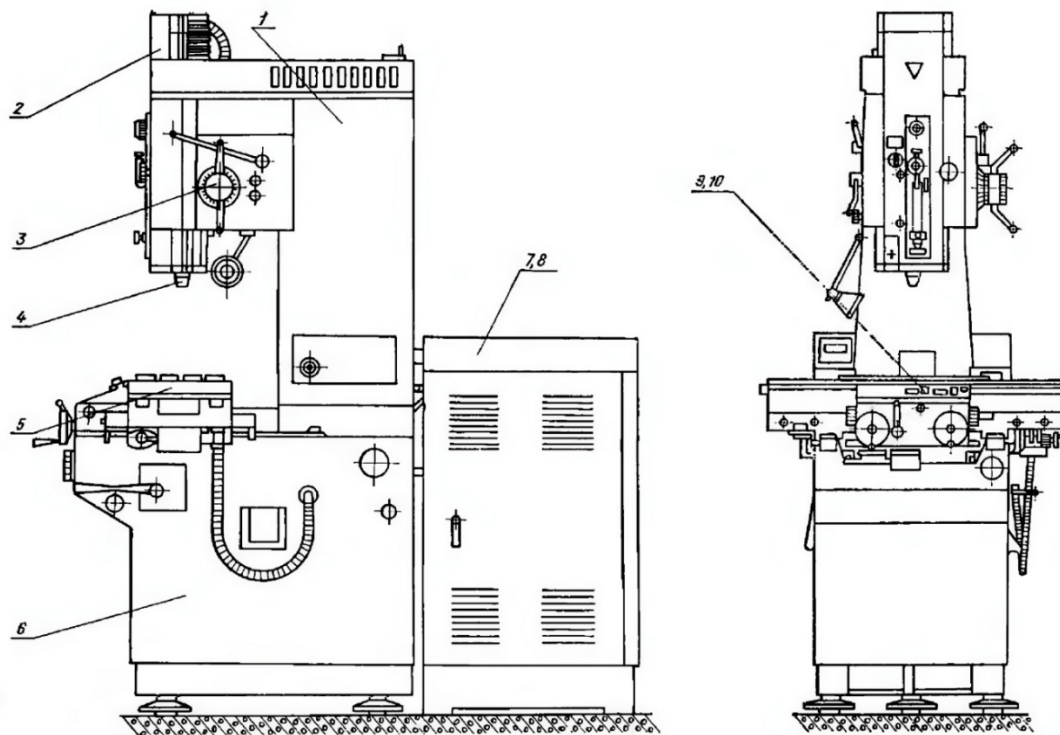


Рис. 1.2. Конструкція верстата

1 – колона; 2 – шпиндельна головка; 3 – коробка подач; 4 – шпиндель; 5 – стіл та полозки (салазки); 6 – станина; 7 – електрообладнання; 8 – електрошафа; 9 – відліковий пристрій стола; 10 – відліковий пристрій полозків (салазок)

1.1.3 Опис кінематичної схеми верстату

Шпиндель отримує обертання від електродвигуна постійного струму типу ПБС-33 через дві пасові передачі та проміжний вал II. За допомогою електропривода здійснюється плавне регулювання частоти обертання електродвигуна в діапазоні від 100 до 2250 об/хв, що відповідає швидкості обертання шпинделя від 135 до 3000 об/хв.

Автоматичний затискач інструмента здійснюється за допомогою вала XII, на якому змонтовані муфта граничного моменту та кулачкова муфта, що з'єднує вали X та XII. При обертанні шпинделя зі швидкістю близько 120 об/хв на вал X

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

нагвинчується спеціальна втулка, в яку вгвинчено хвостовик інструмента, і таким чином відбувається затискач інструмента.

Механізм коробки подач дозволяє здійснювати:

- три механічні подачі шпинделя, що перемикаються:
- грубу та тонку ручні подачі шпинделя;
- реверсування подач.

Рух передається від плоскопасової передачі обертання шпинделя через шків ($d=100$ мм), вал III, черв'ячну пару 16, 18 та вал IV. Три механічні подачі шпинделя (0,015; 0,03; 0,06 мм/об) здійснюються переміщенням блока шестерень 13, 14, 15, які входять у зачеплення відповідно із шестернями 9, 10, 11 (див. рис. 1.3 і кін. схему). Увімкнення механічної подачі шпинделя здійснюється за допомогою двох важелів 7 (див. рис. 1.3), які пересувають клин. Останній, розсовуючи спеціальне розтискне кільце, затискає черв'ячне колесо 29, яке приводить в обертання вал IX і нерухомо посаджену на ньому муфту-шестерню 27. Остання пересуває шпиндель за допомогою рейки 28.

При натисканні важелів у бік колони клин відводиться, і розтискне кільце вивільняє черв'ячне колесо 29. При повороті важелів за годинниковою стрілкою шпиндель піднімається, при повороті важелів у зворотному напрямку — опускається.

Для здійснення тонкої ручної подачі шпинделя слід відвести важелі від колони і за допомогою маховика 32 обернути вал VIII, який через черв'ячну пару 29, 30 приводить в обертання муфту-шестірню 27. Остання пересуває рейку 28, а разом з нею і шпиндель. При роботі з ручною подачею шестірня 6 виводиться із зачеплення встановленням рукоятки 10 в середнє положення.

Реверсування подачі здійснюється також за допомогою рукоятки 10 встановленням її в одне з крайніх положень. При цьому шестірня 6 входить у зачеплення безпосередньо із шестірнею 9 або через проміжну шестірню 7 із шестернею 8 і змінює напрямок обертання вала VII.

Переміщення шпиндельної головки здійснюється вручну після відтискання

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

затискачів. За допомогою рукоятки 14, що сидить на валу XIV, муфта-шестірна 26, яка знаходиться в постійному зачепленні з рейкою 25, закріпленою нерухомо на шпindelній головці, з'єднується з муфтою-шестірнею 27. Переміщення шпindelної головки проводиться важелями 7 (див. рис. 1.3) через вал IX та муфти-шестірни 26, 27.

Ручне переміщення стола здійснюється за допомогою маховика 44 (див. рис. 1.3), що сидить на валу XVI, шестерень 33, 34, гвинта 32 та гвинтової рейки 31.

Точне ручне переміщення стола здійснюється за допомогою ручки 40, що сидить на валу XV, черв'ячної пари 35, 36, шестерень 33, 34, гвинта 32 та гвинтової рейки 31.

При точному переміщенні стола необхідно за допомогою ручки 45 та клинового механізму з'єднати черв'ячне колесо 35 з валом XVI, а при грубому переміщенні — роз'єднати.

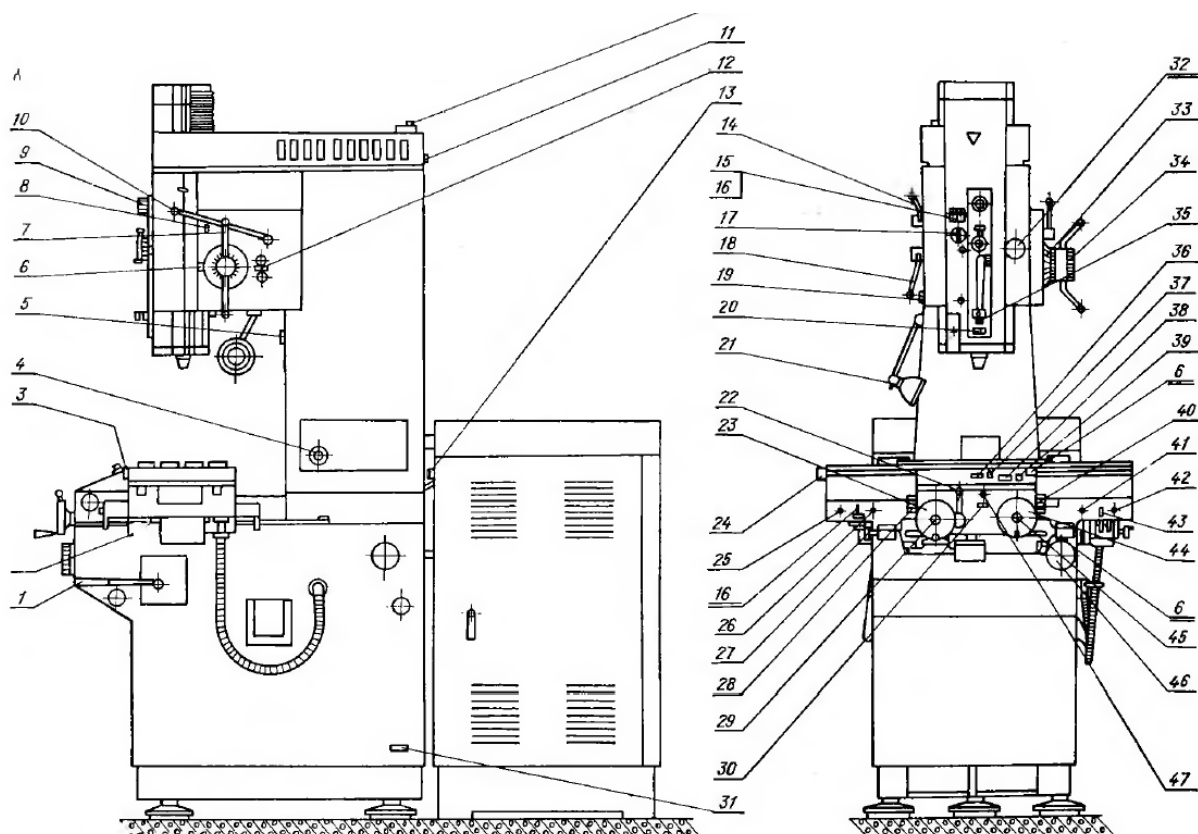


Рис 1.3 Органи управління верстату

1 — рукоятка затискання салазок; 3 — лінійка грубого відліку поздовжніх

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

координат; 4 — ручка «Скидання на нуль» поперечних координат; 5 — зливання мастила; 6 — мітка; 7 — важелі ручного переміщення гільзи та шпиндельної головки; 8 — напрямок руху; 9 — ручка ручного повороту шпинделя; 10 — рукоятка ввімкнення та реверсу механічної подачі шпинделя; 11 — пласкі приводні паси; 12 — заливання мастила; 13 — ввідний вимикач; 14 — рукоятка затискання шпиндельної головки; 15 — робоче положення шпинделя; 16 — затискання-відтискання інструмента; 17 — перемикач режиму роботи; 18 — рукоятка перемикачання подач шпинделя; 19 — подача шпинделя; 20 — затискання гільзи; 21 — вимикач місцевого освітлення; 22 — рукоятка затискання стола; 23 — маховик ручного переміщення салазок; 24 — ручка «Скидання на нуль» поздовжніх координат; 25 — кнопка «Відтискання інструмента»; 26 — кнопка «Затискання інструмента»; 27 — лінійка грубого відліку поперечних координат; 28 — ручка точного переміщення салазок; 29 — ручка ввімкнення механізму точного переміщення салазок; 30 — освітлення оптики; 31 — заземлення; 32 — маховик точного переміщення шпинделя; 33 — лімб відліку переміщення шпинделя; 34 — затискання лімба відліку переміщення шпинделя; 35 — затискання гільзи; 36 — лімб точного відліку поперечних координат; 37 — екран точного відліку поперечних координат; 38 — екран точного відліку поздовжніх координат; 39 — лімб точного відліку поздовжніх координат; 40 — ручка точного переміщення стола; 41 — кнопка «Пуск шпинделя»; 42 — кнопка «Стоп шпинделя»; 43 — обертання шпинделя; 44 — маховик ручного переміщення стола; 45 — ручка ввімкнення механізму точного переміщення стола; 46 — лімб встановлення швидкості обертання шпинделя; 47 — вимикач освітлення оптичних відлікових пристроїв.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

1.1.4 Складові частини верстата

Шпиндельна головка зі шпинделем:

Шпиндельна головка є литою жорсткою деталлю з внутрішніми ребрами. Вона включає в себе шліцьовий вал, розточувальний шпиндель, пристрій для механічного затиску інструмента, механізм ручного провертання шпинделя, проміжну рейку і механізм затиску гільзи.

Шпиндель отримує обертання від приводного шківa, змонтованого на окремому кронштейні, який закріплений на колоні, через шліцьовий вал і хрестову муфту. Ручне провертання шпинделя здійснюється ручкою при натисканні її до зчеплення конічних коліс.

Переміщення гільзи шпинделя і головки здійснюється за допомогою рейкової пари і пальця, що з'єднує рейку з гільзою.

Автоматичне відключення подачі шпинделя в крайньому верхньому і нижньому положеннях проводиться мікровимикачем, встановленим на напрямній рейці, і кулачками, вставленими в рейку. Для обмеження максимального ручного переміщення шпинделя служить вікно для пальця в корпусі шпиндельної головки.

Ручне переміщення шпиндельної головки проводять за допомогою важелів при віджатій головці. Механічне переміщення головки здійснюють включенням механічної подачі рукояткою.

Механізм затиску інструмента складається зі стержня, шомпола, кулачкової муфти, зубчастої запобіжної муфти і перемикача. Для затиску інструмента необхідно перемикач встановити в положення "Затиск інструмента". Після затиску інструмента перемикач слід встановити в робоче положення.

Механізм затиску гільзи складається зі стержня і гвинта. Управління затиском проводиться обертанням гвинта спеціальним ключем.

Підшипники шліцьового вала змащуються мастилом "ЦІАТИМ".

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Коробка подач:

Коробка подач. Коробка подач вмонтована в колону. Вона включає в себе механізми механічної подачі, реверса, перемикання подач, пристрій для включення і виключення механічної подачі та ручного переміщення рейки, верньєр для тонкої подачі гільзи, механізм виключення подачі на заданій глибині.

Включення і реверсування механічної подачі шпинделя проводиться натисканням рукоятки вгору або вниз. Перемикання подач шпинделя проводиться рукояткою, за допомогою якої пересувається штовхач з вилкою, з'єднаний з блоком шестерень.

Включення подачі здійснюється натисканням на важелі по напрямку від колони, виключення — натисканням важеля в протилежному напрямку. Ручне переміщення гільзи здійснюється обертанням важеля в потрібному напрямку. Механізм виключення подачі на заданій глибині включає: кулачок, який жорстко пов'язаний з лімбом, що визначає положення шпинделя відносно шпиндельної головки, важіль вимикача, собачку і диски. Один диск пов'язаний з вилкою перемикання шестерні, а інший — з рукояткою включення і реверсування механічної подачі шпинделя.

При свердлінні або розточуванні на задану глибину лімб встановлюють на задану координату і затискають гайкою через кільце. Включають механічну подачу шпинделя. На заданій глибині кулачок тисне на кінець важеля, другий кінець якого виходить із зачеплення з дисками; при цьому відбувається миттєве виключення із зачеплення шестерні, а тим самим вимикається і механічна подача шпинделя.

Лімб показує положення шпинделя відносно шпиндельної головки. Для визначення нульового положення шпиндель опускають вниз до упору. Лімб віджимають за допомогою гайки, встановлюють перед рисою індекса на нуль і затискають гайкою.

Переміщення шпиндельної головки проводять при віджатому затиску. При

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

цьому вмикається зубчаста муфта, виконана заодно з шестірнею. Муфту в зачепленні тримають пружини. При затиску шпindelної головки зубчаста муфта відключається.

Мастило всіх шестерень картерне, підшипники змащуються розбризкуванням. Екран покажчика рівня мастила виведений на праву сторону колони.

Колона:

В литій жорсткій колоні розміщені коробка подач, механізм затиску шпindelної головки, вантажний противагу для урівноважування гільзи зі шпинделем, вал головного привода верстата.

На верхній частині колони закріплені шківи головного привода з натяжним пристроєм, а також кронштейн для кріплення шківа обертання шпинделя. Натягування ремня здійснюють гвинтом натяжного пристрою.

При переміщенні рукоятки вгору віджимають шпindelну головку й, обертаючи важелі, переміщують рейку, а разом з нею й шпindelну головку.

Вантажний противагу гільзи зі шпинделем підвішений на велосипедному ланцюзі і направляється стержнем.

Вал головного привода закріплений на опорах.

Механізм затиску шпindelної головки складається з рукоятки, вала, голчастих підшипників, посаджених ексцентрично на валу, штоків, важелів і пружин.

Обертанням гайок змінюють величину стиснення пружин і таким чином регулюють зусилля затиску шпindelної головки.

Шпindelна головка переміщується по прямокутним напрямним. Притиск напрямних шпindelної головки до колони здійснюється підпружиненими підшипниками кочення. Осі підшипників сидять в каретці, підпираємої пружиною.

В іншій площині зазор між напрямними вибирається роликовим клином.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Регулювання зазору проводиться гвинтами, розташованими вверху і внизу клина.

На колоні встановлений обмежувач максимальних переміщень шпindelьної головки. Обмежувач виконаний у вигляді прорізу в планці, по якій переміщується палець, встановлений в шпindelьній головці.

Станина:

Основою верстата служить лита станина коробчатої форми з внутрішніми ребрами жорсткості. На задній частині станини закріплена колона. По пласким горизонтальним і плоскій вертикальній напрямним станини на роликах, заключених в сепаратори, переміщуються салазки. Напрямні кочення захищені маслом на частину висоти ролика і захищені стальними стрічками. Середні напрямні захищені від попадання стружки підпружиненими козирками.

На станині встановлена рейка для переміщення салазок. Рейка захищена телескопічними щитками.

Механізм затиску салазок складається з важелів, пружин, вала, гвинтів, гайок і важеля.

Гальмівна стрічка салазок затиснута важелями, на які діють пружини. При віджиманні салазок зусилля від важеля передається на гвинти, які діють на нижні плечі важелів, стискає пружини і звільняє гальмівні стрічки, прикріплені до салазок. В станині змонтовані віброізолюючі опори для встановлення верстата за рівнем, а також противага для врівноваження шпindelьної головки. Напрямними для противаги служать стержні.

...проміжні шестерні, гвинт з гвинтовою рейкою. Точна ручна установка стола (або салазок) здійснюється за допомогою ручки і гвинтової пари, включення якої проводиться за допомогою гайки, штока, клина і розсувного кільця.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

1.2 Аналіз конструкцій та характеристик верстатів-аналогів

Виходячи з аналізу базової моделі, аналогом може слугувати верстат, що виконує схожі високоточні [1] операції. Таким аналогом є фрезерно-свердлильно-розточувальний верстат з ЧПК, наприклад, модель 2С150ПМФ4. [2]

Переваги та актуальність верстата 2С150ПМФ4 у порівнянні з 2421:

1. Автоматизація та гнучкість виробництва:

Числове програмне керування (ЧПК) [3]: На відміну від верстата 2421 з ручним керуванням та оптичною системою відліку, верстат 2С150ПМФ4 оснащений системою ЧПК. Це кардинально змінює підхід до обробки, оскільки якість і точність визначаються програмою, а не лише кваліфікацією оператора. [4]

Багатоопераційність: Верстат 2С150ПМФ4 призначений для комплексної обробки деталей, дозволяючи виконувати фрезерування, розточування, свердління та нарізання різьби за одну установку заготовки. Це робить його ідеальним для дрібносерійного та серійного виробництва.

Автоматична зміна інструменту (АСІ): Наявність АСІ у верстаті 2С150ПМФ4 значно скорочує допоміжний час і підвищує рівень автоматизації, що є ключовою вимогою для сучасного обладнання. [6]

2. Підвищена продуктивність:

Скорочення циклу обробки: Завдяки ЧПК та АСІ верстат 2С150ПМФ4 виконує весь комплекс операцій без участі оператора, що мінімізує час на переналагодження та ручні маніпуляції. [7]

Широкий діапазон подач: Верстат має межі робочих подач від 1 до 5000 мм/хв, тоді як 2421 має лише три фіксовані механічні подачі [8]. Це дозволяє підбирати оптимальні режими різання для різних інструментів та матеріалів. [9]

Швидкі переміщення: Швидкість швидкого переміщення по осях у верстата 2С150ПМФ4 становить 12 м/хв, що значно скорочує час холостих ходів. [10]

3. Технологічні можливості:

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Обробка складних поверхонь: На верстаті 2С150ПМФ4 можна обробляти не тільки площини та отвори, але й пази та криволінійні поверхні, що значно розширює його застосування. [11]

Широкий діапазон матеріалів: Цей верстат призначений для обробки деталей із сталі, чавуну, а також кольорових та легких сплавів. [12]

Потужний привод: Потужність електродвигуна головного руху (11/15 кВт) дозволяє реалізовувати високопродуктивні режими різання. [13]

Таблиця 1.1 Порівняння характеристик верстатів

Модель верстата	2421	2С150ПМФ4
Призначення	Чистова обробка прецизійних деталей масою до 150 кг	Комплексна обробка деталей складної конфігурації із сталі, чавуну, кольорових металів
Види робіт	Свердління, розточування, фрезерування, розмітка	Фрезерування, свердління, зенкерування, розточування, нарізання різьби
Система керування	Ручне керування з оптичною системою відліку координат	Числове програмне керування (ЧПК)
Привод головного руху	Електродвигун постійного струму з плавним регулюванням	Електродвигун з безступінчастим регулюванням, що забезпечує широкий діапазон обертів
Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв	135 – 3000	28 – 3500
Подачі	Ступінчасте регулювання (3 подачі)	Безступінчасте регулювання в широкому діапазоні (1–5000 мм/хв)

Точність позиціювання, мм	0,002	0,03
Автоматизація	Відсутня автоматична зміна інструменту	Наявність пристрою автоматичної зміни інструменту (АСІ)

Переваги та актуальність верстата 2Д450АМФ2 у порівнянні з 2421:

Координатно-розточувальний верстат моделі 2Д450АМФ2 є прямим технологічним наступником верстата 2421. Він належить до того ж класу високоточного обладнання, але реалізований на базі сучасних принципів автоматизації. Аналіз цієї моделі дозволяє наочно продемонструвати переваги переходу від ручного керування з оптичними системами до числового програмного керування.

Як і його попередник, верстат 2Д450АМФ2 призначений для фінішної обробки отворів у деталях, що вимагають дуже високої точності взаємного розташування. Він також може виконувати чистове фрезерування та використовуватися як вимірювальна машина.

Привод головного руху складається з регульованого електродвигуна постійного струму потужністю 2 кВт та двоступінчастої коробки швидкостей. Діапазон частот обертання шпинделя становить від 32 до 2000 об/хв.

Приводи подач: На відміну від верстата 2421, приводи подач тут незалежні та безступінчасті. Вертикальна подача шпинделя (2-250 мм/хв) та переміщення столу здійснюються від окремих регульованих електродвигунів постійного струму.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 Порівняння характеристик верстатів

Модель верстата	Верстат 2421	2Д450АМФ2
Система керування	Ручна, з оптичною системою відліку	Числове програмне керування (ЧПК)
Автоматизація	Низька (ручна зміна інструменту)	Висока (автоматична зміна інструменту)
Привод головного руху	Двигун постійного струму + ремінна передача	Двигун постійного струму + 2-ступенева коробка швидкостей
Привод подач	Механічний від загального приводу, 3 фіксовані подачі	Незалежні регульовані електроприводи на кожну вісь
Діапазон частот обертання шпинделя	135 – 3000 об/хв	32 – 2000 об/хв
Точність установки координат	0,002 мм	0,006 мм (вручну) / 0,010 мм (за програмою)

1.3 Аналіз граничних режимів обробки

Проведемо комплексний аналіз та розрахунок максимальних значень режимів різання для різних умов обробки[14]. Метою цього дослідження є визначення оптимальних параметрів, що забезпечують найвищу продуктивність та якість обробки для комбінації різних подач, матеріалів та швидкостей[15].

Розрахунок буде проводитись шляхом варіювання наступних ключових параметрів:

Найбільший і найменший діаметр оброблюваної заготовки згідно із характеристикою верстату:

$$D_{max}=12 \text{ мм.}$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$D_{min} = 6 \text{ мм.}$$

З умов верстату будемо вибирати граничні режими різання для трьох видів матеріалів з каталогу SANDVIK:

Матеріал свердла: швидкорізальна сталь

Сталь: P01.4, HB=210 – аналог У8А

Чавун: K08.1, HB=180 – СЧ20

Алюміній: N30.22 HB=180 – аналог АК7

Подача на зуб (f_z , мм/зуб): Будуть розглянуті три значення подачі для визначення її впливу на швидкість різання та якість поверхні.

$$S_1 = 0,015 \text{ мм/зуб}$$

$$S_2 = 0,03 \text{ мм/зуб}$$

$$S_3 = 0,06 \text{ мм/зуб}$$

Частота обертання шпинделя (n , об/хв): Розрахунки будуть проведені для двох значень частоти обертання, що дозволить оцінити вплив швидкості на процес різання.

$$n_1 = 1000 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = 2200 \text{ об/хв}$$

Розрахунок режимів різання буде проводитись в програмі CoroGuide від компанії Sandvik Coromant. Всі розрахунки будуть зведені в таблицю 1.3.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

The screenshot shows the 'Drilling' software window. It includes a menu bar (File, Options, Help) and a header with the Sandvik logo and text: 'Short Hole drills Solid carbide: CoroDrill Delta-C External coolant'. The interface is divided into several sections:

- Workpiece material**: (choose either Standard and Denomination, or CMC). It includes dropdowns for National standard, Denomination, CMC No. (01.4), and Hardness (210 HB).
- Insert grade**: A dropdown menu showing '1220'.
- Parameters**: Includes input fields for Drill diameter (Dc) (12 mm), Hole depth (L) (1 mm), Cutting speed (vc) (75 m/min), Spindle speed (n) (2000 rpm), Feed (fn) (0.06 mm/r), and Feed (vf) (120 mm/min). There are also progress bars for 79% and a 'Calculate' button.
- Calculated Results**: Displays calculated values: Net power (Pc) (0.9 kW), Feed force (Ff) (703 N), Torque (Mc) (4.5 Nm), Metal removal rate (Q) (14 cm³/min), Cutting time per hole (t) (0.50 sec), and Hole depth (0.08 x Dc). A red note states: 'NOTE! You are outside the recommended area'.

At the bottom, there is a status bar showing the date '16.06.2025' and time '23:20'.

Рис. 1.4 Параметри різання чорнової обробки

Таблиця 1.3 Результати розрахунку режимів різання

№ з/п	Матеріал	Діаметр інструмента (D, мм)	Частота обертання (n, об/хв)	Подача на зуб (fz, мм/зуб)	Швидкість Різання (V _c , м/хв)	Потужність двигуна (P _c , kW)	Сила подачі (F _f , Н)	Швидкість знімання металу (Q, см ³ /хв)
1	Сталь	12	1000	0,015	38	0,3	239	2
2	Сталь	12	1000	0,03	38	0,3	410	3
3	Сталь	12	1000	0,06	38	0,5	703	7
4	Сталь	12	2200	0,015	84	0,4	239	4
5	Сталь	12	2200	0,03	84	0,6	410	8

Продовження таблиці 1.3.

6	Сталь	12	2200	0,06	84	1	703	15
7	Чавун	12	1000	0,015	38	0,1	113	2
8	Чавун	12	1000	0,03	38	0,1	194	3
9	Чавун	12	1000	0,06	38	0,2	333	7
10	Чавун	12	2200	0,015	83	0,2	113	4
11	Чавун	12	2200	0,03	83	0,3	194	7
12	Чавун	12	2200	0,06	83	0,5	333	15
13	Алюміній	12	1000	0,015	38	0,1	93	2
14	Алюміній	12	1000	0,03	38	0,1	159	3
15	Алюміній	12	1000	0,06	38	0,2	273	7
16	Алюміній	12	2200	0,015	83	0,1	93	4
17	Алюміній	12	2200	0,03	83	0,2	159	7
18	Алюміній	12	2200	0,06	83	0,4	273	15

За результатами аналізу граничних режимів обробки будемо проводити підбір двигуна та розрахунок конструктивних особливостей приводів.

1.4 Службове призначення та характеристика деталі та аналіз технічних умов на виготовлення

Відштовхуючись від робочого креслення, можна зазначити що деталь «Форма DFS3-1» є однією із складальних одиниць збірного пристосування, а

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ			Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата				

саме прес-форми, для виготовлення деталей за допомогою лиття [16]

Опираючись на класифікатор ЄСКД, нашу деталь можна віднести до класу 30, який включає складальні одиниці загального машинобудування [17].

Розглядаючи креслення деталі, можна виділити основні та допоміжні поверхні. До основних поверхонь віднесемо: формотворчі поверхні що забезпечують основний контур вилитої деталі:

- Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 31,18^{+0,03}$
- Внутрішня поверхня $\varnothing 31,18^{+0,03}$, $\angle 21,06^\circ$
- Внутрішня конічна поверхня $\varnothing 39,875^{+0,03}$, $\angle 0,58^\circ$, $l=124,37$

А також поверхні що утворюють основний контур деталі:

- Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 96$
- Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 100e10$
- Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 95$
- Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 35$
- Чотири ступінчастих отвори, які забезпечують вихід лишнього матеріалу та повітря $\varnothing 6$, $l=25$, $\varnothing 2$.
- Три різьбові отвори M14-5H6H, $l=30$ min, $l=37$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

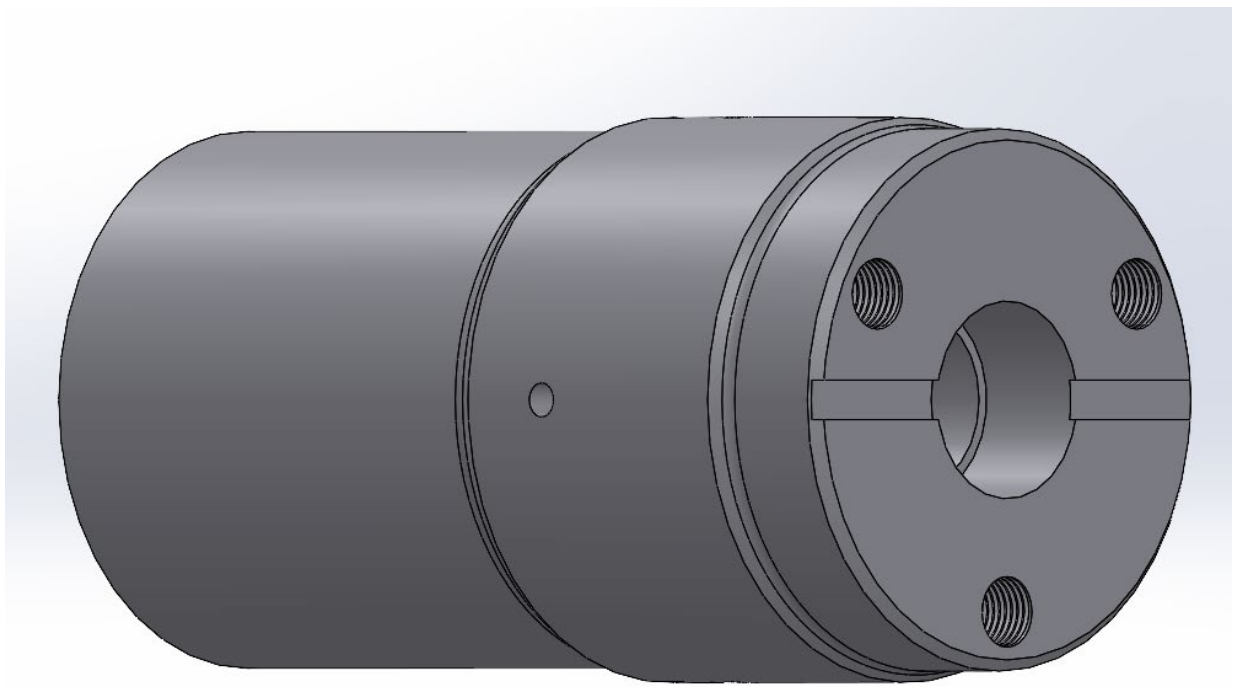


Рис. 1.5 – 3D модель деталі

Решта поверхонь є другорядними, та не приймають безпосередньої участі у формуванні утворювальної деталі. Для наглядного розуміння ТП обробки деталі складемо таблицю «Технічних вимог» де занотуємо усі поверхні що підлягають обробці разом із їхніми технічними вимогами на виготовлення. Результати зведемо у таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 - Аналіз технічних вимог

Позначення поверхні	Назва поверхні, зміст технічної вимоги	Точність	Шорсткість(мкм)
1,2	Торці зовнішні $l=190_{-0.2}$	14	Ra 2.5
3	Вн. циліндрична поверхня $\varnothing 31,18^{+0,03}$	14	Ra 0,2
4	Вн. циліндрична поверхня $\varnothing 35$	14	Ra 5.0
5	Вн. конічна поверхня $\varnothing 39,875^{+0,03}$, $\angle 0,58^\circ$, $l=124,37$	14	Ra 0,2

6	Зв. циліндрична поверхня $\varnothing 96$	14	Ra 5.0
7	Зв. циліндрична поверхня $\varnothing 100e10_{-0,212}^{-0,072}$	10	Ra 2.5
8	Зв. циліндрична поверхня $\varnothing 95$	14	Ra 5.0
9	Зкруглення R=5	14	Ra 5.0
10	Внутрішня поверхня $\varnothing 31,18^{+0,03}$, $\angle 21,06^\circ$	14	Ra 0,2
11-14	Чотири ступінчастих отвори, $\varnothing 6$, l=25, $\varnothing 2$.	14	Ra 5.0
15-17	Три різьбові отвори M14- 5H6H, l=30 min, l=37	6	Ra 5.0
18	Фаска l= 2×45°	14	Ra 5.0
19	Паз b=7, l=96	14	Ra 5.0

1.5 Визначення типу та організаційної форми виробництва

Визначаємо тип виробництва, виходячи з річної програми випуску деталей N=2500 шт. в рік передбачуваної завданням і маси деталі 9,2 кг. згідно із таблицею 1.5 тип виробництва – середньосерійне.

Таблиця 1.5. Вибір типу виробництва по програмі випуску

Тип виробництва	Число оброблюваних на рік деталей (виробів)		
	крупних (M > 50 кг)	середніх (50 кг ≥ M ≥ 1 кг)	дрібних (M ≤ 1 кг)
Одиничне	До 5	До 10	До 100
Серійне	більше 5 до 1 000	більше 10 до 5 000	більше 100 до 50000
Масове	більше 1 000	більше 5 000	більше 50000

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Для цього типу виробництва характерні наступні особливості: виробничий процес організовано за предметно-потоковою схемою, де верстати розташовуються відповідно до послідовності технологічного процесу. Кваліфікація працівників варіюється залежно від завдань, операції повторюються через певні проміжки часу, а технологічні процеси мають типовий маршрутно-операційний характер.

У роботі використовуються як універсальне, так і спеціалізоване обладнання. Оснащення є універсальним або збірно-розбірним, різальний інструмент представлений універсальними та спеціальними варіантами, а вимірювальні інструменти включають калібри й шаблони.

Заготовки для виробництва виготовляються з прокату, відливок, штамповок або кованок. Досягнення необхідної точності забезпечується застосуванням методу часткової взаємозамінності. Собівартість продукції в такому виробництві є середньою.

1.6 Висновки по розділу, постановка мети та завдань кваліфікаційної роботи

1. Внаслідок аналізу верстата-прототипа та вертатів аналогів встановлено основні принципи їх конструювання та особливості будови [18]

2. Проведено розрахунок граничних режимів різання, необхідних для виконання розрахунків формоутворюючих вузлів верстата [19].

3. Внаслідок проведеного аналізу заготовки а також типу виробництва встановлено основні поверхні для розроблення технологічних операцій, та тип виробництва-середньосерійний. [20]

Мета роботи: розробити технологічний процес виготовлення деталі «Форма» та сконструювати елементи приводу головного руху та подач координатно-розточувального верстата.

Основні завдання:

1. Провести вибір та обґрунтування методу отримання заготовки для деталі

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

«Форма»

2. Розробити технологічний процес виготовлення деталі «Форма», вибрати та обґрунтувати технологічне обладнання, різальний та вимірювальний інструменти;

3. Провести технічне нормування розробленого технологічного процесу

4. Розробити конструкцію пристосування на одну із операцій

5. Провести кінематичний розрахунок приводів головного руху та подач

6. Провести розрахунок компонентів приводу головного руху координатно-розточного верстата

7. Провести розрахунок компонентів приводу подач координатно-розточного верстата

8. Розробити конструкцію шпиндельної бабки координатно-розточного верстата.

9. Розробити конструкцію приводу подач координатно-розточного верстата

10. Провести автоматизовані розрахунки компонентів формоутворюючих вузлів координатно-розточного верстата. [21]

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки

При виборі методу виготовлення заготовки необхідно враховувати конструкцію деталі, її матеріал, а також масштаб виробництва [22]. Якщо доступно кілька варіантів, слід провести техніко-економічний аналіз для визначення найбільш доцільного методу [23].

Рішення про вибір конкретного способу виготовлення заготовки базується на техніко-економічному обґрунтуванні та розрахунку коефіцієнта використання матеріалу [24]. Перевагу надають варіанту з нижчою технологічною собівартістю виготовлення. Якщо собівартість декількох методів є приблизно однаковою, вибір здійснюється на користь заготовки з вищим коефіцієнтом використання матеріалу [25]. Техніко-економічний аналіз охоплює ретельне порівняння собівартості кожного способу отримання заготовок для прийняття оптимального рішення [26].

Сьогодні, завдяки технологічному прогресу, моделювання заготовок деталей значно спрощується за допомогою САД-систем [27]. Ці системи дозволяють автоматично визначати геометричні параметри та фізичні властивості моделі, що особливо корисно у машинобудуванні та виробництві [28].

Для деталі «Форма» змодельовано два варіанти заготовок, попередньо визначивши припуски на обробку для одного з методів виготовлення. Призначимо припуск на обробку за Е9.11 та зводимо в таблицю 2.1.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ								
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	2. Технологічний розділ			Літ		Аркуш		Аркушів	
Розроб.	Тарапата О.С.												
Розроб.	Долішній С.С.												
Перевір.	Крупа В.В.							ТНТУ, ФМТ, МВ-41					
Н. контр.	Кобельник В.Р.												
Зав. каф.	Крупа В.В.												

Таблиця 2.1 - Припуски і розміри заготовки

Оброблювана поверхня, її розмір і точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заго- товки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки з граничним від- хиленням, мм
1	2	3	4	5
Заготовка – круглий прокат				
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 100 \pm 10$	Ra 5.0	± 2	10	$\varnothing 110 \pm 2$
Торці 190h14	Ra 5.0	± 2	10	210 ± 2



Рисунок 2.1 – 3D модель заготовки

Згідно із обчислених припусків заготовки табличним методом, створюємо твердотільну модель заготовки, кованки та круглого прокату, за допомогою програмного забезпечення Solidworks. Безпосередньо у ньому обчислюємо об'єм та масу заготовки при відповідному матеріалу.

За допомогою відповідної функції визначаємо маси кожної із заготовок та зводимо в таблицю для подальшого аналізу техніко-економічної вартості.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2. Маса заготовок

Заготовка – круглий прокат
Густина = 0,01 грам/ мм ³
Маса = 14635.грама
Об'єм = 1900663 мм ³
Площа поверхні = 88121 мм ²

Собівартість заготовок визначаємо за формулою:

$$C_{\text{заг}} = \frac{C_{\text{б}} \cdot Q_{\text{заг}} \cdot K_{\text{п}}}{1000} - \frac{(Q_{\text{заг}} - q) \cdot S_{\text{відх}}}{1000} \quad (\text{грн})$$

Де $C_{\text{б}} = 126\,000$ грн/тонна (ринкова ціна);

$S_{\text{відх.}} = 10\,000$ грн/тонна;

$$C_{\text{заг1}} = \frac{126\,000 \cdot 14,6}{1000} - \frac{(14,6 - 9,2) \cdot 10\,000}{1000} = 1785 \quad (\text{грн})$$

Вибір заготовки за коефіцієнтом використання матеріалу $K_{\text{в.м.}} = 9,2 / 14,6 \cdot 100\% = 0,63$

Основні показники розрахунку заносимо в таблицю 2.3

Таблиця 2.3. Таблиця методів отримання заготовки

Назва позиції	Перший варіант
Вид заготовки	Прокат
Маса заготовки, кг	14,6
Вартість заготовки, грн	1785
Кв.м.	0,63

Приймаємо заготовку прокатом для подальшого розрахунку технологічного процесу виготовлення.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2.2 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Для наочного розуміння ТП виготовлення деталі «Маточина колеса» проведемо її аналіз. Згідно з креслеником деталі, можна зрозуміти, що заготовку можна отримати наступними методами:

- Шляхом відрізування відповідної частини матеріалу від заготовки круглого прокату зі сталі Х12МФ. [29]
- Методом вільного кування на молотах у підкладних кільцях[30].
- Штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі[31].

Щодо матеріалу, то деталь «Форма» виготовляється із інструментальної легованої сталі Х12МФ[32]. Сталь Х12МФ – це інструментальна легована сталь, яка широко використовується у виробництві деталей із високими вимогами до зносостійкості, міцності та твердості[33]. Ця сталь належить до категорії холоднотвердіючих сталей і характеризується високим вмістом вуглецю (1,45–1,75%) та додаванням легуючих елементів, таких як хром (11–13%), молібден (0,4–0,6%) та ванадій (0,15–0,3%). Ці легуючі елементи суттєво покращують її механічні властивості. Сталь Х12МФ є популярним матеріалом у машинобудуванні та інструментальному виробництві. Вона використовується для виготовлення:

- матриць та штампів для холодного штампування;
- ножів, різців та інших ріжучих інструментів;
- шестерень, валків, втулок та інших деталей, що працюють в умовах тертя.

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу наведено у таблицях нижче.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4. Хімічний склад сталі Х12МФ відповідно до ДСТУ 3953-2000,
%

C	Mn	Mo	V	Cr	S	Ni	Cu
1.45 – 1.65	0.10-0.6	0.4-0.6	0.15-0.3	11-12.5	≤0.015	≤0.4	≤0.3

Таблиця 2.5. Механічні властивості сталі Х12МФ відповідно до ДСТУ 3953-2000

Стандарт	Твердість, МПа	Тимчасовий опір розриванню, МПа	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %
ДСТУ 3953- 2000	255	710	44	68

Також складемо таблицю короткого опису базового ТП виготовлення деталі, де зазначимо усі операції, вміст операції, відповідне базування та устаткування.

Таблиця 2.6. Короткий опис наявного технологічного процесу виготовлення деталі.

№ п/п	Найменування операцій	Вміст операцій	Особливості базування заготовки	Устаткування
1	2	3	4	5
005	Відрізка заготовки	Отримання заготовки шляхом відрізання від прутка	—	Пила

№ п/п	Найменування операцій	Вміст операцій	Особливості базування заготовки	Устаткування
1	2	3	4	5
010	Токарна з ЧПК	Підрізка торців заготовки. Свердління, розточування отвору. Попереднє та остаточне точіння зовнішніх, внутрішніх циліндричних поверхонь.	В трьохкулачковий патрон	Токарний верстат моделі 16K20Ф3 з ЧПК
015	Токарна з ЧПК	Підрізка торців заготовки. Попереднє та остаточне точіння, розточування зовнішніх, внутрішніх циліндричних поверхонь.	В трьохкулачковий патрон по зовнішньому контуру	Токарний верстат моделі 16K20Ф3 з ЧПК
020	Вертикально свердлильна	Свердлити отвори по кондуктору	Пристосування спеціальне	Станок координатно розточний моделі 2A430
025	Фрезерна з ЧПК	Фрезерування пазу, свердління отворів, нарізання різі	Прижими прихвати, патрон	Фрезерний верстат моделі Bridgeport MDI 1 з ЧПК
030	Термічна	Загартувати деталь до відповідної твердості	—	Піч
035	Внутрішньо- шліфувальна	Шліфувати вн. циліндричну поверхню	Планшайба, патрон	Внутрішньшліфувальний верстат моделі 3A227

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

№ п/п	Найменування операцій	Вміст операцій	Особливості базування заготовки	Устаткування
1	2	3	4	5
040	Контрольна	Перевірити розміри	—	Стіл контролера

2.3 Вибір технологічних баз

Вибір схеми базування та закріплення відіграє вирішальну роль у зменшенні похибки обробки деталі [34]. Під час вибору технологічних баз слід дотримуватися таких правил:

- Необроблені поверхні можна використовувати як бази лише на перших операціях. [35]
- Як технологічні бази слід вибирати поверхні достатніх розмірів, які забезпечують високу точність базування і жорсткість закріплення заготовки в пристосуванні [36].
- Базові поверхні повинні мати вищий клас точності та найменшу шорсткість.
- Необхідно дотримуватись принципу єдності баз, тобто поєднувати технологічну, вимірювальну та конструкторську бази [37].
- Слід дотримуватись принципу постійності баз.

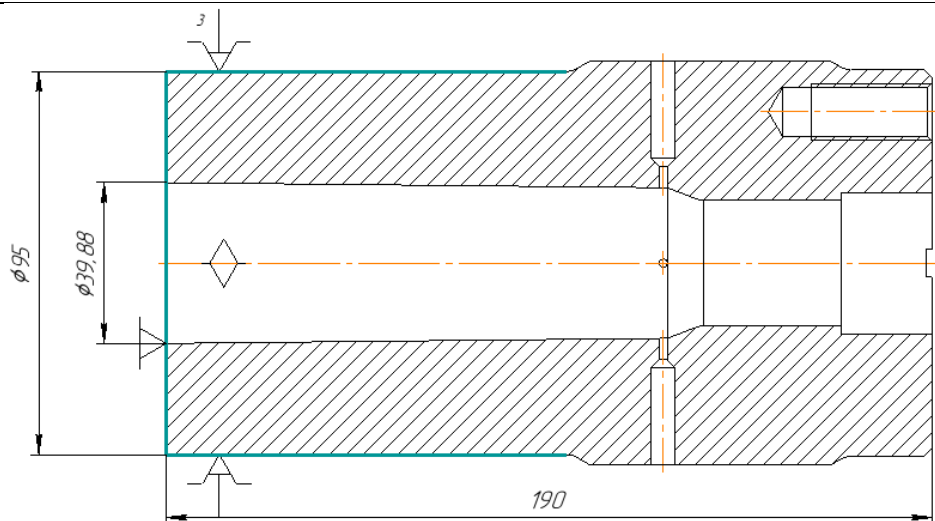
Підбір технологічних баз для обробки деталі "Фланець" залежить від необхідності забезпечення точності геометричних параметрів і зручності закріплення деталі на кожному етапі обробки.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

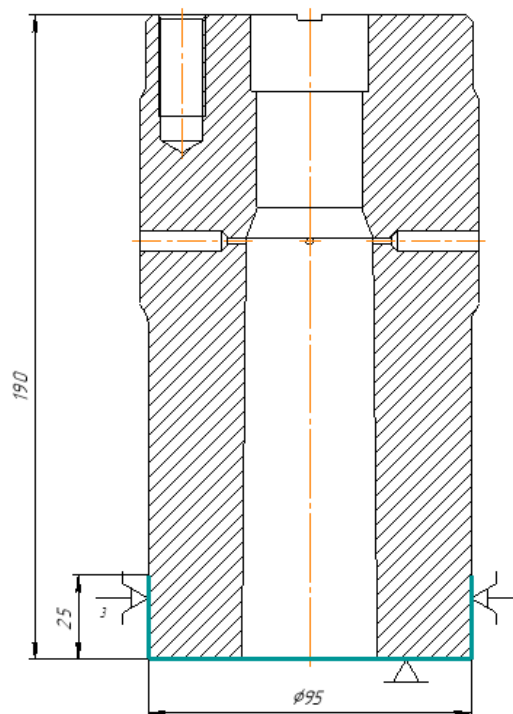
Таблиця 2.7. Вибір схем базування деталі

Номер ТО	Схема базування
005 Токарна з ЧПК Первинне базування відбувається по не оброблених поверхнях деталі. У цій операції воно здійснюється по одному із зовнішніх уступів	
010 Токарна з ЧПК Базування під час другої ТО відбувається по поверхнях які обробили на першій ТО. По зовнішній циліндричній з упором в торець деталі.	

015 Вертикально-свердлильна
Базування
відбувається на
зрізаний конічний
палець, з упором
в торець деталі та
зажимом по зв.
поверхні



020 Фрезерна з
ЧПК
Базування в
патрон по звн.
цил. поверхні та з
упором в торець

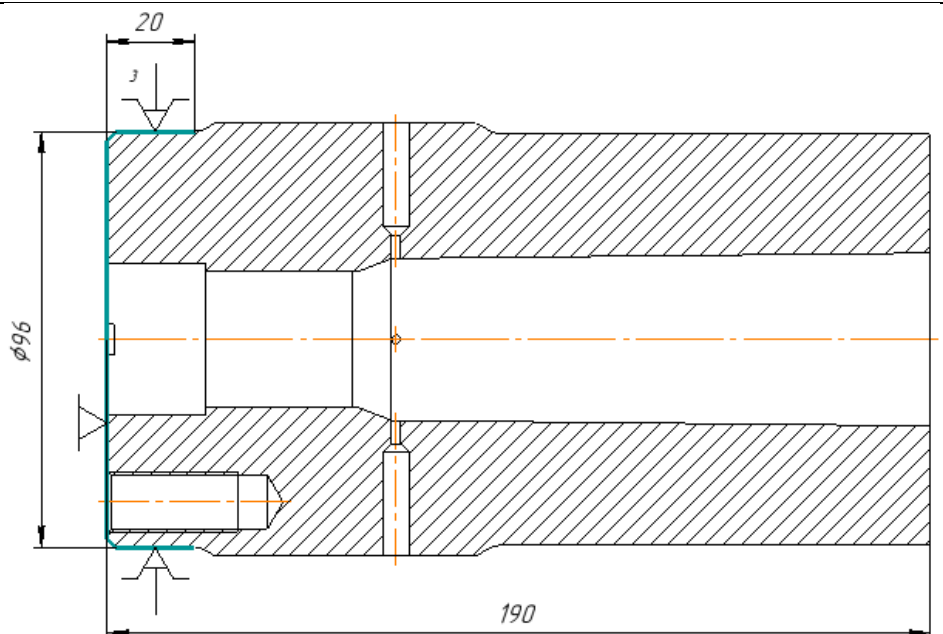


Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ

Арк

025 Внутрішньо-
шліфувальна
Базування в
патрон по звн.
цил. поверхні та з
упором в торець



2.4 Структурний аналіз та синтез технологічного маршруту механічної обробки

Структурний аналіз технологічного маршруту включає в собі розробку операційної технології на заданий ТП виготовлення, попередній вибір устаткування та технологічного оснащення [38]. Метою цього етапу є розкриття недоліків та можливостей покращення ТП як такого [39]. Аналізуючи поверхні деталі можемо сказати що майбутній маршрут буде таким:

Операція 005 Токарна з ЧПК

1. Встановити та закріпити заготовку;
2. Підрізати торець 1 витримуючи розмір $l=195_{-0.2}$;
3. Центрувати деталь
4. Свердлити центральний отвір 3 в розмір $\varnothing 15$, $l=195$
5. Розсвердлити отвір 3 в розмір $\varnothing 25$, $l=195$
6. Остаточного розточити вн. ступінчасту поверхню 4 в розмір $\varnothing 35$, $l=22,5$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

7. Контурно точити зв. циліндричні поверхні 6, 7, 8 витримуючи розмір $\varnothing 96, \varnothing 100, \varnothing 95 \text{ } l=195_{-0,2}$;

8. Точити фаску 18 витримуючи розмір $l=2 \times 45^\circ$;

9. Зняти деталь.

Операція 010 Токарна з ЧПК

1. Установити та закріпити деталь;

2. Підрізати торець 2 витримуючи розмір $l=190_{-0,2}$;

3. Точити зв. циліндричну поверхню, 8 витримуючи розмір $\varnothing 96$;

4. Розточити отвір 3 витримуючи розмір, $\varnothing 31,28^{+0,03}$;

5. Розточити фасонну поверхню 5 витримуючи розмір, $\varnothing 39,89^{+0,03}$, $l=124.37 \pm 0.1$, $\angle 0,58^\circ$;

6. Розточити фасонну поверхню 10 витримуючи розмір, $\varnothing 37^{+0,03}$, $l=9 \pm 0.1$, $\angle 21.06^\circ$;

7. Зняти деталь.

Операція 015 Вертикально свердлильна

1. Установити та закріпити деталь в пристосування;

2. Свердлити отвори 11-14 витримуючи розмір $\varnothing 6, l=24 \pm 1$;

3. Свердлити отвори 11-14, $\varnothing 2$;

4. Зняти деталь.

Операція 020 Фрезерна з ЧПК

1. Установити та закріпити деталь

2. Фрезерувати паз 19 витримуючи розмір $b=7, l=100$;

3. Свердлити отвори 15-17 під різь М14-5Н6Н, витримуючи розмір, $\varnothing 12,5, l=37^{+1}$;

4. Нарізати в отворах 15-17 різь М14-5Н6Н;

5. Зняти деталь.

Операція 025 Внутрішньо-шліфувальна

1. Установити та закріпити деталь;

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2. Шліфувати отвір 3 в розмір $\varnothing 31,18^{+0,03}$;
3. Шліфувати вн. фасонну поверхню 10 в розмір $\varnothing 37^{+0,03}$, $\angle 21.06^\circ$;
4. Шліфувати вн. фасонну поверхню 5 витримуючи розмір, $\varnothing 39,875^{+0,03}$ $\angle 0,58^\circ$, $l=124.37 \pm 0.1$;
5. Зняти деталь.

Операція 030 Контроль

Контролювати розміри відповідно до креслення

Остаточно визначившись із кількістю операцій, та маршрутом обробки можемо попередньо визначити верстати, що потрібні для обробки деталі.

Для операції 005 –Токарна з ЧПК, вибираємо токарний верстат моделі 16K20Ф3 з ЧПК.

Для операції 010 – Токарна з ЧПК, вибираємо токарний верстат моделі 16K20Ф3 з ЧПК.

Для операції 015 – Вертикально-свердлильна, вибираємо станок координатно розточний моделі 2A430.

Для операції 020 – Фрезерна з ЧПК, обираємо фрезерний верстат моделі Bridgeport MDI 1 з ЧПК.

Для операції 025 – Внутрішньо шліфувальна, обираємо внутрішньо шліфувальний верстат моделі 3A227

Ці верстати здатні забезпечити необхідні вимоги до обробки поверхонь. Для умов середньосерійного виробництва цей метод обробки є найбільш доцільним. Це пояснюється тим, що вартість обладнання не є надмірно високою, що дозволяє швидко окупити інвестиції у виробництво

Серед переваг варто відзначити доступність і помірну ціну інструментів. На основі цих аргументів обрано перший варіант технологічного маршруту обробки із застосуванням універсальних верстатів.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2.5 Вибір і обґрунтування технологічного обладнання і оснащення

Обладнання обирається на основі ключового критерію, який найкраще відповідає його функціональному призначенню та технічним можливостям [40]. Основним фактором є тип обробки, для якого призначено верстат, відповідно до його робочих задач[41]. Другим важливим критерієм виступають габарити робочої зони верстата, які повинні відповідати розмірам заготовки з урахуванням розмірів пристосувань. Третім критерієм є відповідність обладнання необхідним вимогам точності обробки.

При виборі пристосувань до уваги беруться технічні характеристики деталі, кількість оброблюваних елементів, необхідний рівень продуктивності, а також вимоги до безпеки та умов праці. Не менш важливими є витрати на виготовлення та експлуатацію пристосувань.

Беручи до уваги конструкцію деталі, технічні вимоги, етапи та методи обробки деталі «Маточина колеса», а також тип виробництва, в технологічному процесі буде використано відповідне обладнання та оснащення з необхідними технічними характеристиками.

Таблиця 2.8. Вибір обладнання та оснащення

№ Т.О.	Назва операції	Назва та модель верстату	Пристосування
005	Токарна з ЧПК	Токарний верстат моделі 16K20Ф3	Трьохкулачковий патрон самоцентрівний
010	Токарна з ЧПК	Токарний верстат моделі 16K20Ф3	Трьохкулачковий патрон самоцентрівний
015	Вертикально-свердлильна	Станок координатно розточний моделі 2А430	Пристосування спеціальне

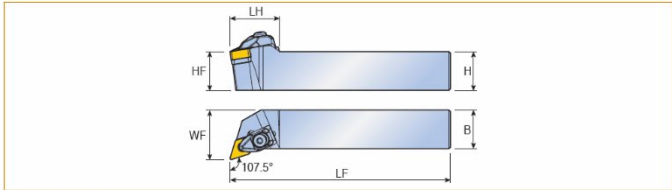
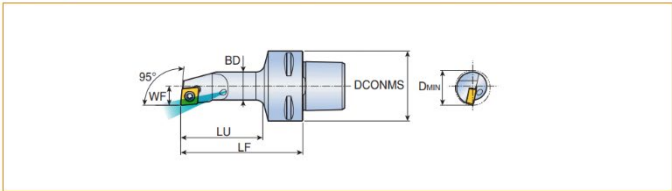
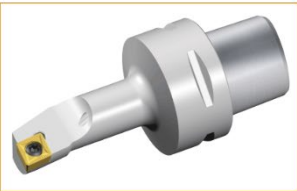
					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

020	Фрезерна з ЧПК	Фрезерний верстат моделі Bridgeport MDI 1 з ЧПК	Прижими прихвати, патрон
025	Внутрішньо-шліфувальна	Внутрішньо шліфувальний верстат моделі 3A227	Планшайба, патрон

2.6 Вибір різального та вимірювального інструменту

Після аналізу попередніх аспектів, та враховуючи середньосерійний характер виробництва, вибраних методів обробки, характеристик станків та розмірів деталі, ми приступаємо до вибору оптимальних різальних, допоміжних та контрольно-вимірювальних інструментів [42]. Отримані результати та вибрані параметри будуть детально задокументовані та внесені до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9. Вибір різального, допоміжного та вимірного інструменту

Різальний інструмент для операцій 005 та 010 «Токарна з ЧПК»																										
2,7,8	 Right-hand shown Item Designation: TDQNL 2525 M1305																									
6	 Item Designation: C5-SCLCL-11070-09 <table border="1"> <thead> <tr> <th>SS</th><th>DCONMS</th><th>LF</th><th>LU</th><th>WF</th><th>BD</th><th>DMIN</th><th>$\frac{D}{k_0}$</th><th>MIID</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td><td>50.00</td><td>70.00</td><td>46.0</td><td>11.00</td><td>16.00</td><td>20.00</td><td>0.49</td><td>CCMT 09T308 MT</td></tr> </tbody> </table>				SS	DCONMS	LF	LU	WF	BD	DMIN	$\frac{D}{k_0}$	MIID	50	50.00	70.00	46.0	11.00	16.00	20.00	0.49	CCMT 09T308 MT				
SS	DCONMS	LF	LU	WF	BD	DMIN	$\frac{D}{k_0}$	MIID																		
50	50.00	70.00	46.0	11.00	16.00	20.00	0.49	CCMT 09T308 MT																		
3																										

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ			Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата				

Technical drawing of a twist drill bit showing various dimensions and labels:

- PL**: Point length (distance from tip to start of flutes)
- DC_{k7}**: Shank diameter (indicated by a dimension line and a note)
- LU**: Length of use (distance from tip to start of thread)
- LPR**: Length of product (distance from tip to end of thread)
- OAL**: Overall length (distance from tip to end of shank)
- LS**: Length of shank (distance from start of thread to end of shank)
- DF**: Drill diameter (indicated by a dimension line and a note)
- DCONMS_{h6}**: Thread specification (indicated by a dimension line and a note)



Q

DCN f	DCX f	DCONMS	DF	LU	LPR	LS	OAL	SSC f	PL	MIID
15.00	15.90	20.00	25.00	122.0	143.7	50.0	193.70	15	2.27	TCD-150-P

Technical drawing of a tapered shaft. The shaft is shown in a perspective view, tapering from left to right. The left end is labeled 'DC' and has a small yellow component. The right end is labeled 'DCONMSH6' and 'CNT'. The shaft has a central hole. Dimensions are indicated by arrows: 'LU' is the length of the tapered section, 'LPR' is the length of the tapered section plus the length of the cylindrical section, 'OAL' is the overall length, 'LS' is the length of the cylindrical section, and 'DF' is the diameter of the cylindrical section.



DC	DONMS	DF	OAL	LU	LPR	LS	CNT	MIID
25.00	32.00	45.00	212.00	125.0	152.0	60.0	M22X2.0	SPMG 07T308 DG

Technical drawing of a laser-processed cylindrical part. The drawing includes three views: a front view, a side view, and an end view. The front view shows a cylinder with a diameter of $D_{CONMS_{g7}}$ and a height of H . The side view shows a cylinder with a diameter of D_{MIN} and a length of LF . The end view shows a cylinder with a diameter of D_{MIN} and a height of H . The drawing also includes labels for WF , 95° , $LDRED$, and $LDRED$.

A close-up photograph of a diamond-tipped tool bit, likely used for precision machining or grinding. The tip is a small, yellow, diamond-shaped insert mounted on a grey metal holder.

DCONMS	H	LF	LDRED	WF	DMIN	MIID
25.00	23.0	300.00	42.0	17.00	31.00	DNMA 110408

Контрольно вимірний інструмент

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ

$$ApK$$

1	Штангенциркуль Mitutoyo 500-180-30 Digital ABS AOS оснащений датчиками AOS (Advanced Onsite Sensor) та висококонтрастним дисплеєм з висотою символів 9 мм 
---	--

2	Нутромір Mitutoyo 511-721 - це набір 2-точкових нутромірів для ближньої дії. Автоматичне самоцентрування відбувається за допомогою центруючого мосту. 
---	--

Різальний інструмент для операції 015 «Вертикально-свердлильна»

2	
---	--

3

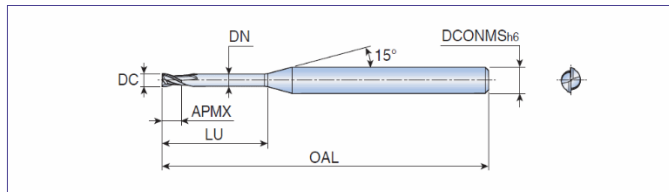
Drilling depth: 5x diameter

Item Designation: TCD 060-064-08A0-5D

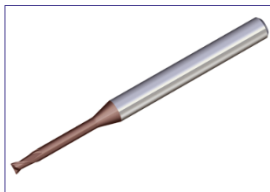
DCN	DCX	DCONMS	LU	LPR	LS	OAL	PL	SSC	CL key	MIID
6.00	6.40	8.00	31.0	40.00	36.0	76.00	0.96	6	K TCD D060-D099	TCD-060

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

4



Technical drawing of a drill bit showing dimensions: DC (drill collar), DN (drill neck), 15° (drill angle), DCONMS16 (drill collar diameter), APMX (drill point diameter), LU (drill length), and OAL (overall length). A 3D model of the drill bit is shown to the right.



3D model of a drill bit.



Icons for material and application: a drill bit, a drill bit with a red checkmark, a drill bit with a red checkmark, a drill bit with a red checkmark, a drill bit with a red checkmark, a drill bit with a red checkmark, and a drill bit with a red checkmark.

Item Designation: HSF 2020 030 040



Icons for material and application: a drill bit with a red checkmark and a drill bit with a red checkmark.

DC	OAL	APMX	LU	DN	DCONMS	fz (min)	fz (max)
2.00	50.00	3.00	4.0	1.95	4.00	0.018	0.040

Допоміжний інструмент

Всі Пристосування спеціальне

Контрольно вимірний інструмент

1	Штангенциркуль Mitutoyo 500-180-30 Digital ABS AOS оснащений датчиками AOS (Advanced Onsite Sensor) та висококонтрастним дисплеєм з висотою символів 9 мм 
2	Калібр пробка гладка Ø6 

Різальний інструмент для операції 020 «Фрезерна з ЧПК»

2

Weldon shank is available on request.

Ordering example :REHW...M

Item Designation: REH 4070M

NOF	DC	CHW	OAL	APMX	DCONMS	fz (min)	fz (max)
4	7.00	0.28	63.00	16.00	8.00	0.050	0.160

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3

Drilling depth: 3x diameter

Item Designation: TCD 125-129-16S0-3D

DCN	DCX	DCONMS	LU	LPR	LS	OAL	SSC	PL	MIID
12.50	12.90	16.00	39.0	54.5	48.0	102.50	12	1.91	TCD-125-P

4

- For general purpose
- Form C: 2-3 threads chamfer

Metric ISO standard thread DIN 13 standard

Item Designation: TPH554C10 MF16X1.5

TDZ	TP	OAL	THL	LU	DCONMS	DRVS	FHA	Corehole	Standard
M16	1.50	100.00	18.0	-	12.00	9.00	40.0	14.5	DIN374

Допоміжний інструмент

Всі

Трьох кулачковий патрон



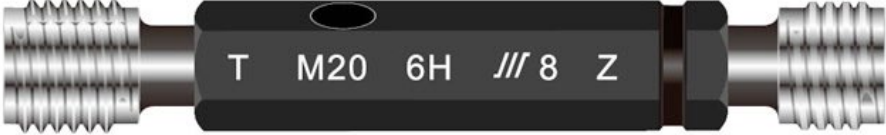
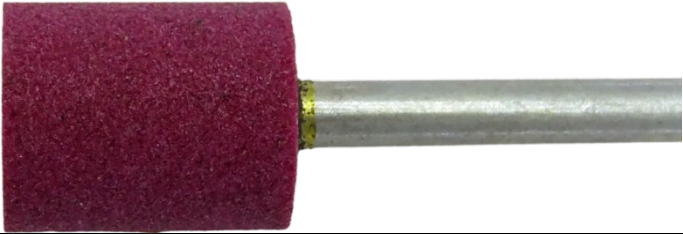
Контрольно вимірний інструмент

1

Штангенциркуль Mitutoyo 500-180-30 Digital ABS AOS оснащений датчиками AOS (Advanced Onsite Sensor) та висококонтрастним дисплеєм з висотою символів 9 мм



					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2	Калібр пробка M16 
Різальний інструмент для операції 025 «Внутрішньо-шліфувальна»	
1	Шліфувальна головка 
Допоміжний інструмент	
—	Трьох кулачковий патрон 

2.7. Розрахунок режимів різання

У сучасному машинобудуванні час відіграє ключову роль у визначенні собівартості [43]. продукції. Чим довший процес обробки деталі, тим вища її кінцева ціна. Для оптимізації часу, витраченого на технічне обслуговування і проектування технологічного процесу, виробники ріжучих інструментів (наприклад, пластинок) пропонують рекомендації щодо вибору параметрів різання. [44].

Зазвичай для кожного типу ріжучих пластинок надаються таблиці зі списком рекомендованих швидкостей різання (V) і частот обертання інструмента залежно від типу обробки. Компанія TaeguTec, наприклад, пропонує комплексні інструкції для вибору відповідного інструменту та оптимальних режимів різання для кожної конкретної пластинки або інструмента. Завдяки таким рекомендаціям

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

необхідність у детальному розрахунку параметрів різання для кожної технологічної операції практично зникає.

Отже представимо повний наглядний розрахунок для одного переходу з використання рекомендованої швидкості різання. Як приклад беремо перехід 4 операції 005 Токарна. Під час цього використовується свердло зі змінними пластинками TCD 150-159-20T3-8D з пластинкою TCD-150-P. Рекомендована швидкість різання для цієї пластинки 20-50 м/хв

Довжину робочого ходу визначаємо за формулою:

$$L_{p.x.} = l_{різ} + y + l_{дод} \quad (2.1)$$

Де $l_{різ} = 120$ мм – довжина різання згідно креслення деталі;

y – довжина підводу, врізання і перебігу інструменту, $y=4$ мм;

$l_{дод} = 0$ - додаткова довжина, пов'язана з налагодженням верстату.

Отже $L_{p.x.} = 124$ мм

Глибина різання:

$$t = 7.5 \text{ мм} \quad (2.2)$$

Подача на оберт шпинделя:

$S_o=0.2$ мм/об для чорнової обдирки.

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв.} \quad (2.3)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 15} = 638 \text{ об/хв}$$

Дійсна швидкість головного руху:

$$V_d = \frac{\pi D n_d}{1000}, \text{ м/хв.} \quad (2.4)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 15 \cdot 638}{1000} = 30.04 \text{ м/хв}$$

Швидкість подачі визначаємо за формулою:

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$V_s = S_0 \cdot n_d, \text{ мм/хв.} \quad (2.5)$$

$$V_s = 0,2 \cdot 638 = 127, \text{ мм/хв}$$

Потужність $N=4,35$ кВт

Основний (машинний) час на обробку:

$$T_o = \frac{L_{p.x.}}{V_s}, \text{ хв.} \quad (2.6)$$

$$T_o = \frac{124}{127} = 0,97 \text{ хв}$$

2.8 Технічне нормування розробленого технологічного процесу

Технічні норми часу в умовах масового виробництва встановлюються розрахунково-аналітичним методом [45]. Для серійного виробництва розраховується норма штучного часу $T_{шт}$, а також додатково підготовчо-заклучний час $T_{п.з}$ і штучно-калькуляційний час [46]. $T_{шк}$.

Норма штучного часу розраховується за такою формулою:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{tex} + T_{орг} + T_{отд}$$

або спрощена формула

$$T_{шт} = 1,1(T_o + T_v)$$

- T_o — основний технологічний час, хв.; витрачається на безпосереднє виконання технологічного процесу, тобто на зміну форми, розмірів і якості оброблюваної поверхні деталі. Основний (технологічний) час для нормованої операції розраховано у розділі «Розрахунок режимів різання».

- T_v — допоміжний час, хв.; витрачається робітником на дії, які забезпечують виконання основної роботи. При розрахунку норми штучного часу враховується лише та частина допоміжного часу, яка не перекривається машинним часом.

Для визначення норми допоміжного часу підсумовуються такі його елементи (на багатошпиндельному токарному напівавтоматі час на встановлення

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

й зняття деталі, очищення пристрою від стружки та вимірювання деталі перекривається машинним часом):

$$T_B = t_{yc} + t_{yn} + t_{oc} + t_{zm}$$

- t_{yc} — час на встановлення і зняття деталі, хв.;
- t_{yn} — час на операції з управління верстатом, хв.;
- t_{oc} — час на очищення пристрою від стружки, хв.;
- t_{zm} — час на вимірювання деталі, хв.

$$\text{Оперативний час } T_{opr} = T_o + T_B$$

T_{tex} — час на технічне обслуговування робочого місця, витрачається на заміну затупленого різального інструмента, регулювання та підналадку верстата під час роботи, а також на очищення стружки на робочому місці в процесі роботи. Визначається у відсотках від оперативного часу T_{op} (при використанні одного інструмента).

- T_{org} — час на організаційне обслуговування робочого місця, потрібний для розкладки інструмента на початку зміни й прибирання його наприкінці зміни, огляду й випробування обладнання, отримання інструктажу протягом робочого дня, змащування й очищення верстата впродовж зміни, а також прибирання робочого місця наприкінці зміни. Визначається у відсотках від оперативного часу T_{op} .

- T_{otd} — час на перерви для відпочинку та особистих потреб, хв.

Час перерв для відпочинку та особистих потреб залежить від ваги оброблюваної деталі й визначається у відсотках від оперативного часу T_{op} .

Нормування 005 операції Токарна

T_o 5.36 хв. (граничний час на операції)

T_{tex} час на технічне обслуговування верстата, хв.

$$T_{tex} = \frac{T_o \cdot T_{cm}}{T_{st}} = \frac{5.36 \cdot 2 \cdot 17}{120} = 1.52 \text{ хв.}$$

T_{cm} Час на заміну інструмента, хв.

T_{st} Стійкість інструмента

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$T_{орг}$ Час на організаційне обслуговування

$$T_{орг}=1,7\% T_{опр}=0,017 \cdot 5.36=0,1 \text{ хв}$$

$T_{отд}$ Час перерв на відпочинок і особисті потреби робітника, хв.

$$T_{отд}=6\% T_{опр}=0,06 \cdot 5.36=0,32 \text{ хв}$$

$$T_{шт} = 5.36 + 1.52 + 0.1 + 0.32 = 7.3 \text{ хв.}$$

Для решти операцій визначаємо час по наближеним формулам.

Операція 010. Токарна

$$\Psi_K=1,8, T_o=3.5 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.}=1,8 \cdot 3.5 = 6.3 \text{ хв.}$$

Операція 015. Вертикально - свердлильна

$$\Psi_K=1,75, T_o=1,1 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.}=1,75 \cdot 1,1 = 1,95 \text{ хв.}$$

Операція 020.Фрезерна з ЧПК

$$\Psi_K=1,28, T_o=2,56 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.}=1,28 \cdot 2,27 = 3,27 \text{ хв.}$$

Операція 025. Внутрішньо-шліфувальна

$$\Psi_K=1,85, T_o=7,6 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.}=1,85 \cdot 7,6 = 14,1 \text{ хв.}$$

Таблиця 2.10. Норми часу на механічну обробку

Номер і назва операції	То, хв	Тд, хв			Топ, хв	Тшт, хв	Тпз, хв	Тшт.к .,хв
		Туст , хв	Тупр , хв	Тви м, хв				
005 Токарна з ЧПК	5,36	-	-	-	-	-	-	7,3
010 Токарна з ЧПК	3,5	-	-	-	-	-	-	6,3
015 Вертикально-свердлильна	1,1	-	-	-	-	-	-	1,95
020 Фрезерна з ЧПК	2,56	-	-	-	-	-	-	3,27
025 Внутрішньо-шліфувальна	7,6							14,1

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2.9 Визначення кількості обладнання та побудова графіків завантаження та використання

Кількість необхідних станків для ділянки визначається на основі трудомісткості обробки щорічного обсягу виготовлення деталей для кожної окремої операції:

$$B_{\text{роз}} = \frac{T_{\text{шт-к}} * N}{F_d * 60}, \quad (2.7)$$

де $T_{\text{шт.к.}}$ - норма штучно-калькуляційного часу на операцію, хв.;

N – приведений обсяг випуску деталей;

F_d – дійсний фонд часу роботи обладнання (4016 год.)

Розрахункове число верстатів заокруглюють до цілого числа в більшу сторону.

$$B_{p005} = \frac{7,3 * 2500}{4016 * 60} = 0,08$$

Приймаємо $B_{p005} = 1$

$$B_{p010} = \frac{6,3 * 2500}{4016 * 60} = 0,07$$

Приймаємо $B_{p010} = 1$

$$B_{p015} = \frac{3,37 * 2500}{4016 * 60} = 0,02$$

Приймаємо $B_{p015} = 1$

$$B_{p020} = \frac{3,27 * 2500}{4016 * 60} = 0,03$$

Приймаємо $B_{p020} = 1$

$$B_{p025} = \frac{14,1 * 2500}{4016 * 60} = 0,14$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Приймаємо $B_{\text{пр}025} = 1$

Далі для кожної операції визначаємо значення фактичного коефіцієнта завантаження обладнання:

$$\eta_{3.0} = \frac{B_{\text{роз}}}{B_{\text{пр}}} \quad (2.8)$$

$$\eta_{3.\phi_{005}} = \frac{0,08}{1} = 0,08$$

$$\eta_{3.\phi_{010}} = \frac{0,07}{1} = 0,07$$

$$\eta_{3.\phi_{015}} = \frac{0,02}{1} = 0,02$$

$$\eta_{3.\phi_{020}} = \frac{0,03}{1} = 0,03$$

$$\eta_{3.\phi_{025}} = \frac{0,14}{1} = 0,14$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання буде складати:

$$n_{\text{сер}} = \frac{\sum k_i}{i}$$

$$n_{\text{сер}} = \frac{0,08 + 0,07 + 0,02 + 0,03 + 0,14}{5} = 0,068$$

Далі визначимо коефіцієнт використання обладнання по основному часу за формулою:

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$\eta_0 = \frac{T_0}{T_{шт.к}} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

$$\eta_{0_{005}} = \frac{5,36}{7,3} \cdot 100\% = 73\%$$

$$\eta_{0_{010}} = \frac{3,5}{6,3} \cdot 100\% = 55\%$$

$$\eta_{0_{015}} = \frac{1,1}{1,95} \cdot 100\% = 57\%$$

$$\eta_{0_{020}} = \frac{2,56}{3,27} \cdot 100\% = 78\%$$

$$\eta_{0_{025}} = \frac{7,6}{14,1} \cdot 100\% = 53\%$$

Відповідно до отриманих даних будуюмо графіки завантаження та використання обладнання. У цьому випадку, для автоматизації розрахунку та побудови, скористаємось вбудованими таблицями Excel.

Середній коефіцієнт використання обладнання по основному часу:

$$\eta_0 = \frac{\sum \eta_0}{i} = \frac{73 + 53 + 57 + 78 + 55}{5} = 63 \%$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

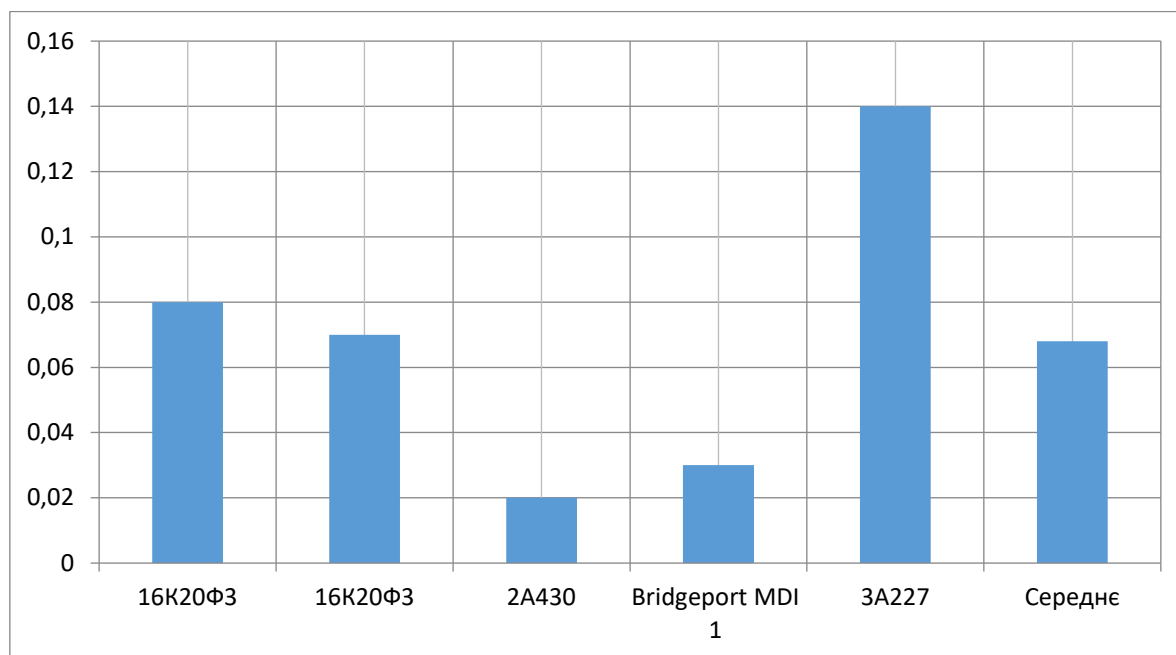


Рис.2.2. Графік завантаження обладнання

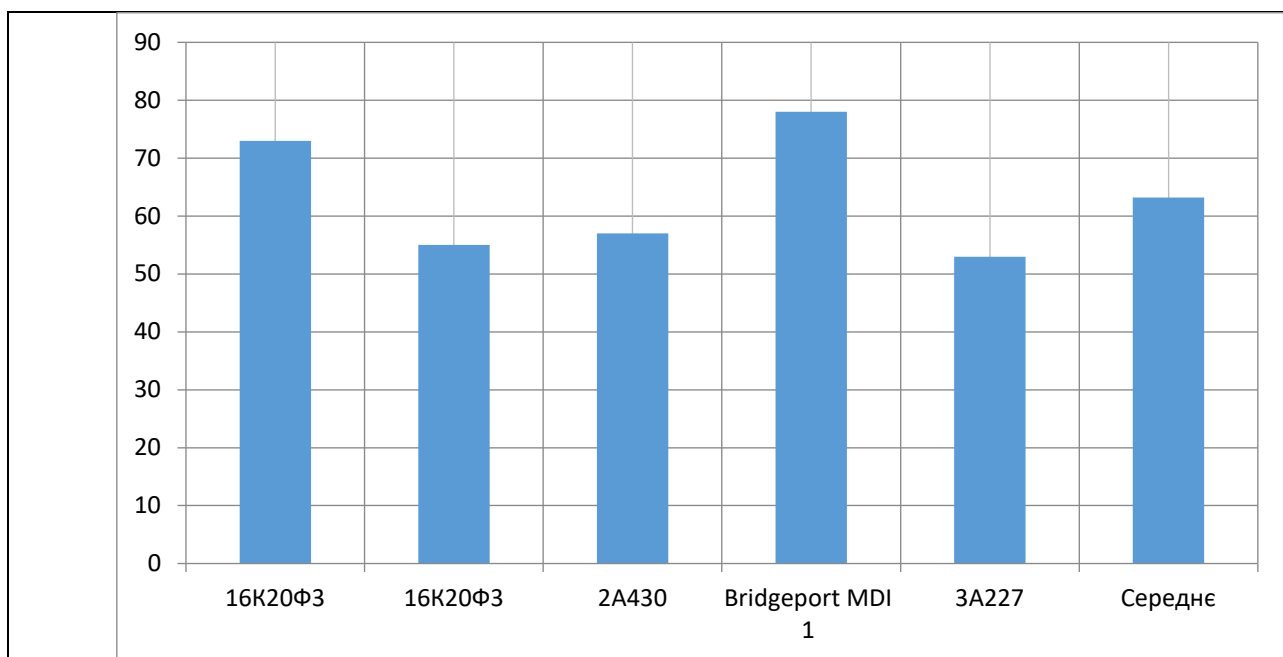


Рис. 2.3 Графік використання обладнання по основному часу

2.10 Призначення, будова і принцип роботи пристосування

Пристосування розроблено для закріплення та обробки деталі "Форма" під час операції 015 «Вертикально свердлильна», що виконується на верстаті моделі 2A430 .

Деталь фіксується в пристосуванні за допомогою трикулачкового патрона, встановленого на універсальній ділильній головці (УДГ). Закріплення здійснюється через спеціальні кулачки патрона, які утримують деталь ззовні, забезпечуючи надійну фіксацію. Додаткова центруюча функція виконується за допомогою зрізаного конічного пальця, на який сідає деталь для забезпечення її точного розташування.

Конструкція пристосування включає універсальну ділильну головку (поз. 2), яка дозволяє повертати деталь під потрібним кутом, забезпечуючи багатосторонню обробку. На головці встановлений трикулачковий патрон (поз. 1) зі зміненими кулачками, які адаптовані до форми деталі. У центрі патрона розташований зрізаний конічний палець, який входить у відповідний отвір деталі, забезпечуючи додаткову стабільність під час обробки.

Отвір деталі обробляється за допомогою кондуктора (поз. 4), який жорстко закріплений на основі пристосування (поз. 3). Кондуктор виконує функцію направляючого елемента для інструмента, забезпечуючи його точне розташування відносно поверхні деталі.

Принцип роботи пристосування полягає в наступному:

1. Заготівка встановлюється у трикулачковий патрон (поз. 1), де фіксується кулачками та сідає на зрізаний конічний палець.
2. Універсальна ділильна головка дозволяє виставити деталь під заданим кутом для виконання обробки.

Кондуктор (поз. 4) направляє інструмент, свердло до потрібної ділянки деталі.

4. Після завершення обробки патрон можна повернути для виконання наступного етапу.

Особливістю конструкції є використання зрізаного конічного пальця, який підвищує точність фіксації деталі. Модифіковані кулачки забезпечують можливість закріплення заготовок складної форми. Жорстка основа разом із

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

точним механізмом УДГ гарантує високу стабільність і якість обробки.

2.11 Схема базування та розрахунок похибки базування

Деталь “Форма ” установлюється в пристосуванні по торцю та конічній поверхні $\varnothing 39,8H9(+0,052)$ на конічну оправку поз. 5 $\varnothing 39,8f7_{-0,020}$.

Похибка установки заготовки в пристосуванні обчислюється за формулою:

$$\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_{\delta}^2 + \epsilon_z^2 + \epsilon_{\text{пр}}^2} \quad (2.10)$$

де ϵ_{δ} – похибка базування;

ϵ_z – похибка закріплення, яка виникає при затиску;

$\epsilon_{\text{пр}}$ – похибка пристосування, пов’язана з виготовленням пристосування.

При установці деталі центральним отвором на жорстку оправку похибка базування визначається за формулою:

$$\epsilon_{\delta} = S_{\min} + \delta_o + \delta_{\text{оп}}, \quad (2.11)$$

де $S_{\min}$ – мінімальний гарантований зазор між отвором і оправкою; δ_o – величина допуску отвору;

$\delta_{\text{оп}}$ – величина допуску оправки

Схема базування представлена на рисунку 2.11:

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

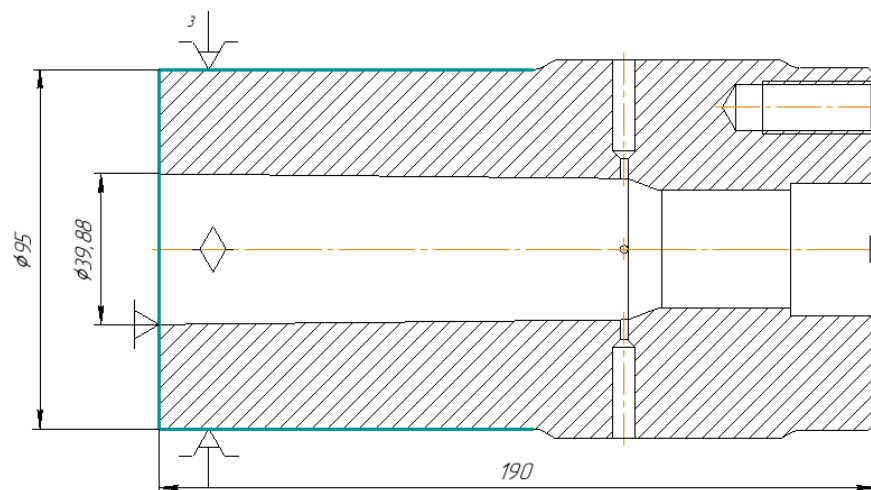


Рисунок 2.11 – Схема базування деталі “Форма ” в пристосуванні

Величина допуску центрального отвору $\varnothing 39,8H9(+0,052)$ становить:

$$\delta_o = ES - EI = 0,052 - 0 = 0,052 \text{ мм.}$$

Величина допуску оправки $\varnothing 39,8f7$ становить:

$$\delta_{оп} = es - ei = -0,020 - (-0,041) = 0,021 \text{ мкм.}$$

Визначаємо мінімальний гарантований зазор між отвором і пальцем:

$$S_{min} = D_{min} - d_{max}, \quad (2,12)$$

де $D_{min} = 47$ мм – найменший розмір отвору;

$d_{max} = 46,98$ мм – найбільший розмір пальця.

$$S_{min} = 47 - 46.98 = 0.02 \text{ мм.}$$

Похибка базування буде:

$$\epsilon_g = 0,02 + 0,052 + 0,021 = 0,093 \text{ мм} = 93 \text{ мкм.}$$

Похибка закріплення становить $\epsilon_z = 90$ мкм.

Похибка пристосування $\epsilon_{пр} = 10$ мкм.

Похибка установки заготовки в пристосуванні визначається за формулою:

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$\varepsilon_y = \sqrt{93^2 + 90^2 + 10^2} = 130 \text{ мкм.}$$

Обробка можлива.

Висновки по розділу

1. На підставі техніко-економічного обґрунтування для розробки технологічного процесу вибрано метод отримання заготовки – прокат
2. Розроблено маршрутний та операційних технологічні процеси виготовлення деталі «Форма», що забезпечує певне збільшення продуктивності обробки
3. Для розробленого технологічного процесу проведено вибір та обґрунтування різального та допоміжного інструментів, а також проведено розрахунки режимів різання для операцій і переходів
4. Виконано технічне нормування проєктного технологічного процесу

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3.КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Кінематичний розрахунок приводу головного руху

Першим кроком є розрахунок максимальної потужності різання ($P_p=N$), яка визначається за наступною формулою [47]:

$$P_{ед} = P_{гол} + P_{под} = \frac{P_p}{\eta_{гол} \cdot k} + (0,15 \dots 0,20) \cdot P_{гол}, \text{кВт} \quad (3.1)$$

Для розрахунків використаємо наступні значення:

$P_{гол}$ – потужність головного приводу верстату, що визначається за формулою

$$P_{гол} = \frac{P_p}{\eta_{гол} \cdot k}, \text{кВт} \quad (3.2)$$

$k = 1,25$ – коефіцієнт короткочасного навантаження двигуна.

$\eta_{гол}=0,83$ – ККД приводу головного руху.

$P_p = 1,81$ – найбільше значення потужності з таблиці режимів різання

$$P_{гол} = \frac{1,81}{0,83 \cdot 1,25} = 1,745 \text{ кВт}$$

Далі визначимо потужність, потрібну для двигуна приводу подач:

$$P_{под} = (0,15 \dots 0,20) \cdot 1,745 = 0,262 \text{ кВт}$$

В сумі потужність подач буде становити:

$$P_{ед} = 1,745 + 0,262 = 2,006 \text{ кВт}$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ								
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	3. Конструкторський розділ			Літ		Аркуш		Аркушів	
Розроб.	Тарапата О.С.												
Розроб.	Долішній С.С.												
Переір.	Крупа В.В.							ТНТУ, ФМТ, МВ-41					
Н. контр.	Кобельник В.Р.												
Зав. каф.	Крупа В.В.												

На основі розрахунків приймаємо електродвигун змінного струму, асинхронний, частотно регульований моделі ПБС-33[48]. Його основні характеристики такі:

- Потужність: 2,1 кВт
- Номінальний струм: 12,5 А
- Частота обертання: 2200 об/хв
- Напруга живлення: 220 В
- Клас двигуна: "А"
- Виконання: І363
- Номінальна напруга: 220 В

Електропривод шпинделя регулюється через тиристорно-імпульсний перетворювач. Частота обертання двигуна регулюється в діапазоні 100-2200 об/хв, що відповідає швидкості шпинделя від 135 до 3000 об/хв.

Оскільки привод головного руху має просту кінематичну схему і не містить ступінчастої коробки швидкостей, побудова структурної сітки є недоцільною.

Розраховуємо передаточні відношення:

$$i_1 = 110/100 = 1,1$$

$$i_2 = 120/100 = 1,2$$

Тоді загальне передатне число розраховується за формулою:

$$u_{\text{заг}} = i_1 \cdot i_2 \quad (3.3)$$

$$u_{\text{заг}} = 1,1 \cdot 1,2 = 1,32$$

Кінцева кількість обертів шпинделя при $n_{\text{дв1}}=1000$:

$$n_{\text{шп}} = n_{\text{дв}} \cdot u_{\text{заг}} \quad (3.4)$$

$$n_{\text{шп1}} = 1000 \cdot 1.32 = 1320$$

Кінцева кількість обертів шпинделя при $n_{\text{дв1}}=2200$:

$$n_{\text{шп2}} = 2200 \cdot 1.32 = 2948$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3.2. Кінематичний розрахунок приводу подач

Кінематичний розрахунок виконується з урахуванням даних, отриманих із розрахунку режимів різання [49]

Вихідні дані:

Кількість ступенів $Z=3$;

Знаменник геометричного ряду $\phi=1,26$. [50]

Формула структури приводу:

$$Z=3=1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$$

$$n_1 = 1320 \text{ об/хв};$$

$$n_2 = 1320 \text{ об/хв};$$

$$n_3 = 78 \text{ об/хв};$$

$$n_4 = 39 \text{ об/хв};$$

$$n_5 = 19,5 \text{ об/хв};$$

$$n_6 = 10 \text{ об/хв};$$

$$n_7 = 0,17 \text{ об/хв};$$

$$n_8 = 19,5 \text{ об/хв};$$

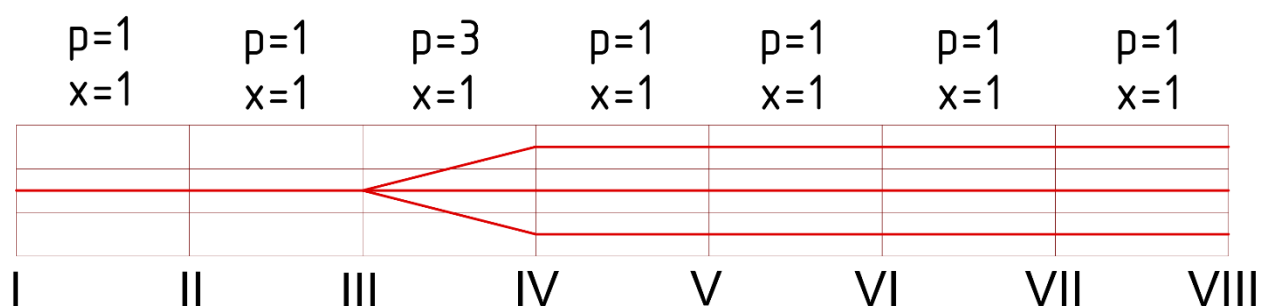


Рисунок 3.1 Структурна сітка приводу подач

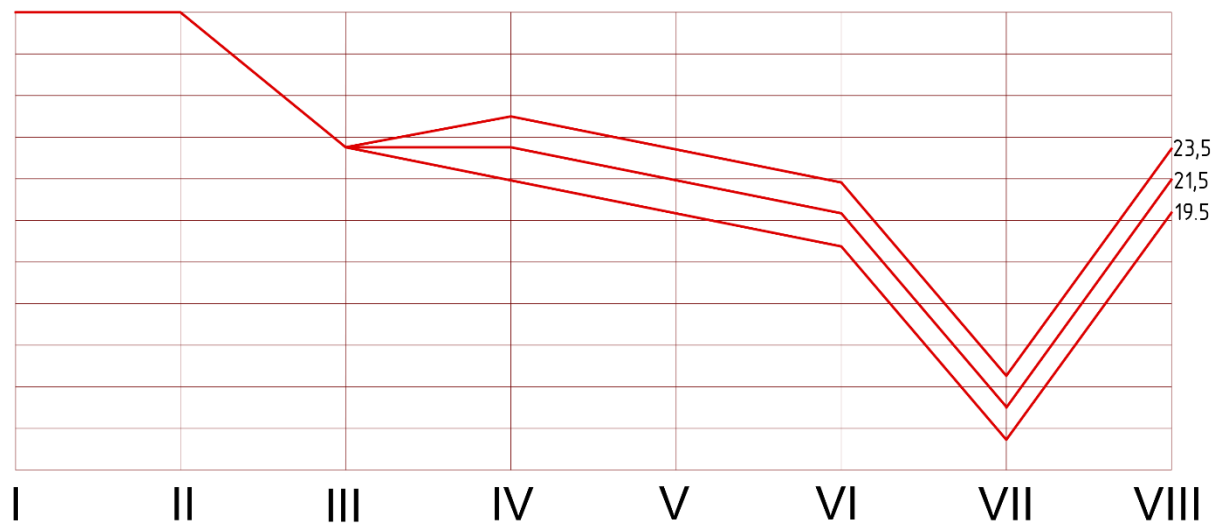


Рисунок 3.2 Графік подач

3.3. Визначення передавальних відношень передач та числа зубів

Передатні відношення для коробки подач:

$$i_1 = 1/1 = 1$$

$$i_2 = 1/0,7 = 1,43$$

$$i_3 = 1/17 = 0,059$$

$$i_4 = 1/2 = 0,5$$

$$i_5 = 1/0,5 = 2$$

$$i_6 = 1/1,49 = 0,67$$

$$i_7 = 1/1,3 = 0,75$$

$$i_8 = 1/2 = 0,5$$

$$i_9 = 1/5,88 = 0,17$$

$$i_{10} = L = 117,75$$

Розрахуємо кількість зубів для прямозубої зубчастої передачі

Приймаємо кількість зубів для валів IV-V: [51]

$$Z_{15} = 22$$

$$Z_{11} = z_{11} \cdot u_I = 22 \cdot 2 = 44$$

$$Z_{14} = 33$$

$$Z_{10} = z_{14} \cdot u_2 = 33 \cdot 1 = 33$$

$$Z_{13} = 44$$

$$Z_9 = z_{13} \cdot u_3 = 44 \cdot 0,5 = 22$$

Приймаємо кількість зубів для валів V-VI:

$$Z_8 = 22$$

$$Z_7 = z_8 \cdot u_4 = 22 \cdot 1,49 = 33$$

Приймаємо кількість зубів для валів VI -VII

$$Z_7 = 33$$

$$Z_6 = z_7 \cdot u_5 = 33 \cdot 1,3 = 44$$

Приймаємо кількість зубів для валів VII -VIII

$$Z_5 = 21$$

$$Z_4 = z_5 \cdot u_5 = 21 \cdot 2,1 = 44$$

Таблиця –3.1 Кількість зубів шестернь і коліс

Номер передачі	Передатне відношення i	Сумарне число зубців $\sum Z$	Число зубів	
1	1/2	66	$Z_1=22$	$Z_2=44$
2	1/1	66	$Z_3=33$	$Z_4=33$
3	1/0,5	66	$Z_5=44$	$Z_6=22$
4	1/1,49	65	$Z_7=22$	$Z_8=33$
5	1/0,75	77	$Z_9=33$	$Z_{10}=44$
6	1/2,1	‘63	$Z_9=21$	$Z_{10}=42$

3.4 Конструкторський розрахунок приводу головного руху

3.4.1 Розрахунок плоскопасової передачі

Першим кроком у розрахунках є визначення потужності на валах за

$$\text{формулою}[52] \quad N_i = N \cdot \eta \quad (3.5)$$

де η – коефіцієнт корисної дії приводу до даного вала

Згідно з формулою:

$$N_1 = N_d = 2,1 \text{ кВт};$$

$$N_2 = N_d \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 2,1 \cdot 0,99 \cdot 0,97 = 2,02 \text{ кВт};$$

$$N_3 = N_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 2,017 \cdot 0,99 \cdot 0,97 = 1,94 \text{ кВт};$$

де $\eta_1 = 0,99$ – ККД втрати пари підшипників кочення,

$\eta_2 = 0,97$ – ККД плоско-пасової передачі,

Визначення крутних моментів на валах $T, \text{ Н} \cdot \text{ м}$ за формулою[53]:

$$T_i = 9550 \cdot \frac{N_i}{n_i} \quad (3.6)$$

Де N_i – потужність на i -му валу,

n -частота обертання i -го вала.

Таблиця 3.2 Визначення потужності, частоти обертання та крутного моменту:

№валу	$N, \text{ кВт}$	$n, \text{ хв}^{-1}$	$T, \text{ Н} \cdot \text{ м}$
1	2,1	1000	20,06
2	2,02	1100	17,51
3	1,94	1320	14,01

Дані для розрахунку:

- обертовий момент на валу ведучого шківa плоскопасової передачі, $T_{\text{дв}} = 20,06 \text{ Н} \cdot \text{ м}$;

- частота обертання вала ведучого шківa, $n_{\text{ш1}} = n_{\text{дв}} = 1000 \text{ хв}^{-1}$;

- передаточне число плоскопасової передачі $u_{\text{nn}} = 0,86$.

Знаходимо діаметр ведучого шківa передачі

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$d_1 = (1100..1300) * \sqrt[3]{\frac{P_{дв}}{n_{дв}}} \quad (3.7)$$

де $P_{дв}$ – потужність на валу ведучого шківa передачі, яку можна розрахувати за формулою

$$P_{дв} = T_{дв} * \frac{\pi * n_{дв}}{30} \quad (3.8)$$

Де: $T_{дв} = 20,06$ – крутний момент двигуна

$n_{дв} = 1000$ – початкова швидкість обертів на валі двигуна

$$P_{дв} = 20,06 * \frac{3,14 * 2200}{30} = 2.1 \text{ кВт}$$

Діаметр веденого вала визначають з урахуванням коефіцієнта пружного ковзання $\epsilon=0,02$

$$d_2 = d_1 * u_{пп} * (1 - \epsilon) \quad (3.9)$$

Після підстановки одержуємо

$$d_1 = (1100..1300) * \sqrt[3]{\frac{2.1}{2200}} = 98..128$$

Вибираємо стандартний діаметр шківу $d_1 = 110$

$$d_2 = d_1 * 0,86(1-0,02)=92,708$$

Вибираємо стандартний діаметр шківу $d_2 = 100$

Таблиця 3.3 підбір діаметру шківa

№валу	діаметр ведучого шківу d_1 , мм	діаметр веденого шківу d_2 , мм
1	110	100
2	120	100

Фактичне передатне число плоскопасової передачі

$$u_{\phi} = \frac{d_2}{d_1 * (1 - \epsilon)} \quad (3.10)$$

$$u_{\phi} = \frac{100}{110 * (1 - 0,02)} = 0,928$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 Розрахункове передатне число

№ валау	Фактичне передатне число між валами u_{ϕ}
1	0,928
2	1,224

Фактичне передатне число:

$$u_{\phi} = u_{\phi 1} * u_{\phi 2} \quad (3.11)$$

$$u_{\phi} = 0,928 * 1,224 = 1.14$$

Визначаємо міжосьову відстань плоскостасової передачі

$$a_{\text{пп}} = 2 * (d_1 + d_2) \quad (3.12)$$

$$a_{\text{пп}} = 2 * (110 + 100) = 420$$

Довжина паса передачі

$$L = 2 * a_{\text{пп}} + \frac{\pi}{2} * (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 * a_{\text{пп}}} \quad (3.13)$$

$$L = 2 * 420 + \frac{3,14}{2} * (110 + 100) + \frac{(100 - 110)^2}{4 * 420} = 1196 \text{ мм}$$

Кут охоплення пасом ведучого шківів передачі визначається за формулою

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{d_2 - d_1}{a_{\text{пп}}} * 60^\circ \geq [\alpha_1] = 150^\circ \quad (3.14)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{d_2 - d_1}{a_{\text{пп}}} * 60^\circ = 181^\circ > [\alpha_1] 150^\circ$$

Розраховуємо швидкість паса за формулою

$$V_n = \frac{\pi * d_1 * n_{\text{ш1}}}{60 * 10^3} \quad (3.15)$$

$$V_n = \frac{\pi * 110 * 1000}{60 * 10^3} = 5,757$$

Оцінюємо довговічність паса за числом його пробігів

$$i = \frac{V_n}{L} \quad (3.16)$$

$$i = \frac{5,757}{1196} = 4,813$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3.4.2 Розрахунок плоскопасової передачі з натяжним роликом

Діаметр натяжного ролика:

$$d_p = (0.7..0.5) * d_1 \quad (3.17)$$

$$d_p = (0.6..0.4) * 120 = 84...60 \text{ мм}$$

Вибираємо діаметр ролика $d_p = 70 \text{ мм}$

Відстань від осі ведучого шків до осі ролика:

$$a_1 = d_1 + d_p \quad (3.18)$$

$$a_1 = 120 + 70 = 190 \text{ мм}$$

Міжосьова відстань пасової передачі:

$$a = 0,5 * (d_1 + d_2) + d_p + 0,5 * d_1 + 0,6 * d_2 \quad (3.19)$$

$$a = 0,5 * (120 + 100) + 70 + 0,5 * 120 + 0,6 * 100 = 300 \text{ мм}$$

Мінімальна міжосьова віддаль

$$a_{min} = d_1 + d_2 \quad (3.20)$$

$$a_{min} = 120 + 100 = 220 \text{ мм}$$

Відстань від осі веденого шків до осі вальця

$$a_2 = a - a_1 \quad (3.21)$$

$$a_2 = 300 - 190 = 110 \text{ мм}$$

Кут охоплення меншого шків пасом:

$$\alpha_k = 180^\circ - \frac{d_2 - d_1}{2 * a} * 57^\circ + \frac{d_p - 0,2 * d_1}{2 * a_1}, \text{ град.} \quad (3.22)$$

$$\alpha_k = 180^\circ - \frac{100 - 120}{2 * 300} * 57^\circ + \frac{70 - 0,2 * 120}{2 * 190} = 188^\circ$$

Довжина паса

$$L = (a + a_1 + a_2) + \frac{\pi}{2} * (d_1 + d_2) + \frac{(d_1 + d_2)^2}{8 * a} - \frac{0,4 * d_1}{a_1} * 0,5 * (d_1 + d_p) - \frac{0,4 * d_1}{a_2} * 0,5 * (d_2 + d_p) + \frac{(d_2 + d_p)^2}{8 * a} + \frac{(d_2 + d_p)^2}{8 * a_2} \quad (3.23)$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$L = (300 + 190 + 110) + \frac{\pi}{2} * (120 + 100) + \frac{(120+100)^2}{8*300} - \frac{0.4*120}{190} * 0.5(120 + 70) - \frac{0.4*120}{110} * 0,5 * (100 + 70) + \frac{(100+70)^2}{8*300} + \frac{(100+70)^2}{8*110} = 1068,3 \text{ мм}$$

Розраховуємо швидкість паса за формулою

$$V_n = \frac{\pi * d_1 * n_{ш}}{60 * 10^3}$$

Отримаємо:

$$V_n = \frac{\pi * 120 * 1100}{60 * 10^3} = 6,91 \text{ м/с}$$

Оцінюємо довговічність паса за числом його пробігів використавши залежність:

$$i = \frac{V_n}{L}$$

Будемо мати:

$$i = \frac{6,91}{1068} = 6,47$$

3.4.3 Розрахунок шпиндельного вузла

При конструюванні шпиндельного вузла необхідно забезпечити наступні ключові аспекти:

1. Жорсткість: Вона потрібна, щоб уникнути неприпустимих деформацій під час процесу різання (як радіальних, так і осьових). Для нормальної роботи підшипників жорсткість ділянки між опорами має бути в межах 250-500 Н/мм.
2. Стабільність положення геометричної осі: Це забезпечує точність обертання та постійне положення осі під час роботи.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3. Висока динамічна якість (вібростійкість)[54].Цей параметр визначається амплітудою коливань переднього кінця шпинделя та частотою власних коливань, яка повинна бути нижчою за 500-600 Гц.

Конструктивні рішення для шпиндельного вузла залежать від багатьох факторів, зокрема:

- Типу та призначення верстата.
- Вимог до точності.
- Умов роботи шпинделя.
- Способу зміни інструменту або заготовки.
- Розташування та типу приводних елементів.
- Типу та конструкції підшипників.

Наразі понад 95% верстатів виготовляються зі шпиндельними вузлами на підшипниках кочення. [55]

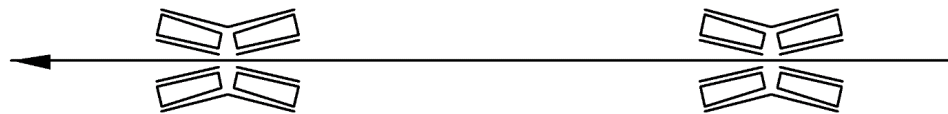


Рис. 3.3 Компонувальна схема шпиндельного вузла

При визначенні жорсткості шпиндельного вузла враховуємо жорсткість опор. У нашому випадку, шпиндель моделюємо як балку на двох опорах.

Для побудови розрахункової схеми необхідно врахувати два основні фактори: силу різання на передньому кінці шпинделя та додаткове зусилля, що виникає на шпинделі від шківів зубчасто-пасової передачі під час передачі крутного моменту.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

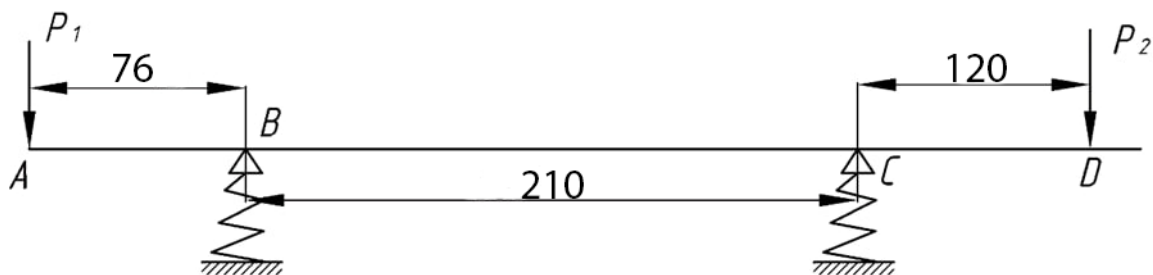


Рис. 3.4. – Розрахункова схема шпиндельного вузла

Оскільки перепади діаметри невеликі, визначаємо зведений момент інерції шпинделя $I_{зв.}$ за формулою:

$$I_{зв.} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \cdot l_i}{\sum l_i} \quad (3.24)$$

де
$$I_i = \frac{\pi \cdot d_i^4}{64} \quad (3.25)$$

Підставивши значення в (2.16) одержимо:

$$I_1 = \frac{3,14 \cdot (35^4 - 16^4)}{64} = 7,044 \cdot 10^4 \text{ мм}^4; l_1 = 36 \text{ мм}$$

$$I_2 = \frac{3,14 \cdot (42^4 - 15,83^4)}{64} = 1,497 \cdot 10^5 \text{ мм}^4; l_2 = 40 \text{ мм}$$

$$I_3 = \frac{3,14 \cdot (46^4 - 15,68^4)}{64} = 2,168 \cdot 10^5 \text{ мм}^4; l_3 = 43 \text{ мм}$$

$$I_4 = \frac{3,14 \cdot (30^4 - 15,48^4)}{64} = 3,694 \cdot 10^4 \text{ мм}^4; l_4 = 47 \text{ мм}$$

$$I_5 = \frac{3,14 \cdot (30^4 - 18,98^4)}{64} = 3,339 \cdot 10^4 \text{ мм}^4; l_5 = 58,72 \text{ мм}$$

$$I_6 = \frac{3,14 \cdot (28^4 - 15^4)}{64} = 2,769 \cdot 10^4 \text{ мм}^4; l_6 = 77 \text{ мм}$$

$$I_7 = \frac{3,14 \cdot (28^4 - 9^4)}{64} = 3,017 \cdot 10^4 \text{ мм}^4; l_7 = 123,33 \text{ мм}$$

$$I_8 = \frac{3,14 \cdot (24^4 - 11,5^4)}{64} = 5,33 \cdot 10^5 \text{ мм}^4; l_8 = 246 \text{ мм}$$

Підставивши отримані значення моментів інерції ділянок шпинделя у формулу (3.12), визначимо зведений момент інерції:

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$I_{зв.} = \frac{7,044 \cdot 10^4 \cdot 36 + 1,497 \cdot 10^5 \cdot 40 + 2,168 \cdot 10^5 \cdot 43 + 3,694 \cdot 10^4 \cdot 47}{36 + 40 + 43 + 47 + 58,72 + 77 + 123,33 + 246} +$$

$$+ \frac{3,339 \cdot 10^4 \cdot 58,72 + 2,769 \cdot 10^4 \cdot 77 + 3,017 \cdot 10^4 \cdot 123,33 + 5,33 \cdot 10^4 \cdot 246}{36 + 40 + 43 + 47 + 58,72 + 77 + 123,33 + 246}$$

$$= 4,648 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$$

Для визначення коефіцієнтів впливу податливості шпинделя, прикладемо одиничні сили в точках А і D та розрахуємо їх вплив окремо.

Розраховуємо податливість шпинделя від одиничної сили, прикладеної в точці А.

1. Визначаємо коефіцієнти впливу податливості за формулою:

$$\delta = \delta_{шп} + \delta_{оп} \quad (3.26)$$

де $\delta_{шп}$ - коефіцієнт впливу податливості пружної балки на жорстких опорах;

$\delta_{оп}$ - коефіцієнт впливу податливості жорсткої балки на пружних опорах;

Визначаємо $\delta_{шп}$ за правилом Верещагіна:

$$\delta_{шп} = \delta'_{AA}$$

$$\delta'_{AA} = \frac{1}{E \cdot I_{пр.}} (M_1 \cdot \omega_1 + M_2 \cdot \omega_2); \quad (3.27)$$

Будуємо епюру згинальних моментів від одиничної сили, прикладеної на кінці шпинделя:

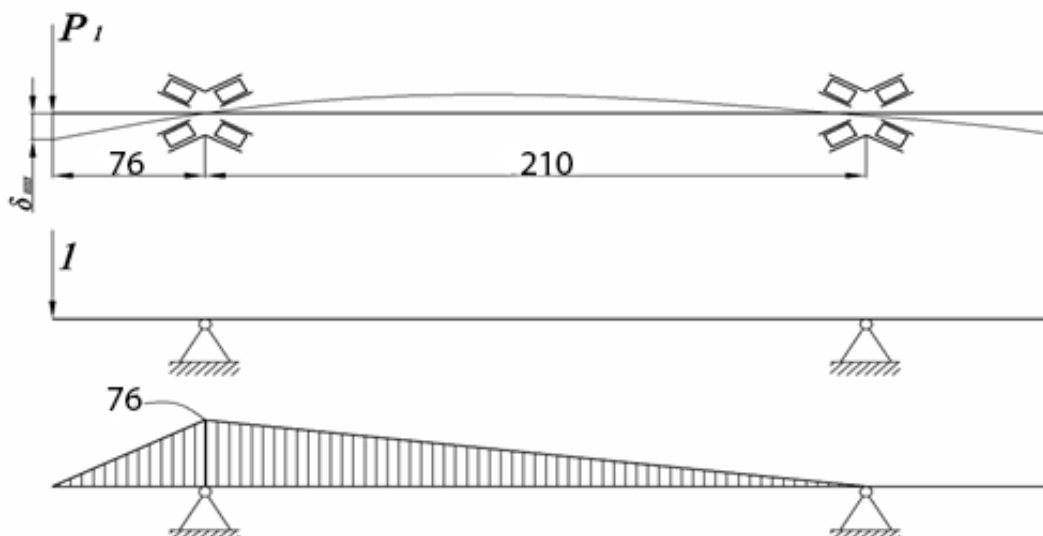


Рис. 3.5 – Розрахункова схема для визначення δ'_{AA}

$$\delta'_{\text{AA}} = \frac{1}{2 \cdot 10^5 \cdot 4,648 \cdot 10^4} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 76 \cdot 76 \cdot \frac{2}{3} \cdot 76 + \frac{1}{2} \cdot 76 \cdot 210 \cdot \frac{2}{3} \cdot 76 \right)$$

$$= 5,923 \cdot 10^{-5} \frac{\text{MM}}{\text{H}}$$

Визначаємо $\delta_{оп}$:

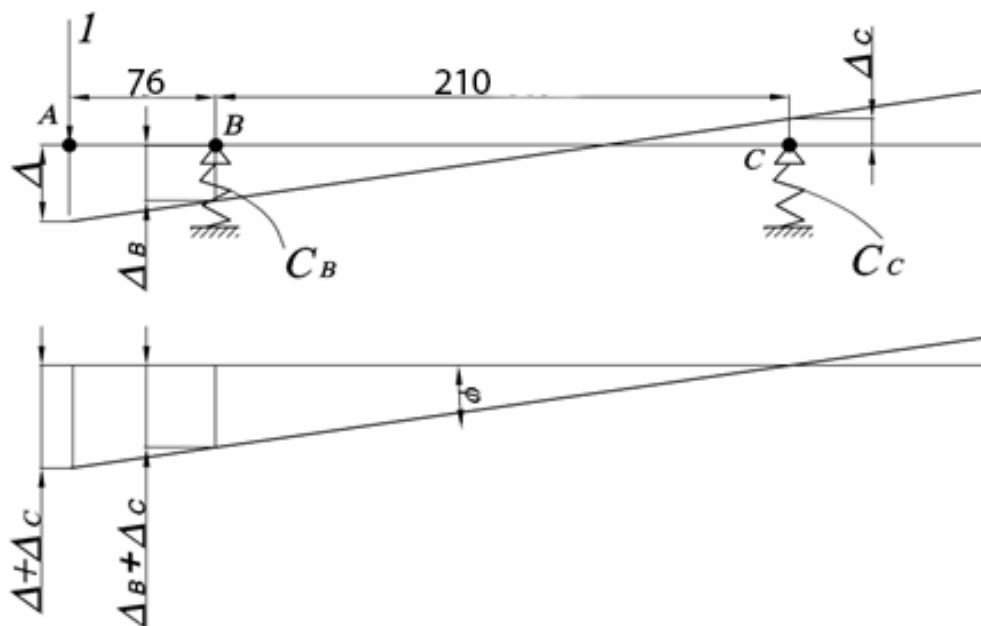


Рис. 3.6 – Розрахункова схема для визначення δ_{on} :

З подібності трикутників:

$$\frac{\Delta + \Delta_C}{\Delta_B + \Delta_C} = \frac{286}{210}$$

$$210 \cdot \Delta + 210 \cdot \Delta_C = 286 \cdot \Delta_B + 286 \cdot \Delta_C$$

$$\Delta_B = C_B \cdot R_B; \quad \Delta_C = C_C \cdot R_C \quad (3.28)$$

$$R_B = \frac{210 + 76}{210} = 1.362; \quad R_C = -\frac{76}{210} = -0.362$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$\Delta = \frac{286 \cdot C_B \cdot 1.362 + 76C_C \cdot 0.362}{210} = 1.855 \cdot C_B + 0.131 \cdot C_C =$$

$$= 1.855 \cdot 4,21 \cdot 10^{-7} + 0.131 \cdot 5,71 \cdot 10^{-7} = 8,557 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Сумарна податливість шпинделя від дії сили P_1 :

$$\delta_1 = 5,923 \cdot 10^{-5} + 8,557 \cdot 10^{-7} = 6,009 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}$$

Проведемо розрахунок податливості шпинделя від одиничної сили, прикладеної в точці D.

2. Визначаємо коефіцієнти впливу податливості за формулою:

$$\delta = \delta_{un} + \delta_{on} \quad (3.29)$$

Визначаємо $\delta_{шп}$ за формулою :

$$\delta_{шп} = \delta'_{AD}$$

У цьому випадку ми повинні розрахувати прогин передньої частини шпинделя під дією сили в точці D

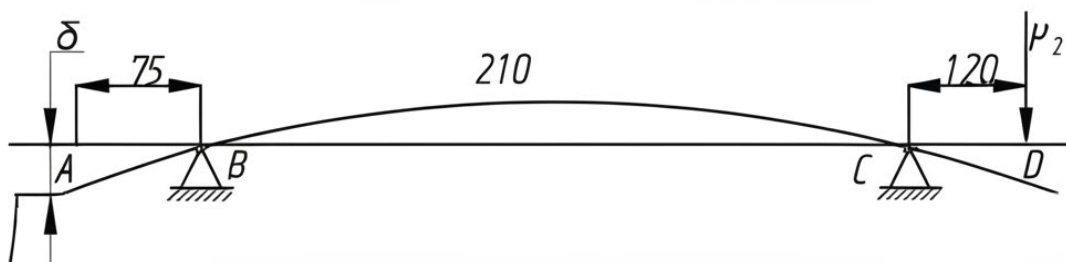


Рис. 3.7 – Розрахункова схема

Будуємо епюри згинальних моментів, що виникають від одиничних сил, прикладених у точках A та D:

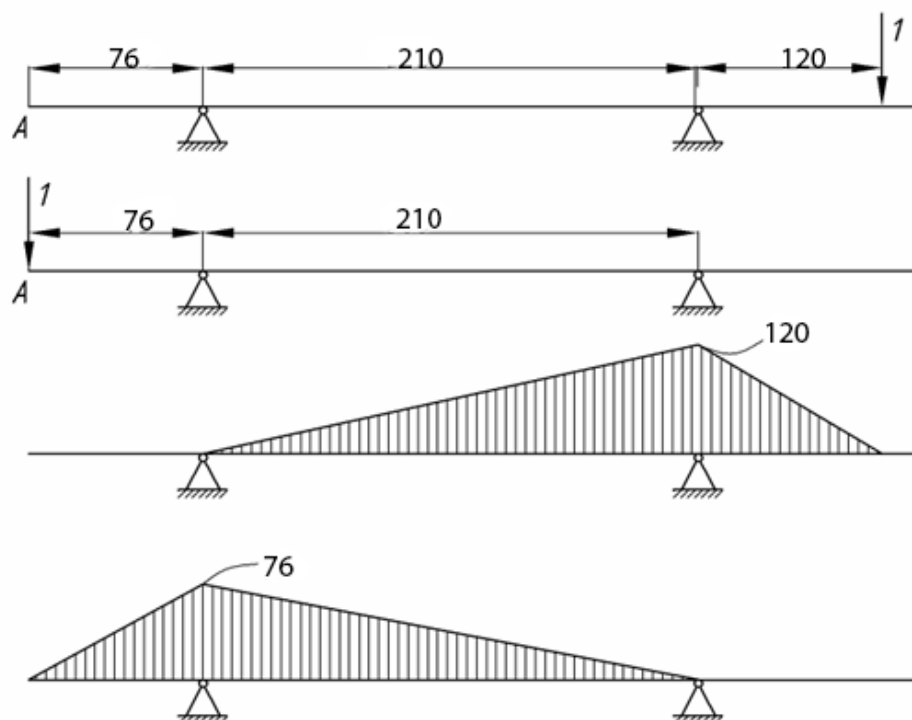


Рис. 3.8 – Розрахункова схема для визначення δ'_{AD}

$$\delta'_{AD} = \frac{1}{2 \cdot 10^5 \cdot 4,648 \cdot 10^4} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 110 \cdot 210 \cdot \frac{1}{3} \cdot 76 \right) = 3.343 \cdot 10^{-5} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Визначаємо $\delta_{\text{оп}} = \delta''_{AD}$:

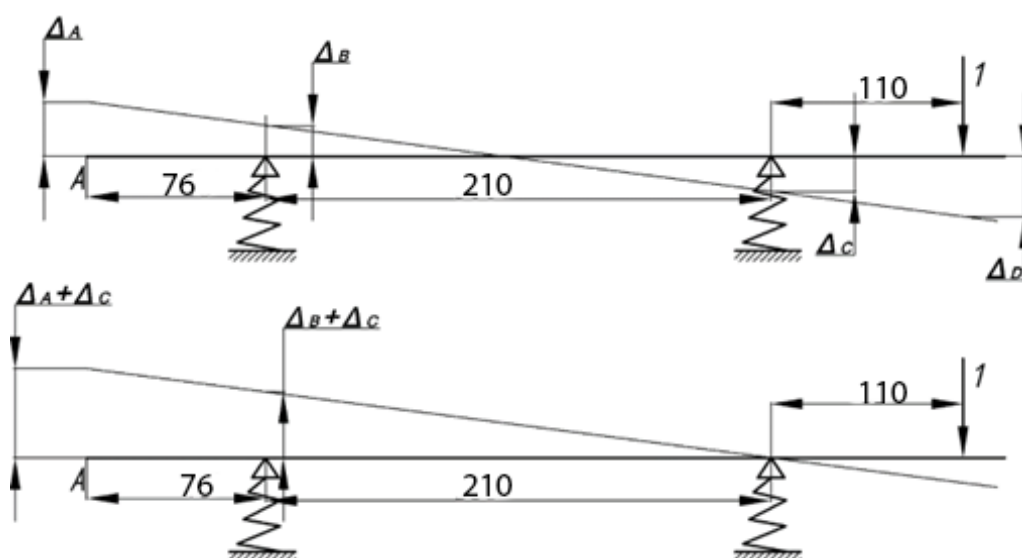


Рис. 3.9 – Розрахункова схема для визначення δ''_{AD}

З подібності трикутників:

$$\frac{\Delta_B + \Delta_C}{\Delta_C + \delta''_{AD}} = \frac{210}{210 + 76}$$

$$210 \cdot \Delta_C + 210 \cdot \delta''_{AD} = 286 \cdot \Delta_B + 286 \cdot \Delta_C$$

$$\Delta_B = C_B \cdot R_B; \Delta_C = C_C \cdot R_C \quad (3.30)$$

$$R_C = \frac{210 + 110}{210} = 1.571; R_B = 1 - 1.571 = -0.571$$

$$\Delta_B = 4,21 \cdot 10^{-7} \cdot (-0.571) = -2,406 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н};$$

$$\Delta_C = 5,71 \cdot 10^{-7} \cdot 1.571 = 8,973 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}.$$

$$\delta''_{AD} = \frac{286 \cdot (-1,571 \cdot 10^{-7} + 8,973 \cdot 10^{-7}) - 210 \cdot 8,973 \cdot 10^{-7}}{210} = 0,145 \text{ мм/Н}$$

Знаходимо сумарну податливість переднього кінця шпинделя, викликану дією одиничної сили, прикладеної в точці D:

$$\delta_2 = \delta'_{AD} + \delta''_{AD} = 1,17 \cdot 10^{-7} + 0,352 \cdot 10^{-7} = 1,522 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Знайдену податливість підставимо в формулу для визначення жорсткості:

$$j = \frac{1}{\delta} \quad (3.31)$$

Визначимо жорсткість переднього кінця шпинделя від сили, прикладеної на передньому кінці шпинделя:

$$j_1 = \frac{1}{\delta_1} = \frac{1}{6,009 \cdot 10^{-5}} = 16,44 \text{ Н/мкм}$$

3.5 Конструкторський розрахунок приводу подач

3.5.1 Визначення розрахункових навантажень

Розрахунки розпочинаємо з визначення потужності на валах за формулою[56]

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$N_i = N \cdot \eta$$

де η – коефіцієнт корисної дії приводу до даного вала

За формулою (3.1) отримаємо:

$$N_1 = N_d = 1,94 \text{ кВт};$$

$$N_2 = N_d \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 1,94 \cdot 0,99 \cdot 0,97 = 1,86 \text{ кВт};$$

$$N_3 = N_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_4 = 1,94 \cdot 0,99 \cdot 0,85 = 1,57 \text{ кВт};$$

$$N_4 = N_3 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 = 1,57 \cdot 0,99 \cdot 0,97 = 1,51 \text{ кВт};$$

$$N_5 = N_4 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 = 1,51 \cdot 0,99 \cdot 0,97 = 1,45 \text{ кВт};$$

$$N_6 = N_5 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 = 1,45 \cdot 0,99 \cdot 0,97 = 1,39 \text{ кВт};$$

$$N_7 = N_6 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 = 1,39 \cdot 0,99 \cdot 0,97 = 1,33 \text{ кВт};$$

$$N_8 = N_7 \cdot \eta_1 \cdot \eta_4 = 1,32 \cdot 0,99 \cdot 0,85 = 1,12 \text{ кВт};$$

$$N_9 = N_8 \cdot \eta_1 \cdot \eta_5 = 1,12 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 1,08 \text{ кВт};$$

де $\eta_1 = 0,99$ – ККД пари підшипників кочення,

$\eta_2 = 0,97$ – ККД плоско-пасової передачі,

$\eta_3 = 0,97$ – ККД пари прямозубих циліндричних коліс

$\eta_4 = 0,85$ ККД червячної передачі

$\eta_5 = 0,98$ ККД передачі колесо-рейка

Визначення крутних моментів на валах T , $H \cdot m$ за формулою

$$T_i = 9550 \cdot \frac{N_i}{n_i}$$

Де N_i – потужність на i -му валу,

n -частота обертання i -го вала.

Результати розрахунків зводяться в таблицю. Розрахунки проводимо з допомогою пакту MathCAD

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5. Розрахунки потужності, частоти обертання і крутного моменту

№валу	N,кВт	n,хв ⁻¹	T, Н м
11	1,94	1320	14,04
3	1,86	1320	13,46
4	1,57	78	192,2
5	1,51	39	369,8
6	1,45	26	532,6
7	1,39	19,5	680,8
8	1,33	10	1270
9	1,12	0,17	62920
10	1,08	20,02	515,2

3.5.2 Розрахунок плоскопасової передачі

Дані для розрахунку:

- потужність на валу ведучого шківa шпинделя $P_{\text{шп}} = 1,94$
- обертовий момент на валу ведучого шківa плоскопасової передачі,
 $T_{\text{шп}} = 14,04 \text{ Н} \cdot \text{м}; i$
- частота обертання вала ведучого шківa, $n_{\text{ш1}} = n_{\text{шп}} = 1320 \text{ хв}^{-1}$;
- передаточне число плоскопасової передачі $u_{\text{шп}} = 1$

Знаходимо діаметр ведучого шківa передачі

$$d_1 = (1100..1300) \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{\text{шп}}}{n_{\text{шп}}}}$$

Діаметр веденого вала визначають з урахуванням коефіцієнта пружного ковзання $\epsilon=0,02$

$$d_2 = d_1 \cdot u_{\text{шп}} \cdot (1 - \epsilon)$$

Після підстановки одержуємо

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$d_1 = (800..1100) \cdot \sqrt[3]{\frac{1.94}{1320}} = 90..125$$

Вибираємо стандартний діаметр шківу $d_1 = 100$

$$d_2 = d_1 \cdot 1 \cdot (1-0,02) = 92,708$$

Вибираємо стандартний діаметр шківу $d_2 = 100$

Фактичне передатне число плоскопасової передачі

$$u_\phi = \frac{d_2}{d_1 * (1 - \varepsilon)}$$

$$u_\phi = \frac{100}{100 * (1 - 0,02)} = 1,02$$

Визначаємо міжосьову відстань плоскопасової передачі

$$a_{\text{пп}} = 2 * (d_1 + d_2)$$

$$a_{\text{пп}} = 2 * (100 + 100) = 400$$

Довжина паса передачі

$$L = 2 * a_{\text{пп}} + \frac{\pi}{2} * (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 * a_{\text{пп}}}$$

$$L = 2 * 400 + \frac{3,14}{2} * (100 + 100) + \frac{(100-100)^2}{4*400} = 1139 \text{ мм}$$

Кут охоплення пасом ведучого шківа передачі визначається за формулою

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{100-100}{a_{\text{пп}}} * 60^\circ \geq [\alpha_1] = 150^\circ$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{d_2-d_1}{a_{\text{пп}}} * 60^\circ = 180^\circ > [\alpha_1] 150^\circ$$

Висновок: за кутом охоплення всі плоскопасові передачі є працездатними

Розраховуємо швидкість паса за формулою

$$V_n = \frac{\pi * d_1 * n_{\text{ш1}}}{60 * 10^3}$$

$$V_n = \frac{\pi * 100 * 1320}{60 * 10^3} = 6,908$$

Оцінюємо довговічність паса за числом його пробігів

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$i = \frac{V_n}{L}$$

$$i = \frac{6,908}{1139} = 6,06$$

3.5.3 Розрахунок черв'ячної передачі

Визначаємо ділильний діаметр колеса: [57].

$$d_1 = z_2 \cdot m \quad (3.32)$$

$$d_1 = 34 \cdot 1,5 = 51$$

Де $z_2 = 34$ — кількість зубців колеса

$m = 1,5$ — модуль

Діаметр вершин:

$$d_a = d_1 + 2 \cdot m \quad (3.33)$$

$$d_a = 51 + 2 \cdot 1,5 = 54$$

Діаметр впадин:

$$d_f = d_1 - 2,4 \cdot m \quad (3.34)$$

$$d_f = 51 - 2,4 \cdot 1,5 = 47,4$$

Діаметр черв'яка:

$$d_2 = m \cdot q \quad (3.35)$$

Де $q = 16$ — число модулів в діаметрі циліндра черв'яка

$m = 1,5$ — модуль

$$d_2 = 1,5 \cdot 16 = 24$$

Діаметр вершин:

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m \quad (3.36)$$

$$d_a = 24 + 2 \cdot 1,5 = 27$$

Діаметр впадин:

$$d_{f2} = d_2 - 2,4 \cdot m \quad (3.37)$$

$$d_{f2} = 24 - 2,4 \cdot 1,5 = 20,4$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Визначимо довжину нарізної частини витків черв'яка:

$$b_1 := (7 + 0.06 \cdot z_2)m + 10 \quad (3.38)$$
$$b_1 := (7 + 0.06 \cdot 34)1,5 + 10 = 23,56$$

Тоді ширина вінців черв'ячного колеса:

$$b_2 \leq 0,5 \cdot d_2 \quad (3.39)$$
$$b_2 \leq 0,5 \cdot 27 = 13,5$$

Міжосьова відстань черв'ячної передачі:

$$a_w = 0,5(d_1 + d_2) \quad (3.40)$$
$$a_w = 0,5(51 + 24) = 37,5$$

Швидкість обертання черв'яка:

$$V = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n}{60} \quad (3.41)$$

Де $n = 78$ – число обертів на валі

$$V = \frac{\pi \cdot 24 \cdot 78}{60} = 98,02 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Швидкість ковзання:

$$V_s = \frac{V}{\cos \gamma} \quad (3.42)$$

Де $\gamma = 5^\circ 30'$ — ділильний кут підйому витка

$$V_s = \frac{98,02 \cdot 10^{-2}}{\cos 5^\circ 30'} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

Розрахунок на міцність:

Визначимо контактні напруження:

$$\sigma_n = \frac{170}{z_2} \cdot g^3 \sqrt{\frac{T \cdot k \left(\frac{z_2}{g} + 1\right)^3}{a_w}} \quad (3.43)$$

Де $T = 13,46$ – крутний момент на валі

$k = k_\beta \cdot k_v$ – коефіцієнт навантаження

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$k_{\beta} = 1,5$ – Коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження, що визначається за формулою:

$$k_{\beta} = 1 + \left(\frac{Z_2}{\theta}\right)^3 (1 - x) \quad (3.44)$$

Де:

$\theta = 80$ – коефіцієнт деформації черв'яка.

$x=0,3$ – допоміжний коефіцієнт при значних коливаннях навантаження

$k_v = 1,5$ – коефіцієнт динамічності

$$k_{\beta} = 1 + \left(\frac{34}{80}\right)^3 (1 - 0,3) = 1,297$$

$$k = k_{\beta} \cdot k_v \quad (3.45)$$

$$k = 1,297 \cdot 1,5 = 1,946$$

$$\sigma_n = \frac{170}{34} \cdot 8 \sqrt[3]{\frac{13,46 \cdot 1,946 \left(\frac{34}{2} + 1\right)^3}{37,5}} = 402,6$$

Визначимо міцність зуба на згин:

$$Z_v = \frac{Z_2}{\cos \gamma^3} \quad (3.46)$$

$$Z_v = \frac{34}{\cos 5^{\circ}30'3} = 35$$

Коефіцієнт форми зуба:

$$\gamma_f = 0,41$$

Напруження згину:

$$\sigma_F = \frac{1,2 \cdot T \cdot k \cdot \gamma_F}{Z_2 \cdot b_2 \cdot m^2} \quad (3.47)$$

Де:

$\gamma_f = 0,426$ – коефіцієнт форми зуба, табличне значення

$$\sigma_F = \frac{1,2 \cdot 13,46 \cdot 1,946 \cdot 4,05}{34 \cdot 12 \cdot 1,5^2} = 1,459 \text{ МПа}$$

Напруження $1,459 \text{ МПа} \leq [\sigma_{of}] = 50 \text{ МПа}$ задовільняє умову

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3.5.4 Проєктні розрахунки зубчастих передач.

Попередній розрахунок валів

В якості матеріалу для виготовлення всіх зубчастих коліс приймається сталь 40Х за ГОСТ 4543-71[58]., з термообробкою – загартування плюс високий відпуск (35...40HRC). Обробка зубчастого вінця термічним впливом з наступним низьким відпуском (50...52HRC). Механічні властивості матеріалу:

- для колеса: $\sigma_B=1000$ МПа, $\sigma_T=800$ МПа, 480НВ (40HRC)
- для шестерні: $\sigma_B=950$ МПа, $\sigma_T=700$ МПа, 600НВ (52HRC)

Уточнений розрахунок валу

Допустимі контактні напруження для шестерні та колеса визначаємо за формулою [37]:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H \lim b}}{S_H} \cdot K_{HL} \quad (3.48)$$

де $\sigma_{H \lim b}$, МПа - базовий ліміт контактної міцності зубів, визначений для шестерні та колеса [37]:

$$\sigma_{H \lim b ш} = 17 \cdot HRC + 200 = 17 \cdot 52 + 200 = 1084 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{H \lim b к} = 17 \cdot HRC + 200 = 17 \cdot 40 + 200 = 880 \text{ МПа}$$

$S_{H=1.2}$ – коефіцієнт безпеки для зубчастих коліс з поверхневим зміцненням зубів,

K_{HL} - коефіцієнт тривалості служби який визначається за формулою.[37]

$$K_{HL} = \sqrt[6]{N_{HO}/N_{HE}} \quad (3.49)$$

де – базове число циклів навантаження,

- еквівалентне число циклів зміни напруги.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$N_{HO}=30HB2.4=306002,4=9107 \quad (3.50)$$

$$N_{HE}=0,25 \cdot 60 \cdot n_T \cdot t_h, \quad (3.51)$$

$n_h = 39 \text{ хв}^{-1}$ - частота обертання повільного валу,

$t_h=7884$ год – кількість годин роботи передачі протягом п'ятирічного терміну служби,

$$N_{HE}=0,25 \cdot 60 \cdot 39 \cdot 7884=4,61 \cdot 10^6$$

$$K_{HL}=\sqrt[6]{\frac{9 \cdot 10^7}{4,61 \cdot 10^6}}=1,64;$$

Тоді допустиме контактне напруження для колеса складе

$$\sigma_{HPK} = \frac{\sigma_{Hlimb}}{S_H} \cdot K_{HL} \quad (3.52)$$

$$\sigma_{HPK} = 880 \cdot \frac{1,64}{1,2} = 1202,6 \text{ МПа}$$

Оскільки передача є прямозубою, то подальший розрахунок проводитимемо по $\sigma_{HPK} = \sigma_{HP} = 1202,6 \text{ МПа}$

Допустимі напруження згину колеса і шестерні визначаємо за формулою: [59]

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{Flimb}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL} \quad (3.53)$$

де $\sigma_{Flimb} = 500 \dots 600 \text{ МПа}$ - базовий ліміт витривалості зубів при згині, що визначається для шестерні та колеса:

$$\sigma_{Flimbш} = 600 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{Flimbк} = 550 \text{ МПа};$$

$K_{FC} = 1$ – коефіцієнт, який враховує вплив двостороннього навантаження (для $HB > 350$ і реверсивної передачі),

$$S_F = 1,75 \text{ - коефіцієнт безпеки,}$$

K_{FL} - коефіцієнт довговічності, який враховує вплив терміну служби та режиму навантаження; приймаємо $K_{FL} = 1,05$, за базового числа циклів зміни

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

напруження $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$ – для сталі.

Тоді допустимі напруження згину колеса складуть:

$$\sigma_{FPш} = \frac{\sigma_{F \lim bш}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL} \quad (3.54)$$

$$\sigma_{FPш} = 600 \cdot 1 \cdot 1,05/1,75 = 360 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{FPк} = \frac{\sigma_{F \lim bк}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL} \quad (3.55)$$

$$\sigma_{FPк} = 550 \cdot 1 \cdot 1,05/1,75 = 330 \text{ МПа};$$

Оскільки передача є прямозубою, подальший розрахунок проводимо по $\sigma_{FP} = 330 \text{ МПа}$.

Розрахунок валу на втому і міцність

Приблизне значення міжосьової відстані для більш навантаженої пари Z_5 - Z_4 визначається за формулою [37]:

$$a = K_a (U + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{M \cdot K_{H\beta}}{U^2 \cdot \phi_{ba} \cdot \sigma_{HP}^2}} \quad (3.56)$$

де $K_a = 495$,

$K_{H\beta} = 1,04$ – обирається за графіком

$\phi_{ba} = 0,25$ – обирається за графіком

$M_3 = 49,42 \text{ Нм}$ – момент на третьому валі;

$U = 0,5$ – передаточне відношення;

$\sigma_{HP} = 1026,7$ допустиме контактне напруження.

$$a = 495 \cdot (0,5 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{49,42 \cdot 1,04}{0,5^2 \cdot 0,25 \cdot 1026,7^2}} = 68,35$$

Визначаємо модуль, припускаючи, що він однаковий для обох пар коліс

$$m = 2a/Z\Sigma, \quad (3.57)$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

де $Z\Sigma$ – сумарне число зубів коліс,

a – міжосьова відстань,

$$m = (2 \cdot 68,35)/63 = 1,61$$

Приймаємо модуль $m=1.5$

Уточнюємо міжосьову відстань

$$a = m \cdot \frac{Z\Sigma}{2} \quad (3.58)$$

$$a = 1,5 \cdot \frac{63}{2} = 47 \text{ мм}$$

Визначаємо розміри вінців коліс при $X_1=X_2=0$.

Ділильні діаметри:

$$d = m \cdot Z \quad (3.59)$$

де Z - кількість зубців колеса;

m - модуль.

$$d_{z5}=1,5 \cdot 21=32 \text{ мм}$$

$$d_{z4}=1,5 \cdot 42=63 \text{ мм}$$

Діаметри вершин:

$$d_a=d_z+2m \quad (3.60)$$

$$d_{az5}=d_{z4}+2m=32+2 \cdot 1,5=35 \text{ мм}$$

$$d_{az4}=d_{z5}+2m=63+2 \cdot 1,5=66 \text{ мм}$$

Діаметри впадин:

$$d_f=d_z-2,5m; \quad (3.61)$$

$$d_{f5}=d_{z4}-2,5m=32-2,5 \cdot 1,5=28 \text{ мм}$$

$$d_{f4}=d_{z5}-2,5m=63-2,5 \cdot 1,5=59 \text{ мм}$$

Ширина вінців коліс:

$$b_{\omega} = \varphi_{ba} \cdot a \quad (3.62)$$

$$b_{\omega 1-2} = 0,13 \cdot 47 = 6.11 \text{ мм}$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

приймаємо ширину колеса $b_k = 6$ мм

ширину шестерні $b_{ш} = 6$ мм.

Проводимо розрахунки для інших зубчастих передач

Таблиця 3.6 Геометричні параметри зубчастих передач

Позначення	Ширина вінців мм	Модуль мм	Число зубів	Дільникові діаметр мм	Діаметр вершин мм	Діаметр впадин мм
Z_{15}	6	1,5	22	33	36	29
Z_{11}	6	1,5	44	50	53	46
Z_{14}	6	1,5	33	66	69	62
Z_{10}	6	1,5	33	66	69	62
Z_{13}	6	1,5	44	50	53	46
Z_9	6	1,5	22	33	36	30
Z_8	6	1,5	22	33	36	30
Z_7	13	1,5	33	50	53	46
Z_6	6	1,5	44	66	69	62
Z_5	6	1,5	21	32	35	28
Z_4	6	1,5	42	63	66	59

Перевірковий розрахунок прямозубих передач

Здійснимо перевірковий розрахунок за контактними напругами та напругами згину для найбільш навантаженої передачі, якою є зубчата пара Z4-Z5.

$$\sigma_H = 1,18 \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{пр}} \cdot K_H \cdot (U+1)}{b \cdot d_k \cdot U}} \leq \sigma_{HP}, \quad (3.63)$$

де $E_{\text{пр}} = 2,1 \cdot 10^5$ МПа - модуль пружності;

$K_H = K_A \cdot K_{Hv} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha}$ – коефіцієнт навантаження,

де $K_A = 1$ – коефіцієнт, що враховує зовнішнє динамічне навантаження,

$K_i = 3,1 \cdot 10^2$ – коефіцієнт, який враховує фактичний рівень силового навантаження, що діє на зубчасту передачу під час її експлуатації,

$K_{Hv} = 1,04$ - коефіцієнт, який враховує динамічне навантаження, що виникає в зчепленні в залежності від обхватної швидкості,

$K_{H\beta} = 1,04$ - коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця,

$K_{H\alpha} = 1$ – (для прямозубих коліс) Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження між зубцями,

$K_H = K_A \cdot K_{Hv} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} = 1,04 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot 1 = 1,08$ – коефіцієнт навантаження,

$b = 31,5$ мм – робоча ширина вінця зубчастої передачі,

$d_1 = 168$ мм – дільний діаметр шестерні,

$U = 0,5$ – передавальне відношення.

Отже:

$$\sigma_H = 1,18 \cdot \sqrt{\frac{3,1 \cdot 10^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,08 \cdot (0,5 + 1)}{6 \cdot 63 \cdot 0,5}} = 881,45 \text{ МПа}$$

Тобто $\sigma_H = 881,45 \text{ МПа} < \sigma_{HP} = 1202,6 \text{ МПа}$ – умова міцності на контактну витривалість дотримується.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

б) Перевірковий розрахунок за напруженнями згину.

Визначимо розрахункове напруження згину за формулою:

$$\sigma_F = Y_F \cdot \frac{F_t \cdot K_F}{b \cdot m} \leq \sigma_{FP} \quad (3.64)$$

де $Y_{Fш} = 1,42$ – коефіцієнт форми зуба,

$\sigma_{FPш} = 360$ МПа – допустиме напруження згину для шестерні,

$\sigma_{FPк} = 330$ МПа – допустиме напруження згину для колеса,

розрахунок будемо проводити за колесом;

$F_t = 2000 \cdot T_3 / d_z = 2000 \cdot 49,42 / 63 = 1568$ Н – окружна сила на початковому колі,

$b = 6$ мм – робоча ширина вінця зубчастої передачі,

$m = 1,5$ мм – модуль зачеплення

$K_F = K_{Fv} \cdot K_{F\beta} = 1,03 \cdot 1,2 = 1,236$ – коефіцієнт навантаження,

$K_{Fv} = 1,03$ - коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження, що виникає в зачепленні,

$K_{F\beta} = 1,2$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця;

Отже:

$$\sigma_F = 1,42 \cdot \frac{1568 \cdot 1,236}{6 \cdot 1,5} = 305,8 \text{ МПа}$$

Тобто $\sigma_F = 305,8$ МПа менше $\sigma_{FP} = 330$ МПа, отже умова дотримується.

3.5.5 Розрахунок другої черв'ячної передачі

Визначаємо дільний діаметр колеса:

$$d_1 = z_2 \cdot m$$

Де $z_2 = 55$ — кількість зубців колеса

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$m = 1,5$ — модуль

$$d_1 = 58 \cdot 1,5 = 87$$

Діаметр вершин:

$$d_a = d_1 + 2 \cdot m$$

$$d_a = 87 + 2 \cdot 1,5 = 90$$

Діаметр впадин:

$$d_f = d_1 - 2,4 \cdot m$$

$$d_f = 87 - 2,4 \cdot 1,5 = 83,4$$

Діаметр черв'яка:

$$d_2 = m \cdot q$$

Де $q = 22$ — число модулів в діаметрі циліндра черв'яка

$m = 1,5$ — модуль

$$d_2 = 1,5 \cdot 22 = 33$$

Діаметр вершин:

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m$$

$$d_a = 33 + 2 \cdot 1,5 = 36$$

Діаметр впадин:

$$d_{f2} = d_2 - 2,4 \cdot m$$

$$d_{f2} = 24 \cdot 2,4 \cdot 1,5 = 29,25$$

Визначимо довжину нарізної частини витків черв'яка:

$$b_1 := (7 + 0.06 \cdot z_2)m + 10$$

$$b_1 := (7 + 0.06 \cdot 34)1,5 + 10 = 25,72$$

Приймаємо $b_1 = 26$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$b_2 \leq 0,5 \cdot d_2$$

$$b_2 \leq 0,5 \cdot 36 = 18$$

Міжосьова відстань черв'ячної передачі:

$$a_w = 0,5(d_1 + d_2)$$

$$a_w = 0,5(87 + 33) = 60$$

Швидкість обертання черв'яка:

$$V = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n}{60}$$

$$V = \frac{\pi \cdot 33 \cdot 10}{60} = 17,279 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Швидкість ковзання:

$$V_s = \frac{V}{\cos \gamma}$$

Де $\gamma = 5^\circ 30'$ — це дільний кут підйому витка

$$V_s = \frac{17,279 \cdot 10^{-2}}{\cos 5^\circ 30'} = 17,359 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

Розрахунок на міцність

Запас міцності:

$$\sigma_n = \frac{170}{z_2} \cdot g \sqrt{\frac{T \cdot k \left(\frac{z_2}{g} + 1 \right)^3}{a_w}}$$

Де $T = 1270$ — крутний момент на валі

$k = k_\beta \cdot k_v$ — коефіцієнт навантаження

$k_\beta = 1,5$ — Коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження, що визначається

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

за формулою:

$$k_{\beta} = 1 + \left(\frac{Z_2}{\theta}\right)^3 (1 - x)$$

Де:

$\theta = 80$ – коефіцієнт деформації черв'яка.

$x=0,3$ – допоміжний коефіцієнт при значних коливаннях навантаження

$k_v = 1,5$ – коефіцієнт динамічності

$$k_{\beta} = 1 + \left(\frac{58}{80}\right)^3 (1 - 0,3) = 1,507$$

$$k = k_{\beta} \cdot k_v = 1,507 \cdot 1,5 = 2,261$$

$$\sigma_n = \frac{170}{34} \cdot 8 \sqrt{\frac{1270 \cdot 2,261 \left(\frac{58}{8} + 1\right)^3}{60}} = 525,115 \text{ МПа}$$

Визначимо міцність зуба на згин:

$$Z_v = \frac{Z_2}{\cos \gamma^3}$$

$$Z_v = \frac{58}{\cos 5^{\circ}30'3} = 58,809$$

Коефіцієнт форми зуба:

$$\gamma_f = 0,471$$

Напруження згину:

$$\sigma_F = \frac{1,2 \cdot T \cdot k \cdot \gamma_F}{Z_2 \cdot b_2 \cdot m^2}$$

Де:

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$\gamma_f = 0,426$ – коефіцієнт форми зуба, табличне значення

$$\sigma_F = \frac{1,2 \cdot 1270 \cdot 2,261 \cdot 0,471}{34 \cdot 12 \cdot 1,5^2} = 47,838 \text{ МПа}$$

Напруження $47,838 \text{ МПа} \leq [\sigma_{of}] = 50 \text{ МПа}$ задовільняє умову

3.5.6 Розрахунок передачі колесо-рейка

Кінематичний і геометричний розрахунок передачі

Рейкову передачу можна розглядати як окремий випадок зубчастої передачі, одне з коліс якої перетворено в рейку.

Замість передатного числа для таких передач використовують лінійне переміщення, що відповідає одному оберту ведучого колеса. Цей параметр є довжиною ділильного кола, переміщення за один оберт

$$L = \pi \cdot m \cdot z \quad (3.65)$$

$$L = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 25 = 117,81$$

Швидкість поступального руху рейки

$$U_p = \frac{\pi \cdot m \cdot z_1 \cdot n_1}{60 \cdot 100} \text{ м/с}, \quad (3.66)$$

де

$m = 1,5$ — ділильний модуль рейкової шестерні, мм;

$n_1 = 0,17$ — частота обертання рейкової шестерні;

$z_1 = 25$ — число зубів рейкової шестерні.

$$U_p = \frac{\pi \cdot 1,5 \cdot 25 \cdot 0,17}{60 \cdot 100} = 3,338 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} \quad (3.67)$$

Діаметр ділильної окружності шестерні

$$d_1 = m \cdot z = 1,5 \cdot 25 = 37,5 \text{ мм},$$

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Розрахунок передачі на міцність

Перевірка зубів шестерні на міцність за напруженнями згину проводиться за рівняннями:

для прямозубих шестерень:

$$\sigma_{зг} = \frac{P k \gamma}{y m b} \leq [\sigma]_{зг} \quad (3.68)$$

де P — окружне зусилля на рейковому колесі, кг. Пов'язане з крутним моментом T , що передається тілом обертання, залежністю

$$P = \frac{2 \cdot T}{d_1} \quad (3.69)$$

$$P = \frac{2 \cdot 1270}{37,5} = 67,7$$

K — $K_A \cdot K_{Hv} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha}$ — коефіцієнт навантаження, методика визначення якого та ж сама, що і для зубчастих передач;

де $K_A=1$ — коефіцієнт, що враховує зовнішнє динамічне навантаження,

$K_{Hv}=1,04$ - коефіцієнт, який враховує динамічне навантаження, що виникає в зчепленні в залежності від обхватної швидкості,

$K_{H\beta}=1,04$ - коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця,

$K_{H\alpha}=1$ — (для прямозубих коліс) Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження між зубцями,

$K_H=K_A \cdot K_{Hv} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha}=1,04 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot 1=1,08$ — коефіцієнт навантаження,

$\gamma=1,5$ — коефіцієнт, що враховує вплив зносу зубів на їхню міцність на згин.

Приймається γ залежно від допустимого зносу: $\gamma=1,25$ при 10% зносу, $\gamma=1,5$ при 20% зносу і $\gamma=2,0$ при 30% зносу;

$y = 0.471$ — коефіцієнт форми зуба, приймається з таблиці в залежності від

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

еквівалентної кількості зубів z_u :

$$z_u = \frac{z}{\cos^3 \beta} \quad (3.70)$$

$$z_v = \frac{66}{13} = \frac{66}{1} = 66$$

$b = 25$ — ширина шестерні (рейки). Рекомендується приймати $b = (10 - 20)m$;

$[\sigma]_{зг}$ — допустима напруга вигину, для гартованих коліс з твердістю HB > 350: $[\sigma]_{зг} = 0,36 \cdot$

Як правило, шестерню виготовляють із більш міцної та зносостійкої сталі, оскільки її зуби контактують частіше. Поширений вибір — леговані сталі, наприклад сталь 18ХГТ

$\sigma_b \approx 1130$ МПа — границі міцності для твердості HRC 58-62

$$\sigma_{зг} = \frac{67 \cdot 1,08 \cdot 0,471}{1,5 \cdot 1,5 \cdot 25} = 621 \text{ МПа} \leq 1130 \text{ МПа}$$

3.6. Опис конструкцій і роботи вузлів

3.6.1. Опис конструкції шпindelної головки з шпинделем

Шпindelна головка являє собою литу жорстку деталь з внутрішніми ребрами (конструкція у графічній частині роботи). Вона включає шліцевий вал, розточувальний шпindel, пристрій механічного затиску інструменту, механізм ручного провороту шпинделя, проміжну рейку і механізм затиску гільзи.

Шпindel отримує обертання від приводного шківа 7, змонтованого на окремому кронштейні, який закріплений на колоні, через шліцевий вал 6 і хрестову муфту I. Ручний проворот шпинделя здійснюється ручкою 5 при натисканні її до зчеплення конічних коліс 4 і 3.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Переміщення гільзи шпинделя і головки здійснюється за допомогою рейкової пари і пальця 12, що з'єднує рейку 10 з гільзою.

Автоматичне відключення подачі шпинделя в крайньому верхньому і нижньому положеннях проводиться мікровимикачем, встановленим на напрямній рейці, і двома кулачками, вставленими в рейку. Для обмеження максимального ручного переміщення шпинделя служить вікно для пальця 12 корпусі шпиндельної головки.

Ручне переміщення шпиндельної головки виробляють за допомогою важелів 7 при віджатій головці. Механічне переміщення головки здійснюють включенням механічної подачі рукояткою 10.

Механізм затискача інструменту складається з стрижня 1, шомпола 2 кулачкової муфти 9, зубчастої запобіжної муфти 8 і перемикача 13. Для затиску інструменту необхідно перемикач 13 установити інструмента перемикач 13 слід встановити в робоче положення.

Механізм затиску гільзи складається із стрижня 2 та гвинта/. Управління затискачем проводиться обертанням гвинта 1 спеціальним ключем

3.6.2. Опис конструкції приводу подач

Коробку подач вмонтовано в колону. Вона включає в себе механізми механічної подачі, реверсу, перемикання подач, пристрій для включення та вимикання механічної подачі та ручного переміщення рейки, верньєр для тонкої подачі гільзи, механізм вимикання подачі на заданій глибині.

Увімкнення та реверсування механічної подачі шпинделя здійснюється натисканням рукоятки 10 вгору або вниз. Перемикання подач шпинделя проводиться рукояткою 18, з допомогою якої пересувається штовхач з вилкою, з'єднаної з блоком шестерень.

Включення подачі здійснюється натисканням на важелі 7 у напрямку від колони, вимкнення натисканням важелів в протилежному напрямку. Ручне переміщення гільзи здійснюється обертанням важелів 7 в потрібному напрямку.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Механізм вимикання подачі на заданій глибині включає: кулачок 11, який жорстко пов'язаний з лімбом 12, що визначає положення шпинделя щодо шпиндельної головки, важіль 1 вимикача, собачку 2 і два диски 5 і 6. Диск 5 пов'язаний з рукояткою включення та реверсування механічної подачі шпинделя.

При свердлінні або розточуванні на задану глибину лімб 12 встановлюють на задану координату і затискають гайкою через 14 кільце 13. Включають механічну подачу шпинделя. На заданій глибині кулачок 11 тисне на кінець важеля 1, інший кінець якого виходить із зачеплення з дисками 5 і 6; при цьому відбувається миттєве вимкнення з зачеплення шестерні 3, а тим самим вимикається і механічна подача шпинделя.

Лімб 12 показує положення шпинделя щодо головки шпинделя. Для визначення нульового положення шпиндель опускають вниз до упору. Лімб віджимають за допомогою гайки 14, перед ризиком індексу встановлюють на нуль і затискають гайкою 14.

Переміщення шпиндельної головки роблять при відтиснутому затиску. При цьому включається зубчаста муфта, виконана заодно з шестернею 10. Муфту в зачепленні тримають пружини 9. При затиску шпиндельної головки зубчаста муфта відключається.

Масило всіх шестерень картерна, підшипники змащуються розбризкуванням. Екран вказівника рівня олії виведений праворуч колони.

3.7 Висновки по розділу

1. Проведено кінематичні розрахунки приводів головного руху та подач. На основі розрахункової потужності ($P_{ед} = 2,006$ кВт) обрано асинхронний електродвигун ПБС-33 потужністю 2,1 кВт.
2. Виконано проектні та перевірочні розрахунки ключових елементів приводів, включаючи плоскопасові, черв'ячні та зубчасті передачі, а також передачу колесо-рейка. Для всіх передач підтверджено виконання умов міцності.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3. Спроековано шпиндельний вузол, змодельований як балка на двох опорах. Проведено розрахунок його жорсткості ($j_1=16,44$ Н/мкм), що є критично важливим для забезпечення точності обробки.
4. Визначено геометричні параметри та кількість зубів для всіх зубчастих коліс, а також розраховано та перевірено на міцність найбільш навантажену зубчасту пару Z4-Z5.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

4.АВТОМАТИЗОВАНІ РОЗРАХУНКИ ДЕТАЛЕЙ

4.1 Автоматизований розрахунок вала

4.1.1 Вихідні дані:

Проведення автоматизованого розрахунку передбачає використання системи SolidWorks Simulation.

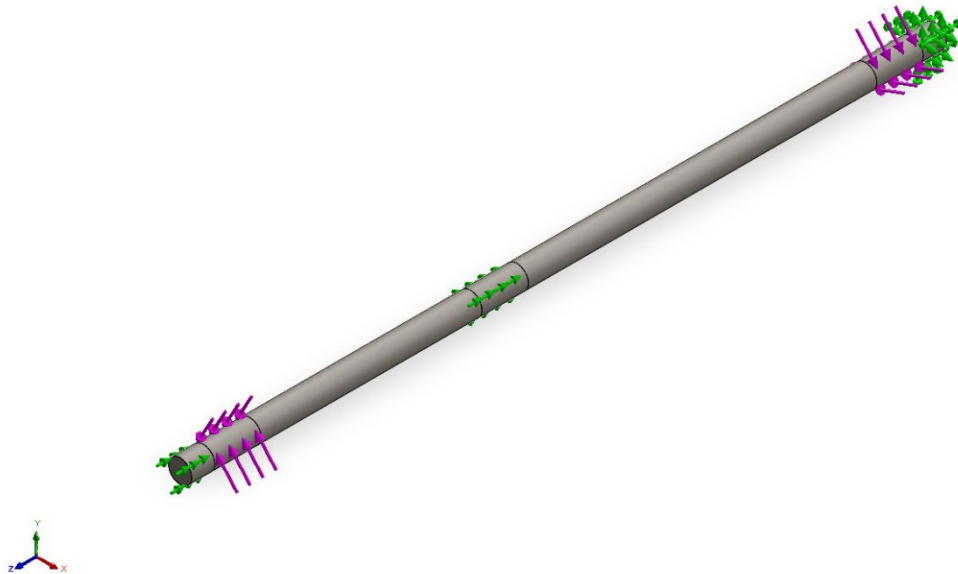
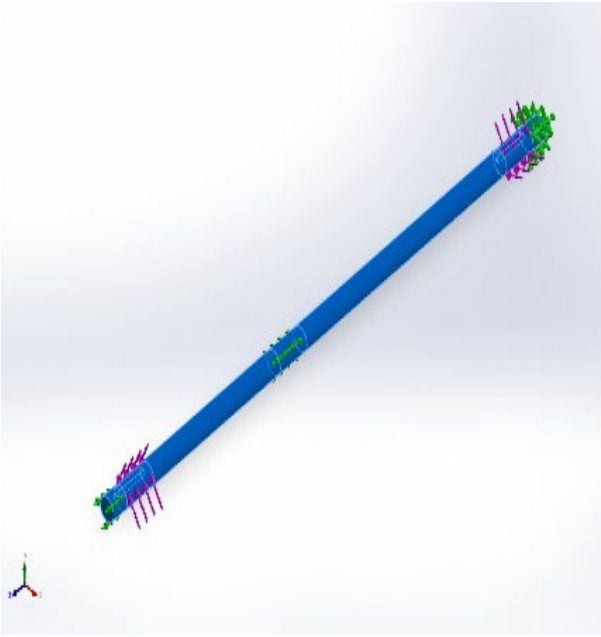


Рис. 4.1 Твердотільна модель ІІ вала

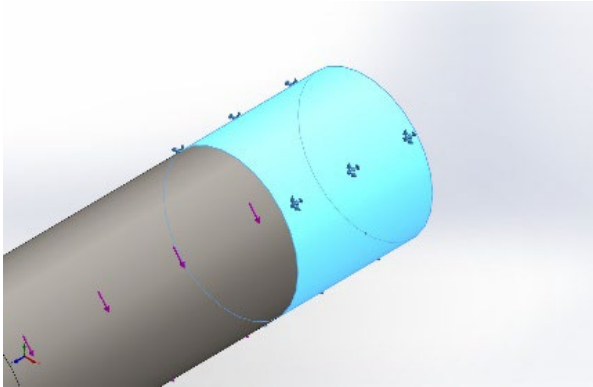
Розрахунок виконується за допомогою методу скінченних елементів [60](МСЕ). Тривимірна модель автоматично розбивається на сітку, що складається з елементів та вузлів. До сітки прикладаються граничні умови: властивості матеріалу, закріплення та зовнішні навантаження[61]. Програмний розв'язувач вирішує систему алгебраїчних рівнянь для визначення переміщень у кожному вузлі[62]. На основі переміщень обчислюються деформації та напруження всередині кожного елемента. Кінцеві результати візуалізуються у вигляді кольорових епюр для інженерного аналізу[63].

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ							
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата								
Розроб.	Тарапата О.С.				4.Автоматизовані розрахунки деяких деталей				Літ	Аркуш		Аркушів
Розроб.	Долішній С.С											
Переір.	Крупа В.В											
Н. контр.	Кобельник В.Р								ТНТУ, ФМТ, МВ-41			
Зав. каф.	Крупа В.В											

Таблиця 4.1 Властивості матеріалу

Модель	Властивості
	Назва
	AISI 1045
	матеріалу:
	Steel, cold drawn
	Критерій
	Макс. напруга
	руйнування:
	за Мізесом
	Межа
	$5,3e+08 \text{ N/m}^2$
	тежчості:
	Міцність на
	$6,25e+08$
	розрив
	N/m^2
	Модуль
	$2,05e+11$
	пружності:
	N/m^2
	Коефіцієнт
	0,29
	Пуассона:
	Густота:
	$7\,850 \text{ kg/m}^3$
	Модуль зсуву:
	$8e+10 \text{ N/m}^2$

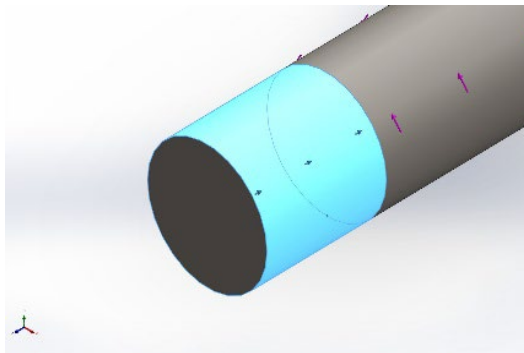
Таблиця 4.2 Сили закріплення першої опори

Закріплення	Деталі закріплення	
		
	Об'єкти:	Циліндрична поверхня
	Тип:	Підшипник

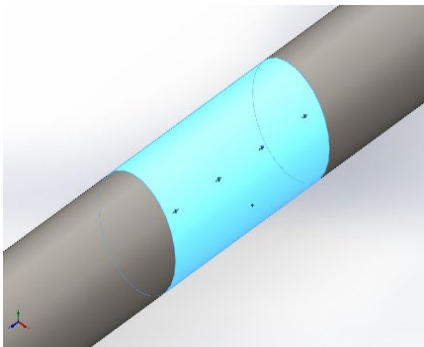
					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Сили закріплення				
Тип	X-Компонент	Y-Компонент	Z-Компонент	Результат
Осьова сила (N)	-0,00735164	0,499296	0,422288	0,653971
Сила зсуву (N)	0	0	0	0

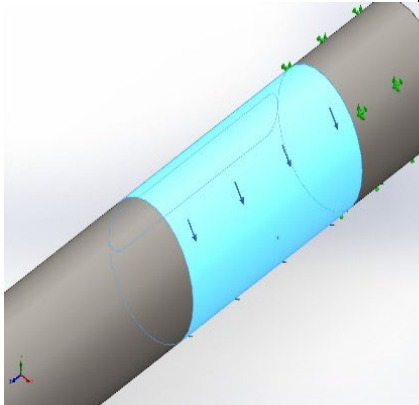
Таблиця 4.3 Сили закріплення другої опори

Закріплення		Деталі закріплення		
				
		Об'єкти:	Циліндрична поверхня	
		Тип:	Підшипник	
Сили закріплення				
Тип	X- Компонент	Y- Компонент	Z- Компонент	Результат
Осьова сила (N)	0	0	0,764989	0,764989
Сила зсуву (N)	0	0	0	0

Таблиця 4.4 сили закріплення третьої опори

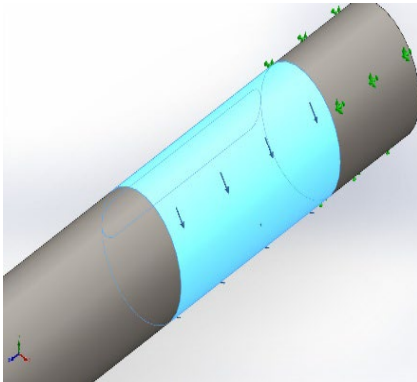
Закріплення		Деталі закріплення		
				
	Об'єкти:	Циліндрична поверхня		
	Тип:	Підшипник		
Сили закріплення				
Тип	X- Компонент	Y- Компонент	Z- Компонент	Результат
Осьова сила (N)	0	0	-1,18753	1,18753
Сила зсуву (N)	0	0	0	0

Таблиця 4.5 Перше навантаження

Назва навантаження	Зображення навантаження	Деталі навантаження	
Сила-1		Об'єкти:	Циліндрична поверхня
		Тип:	Застосувати момент
		Значення:	17,51 N

Таблиця 4.6 Друге навантаження

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Назва навантаження	Зображення навантаження	Деталі навантаження		
Сила-2		Об'єкти:	Циліндрична поверхня	
		Тип:	Застосувати крутний момент	
		Значення:	-17,51 N	

Таблиця 4.7 Інформація про сітку

Вид	Твердотільна сітка
Використаний сітковбудівник	Сітка на основі змішаної кривизни
Загальна кількість вузлів	268666
Загальна кількість елементів	179695
% елементів зі співвідношенням сторін <3	98,9
% елементів зі співвідношенням сторін > 10	0,195
Якість сітки	Висока

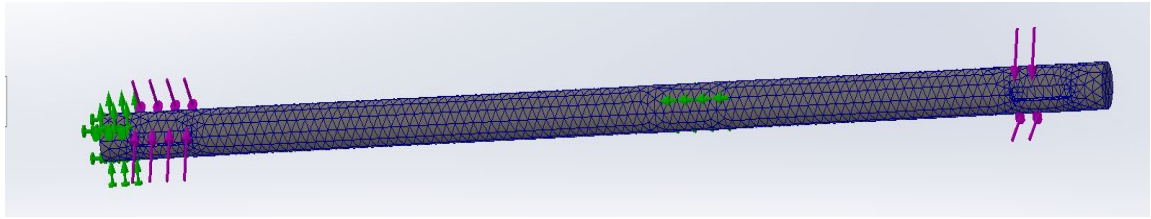


Рис 4.2 Структурна сітка вала

4.1.2 Результати автоматичних розрахунків

Результати розрахунків (сили реакції, напруження, переміщення та деформації) наведено в таблицях 3.3 та 3.4

Таблиця 4.8. Сила реакції:

Вибраний набір	Одиниці	Сума X	Сума Y	Сума Z	Результуюча
Всієї моделі	N	-0,00735	0,4992	0,0003337	0,49935

Таблиця 4.9 Результати досліджень

Назва	Тип	Min	Max
Напруження-1	VON: Напруга за Мізесом	1,444e+04N/m^2 Node: 13957	5,047e+07N/m^2 Node: 10365

Назва	Тип	Min	Max
-------	-----	-----	-----

Model name: 2 вал
Study name: БАЛ 2(-Default-)
Plot type: Static nodal stress Stress1

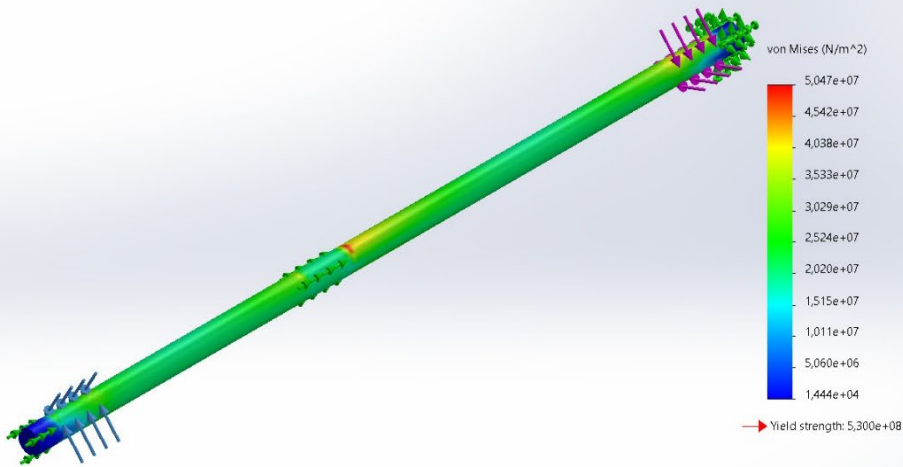


Рис. 4.3 Вал 2 симуляція- Напруження

Назва	Тип	Min	Max
Переміщення-1	URES: Результуюче переміщення	0,000e+00mm Node: 3	5,749e-01mm Node: 7258

Model name: 2 вал
Study name: БАЛ 2(-Default-)
Plot type: Static displacement Displacement1

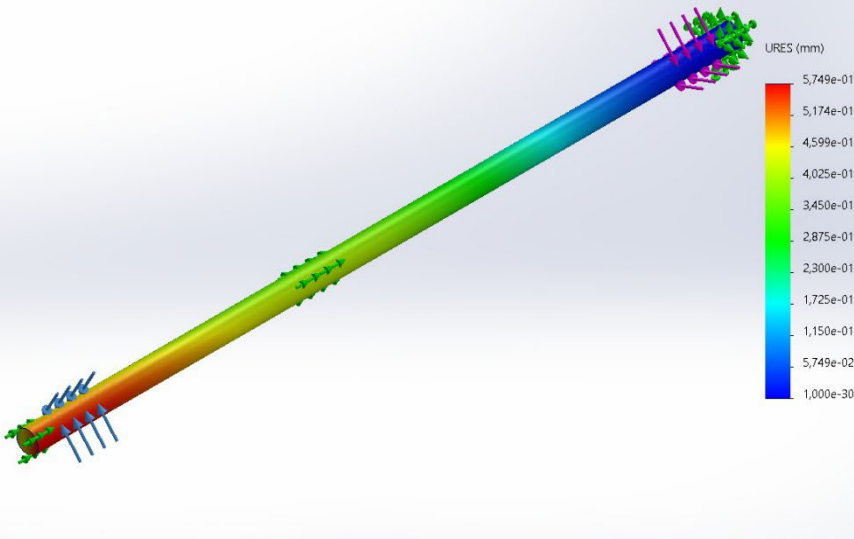


Рис. 4.4 Вал 2 симуляція- Напруження

Назва	Тип	Min	Max
Деформація-1	ESTRN: Еквівалентна деформація	4,708e-08 Element: 4421	1,775e-04 Element: 7243

Model name: 2 вал
Study name: BAP1 2(-Default-)
Plot type: Static strain Strain1

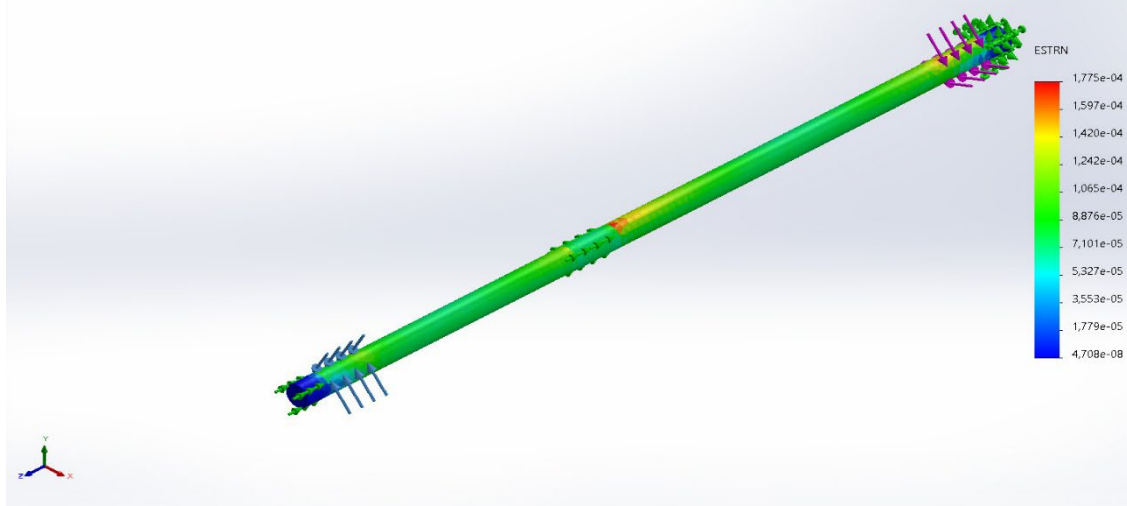


Рис. 4.5 Вал 2 симуляція- Деформація

4.2 Автоматизований розрахунок шпинделя

4.2.1 Вихідні дані:

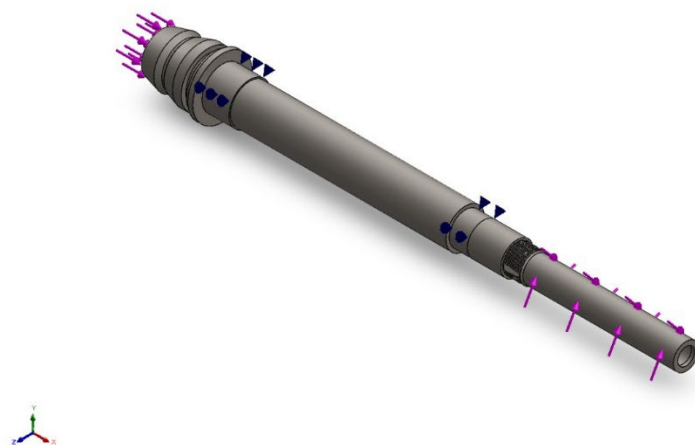


Рис. 4.6 Твердотільна модель шпинделя

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

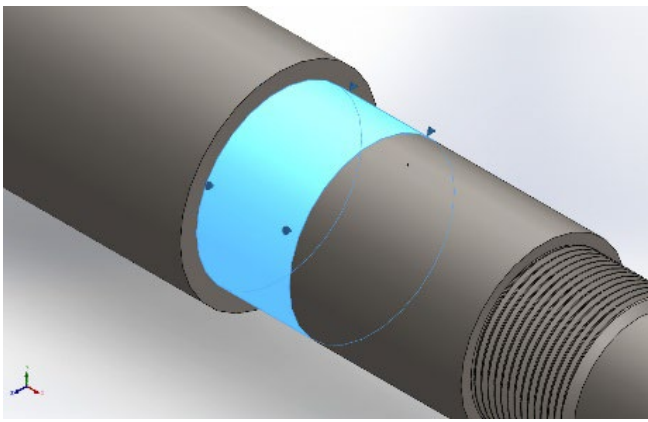
До шпинделя прикладено сили від шківа пасової плоско-пасової передачі, що на ньому розміщені.

Таблиця 4.10 Властивості матеріалу

Модель	Властивості	
	Назва матеріалу:	AISI 4340 Steel, normalized
	Критерій руйнування:	Макс. напруга за Мізесом
	Межа текучості:	7,1e+08 N/m ²
	Міцність на розрив	1,11e+09 N/m ²
	Модуль пружності:	2,05e+11 N/m ²
	Коефіцієнт Пуассона:	0,32
	Густота:	7 850 kg/m ³

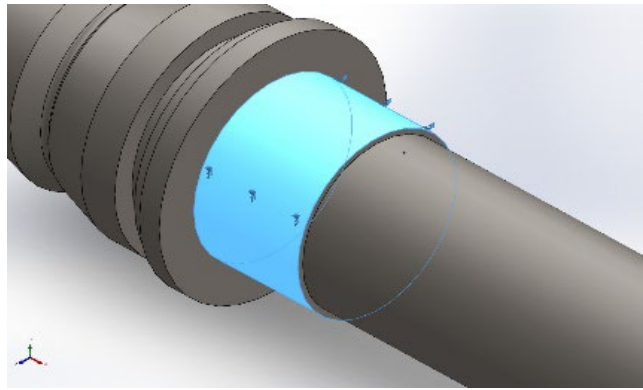
Таблиця 4.11. Особливості системи закріплення шпинделя

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Закріплення	Деталі закріплення	
		
	Об'єкти:	1 грань
	Тип:	Підшипник

Сили закріплення

Тип	X-Компонент	Y-Компонент	Z-Компонент	Результат
Осьова сила (N)	-3,5333	0	0	3,5333
Сила зсуву (N)	0	-33,24	51,266	61,099

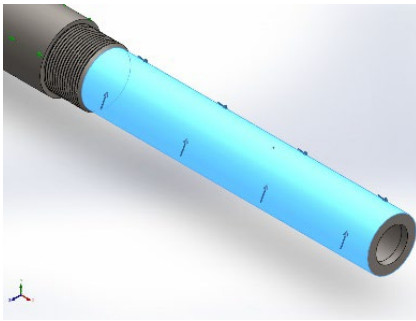
Закріплення	Деталі закріплення	
		
	Об'єкти:	1 грань
	Тип:	Підшипник

Сили закріплення

Тип	X-Компонент	Y-Компонент	Z-Компонент	Результат

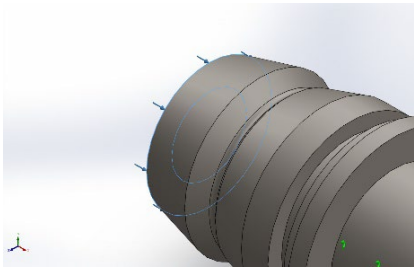
Осьова сила (N)	-699,02	0	0,764989	-699,02
Сила зсуву (N)	0	30,722	-36,546	47,744

Таблиця 4.12. Особливості системи навантаження шпинделя

Назва навантаження	Зображення навантаження	Деталі навантаження	
Сила-2		Об'єкти:	1 грань
		Тип:	Застосувати момент
		Значення:	14,04 N
		Об'єкти:	Циліндричне тіло
		Тип:	Застосувати момент

Таблиця 4.13 Сітка побудови

Вид	Твердотільна сітка
Використаний сітковбудівник	Сітка на основі змішаної кривизни
Загальна кількість вузлів	17689
Загальна кількість елементів	9692
% елементів зі співвідношенням сторін < 3	63,9
% елементів зі співвідношенням сторін > 10	15,2
Якість сітки	Висока

Назва навантаження	Зображення навантаження	Деталі навантаження	
Сила-2		Об'єкти:	1 грань
		Тип:	Застосувати момент
		Значення:	703 N
		Об'єкти:	грань
		Тип:	Застосувати нормальну силу

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

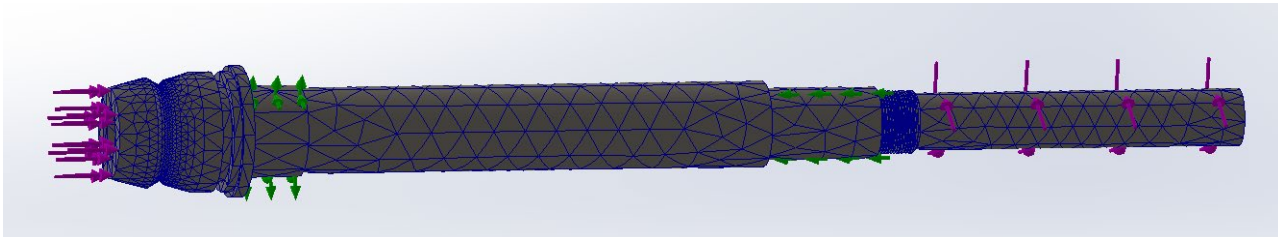


Рис. 4.7 Модель сітки

4.2.2 Результати автоматичних розрахунків

Таблиця 4.14 Результати досліджень

Назва	Тип	Min	Max
Напруження-1	VON: Напруга за Мізесом	2,372e-02N/mm^2 (MPa) Node: 314	3,254e+01N/mm^2 (MPa) Node: 5833

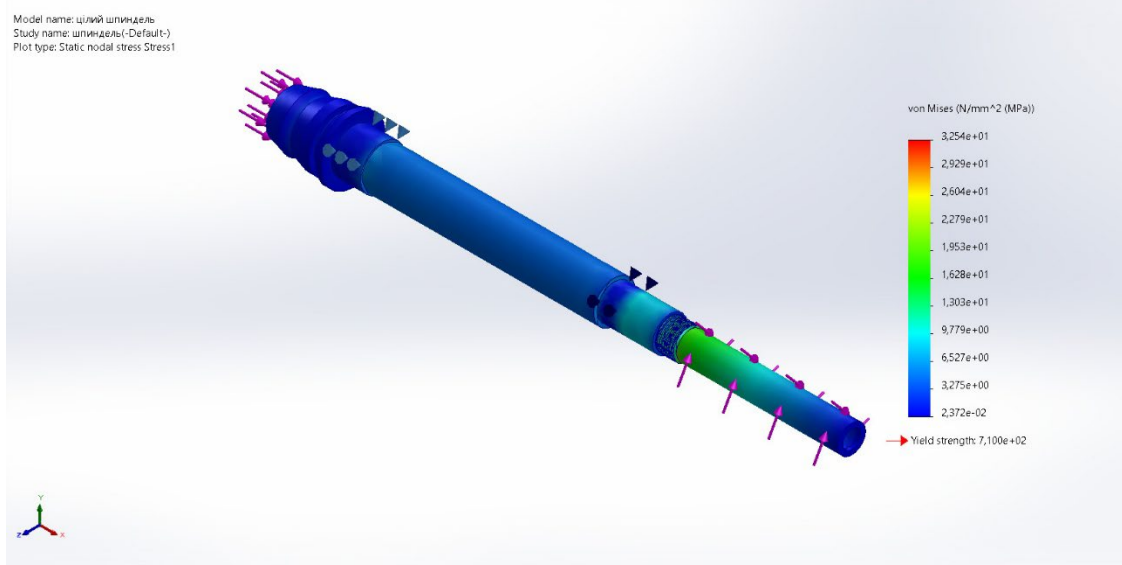


Рис. 4.8 Шпиндель симуляція- Напруження

Назва	Тип	Min	Max
Переміщення-1	URES: Результуюче	-4,708e+03am	4,717e+03am

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Назва	Тип	Min	Max
	переміщення	Node: 1106	Node: 1111

Model name: цільний шпиндель
Study name: шпиндель;(Default:)
Plot type: Static displacement Displacement1

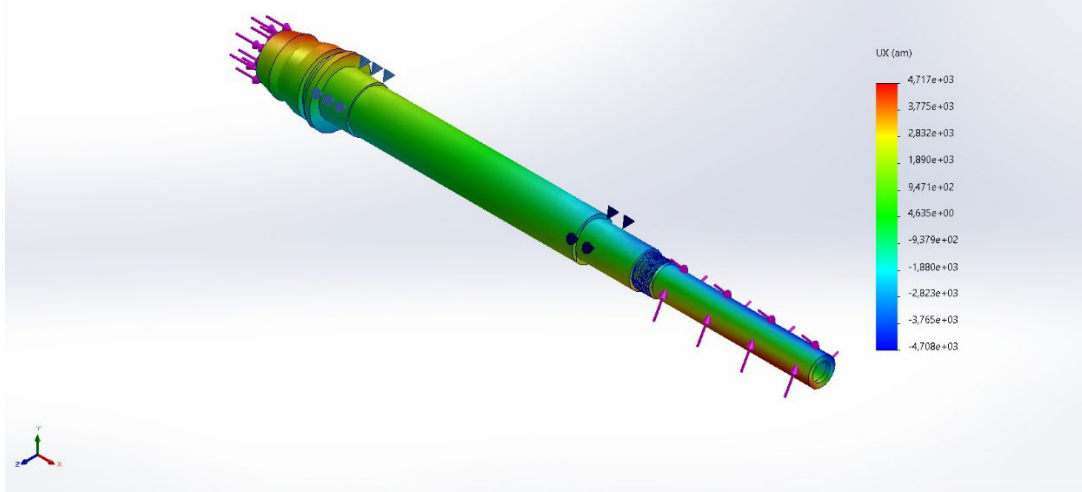
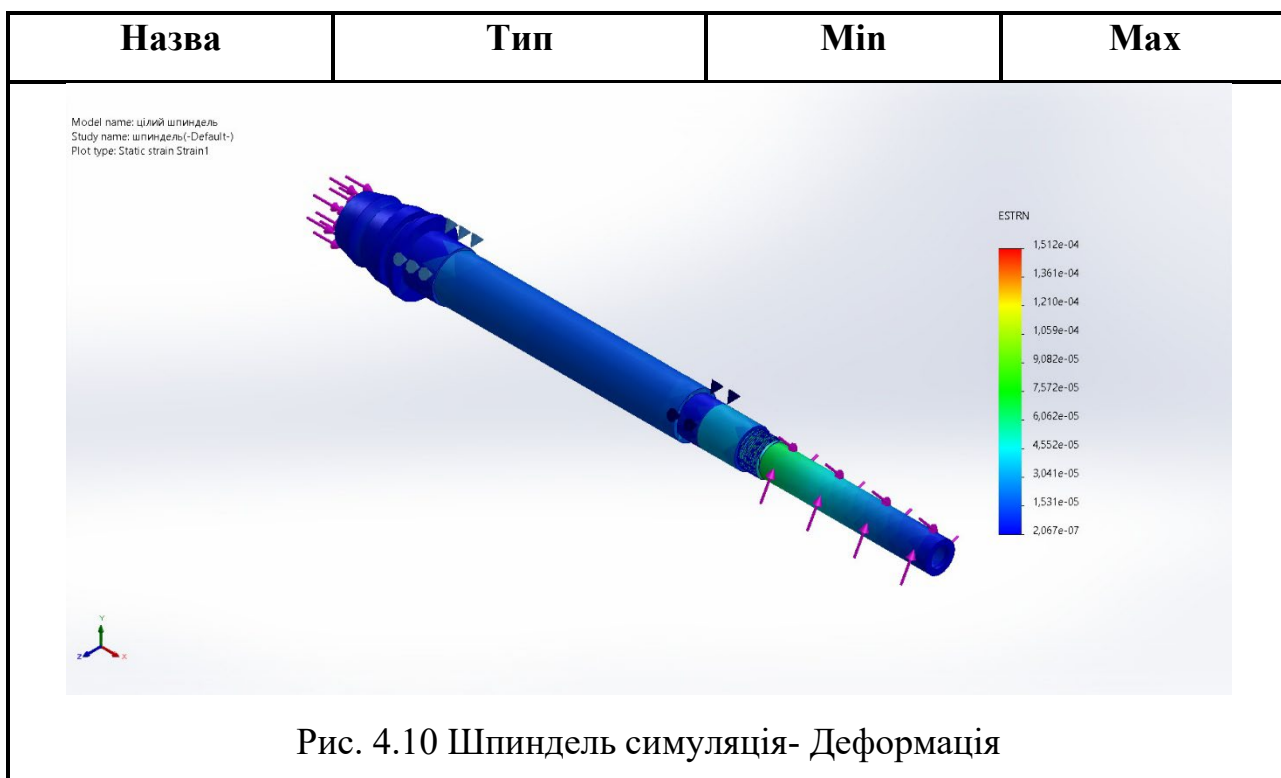


Рис 4.9 шпиндель симуляція - Переміщення

Продовження таблиці 4.14

Назва	Тип	Min	Max
Деформація-1	ESTRN: Еквівалентна деформація	-4,708e+03am Node: 1106	4,717e+03am Node: 1111

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		



4.2.3 Визначення динамічних характеристик шпинделя

Метою модального аналізу є визначення динамічних характеристик шпинделя — його власних частот та відповідних їм форм коливань[64]. Даний розрахунок дозволяє виявити критичні швидкості обертання, експлуатація на яких може призвести до виникнення резонансних явищ та руйнування конструкції через інтенсивні вібрації[65].

Епюра переміщень візуалізує деформований стан вала, а характер деформації, такий як прогин чи скручування, якісно відображає розподіл і тип прикладених статичних навантажень. Кількісний аналіз максимальних значень переміщень є прямою оцінкою жорсткості конструкції та дозволяє зробити висновок про її відповідність експлуатаційним вимогам, зокрема щодо збереження співвісності опор і точності роботи спряжених деталей

Для подальшого аналізу було обрано перші чотири частоти коливань, розраховані у середовищі SolidWorks Simulation.

Таблиця 4.15 Граничні частоти обертання шпинделя

Номер амплітуди	Амплітуда(Гц)
1	737,01

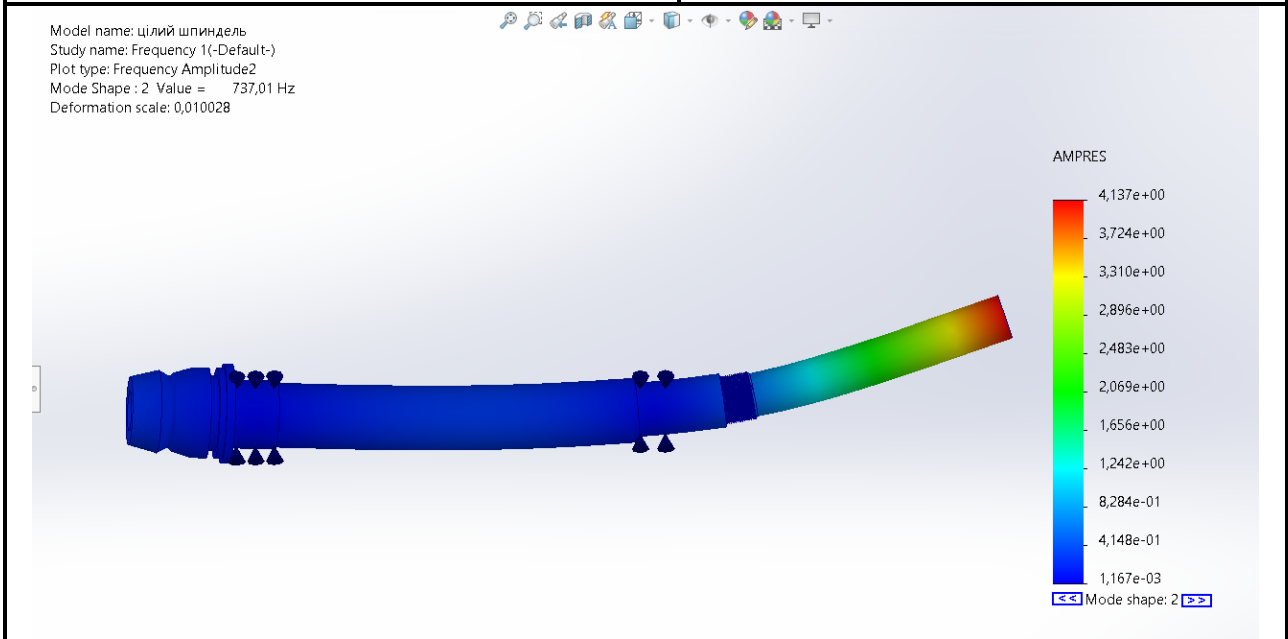
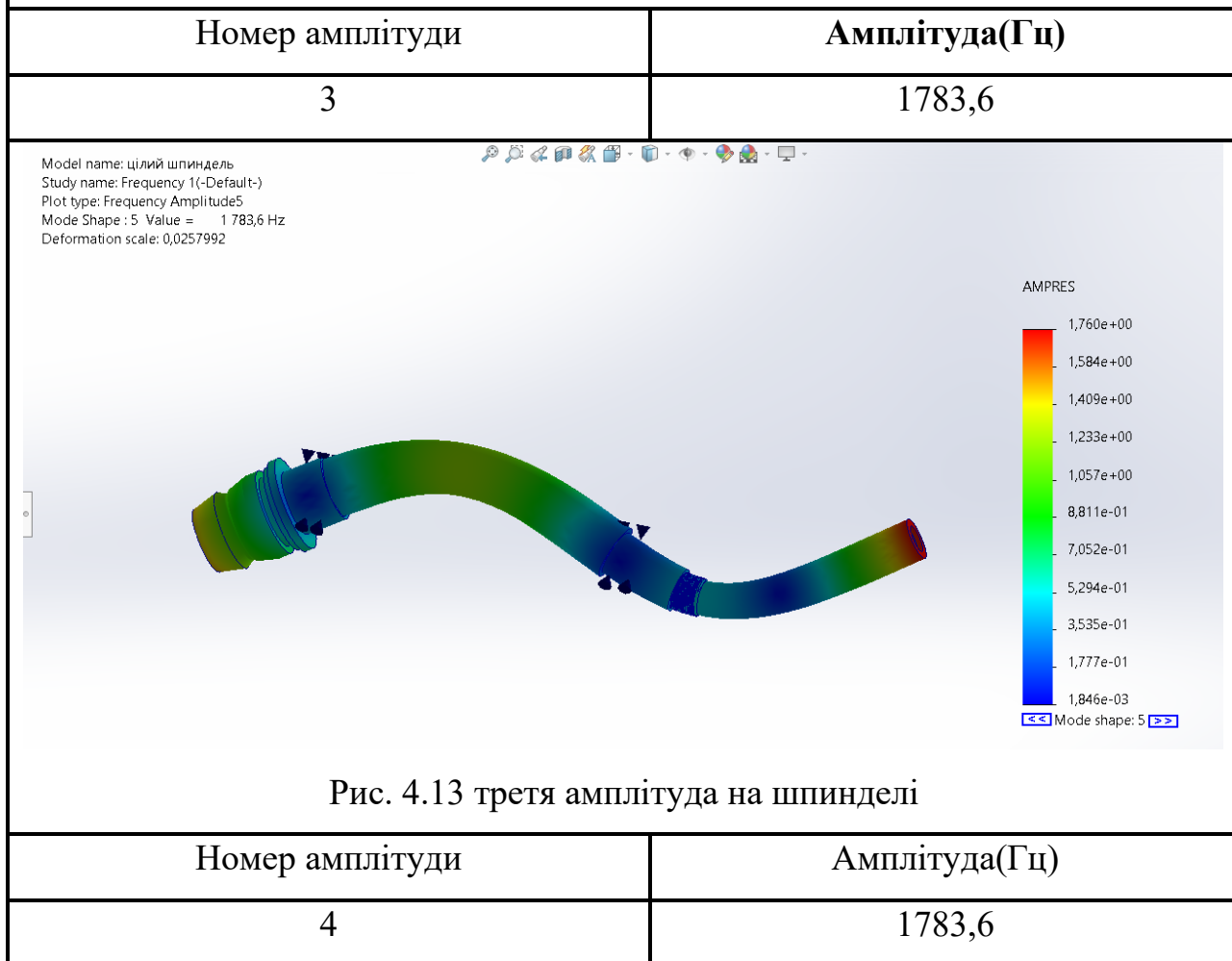
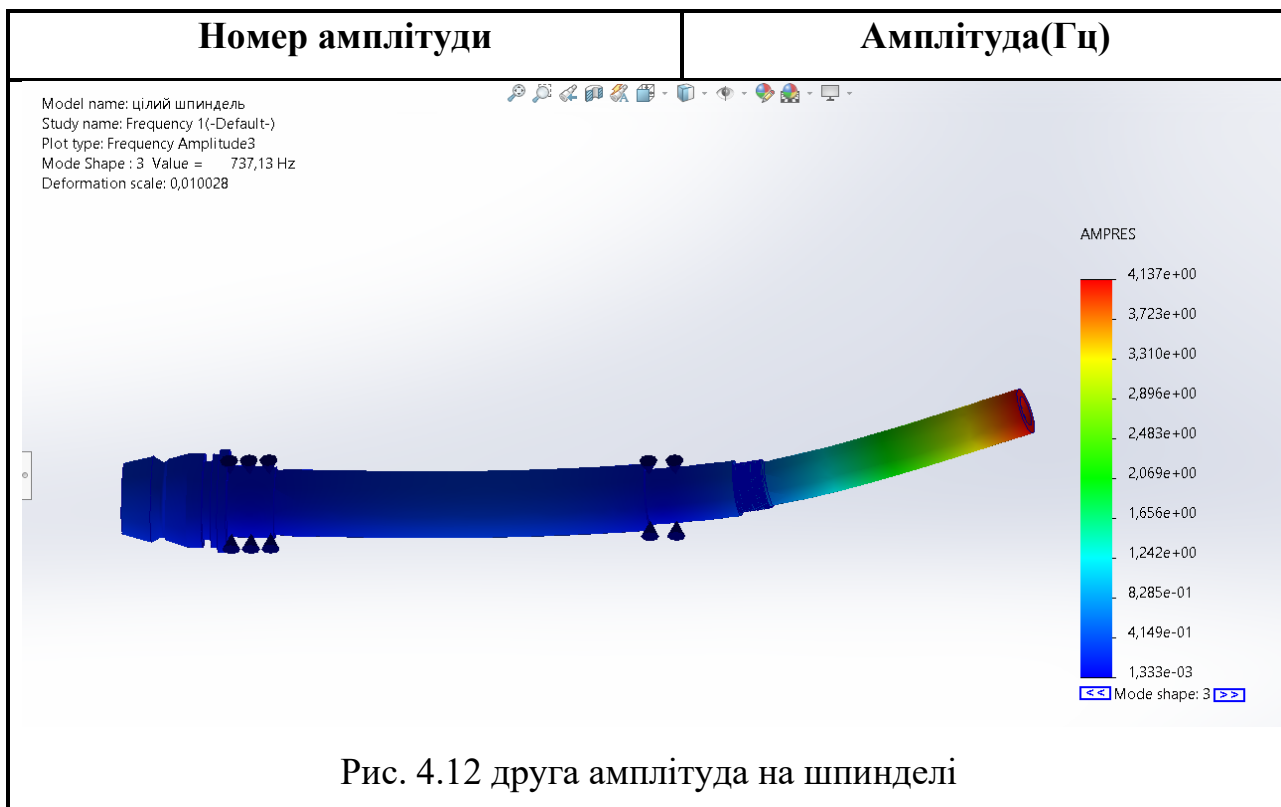
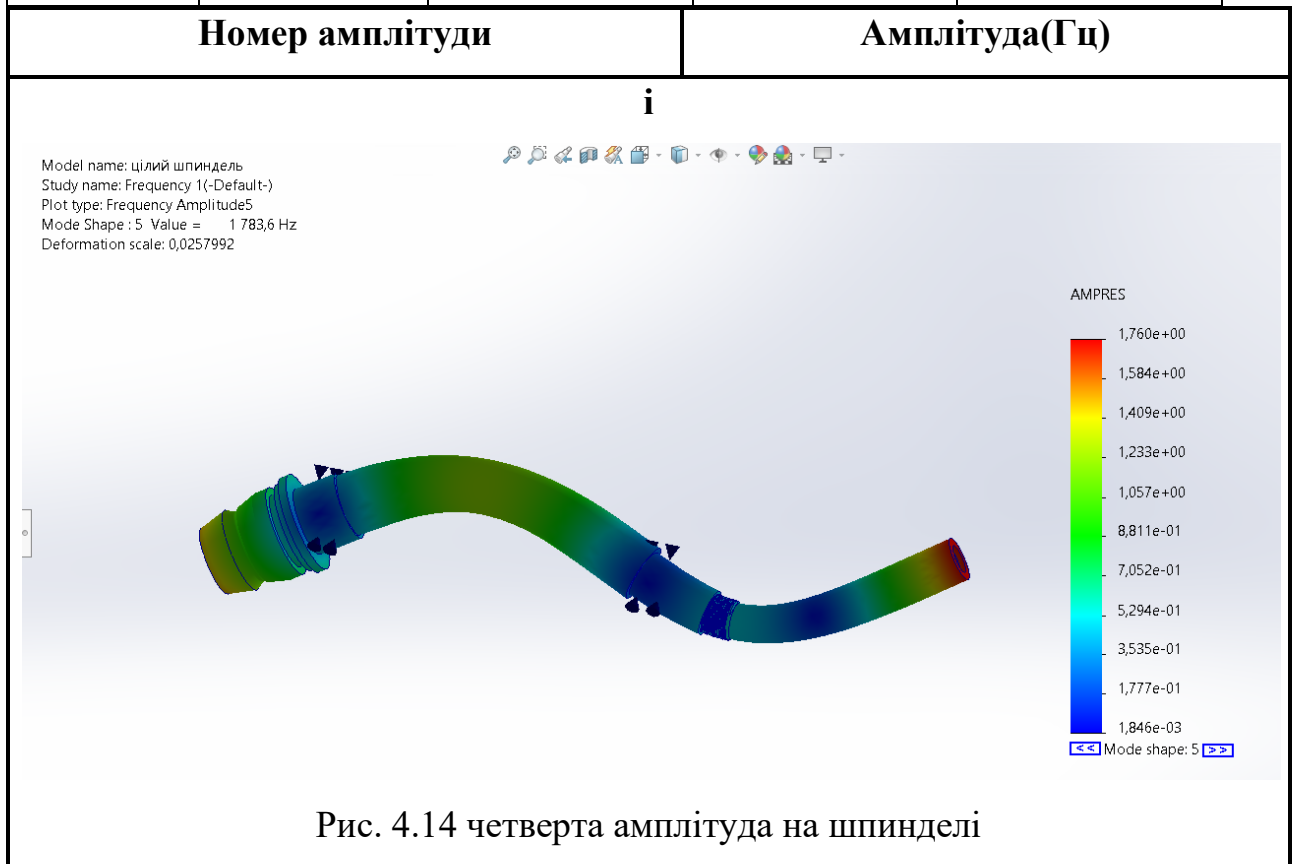


Рис. 4.11 перша амплітуда на шпинделі

Номер амплітуди	Амплітуда(Гц)
2	737,13
і	



Номер амплітуди	Частота (Гц)	Напрямок X	Напрямок Y	Напрямок Z
1	737,01	4,1278e-09	0,0017648	0,047592
2	737,13	9,1463e-12	0,047574	0,0017696
3	1 783,1	2,0468e-08	0,077098	0,01724
4	1 783,6	5,8176e-09	0,017247	0,07737
Сума		3,0422e-08	0,14368	0,14397



За результатами проведеного модального аналізу, перша (найнижча) власна частота коливань шпинделя становить 737 Гц. Цьому значенню відповідає перша критична швидкість обертання $\approx 44\,220$ об/хв.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Висновки по розділу

1. Проведено автоматизований розрахунок вала та шпинделя за допомогою методу скінченних елементів у програмному комплексі SolidWorks Simulation.
2. Виконано статичний аналіз[66] для обох деталей. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження за Мізесом у валі ($5,047\text{e}+07 \text{ Н/м}^2$) та шпинделі ($3,254\text{e}+01 \text{ Н/мм}^2$) є значно нижчими за межі текучості відповідних матеріалів ($5,3\text{e}+08 \text{ Н/м}^2$ та $7,1\text{e}+08 \text{ Н/м}^2$), що підтверджує їхній достатній запас міцності.
3. Для шпинделя додатково здійснено модальний аналіз з метою визначення його динамічних характеристик, а саме власних частот та відповідних їм форм коливань. [67]
4. Розраховано, що перша (найнижча) власна частота коливань шпинделя становить 737 Гц, що відповідає критичній швидкості обертання $\approx 44\,220$ об/хв⁵. Це значення суттєво перевищує максимальну експлуатаційну швидкість (3000 об/хв), що повністю виключає можливість виникнення резонансу під час роботи⁶.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

5. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1. Організація служби охорони праці на підприємстві

Служба охорони праці створюється роботодавцем на підприємстві відповідно до Закону України «Про охорону праці» (стаття 15 «Служба охорони праці на підприємстві» [68]). Обов'язковою є її наявність на підприємствах, де працює 50 і більше осіб. Для виробничої сфери ця вимога застосовується при кількості понад 50 працівників, а для підприємств невиробничої сфери — при кількості понад 100 працівників. Функціонування цієї служби також регламентується «Типовим положенням про службу охорони праці» (від 15 листопада 2004 року) — НПАОП 0.00-35 – 04.

На підприємствах із меншою кількістю працівників, де створення повноцінної служби не є обов'язковим, функції спеціаліста з охорони праці можуть виконуватись в порядку сумісництва. Крім того, законодавство дозволяє роботодавцю для виконання цих завдань залучати на договірних засадах сторонніх фахівців, які мають відповідну підготовку. Такий підхід забезпечує гнучкість для малого бізнесу, не знижуючи при цьому вимог до професійного рівня контролю за безпекою праці.

На підприємствах та в організаціях щорічно укладаються колективні договори. У цих документах, від імені трудового колективу, через профспілковий комітет або інший уповноважений орган, спільно з адміністрацією підприємства, обов'язково має бути передбачена конкретна робота в галузі охорони праці.

У договорі (угоді) з охорони праці деталізуються та доповнюються заходи з охорони праці по цехах, дільницях, визначаються терміни проведення кожного конкретного заходу та вказуються особи, відповідальні за їхнє виконання.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ		
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб.	Тарапата О.С.				5.Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Літ	Аркуш
Розроб.	Долішній С.С.						Аркушів
Консульт	Мариненко С.Ю.						
Н. контр.	Кобельник В.Р.					ТНТУ, ФМТ, МВ-41	
Зав. каф.	Крупа В.В.						

Згідно із Законом України «Про охорону праці» (стаття 19 «Фінансування охорони праці»), для проведення заходів з охорони праці створюється фонд охорони праці. Кошти цього фонду використовуються виключно на виконання заходів, що забезпечують доведення умов та безпеки праці до нормативних вимог або підвищення існуючого рівня охорони праці на виробництві. Фінансування охорони праці здійснюється роботодавцем.

Для підприємств, незалежно від форми власності, або фізичних осіб, які використовують найману працю, витрати на охорону праці мають становити не менше 0,5 відсотка від фонду оплати праці за попередній рік. Ця норма забезпечує створення необхідної матеріальної бази для планомірного поліпшення умов праці та профілактики виробничого травматизму, підтверджуючи державний пріоритет безпеки працівників.

Закон України «Про охорону праці» (стаття 18) покладає на роботодавця ключові обов'язки щодо організації навчання та контролю. До них належить організація інструктажів, навчання та перевірки знань з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги та правил поведінки в аварійних ситуаціях. Роботодавець зобов'язаний здійснювати постійний контроль за дотриманням працівниками технологічних процесів та правил поводження з устаткуванням, а також за використанням засобів індивідуального та колективного захисту.

Обов'язки роботодавця щодо навчання та контролю:

- проведення інструктажів та навчання з питань охорони праці;
- надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків;
- навчання правилам поведінки у разі виникнення аварії;
- здійснення постійного контролю за дотриманням працівниками технологічних процесів, правил поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, використання засобів колективного та індивідуального захисту;
- контролю за виконанням робіт відповідно до вимог щодо охорони праці.

Водночас, забезпечення безпеки на робочому місці є двостороннім

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

процесом. Стаття 14 Закону «Про охорону праці» чітко визначає і обов'язки самого працівника. Він зобов'язаний дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку оточуючих, знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці. Працівник несе пряму відповідальність за порушення цих вимог та зобов'язаний використовувати надані засоби індивідуального та колективного захисту і проходити обов'язкові медичні огляди.

5.2. Виробничий шум. Класифікація, вплив на оточуючих, вимоги та методи забезпечення норм безпеки

Виробничий шум — це небажаний або надмірний звук, що виникає на робочому місці в результаті діяльності виробничого процесу, роботи машин, інструментів або інших джерел[70]. Він є одним з найпоширеніших фізичних факторів, що негативно впливають на здоров'я та працездатність працівників.

Для правильної оцінки та вибору методів захисту, шум класифікують за фізичними характеристикам:

Таблиця 5.1 Класифікація робочого шуму

Критерій класифікації	Тип шуму	Характеристика
За характером спектра	Широкосмуговий	Має безперервний спектр шириною більше однієї октави.
	Вузькосмуговий (Тональний)	В спектрі чітко виражені дискретні тони. Рівень в одній смузі перевищує сусідні на 10 дБ і більше.
За часовими характеристиками	Постійний	Рівень звуку протягом 8-годинного робочого дня змінюється не більше ніж на 5 дБА.

Продовження таблиці 5.1

	Непостійний	Рівень звуку змінюється більш ніж на 5 дБА. Поділяється на: коливний, переривчастий та імпульсний.
--	-------------	---

У контексті гігієни праці шум класифікують за характером спектра та часовими характеристиками. За характером спектра виділяють широкосмуговий шум, що має безперервний спектр понад одну октаву, та вузькосмуговий (тональний), що характеризується безперервним спектром менше однієї октави або чітко вираженими дискретними тонами. Тональний характер визначається, якщо рівень у одній триоктавній смузі перевищує сусідні на 10 дБ або більше. Важливо зазначити, що октавна смуга – це діапазон частот, де верхня частота (f_2) удвічі вища за нижню (f_1). За часовими характеристиками шум поділяється на постійний, рівень звуку якого протягом 8-годинного робочого дня змінюється не більше ніж на 5 дБА, та непостійний, рівень звуку якого змінюється більш ніж на 5 дБА. Непостійний шум, у свою чергу, поділяється на коливний у часі, переривчастий та імпульсний. Індекс А вказує на вимірювання за шкалою А шумоміра, яка адаптована до частотної чутливості людського вуха, ослаблюючи низькочастотні складові.

Основними характеристиками шуму є спектр, інтенсивність звуку (I), звуковий тиск (P), швидкість звуку в середовищі (C), довжина хвилі (λ) та частота (f). Звукові коливання мають частоту від 20 Гц до 20 кГц. Коливання нижче 20 Гц називаються інфразвуковими, а вище 20 кГц – ультразвуковими. Хоча ці коливання не спричиняють звукових відчуттів, вони мають біологічний вплив на організм.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Інтенсивний та тривалий вплив шуму на організм людини має серйозні наслідки. Зокрема, у звуковому аналізаторі відбувається адаптація, що виражається у тимчасовому або навіть постійному підвищенні порогів слухової чутливості. Це може призвести до розвитку професійного захворювання – приглухуватості (погіршення слуху). Окрім прямого впливу на слух, шум спричиняє зниження розбірливості мовлення, розвиток втоми, порушення сну та проблеми з серцево-судинною системою. Дослідження показують, що збільшення виробничого шуму всього на 10 дБ може призвести до зростання захворюваності працівників у 1.2-1.3 рази. Це підкреслює не лише фізіологічні, а й значні економічні втрати від недооцінки впливу шуму.

Гігієнічне нормування шуму є критично важливим для збереження здоров'я працівників. З часом допустимі норми переглядалися в бік їхнього зниження, відображаючи поглиблення розуміння негативного впливу шуму. Наразі в Україні діють "Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку" – ДСН 3.3.6.037-99[71]. Постійний шум оцінюється рівнем звукового тиску в дБ, а непостійний – інтегральним параметром – еквівалентним рівнем звуку в дБА, що усереднюється за правилом рівної енергії. Для дослідження шуму застосовують диференційний метод (вимірювання рівня звукового тиску на середньгеометричних частотах кожної октавної смуги) та інтегральний метод (вимірювання єдиної числової характеристики – рівня звуку щодо всього спектра). Важливо, що для тонального та імпульсного шумів гранично допустимі рівні зменшуються на 5 дБ. Вимірювання проводяться спеціальними приладами – шумомірами.

Комплексний підхід до захисту від шуму передбачає поєднання організаційних, медико-профілактичних, архітектурно-планувальних та технічних заходів:

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 Методи захисту від шуму

Напрямок захисту	Тип заходу	Приклади
1. Зниження шуму в джерелі	Технічний	Модернізація обладнання, заміна гучних процесів тихішими, використання амортизуючих прокладок.
2. Послаблення на шляху поширення	Архітектурно-планувальний	Рациональне розміщення цехів, зонування території, збільшення відстані до джерела шуму.
	Технічний	Встановлення звукоізолюючих кожухів, акустичних екранів, глушників; акустична обробка приміщень (облицювання звукопоглинальними матеріалами).
3. Індивідуальний захист працівника	Медико-профілактичний	Регулярні медогляди, вітамінотерапія, кімнати психологічного розвантаження.

До організаційних та архітектурно-планувальних заходів належить зонування приміщень, прогнозування рівня шуму на етапі проєктування, оптимізація форми приміщень для зменшення відбиттів звукових хвиль, а також заборона перебування працівників у зонах з надмірним рівнем шуму (понад 135 дБ). Медико-профілактичні заходи включають регулярні медичні огляди, підвищення опірності організму (наприклад, вітамінотерапія) та використання кімнат психологічного розвантаження. Технічні засоби захисту зосереджені на трьох напрямках: усунення причин шуму або зниження його рівня в джерелі (заміна гучних технологій, модифікація механізмів), послаблення шуму на шляху його поширення (звукоізолюючі кожухи, глушники, акустичні екрани, акустична обробка приміщень, захист від структурного шуму) та індивідуальний захист працівників (вушні вклади, шумозахисні навушники, шоломи з навушниками залежно від інтенсивності шуму).[72]

Ретельне дотримання цих заходів та використання засобів захисту є запорукою збереження здоров'я працівників та підвищення продуктивності праці в умовах виробничого шуму.

5.3.Забезпечення пожежної безпеки. Профілактичні заходи запобіганню пожежі

Пожежна безпека — це комплексний стан об'єкта, що передбачає мінімізацію ризику виникнення та поширення пожежі, захист людей від її небезпечних факторів, а також збереження матеріальних цінностей [73]. Цей стан досягається шляхом реалізації організаційних, технічних та інших заходів, спрямованих на запобігання пожежам, забезпечення безпеки людей, зменшення можливих збитків та екологічних наслідків, а також створення умов для оперативного виклику пожежних підрозділів та ефективного гасіння пожеж.

Забезпечення пожежної безпеки в Україні регулюється Кодексом цивільного захисту України (КЦЗУ), законами та іншими нормативно-правовими актами [74]. Це стосується органів державної влади, місцевого

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

самоврядування, суб'єктів господарювання та громадян. Діяльність із забезпечення пожежної безпеки є невід'ємною частиною виробничої та іншої діяльності посадових осіб і працівників підприємств, установ та організацій, що має бути відображено в трудових договорах, статутах та положеннях.

Відповідальність за дотримання встановлених норм має чітко ієрархічну структуру. Вона покладається на власників та керівників суб'єктів господарювання, які зобов'язані організувати та підтримувати функціонування системи в цілому. Ця відповідальність також поширюється на проектні та будівельні організації на етапі розробки та реалізації проєктів, і завершується на рівні кожного окремого працівника, який зобов'язаний дотримуватися встановлених правил у межах своєї виробничої діяльності. Профілактичні заходи із запобігання пожежам

Ключовим компонентом системи є комплекс інженерно-технічних рішень, спрямованих на мінімізацію ризику появи джерел запалювання та контроль за горючим середовищем. Першочергова увага приділяється забезпеченню надійності електротехнічного обладнання, зокрема захисту мереж від струмів короткого замикання та перевантаження за допомогою автоматичних вимикачів та каліброваних запобіжників. Проведення вогневих робіт суворо регламентується і допускається лише у спеціально відведених зонах із застосуванням відповідних заходів безпеки. Контроль за горючим середовищем реалізується через герметизацію технологічних апаратів, що унеможливорює витоки палих речовин, та підтримку належного санітарного стану приміщень, що виключає накопичення горючого пилу та відходів.

Важливу роль відіграють заходи пасивного захисту, зокрема, вогнестійке секціонування будівель за допомогою протипожежних перешкод, таких як брандмауерні стіни, що забезпечують необхідну межу вогнестійкості та локалізують пожежу в межах одного відсіку. Пасивні заходи доповнюються активними системами: автоматичною пожежною сигналізацією для оперативного виявлення осередку загоряння, системами димовидалення для

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

забезпечення безпечних шляхів евакуації та стаціонарними установками пожежогасіння.

Класифікація нормативно-правових актів з питань пожежної безпеки:

- Загальнодержавні: закони України, постанови Кабінету Міністрів України, що визначають основні принципи та вимоги.
- Міжгалузеві: нормативні документи, що стосуються пожежної безпеки для різних галузей економіки.
- Галузеві: нормативні акти, що розробляються для конкретних галузей (наприклад, будівництво, транспорт, енергетика) з урахуванням їх специфіки.
- Нормативні акти підприємств, організацій, установ: внутрішні документи, що деталізують вимоги пожежної безпеки з урахуванням особливостей конкретного об'єкта.

Таким чином, забезпечення пожежної безпеки є багатоаспектною, інтегрованою системою, що поєднує нормативно-правове регулювання, інженерно-технічні рішення та організаційно-управлінські заходи

5.4. Вимоги до виробничого освітлення та його нормування

Формування безпечного та комфортного виробничого середовища є пріоритетним завданням інженерії та гігієни праці [75]. Важливу роль у вирішенні цього завдання відіграє раціональна організація виробничого освітлення, що визначається як сукупність заходів для створення оптимальних умов зорового сприйняття. Недотримання нормативних вимог до освітленості, яскравості, пульсації та інших параметрів світлового середовища є доведеним фактором ризику для здоров'я та безпеки працівників. Об'єктом дослідження даної роботи є процес забезпечення нормативних умов освітлення на промислових підприємствах. Предметом дослідження виступає сукупність нормативно-технічних вимог, фотометричних параметрів та принципів проектування систем виробничого освітлення. Мета роботи полягає у

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

комплексному аналізі зазначених вимог та принципів для обґрунтування шляхів оптимізації світлового середовища на робочих місцях.

Системи виробничого освітлення класифікують за кількома ознаками. За джерелом світла розрізняють природне освітлення, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу, штучне, що генерується електричними джерелами, та суміщене, при якому недостатнє за нормами природне світло доповнюється штучним. Залежно від розташування світлових прорізів природне освітлення поділяється на бічне, верхнє та комбіноване. У свою чергу, штучне освітлення за функціональним призначенням поділяється на робоче, призначене для забезпечення нормального виконання виробничого процесу; аварійне, що вмикається при раптовому відключенні робочого; а також охоронне та чергове. Аварійне освітлення включає евакуаційне для безпечного виходу людей та освітлення безпеки для продовження робіт у небезпечних зонах.

Для об'єктивної оцінки параметрів освітлення використовується система фотометричних величин, до якої входять світловий потік (F , люмен, лм) як повна потужність світлового випромінювання джерела; сила світла (I , кандела, кд), що характеризує просторову щільність світлового потоку; освітленість (E , люкс, лк), яка є основним нормованим кількісним показником щільності світлового потоку на поверхні; та яскравість (L , кд/м²), що описує інтенсивність світла, яке випромінюється або відбивається поверхнею.

Нормативно-технічним документом є ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», який прийшов на зміну застарілому ДБН В.2.5-28-2006 [76]. Документ встановлює вимоги до кількісних та якісних показників. Основним кількісним критерієм є рівень освітленості (E , лк) робочої поверхні, нормативне значення якого диференціюється залежно від розряду зорової роботи, що визначається найменшим розміром об'єкта розрізнення. Наприклад, для грубих робіт, де об'єкт розрізнення перевищує 5 мм (V розряд), нормується освітленість 200 лк при системі загального освітлення. Для робіт високої

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

точності з об'єктами менше 0,3 мм (II розряд) вимагається освітленість 750-1000 лк при комбінованій системі. Окрім рівня освітленості, важливим є забезпечення її рівномірності для уникнення частоті та втомливої переадаптації зору.

До якісних показників, що визначають комфорт зорового сприйняття, належить обмеження прямої та відбитої блискості (сліпучої дії), яка знижує зорові функції. Це досягається правильним розташуванням світильників та використанням розсіювачів. Також нормується коефіцієнт пульсації освітленості (Кп, %), оскільки його надмірне значення може викликати стробоскопічний ефект та втому нервової системи. Нарешті, спектральний склад світла, що характеризується колірною температурою (Тк, К) та індексом передачі кольору (Ra), має забезпечувати адекватне сприйняття кольорів об'єктів у робочій зоні, для чого Ra повинен бути не нижче 80 для більшості виробництв.

На практиці застосовують дві основні системи штучного освітлення: систему загального освітлення, призначену для освітлення всього приміщення, та комбіновану систему, яка є поєднанням загального освітлення з місцевим, створеним світильниками безпосередньо на робочих місцях. Комбінована система є енергоефективною та обов'язковою для робіт високої точності. Конструкція світильників повинна відповідати умовам середовища та забезпечувати безпеку, що включає механічну міцність, надійну електроізоляцію та захист від пилу й вологи. Контроль відповідності параметрів освітлення нормативним вимогам здійснюється шляхом планових інструментальних вимірювань за допомогою люкметрів та інших спеціалізованих приладів.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Форма» та сконструйовано елементи приводу головного руху та подач координатно-розточувального верстата.

В аналітичному розділі проведено комплексний аналіз базової моделі координатно-розточувального верстата 2421 та верстатів-аналогів (2С150ПМФ4, 2Д450АМФ2). Виконано аналіз деталі «Форма» та, виходячи з річної програми випуску (N=2500 шт.) і маси деталі (9,2 кг), визначено тип виробництва як середньосерійний.

У технологічному розділі на основі техніко-економічного аналізу обґрунтовано вибір заготовки з круглого прокату. Розроблено маршрутний та операційний технологічні процеси для виготовлення деталі. Виконано розрахунок режимів різання та проведено технічне нормування розробленого технологічного процесу.

У конструкторському розділі виконано кінематичні та силові розрахунки приводів головного руху та подач, вибір двигуна на основі розрахункових значень. Проведено проєктні та перевірочні розрахунки ключових елементів приводів, включаючи плоскопасову, черв'ячні та зубчасті передачі, а також передачу колесо-рейка, підтвердивши їхню міцність.

Проведено автоматизовані розрахунки вала та шпинделя у середовищі SolidWorks Simulation.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ			
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Загальні висновки	Літ	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Тарапата О.С.							
Розроб.	Долішній С.С.							
Перевір.	Крупа В.В.					ТНТУ, ФМТ, МВ-41		
Н. контр.	Кобельник В.Р.							
Зав. каф.	Крупа В.В.							

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кузнєцов Ю. М., Скляр Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнєцов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнєцова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.
2. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник; за ред. Сіліна Р.І. Львів: Бескид Біт, 2008. 448 с.
3. Кузнєцов Ю. М., Саленко О. Ф., Харченко О. О., Щетинін В. Т. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: навч. Посібник Київ-Кременчук-Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. — 500 с.
4. Гевко Б. М. та ін. Технологія обробки на верстатах з ЧПК: навч. посіб. м. Тернопіль: Крок, 2014. 131 с.
5. Єрошенко А. В. Прецизійна обробка деталей машин : навч. посібник. Харків : ХНАДУ, 2017. 192 с.
6. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А. Технологія машинобудування: підручник. Житомир, ЖДТУ, 2005. 876 с.
7. Дячун А.Є. Автоматизація виробничих процесів в машинобудуванні. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ, 2021. 212 с.
8. Скляр Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Р. Скляр, В. Шанайда, М. Савчук // Вісник ТНТУ. - 2011. — Том 16. — № 1. — С.117-125.
9. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ						
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата							
Розроб.	Тарапата О.С.				Перелік посилань				Літ	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Долішній С.С.										
Переір.	Крупа В.В.								ТНТУ, ФМТ, МВ-41		
Н. контр.	Кобельник В.Р.										
Зав. каф.	Крупа В.В.										

10. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.
11. Кривий П.Д. та ін. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів // Прогресивні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. Львів, 2020. С. 103-105.
12. Струтинський В.Б., Мельничук П.П. Математичне моделювання металорізальних верстатів: монографія. Житомир, 2002. 570 с.
13. Сохань П.С., Сохань В.П. Електроприводи типових виробничих механізмів. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 128 с.
14. Кобельник В.Р. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. Житомир: ЖДТУ, 2007. Вип. № 1 (40). С. 34-40.
15. Кривий П. Д., Крупа В. В. Інструментальне забезпечення процесу комбінованого розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2012. № 2. С. 23-34.
16. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадця Ю. В., 2025. – 308 с.
17. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.
18. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
19. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.С., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

20. Васильків В. В. Технології виробництва заготовок литтям: навчальний посібник / В. В. Васильків, Л. М. Данильченко, Д. Л. Радик. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2023. 492 с.
21. Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації... / уклад.: Р. А. Склярів, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа та ін. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.
22. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування: навчальний посібник. Харків: ХНАМГ, 2007. 275 с.
23. Титаренко М.В. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в машинобудуванні. Суми: СумДУ, 2014. 156 с.
24. Грабченко А. І., Федорович В. О. Проектування технологічних процесів: навч. посібник. Харків: НТУ "ХПІ", 2010. 320 с.
25. Дубиняк С.А., Ляшук О.Л. Основи економіки технологій машинобудування. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 348 с.
26. Равська Н.В. Економіка машинобудівного виробництва: підручник. Київ: Центр учбової літератури, 2016. 512 с.
27. Ворощук В.Я., Вітенько Т.М. «Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks». Навчальний посібник. 2023. 164 с.
28. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.
29. Мазур М.П. та ін. Основи теорії різання матеріалів: підручник. Львів: Новий Світ-2000, 2020. 471 с.
30. Попович В. В. Технологія і обладнання ковальсько-штампувального виробництва. Львів: Світ, 2001. 412 с.
31. Одінецов Л. Г. Прогресивні процеси обробки металів тиском. Київ: Техніка, 2003. 288 с.
32. ДСТУ 3953-2000. Сталь інструментальна легована. Технічні умови.
33. Хільчевський В. В. та ін. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник. Київ: Либідь, 2002. 328 с.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

34. Корсаков В.С. Основи технології машинобудування: підручник. Київ: Вища школа, 1974. 416 с.
35. Кириченко І. Г., Стороженко О. О. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник. Дніпро: НМетАУ, 2019. 145 с.
36. Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія. Тернопіль: Терно-граф, 2011. 692 с.
37. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів / Кобельник В. Р, Крупа В. В., Тимошенко Н. М. Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов. – Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.
38. Іванов В.О. Проектування технологічної оснастки: Підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 230 с.
39. Крупа В. В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточних головок з поділом припуску та подачі. Вісник ТДТУ. 2011. Т. 16, № 1. С. 105–117. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/959>.
40. Полянський В. А. Проектування металорізальних верстатів: навч. посіб. Житомир: ЖДТУ, 2015. 248 с.
41. Швець С.В. Основи формоутворення поверхонь різанням: навч. посіб. Суми: Сумський державний університет, 2011. 127 с.
42. Кривий П., Крупа В., Продан В. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ТДТУ. 2010. Т. 15, № 1. С. 147-156.
43. Грицай І. Є. Теорія різання. Лезове та абразивне оброблення металів: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 232 с.
44. Sandvik Coromant. Technical Guide. Cutting data recommendations. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/>

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

45. Єгоров П. А. Технічне нормування праці в машинобудуванні. Київ: Техніка, 1990. 255 с.
46. Левицький В.С. Організація та нормування праці: навчальний посібник. Львів: "Магнолія 2006", 2007. 224 с.
47. Довбуш Т.А. та ін. Опір матеріалів: навч. посіб. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.
48. Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль, 2015. 168 с. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/5656>
49. Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Крупа В.В., Тимошенко Н.М. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів. // Прогресивні технології в машинобудуванні. – Львів, 2020. – С. 103-105.
50. Лотоцька В. А. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. Львів, 2015. 216 с.
51. Курмаз О.В., Курмаз Л.В. Деталі машин. Проектування. Київ: ЦУЛ, 2015. 344 с.
52. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин:- Київ «Вища школа» 1993.-560с.
53. Бабій А.В. та ін. Динаміка машин. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ, 2023. 246 с.
54. Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2023. № 4. С. 128–137. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.16>
55. Nahalyuk A., Krupa V. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization. Scientific journal of the Ternopil national technical

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

university. 2023. Vol. 111, no. 3. P. 67–75. URL:
https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.03.067

56. Коновалюк Д.М., Ковальчук В.М. Деталі машин: Підручник. – К.: Кондор, 2004. – 584 с.

57. Анур'єв В.І. Довідник конструктора-машинобудівника: в 3-х т. / За ред. І.Н. Жесткової. – 8-е вид., перероб. і доп. – К.: Техніка, 2001.

58. ДСТУ ISO 683-1:2022. Сталі термооброблені, леговані та автоматні. Частина 1. Нелеговані сталі для загартування та відпускання.

59. Шейнбліт А.Є. Курсове проектування деталей машин. Підручник. Калінінград: Янтарний сказ, 2005. 454 с.

60. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory / V. Krupa et al. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952>

61. Шукаєв С.М. Основи методу скінченних елементів: навчальний посібник. Суми: СумДУ, 2018. 235 с.

62. Басов К. А. SolidWorks. Геометрія і розрахунки. М.: ДМК Прес, 2013. 240 с.

63. Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning / V. Krupa et al. Journal of achievements in materials and manufacturing engineering. 2022. Vol. 114, no. 1. P. 22–31. URL: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.1480>

64. Substantiation of parameters for three-cutter boring head with allowance and feed distribution and asymmetric cutter position / P. Kryvyi et al. Scientific journal of the Ternopil national technical university. 2019. Vol. 96, no. 4. P. 57–69. URL: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.04.057

65. Technological Heredity and Accuracy of the Cross-Section Shapes of the Hydro-Cylinder Cylindrical Surfaces / P. D. Kryvyi et al. ASME 2014 International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the JSME

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2014 International Conference on Materials and Processing and the 42nd North American Manufacturing Research Conference, Detroit, Michigan, USA, 9–13 June 2014. 2014. URL: <https://doi.org/10.1115/msec2014-3946> (date of access: 22.05.2025).

66. Алямовский А. А. Инженерні розрахунки в SolidWorks Simulation. К.: ДМК Прес, 2010. 464 с.

67. Пирог Д.В. Модальний аналіз в інженерних задачах. Київ: КІП ім. Ігоря Сікорського, 2020. 88 с.

68. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уївер В. Коливання в інженерній справі. Київ: Наукова думка, 1985. 472 с.

69. Shanaida V., Skliarov R., Lazaryuk V. Mathematical models for the analysis of the parameters of channels in the planning of mechanical processing and welding operations. *Proceedings ITTAP'2023*. 2023. pp. 43-54.

70. Скляр Р. А., Четвержук Т. І. та ін. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів. *Наукові нотатки*. Випуск 71, Луцьк, 2021, С. 322-329.

71. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probabilitystatistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 114/1 (2022) 22-31. України «Про охорону праці» URL: <https://zakon3.gov.ua/laws/show/2694-12>

73. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

74. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях: Методичний посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

75. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

76. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня „бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі: Гурик О.Я., Окіпний І.Б., Сенчишин В.С., Мариненко С.Ю., Король О.І. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с

77. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.

78. Кодекс цивільного захисту України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>

79. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.

80. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 21.05.2007 № 246 "Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій".

					КРБ 21-068/21-031.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Додатки