

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**«Сумський державний університет»**

*Факультет технічних систем та енергоефективних технологій*  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

*Кафедра технології машинобудування верстатів та інструментів*  
(повна назва кафедри, (предметної, циклової комісії))

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

*другий (магістерський)*  
(освітній рівень)

на тему «Підвищення функціональних можливостей токарно-револьверного верстата моделі 1341 шляхом застосування механізованих верстатних пристроїв»

Виконав: студент II курсу, групи ВІ.м-01  
спеціальності:

133 «Галузеве машинобудування»  
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми:  
«Металорізальні верстати та системи»  
(назва освітньої програми)

Євгеній МАГДІЧ  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник Іван ДЕГТЯРЬОВ  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент В'ячеслав ТАРЕЛЬНИК  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

# ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ

«Сумський державний університет»

Інститут, факультет	<i>технічних систем та енергоефективних технологій</i>
Кафедра	<i>технології машинобудування, верстатів та інструментів</i>
Освітньо-науковий рівень	<i>другий (магістерський)</i>
Спеціальність	<i>133 «Галузеве машинобудування»</i>
Освітня програма	<i>(шифр і назва) «Металорізальні верстати та системи» (шифр і назва)</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології  
машинобудування, верстатів та  
інструментів

\_\_\_\_\_ *Віталій ІВАНОВ*

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року

## ЗАВДАННЯ

### ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ

*Магдич Євгеній Геннадійович*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) *Підвищення функціональних можливостей токарно-револьверного верстата моделі 1341 шляхом застосування механізованих верстатних пристроїв*

керівник проекту *Дегтярьов Іван Михайлович, канд. техн. наук, ст.викладач*  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від \_\_\_\_\_ 2021 року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проекту (роботи) *«10» грудня 2021 року*

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

*1. Створення 3-D моделі пристрою спеціального».*

*2. Розрахунок 3-D-моделі із навантаженнями».*

*3. Науково-дослідна частина.*

*4. Охорона праці та безпеки. Нещасні випадки, що пов'язані з виробництвом. Порядок їх розслідування, спеціальне розслідування.*

5. Зміст графічної частини (перелік креслень, які потрібно розробити)

5.1 Креслення вихідної заготовки

5.2 Креслення маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі

5.3 Креслення операційного налагодження

5.4 Креслення верстатного пристрою

5.5 Креслення контрольно-вимірювального приладу

6. Інша конструкторська та технологічна документація

5. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі	01.09.2021	
2	Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	05.09.2021	
3	Науково-дослідна частина	01.10.2021	
4	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки	01.11.2021	
5	Формулювання загальних висновків	01.12.2021	
6	Підготовка доповіді	10.12.2021	
7	Підготовка презентації	12.12.2021	
8	Оформлення роботи	14.12.2021	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник роботи (проекту)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Євгеній МАГДІЧ

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Іван ДЕГТЯРЬОВ

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Сумський державний університет  
Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ *Віталій ІВАНОВ*

« \_\_\_\_ » грудня 2021 р.

**Підвищення функціональних можливостей токарно-револьверного верстата моделі 1341 шляхом застосування механізованих верстатних пристроїв**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра  
Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»  
Освітня програма – «Металорізальні верстати та системи»

Студент

*Євгеній МАГДІЧ*

Керівник

*Іван ДЕГТЯРЬОВ*

Нормоконтроль

*Олександр ІВЧЕНКО*

Суми – 2021

## РЕФЕРАТ

Робота складається із вступу, семи розділів, переліку використаних посилань і десяти додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 111 сторінок, у тому числі 40 рисунків, 5 таблиць, бібліографії із 25 джерел на трьох сторінках, десяти додатків на 17 сторінках.

Метою роботи є проектування приводу головного руху верстата 1341, розробка технології виготовлення шпинделя токарного верстата, конструювання пристрою спеціального, розрахунок його на жорсткість, його модальний аналіз.

Об'єкт дослідження – токарно-револьверний верстат 1341.

Предмет дослідження – привід головного руху верстата, спеціальний пристрій, шпиндель токарного верстата, його жорсткість та його власні частоти коливань.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що:  
удосконалено:

- конструкція головного приводу верстата 1341, нова коробка швидкостей має 16 ступенів швидкостей в зрівнянні з 8 ступенями швидкості які були на базовій моделі верстата;
- конструкцію трикулачкового патрону. Нова конструкція базується на принципі зажиму за допомогою пневмокамери. Даний пристрій також було розраховано на жорсткість. Також був проведений модальний аналіз патрону.
- Практичне значення отриманих результатів.
- Запропонована нова конструкція головного приводу верстату 1341. Також запропонована нова конструкція трикулачкового патрону з пневматичним приводом.

**ВЕРСТАТ 1341, ПРИВІД ГОЛОВНОГО РУХУ, ТОЧІННЯ, ПРИСТРІЙ, ШПИНДЕЛЬ.**

## РЕФЕРАТ

Работа состоит из введения, семи глав, перечня использованных ссылок и десяти приложений. Полный объем квалификационной работы магистра составляет 111 страниц, из которых 40 рисунков, 5 таблиц, библиографии из 25 источников на трех страницах, десяти приложений на 17 страницах.

Целью работы является проектирование привода главного движения станка 1341, разработка технологии изготовления шпинделя токарного станка, конструирование специального устройства, расчет его на жесткость, его модальный анализ.

Объект исследования – токарно-револьверный станок 1341 года.

Предмет исследования – привод главного движения станка, специальное устройство, шпиндель токарного станка, его жесткость и собственные частоты колебаний.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что:

усовершенствовано:

– конструкция главного привода станка 1341, новая коробка скоростей имеет 16 степеней скоростей по сравнению с 8 ступенями скорости находившихся на базовой модели станка;

– конструкцию трехкулачкового патрона. Новая конструкция базируется на принципе зажима с помощью пневмокамеры. Данное устройство также рассчитано на жесткость. Также был произведен модальный анализ патрона.

– Практическое значение получаемых результатов.

– Предложена новая конструкция главного привода станка 1341. Также предложена новая конструкция трехкулачкового патрона с пневматическим приводом.

СТАНОК 1341, ПРИВОД ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ, ТОЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО, ШПИНДЕЛЬ.

## ABSTRACT

The work consists of an introduction, seven sections, a list of references and ten appendices. The full volume of the master's qualification work is 111 pages, including 40 figures, 5 tables, bibliographies from 25 sources on three pages, ten appendices on 17 pages.

The aim of the work is to design the drive of the main movement of the machine 1341, to develop the technology of manufacturing the spindle of the lathe, to design a special device, to calculate its stiffness, its modal analysis.

The object of research is the 1341 turret lathe.

The subject of research - the drive of the main movement of the machine, a special device, the spindle of the lathe, its rigidity and its natural frequencies.

The scientific novelty of the obtained results is that:

improved:

- the design of the main drive of the machine 1341, the new gearbox has 16 gears compared to 8 gears that were on the base model of the machine;
- design of a three-cam cartridge. The new design is based on the principle of clamping with a pneumatic chamber. This device was also designed for rigidity. A modal analysis of the cartridge was also performed.
- The practical significance of the results.
- A new design of the main drive of the machine 1341. The new design of the three-cam cartridge with the pneumatic drive is offered.

MACHINE 1341, DRIVE OF THE MAIN MOVEMENT, TURNING, DEVICE, SPINDLE.

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
Розділ 1 Загальні відомості про базову модель верстата.....	8
1.1 Призначення, область застосування.....	8
1.2 Основні вузли верстата.....	9
1.3 Технічна характеристика верстата 1341 .....	10
1.4 Висновки за першим розділом .....	12
Розділ 2 Кінематичний розрахунок модернізованого привода металорізального верстата 1341 .....	13
2.1 Вибір структурної формули привода .....	13
2.2 Визначення кількості валів у приводі.....	13
2.3 Виконання первісного варіанта кінематичної схеми.....	14
2.4 Складання структурних формул у розгорнутому вигляді .....	15
2.5 Побудова структурних сіток.....	16
2.6 Аналіз структурних сіток .....	18
2.7 Побудова графіка частот обертання шпинделя .....	18
2.8 Визначення кількості зубців зубчастих коліс.....	20
2.9 Підрахування фактичних частот обертання шпинделя .....	23
2.10 Оцінка точності кінематичного розрахунку .....	24
2.11 Кінцевий варіант кінематичної схеми привода .....	24
2.12 Висновки за другим розділом.....	25
Розділ 3 Проектування конструкції привода головного руху .....	26
3.1 Проектний розрахунок і методика конструювання привода верстата	26



	3
3.2 Розрахунок валів.....	31
3.3 Уточнюючий (перевірний) розрахунок валів .....	33
3.4 Геометричний розрахунок зубчастих коліс .....	37
3.5 Розрахунок зубів коліс на контактну міцність .....	39
3.6 Розрахунок зубів зубчастих коліс на згинання.....	40
3.7 Висновки за третім розділом .....	43
Розділ 4 Технологія виготовлення шпинделя.....	44
4.1 Опис деталі .....	44
4.2 Опис вузла .....	44
4.3 Розроблення опису маршрутного технологічного процесу обробки деталі	45
4.4 Підбір МРС.....	47
4.5 Підбір ріжучого інструменту.....	48
4.6 Підбір вимірювального інструменту. ....	50
4.7 Обладнання.....	51
4.8 Розробка операційного технологічного процесу обробки деталі ..	53
4.9 Висновки за четвертим розділом.....	55
Розділ 5 Верстатний пристрій .....	56
5.1 Обґрунтування необхідності створення верстатного пристрою....	56
5.2 Уточнення цілі технологічної операції.....	56
5.3 Виявлення кількісних та якісних даних про заготовку .....	58
5.4 Визначення умов в котрих буде виготовлятися та використовуватись проєктований пристрій .....	60
5.5 Складання переліку виконуваних функцій.....	61

	4
5.6 Розробка та обґрунтування схеми базування .....	61
5.7 Побудова функціональної структури верстатного пристрою.....	64
5.8 Розробка та обґрунтування схеми закріплення .....	65
5.9 Обґрунтування вибору привода.....	71
5.10 Розрахунок точності пристрою.....	72
5.11 Опис пристрою та принцип його роботи.....	74
5.12 Висновки за п'ятим розділом .....	74
Розділ 6 Дослідження жорсткості пристрою спеціального .....	75
6.1 Створення 3-D моделі пристрою спеціального .....	75
6.2 Схема навантаження.....	77
6.3 Завдання взаємозв'язків між деталями та прикладення обмежень, прикладення сил.....	81
6.3 Прикладення сил .....	83
6.5 Призначення матеріалів до елементів збірки .....	84
6.6 Побудова скінченно-елементної сітки.....	85
6.7 Результати дослідження жорсткості.....	87
6.8 Висновки за шостим розділом.....	88
Розділ 7 Модальний аналіз пристрою спеціального.....	89
7.1 Проведення розрахунку.....	89
6.8 Висновки за шостим розділом.....	91
Висновки .....	92
Перелік використаних посилань.....	93
Додаток А Охорона праці.....	<b>Ошибкa! Закладка не определена.</b>

Додаток Б Загальний вигляд верстату 1341 ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток В Кінематика верстату 1341 ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток Г Розгортка коробки швидкостей верстату 1341 **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток Д Креслення шпинделя верстату 1341 ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток Е Маршрутний технологічний процес виготовлення шпинделя  
**Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток Є Операційна наладка на токарно-гвинторізну операцію ... **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток Ж Операційна наладка на круглошліфувальну операцію .... **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток И Креслення пристрою спеціального ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток К Специфікація до креслення пристрою спеціального ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

## ВСТУП

### **Актуальність роботи.**

Створення сучасних, точних та високопродуктивних металорізальних верстатів обумовлює підвищення вимоги до їх основних вузлів. Зокрема, до приводів головного руху і подач пред'являються вимоги: по збільшенню жорсткості, підвищенню точності обертання валів, шпиндельних вузлів. Верстати повинні забезпечувати можливість високопродуктивного виготовлення без ручного наступного доведення деталей, що задовольняють сучасним безперервно зростаючих вимогам до точності.

### **Мета та завдання роботи.**

Метою роботи є проектування приводу головного руху верстата 1341, розробка технології виготовлення шпинделя токарного верстата, конструювання пристрою спеціального, розрахунок його на жорсткість, його модальний аналіз.

**Об'єкт дослідження** – токарно-револьверний верстат 1341.

**Предмет дослідження** – привід головного руху верстата, спеціальний пристрій, шпindel токарного верстата, його жорсткість та його власні частоти коливань.

**Методи дослідження.** Методологічною базою роботи є: наукові основи технології машинобудування; теорія різання матеріалів; теорії пружності, пластичності та руйнування; системний підхід до вивчення й опису об'єкта досліджень з урахуванням взаємозв'язку й взаємного впливу явищ, які супроводжують процеси фінішної механічної обробки; а також методи чисельного моделювання, зокрема, метод скінчених елементів.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у тому, що:

удосконалено:

– конструкція головного приводу верстата 1341, нова коробка швидкостей має 16 ступенів швидкостей в зрівнянні з 8 ступенями швидкості

які були на базовій моделі верстата;

– конструкцію трикулачкового патрону. Нова конструкція базується на принципі зажиму за допомогою пневмокамери. Даний пристрій також було розраховано на жорсткість. Також був проведений модальний аналіз патрону.

#### **Практичне значення отриманих результатів.**

Запропонована нова конструкція головного приводу верстату 1341. Також запропонована нова конструкція трикулачкового патрону з пневматичним приводом.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати роботи отримані автором самостійно. Теоретичні дослідження, розробка методів і методик, які виносяться на захист, виконані автором особисто. Постановка задач та аналіз наукових результатів виконані разом з керівником.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, семи розділів, переліку використаних посилань і десяти додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 111 сторінок, у тому числі 40 рисунків, 5 таблиць, бібліографії із 25 джерел на трьох сторінках, десяти додатків на 17 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО БАЗОВУ МОДЕЛЬ ВЕРСТАТА

#### 1.1 Призначення, область застосування

Токарно-револьверний верстат моделі 1341 призначений для токарної обробки (точіння, свердління, розвертання, нарізання різі і т.д) в умовах серійного виробництва.

Верстат має програмне переключення чисел обертів шпинделя і подач при зміні позиції револьверної головки. Переключення відбувається легко переналагоджуваним командо апаратом, який керує електромагнітними муфтами коробки швидкостей і подач.

Іншим автоматизуючим елементом в верстаті являється гідравлічний механізм затиску і подачі прутка. На передньому кінці шпинделя встановлюється цанговий або трикулачковий патрон, який приводиться в рух гідроциліндром, розташованим на задньому кінці шпинделя(прутковий матеріал затискується в цанговому патроні, який має змінні вкладиші, штучні заготовки – в трикулачковому патроні).

Подача пруткового матеріалу здійснюється змінними цангами. Без переналадки можна затискати прутки з відхиленням по діаметру до 2 мм, що дозволяє використовувати некалібрований матеріал, і штучні заготовки – з відхиленням по діаметру до 8 мм.

Привод затискання і подачі матеріалу – гідравлічний, з електронним управлінням. Весь цикл розтиску, подачі і затиску триває 2 до 3 секунд.

Верстат має автоматичне вимкнення поздовжньої подачі по жорсткому опору, що забезпечує високу точність обробки по довжині. Поперечна подача також обмежується жорстким упором.

Верстат споряджений різьбонарізним пристроєм для нарізання зовнішніх і внутрішніх різьб і копірувальним пристроєм.

## 1.2 Основні вузли верстата

Основні вузли верстата показані на рисунку 1.1.

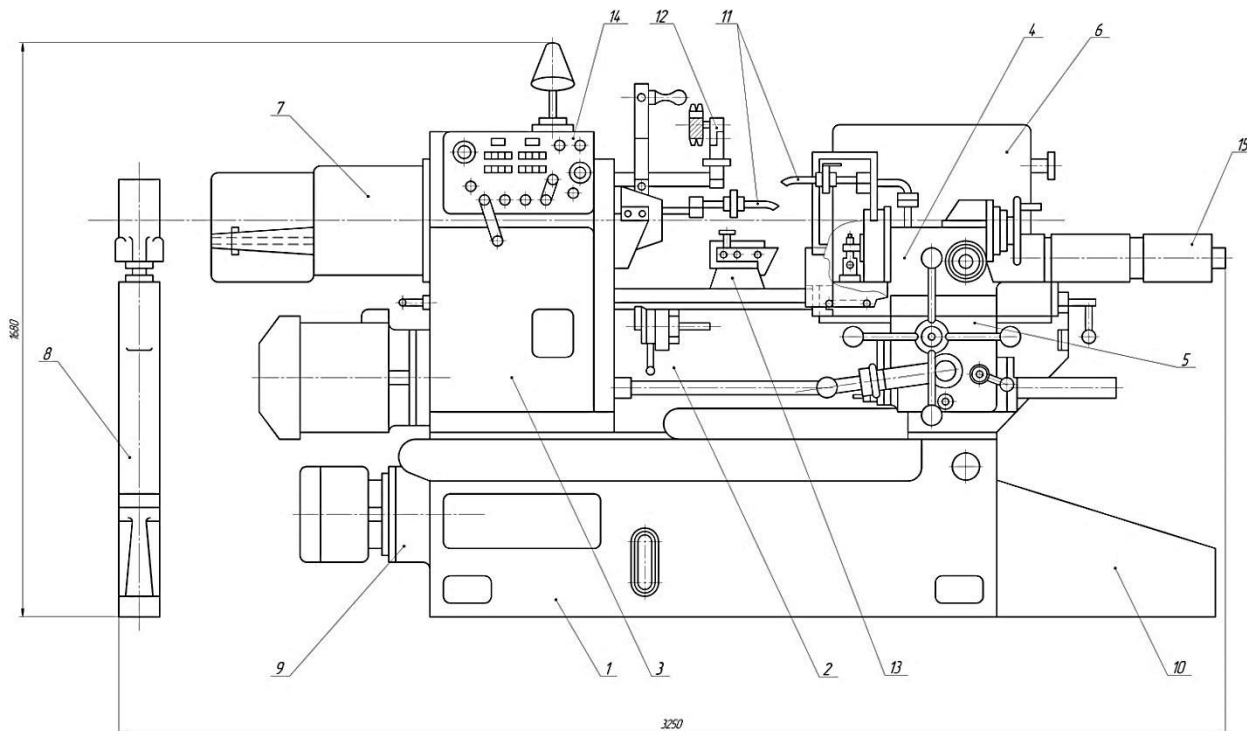


Рисунок 1.1 – Загальний вид базової моделі верстата 1341

Основні вузли базової моделі верстата:

1 – Нижня станина; 2 – Верхня станина; 3 – Коробка швидкостей і подач; 4 – Револьверний супорт; 5 – Фартух револьверного супорта; 6 – Електрообладнання; 7 – Механізм затиску і подачі матеріалу; 8 – Стійка; 9 – Насосна установка; 10 – Ящик для стружки; 11 – Охолодження; 12 – Різьбонарізний пристрій; 13 – Копіювальний пристрій; 14 – Пульт управління; 15 – командоапарат.

### 1.3 Технічна характеристика верстата 1341

Технічні характеристики верстата 1341 показано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики верстату

<b>Основні параметри верстата</b>	
Клас точності верстата за ГОСТ 8-71	Н
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над станиною, мм	400
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над супортом, мм	380
Найбільший діаметр оброблюваного прутка на передньому затиску, мм	40
Найбільша сторона квадрата оброблюваного прутка, мм	27
Найбільший розмір "під ключ" оброблюваного шестигранника, мм	32
Найбільший діаметр оброблюваного виробу в патроні, мм	200
Найбільша довжина подачі прутка, мм	150
Найбільша довжина прутка, мм	3000
Найбільший діаметр оброблюваного прутка в затискній і трубі, що подає, мм	40
Найбільший діаметр оброблюваного прутка в затискній і трубі, що подає, мм	62
Висота центрів, мм	200
Відстань від торця шпинделя до револьверної головки, мм	32...630
Найбільша довжина різьблення, мм	50
<b>Шпиндель</b>	
Потужність двигуна головного руху, кВт	5,5
Кількість робочих швидкостей шпинделя	8
Межі чисел оборотів шпинделя, об / хв	60...2000
Частота обертання шпинделя в I діапазоні, об / хв	60...800



Продовження таблиці 1.1

Частота обертання шпинделя в II діапазоні, об / хв	150...2000
Межі чисел оборотів шпинделя (зворотне обертання), об / хв	100,265
Кінець шпинделя фланцевий за ГОСТ 12595-75	
<b>Подачі</b>	
Найбільше переміщення револьверного супорта: поздовжнє (Z), мм / Кругове, град	560/360°
Число упорів	15
Кількість поздовжніх / поперечних подач револьверного супорта	0,05...1,6
Діапазон швидкостей поздовжніх подач револьверного супорта, мм / об	-
Діапазон швидкостей поперечних подач револьверного супорта, мм / об	ні
Швидке переміщення револьверного супорта, мм / хв	16
Кількість інструментів в револьверній голівці	30,40
Діаметр отворів в револьверній голівці, мм	200
Діаметр розташування отворів в револьверній голівці, мм	0,5
Переміщення поздовжнє револьверної головки на одну поділку лімба, мм	0,5
<b>Електрообладнання верстата</b>	
Кількість електродвигунів на верстаті, кВт	3
Електродвигун головного приводу, кВт	5,5
Електродвигун гідроприводу (зажим і подача прутка), кВт	1,1
Електродвигун насоса охолодження, кВт	0,125
<b>Габарити і маса верстата</b>	
Габаритні розміри верстата (довжина, ширина, висота), мм	3000 x 1200 x 1600
Маса верстата, кг	2200

#### **1.4 Висновки за першим розділом**

В результаті літературного обзору було визначені основні технічні характеристики верстата, його область застосування та призначення. Також були визначені основні вузли даної моделі верстата.

## РОЗДІЛ 2

### КІНЕМАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗОВАНОГО ПРИВОДА МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТА 1341

#### 2.1 Вибір структурної формули привода

Модернізацію привода за завданням потрібно виконати за такими вихідними даними:  $n_{дв} = 1450 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n_{min} = 160 \text{ хв}^{-1}$ ,  $\phi = 1,26$ ,  $Z = 16$ .

Структурна формула привода має такий вигляд:

$$Z = P_1 \otimes P_2 \otimes P_3 \otimes \dots \otimes P_i,$$

де  $Z$  – кількість швидкісних ступенів коробки швидкостей за завданням;

$i$  – порядок розміщення деякої групи в напрямку передачі руху;

$P$  – кількість передач у групі.

Якщо  $Z = 16$ , то структурні формули можуть бути такими:  $Z = 8 \otimes 2$ ;  $Z = 4 \otimes 4$ ;  $Z = 4 \otimes 2 \otimes 2$ ;  $Z = 4 \otimes 2 \otimes 2 \otimes 1$ ;  $Z = 2 \otimes 2 \otimes 2 \otimes 2$ , та деякі інші варіанти. Слід зазначити, що з точки зору математики формули рівнозначні, тому що відповідають вимогам  $Z = 16$ . З точки зору механіки за цими формулами стоять конструкції коробок швидкостей або подач, і коробка швидкостей, що має на першому валу блок на 6 переключення, а на другому – на 2 переключення, значно відрізняється від коробки швидкостей, у якої на першому валу 3 переключення, а на другому – 4. Оптимальним варіантом з усіх наведених є варіант  $Z = 4 \otimes 2 \otimes 2$ .

#### 2.2 Визначення кількості валів у приводі

Із структурною формулою пов'язана можливість визначення кількості валів у приводі верстата. Ця залежність дуже проста і визначається формулою

$$B = m + 1,$$

де  $m$  – кількість груп передач привода.

Для обраної оптимальної структурної формули  $Z = 4 \otimes 2 \otimes 2$ ,  $m = 3$ , тоді за формулою кількість валів  $B = 4$ .

### 2.3 Виконання первісного варіанта кінематичної схеми

Кінематична схема коробки швидкостей верстата в первісному вигляді зображено на рисунку 2.1.

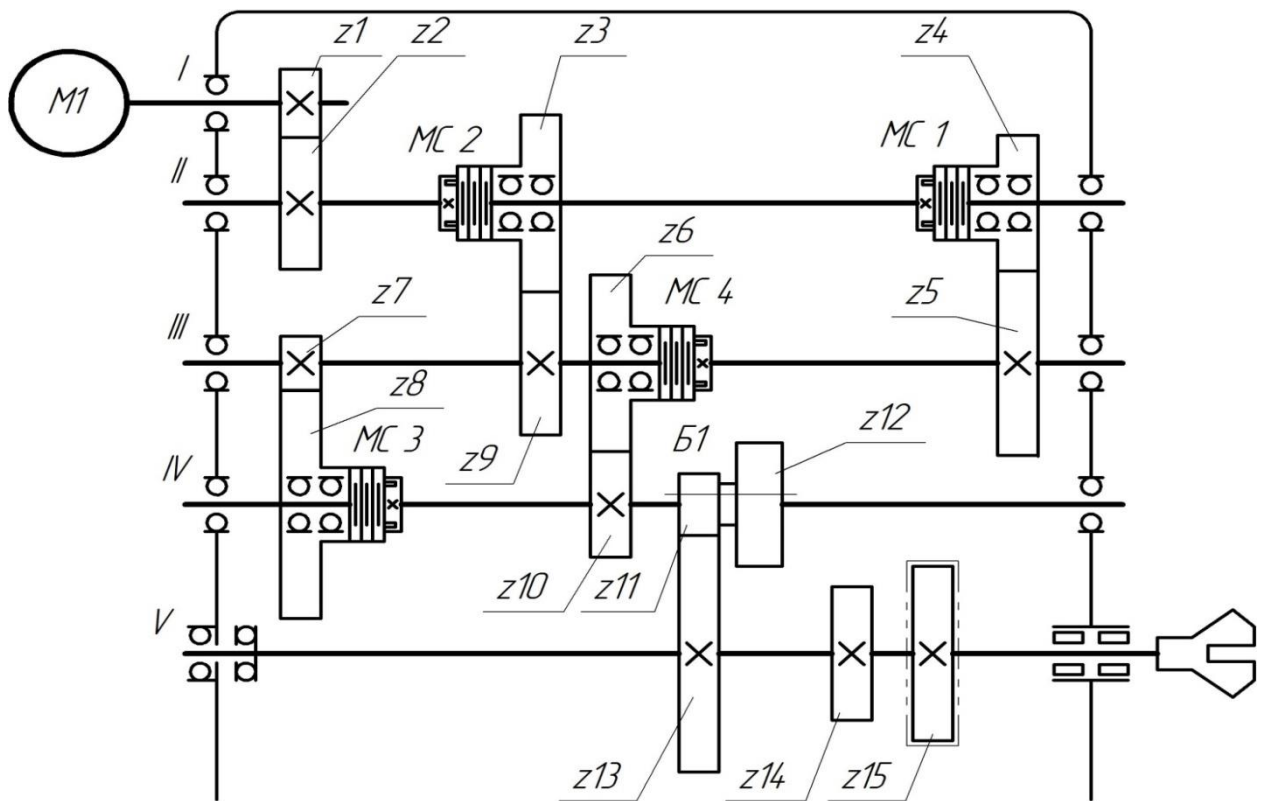


Рисунок 2.1 – Кінематична схема коробки швидкостей верстата в первісному вигляді

## 2.4 Складання структурних формул у розгорнутому вигляді

Структурна формула містить в собі характеристику і має такий вигляд:

$$Z = P_1(X_1) \otimes P_2(X_2) \otimes P_3(X_3) \otimes \dots \otimes P_m(X_m)$$

Запишемо формули спочатку у загальному вигляді:

$$1) \quad Z = P_1(X_1) \otimes P_2(X_2) \otimes P_3(X_3)$$

$$2 \quad 1 \quad 0$$

$$2) \quad Z = P_1(X_1) \otimes P_2(X_2) \otimes P_3(X_3)$$

$$1 \quad 2 \quad 0$$

$$3) \quad Z = P_1(X_1) \otimes P_2(X_2) \otimes P_3(X_3)$$

$$2 \quad 0 \quad 1$$

$$4) \quad Z = P_1(X_1) \otimes P_2(X_2) \otimes P_3(X_3)$$

$$1 \quad 0 \quad 2$$

$$5) \quad Z = P_1(X_1) \otimes P_2(X_2) \otimes P_3(X_3)$$

$$0 \quad 1 \quad 2$$

$$6) \quad Z = P_1(X_1) \otimes P_2(X_2) \otimes P_3(X_3)$$

$$0 \quad 2 \quad 1$$

Отримаємо такі значення після підстановки кількості переключень:

$$1) \quad Z = 4(4) \otimes 2(2) \otimes 2(1)$$

$$2 \quad 1 \quad 0$$

$$2) \quad Z = 4(2) \otimes 2(8) \otimes 2(1)$$

$$1 \quad 2 \quad 0$$

$$3) \quad Z = 4(4) \otimes 2(1) \otimes 2(2)$$

$$2 \quad 0 \quad 1$$

4)  $Z = 4 (2) \otimes 2 (1) \otimes 2(8)$

$$1 \quad 0 \quad 2$$

5)  $Z = 4 (1) \otimes 2 (4) \otimes 2(8)$

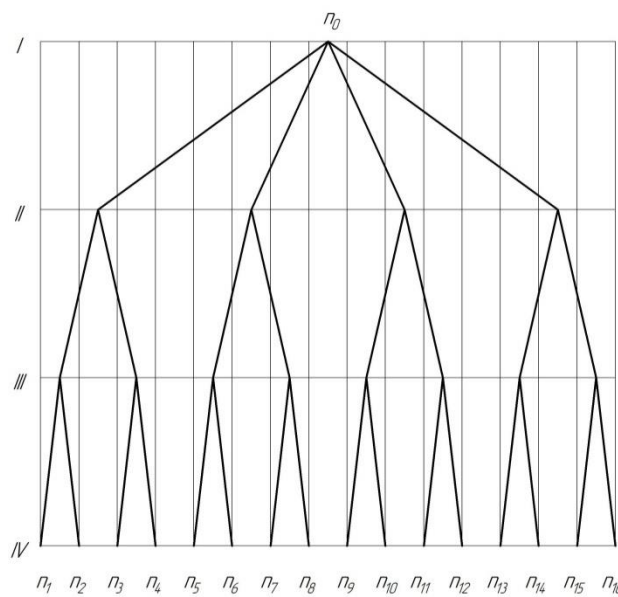
$$0 \quad 1 \quad 2$$

6)  $Z = 4 (1) \otimes 2 (8) \otimes 2(4)$

$$0 \quad 2 \quad 1$$

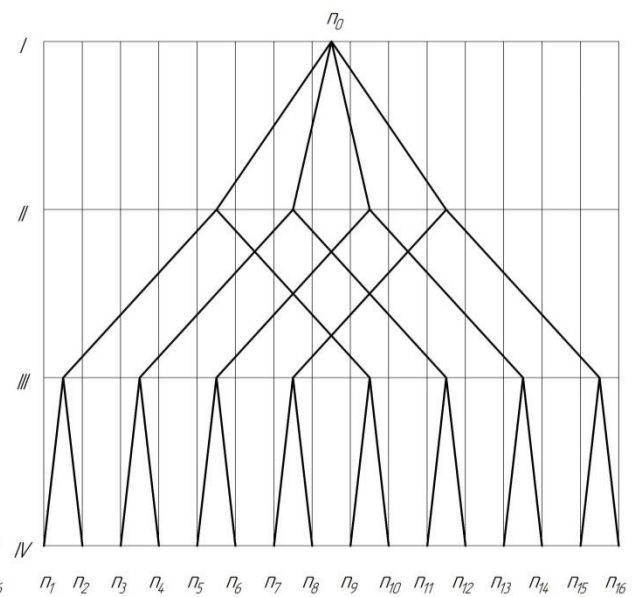
## 2.5 Побудова структурних сіток

Структурні сітки – це симетричні діаграми, котрі у розгорнутому вигляді відображають структурні формули та кількість груп переключень, характер переключень взаємності від того, яку група відіграє роль (основну, 1 – її множини, 2 – її і т.д.) також вказують на кількість валів. Сітка будується на фоні або ж на полі сітки, котре в свою чергу складається із вертикальних ліній, кількість яких відповідає кількості швидкісних ступенів привода та горизонтальних, які визначають вали. Відстань береться між вертикалями такою, що рівна характеристиці  $X=1$ .



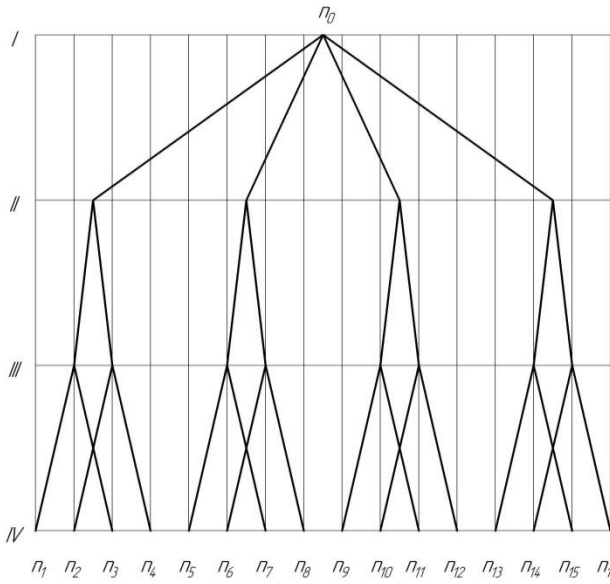
1)  $Z = 4 (4) \otimes 2 (2) \otimes 2(1)$

$$2 \quad 1 \quad 0$$



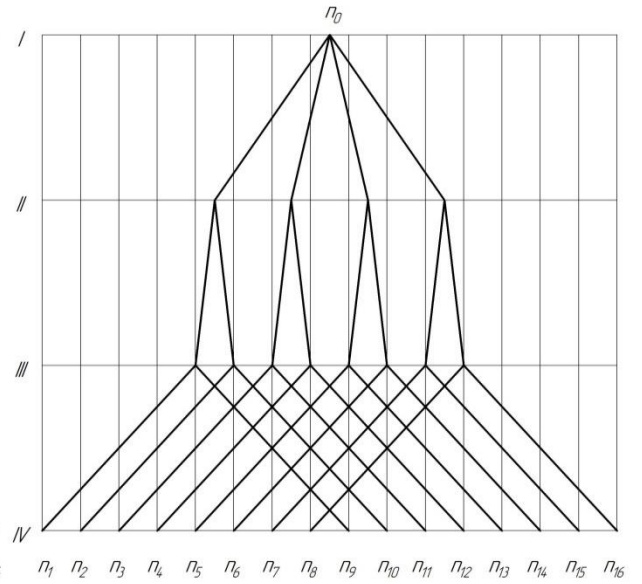
2)  $Z = 4 (2) \otimes 2 (8) \otimes 2(1)$

$$1 \quad 2 \quad 0$$



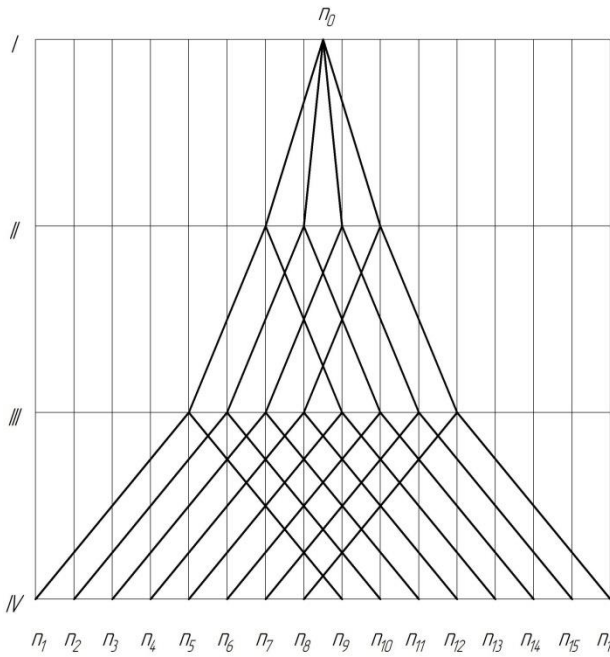
3)  $Z = 4 (4) \otimes 2 (1) \otimes 2(2)$

2 1 0



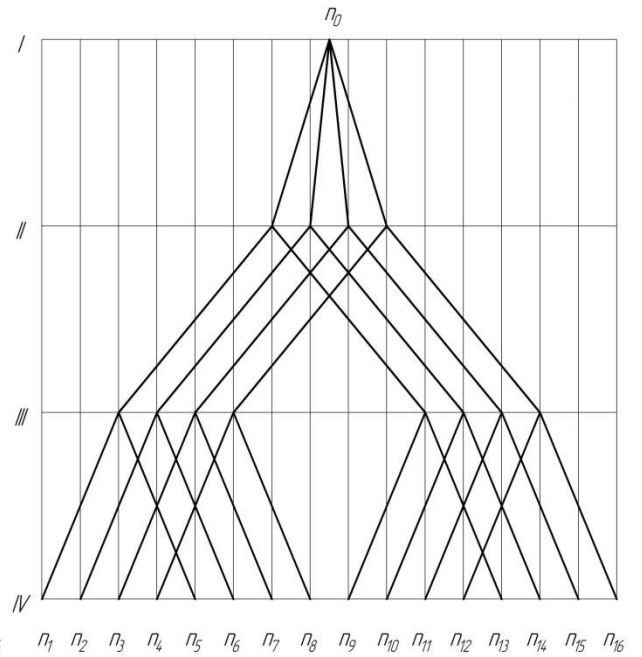
4)  $Z = 4 (2) \otimes 2 (1) \otimes 2(8)$

1 0 2



5)  $Z = 4 (1) \otimes 2 (4) \otimes 2(8)$

0 2 1



6)  $Z = 4 (1) \otimes 2 (8) \otimes 2(4)$

0 2 1

## 2.6 Аналіз структурних сіток

Навіть побіжне порівняння структурних сіток показує, що вони мають різний вигляд. Оптимальним вважається такий варіант, у якого відрізки, що визначають передатні відношення між валами, поступово розходяться від першого вала до четвертого. Порівняння наведених варіантів дає змогу визначити, що серед представлених найкращий варіант п'ятий, а найгірший - перший. Тому для подальшого графоаналітичного розрахунку зупиняємося на п'ятому варіанті структурних сіток як оптимальному.

## 2.7 Побудова графіка частот обертання шпинделя

$n_{\min} = 160 \text{ хв}^{-1}$ ,  $\varphi = 1,26$ , а  $Z = 16$ , то геометричний ряд частот має такі значення:  $n_1 = 160$ ,  $n_2 = 200$ ,  $n_3 = 250$ ,  $n_4 = 315$ ,  $n_5 = 400$ ,  $n_6 = 500$ ,  $n_7 = 630$ ,  $n_8 = 800$ ,  $n_9 = 1000$ ,  $n_{10} = 1250$ ,  $n_{11} = 1600$ ,  $n_{12} = 2000$ ,  $n_{13} = 2500$ ,  $n_{14} = 3150$ ,  $n_{15} = 4000$ ,  $n_{16} = 5000$ . Частота обертання двигуна  $n_{\text{дв}} = 1450 \text{ хв}^{-1}$ .

Структурна сітка не дає фактичних значень частот обертання і передавальних відношень передач в групах. Для визначення цих величин будують другий графік - графік частот обертання.

Для його побудови повинні бути відомі:

- а) знаменник ряду частот обертання  $\varphi$  ;
- б) фактичні частоти обертання від  $n_1 = n_{\min}$  до  $n_z = n_{\max}$ ;
- в) частота обертання обраного приводу двигуна  $n_{\text{дв}}$ ;
- г) повна кінематична схема приводу, яка крім групових передач може мати і поодинокі передачі.

Частота обертання двигуна  $n_{\text{дв}} = 1450 \text{ хв}^{-1}$ , а  $n_9 = 1000 \text{ хв}^{-1}$ . Тому вводимо до розрахунку ще один вал з одним зубчастим колесом. Також для зменшення передатній відношень зубчастих коліс додаємо ще один вал.

На рисунку 2.2 зображено графік частот обертання шпинделя привода верстата (без розрахунку передатних відношень).



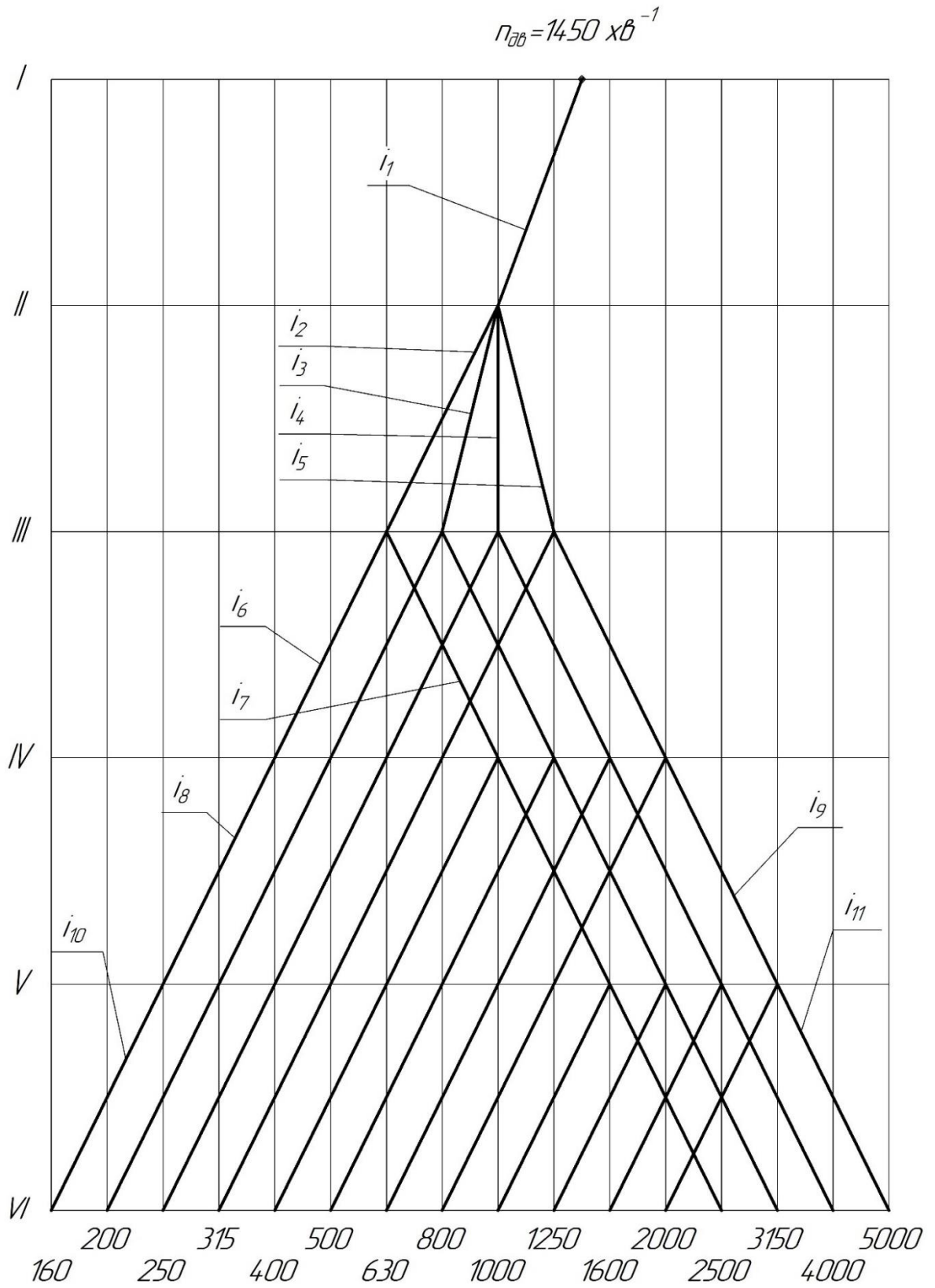


Рисунок 2.2 – Графік частот обертання шпинделя привода верстата (без розрахунку передатних відношень)

В першу чергу при розробці кінематичної схеми верстата потрібно вирішити питання вибору типу приводу. Привід - джерело руху і сукупність механізмів, котрі до кінцевих ланок верстата передають рух.

Верстат може мати кілька джерел руху або один. Механізувати та автоматизувати верстат, спростити управління, скоротити кінематичні ланцюги дозволяє застосування декількох двигунів. Від загального двигуна вони повинні отримувати рух, якщо потрібно суворий взаємозв'язок між окремими кінематичними ланцюгами. При проектуванні нового верстата вибір приводу має істотне значення, так як це є одним з основних умов створення високоякісної й економічної продукції.

## 2.8 Визначення кількості зубців зубчастих коліс

На первісному варіанті кінематичної схеми позначені як  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  і т. д., можна визначити кількість зубців зубчастих коліс у кожній парі, коли побудовано ГЧО. Також існують правила для визначення кількості зубців зубчастих коліс. Перше правило заключається у тому, що у двоваловій передачі залишається незмінною сума зубів зубчастих коліс, тобто можна написати, що  $\Sigma Z = Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 = Z_5 + Z_6 = \text{const}$  (між першим та другим валами, наприклад). Найменша кількість зубів на одному колесі може бути 18 – 20, виходячи з цього визначають суму  $Z$ . Тоді  $\Sigma Z_{\text{max}} = 120$ , відповідно  $\Sigma Z_{\text{min}} = 40$ . Друге правило заключається у тому, що передатні відношення записують через кількість зубів зубчастих коліс і прирівнюють їх до передатних відношень з ГЧО через знаменник геометричного ряду. Це має такий вигляд:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{1}{\varphi^2}; \quad \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{1}{\varphi}; \quad \frac{Z_5}{Z_6} = \frac{1}{\varphi^0} = \frac{1}{1} = 1.$$

Подані два рівняння (за першим та другим правилами) розв'язують спільно. Тоді значення  $Z_1$  та  $Z_2$  визначають так:

$$z_1 = \frac{\Sigma z}{1 + \varphi^2}, \quad Z_2 = \Sigma Z - Z_1.$$

Для визначення реальних значень потрібно задати  $\Sigma Z$ .

$$i_1 = \frac{n_0}{n_{\text{дв}}} = \frac{1000}{1450} = 0,689.$$

Обираємо число зубів на першому колесі  $z_1 = 20$ , тоді:

$$Z_2 = Z_1 / i_1 = 20 / 0,689 = 29.$$

$$i_2 = \frac{1}{\varphi^2}, \quad \sum Z = 80, \quad Z_3 = \frac{80}{1 + 1,59} = 31; \quad Z_4 = 80 - 31 = 49. \quad \frac{31}{49}$$

$$i_3 = \frac{1}{\varphi}, \quad \sum Z = 80, \quad Z_5 = \frac{80}{1 + 1,26} = 35; \quad Z_6 = 80 - 35 = 45. \quad \frac{35}{45}$$

$$i_4 = \frac{1}{1}, \quad \sum Z = 80. \quad \frac{40}{40}$$

$$i_5 = \frac{\varphi}{1}, \quad \sum Z = 80, \quad Z_{10} = \frac{80}{1 + 1,26} = 35; \quad Z_9 = 80 - 35 = 45. \quad \frac{35}{45}$$

$$i_6 = \frac{1}{\varphi^2}, \quad \sum Z = 80, \quad Z_{11} = \frac{80}{1 + 1,59} = 31; \quad Z_{12} = 80 - 31 = 49. \quad \frac{31}{49}$$

$$i_7 = \frac{\varphi^2}{1}, \quad \sum Z = 80, \quad Z_{14} = \frac{80}{1 + 1,59} = 49; \quad Z_{13} = 80 - 49 = 31. \quad \frac{49}{31}$$

$$i_8 = \frac{1}{\varphi^2}, \quad \sum Z = 80, \quad Z_{15} = \frac{80}{1 + 1,59} = 31; \quad Z_{16} = 80 - 31 = 49. \quad \frac{31}{49}$$

$$i_9 = \frac{\varphi^2}{1}, \quad \sum Z = 80, \quad Z_{18} = \frac{80}{1 + 1,59} = 49; \quad Z_{17} = 80 - 49 = 31. \quad \frac{49}{31}$$

$$i_{10} = \frac{1}{\varphi^2}, \quad \sum Z = 80, \quad Z_{19} = \frac{80}{1 + 1,59} = 31; \quad Z_{20} = 80 - 31 = 49. \quad \frac{31}{49}$$

$$i_{11} = \frac{\varphi^2}{1}, \quad \sum Z = 80, \quad Z_{22} = \frac{80}{1 + 1,59} = 49; \quad Z_{21} = 80 - 49 = 31. \quad \frac{49}{31}$$

На рисунку 2.3 зображено графік частот обертання шпинделя з підібраними передаточними відношеннями(колесами).

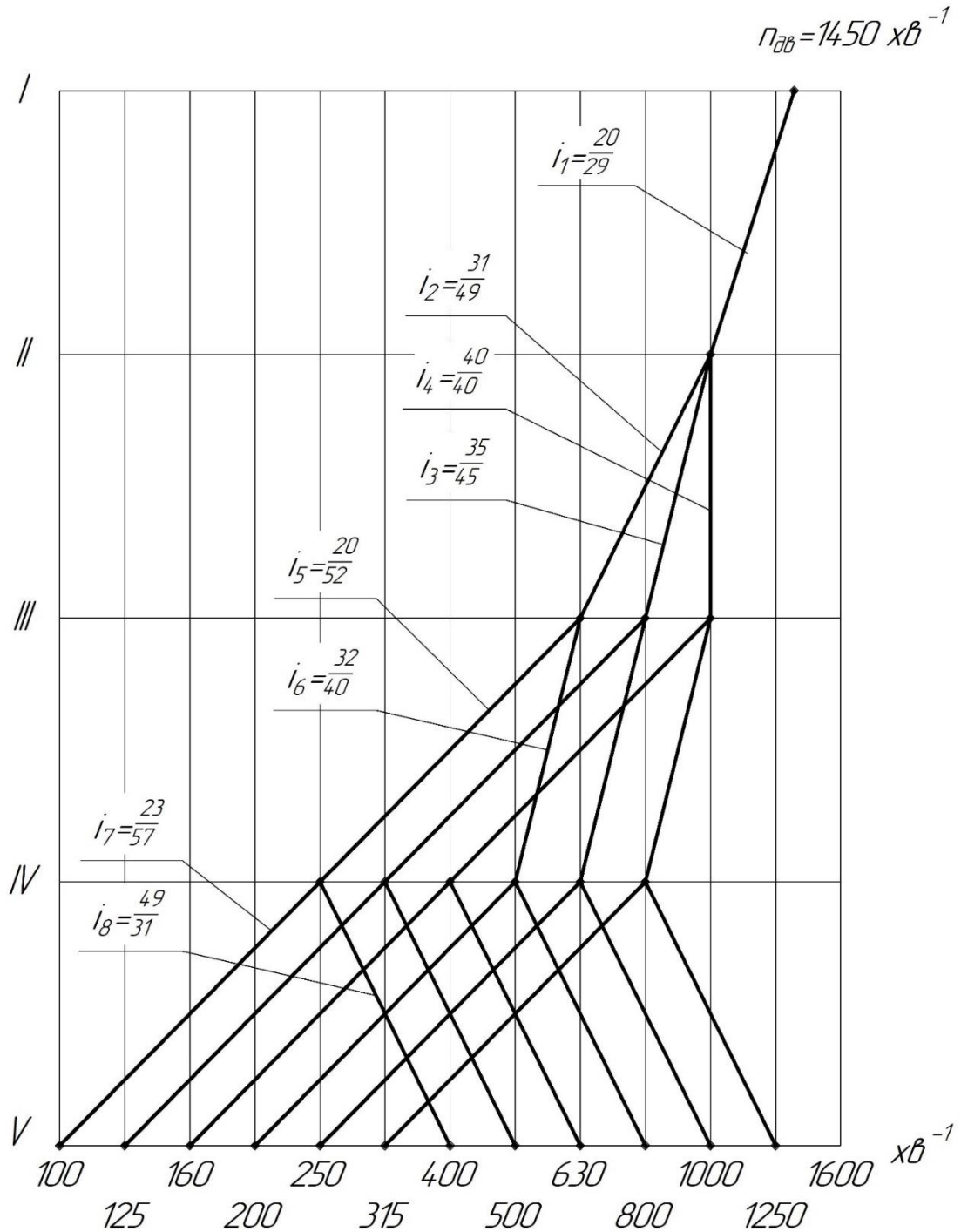


Рисунок 2.3 - Графік частот обертання шпинделя з підібраними передаточними відношеннями(колесами)

## 2.9 Підрахування фактичних частот обертання шпинделя

Якщо прораховані усі передатні відношення привода, то можна визначити фактичні частоти обертання шпинделя шляхом складання відповідних рівнянь кінематичного балансу. Такі рівняння можна складати користуючись ГЧО. Вихідною точкою для таких розрахунків є частота 1000 хв<sup>-1</sup> тому, що точка на валу одна і відповідає точці  $n_0$  на структурних сітках. Першу, або найменшу частоту, можна отримати, якщо перемножити передатні відношення  $i_1, i_4, i_6$ . Записати потрібно так:

$$n_1 = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} = 160,2 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_2 = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{35}{45} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} = 196,9 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_3 = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} = 253,2 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_4 = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{45}{35} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} = 321,9 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_5 = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} = 401,3 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_6 = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{35}{45} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} = 493,4 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_7 = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} = 634,4 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_8 = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{45}{35} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{31}{49} = 806,4 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_9 = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{31}{49} = 1002,7 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_{10} = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{35}{45} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{31}{49} = 1232,7 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_{11} = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{31}{49} = 1584,9 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_{12} = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{45}{35} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{31}{49} = 2014,8 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_{13} = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} = 2505,2 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_{14} = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{35}{45} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} = 3079 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_{15} = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} = 3959,8 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_{16} = 1450 \cdot \frac{20}{29} \cdot \frac{45}{35} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} \cdot \frac{49}{31} = 5033,9 \text{ хв}^{-1}.$$

## 2.10 Оцінка точності кінематичного розрахунку

Визначимо похибку між фактичними числами обертів вихідного вала та стандартизованими використовуючи формулу:

$$\Delta = \pm \frac{n_{\phi} - n_{cm}}{n_{cm}} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де  $n_{\phi}$ ,  $n_{cm}$  – відповідно фактичні та стандартизовані частоти обертання шпинделя.

Відповідність частот обертання шпинделя перевіримо за формулою 2.1:

$$\Delta = \frac{5000 - 5033,9}{5000} \cdot 100\% = -0,006 \cdot 100\% = -0,6\%,$$

що знаходиться у межах допуску  $[\Delta] = \{ 2,6 \% \}$ .

Після оцінки точності кінематичного розрахунку можна зробити висновок, що розрахунок виконаний вірно.

## 2.11 Кінцевий варіант кінематичної схеми привода

З дотриманням вимог ГОСТ 2.770 – 68 і 2.703 – 68 виконують кінцевий варіант кінематичної схеми, перший з яких є стандартом на умовні позначення на кінематичних схемах, а другий – правилом виконання

кінематичних схем. На рисунку 2.4 подано приклад кінцевого варіанта кінематичної схеми привода.

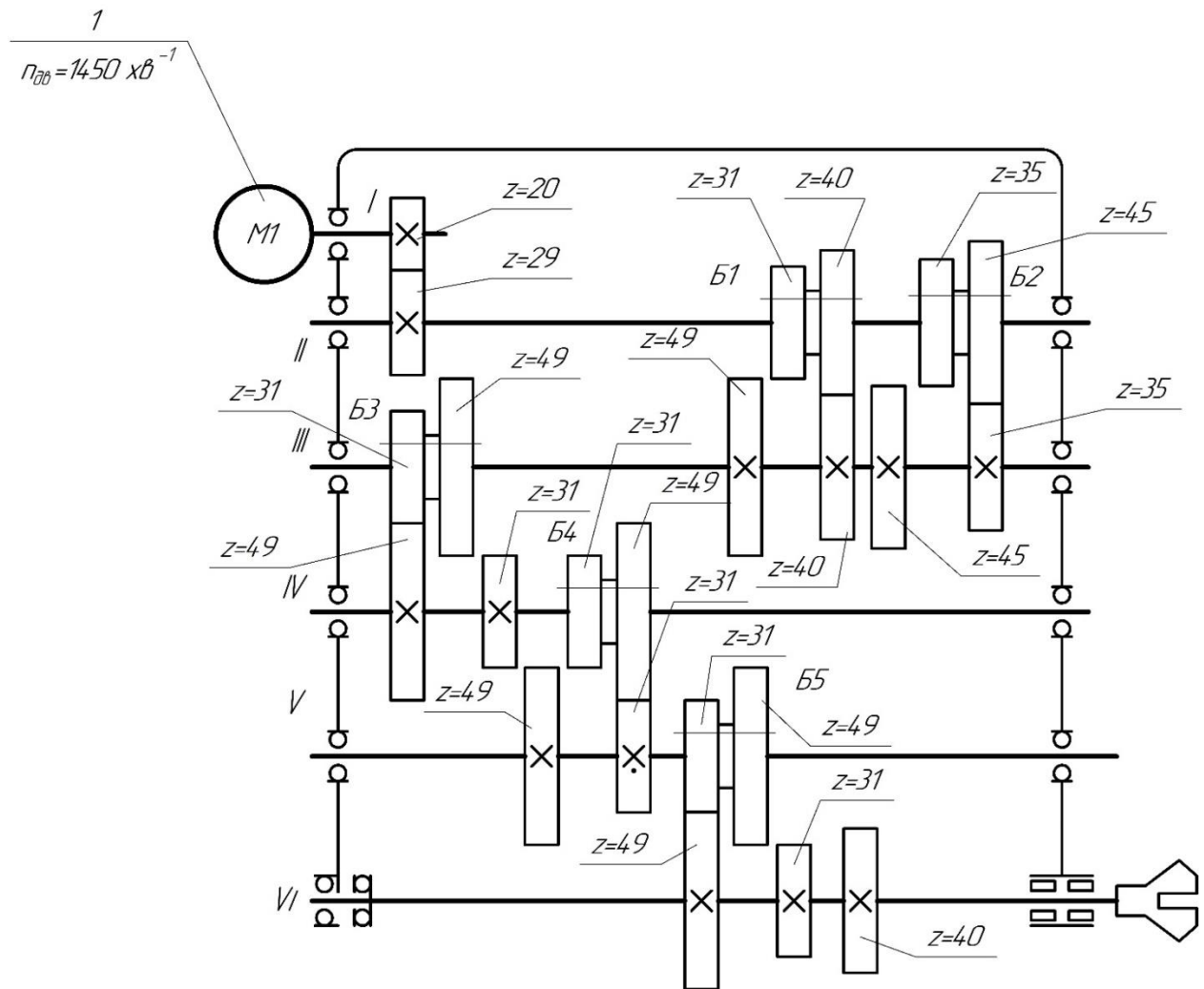


Рисунок 2.4 – Кінцевий варіант кінематичної схеми привода

## 2.12 Висновки за другим розділом

В даному розділі був проведений кінематичний розрахунок коробки швидкостей верстата 1341. Був побудований графік частот обертання шпинделя. Даний розрахунок дає загальне розуміння про те як будуть розташовані вали, зубчасті колеса, їх кількість, яка на цих колесах кількість зубів. Також даний розрахунок дає можливість зрозуміти передатні відношення між зубчастими колесами. Кінематичний розрахунок це початок проектування коробки швидкостей даного верстата.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ

#### 3.1 Проектний розрахунок і методика конструювання привода верстата

Почнемо із того, що між валами майбутньої коробки швидкостей визначимо міжцентрову відстань.

Для цього використовують формулу 3.1:

$$a_{wi} = m \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} = 0,5 \cdot \sum z \cdot m, \quad (3.1)$$

де  $m$  – модуль зубчастих коліс, мм;

$z_1$  – кількість зубців на шестерні;

$z_2$  – кількість зубців на колесі;

$\sum z$  – сумарна кількість зубців колеса та шестерні між валами (з кінематичного розрахунку).

Особливістю використання такої формули є те, що значення модуля невідоме і його потрібно прийняти попередньо, умовно, заручившись досвідом проектування коробок швидкостей із джерел технічної літератури (паспорта верстата).

Частіше за все на верстатах середніх розмірів у коробках швидкостей використовують зубчасті передачі, що мають модуль від 2,5 – 3,0 мм до 6,0 – 8,0 мм.

Візьмемо для прикладу значення модуля 4,0 мм між всіма валами, і скориставшись даними за кількістю зубів із кінематичного розрахунку визначимо міжцентрову відстань між валами, тобто:

$$\text{між валом I та II: } a_{wi} = 0,5 \cdot 49 \cdot 4 = 98 \text{ мм}$$

$$\text{між валом II та III: } a_{wi} = 0,5 \cdot 80 \cdot 4 = 160 \text{ мм}$$

$$\text{між валом III та IV: } a_{wi} = 0,5 \cdot 80 \cdot 4 = 160 \text{ мм}$$



між валом IV та V:  $a_{wi} = 0,5 \cdot 80 \cdot 4 = 160$  мм

між валом V та VI:  $a_{wi} = 0,5 \cdot 80 \cdot 4 = 160$  мм

Після визначення міжцентрових відстаней логічно перейти до розрахунку діаметрів валів. Але для розрахунку валів, зубчастих коліс потрібно визначити навантаження на них, тобто діючі сили, крутні моменти. Для цього потрібно розрахувати сили різання при найбільших режимах та визначити потужність двигуна. Для типових моделей верстатів можна скористатися потужністю базової моделі. Розрахуємо крутний момент за формулою 3.2 та навантаження за формулою 3.3:

$$T_{pi} = T_j \cdot K, \quad (3.2)$$

$$F_p = F_t \cdot K, \quad (3.3)$$

де  $T_{pi}$  – розрахунковий крутний момент на  $i$  – му валу, Н· м;

$T_j$  – момент на попередньому валу, Н· м;

$F_t$  – колова сила, що прикладена до валу, Н;

$K$  – коефіцієнт навантаження,  $K = 1,2$ .

Без урахування коефіцієнта навантаження крутний момент розраховують такою формулою 3.4:

$$T_j = \frac{P}{\omega}, \quad (3.4)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість.

Кутова швидкість визначається за формулою 3.5:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (3.5)$$

Без урахування коефіцієнта навантаження колову силу розраховують за формулою 3.6:

$$F_t = \frac{2T_j}{d_z}, \quad (3.6)$$

де  $d_z$  – ділительний діаметр зубчатого колеса.

Ділительний діаметр зубчатого колеса розраховуємо за формулою 3.7:

$$d_z = m \cdot z_i, \quad (3.7)$$

Для першого валу розрахуємо колову силу та крутний момент за формулами:

Для першого валу  $n = 1450 \text{ хв}^{-1}$  та  $P$  – потужність двигуна  $P = 5,5 \text{ кВт}$ .

Для першого вала (також для інших валів) за формулою 3.5 розрахуємо кутову швидкість.

$$\omega_1 = \frac{3,14 \cdot 1450}{30} = 151 \text{ рад/с}$$

За формулою 3.4 розраховують крутний момент без урахування коефіцієнта навантаження (також для інших валів).

$$T_1 = \frac{5,5 \cdot 10^3}{151} = 36,24 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

За формулою 3.2 розраховується розрахунковий крутний момент (також для інших валів).

$$T_{p1} = 36,24 \cdot 1,2 = 43,48 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

За формулою 3.7 визначимо ділительний діаметр зубчастого колеса (також для інших валів).

$$d_1 = 4 \cdot 20 = 80 \text{ мм}$$

Колова сила без урахування коефіцієнта навантаження розраховується за формулою 3.6 (також для інших валів).

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot 36,23 \cdot 10^3}{80} = 905,75 \text{ Н}$$

За формулою 3.3 визначаємо розрахункову колову силу (також для інших валів).

$$F_{p1} = 905,75 \cdot 1,2 = 1087 \text{ Н}$$

Для другого валу:

$$\omega_2 = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,67 \text{ рад/с}$$

$$T_2 = \frac{5,5 \cdot 10^3}{104,67} = 52,54 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$T_{p2} = 52,54 \cdot 1,2 = 63,05 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$d_2 = 4 \cdot 31 = 124 \text{ мм}$$

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot 52,54 \cdot 10^3}{124} = 847 \text{ Н}$$

$$F_{p2} = 847 \cdot 1,2 = 1016 \text{ Н}$$

Для третьего валу:

$$\omega_3 = \frac{3,14 \cdot 630}{30} = 65,94 \text{ рад/с}$$

$$T_3 = \frac{5,5 \cdot 10^3}{65,94} = 83,41 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$T_{p3} = 83,41 \cdot 1,2 = 100,09 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$d_3 = 4 \cdot 31 = 124 \text{ мм}$$

$$F_{t3} = \frac{2 \cdot 83,41 \cdot 10^3}{124} = 1425 \text{ Н}$$

$$F_{p3} = 1425 \cdot 1,2 = 1711 \text{ Н}$$

Для четвертого валу:

$$\omega_4 = \frac{3,14 \cdot 400}{30} = 41,8 \text{ рад/с}$$

$$T_4 = \frac{5,5 \cdot 10^3}{41,8} = 131,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$T_{p4} = 131,7 \cdot 1,2 = 157,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$d_4 = 4 \cdot 31 = 124 \text{ мм}$$

$$F_{t4} = \frac{2 \cdot 157,9 \cdot 10^3}{124} = 2546 \text{ Н}$$

$$F_{p4} = 2546 \cdot 1,2 = 3056 \text{ Н}$$

Для пятого валу:

$$\omega_5 = \frac{3,14 \cdot 250}{30} = 26,16 \text{ рад/с}$$

$$T_5 = \frac{5,5 \cdot 10^3}{26,16} = 210,24 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$T_{p5} = 210,24 \cdot 1,2 = 259,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$d_5 = 4 \cdot 31 = 124 \text{ мм}$$

$$F_{t5} = \frac{2 \cdot 259,3 \cdot 10^3}{124} = 4069 \text{ Н}$$

$$F_{p5} = 4069 \cdot 1,2 = 4883 \text{ Н}$$

### 3.2 Розрахунок валів

Розрахунок проводимо в два етапи:

- попередній розрахунок;
- уточнюючий розрахунок.

Орієнтовний діаметр валу визначають при попередньому розрахунку та уточнюють його конструкцію. При допустимому напруженні  $[\tau] = 20 \text{ МПа}$  діаметр вихідного кінця валу знаходять за формулою 3.8:

$$d = \sqrt[3]{\frac{T_p}{0,2 \cdot [\tau]}} \quad (3.8)$$

За формулою 3.8 визначаємо для першого валу діаметр вихідного кінця валу (також для інших валів)

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{43,48 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} = 22,1 \text{ мм}$$

Під підшипники візьмемо діаметр валу  $d_1 = 25 \text{ мм}$ .

Для другого валу:

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{63,05 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} = 25,07 \text{ мм}$$

Під підшипники візьмемо діаметр валу  $d_2 = 25$  мм.

З кінематичного розрахунку відомо, що вал II шліцьовий. Тому за ГОСТом 1139 – 81 призначаємо шліці за розмірами 6х 8х32 із centruванням за внутрішнім діаметром валу. Посадка для рухомого з'єднання блок – вал може бути такою: d – 6 х 28H7/g6 х 32H12/a11 х 7D9/f7.

Для третього валу:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{100,09 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} = 29,25 \text{ мм}$$

Під підшипники візьмемо діаметр валу  $d_3 = 30$  мм.

Вал III також шліцьовий. Посадка для рухомого з'єднання блок – вал може бути такою: d – 8 х 32H7/g7 х 36H12/d10 х 6D9/f8.

Для четвертого валу:

$$d_4 = \sqrt[3]{\frac{157,9 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} = 34,4 \text{ мм}$$

Під підшипники візьмемо діаметр валу  $d_4 = 35$  мм.

Вал IV також шліцьовий. Посадка для рухомого з'єднання блок – вал може бути такою: d – 8 х 36H7/g6 х 40H12/d10 х 7D9/f7.

Для п'ятого валу:

$$d_5 = \sqrt[3]{\frac{252,23 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} = 39,8 \text{ мм}$$

Під підшипники візьмемо діаметр валу  $d_5 = 40$  мм.

Вал V також шліцьовий. Посадка для рухомого з'єднання блок – вал може бути такою:  $d - 8 \times 42H7/g6 \times 46H12/d10 \times 8D9/f7$ .

Для шостого валу:

$$d_6 = \sqrt[3]{\frac{394 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} = 54,2 \text{ мм}$$

Беремо діаметр валу під підшипники  $d_6 = 55$  мм.

### 3.3 Уточнюючий (перевірний) розрахунок валів

Виконується після проектного розрахунку як розрахунок коефіцієнта запасу міцності для небезпечних перерізів валу на основі виконаної конструкції коробки швидкостей.

Умова міцності валу визначається за формулою 3.9:

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} \geq [S], \quad (3.9)$$

де  $[S]$  – допустимий коефіцієнт запасу міцності; значення  $[S]$  знаходиться у межах 1,3–1,5; можна взяти  $[S] = 1,4$ ;

$S_\sigma$  – коефіцієнт запасу міцності за нормальними напруженнями;

$S_\tau$  – коефіцієнт запасу міцності за дотичними напруженнями;

$S$  – загальний (розрахунковий) коефіцієнт запасу міцності. Його й потрібно визначити.

Складова попередньої формули – коефіцієнт запасу міцності за нормальним напруженням  $S_\sigma$  – визначається за формулою:

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \cdot \sigma_V + \psi_a \cdot \sigma_m}$$

де  $\sigma_{-1}$  – межа витримки при симетричному циклі;

$K_\sigma$  – коефіцієнт, для шліцьового валу  $K_\sigma = 1,65$ ;

$\varepsilon_\sigma = 0,92$  – масштабний фактор;

$\psi_\sigma = 0,15$  – коефіцієнт;

$\sigma_m$  – середнє напруження,  $\sigma_m = 0$ ;

$\sigma_V$  – амплітуда нормальних напружень на згинання.

В останній формулі невизначеними є:

$\sigma_{-1}$  – межа витримки при симетричному циклі;

$\sigma_V$  – амплітуда нормальних напружень на згинання.

Для визначення  $\sigma_{-1}$  потрібно знати  $\sigma_B$ ,

$\sigma_B$  для сталі 45 дорівнює 780 МПа з, тоді  $\sigma_{-1} \approx 0,43 \cdot \sigma_B = 0,43 \cdot 780 = 335$  МПа;

$\sigma_V$  – амплітуда нормальних напружень на згинання – визначається формулою 3.10:

$$\sigma_V = \frac{M}{W_{\text{нетто}}}, \quad (3.10)$$

до якої надходить сумарний момент  $M_\Sigma$  на згинання та параметр  $W_{\text{нетто}}$ .



Сумарний згинальний момент  $M_{\Sigma}$  на валу необхідно знайти для розрахунку  $\sigma_V$ . Для визначення діючих сил та реакцій побудуємо схему (рисунок 3.1) і визначимо реакції опор у площинах XZ, YZ.

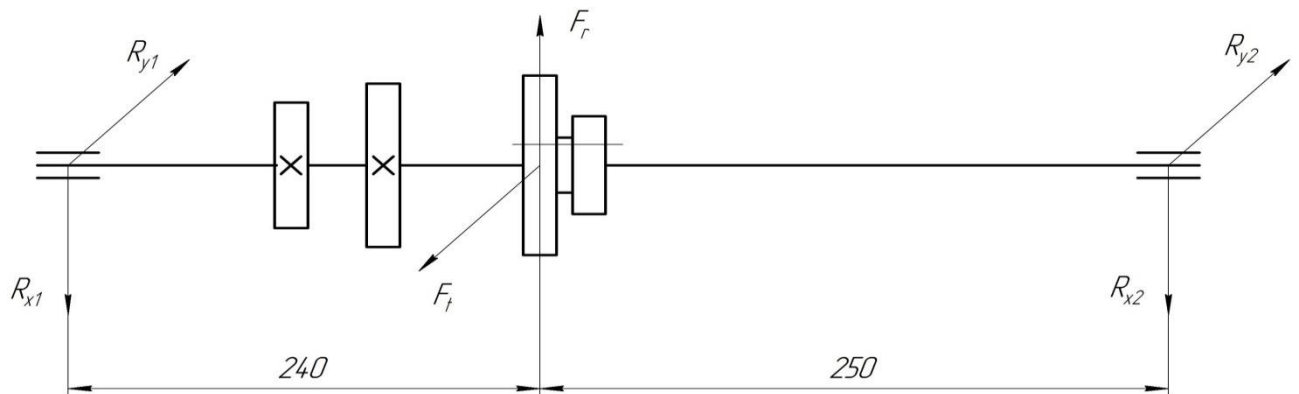


Рисунок 3.1 – Схема діючих сил та реакцій опор IV валу коробки

Реакції опор у площині XZ:

$$R_{y1} = \frac{F_t \cdot 240}{240 + 250} = \frac{6853 \cdot 240}{240 + 250} = 3356 \text{ Н},$$

$$R_{y2} = \frac{F_t \cdot 250}{240 + 250} = \frac{6853 \cdot 250}{240 + 250} = 3496 \text{ Н}.$$

Реакції опор у площині YZ:

$$R_{x1} = \frac{F_r \cdot 240}{240 + 250} = \frac{6853 \cdot 240}{240 + 250} = 3356 \text{ Н},$$

$$R_{x2} = \frac{F_r \cdot 250}{240 + 250} = \frac{6853 \cdot 250}{240 + 250} = 3496 \text{ Н}.$$

Згинальні моменти:

$$M_x = R_{x1} \cdot 240 = 8,05 \cdot 10^3 \text{ Нмм},$$

$$M_y = R_{y1} \cdot 240 = 8,05 \cdot 10^3 \text{ Нмм}.$$

Сумарний згинальний момент дорівнює:

$$M_{\Sigma} = \sqrt{(8,05 \cdot 10^5)^2 + (8,05 \cdot 10^5)^2} = 11,5 \cdot 10^3 \text{ Нмм}$$

На рисунку 3.2 зображено епюри згинальних та крутних моментів при уточнюючому розрахунку валу.

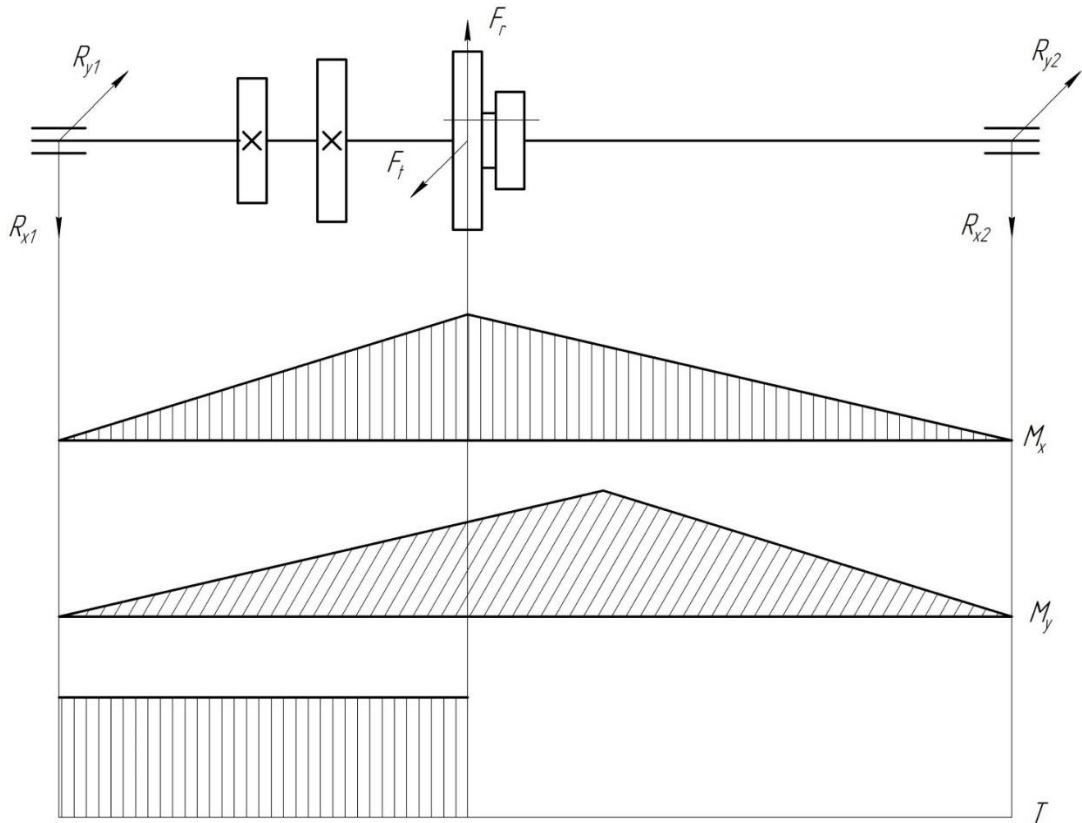


Рисунок 3.2 - Епюри згинальних та крутного моментів при уточнюючому розрахунку валу

Також визначено сумарний згинальний момент. За формулою 3.10 розраховуємо амплітуду нормальних напружень на згинання:

$$\sigma = \frac{M_{\Sigma}}{W_{\text{нетто}}} = \frac{8,05 \cdot 10}{1,25 \cdot 10} = 6,44 \text{ МПа,}$$

де  $W_{\text{нетто}}$  – розраховано як

$$W_{\text{нетто}} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2d} = \frac{3,14 \cdot 28^3}{32} - \frac{6 \cdot 4 \cdot (28 - 4)^2}{2 \cdot 28} = 1,25 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$$

За рекомендаціями окремі значення параметрів такі:

$$\tau_{-1} \approx (0,5 - 0,58) \cdot \sigma_{-1}; \quad \varepsilon_{\tau} = 0,74; \quad \psi_{\tau} = 0,1; \quad \tau_m = 6$$

Підстановка значень у формулу дає результат:

$$S_{\tau} \approx 11,7$$

За формулою 3.9 розрахуємо загальний коефіцієнт запасу міцності:

$$S = \frac{1,7 \cdot 11,7}{\sqrt{(1,7)^2 + (11,7)^2}} = 1,68 > 1,4.$$

### 3.4 Геометричний розрахунок зубчастих коліс

Розрахуємо зовнішні та внутрішні діаметри зубчастих коліс майбутньої коробки швидкостей. Зовнішні діаметри колес розрахуємо за формулою:

$$d_{a1} = d_{w1} + 2 \cdot m.$$

Внутрішні діаметри розрахуємо за формулою:

$$d_{a2} = d_{w1} - 2,5 \cdot m.$$

Результати занесемо у таблицю 3.1

Таблиця 3.1 – Розрахунок діаметрів коліс привода

Кількість зубців коліс	Ділильний діаметр $m \cdot z$ , мм	Зовнішній діаметр $m \cdot (z+2)$ , мм	Внутрішній діаметр $m \cdot (z-2,5)$ , мм
$Z_1 = 20$	80	88	70
$Z_2 = 29$	116	124	106
$Z_3 = 31$	124	132	114
$Z_4 = 49$	196	204	186
$Z_5 = 35$	140	148	130
$Z_6 = 45$	180	188	170
$Z_7 = 40$	160	168	150
$Z_8 = 40$	160	168	150
$Z_9 = 45$	180	188	170
$Z_{10} = 35$	140	148	130
$Z_{11} = 31$	124	132	114
$Z_{12} = 49$	196	204	186
$Z_{13} = 49$	196	204	186
$Z_{14} = 31$	124	132	114
$Z_{15} = 31$	124	132	114
$Z_{16} = 49$	196	204	186
$Z_{17} = 49$	196	204	186
$Z_{18} = 31$	124	132	114
$Z_{19} = 31$	124	132	114
$Z_{20} = 49$	196	204	186
$Z_{21} = 49$	196	204	186
$Z_{22} = 31$	124	132	114

### 3.5 Розрахунок зубів коліс на контактну міцність

Допустимі контактні напруження підраховують за формулою 3.11:

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlimb} \cdot K_{HL}}{S_H} \cdot z_r \cdot z_v \cdot K_L \cdot K_{XH}, \quad (3.11)$$

де  $\sigma_{Hlimb}$  – межа контактної міцності поверхневих шарів зубів;  
для вуглецевих сталей із твердістю поверхонь зубів менше HB 350:

$$\sigma_{Hlimb} = 2HB + 70$$

де  $K_{HL}$  – коефіцієнт довговічності, для верстатів дорівнює 1;  
 $S_H$  – коефіцієнт безпеки, при однорідній структурі матеріалу 1,1 ;  
 $z_r$  – коефіцієнт шорсткості;  
 $z_v$  – коефіцієнт швидкості;  
 $K_L$  – коефіцієнт змащування;  
 $K_{XH}$  – коефіцієнт розміру коліс.  
З практичних міркувань

$$z_r \cdot z_v \cdot K_L \cdot K_{XH} = 0,9$$

Тоді за формулою 3.11 визначимо допустимі контактні напруження:

$$[\sigma_{H1,2}] = \frac{2 \cdot 230 + 70}{1,1} \cdot 0,9 = 434 \text{ МПа}$$

### 3.6 Розрахунок зубів зубчастих коліс на згинання

Допустимі контактні напруження на згинання розраховуємо за формулою 3.12:

$$\sigma_{Hlimb} [\sigma_F] = \frac{\sigma_{Flimb} \cdot K_{FL}}{S_F} \cdot K_{FC}, \quad (3.12)$$

де  $\sigma_{Flimb}$  – границя тривалості зуба на згинання,

$$\sigma_{Flimb} = HB + 250;$$

$K_{FL}$  – коефіцієнт довговічності, для верстатів  $K_{FL} = 1$ ;

$S_F$  – коефіцієнт безпеки,  $S_F = 1,7$ ;

$K_{FC}$  – коефіцієнт, що враховує одностороннє навантаження  $K_{FC} = 1$ ;

Тоді за формулою 3.12 визначимо допустимі контактні напруження:

$$[\sigma_F] = \frac{230 + 250}{1,7} \cdot 1 = 282 \text{ МПа}$$

Приймаємо значення  $[\sigma_F] = 282 \text{ МПа}$

Розрахунок зубів коліс на згинання виконують за формулою 3.13:

$$\sigma_F = 2 \cdot Y_F \cdot Y_E \cdot Y_\beta \cdot \frac{T \cdot K_F}{z \cdot b \cdot m^2} \leq [\sigma_F], \quad (3.13)$$

де  $Y_F$  – коефіцієнт, що враховує форму зуба и залежить від еквівалентної кількості зубів,  $Y_F = 4,25$ ;

$Y_E$  – коефіцієнт, що враховує перекриття зубів. Для прямозубих коліс:

$$Y_E = \frac{1}{E} = \frac{1}{\left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2}\right)\right]} = \frac{1}{\left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{28} + \frac{1}{32}\right)\right]} = 0,55;$$

$Y_\beta = 1$  – для прямозубих коліс;

$K_F$  – коефіцієнт, який складається з таких складових

$$K_F = K_{F\beta} \cdot K_{FV},$$

де  $K_{F\beta}$  – коефіцієнт розподілу навантаження по ширині вінця,

$$K_{F\beta} = 1,0;$$

$K_{FV}$  – коефіцієнт, що враховує динамічні навантаження,  $K_{FV} = 1,25$

Тоді за формулою 3.13 виконаємо розрахунок зубів на згинання:

$$\sigma_F = 2 \cdot 4,25 \cdot 0,55 \cdot 1 \cdot \frac{89 \cdot 1,25}{28 \cdot 15 \cdot 3^2} = 36 \text{ МПа} \leq 282 \text{ МПа}$$

На рисунку 3.3 зображено конструкцію модернізованої коробки верстата.

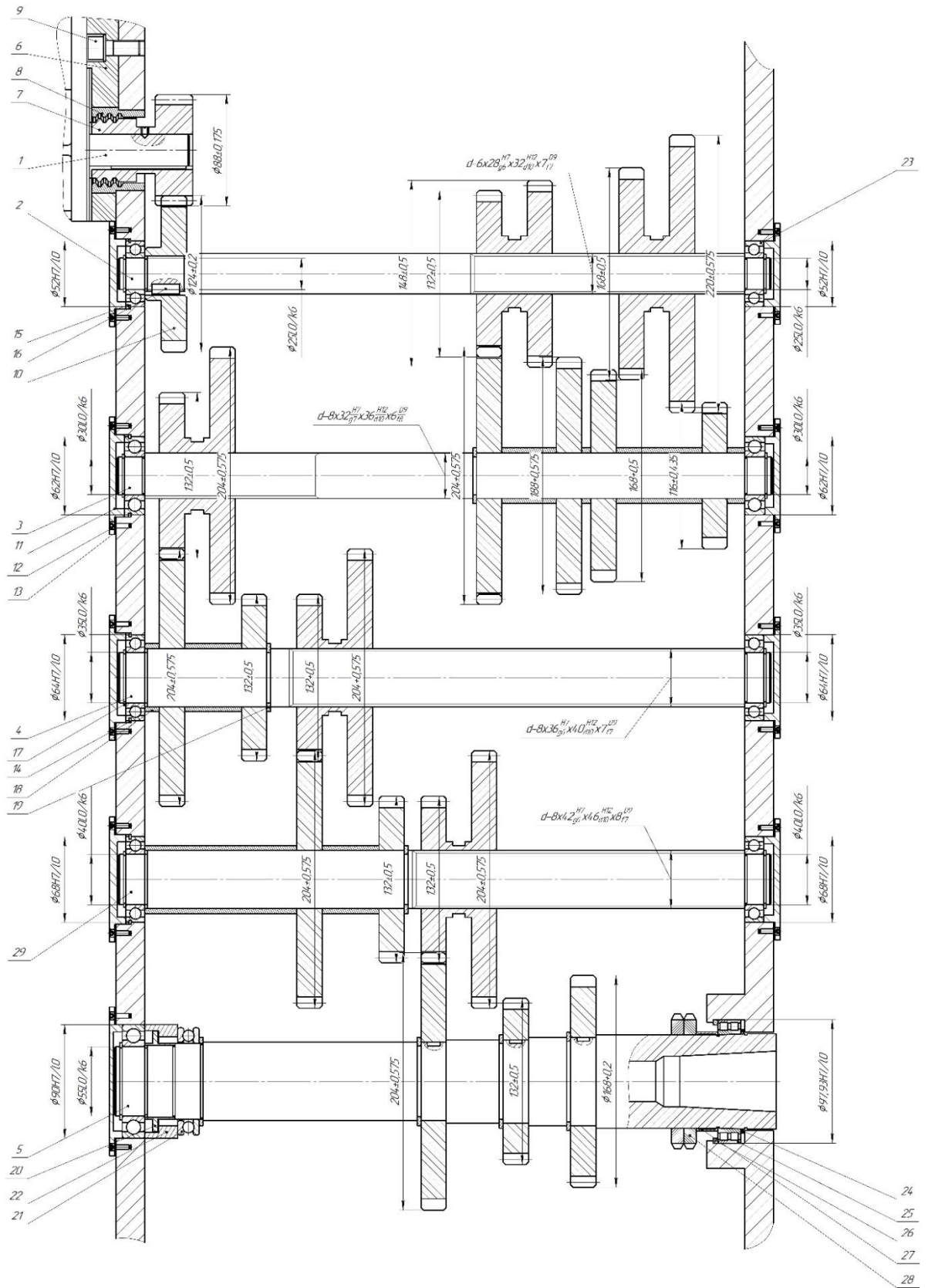


Рисунок 3.3 – Конструкція модернізованої коробки швидкостей верстата 3.3 Висновки за третім розділом



### **3.7 Висновки за третім розділом**

В даному розділі був проведений розрахунок основних вузлів коробки швидкостей верстата 1341. А саме таких вузлів, як: підшипники, що розміщуються на валах, самі вали, зубчасті колеса.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШПИНДЕЛЯ

#### 4.1 Опис деталі

Шпиндель токарних верстатів - це пустотіла, багатоступінчастий вал, виготовлений з якісної сталі і термічно оброблений.

До даного шпинделя пред'являються такі вимоги: радіальне биття конусного отвору відносно підшипникових шийок не більше 0,005 мм; Радіальне биття центруючого пояса діаметром 125 мм на передньому кінці шпинделя відносно підшипникових шийок не більше 0,005 мм; биття торців відносно підшипникових шийок не більше 0,01 мм

#### 4.2 Опис вузла

Опори шпинделів - підшипники кочення і ковзання, повинні сприймати радіальну і осьову навантаження від сил різання. Особливо точно і надійно виконують передню опору шпинделя, так як вона сприймає основну частку навантаження і передає безпосередньо на оброблювану деталь все похибки свого монтажу. В якості передньої опори шпинделів токарних верстатів часто застосовують дворядний радіальний роликовий підшипник с конічним отвором внутрішнього кільця серії 3182100, який сприймає радіальне навантаження. Цей підшипник має велику працездатність, жорсткість, можливість регулювання радіального зазору, високі швидкохідні характеристики. Для сприйняття осьових навантажень в передній опорі можуть встановлюватися радіально-упорні або упорні підшипники. У задній опорі шпинделів встановлюють різні типи підшипників залежно від конструкції передньої опори.

Вузел токарного верстату який описується в даній роботі це вузел шпинделя верстату. Шпиндель закріплюється в підшипниках кочення кулькових з одного боку та в роликових двухрядних з іншого боку.

Роликовий підшипник встановлюється біля фланцю шпинделя на конусній шийці. Для фіксації шпинделя в осьовому напрямку використовується підшипник кочення кульковий. З обох боків установлюються ущільнювачі

### **4.3 Розроблення опису маршрутного технологічного процесу обробки деталі**

Технологічний процес механічної обробки шпинделя токарного верстата.

Складаю маршрутну технологію обробки шпинделя:

005 Токарно-гвинторізна

Чорнове точіння всіх ступенів до фланця. Попереднє підрізання торця фланця.

010 Токарно-гвинторізна

Чистове точіння всіх ступенів до фланця з припуском під шліфування. Підрізання канавок.

015 Токарно-гвинторізна

Обточування фланця та конуса, підрізання торців до розміра 26 мм и 15,2 мм, підрізання канавки на торці фланця та зняття фасок.

020 Свердлильна

Свердління отвору  $\varnothing 47$  мм з обох боків (зі сторони головної частини та зі сторони фланця) на 465 мм.

025 Вертикально-свердлильна

Зенкерування отвору  $\varnothing 54,44$  на глибину 190 мм зі сторони головної частини.

030 Токарно-гвинторізна

Підрізання торців, розточування конуса номер 6 під шліфування отвору  $\varnothing 54,44$  мм, зняття фаски в отворі, полірування торця з головної сторони шпинделя.

Підрізання торця з іншої сторони шпинделя, розточування конуса

номер 6, зняття фаски в отворі та фаски 20x30°.

035 Радіально-свердлильна

Обробка отворів в фланці шпинделя: свердління 4 отворів Ø23 мм, свердління та нарізання двох отворів M20, свердління, розточування та нарізання різі в отворі M8/19 мм. Зняття фасок.

040 Термічна

Закалка конуса під патрон, торця та внутрішнього конуса номер 6.  
Відпуск після закалки.

045 Круглошліфувальна

Попереднє шліфування всіх ступеней шпинделя на конусних пробках

050 Токарно-гвинторізна

Нарізання різі M68x2 та M100x2.

055 Фрезерна

Фрезерування 12 шліців 90Дх83х4х12

060 Вертикально-фрезерна

Фрезерування шпоночної канавки

065 Круглошліфувальна

Кінцеве шліфування циліндричних шийок.

070 Круглошліфувальна

Попереднє шліфування конуса 1:12 с притримуванням розміра 54,5±0,34 мм від торця фланця до перехідної риски.

075 Круглошліфувальна

Кінцеве шліфування конуса 1:12 с притримуванням розміра 49,5±0,34 мм від торця фланця до торця кільця підшипника.

080 Внутрішньошліфувальна

Попереднє шліфування конуса Морзе 6 по калібру.

085 Внутрішньошліфувальна

Кінцеве шліфування конуса Морзе 6 по калібру.

090 Круглошліфувальна

Попереднє шліфування конуса  $7^{\circ}07'30''$  та торця Б.

095 Круглошліфувальна

Кінцеве шліфування конуса  $7^{\circ}07'30''$  та торця Б.

100 Слюсарна

Зачистка заходів та виходів фрези на шліцах та заусенців після фрезерування канавки. Протирка отворів.

105 Контрольна

Контроль всіх отриманих розмірів.

#### **4.4 Підбір МРС**

005 Токарно-гвинторізна

Токарно-гвинторізний верстат TURNER 360.

010 Токарно-гвинторізна

Токарно-гвинторізний верстат TURNER 360.

015 Токарно-гвинторізна

Токарно-гвинторізний верстат TURNER 360.

020 Свердлильна

Верстат глибокого свердління IMSA B4S.

025 Вертикально-свердлильна

Вертикально-свердлильний верстат 2H135.

030 Токарно-гвинторізна

Токарно-гвинторізний верстат TURNER 360.

035 Радіально-свердлильна

Радіально-свердлильний верстат JET JRD-1600W.

040 Термічна

Електропіч.

045 Круглошліфувальна

Круглошліфувальний верстат 3M152BM.

050 Токарно-гвинторізна

Токарно-гвинторізний верстат TURNER 360.

055 Фрезерна

Горизонтальний шліцефрезерний верстат 5350.

060 Вертикально-фрезерна

Вертикально-свердлильний верстат 6P13.

065 Круглошліфувальна

Круглошліфувальний верстат 3M152BM.

070 Круглошліфувальна

Круглошліфувальний верстат 3M152BM.

075 Круглошліфувальна

Круглошліфувальний верстат 3M152BM.

080 Внутрішньошліфувальна

Верстат для внутрішнього шліфування 3K228A.

085 Внутрішньошліфувальна

Верстат для внутрішнього шліфування 3K228A.

090 Круглошліфувальна

Круглошліфувальний верстат 3M152BM.

095 Круглошліфувальна

Круглошліфувальний верстат 3M152BM.

#### **4.5 Підбір ріжучого інструменту.**

005 Токарно-гвинторізна

Різець прохідний DCLNR 3225P16 BK8 ГОСТ 3882-74.

Різець канавочний G1011.1616R-4T12GX24

010 Токарно-гвинторізна

Різець прохідний PCLNR1616 H12 T15K6 ГОСТ 3882-74

Різець канавочний G1011.1616R-4T12GX24

015 Токарно-гвинторізна

Різець прохідний PCLNR1616 H12 T15K6 ГОСТ 3882-74

Різець канавочний G1011.1616R-4T12GX24

020 Свердлильна

Розточна оправка B3220.N6.070-090.Z2.CC12 з двома пластинами

ССМТ120412-E47 WSM20S. Перехідний адаптер A100M.1.50.020.63.

025 Вертикально-свердлильна

Зенкер спеціальний

030 Токарно-гвинторізна

Різець прохідний PCLNR1616 H12 T15K6 ГОСТ 3882-74

035 Радіально-свердлильна

Свердрло Ø23 2301-3642 ГОСТ 10903-77

Свердрло Ø18,5 2301-3622 ГОСТ 10903-77

Мігчик 2621-1905 ГОСТ 3266-81

Мігчик 2621-1223 ГОСТ 3266-81

Свердрло Ø6,7 2301-3559 ГОСТ 3266-81

045 Круглошліфувальна

Круг шліфувальний 250x20x76 ПП 24А СМ5К6 ГОСТ 2424-83.

050 Токарно-гвинторізна

Різець різенарізний 2660-0001 T15K6 ГОСТ 18885- 73

055 Фрезерна

Фреза 2520-0732 ГОСТ 8027-86

060 Вертикально-фрезерна

Фреза дискова 2250-0001 ГОСТ 3964-69

065 Круглошліфувальна

Круг шліфувальний 250x20x76 ПП 24А СМ5К6 ГОСТ 2424-83.

070 Круглошліфувальна

Круг шліфувальний 250x20x76 ПП 24А СМ5К6 ГОСТ 2424-83.

075 Круглошліфувальна

Круг шліфувальний 250x20x76 ПП 24А СМ5К6 ГОСТ 2424-83.

080 Внутрішньошліфувальна

Круг шліфувальний 12 150x8x13 24А СМ5К6 ГОСТ 2424-83.  
085 Внутрішньошліфувальна  
Круг шліфувальний 12 150x8x13 24А СМ5К6 ГОСТ 2424-83.  
090 Круглошліфувальна  
Круг шліфувальний 250x20x76 ПП 24А СМ5К6 ГОСТ 2424-83.  
095 Круглошліфувальна  
Круг шліфувальний 250x20x76 ПП 24А СМ5К6 ГОСТ 2424-83.

#### **4.6 Підбір вимірювального інструменту.**

005 Токарно-гвинторізна  
Штангенциркуль ШЦ-ІІ-125-0,1 ГОСТ 166-89.  
010 Токарно-гвинторізна  
Штангенциркуль ШЦ-ІІ-125-0,1 ГОСТ 166-89.  
015 Токарно-гвинторізна  
Штангенциркуль ШЦ-ІІ-125-0,1 ГОСТ 166-89.  
020 Свердлильна  
Нутромір НИ 10-18-4 ГОСТ 868-82.  
025 Вертикально-свердлильна  
Штангенциркуль ШЦ-ІІ-125-0,1 ГОСТ 166-89.  
030 Токарно-гвинторізна  
Штангенциркуль ШЦ-ІІ-125-0,1 ГОСТ 166-89.  
035 Радіально-свердлильна  
Штангенциркуль ШЦ-ІІ-125-0,1 ГОСТ 166-89.  
Шаблон для контролю різи  
045 Круглошліфувальна  
Мікрометр МК 75-100 ГОСТ 6507-90.  
050 Токарно-гвинторізна  
Штангенциркуль ШЦ-ІІ-125-0,1 ГОСТ 166-89.  
Шаблон для контролю різи



055 Фрезерна

Шаблон для контролю шліців

Штангенциркуль ШЦ-II-125-0,1 ГОСТ 166-89.

060 Вертикально-фрезерна

Штангенциркуль ШЦ-II-125-0,1 ГОСТ 166-89.

065 Круглошліфувальна

Мікрометр МК 75-100 ГОСТ 6507-90.

070 Круглошліфувальна

Мікрометр МК 75-100 ГОСТ 6507-90.

075 Круглошліфувальна

Мікрометр МК 75-100 ГОСТ 6507-90.

080 Внутрішньошліфувальна

Нутромір НИ 10-18-4 ГОСТ 868-82.

085 Внутрішньошліфувальна

Нутромір НИ 10-18-4 ГОСТ 868-82.

090 Круглошліфувальна

Мікрометр МК 75-100 ГОСТ 6507-90.

095 Круглошліфувальна

Мікрометр МК 75-100 ГОСТ 6507-90.

#### **4.7 Обладнання.**

005 Токарно-гвинторізна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному та люнеті.

010 Токарно-гвинторізна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному та люнеті.

015 Токарно-гвинторізна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному та люнеті.

020 Свердлильна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному та люнеті.

025 Вертикально-свердлильна

Закріплення деталі у призмах.

030 Токарно-гвинторізна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному та люнеті.

035 Радіально-свердлильна

Закріплення деталі у пристрої спеціальному.

045 Круглошліфувальна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному, центрі.

050 Токарно-гвинторізна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному, центрі.

055 Фрезерна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному, центрі.

060 Вертикально-фрезерна

Закріплення деталі у призмах.

065 Круглошліфувальна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному, центрі.

070 Круглошліфувальна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному, центрі.

075 Круглошліфувальна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному, центрі.

080 Внутрішньошліфувальна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному, та люнеті.

085 Внутрішньошліфувальна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному, та люнеті.

090 Круглошліфувальна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному, центрі.

095 Круглошліфувальна

Закріплення деталі у токарному патроні спеціальному, центрі.

#### 4.8 Розробка операційного технологічного процесу обробки деталі

Даний пункт роботи пропонується виконувати для двох різноманітних операцій з операційними ескізами, підбором різального та вимірювального інструментів, а також режимів різання.

Розглянемо операцію 005 – Токарно-гвинторізна.

Дана операція виконується на токарно-гвинторізному верстаті моделі TURNER 360. Його технічні характеристики повністю задовольняють умовам обробки нашої деталі, а саме габаритним розмірам та масі.

Чорнове точіння всіх ступенів до фланця. Попереднє підрізання торця фланця.

Закріплення деталі у спеціальному патроні трикулачковому. Операційний ескіз зі схемою базування приведено на рис. 5.1.

Різальний інструмент на операції:

- різець прохідний DCLNR 3225P16 BK8 ГОСТ 3882-74.

- різець канавочний G1011.1616R-4T12GX24.

Обладнання: токарний патрон спеціальний.

Для контролю розмірів на операції достатньо застосувати штангенциркуль ШЦ I - 125-0,1 ГОСТ 166-89.

Режими різання на операції:

- для прохідного різця: глибина різання  $t=1,5$  мм, подача  $S=0,2$  мм/об, швидкість різання  $V=123$  м/хв, частота обертання шпинделя при цьому складе 800 об/хв, що відповідає паспорту верстата; кількість проходів 2.

- для канавочного різця: глибина різання  $t=3$  мм, подача  $S=0,2$  мм/об, швидкість різання  $V=90$  м/хв, частота обертання шпинделя при цьому складе 2000 об/хв, що відповідає паспорту верстата; кількість проходів 1.

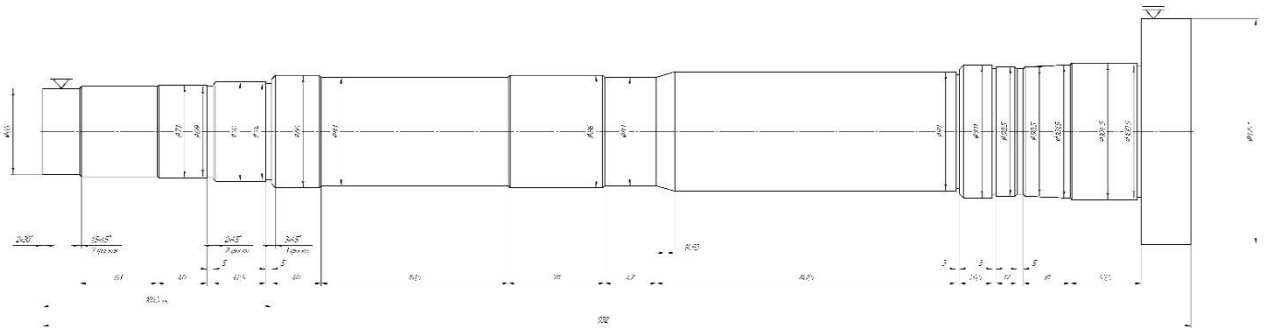


Рисунок 5.1 – Операційний ескіз 010 операції

Розглянемо операцію 045 – Круглошліфувальна.

Дана операція виконується на круглошліфувальному верстаті моделі 3М152ВМ. Його технічні характеристики повністю задовольняють умовам обробки нашої деталі, а саме габаритним розмірам та масі.

На даній операції проводиться шліфування всіх ступенів шпинделя. Шорсткість оброблених поверхонь  $Ra 1,6$ .

Деталь закріплюється у токарному патроні спеціальному та центрі А-1-1-У ГОСТ 8742 -75. Обробка виконується за 1 установ. Операційний ескіз зі схемою базування приведено на рис. 3.3.

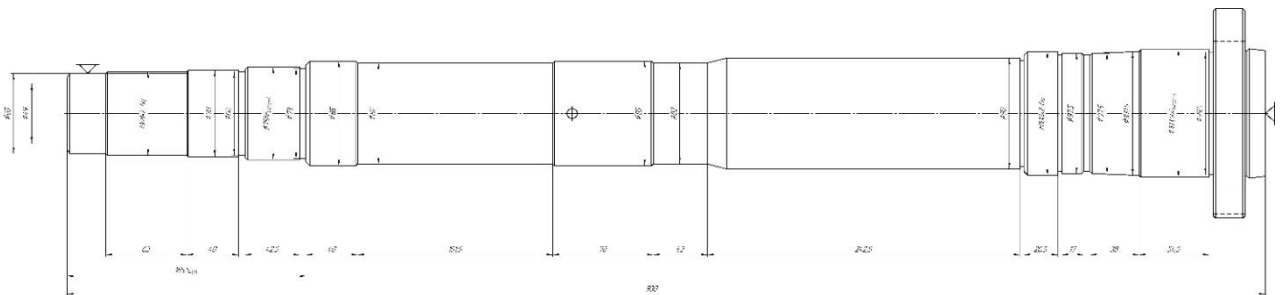


Рисунок 5.2 – Операційний ескіз 035 операції

Різальний інструмент на операції: круг шліфувальний 250x20x76 ПП 25А СМ5К6 ГОСТ 2424-83.

Для контролю розмірів на операції достатньо застосувати мікрометр МК 25-50 ГОСТ 6507-90.

Режими різання на операції: швидкість різання  $V = 30$  м/с, частота обертання інструмента  $n_i = 38$  об/хв, частота обертання заготовки  $n_{заг} = 25$  об/хв, Поперечна подача  $S_{поп} = 0,001$  мм/подв.хід, поздовжня подача  $S_{позд} = 0,3$  м/хв, глибина різання  $t = 0,03$  мм.

#### **4.9 Висновки за четвертим розділом**

В даному розділі був розроблений технологічний процес виготовлення шпинделя токарного верстата. Також був розроблений операційний технологічний процес обробки деталі. Були розглянуті операції 005 – токарно-гвинторізна та 045 – кругло-шліфувальна.

## РОЗДІЛ 5

### ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ

#### 5.1 Обґрунтування необхідності створення верстатного пристрою

Задачею роботи є проектування пристосування на чорнову токарну операцію на якій відбувається попередня (чорнова) обробка заготовки.

В базовому технологічному процесі заготовка оброблювалася, на універсальному токарно-гвинторізному обладнанні. Базувалася заготовка в трикулачковому самоцентруючому патроні з під жаттям заднім центром.

Розглядаючи проєктований технологічний процес можемо сказати що операція буде замінена з універсальної на токарну з ЧПК та верстатними пристроєм з пневмоприводом – повідковим патроном. Дане, обладнання має систему ЧПК, що дозволить з точністю його позиціонування виконати обробку поверхонь. Використання спеціальних верстатних пристроїв допоможе скоротити час на установку, базування та закріплення заготовки, знизити розряд оператора верстата, що значно зменше допоміжний час, та як результат безпосередньо буде зменшена собівартість деталі. Також необхідно відмітити що використання спеціального верстатного пристрою допоможе збільшити точність стабільність параметрів отриманих на операції (точність форми та розміщення, шорсткість).

Система координат верстата буде відповідати системі обладнання з ЧПК, вісь Z якого напрямлена горизонтально, вздовж вісі заготовки.

#### 5.2 Уточнення цілі технологічної операції

##### 5.2.1 Точність розмірів

На операції виконується обробка циліндричних поверхонь та торців.

Розглядаючи креслення деталі можемо зробити висновок, що оброблювальні поверхні є проміжковими під термічну обробку

(технологічними) та до них не пред'явлені жорсткі вимоги по точності та якості.

На операції виконуються наступні поверхні з такою точністю:

- 94,3 мм  $T = 0,35$  мм,  $ES = +0,35$  мм та  $EI = 0$  мм згідно з ГОСТ 25347-82 - 12 квалітет точності;
- 18 допуск складає  $T = 0,18$  мм,  $es = 0$  мм та  $ei = -0,18$  мм згідно з ГОСТ 25347-82 - 12 квалітет точності;
- $\varnothing 25$  допуск складає  $T = 0,21$  мм,  $es = 0$  мм та  $ei = -0,21$  мм згідно з ГОСТ 25347-82 - 12 квалітет точності;
- $\varnothing 35,5$  допуск складає  $T = 0,21$  мм,  $es = 0$  мм та  $ei = -0,21$  мм згідно з ГОСТ 25347-82 - 12 квалітет точності;

### 5.2.2 Точність форми

Конструктором не відзначено точність форми отриманих поверхонь, тому назначаємо його відповідно з нормальною відносною геометричною точністю – А, згідно з ГОСТ 24643-81 (60%, або 30% для допуску циліндричності, круглості та профілю повздовжнього січення, від допуску на розмір).

Проаналізуємо одну циліндричну та одну плоску поверхні з найменшими розмірами так як при однаковому допуску вони матимуть менше значення, тобто будуть точніше – це поверхні  $\varnothing 25(-0,21)$  та торець виконаний в розмір  $18(-0,18)$

Відповідно назначимо в відсотковій частині від допуску на розмір такі відхилення.

Допуск площинності торцю складатиме 60% від допуску для розміру 18мм,  $T=0,18 \cdot 0,6=0,108$  мм, приймаємо 100 мкм - 13 степінь точності згідно з ГОСТ 24643-81.

Розглянемо допуск циліндричності та профілю повздовжнього січення, котрі будуть знаходитись як 30% від допуску розміру  $\varnothing 25$  мм,

$T=0,3 \cdot 0,21=0,063$  мм, приймаємо 60 мкм - 11 степiнь точности згідно з ГОСТ 24643-81.

Відхилення від циліндричності можуть бути: огранка, еліптичність, рисунок 5.1. Відхилення від профілю прокольного перерізу можуть бути: бочко, конус, сідло – подібність, рисунок 5.1.

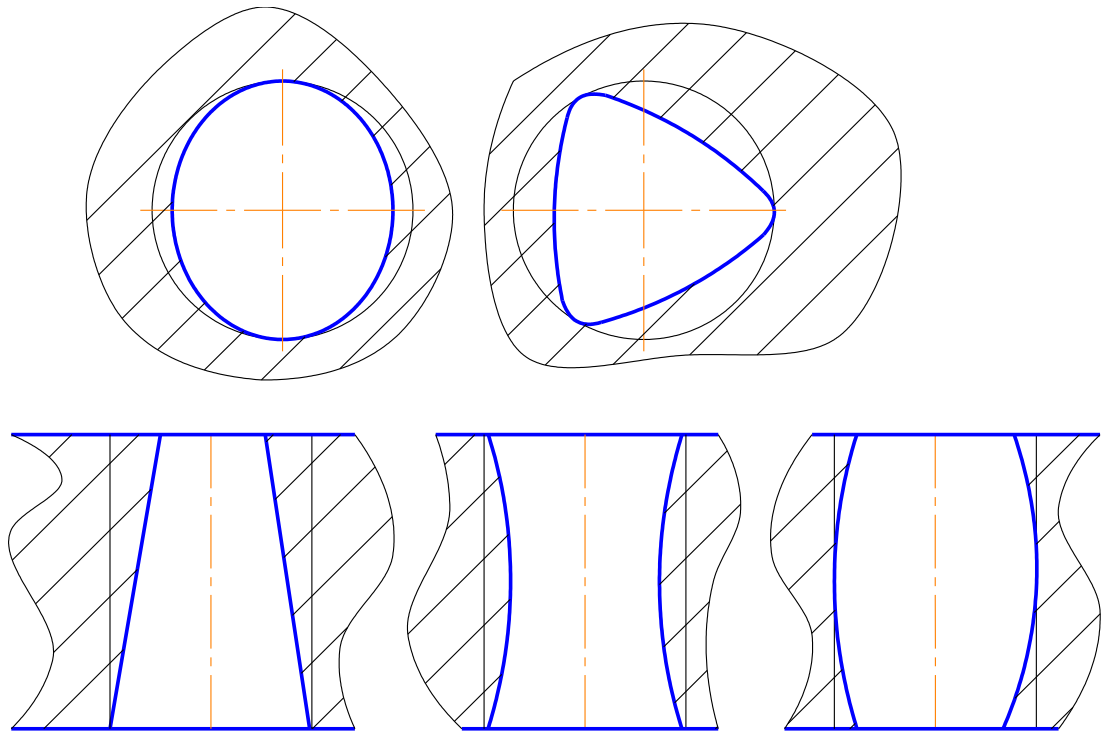


Рисунок 5.1 – Відхилення циліндричних поверхонь від циліндричності та профілю прокольного перерізу

### 5.2.3 Шорсткість оброблюваних поверхонь

Шорсткість оброблюваних поверхонь складає  $Ra = 3,2$  мм, так як поверхні виконуються під ультразвуковий контроль.

### 5.3 Виявлення кількісних та якісних даних про заготовку

Заготовку котру отримують – це штамповка. Для даної операції заготовка на токарному обладнанні пройшла обробку баз – підрізались торці в розмір 202 мм, зацентрувались А2 та проточилась шийка  $\varnothing 63$ .

Для базування доцільно приймати базові начисто оброблені поверхні,



котрі розвинуті та відкриті, що дозволить полегшити проектування та виготовлення пристосування.

Тому, для даного випадку приймаємо механічно оброблені поверхні – чорнові бази – центрові отвори А2 та торець.

### 5.3.1 Точність розмірів

В якості базових поверхонь виступають поверхні прокату:

- центрові отвори А2 ГОСТ 14034-74, розміри  $8^{+0,36}$ ,  $\varnothing 2^{+0,1}$ , що виконані по 14 квалітету згідно ГОСТ 25347-82.

- торець виконаний в розмір 202 мм, допуск складає  $T=0,46$  мм,  $es=0$ ,  $ei=-0,46$  мм – 12 квалітет точності.

### 5.3.2 Точність форми

Допуск форми конічної поверхні, конструктором не оговорений, відповідно назначаємо його у відсотковому відношенні від допуску на розмір.

Допуск профілю повздожнього січення.

Даний допуск складе 30% від допуску на розмір  $2^{+0,1}$  мм,  $T=0,3 \cdot 0,1=0,03$  мм, що відповідає 9 ступеню точності.

Відхилення профілю повздожнього січення можуть відобразитись такими формами (ввігнутість, випуклість), рисунок 5.2.

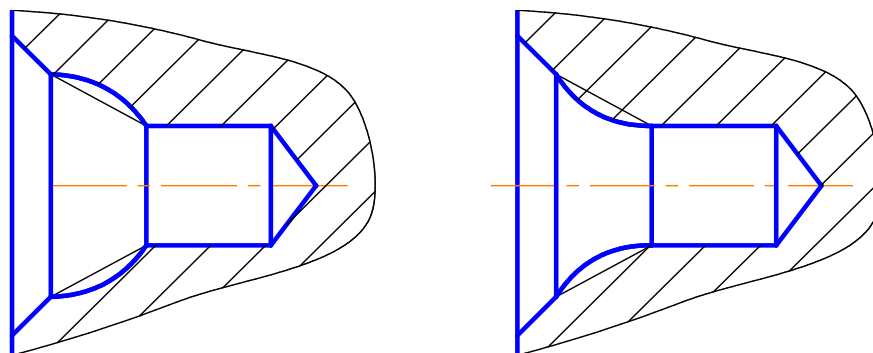


Рисунок 5.2 – Відхилення профілю продольного січення конічної поверхні центрального отвору

Допуск плоскостності тоцю складатиме 60% від допуску для розміру 202мм,  $T=0,46 \cdot 0,6=0,276$  мм, приймаємо 200 мкм - 12 степінь точності згідно з ГОСТ 24643-81

### 5.3.3 Точність розміщення

Розглянемо допуск торцевого биття котрий складатиме 60% від допуску на розмір 202 мм,  $T = 0,6 \cdot 0,46 = 0,276$  мм, приймаємо 200 мкм – 11 степінь точності.

Розглянемо допуск радіального биття котрий складатиме 60% від допуску на розмір  $\varnothing 2$  мм,  $T = 0,6 \cdot 0,1 = 0,06$  мм, приймаємо 50мкм – 10 степінь точності.

## **5.4 Визначення умов в котрих буде виготовлятися та використовуватися проектований пристрій**

Пристрій повинен виконати понад 5000 циклів.

Пристрій буде використовуватися на токарно-револьверному верстаті моделі 1341.

Верстат має систему охолодження. Стружка видаляється з зони різання, стола верстата при виключеному обладнанні. Верстатний пристрій повинен обслуговуватися оператором 3-4-го розряду. Захисний кожух не дозволить в процесі обробки розлітатися стружці та охолоджуючій рідині.

Робоча температура навколишнього середовища  $t = 20^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість повітря 80%, атмосферний тиск  $P_{\text{ат}} = 86...106\text{кПа}$ , швидкість руху повітря – 0,5 м/с, частота вібрації, виниклих в результаті роботи обладнання в цеху  $f = 20 \div 30$  Гц, освітлення приміщення (місцеве освітлення) 1500 Люкс.

## **5.5 Складання переліку виконуваних функцій**

Даний перелік функцій дозволяє попередня ознайомитись з об'ємом робіт по використанню пристосування, та зробити аналіз функцій.

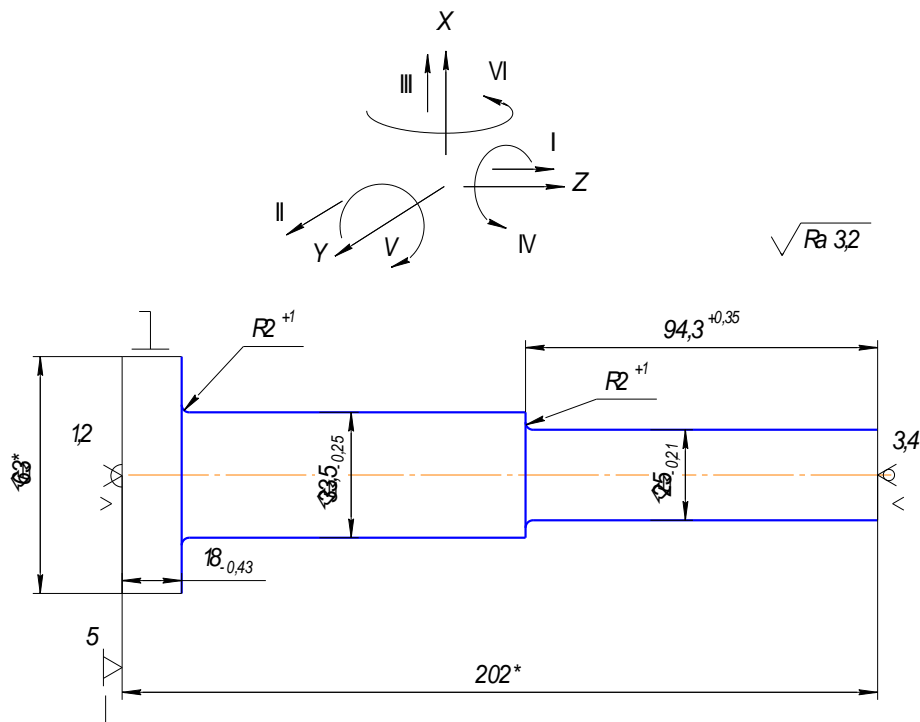
- 0 – Переміщення та попередня орієнтація пристосування.
- 1 – Базування заготовки.
- 2 – Закріплення заготовки.
- 3 – Базування пристосування на верстаті.
- 4 – Закріплення пристосування на верстаті.
- 5 – Підвід та відвід енергоносіїв.
- 6 – Утворення сили для закріплення.
- 7 – Управління енергоносійми.
- 8 – обробка заготовки.
- 9 – Досягнення безпечних умов праці.
- 10 – Об'єднання функціональних вузлів.

Виходячи з умов реалізації цих функцій та вимог до результатів їх реалізації, конструктор шукає прототипів з накопленого запасу різноманітних технічних рішень. Перевагу потрібно віддавати вже перевіреним конструкціям, та бажано в основу конструкції вкладати здешевлення. Розробка спеціальних конструкцій вузлів потребує спеціального обґрунтування.

## **5.6 Розробка та обґрунтування схеми базування**

На операції відбувається обробка під ультразвуковий контроль з наступною термічною обробкою.

Розглянемо базування заготовки в центрах, один з яких плаваючий, а другий обертовий. При даній схемі базування можна говорити про подвійно-напряму та опорну бази, заготовка полишається п'яти ступенів вільності, вакантним залишається один зв'язок – обертання навколо вісі, рисунок 5.3.



\* Розміри для довідок

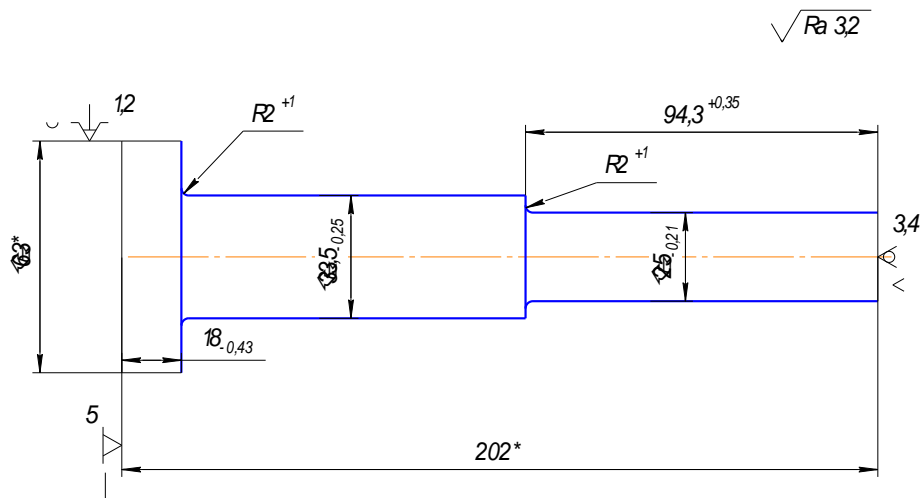
Рисунок 5.3 – Базування в патроні

При базуванні в центрах похибка базування на діаметральні розміри буде дорівнювати нулю так як відбудеться центрування  $E_6=0$ .

Похибка базування на лінійного розміру 18 мм буде дорівнювати нулю так як співпадуть вимірювальна та технологічна бази – лівий установчий торець.

Похибка базування для розміру 94,3 мм буде дорівнювати допуску на розмір 202 та складе  $E_6=T_{202}=0,3$  мм, що менше допуску на виконувани розміри,  $E_6=0,35 < T_{202}=0,3$  мм

Розглянемо базування заготовки в трьохкулачковому патроні з піджимом задньою бабкою, рисунок 5.4. По базуванню та похибкам базування дана схема абсолютно рівноцінній попередній, але перша схема задовольняє вимоги креслення в більшій мірі, так як закріплення відбувається в центрах та на чорнових та чистових операціях виконується принцип постійності баз – обробка в центрах, тому приймаємо першу схему.



\* Розміри для довідок

Рисунок 5.4 – Альтернативна схема базування в патроні  
Складаємо таблицю відповідності 5.1 та матрицю зв'язків 5.2.

Таблиця 5.1 - Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Назви баз
1, 2, 3,4	II, III, V, VI	Подвійно напрямна база
5	I	Опорна база
6	IV	Вакансія

Таблиця 5.2 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Назви баз
$l$	1	1	0	Подвійно-напрямна база
$\alpha$	1	1	0	
$l$	0	0	1	Опорна база
$\alpha$	0	0	0	
$l$	0	0	0	Вакансія
$\alpha$	0	0	1	

### 5.7 Побудова функціональної структури верстатного пристрою

З тих функцій які були представлені вище потрібно виділити ті, які будуть реалізовані саме при використанні даного верстатного пристрою, а саме: 0,1,2,5,6,7,10. Третя та четверта функції впливають на підготовчий час, дев'ята та одинадцята впливають на штучний час операції.

Складемо структуру функцій з урахуванням послідовності їх реалізації (рисунок 5.5).

Номера функцій на схемі які не мають штриха відповідають прямій функції (закріплення деталі в пристрої), ті які мають штрих відповідають зворотній функції (розкріплення).

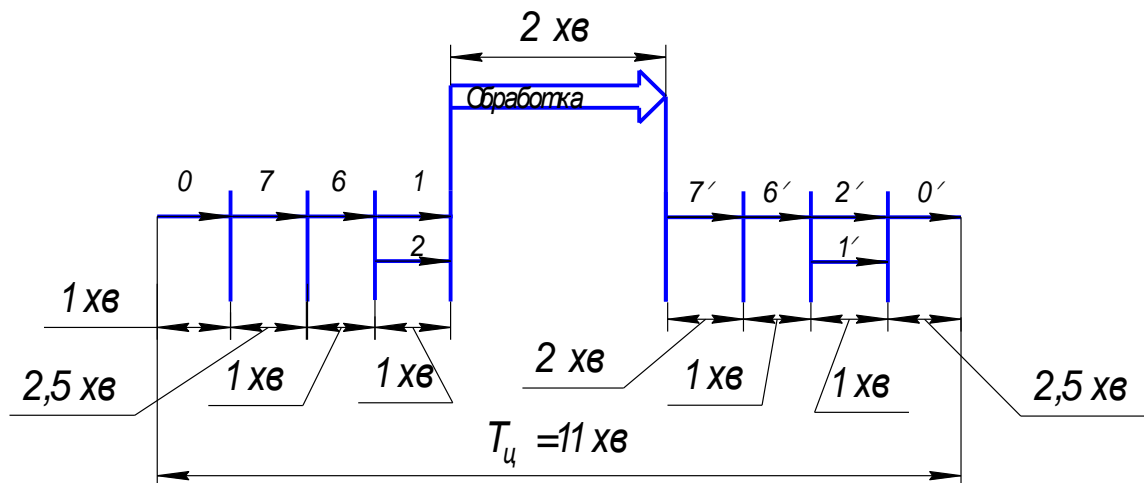


Рисунок 5.5 – Схема послідовної реалізації функції

Як зазначено вище номер функції яка не має штриха позначає пряму функцію, таку як, «закріпити», з штрихом – зворотню, таку як, «розкріпити». Через те що при послідовній структурі реалізації потоку роботи пристрою тривалість операції дуже велика побудуємо функціональну структуру яка зменшить час використання даного спеціального пристрою (рис. 5.6).

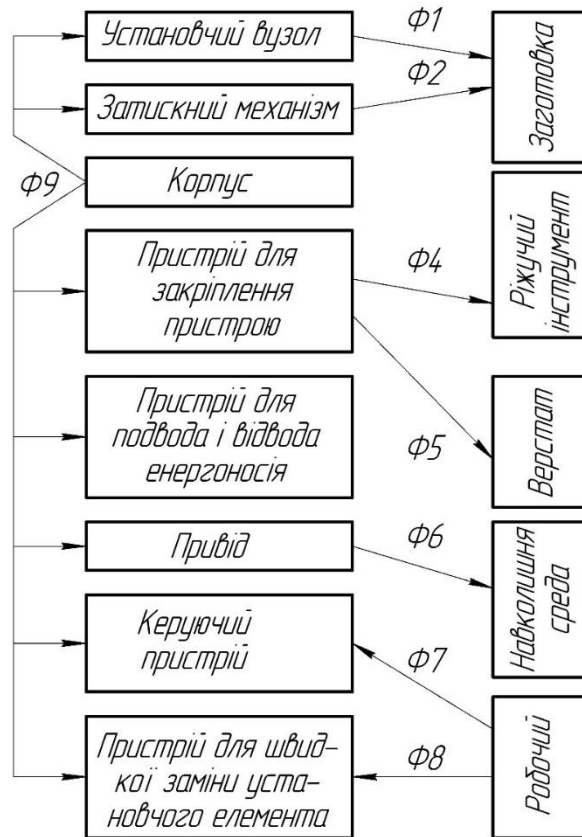


Рисунок 5.6 – Функціональна структура спеціального пристрою

## 5.8 Розробка та обґрунтування схеми закріплення

### 5.8.1 Аналіз структури полів збудюючих сил

Для знаходження поля утворюючих сил, збудуємо графічну модель даних сил, рисунок 5.7.

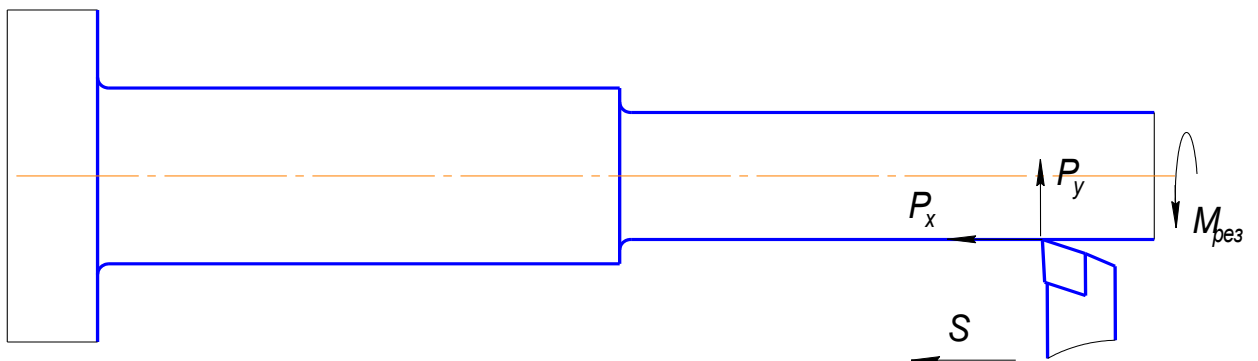


Рисунок 5.7 – Структура поля збудюючих сил

Складаємо таблицю Односторонніх зв'язків 5.3.

Таблиця 5.3 – Односторонніх зв'язків

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	$\omega_x$	$\omega_x^1$	$\omega_y$	$\omega_y^1$	$\omega_z$	
Спосіб реалізації	Реакція		R	R	R		R			R	R	R	R
	Сили закріплення		W	W	W		W			W	W	W	W
	Сили тертя	F(W)						F(W)	F(W)				

### 5.8.2 Розрахунок сил закріплення

Розрахуємо аналітичним підрізання торцю  $\varnothing 63$  мм.

Вихідні дані: оброблюваний матеріал – сталь 40X з межею міцності  $\sigma_B=785$  МПа, заготовки – прокат, обробка різцем з пластинкою Т5К10. Модель верстата 16Б16Т1, вимірювальний інструмент – штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1, ГОСТ 166-89.

Глибина різання дорівнює:

$$t = 1,5 \text{ мм},$$

Подача складатиме  $S = 0,3$  мм/об (з урахуванням поправочних коефіцієнтів)

$K_{Sd} = 0,9$  – перетин державки;

$K_{SN} = 1,0$  – міцність різальної частини;

$K_{SM} = 0,8$  – механічні властивості оброблюваного матеріалу;

$K_{SY} = 0,9$  – схема установки;

$K_{SP} = 1,0$  – стан поверхні;

$K_{S\phi} = 1,0$  – геометрія різця.

$S = S_{\text{доп}} \cdot K_{Sd} \cdot K_{SN} \cdot K_{SM} \cdot K_{SY} \cdot K_{SP} \cdot K_{S\phi} = 0,6 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,32$  мм/об, коректуємо згідно з паспортом верстата 0,3 мм/об.



Стійкість ріжучого інструменту  $T = 25$  хв.

Знаходимо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^{m_t} x^y} K_v,$$

де  $C_v = 350$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,35$ ,  $m = 0,2$  – коефіцієнти та показники в формулі швидкості різання;

$K_v$  – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, враховуючий фактичні умови різання та знаходиться за формулою:

$$K_v = K_{mv} K_{pv} K_{sv},$$

де  $K_{mv}$  – поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріала;

$K_{pv} = 1,0$  – поправочний коефіцієнт, враховуючий поверхню заготовки;

$K_{sv} = 1,0$  – поправочний коефіцієнт, враховуючий інструментальний матеріал.

Коефіцієнт  $K_{mv}$  розраховується за формулою:

$$K_{mv} = K_r (750/\sigma_B)^{n_v},$$

де  $K_r = 1,0$  – коефіцієнт, враховуючий групу сталі;

$n_v = 1,0$  – показник степені.

Тоді:

$$K_{mv} = 1,0 \cdot (750/785)^{1,0} = 0,95;$$

$$K_v = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 0,95.$$

З урахуванням показників знаходимо швидкість різання:

$$V = \frac{350}{25^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,3^{0,35}} \cdot 0,95 = 95,3 \text{ м/хв.}$$

Знаходимо частоту обертання шпинделя по формулі:

$$n_{ш} = \frac{1000V}{\pi \cdot D} ;$$

$$n = \frac{1000 \cdot 95,3}{3,14 \cdot 60} = 505,8 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо значення обертання шпинделя згідно з паспорту  $n_{пр} = 500$  об/хв.

З урахуванням прийнятого значення розраховуємо фактичну швидкість різання по формулі:

$$V_{ф} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} ;$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 500}{1000} = 94,2 \text{ м/хв.}$$

Знаходимо силу різання за формулою:

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot K_p$$

Де  $C_p = 384$ ,  $x = 0,9$ ,  $y = 0,9$ ,  $n = -0,15$  - значення коефіцієнтів та показників в формулі сили різання при точінні;

$K_p = 1$  - коефіцієнт враховуючий фактичні умови обробки,

$$P_z = 10 \cdot 384 \cdot 1,5^{0,9} \cdot 0,3^{0,9} \cdot 94,2^{-0,15} \cdot 1,0 = 946 \text{ Н.}$$

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100},$$

де  $D = 63$  мм – оброблюваний діаметр.

Тоді:

$$M_{кр} = \frac{946 \cdot 63}{2 \cdot 100} = 298 \text{ Нм.}$$

Необхідне зусилля при умові не провороту заготовки знайдемо:

$$W = \frac{1,33 K L R_{рез}}{f D}$$

Де  $W$  – сила затискання;

$D = 0,063$  м – діаметр закріплення заготовки;

$L = 0,202$  виліт заготовки;

$K = 2,7$  – коефіцієнт запасу, залежить від умов обробки.

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6,$$

де  $K_0 = 1,2$  — гарантований коефіцієнт запасу, для всіх випадків;

$K_1 = 1,2$  — коефіцієнт залежний від поверхні (оброблена не оброблена);

$K_2 = 1,1$  — коефіцієнт враховуючий збільшення сил різання при зносі різального інструменту;

$K_3 = 1$  — коефіцієнт враховуючий сили різання при обробці поверхонь які мають вікна;

$K_4 = 1,4$  — коефіцієнт враховуючий постійність сил різання (від приводу);

$K_5 = 1,2$  — коефіцієнт враховуючий сили які намагаються повернути заготовку;

$K_6 = 1$  — коефіцієнт враховуючий ергономіку пристрою[4];

тоді,  $K = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1 = 2,66$ , приймаємо 2,7;

$f_1 = 0,2$  — коефіцієнт тертя між заготовкою та установчою поверхнею;

Знайдемо силу, яку необхідно прикласти до заготовки:

$$W = \frac{1,33 \cdot 2,7 \cdot 0,202 \cdot 946}{0,063 \cdot 0,2} = 5446 \text{ Н.}$$

Так як в конструкції патрона є три кулака та коромисло плечі якого складають  $100/50=2$  то силу закріплення на штоці необхідно зменшити в  $2 \cdot 3=6$  разів з урахуванням ККД патрона (сили тертя механізму переміщення

кулачків,  $\eta=0,9$ ), тобто  $\frac{5446}{2 \cdot 3 \cdot 0,9} = 1008 \text{ Н.}$

### 5.8.3 Розрахунок на міцність

Розрахуємо на міцність при розтягуванні болт пристосування. Матеріал штоку – сталь 40. Для того, щоб при загрузці різь штоку не зірвалась, необхідно щоб виконувались наступні умови:

$$\sigma_p \leq [\sigma]_p,$$

$$[\sigma]_p = 0,6 \cdot \sigma_T,$$

де  $\sigma_T = 300$  МПа – границя текучості сталі 40;

$$[\sigma]_p = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ (МПа)};$$

$$\sigma_\delta = \frac{4F}{\pi d^2},$$

де  $d = 16$  мм – діаметр штока;

$F$  – максимальна осьова сила, яка діє на розтягування штоку, Н.

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot 270}{3,14 \cdot 16^2} = 1,3 \text{ МПа}$$

Умова виконується ( $1,3 \text{ МПа} < 180 \text{ МПа}$ ), тобто різь штока може витримувати дане зусилля.

### 5.9 Обґрунтування вибору привода

Для розкріплення достатньо ходу штока 15-20 мм, у зв'язку з чим раціонально примінити тарільчату резино-тканинову пневмокамеру дво сторонньої дії, діаметр діафрагми розраховується за формулою:

$$Q = \frac{0,75\pi}{16} [(D+d)^2 + d_1^2] p,$$

Звідки:

$$D + d = \sqrt{\frac{16Q}{0.75\pi p} - d_1^2}$$

де  $Q = 1008 \text{ Н}$  – вихідне зусилля пневмокамери;

$d = 1,8 \text{ см}$  – діаметр штока

$p = 0,4 \text{ МПа}$  – тиск повітря в системі.

$$D + d = \sqrt{\frac{16 \cdot 1008}{0.75 \cdot 3.14 \cdot 0.4}} + 1,8^2 = 130 \text{ см,}$$

Приймаємо  $D = 125 \text{ мм}$ ,  $d = 80 \text{ мм}$ , тоді дійсне зусилля на штоці буде дорівнювати:

$$Q = \frac{0.75 \cdot 3.14 \cdot 0.4}{16} (125 + 80)^2 = 2474 \text{ м.}$$

Приймаємо  $Q = 2400 \text{ Н}$ .

### 5.10 Розрахунок точності пристрою

Від точності пристосування, безпосередньо биття його установчих поверхонь, буде залежати отримання необхідної точності оброблюваних поверхонь, розглянемо допуск радіального биття, котрий складає  $100 \text{ мкм}$  (знайдений раніше):

$$E_{\text{пр}} \leq T - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot E_6)^2 + E_3^2 + E_y^2 + E_{\Pi}^2 + E_{\text{ис}}^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + E_{\text{поз}}^2},$$

де  $K_T = 1,2$  – коефіцієнт, враховуючий можливий відступ від нормального

розподілення окремих показників;

$K_{T1} = 0,80$  - коефіцієнт, враховуючий можливий відступ від нормального розподілення допусків базових поверхонь;

$E_6 = 0$  мкм – похибка базування, знайдена раніше в пункті 6;

$E_3 = 0$  мкм – похибка закріплення, в центрах [3. с.162];

$E_y = 0$  мкм – похибка установки пристрою на верстаті, токарний патрон базується по конічній поверхні [3. с.162];

$E_{II} = 0$  мкм – похибка перекосу інструмента [3. с.162];

$E_{II} = 2$  мкм – похибка виникаюча внаслідок зносу установчих поверхонь:

$$E_{II} = \beta \cdot N = 0,002 \cdot 2000 = 4 \text{ мкм};$$

$K_{T2} = 0,6$  – коефіцієнт враховуючий ймовірність з'явлення похибки обробки [3. с.162];

$\omega = 60$  мкм – середня економічна точність обробки [6, с. 150];

$E_{П03} = 0$  мкм - похибка позиціонування інструмента [3. с.162].

Тоді похибка пристосування складе:

$$E_{np} = 100 - 1,2\sqrt{(0 \cdot 0,8)^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 2^2 + (0,6 \cdot 60)^2 + 0^2} = 56 \text{ мкм}.$$

З урахуванням отриманих даних приймаємо допуск биття установчих поверхонь патрону  $T = 0,03$  мм. Похибка в даному діапазоні виникає як наслідок окремих похибок елементів пристрою.

### **5.11 Опис пристрою та принцип його роботи**

Патрон установлюється на шпинделі токарного верстата, базуючись по конічній поверхні та закріплюється за допомогою болтів 18.

Патрон має кулачки 4, які закріплені за допомогою гвинтів 18.

Заготовку-вал установлюють в центр 25 та піджимають заднім центром до упору в торець патрона (втулку 13). Закріплення заготовки відбувається подачею робочого повітря в праву порожнину пневмокамери через пневморозподільник 3, при цьому шток 12 рухається вліво разом зі муфтою 5, а зусилля передається через складові патрона (муфта 5 передає на ричаги 7 патрона, котрі рухають кулаки 4) до контакту з заготовкою, її затисненням. Після закріплення оброблюється заготовка.

Для розкріплення заготовки скидається повітря та подається в протилежну порожнину пневмокамери, відбувається розкріплення заготовки та її заміна на наступну.

Пристосування зберігати в дерев'яній тарі законсервованим, попадання вологи не допустиме.

### **5.12 Висновки за п'ятим розділом**

В даному розділі був розроблений верстатний пристрій, а саме трикулачковий патрон з пневмозажимом для верстата моделі 1341. Даний верстатний пристрій дозволяє закріплювати деталі більш швидко ніж звичайний патрон.



## РОЗДІЛ 6

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ПРИСТРОЮ СПЕЦІАЛЬНОГО

#### 6.1 Створення 3-D моделі пристрою спеціального

3-D модель була побудована на основі даних, отриманих з технічних характеристик верстата. Побудова 3-D моделі була проведена з максимальною можливою деталізацією. Модель показана на рисунках 6.1 та 6.2

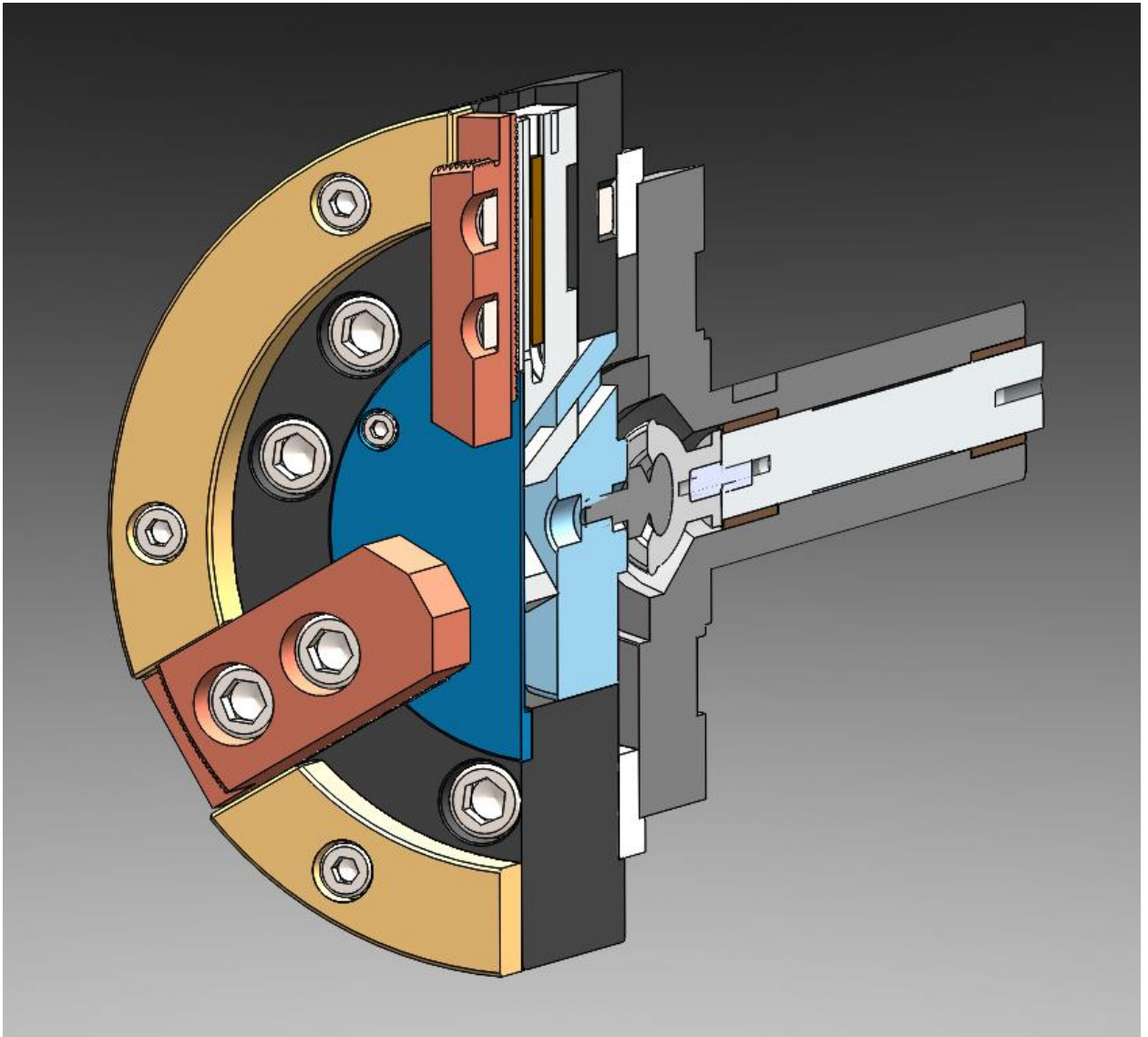


Рисунок 6.1 – 3-D модель пристрою спеціального в розрізі

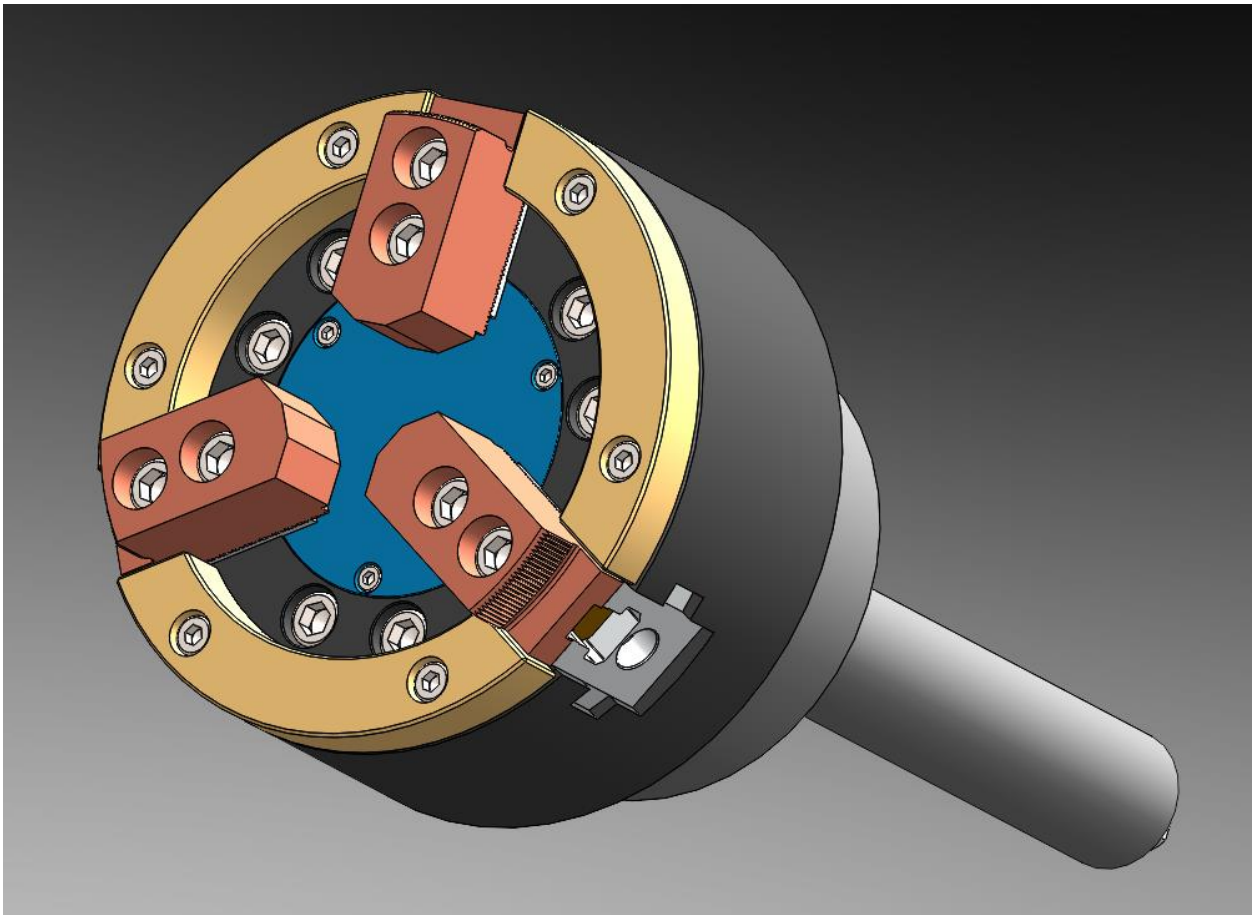


Рисунок 6.2 – 3-D модель пристрою спеціального

Для розрахунку жорсткості даного пристрою дану модель потрібно максимально спростити. Таке рішення прийнято для того щоб збільшити швидкість розрахунку та зробити розрахунок більш простим. Були видалені всі гвинти, заокруглення, отвори кріплення, майже всі складні форми, що не використовуються для закріплення елементів конструкції пристрою. Були залишені всі деталі які значно впливають на жорсткість конструкції.

3-D модель спрощеної версії пристрою спеціального показана на рисунку 6.3.

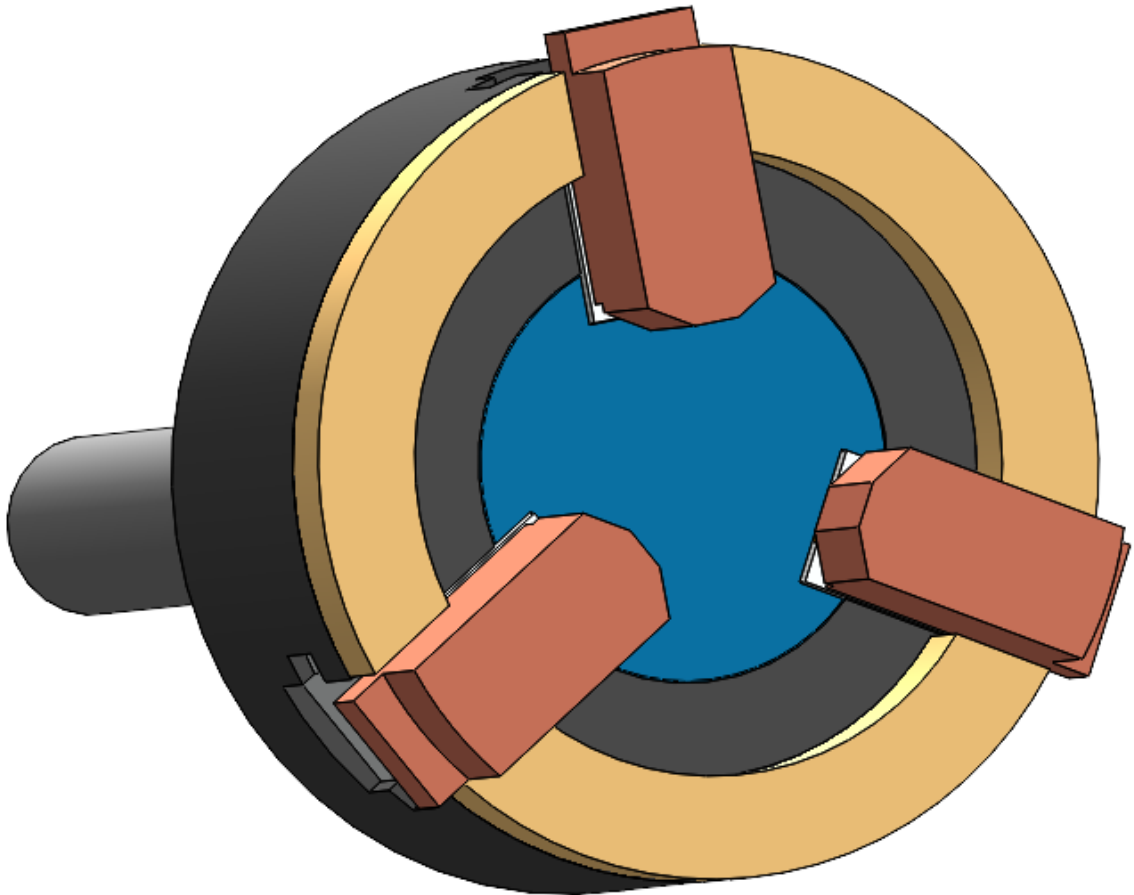


Рисунок 6.3 – Спрощена 3-D модель пристрою спеціального

## 6.2 Схема навантаження

Для розрахунку даного пристрою на жорсткість потрібно обрати оброблювану деталь, та визначити силу різання при обробці цієї деталі.

Для розрахунку обираємо деталь фланець шпинделя верстата 1П611. Оброблювана деталь показана на рисунку 6.4.

Так як найбільша сила різання буде виникати при чорновій обробці то обираємо таку операцію обробки деталі як чорнова обробка зовнішнього діаметру. Заготівка яка буде оброблюватись на операції показана на рисунку 6.5

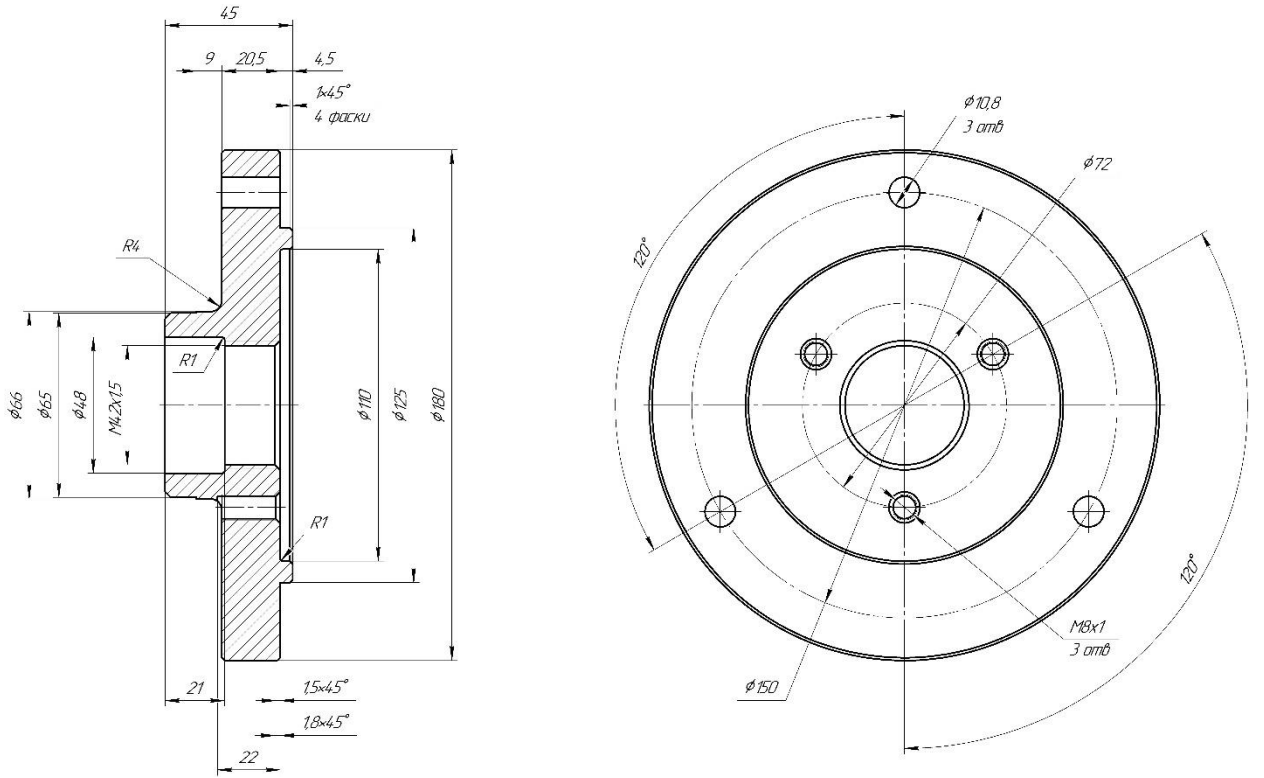


Рисунок 6.3 – Креслення фланця шпинделя верстата 1П611

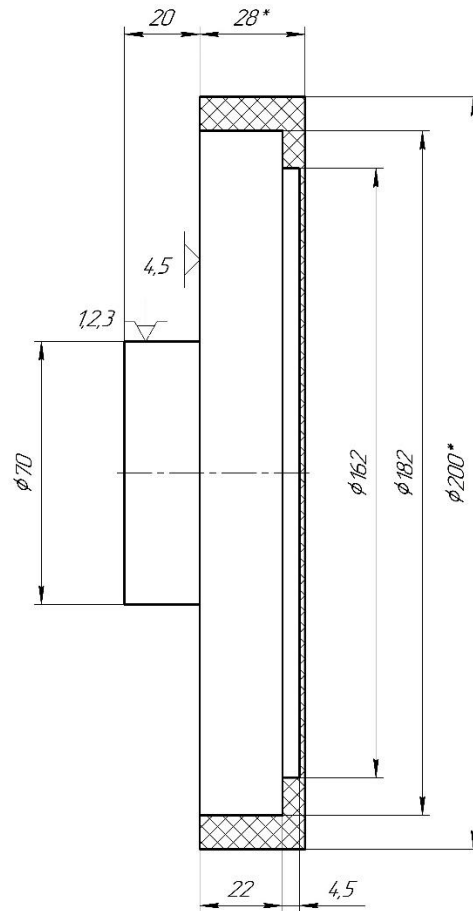


Рисунок 6.4 – Ескіз обробленої деталі

Для визначення головної складової сили різання розрахуємо швидкість різання [7]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \times t^x \times S^y} \times k_v,$$

де  $T$  – період стійкості, хв;

$t$  – глибина різання, мм;

$S$  – подача мм/об;

$k_v$  – загальний поправочний коефіцієнт;

$C_v$  – поправочний коефіцієнт;

$m, x, y$  – показники ступеня.

Обираємо різець 2100-0410 Т15К6 ГОСТ 18878- 73. Державка даного різця має розміри в розрізі 25х25 мм. Так як точіння чорнове то глибина  $t$  для дорівнює 2 мм. Рекомендована подача для чорнового точіння деталі із чавуну дорівнює 0,8 мм/об. Період стійкості  $T$  приймаємо рівним 60 хв.

Значення коефіцієнта  $C_v$  і показників ступеня визначаємо табличним методом. Для зовнішнього точіння з пластиною з твердого сплаву Т15К6 обираємо такі показники:

$$C_v = 340; m = 0,15; x = 0,45; y = 0,2.$$

Загальний поправочний коефіцієнт розраховується за формулою [7]:

$$K_v = K_\mu \times K_\Pi \times K_{\text{И}},$$

де  $K_\mu$  – коефіцієнт який враховує якість оброблюваного матеріалу;

$K_\Pi$  – коефіцієнт який враховує стан поверхні заготовки;

$K_{\text{И}}$  – коефіцієнт який враховує матеріал інструменту.

Всі коефіцієнти визначаємо табличним методом:  $K_{\mu} = 0,58$ ;  $K_{\Pi} = 0,9$ ;  $K_{\text{И}} = 1$ .

$$K_v = 0,58 \times 0,9 \times 1 = 0,522 .$$

Швидкість різання дорівнює:

$$V = \frac{340}{60^{0,15} \times 2^{0,45} \times 0,8^{0,2}} \times 0,522 = 73,51 \text{ (м/хв)}.$$

При чорновому продольному точінні найбільшою складовою сили різання являється тангенціальна складова сили різання. Розрахуємо головну складову сили різання за формулою[7]:

$$P_z = 10 \times C_p \times t^x \times S^y \times v^n \times k_p ,$$

де  $t$  – глибина різання, мм;

$S$  – подача мм/об;

$v$  – швидкість різання, м/хв;

$k_p$  – загальний поправочний коефіцієнт;

$C_p$  – поправочний коефіцієнт;

$x, y, n$ , – показники ступеня.

Значення коефіцієнта  $C_p$  та показників ступенів  $x, y, n$  знаходимо з таблиці:  $C_p = 92$ ;  $x = 1$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = 0$ ;  $k_p = 1,18$ .

$$P_z = 10 \times 92 \times 2^1 \times 0,8^{0,75} \times 73,51^0 \times 1,18 = 1800 \text{ (Н)}.$$

### 6.3 Завдання взаємозв'язків між деталями та прикладення обмежень, прикладення сил

Для отримання адекватних результатів розрахунку потрібно прикласти до моделі обмеження в просторі та створити взаємозв'язки між окремими деталями пристрою.

В даній збірці не всі деталі закріплені між собою жорстко, тому залишаємо глобальний контакт, який був створений середовищем Solidworks автоматично та вказуємо другі типи з'єднання для таких деталей як: поршень, кулачки основні. Так як ці деталі являються рухомими та мають прямий контакт між собою то застосовуємо між ними такий тип з'єднання який не закріпить їх жорстко але задасть правило при якому вони залишаться рухомими між собою але зв'язані суміжними поверхнями. Це показано на рисунку 6.5. Такий самий тип закріплення застосовуємо між корпусом патрона та поршнем (рисунок 6.6).

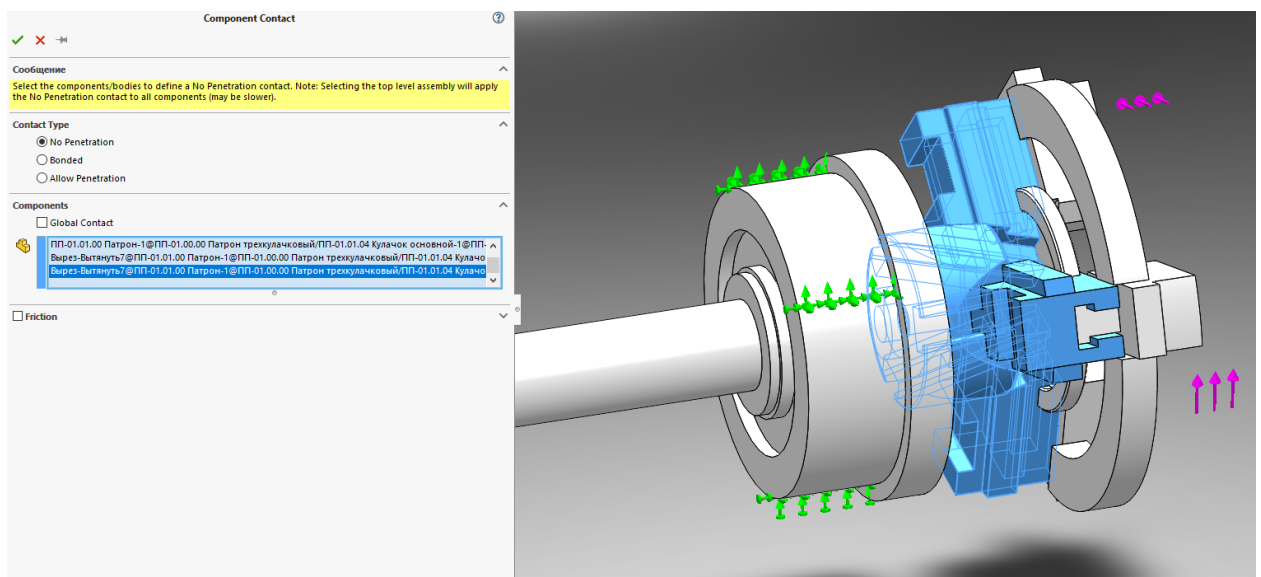


Рисунок 6.5 – Приклад застосування не фіксованої геометрії між поршнем та кулачками

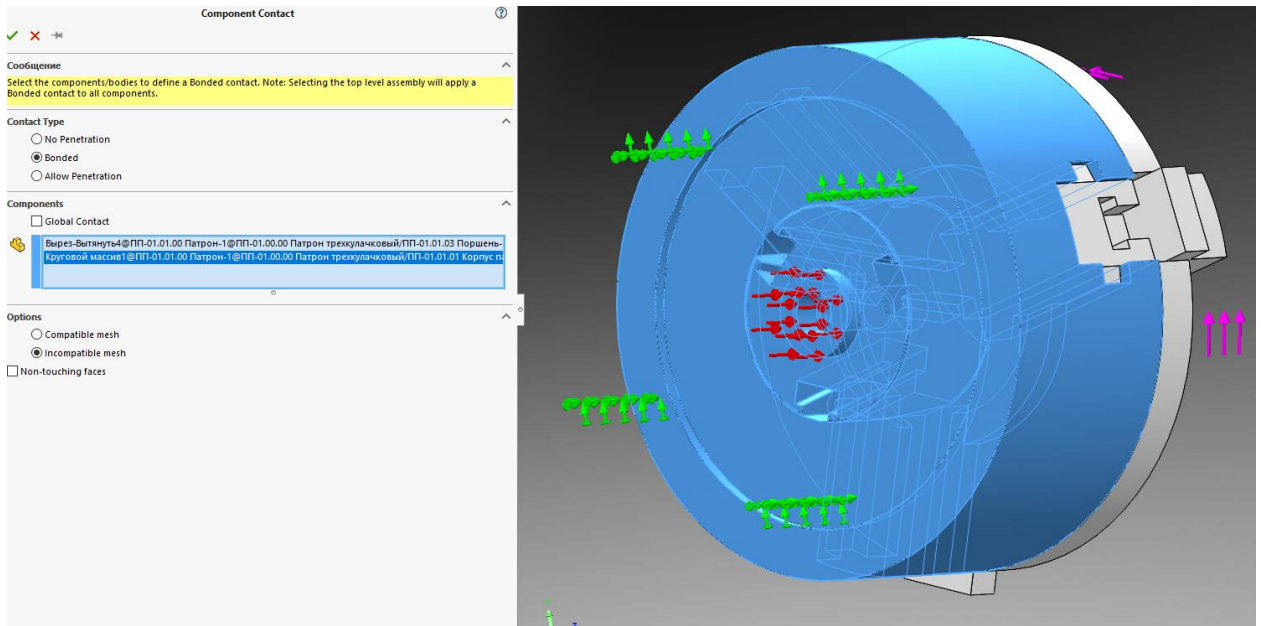


Рисунок 6.6 – Приклад застосування не фіксованої геометрії між поршнем та корпусом потрона

Для повної обмеження всієї збірки в просторі потрібно визначити яка деталь зафіксована жорстко по відношенню до верстата. Такою деталлю являється вал приводу. До даної деталі приміняємо інструмент “Зафіксована геометрія”. Ступені свободи, що обмежуються(три переміщення та три обертання) отримують значення «0». Дана операція показана на рисунку 6.7.

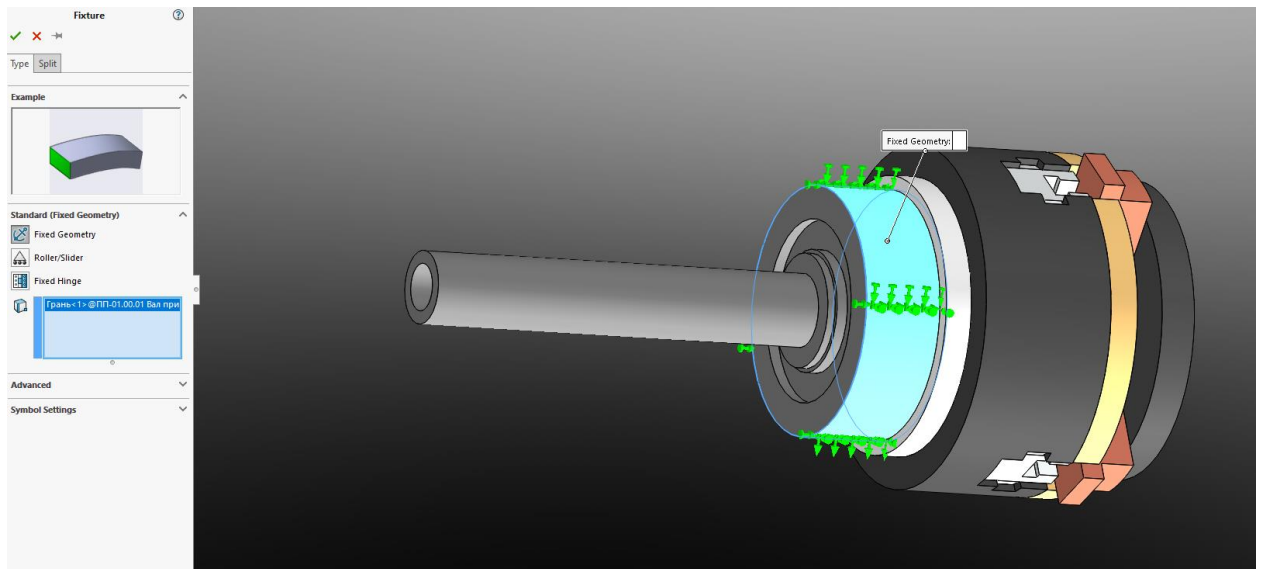


Рисунок 6.7 – Приклад застосування фіксованої геометрії



### 6.3 Прикладення сил

Сила різання прикладається до оброблюваної деталі. Так як в попередньому пункті ми перевели головну складову сили різання в крутний момент то прикладемо його до циліндричної поверхні деталі яка оброблюється за допомогою спеціальної команди. На рисунку 6.8 зображено прикладення крутного моменту до поверхні.

Для прикладення даної сили переведемо отримане значення тангенціальної складової сили різання в крутний момент:

$$M_{кр} = P_z \times D = 1800 \times 0,18 = 324 \text{ (Н/м)}.$$

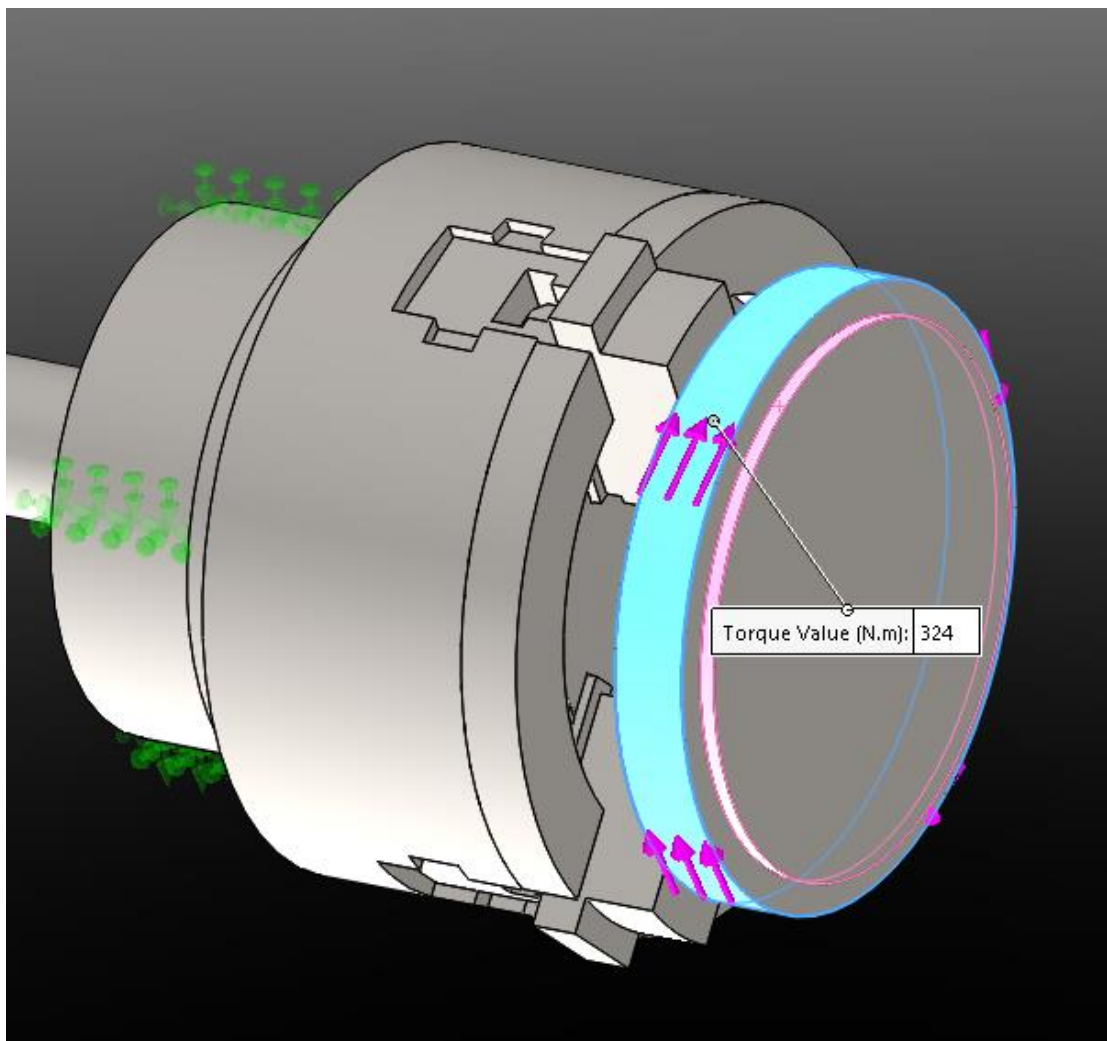


Рисунок 6.8 – Прикладення крутного моменту до поверхні деталі

Також зрозуміло, що поршень в даній конструкції не являється жорстко закріпленою деталлю. Через нього на кулачки а потім і на деталь подається тиск. Для даного патрону сила затиску дорівнює 0,63МПа. Прикладемо за допомогою інструменту «Тиск» зусилля до торцю штока. Це показано на рисунку 6.9.

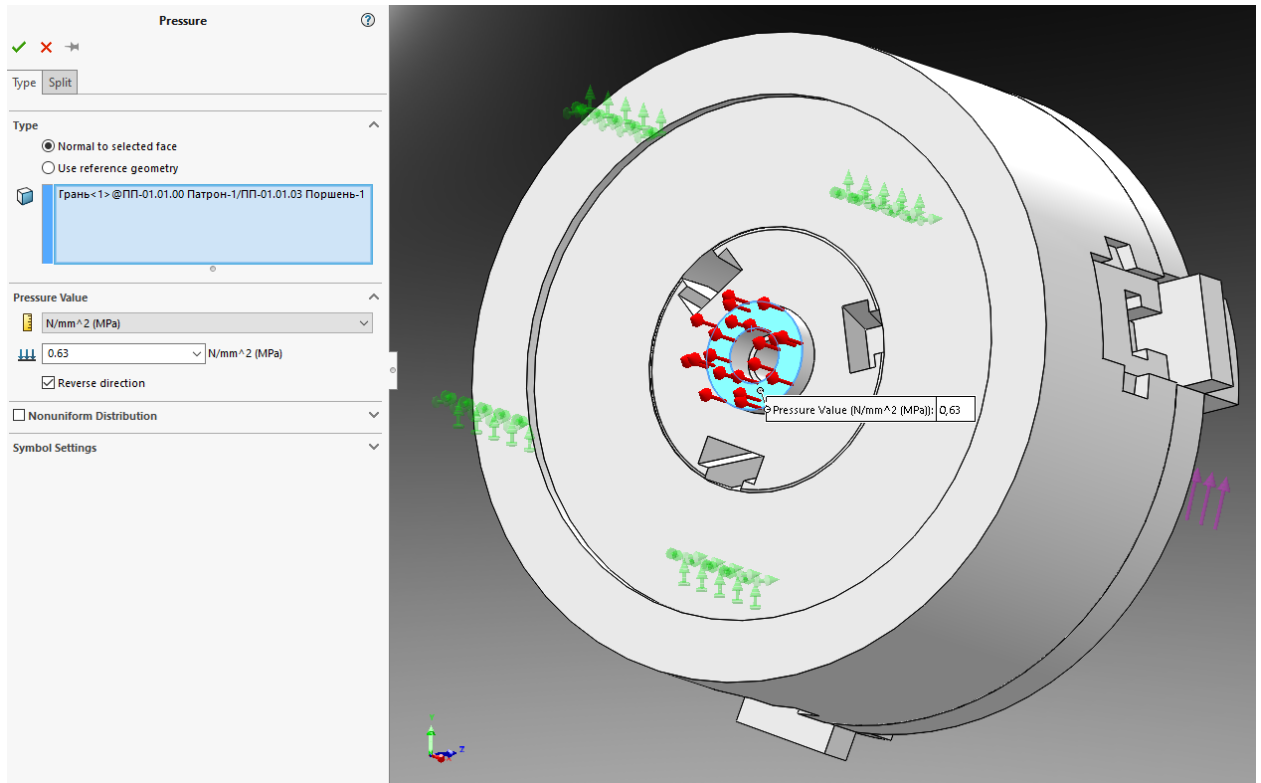


Рисунок 6.9 – Прикладення тиску до поверхні штока

## 6.5 Призначення матеріалів до елементів збірки

Відомо, що токарні патрони виготовляють із сірого чавуна маркою не менше СЧ 30. Матеріалом даного патрона являється сірий чавун марки СЧ 35. Такого матеріалу немає в базі матеріалів Solidworks. Тому створимо його та задамо всі потрібні параметри для даного матеріалу (рисунок 6.10). Матеріал заготовки також СЧ 35.

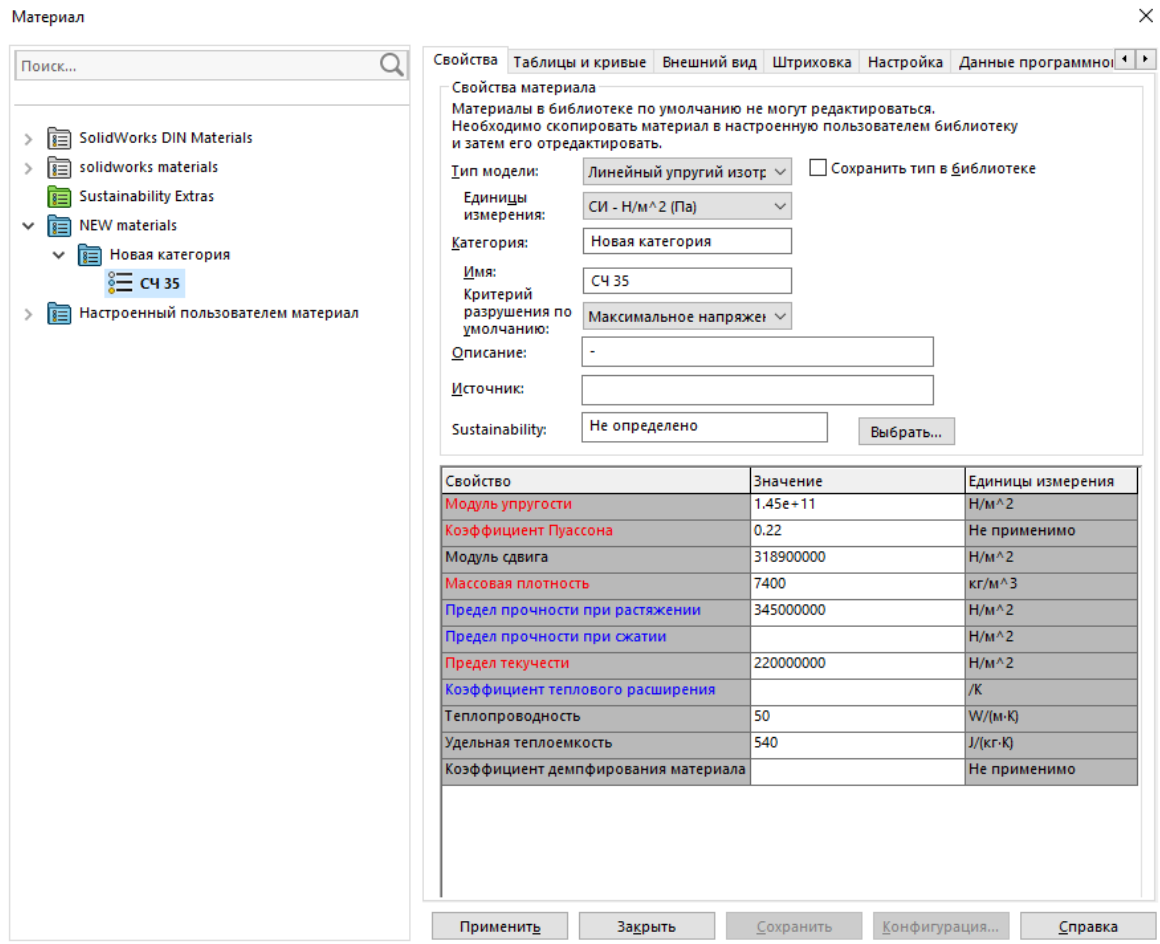


Рисунок 6.10 – Створений матеріал для деталей збірки та заготівки

## 6.6 Побудова скінченно-елементної сітки

Для розрахунку побудованої 3-D моделі на жорсткість потрібно побудувати скінченно-елементну сітку. Стандартна сітка складається із дуже дрібних елементів, в нашому випадку це не підходить, так як в збірці присутні деталі малого розміру. Тому для отримання найбільш вірного результату було прийнято рішення максимально зменшити елемент сітки по розміру. Розмір елемента впливає на швидкість розрахунку та його точність. Чим менше елемент тим більша точність розрахунку та більший час розрахунку.

На рисунку 6.11 показана модель із побудованою скінченно-елементною сіткою, на рисунку 6.12 показані всі характеристики побудованої сітки.

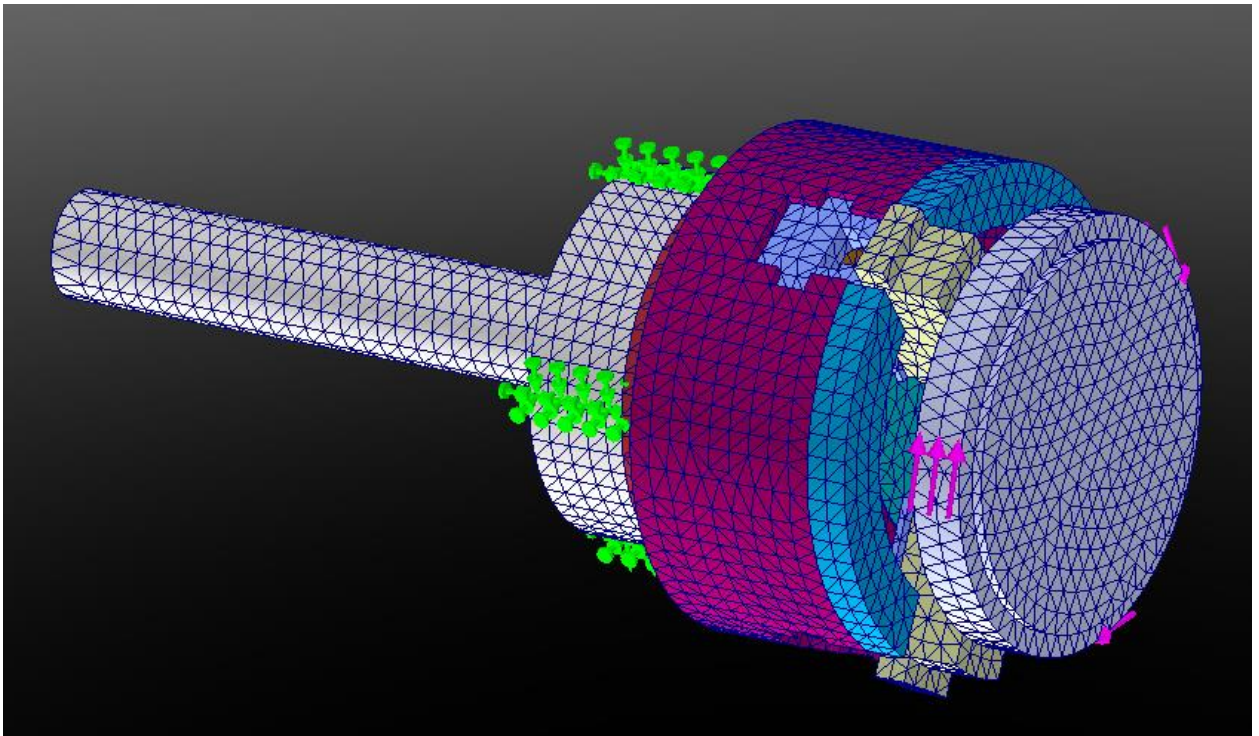


Рисунок 6.11 – 3-D модель з побудованою скінченно-елементною сіткою

Study name	Static 2 (-00-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points for High quality mesh	16 points
Element size	9,11426 mm
Tolerance	0,455713 mm
Mesh quality	High
Total nodes	91293
Total elements	55122
Maximum Aspect Ratio	15,979
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	97,1
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0,158
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:06
Computer name	

Рисунок 6.12 – Характеристики скінченно-елементної сітки

## 6.7 Результати дослідження жорсткості

При статичному аналізі було виявлено що найбільші переміщення при прикладеному крутному моменту виникають в кулачках. Найбільші переміщення на кулачках знаходяться на найбільш віддалених від центру точках. Найбільші переміщення досягають 0,0174 мм. На рисунках 6.13 та 6.14 показані діаграми переміщень при статичному аналізі. В корпусі патрона переміщення майже не спостерігаються.

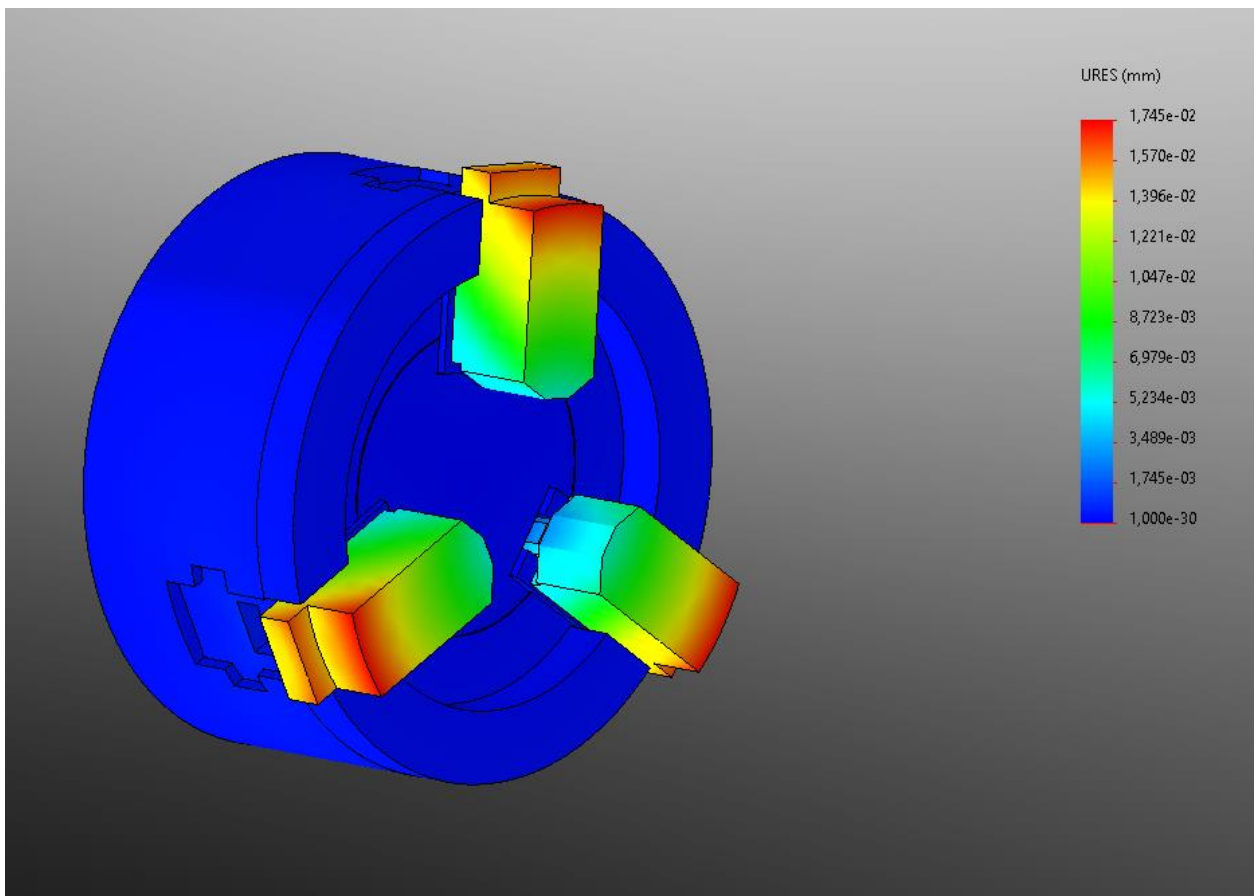


Рисунок 6.13 – Діаграма переміщень при статичному аналізі трикулачкового патрону

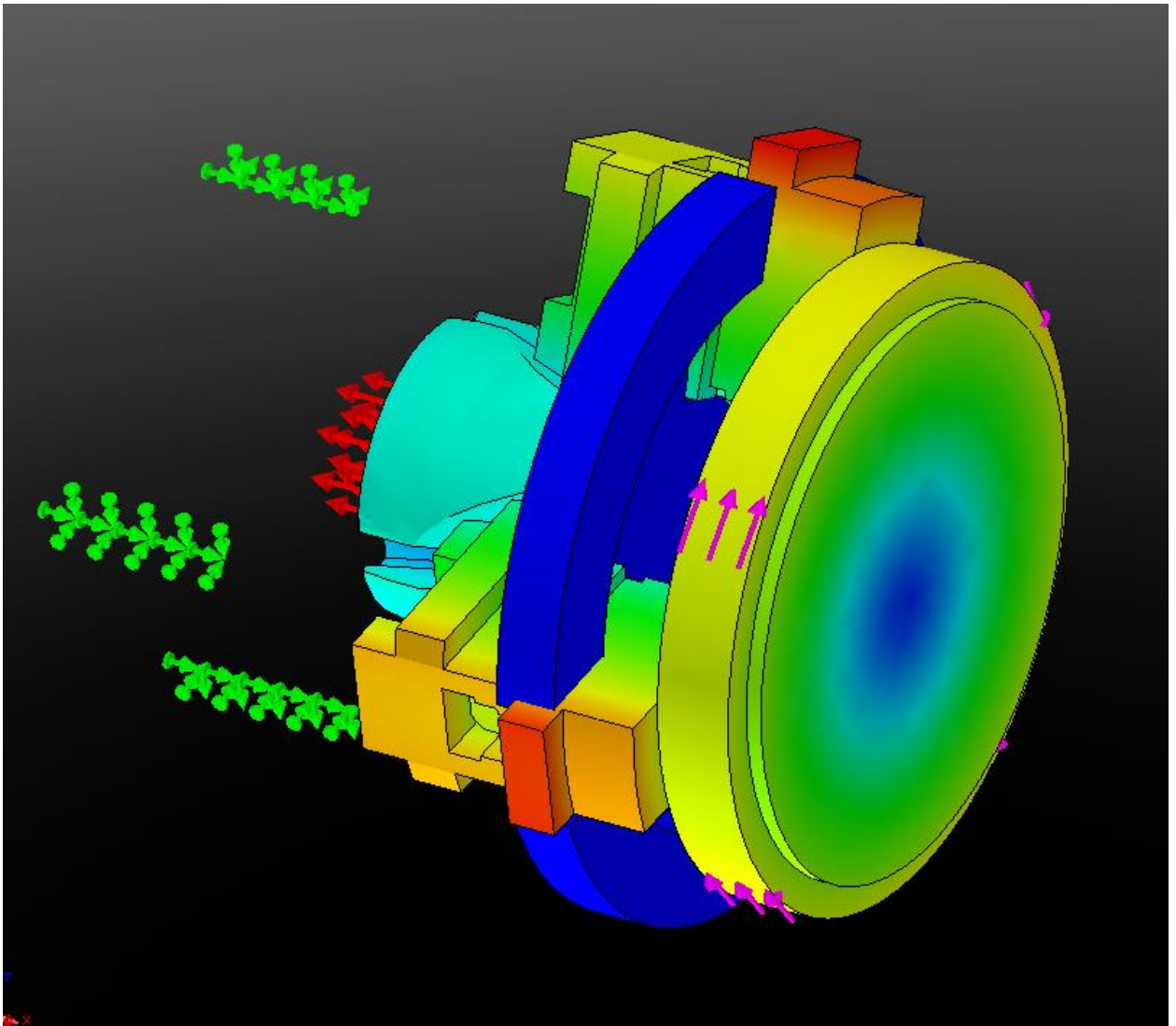


Рисунок 6.14 – Діаграма переміщень при статичному аналізі трикулачкового патрону

### 6.8 Висновки за шостим розділом

В даному розділі був проведений статичний аналіз пристрою спеціального. При прикладеному моменті в 324 Н/м найбільша деформація спостерігається в накладних кулачках. Найбільші переміщення досягають 0,0174 мм.

## РОЗДІЛ 7

### МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЮ СПЕЦІАЛЬНОГО

#### 7.1 Проведення розрахунку

Розрахунок був проведений з моделлю яка була створена в розділі 6. До моделі був прикладений глобальний контакт. До корпусу патрона був прикладений інструмент «Фіксована геометрія».

При проведенні розрахунку були виявлені такі власні частоти коливань:

1-й мод – 2664,9 Гц;

2-й мод – 2668,5 Гц;

3-й мод – 2678,2 Гц;

4-й мод – 3766,4 Гц;

5-й мод – 3791,8 Гц.

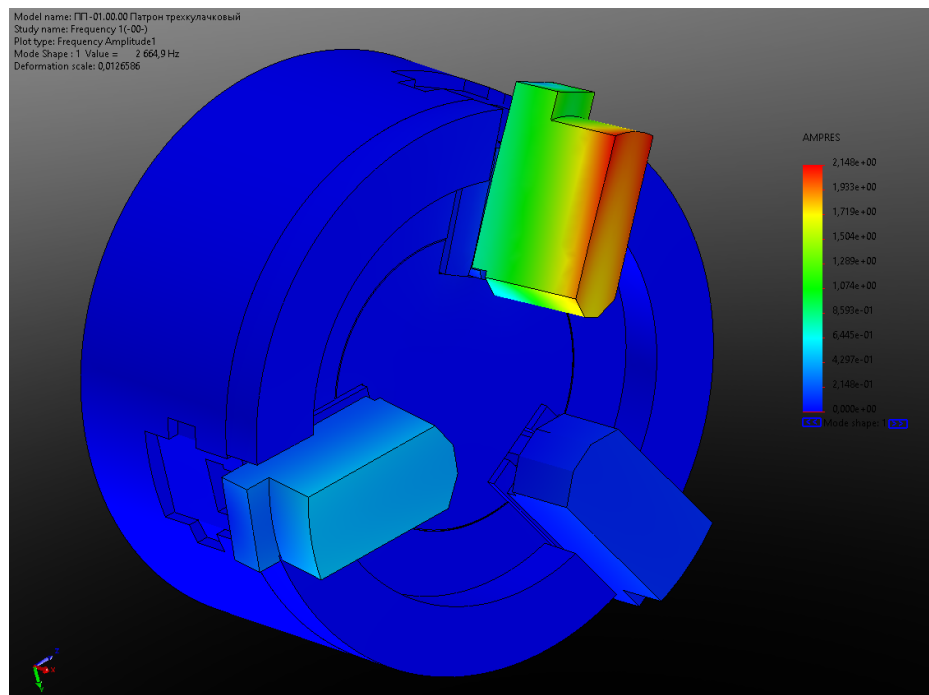


Рисунок 6.15 - Результат розрахунку власних частот коливань першої форми.

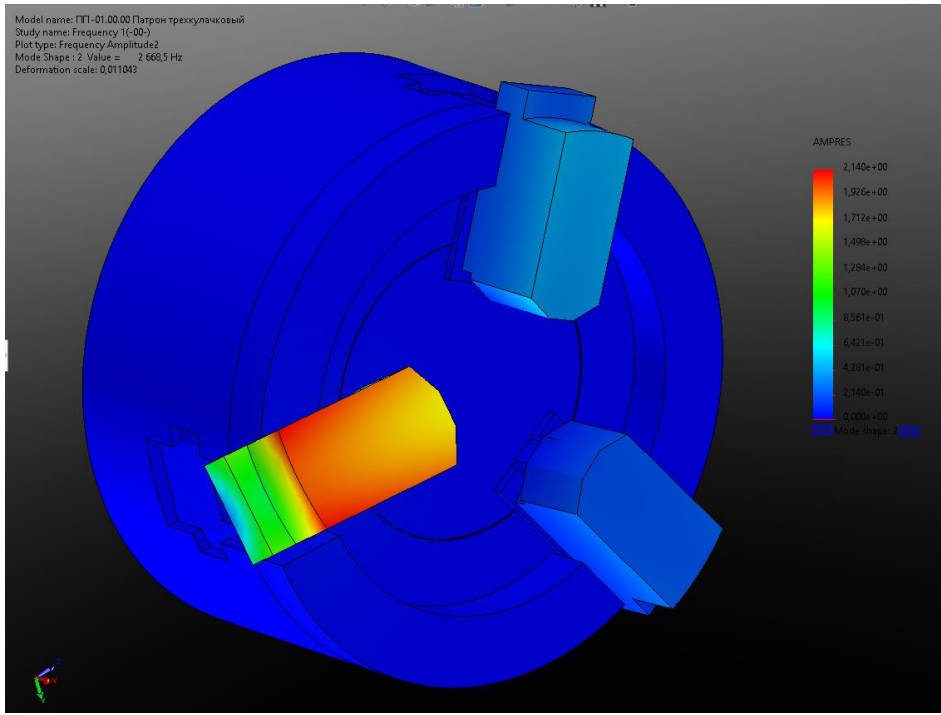


Рисунок 6.16 - Результат розрахунку власних частот коливань другої форми.

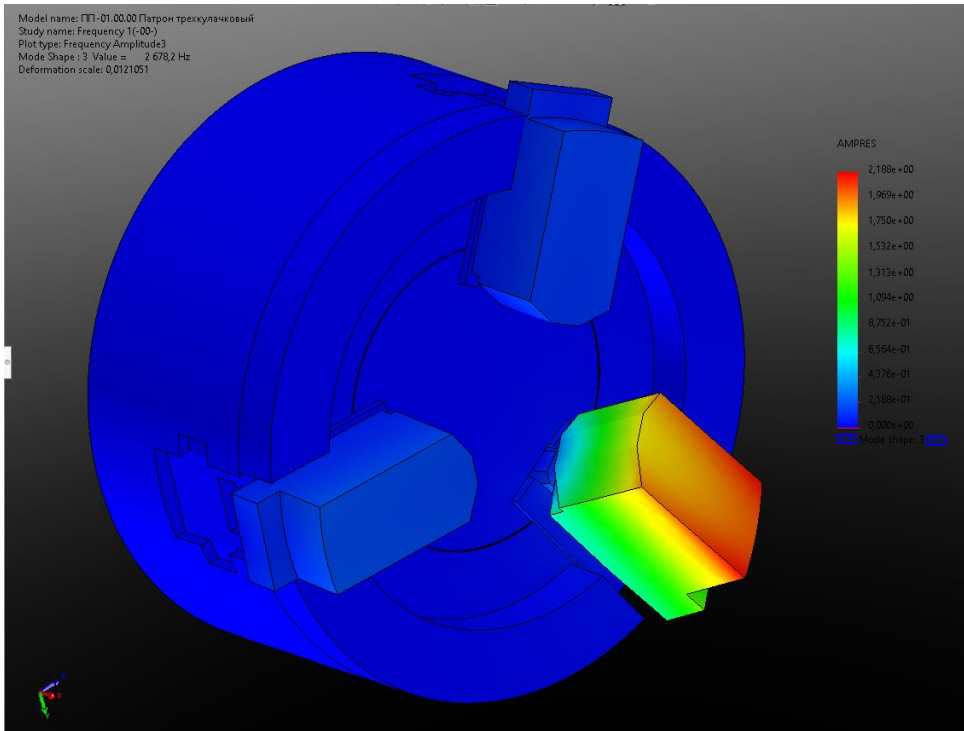


Рисунок 6.17 - Результат розрахунку власних частот коливань третьої форми.



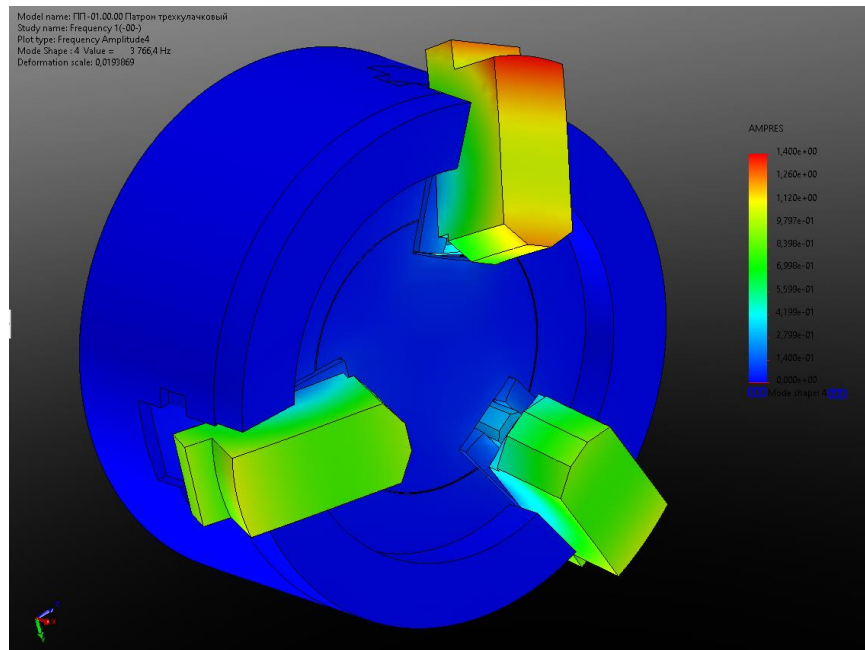


Рисунок 6.18 - Результат розрахунку власних частот коливань четвертої форми.

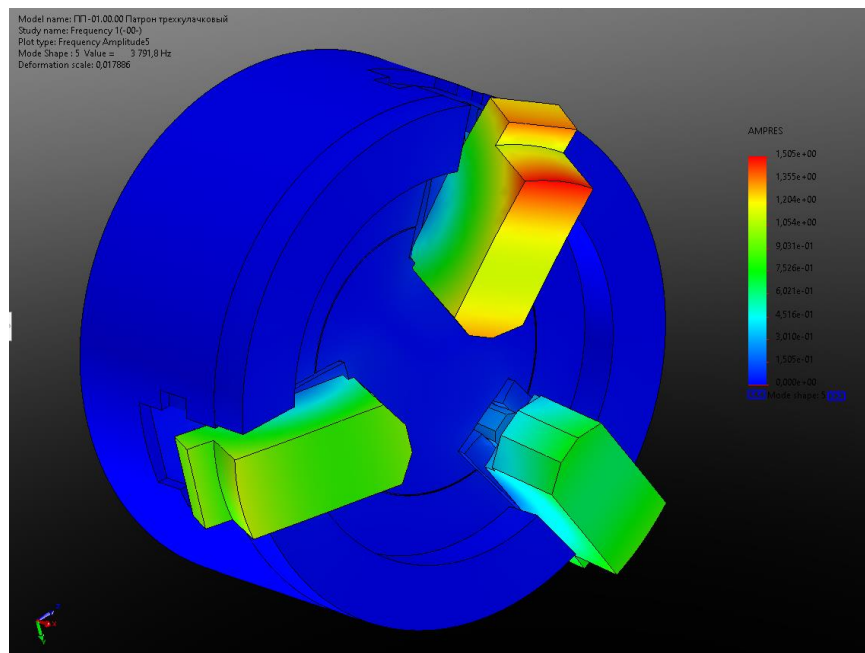


Рисунок 6.19 - Результат розрахунку власних частот коливань п'ятої форми.

## 6.8 Висновки за шостим розділом

В розділі був проведений модальний аналіз пристрою спеціального. Виявлені такі власні частоти коливань: 1-й мод – 2664,9 Гц; 2-й мод – 2668,5 Гц; 3-й мод – 2678,2 Гц; 4-й мод – 3766,4 Гц; 5-й мод – 3791,8 Гц.

## ВИСНОВКИ

За результатами виконання комплексної роботи магістра було проведено:

конструювання головного приводу верстата 1341;

написання технологічного процесу для шпинделя токарного верстата;

конструювання пристрою спеціального для верстата 1341.

розрахунок пристрою спеціального на деформації під дією крутного моменту;

розрахунок пристрою спеціального на виявлення власних частот коливань.

За результатами проведення статичного аналізу пристрою спеціального було виявлено, що найбільші переміщення відбуваються в накладних кулачках патрону і дорівнюють 0,0174 мм. Дані переміщення знаходяться в допустимих нормах для таких пристроїв.

**ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ**

1. Бушуев, В. В. Практика конструирования машин : справочник / В. В. Бушуев. – М. : Машиностроение, 2006. – 448 с.
2. Проников, А. С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. Т. 1. Проектирование станков / А. С. Проников и др. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1994. – 356 с.
3. Пуш В. Э. Конструирование металлорежущих станков / В. Э. Пуш. – М. : Машиностроение, 1977. – 390 с.
4. Кузьмин А. В. и др. Расчеты деталей машин : справ. пос. / А. В. Кузьмин и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск : Вышш. шк., 1986. – 400 с.
5. Кочергин А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование : учеб. пос. / А. И. Кочергин. – Минск : Вышэйшая школа, 1991. – 382 с.
6. Справочник технолога – машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. М. Дальского и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 944 с.
7. Орликов М. Л. Металлорежущие станки. Курсовое и дипломное проектирование : учеб. пос. / М. Л. Орликов. – К. : Вища школа, 1987. – 152 с.
8. Станок 1341. Руководство по эксплуатации.
9. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи « Кінематичний розрахунок привода металорізальних верстатів » /Укладач М.М.Коротун. – Суми: Вид – во СумДУ, 2009. – 23 с.
10. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з теми «Проектування та розрахунки привода верстатів» / укладачі: М.М. Коротун, О.В. Івченко – Суми :Сумський державний університет, 2013. – 35 с

11. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений / В.С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.
12. Проектирование станочных приспособлений: Учебное пособие для учащихся техникумов. – 3-е издание., перераб. и доп.– М.: Высш. Школа, 1980. – 240 с.
13. Гжиров Р. И. Краткий справочник конструктора: Справочник – Л.: Машиностроение, Ленингр. 1983. – 464 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
15. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машностроения – Мн.: Выш. Школа, 1983. – 256 с.
16. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
17. Методические указания к выполнению контрольной работы по проектированию станочных приспособлений, Г. С. Чумаков - Сумы, СумГУ, 1997 – 34с.
18. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка”/Укладач П.В. Кушніров. – Суми: Вид-во Сум ДУ, 2009. – Ч.1. – 52с.
19. Сторож Б.Д., Карпик Р.Т., Гордєєв А.І. Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ; Хмельницький: ХНУ, 2004. – 230 с.
20. Пашкевич М.Ф., Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Пашкевич В.М. Технологическая оснастка: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов, 2002. – 320 с.
21. Боровик А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва. – К.: Кондор, 2007 – 726 с.

22. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ [Текст] : в 2 ч. Ч. 2 /М.: Экономика, 1990. – 472 с.

23. Общемашиностроительные нормативы времени для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ, [Текст] : в 2 ч. Ч. 1 /М.: Экономика, 1989. - 402 с.

24. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов. – 5-е издание, стереотипное. Перепечатка с четвертого издания 1983 г. – М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.

25. Анурьев В.И. Справочник конструктора. В 3-х томах. – М.: Машиностроение, 1979.