

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.02

**Державний вищий навчальний заклад
«Сумський державний університет»**

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 дипломного проекту (роботи)

перший (бакалаврський)
(освітній рівень)

на тему *Модернізація привода головного руху зубофрезерного
верстата*

Виконав: студент 4 курсу, групи *ВІ -61*
напряму підготовки (спеціальності)
133 Галузеве машинобудування
(*Металорізальні верстати та системи*)

Підлісний В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник *Коротун М.М.*
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.О. Залога

« _____ » _____ 2020 р.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИВОДА ГОЛОВНОГО РУХУ
ЗУБОФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА**

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів
Бакалаврська кваліфікаційна робота
Напрямок підготовки 133 – Галузеве машинобудування
(Металорізальні верстати та системи)

Студент

В.В. Підлісний

Керівник

М.М. Коротун

Нормоконтроль

Ю.О.Денисенко

ЗАТВЕРДЖЕНО

Наказ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.01

**Державний вищий навчальний заклад
«Сумський державний університет»**

Інститут, факультет
Кафедра
Освітній рівень
Напрямок підготовки

TeSET

технології машинобудування, верстатів та інструментів

перший (бакалавр)

(шифр і назва)

Спеціальність

133 Галузеве машинобудування (Металорізальні верстати та системи)

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів

Залога В.О.

«___» _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

Підлісний В.В.

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту (роботи)

Модернізація привода головного руху

зубофрезерного верстата

керівник проекту

Коротун М.М. к.т.н., доц.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 09 » квітня 2020 року № 0523-III

2. Строк подання студентом проекту (роботи) « 05 » червня 2020 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Базова модель верстата 5К32,
Кількість ступенів коробки швидкостей $z = 9$;
знаменник геометричного ряду $\phi = 1,26$;
мінімальна частота обертання шпинделя
модернізованого привода $n_1 = 125 \text{ хв}^{-1}$; частота
обертів двигуна $n_{дв} = 1450 \text{ хв}^{-1}$

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

Вступ, Модернізація привода головного руху зубофрезерного верстата мод. 5К32, Кінематичний та силовий розрахунки, Пристрій для затискання, Охорона праці при роботі на зубофрезерних верстатах

5. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

6. Дата видачі завдання « 10 » квітня _____ 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	10.04 – 13.04	
2	Призначення, сфера використання базової моделі	14.10 20.04	
3	Кінематичний розрахунок модернізованого приводу	21.10- 30.04.	
4	Силловий розрахунок модернізованого приводу	30.04.- 7.05.	
5	Розробка приводу подач	8.05-20.05.	
6	Згортка коробки швидкостей.	21.05-27.05	
7	Охорона праці в надзвичайних ситуаціях	28.05- 03.06.	

Студент

_____ (підпис)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

Підлісний В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Коротун М.М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Робота містить 83 сторінок, 27 рисунків, 3 таблиць, 17 джерел бібліографії, 13 додатків.

У вступі до роботи визначені основні вимоги до створення сучасних, високопродуктивних металорізальних верстатів показана потреба у підвищенні вимоги до основних вузлів, зокрема, до приводів головного руху і подач. До цих вузлів придьявляються вимоги: по збільшенню жорсткості, надійності підвищенню точності. Особливі вимоги придьявляються до шпиндельних вузлів, ланцюгів головного руху, ланцюгів подач обкату та ділення. Зубофрезерні верстати повинні забезпечувати можливість високопродуктивне виготовлення деталей, мати можливість автоматизованого управління режимами обробки і автоматизацію завантаження та розвантаження заготовок.

Темою даної кваліфікаційної роботи є модернізація привода головного руху базової моделі верстату 5K32, який у приводі головного руху оснащений гитарою змінних коліс.

Модернізація привіда головного руху передбачала кінематичний та силовий розрахунок коробки швидкостей, проектування конструкції коробки швидкостей у її розорнутому варіанті (розгортки). Розроблена конструкторська документація згортки коробки швидкостей. Конструкція коробки швидкостей представлена у двох варіантах у традиційному на блоках зубчастих коліс та з автоматизованою системою управління на електромуфтах. Розроблений механізм перемикання передач коробки швидкостей в двох варіантах: з автоматичною системою керування та ручною. Розроблена технологія виготовлення черв'ячного колеса яке можна обробляти на модернізованому верстаті 5K32. Спроектований та розрахований верстатний пристрій з пневмоприводом, призначений для затискання зубчастого колеса на операції зубофрезерування. У розділі охорони праці запропоновані правила охорони праці при роботі на зубофрезерних верстатах.

ВЕРСТАТ, ЗУБОФРЕЗЕРНИЙ, ЛАНЦЮГ, КОРОБКА,
МОДЕРНІЗАЦІЯ, ГОЛОВНИЙ РУХ, ПРИСТРІЙ, ЧЕРВ'ЯЧНЕ КОЛЕСО.

РЕФЕРАТ

Работа содержит 83 страницы, 27 рисунков, 3 таблиц, 17 источников списка литературы, 13 приложений.

Во вступлении к работе определены основные требования к созданию современных, высокопроизводительных металлорежущих станков показана потребность в повышении требования к основным узлов, в частности, к приводам главного движения и подач. До этих узлов предъявляются требования: по увеличению жесткости, надежности повышению точности. Особые требования предъявляются к шпиндельным узлов, цепей главного движения, цепей подач обката и деления. Зубофрезерные станки должны обеспечивать возможность высокопроизводительного изготовления деталей, иметь возможность автоматизированного управления режимами обработки, автоматизацию загрузки и разгрузки заготовок.

Темой данной квалификационной работы является модернизация привода главного движения базового станка модели 5К32, который в приводе главного движения оснащен гитарой сменных колес.

Модернизация привода главного движения предусматривала кинематический и силовой расчет коробки скоростей, проектирование конструкции коробки скоростей в ее разорнутому варианте (развертки). Разработана конструкторская документация свертки коробки скоростей. Конструкция коробки скоростей представлена в двух вариантах в традиционном на блоках зубчатых колес и с автоматизованою системой управления на электромумфтах. Разработанный механизм переключения передач коробки скоростей в двух вариантах: с автоматической системой управления и ручной. Разработана технология изготовления червячного колеса которое можно обрабатывать на модернизированном станке 5К32. Спроектирован и рассчитан станочный устройство с пневмоприводом, предназначен для зажима зубчатого колеса на операции зубофрезерування. В разделе охраны труда предложенные правила охраны труда при работе на зубофрезерных станках.

СТАНОК, ЗУБОФРЕЗЕРНИЙ, ЦЕПЬ, КОРОБКА, МОДЕРНИЗАЦІЯ,

ГЛАВНОЕ ДВИЖЕНИЕ, УСТРОЙСТВО, ЧЕРВЯЧНОЕ КОЛЕСО



ABSTRACT

The work contains 83 pages, 27 figures, 3 tables, 17 sources of references, 13 applications.

In the introduction to the work establishes the basic requirements for the creation of a modern, high-performance machine tools shows the need to increase requirements for the major sites, in particular, to actuators of the main movement and feed. To these nodes pribavlyaetsya requirements: to increase stiffness, reliability to improve the accuracy. Special requirements pribavlyaetsya to the spindle assemblies, circuits of the main movement, chains innings of rounding and division. Hobbing machines shall provide the possibility for high-performance parts have the ability for automated control of processing modes, the automation of the loading and unloading of the workpieces.

The theme of this qualification paper is the modernization of the main drive of the base machine model 5K32 that the main drive is equipped with a guitar replacement wheels.

Modernization of main drive included kinematic and force analysis of gear boxes, design box design speeds in its roseroom option (scan). Developed the design documentation of the convolution of a box of speeds. Box design speeds predstavlena in two variants in traditional blocks gears and automatizovany control system on electromotor. Developed a mechanism for shifting gears in two versions: with automatic control system and manual. The technology of manufacturing of worm wheel which can be processed at the modernized machine 5K32. Designed and sized machining device with pneumatic actuator, designed to clamp the gears at operation superterrane. In the division of occupational safety proposed rules of labor protection when working on hobbing machines.

MACHINE, GEAR MILLING, CHAIN, BOX, MODERNIZATION, MAIN MOVEMENT, DEVICE, WORM WHEEL

ЗМІСТ

Вступ.....	12
1 Загальні відомості про базову модель верстата	13
1.1 Огляд сучасних зубофрезерних верстатів	13
1.2 Технічна характеристика та призначення верстата 5К32	16
1.3 Аналіз кінематичної схеми верстата.....	18
2 Кінематичний розрахунок модернізованого привода зубофрезерного верстата	21
2.1 Вибір структурної формули привода	21
2.2 Визначення кількості валів у приводі.....	21
2.3 Виконання первісного варіанта кінематичної схеми	21
2.4 Складання структурних формул у розгорнутому вигляді	22
2.5 Побудова структурних сіток.....	23
2.6 Аналіз структурних сіток та побудова графіка частот обертання шпинделя	23
2.7 Визначення кількості зубців зубчастих коліс	26
2.8 Підрахування фактичних частот обертання шпинделя та оцінка точності кінематичного розрахунку.....	28
2.9 Кінцевий варіант кінематичної схеми привода	29
3 Проектування модернізованого приводу головного руху	31
3.1 Проектний розрахунок привода верстата.....	31
3.1.1 Розрахунок валів	33
3.1.1.а Попередній розрахунок валів.....	33

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
Розроб.		Підлісний						
Перевір.		Коротун					8	
Реценз.		Ємельяненко				СумДУ, ВІ-61		
Н. Контр.		Денисенко						
Затв.		Залога						

3.1.1.6 Уточнюючий (перевірний) розрахунок валів	34
3.1.2 Геометричний розрахунок зубчастих коліс	38
3.1.3 Розрахунок зубів коліс на контактну міцність	40
3.2 Конструювання коробки швидкостей модернізованого привода головного руху.....	41
3.3 Розробка згортки коробки швидкостей (на блоках зубчастих коліс).....	42
3.4 Варіант конструкції коробки швидкостей на електромагнітних муфтах	44
3.4.1 Органи управління коробки швидкостей з електромуфтами	45
4 Конструювання верстатного пристрою	47
4.1 Обґрунтування необхідності розробки верстатного пристрою	47
4.2 Розробка та обґрунтування схеми базування.....	48
4.3 Побудова функціональної структури верстатного пристрою та функціональна структура пристрою	49
4.4 Розрахунок сил закріплення.....	50
4.5 Розрахунок на міцність.....	51
4.6 Обґрунтування вибору привода	52
4.7 Точнісні розрахунки пристрою.....	53
4.8 Конструкція пристрою та принцип його роботи	54
5 Технологія виготовлення черв'ячного колеса.....	56
5.1 Розроблення опису маршрутного технологічного процесу обробки деталі черв'ячне колесо	56
5.1.1 Технологічний маршрут механічної обробки черв'ячного колеса.....	56

5.1.2 Підбір верстатів.....	57
5.1.3 Підбір ріжучого та вимірювального інструменту	58
5.1.4 Обладнання.....	59
5.2 Розроблення операційного технологічного процесу обробки деталі	60
Перелік джерел посилання.....	64
Додаток А Охорона праці.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Б Загальний вигляд верстату 5К32.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток В Кінематика верстату 5К32 на блоках.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Г Розгортка коробки швидкостей верстату 5К32.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Д Розгортка коробки швидкостей верстата 5К32 на електромуртах.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Е Згортка коробки швидкостей верстату 5К32.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Є Креслення механізму переключення коробки швидкостей.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Ж Креслення пристрою спеціального.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток З Специфікація до креслення пристрою спеціального	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток И Креслення черв'ячного колеса.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток І Маршрутний технологічний процес виготовлення черв'ячного колеса.....	Ошибка! Закладка не определена.

Додаток І Операційна наладка на свердлильну операцію **Ошибка!** Закладка не определена.

Додаток Й Операційна наладка на токарно-карусельну операцію **Ошибка!** Закладка не определена.



					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

ВСТУП

До нинішніх машин і приладів представлені високі вимоги по техніко-експлуатаційним характеристикам, точності і надійності в роботі. Це забезпечується високою точністю розмірів і якістю оброблених поверхонь деталей машин і приладів. Тому, незважаючи на великі досягнення технології виробництва високоякісних заготовок, метод обробки деталей різанням і роль металорізальних верстатів у машинобудуванні підвищується.

Сучасні металорізальні верстати - це різноманітні і досконалі робочі машини, що використовують механічні, електричні, пневматичні і гідравлічні методи здійснення рухів і управління робочим циклом.

Верстатобудування розвивається як в кількісному, так і якісному відношенні. Безперервно підвищуються точність, продуктивність, потужність, швидкохідність і надійність роботи верстатів. Поліпшуються експлуатаційні характеристики, розширюються технологічні можливості.

В ході проектування розглянуто модернізацію базової моделі зубофрезерного верстата 5К32, а саме заміну гітару ділення для головного руху (обертання фрези) на коробку швидкостей яка має дев'ять ступенів переключення. Також розроблений варіант коробки швидкостей на електро муфтах. Ці вдосконалення дозволять швидко переходити від однієї частоти обертання фрези до іншої без зміни шестерень перебору, а отже дозволять зменшити час для переналагодження верстата для його роботи з іншим видом деталей.

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО БАЗОВУ МОДЕЛЬ ВЕРСТАТА

1.1 Огляд сучасних зубофрезерних верстатів

Серед металорізючих верстатів напівавтоматів особливе місце займають зубофрезерні верстати. (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Сучасний зубофрезерний верстат.

Ці верстати відносяться до п'ятої групи і третього типу металорізючого обладнання.

Сучасні зубофрезерні верстати повинні мати підвищену статичну і динамічну стійкість основних вузлів, довгі і широкі направляючі, велике осьове переміщення фрези, достатнє охолодження. Частота обертання фрези $150...1200 \text{ хв}^{-1}$ дозволяє використовувати твердосплавні черв'ячні фрези і фрези із швидкорізючої сталі з зносостійким покриттям. У якості базової моделі верстата нами вибраний зубофрезерний верстат моделі 5К32, який у приводі головного руху має гітару змінних коліс, яка обмежує технологічні та організаційні можливості верстата

Основні вузли верстата показані на рисунку 1.2.

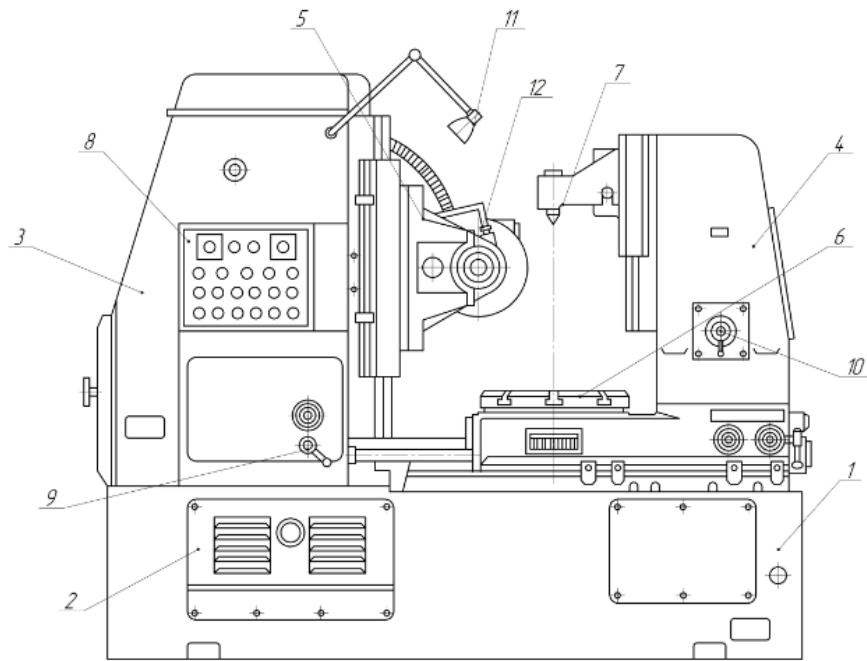


Рисунок 1.2 – Основних вузлів та органів управління базової моделі верстата 5K32.

Основні вузли та органи управління базової моделі верстата :

1 – станина; 2 – гідропривід; 3 – лівий стояк; 4 – правий стояк; 5 – супорт; 6 – стіл; 7 – кронштейн підтримуючий верхню частину оправки; 8 – пульт управління; 9 – важіль перемикання руху супорта; ;10 – важіль увімкнення гідравлічного переміщення кронштейна; 11 – місцеве освітлення; 12 – система охолодження.

Велике розповсюдження отримали зубофрезерні верстати з шістьма керованими осями , мають широкі технологічні можливості (Рис 1.3.). Крім лінійних рухів (радіального X і осьового Z руху подачі , осьового переміщення фрези Y) керованими є також обертання фрезерної головки A, фрези B і стола верстата C. Схема зубофрезерного верстата з шістьма керованими осями показана на рисунку 1.3. При цьому узгоджені обертання фрези і стола з заготовкою, а також точне кутове позиціонування стола, наприклад для точної установки фрези у западини нарізаних зубів.

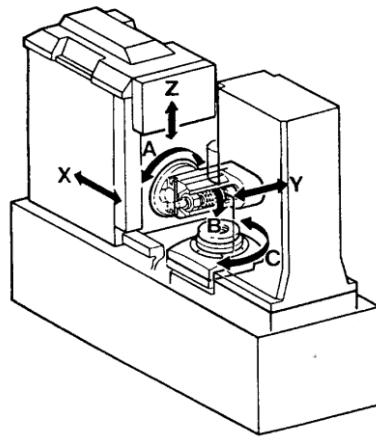


Рисунок 1.3.- Схема зубофрезерного верстата з шістьма керованими осями.

В залежності від розташування осі оброблюваної деталі зубофрезерні верстати розділяють на верстати з вертикальною (1.4., а) і горизонтальною (1.4., б) компоновкою.

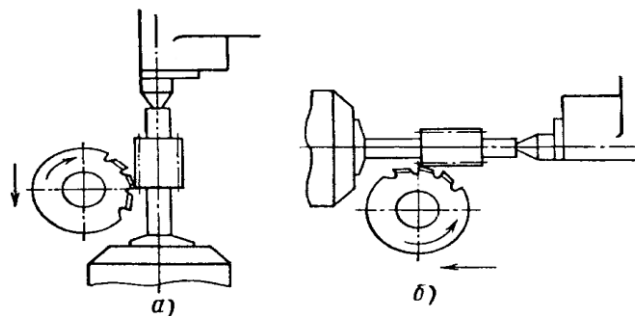


Рисунок 1.4. – Схеми нарізування зубчастих коліс на зубофрезерних верстатах

а) - з вертикальною компоновкою; б) – з горизонтальною компоновкою

В сучасних верстатах з вертикальною компоновкою стіл з заготовкою нерухомий, по горизонтальних напрямних переміщується ліва стойка з черв'ячною фрезою.

Горизонтальні верстати мають дві модифікації:

- 1) для обробки зубчастих коліс малого модуля.
- 2) для нарізання зубів і шліців на довгих і важких валах.

Зубофрезерні верстати працюють по методу обкату та копіювання:

Метод обкату представляє собою зубчасту передачу рейка і шестерня

так як черв'ячна фреза в осьовому перерізі нагадує зубчасту рейку. Цей метод має гарну продуктивність і високу точність обробки параметрів зубів, а також нарізання зубчастих коліс з різним числом зубів одного модуля одним і тим же інструментом – черв'ячною фрезою.

Метод копіювання полягає в тому що форма ріжучих кромek інструмента повинна відповідати профілю западин зубчастого колеса яке потрібно нарізати, цей метод менш точний тому використовується здебільшого у одиничному і дрібносерійному виробництві.

1.2 Технічна характеристика та призначення верстата 5К32

Верстат зубофрезерний 5к32 призначений для фрезерування циліндричних прямозубих і косозубих зубчастих коліс, а також черв'ячних коліс зовнішнього зачеплення в умовах одиничного, дрібного, середньосерійного та крупносерійного виробництва.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики верстату

Найменування параметра	5К32
Основні параметри верстата	
Найбільший модуль нарізуваного колеса, мм	10
Найбільший діаметр нарізуваних циліндричних прямозубих коліс (0°), мм	800
Найбільший діаметр нарізуваних циліндричних косозубих коліс (30°), мм	500
Найбільший діаметр нарізуваних циліндричних косозубих коліс (45°), мм	350
Найбільший діаметр нарізуваних циліндричних косозубих коліс (60°), мм	120 ... 250
Найбільший діаметр нарізуваних черв'ячних коліс, мм	800
Найбільша довжина вінця нарізуваних циліндричних прямозубих коліс (0°), мм	350
Найбільша довжина вінця нарізуваних циліндричних косозубих коліс (30°), мм	200

Продовження таблиці 1.1

Найбільша довжина вінця нарізуваних циліндричнихкосозубих коліс (45 °), мм	150
Найбільша довжина вінця нарізуваних циліндричних косозубих коліс (60 °), мм	130
Найменше число нарізуваних зубів	12
Стіл	
Діаметр столу, мм	630
Відстань між осями столу і фрези, мм	80 ... 500
Відстань від площини столу і осі фрези, мм	210 ... 570
Прискорене переміщення столу, мм / хв	170
Ручне переміщення столу за один оборот лімба, мм	0,5
Супорт	
Найбільше переміщення супорта, мм	360
Прискорене переміщення каретки супорта, мм / хв	550
Найбільший діаметр ріжучого інструменту, мм	200
Найменша довжина ріжучого інструменту, мм	200
Діаметри фрезерних оправок, мм	32; 40
Прискорене переміщення шпинделя уздовж осі, мм / хв	130
Відстань від осі шпинделя до напрямних супорта, мм	319
Найбільший кут нахилу зубів нарізуваного колеса, град	± 60
Конусний отвір шпинделя Морзе	5
Найбільше осьове переміщення фрези, мм	80
Механіка верстата	
Межі оборотів фрези, об / хв	5 ... 310
Число ступенів оборотів фрези	9
Межі поздовжніх подач, мм / об	0,8 ... 5,0
Межі радіальних подач, мм / об	0,3 ... 1,7
Межі тангенціальних подач, мм / об	0,17 ... 3,7
Число ступенів подач	7
Привід і електрообладнання верстата	
Електродвигун головного приводу, кВт / об / хв	7,5 / 1460
Електродвигун прискореного ходу, кВт / об / хв	3/1430

Продовження таблиці 1.1

Електродвигун приводу гідронасоса, кВт / об / хв	1,1 / 930
Електродвигун насоса охолодження, кВт / об / хв	0,15 / 2840
Габаритні розміри і маса верстата	
Габаритні розміри верстата (довжина x ширина x висота), мм	2550 1510 2000
Маса верстата з електроустаткуванням і охолодженням, кг	7200

1.3 Аналіз кінематичної схеми верстата

Кінематика верстата складається із наступних ланцюгів: приводу, ділення, диференціала і подач з прискореними переміщеннями (Рис 1.5).

Ланцюг головного руху виконується електродвигуном ($N=7$ кВт) через коробку приводу з клинопасовою передачею і парою змінних коліс. Шість пар змінних зубчастих коліс забезпечують дев'ять ступенів обертання фрези в діапазоні 50 – 310 об/хв.

Від коробки приводу обертання передається через конічні колеса 1/2, 22/21, 56/55, і пару циліндричних коліс 54/53 до шпинделя фрези.

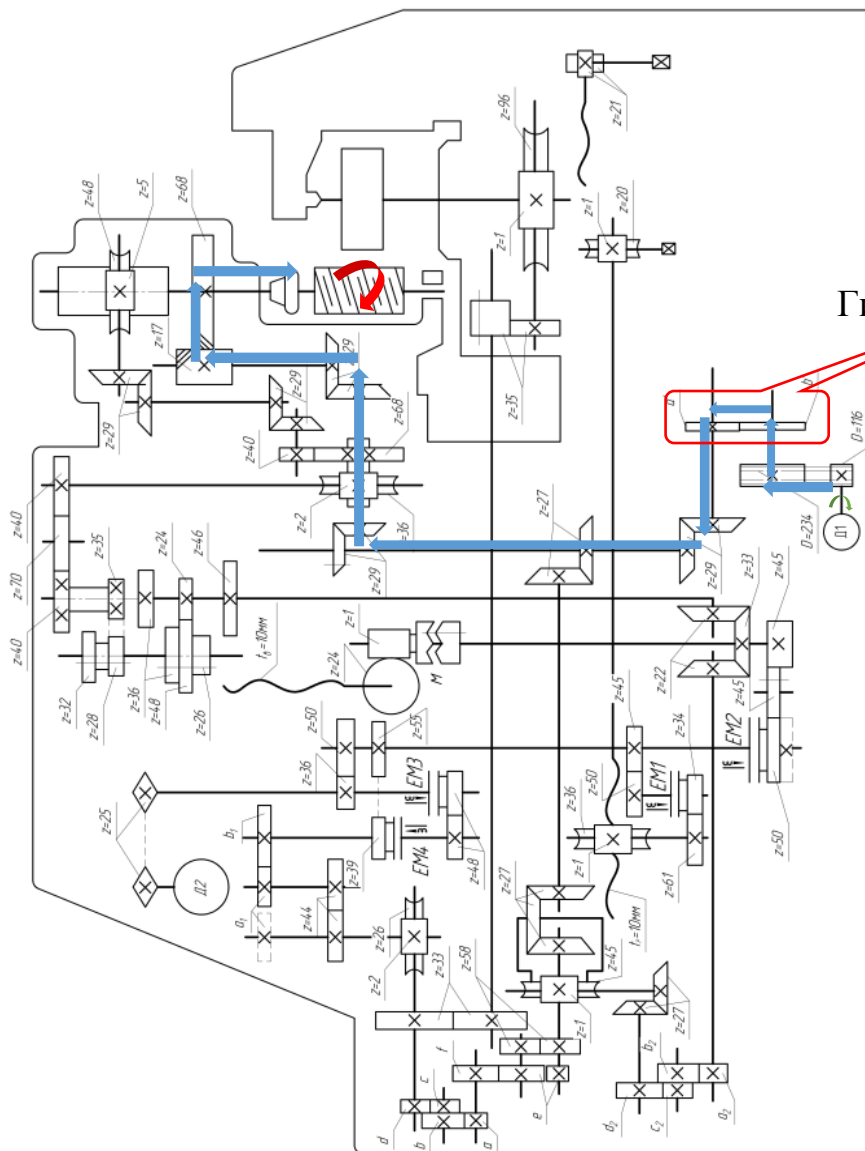
Ланцюг подачі отримує обертання від ділильного вала завдяки шестерням 14/15, далі через зубчасті передачі коробки подач 16/46, 45/44, змінні колеса а, б і шестерні 42/37, рух передається коробці розподілення рухів, а потім через передачі 29/27, 26, 36/19 гвинту вертикальної подачі або через шестерні 30/31, 32/33, черв'ячну пару 34/35 гвинту радіальної подачі. При необхідності реверса подачі, рух передається через шестерні 40, 41, 39, 36 і далі в коробку розподілення рухів.

Ланцюг ділення пов'язує обертання фрези з заготовкою.

В ланцюг ділення частково входять зубчасті передачі ланцюга приводу фрези, а саме: супортна пара 53/54 і дві пари конічних зубчастих коліс 55/56 і 21/22. Далі рух передається через пару конічних зубчастих коліс 5/6,

диференціала 7/8/9, постійні колеса 12/13, шестерня перебору е, f, гітару ділення a,b , c,d і постійні шестерні 15/14, 62/63, 64/65 ділильної пари столу. Ланцюг диференціала складається із конічних шестерень 24/25, гітари диференціала a, b, c, d, конічної пари 17/18, черв'ячної пари 10/11 і конічних шестерень 7/8/9.

Кінематична схема базової моделі зубофрезерного верстата представлена на рисунку 1.5.



Гитара змінних коліс

Рисунок 1.5. – Кінематична схема базової моделі зубофрезерного верстата.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ ВІ-16510041-ПЗ

Лист

19

Рівняння кінематичного балансу ланцюгів верстата моделі 5К32:

1) Ланцюг головного руху (обертання фрези): $n_{дв} \rightarrow n_{ф}$

$$n_{ф} = 1460 \cdot \frac{116}{234} \cdot 0,98 \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{17}{68} \cdot \frac{об}{хв}$$

2) Ланцюг радіальної подачі заготовки: 1 оберт заготовки $\rightarrow S_p$

$$S_p = 1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{44}{44} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{39}{65} \cdot \frac{45}{50} \cdot \frac{34}{61} \cdot \frac{1}{36} \cdot 10, \frac{мм}{об}$$

3) Ланцюг тангенціальної подачі фрези: 1 оберт заготовки $\rightarrow S_t$

$$S_t = 1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{44}{44} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{39}{65} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{33}{22} \cdot \left(\frac{24}{48}; \frac{36}{36}; \frac{46}{26} \right) \cdot \left(\frac{32}{40}; \frac{28}{40}; \frac{40}{35} \right) \cdot \frac{40}{70} \cdot \frac{70}{40} \cdot \frac{2}{36} \cdot \frac{68}{40} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{5}{48} \cdot 12, \frac{мм}{об}$$

4) Ланцюг обкату або ділення (обертання заготовки, строго пов'язаний з обертанням фрези):

1 оберт фрези рівняється відношенню K/Z обертів заготовки (K - число заходів фрези; Z - число нарізаних зубів)

$$\frac{K}{Z} = 1 \cdot \frac{68}{17} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{27}{27} \cdot i_{диф} \cdot \frac{58}{58} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96}; i_{диф} = 1.$$

5) Ланцюг поздовжньої подачі: 1 оберт заготовки рівняється S_n

$$S_n = 1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{44}{44} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \left(\frac{39}{65}; \frac{48}{48}; \frac{36}{60} \right) \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10, \frac{мм}{об}$$

6) Ланцюг додаткового обертання заготовки при фрезеруванні косозубих шестерень:

T , мм переміщення супорта рівняється 1 оберту заготовки; T - крок гвинтової лінії зубів

$$1 = \frac{T}{10} \cdot \frac{24}{1} \cdot \frac{33}{22} \cdot \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{1}{45} \cdot i_{диф} \cdot \frac{58}{58} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96}; i_{диф} = 2.$$

7) Прискорені переміщення можуть бути задіяні до каретки з супортом, шпинделя фрези уздовж його осі, напрямних зі столом, столу. Ці органи наводяться від окремого електродвигуна потужністю 3 кВт при включенні відповідних електромагнітних муфт.

2 КІНЕМАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗОВАНОГО ПРИВОДА ЗУБОФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

За завданням потрібно виконати модернізацію привода за такими вихідними даними: $n_{дв} = 1450 \text{ хв}^{-1}$, $n_{min} = 125 \text{ хв}^{-1}$, $\varphi = 1,26$, $Z = 9$.

2.1 Вибір структурної формули привода

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 привода за завданням;

i – порядок розміщення даної групи в напрямку передачі руху;

P – кількість переключень (передач) у групі.

Якщо $Z = 9$, то структурні формули можуть бути такими: $Z = 3 \otimes 3$ або $Z = 3 \otimes 3 \otimes 1$. Слід зазначити, що з точки зору математики формули рівнозначні, тому що відповідають вимогам $Z = 9$. Оптимальним варіантом з усіх наведених є варіант $Z = 3 \otimes 3$.

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 2.1:

$$B = m + 1,$$

де m – кількість груп передач привода.

Для структурної формули $Z = 3 \otimes 3$, $m = 2$, тоді кількість валів $B = 3$.

2.3 Виконання первісного варіанта кінематичної схеми

Первісний варіант кінематичної схеми коробки швидкостей верстата показаний на рисунку 2.1.

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

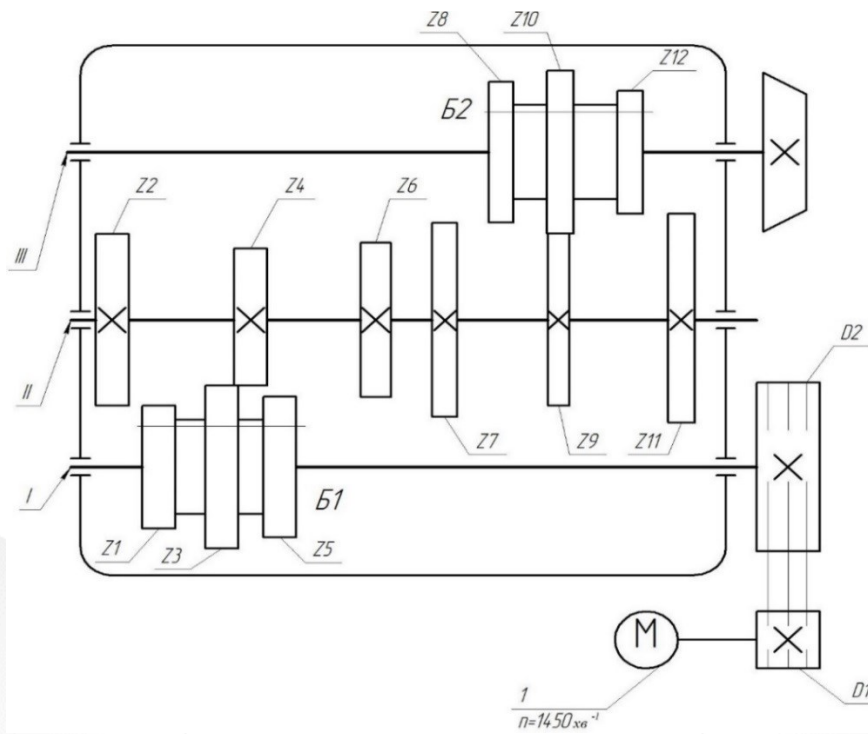


Рисунок 2.1 – Первісний варіант кінематичної схеми коробки швидкостей верстата

2.4 Складання структурних формул у розгорнутому вигляді

Структурна формула у розгорнутому вигляді містить в собі й характеристику і має такий вигляд:

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

Спочатку у загальному вигляді:

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

$$0 \quad 1$$

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

$$1 \quad 0$$

Після підстановки кількості переключень отримаємо такі значення:

$$5) \quad Z = 3 (1) \otimes 3 (3)$$

$$0 \quad 1$$

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

$$1 \quad 0$$

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

2.5 Побудова структурних сіток

Структурні сітки – це симетричні діаграми, які відображають структурні формули у розгорнутому вигляді. Варіанти структурних подані на рисунку 2.2

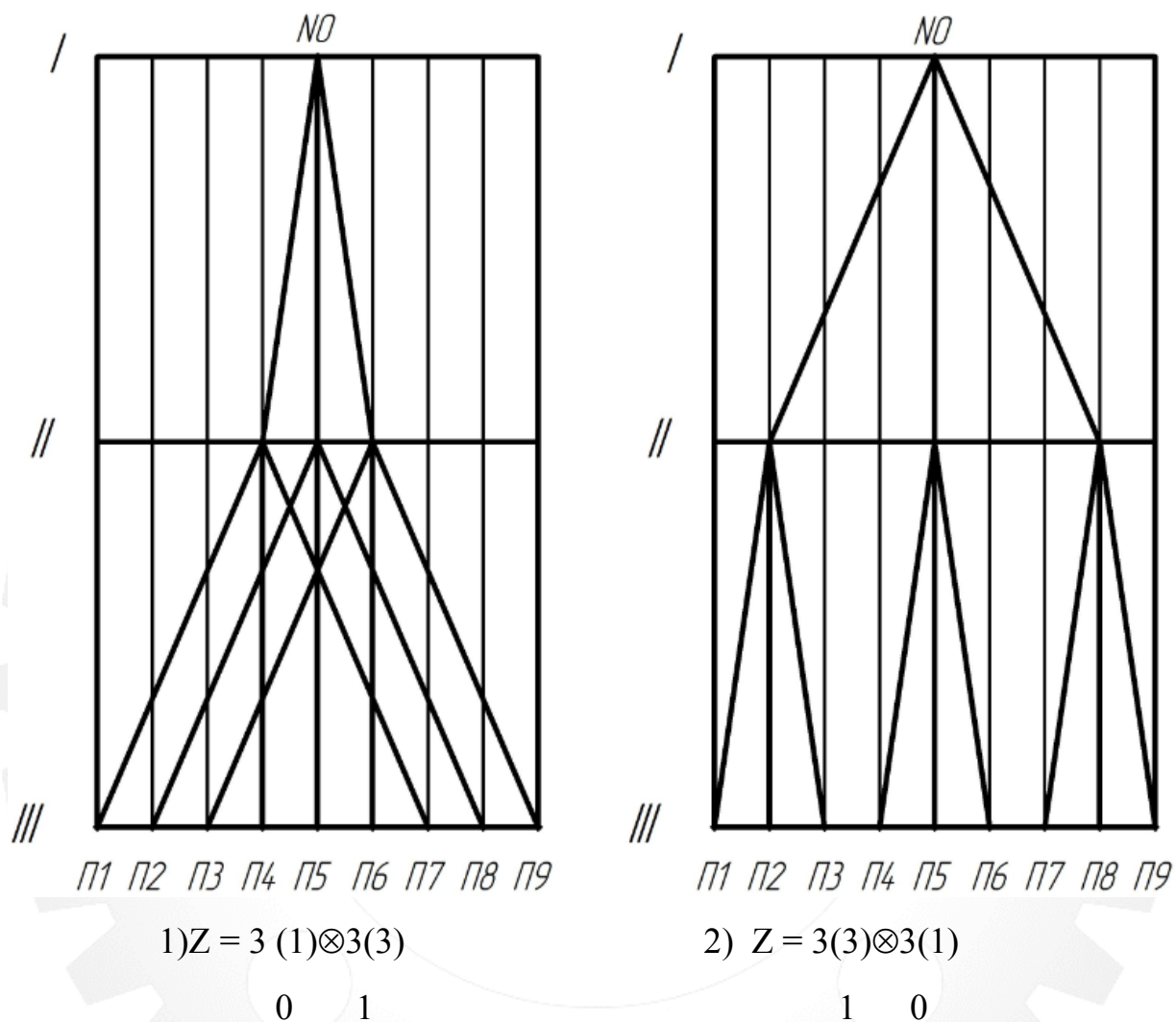


Рисунок 2.2 – Структурні сітки

2.6 Аналіз структурних сіток та побудова графіка частот обертання шпинделя

Порівняння наведених варіантів дає змогу визначити, що серед представлених найкращий варіант перший.

Графік частот обертання шпинделя є основним розрахунковим графічним елементом для кінематичного розрахунку привода верстата. Графік

будують на основі оптимального варіанта структурної сітки.

Для визначення частот обертання використовуємо вихідні дані , такі як мінімальну частоту обертання $n_{\min} = 125 \text{ хв}^{-1}$, знаменник геометричного ряду $\phi = 1,26$ та кількістю швидкісних ступенів $Z = 9$.

$$n_1 = 125 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_2 = n_1 \otimes 1.26 = 160 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_3 = n_2 \otimes 1.26 = 200 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_4 = n_3 \otimes 1.26 = 250 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_5 = n_4 \otimes 1.26 = 315 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_6 = n_5 \otimes 1.26 = 400 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_7 = n_6 \otimes 1.26 = 500 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_8 = n_7 \otimes 1.26 = 630 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_9 = n_8 \otimes 1.26 = 800 \text{ хв}^{-1}.$$

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. Графік частот обертання приводу є фактичною картиною частот обертання.

Графік частот обертання шпинделя приводу верстата показаний на рисунку 2.2.

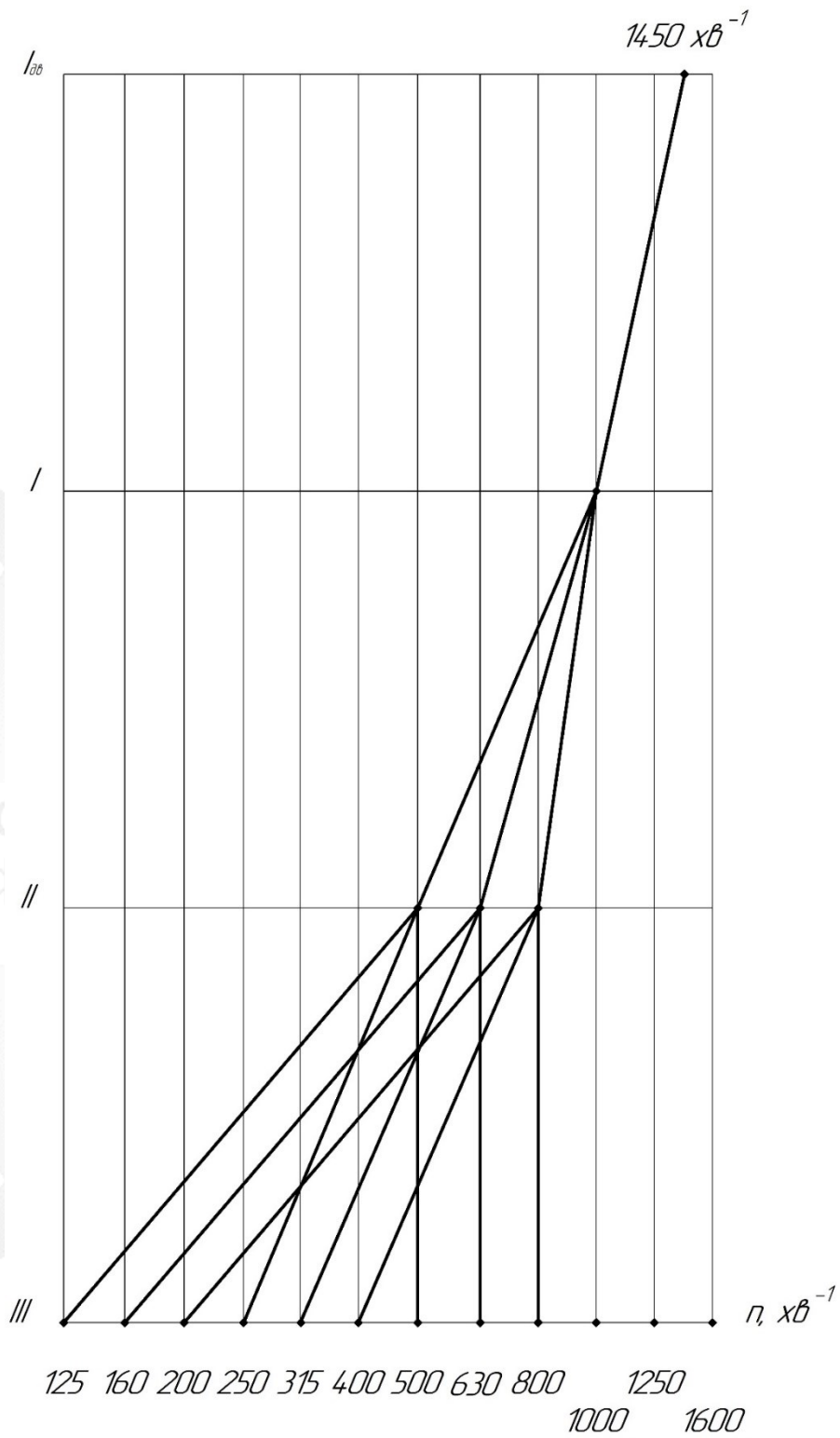


Рисунок 2.2 – Графік частот обертання шпинделя привода верстата (без розрахунку передатних відношень)

2.7 Визначення кількості зубців зубчастих коліс

Коли ГЧО побудовано, можна визначити кількість зубців зубчастих коліс у кожній парі, що позначені на первісному варіанті кінематичної схеми як Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 і т. д. Для визначення кількості зубців зубчастих коліс також існують правила. Перше правило полягає у тому, що сума зубів зубчастих коліс у двоваловій передачі залишається незмінною, 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).. Суму Z визначають виходячи з того, що найменша кількість зубів на одному колесі може бути 18 – 20. Тоді $\Sigma Z_{\min} = 40$, а відповідно $\Sigma Z_{\max} = 120$. Друге правило полягає у тому, що записують передатні відношення 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:

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

$$i_1 = \frac{1}{\varphi^6}, \quad \Sigma Z = 90, \quad Z_1 = \frac{90}{1 + 4} = 18; \quad Z_2 = 90 - 18 = 72. \quad \frac{18}{72}$$

$$i_2 = \frac{1}{\varphi^3}, \quad \Sigma Z = 90, \quad Z_3 = \frac{90}{1 + 2} = 30; \quad Z_4 = 90 - 30 = 60. \quad \frac{30}{60}$$

$$i_3 = \frac{1}{1}, \quad \Sigma Z = 90, \quad \frac{45}{45}$$

$$i_4 = \frac{1}{\varphi^3}, \quad \Sigma Z = 90, \quad Z_7 = \frac{90}{1 + 2} = 30; \quad Z_8 = 90 - 30 = 60. \quad \frac{30}{60}$$

$$i_5 = \frac{1}{\varphi^2}, \quad \Sigma Z = 90, \quad Z_9 = \frac{90}{1 + 1,58} = 35; \quad Z_{10} = 90 - 35 = 55. \quad \frac{35}{55}$$

$$i_6 = \frac{1}{\varphi}, \quad \Sigma Z = 90, \quad Z_{11} = \frac{90}{1 + 1,26} = 40; \quad Z_{12} = 90 - 40 = 50. \quad \frac{40}{50}$$

Графік частот обертання шпинделя з підібраними передаточними відношеннями (колесами) показаний на рисунку 2.3.

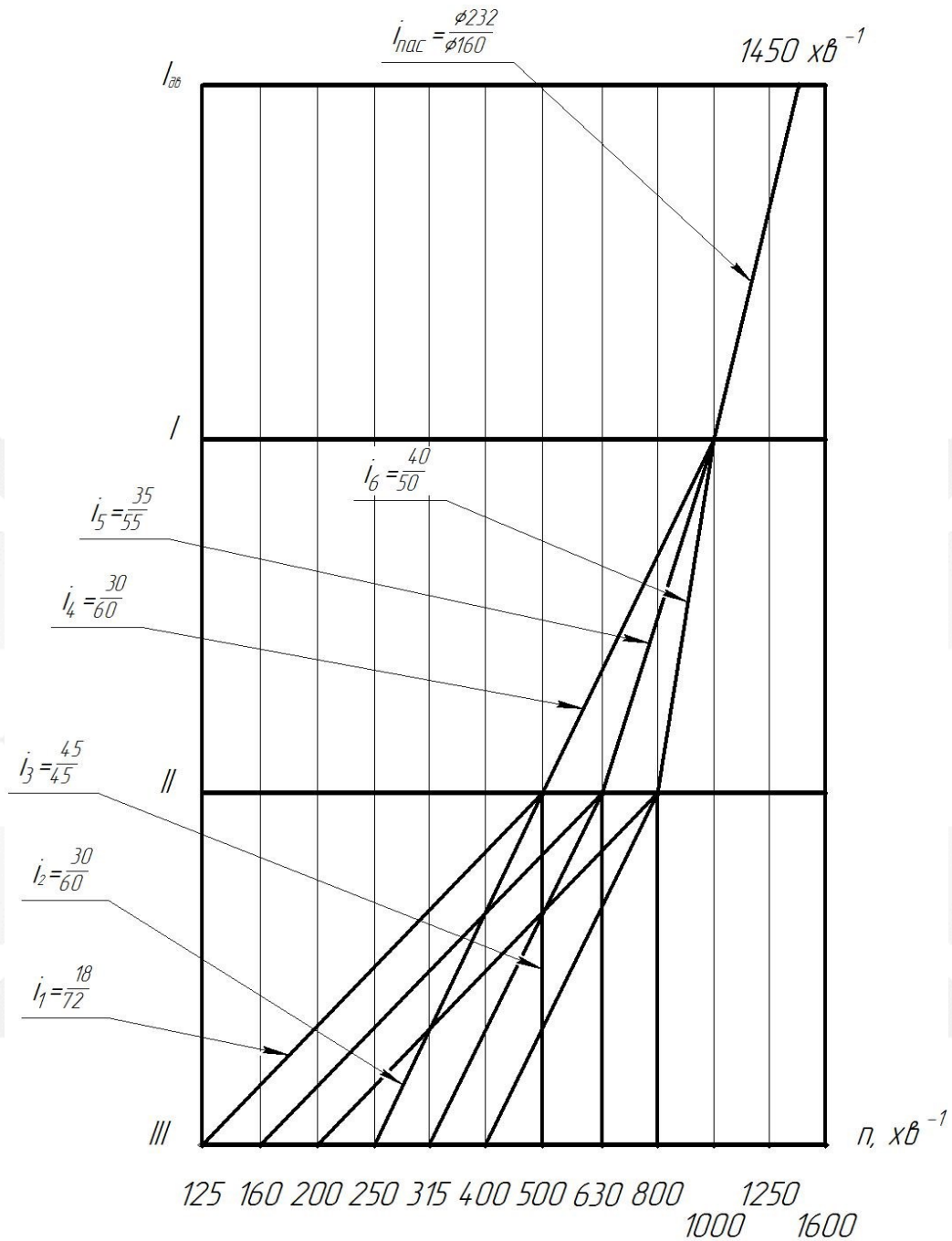


Рисунок 2.3 – Графік частот обертання шпинделя з підібраними передаточними відношеннями (зубчастих коліс)

2.8 Підрахування фактичних частот обертання шпинделя та оцінка точності кінематичного розрахунку

Якщо прораховані усі передатні відношення привода, то можна визначити фактичні частоти обертання шпинделя шляхом складання відповідних рівнянь кінематичного балансу.

$$n_1 = 1450 \cdot 0,689 \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60} = 125 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_2 = 1450 \cdot 0,689 \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{35}{55} = 159,1 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_3 = 1450 \cdot 0,689 \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{40}{50} = 200 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_4 = 1450 \cdot 0,689 \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{30}{60} = 250 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_5 = 1450 \cdot 0,689 \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{35}{55} = 318,2 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_6 = 1450 \cdot 0,689 \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{40}{50} = 400 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_7 = 1450 \cdot 0,689 \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{30}{60} = 500 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_8 = 1450 \cdot 0,689 \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{35}{55} = 636,4 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_9 = 1450 \cdot 0,689 \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{40}{50} = 800 \text{ хв}^{-1}$$

Для визначення ступеня невідповідності фактичних частот обертання стандартизованим користуються формулою

$$\Delta = \pm \frac{n_{\phi} - n_{ст}}{n_{ст}} 100\%$$

де n_{ϕ} , $n_{ст}$ – відповідно фактичні та стандартизовані частоти обертання шпинделя.

Перевіримо відповідність всіх частот обертання шпинделя:

$$\Delta = \frac{125 - 125}{125} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta = \frac{159,1 - 160}{160} \cdot 100 = -0,5\%$$

$$\Delta = \frac{200 - 200}{200} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta = \frac{250 - 250}{250} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta = \frac{318,2 - 315}{315} \cdot 100 = 1,0\%$$

$$\Delta = \frac{400 - 400}{400} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta = \frac{500 - 500}{500} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta = \frac{636,4 - 630}{630} \cdot 100 = 1,0\%$$

$$\Delta = \frac{800 - 800}{800} \cdot 100 = 0\%$$

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

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

2.9 Кінцевий варіант кінематичної схеми привода

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

Приклад кінцевого варіанта кінематичної схеми привода подано на рис 2.4.

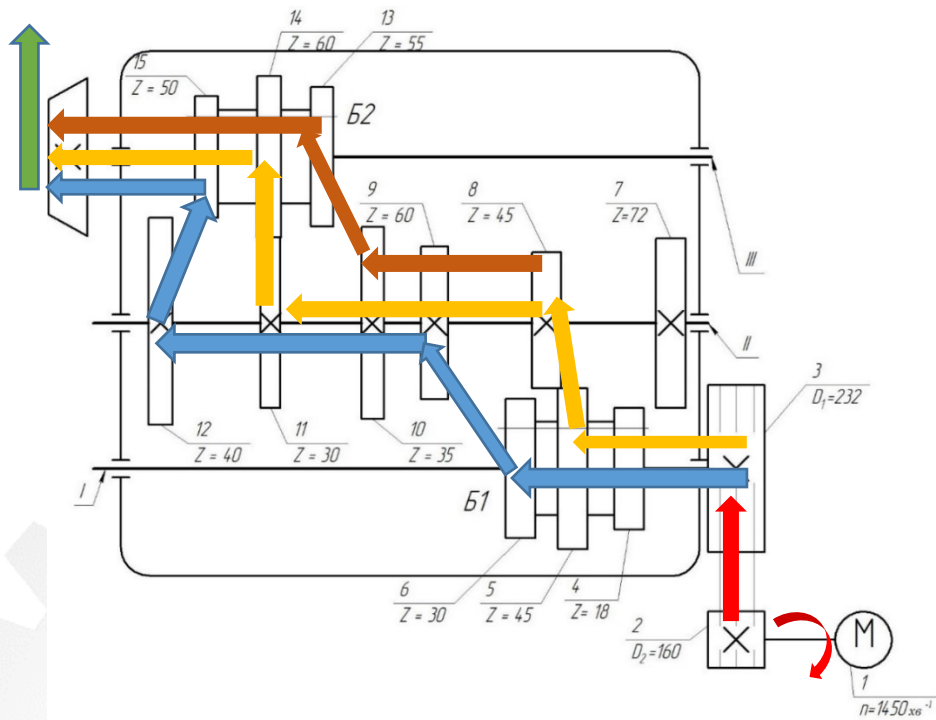
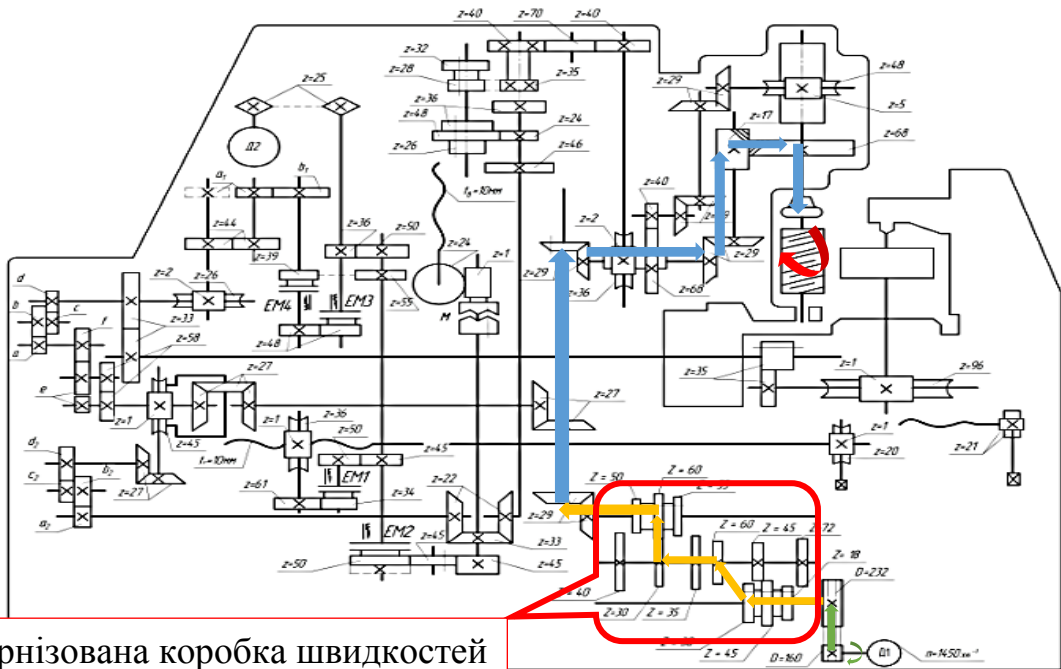


Рисунок 2.4 – Кінцевий варіант кінематичної схеми привода

Кінематична схема базового зубофрезерного верстата з модернізованим приводом головного руху показано на рисунку 2.5.



Модернізована коробка швидкостей

Рисунок 2.5 – Кінематична схема базової моделі верстата з модернізованим приводом головного руху

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

3 ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ

3.1 Проектний розрахунок привода верстата

Визначаємо міжцентрову відстань між валами майбутньої коробки швидкостей.

Для розрахунку використовуємо 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).

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.

Добираємо значення модуля 3,0 мм між першим та другим валом та 4,0 мм між другим та третім валами, і скориставшись даними за кількістю зубів із кінематичного розрахунку визначимо міжцентрову відстань між валами, тобто:

$$\text{між валом I та II: } a_{w1-2} = 0,5 \cdot 90 \cdot 3 = 135 \text{ мм.}$$

$$\text{між валом II та III: } a_{w2-3} = 0,5 \cdot 90 \cdot 4 = 180 \text{ мм.}$$

Після визначення міжцентрових відстаней, розраховуємо діаметрів валів. Для типової моделі верстатів скористалися потужністю базової моделі. Під час розрахунку коробок швидкостей вводять та використовують не номінальні, а розрахункові навантаження. Їх визначаємо за формулами 3.2 та 3.3.

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

									Лист
									31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

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

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, $K = 1,2$.

Крутний момент без урахування коефіцієнта навантаження розраховують за формулою 3.4:

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

де ω – кутова швидкість (розраховуємо за формулою 3.5).

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

Колову силу без урахування коефіцієнта навантаження розраховують за формулою 3.6 (для розрахунку обирається найменше колесо):

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

де d_z – дільний діаметр зубчатого колеса (рахуємо по формулі 3.7).

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

Розрахуємо крутний момент та колову силу для першого валу:

Для першого валу $n = 1000$ хв⁻¹ та P – потужність двигуна $P = 7,5$ кВт.

$$\omega_1 = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 152 \text{ рад/с}$$

$$T_1 = \frac{7,5 \cdot 10^3}{152} = 49,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$T_{p1} = 49,3 \cdot 1,2 = 59,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$d_1 = 3 \cdot 18 = 54 \text{ мм}$$

Розрахуємо крутний момент для всіх валів для всіх валів:

$$T_{pII} = 59,2 \cdot 10^3 \cdot 1,2 = 71,1 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$T_{pIII} = 71,1 \cdot 10^3 \cdot 1,2 = 85,3 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

3.1.1 Розрахунок валів

Розрахунок проводимо в два етапи:

- попередній розрахунок;
- уточнюючий розрахунок.

3.1.1.a Попередній розрахунок валів

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

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

Для першого валу:

$$d_I = \sqrt[3]{\frac{59,2 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} \approx 25 \text{ мм.}$$

Беремо діаметр вала під підшипники $d_I = 25$ мм.

З кінематичного розрахунку відомо, що вал 1 шліцьовий. Тому за ГОСТ 1139 – 81 призначаємо шліці за розмірами 6 x 26 x 32 із centruванням за внутрішнім діаметром вала. Посадка для рухомого з'єднання блок – вал може бути такою:

$$d - 6 \text{ x } 26\text{H}7/\text{g}6 \text{ x } 32\text{H}12/\text{a}11 \text{ x } 6\text{D}9/\text{f}8.$$

$$d_{II} = \sqrt[3]{\frac{71,1 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} \approx 26 \text{ мм}$$

Беремо діаметр вала під підшипники $d_{II} = 30$ мм.

З кінематичного розрахунку відомо, що вал II шліцьовий. Внутрішній діаметр шліцьового вала повинен бути більшим за діаметр під підшипник. Тоді за ГОСТ 1139 – 81 призначаємо шліці за розмірами: 6 x 32 x 38. Посадка для рухомого з'єднання блок – вал у загальному поданні

$$d - 6 \text{ x } 32\text{H}7/\text{g}6 \text{ x } 38\text{H}12/\text{a}11 \text{ x } 6\text{D}9/\text{f}8.$$

$$d_{III} = \sqrt[3]{\frac{85,3 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} \approx 28 \text{ мм}$$

Беремо діаметр вала під підшипники $d_{III} = 30 \text{ мм}$.

З кінематичного розрахунку відомо, що вал III шліцьовий. Внутрішній діаметр шліцьового вала повинен бути більшим за діаметр під підшипник. Тоді за ГОСТ 1139 – 81 призначаємо шліці за розмірами: 6 x 32 x 38.

Посадка для не рухомого з'єднання блок – вал у загальному поданні.

$d - 6 \text{ x } 32\text{H}7/\text{js}6 \text{ x } 38\text{H}12/\text{a}11 \text{ x } 6\text{D}9/\text{k}9$.

За наявності таких розрахунків можна починати компоновання коробки швидкостей. Визначимо ширину зубчастих коліс через модуль:

$$b = (5-10) m = (5-10) \cdot 3 = 15-30 \text{ мм},$$

$$b = (5-10) m = (5-10) \cdot 4 = 20-40 \text{ мм}.$$

3.1.1.б Уточнюючий (перевірний) розрахунок валів

Умова міцності вала визначається за формулою 3.9.

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

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

S_{σ} – коефіцієнт запасу міцності за нормальними напруженнями;

S_{τ} – 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_{σ} – визначається за формулою 3.10.

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma}} \sigma_v + \psi_a \cdot \sigma_m}, \quad (3.10)$$

де σ_{-1} – межа витримки при симетричному циклі;

K_{σ} – коефіцієнт, для шліцьового вала $K_{\sigma} = 1,65$;

									Лист
									34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

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

$\psi_{\sigma} = 0,15$ – коефіцієнт;

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

σ_v – амплітуда нормальних напружень на згинання.

В останній формулі невизначеними є:

σ_{-1} – межа витримки при симетричному циклі;

σ_v – амплітуда нормальних напружень на згинання.

Для визначення σ_{-1} потрібно знати σ_B , яке для сталі 45 дорівнює 780 Мпа, тоді:

$$\sigma_{-1} \approx 0,43 \cdot \sigma_B = 0,43 \cdot 780 = 335 \text{ МПа};$$

Амплітуда нормальних напружень на згинання визначається формулою до якої надходить сумарний момент M_{Σ} на згинання та параметр $W_{\text{нетто}}$.

$$\sigma_v = \frac{M}{W_{\text{нетто}}},$$

Для розрахунку σ_v , необхідно знайти сумарний згинальний момент M_{Σ} на валу. Для цього побудуємо схему діючих сил та реакцій і визначимо реакції опор у площинах XZ, YZ (рис. 3.1).

Реакції опор у площині XZ:

$$Ry_1 = \frac{Ft \cdot 224}{224 + 328} = \frac{1054 \cdot 224}{552} = 428 \text{ Н},$$

$$Ry_2 = \frac{Ft \cdot 328}{328 + 224} = \frac{1054 \cdot 328}{552} = 626 \text{ Н}.$$

Реакції опор у площині YZ:

$$Rx_1 = \frac{Ft \cdot 224}{224 + 328} = \frac{1054 \cdot 224}{552} = 428 \text{ Н},$$

$$Rx_2 = \frac{Ft \cdot 328}{328 + 224} = \frac{1054 \cdot 328}{552} = 626 \text{ Н}.$$

$d - 6\ 26H7/g6 \times 32H12/a11 \times 6D9/f8$

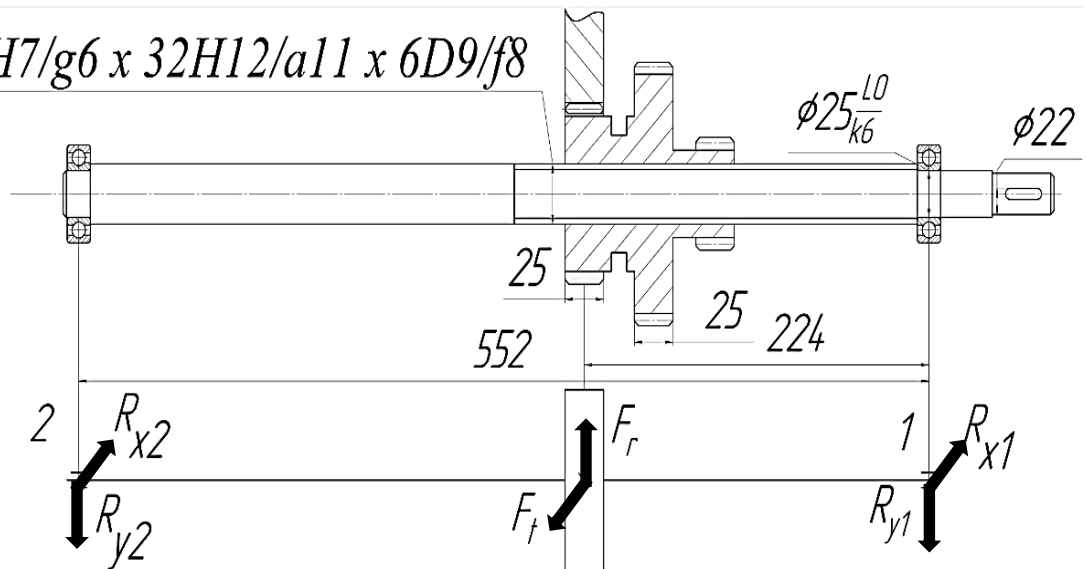


Рисунок 3.1 – Схема діючих сил та реакцій опор I вала коробки

Згинальні моменти:

$$M_x = R_{x1} \cdot 224 = 96 \cdot 10^3 \text{ Нмм},$$

$$M_y = R_{y1} \cdot 224 = 96 \cdot 10^3 \text{ Нмм}.$$

Сумарний згинальний момент

$$M_{\Sigma} = \sqrt{(96 \cdot 10^3)^2 + (96 \cdot 10^3)^2} = 136 \cdot 10^3 \text{ Нмм}.$$

За наявності таких розрахунків потрібно показати схему діючих сил та моментів та побудувати епюри діючих сил та моментів (рис. 3.2).

Крутний момент T_{pl} на епюрі валу (рис. 3.2) визначили при проектному розрахунку:

$$T_{pl} = 59,2 \cdot 10^3 \text{ Нм}.$$

Сумарний згинальний момент також визначено. Розраховуємо амплітуду нормальних напружень на згинання:

$$\sigma = \frac{M_{\Sigma}}{W_{\text{нетто}}} = \frac{136 \cdot 10^3}{2,84 \cdot 10^3} = 50 \text{ МПа},$$

де $W_{\text{нетто}}$ розраховано, як:

$$W_{\text{нетто}} = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{bt_1(d - t_1)^2}{2d} = \frac{3,14 \cdot 32^3}{32} - \frac{6 \cdot 6(32 - 6)^2}{2 \cdot 32} = 2,84 \cdot 10^3 \text{ мм}^3.$$

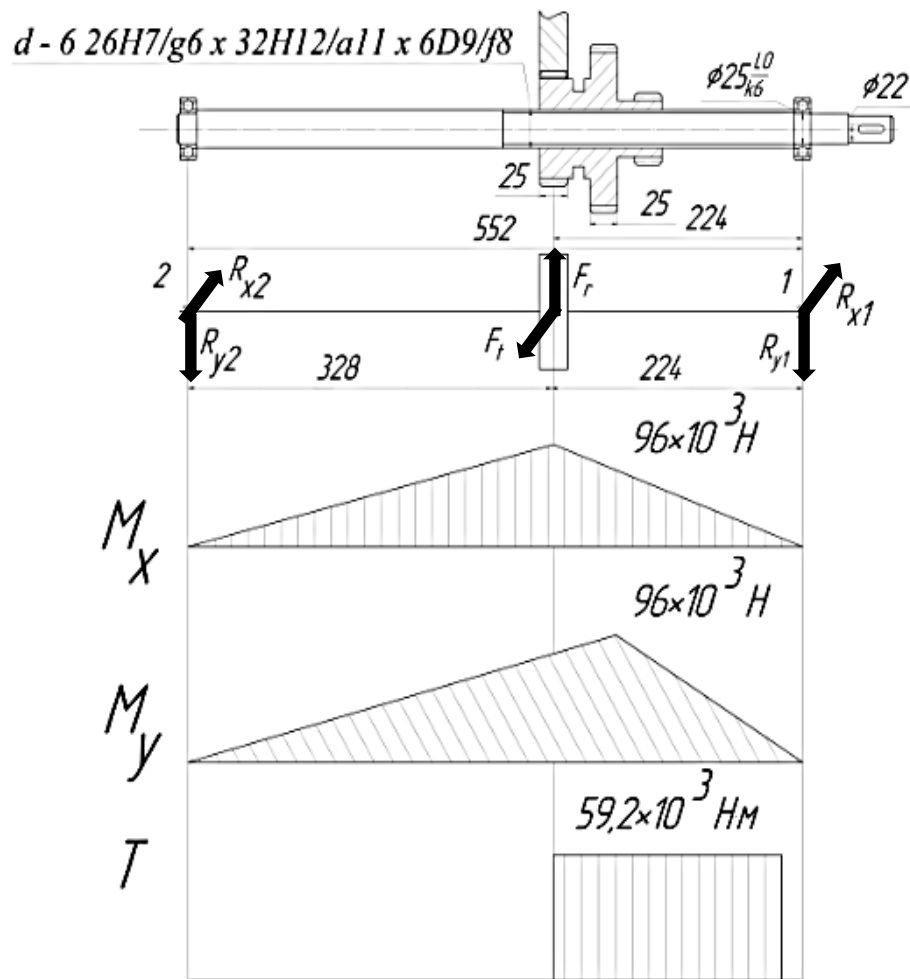


Рисунок 3.2 – Епюри згинальних та крутного моментів при уточнюючому розрахунку вала

Параметри b , d , t взяті для шліцьового вала з розмірами $d6 - 26H7/g6\ x\ 32H12/a11\ x\ 6D9/f8$.

Коефіцієнт запасу міцності за нормальними напруженнями за формулою 3.10:

$$S\sigma = \frac{335}{\frac{1,65 \cdot 50}{0,92}} \approx 3,73 > [S\sigma] = 1,3 - 1,5.$$

Міцність розрахованого діаметра вала у проектному розрахунку достатня для працездатності цього елемента за нормальними напруженнями.

До загальної формули умови міцності входить і коефіцієнт запасу міцності за дотичними напруженнями, який визначається за формулою:

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau}}{\varepsilon_{\tau}} \tau_a + \psi_{\tau} \tau_m}$$

Окремі значення параметрів за рекомендаціями [4] такі:

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

Підстановка значень у формулу дає результат

$$S_{\tau} \approx 15,1$$

Загальний коефіцієнт запасу міцності розраховуємо за формулою 3.9.

$$S = \frac{3,73 \cdot 15,1}{\sqrt{3,73^2 + 15,1^2}} = 3,62 > 1,4.$$

Визначаємо, що загальний коефіцієнт запасу міцності більший за допустимий, і тому конструкція привода верстата щодо першого вала працездатна.

3.1.2 Геометричний розрахунок зубчастих коліс

Розрахуємо зовнішні діаметри зубчастих коліс:

$$d_{a1} = d_{w1} + 2 \cdot m = 54 + 2 \cdot 3 = 60 \text{ мм}$$

$$d_{a2} = d_{w2} + 2 \cdot m = 216 + 2 \cdot 3 = 222 \text{ мм}$$

$$d_{a3} = d_{w3} + 2 \cdot m = 90 + 2 \cdot 3 = 96 \text{ мм}$$

$$d_{a4} = d_{w4} + 2 \cdot m = 180 + 2 \cdot 3 = 186 \text{ мм}$$

$$d_{a5} = d_{w5} + 2 \cdot m = 135 + 2 \cdot 3 = 141 \text{ мм}$$

$$d_{a6} = d_{w6} + 2 \cdot m = 135 + 2 \cdot 3 = 141 \text{ мм}$$

$$d_{a7} = d_{w7} + 2 \cdot m = 120 + 2 \cdot 4 = 128 \text{ мм}$$

$$d_{a8} = d_{w8} + 2 \cdot m = 240 + 2 \cdot 4 = 248 \text{ мм}$$

$$d_{a9} = d_{w9} + 2 \cdot m = 140 + 2 \cdot 4 = 148 \text{ мм}$$

$$d_{a10} = d_{w10} + 2 \cdot m = 220 + 2 \cdot 4 = 228 \text{ мм}$$

$$d_{a11} = d_{w11} + 2 \cdot m = 160 + 2 \cdot 4 = 168 \text{ мм}$$

$$d_{a12} = d_{w12} + 2 \cdot m = 200 + 2 \cdot 4 = 208 \text{ мм}$$

Розрахуємо внутрішні діаметри зубчастих коліс:

$$d_{f1} = d_{w1} - 2,5 \cdot m = 54 - 2,5 \cdot 3 = 46,5 \text{ мм}$$

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$d_{f2} = d_{w2} - 2,5 \cdot m = 216 - 2,5 \cdot 3 = 208,5 \text{ мм}$$

$$d_{f3} = d_{w3} - 2,5 \cdot m = 90 - 2,5 \cdot 3 = 82,5 \text{ мм}$$

$$d_{f4} = d_{w4} - 2,5 \cdot m = 180 - 2,5 \cdot 3 = 172,5 \text{ мм}$$

$$d_{f5} = d_{w5} - 2,5 \cdot m = 135 - 2,5 \cdot 3 = 127,5 \text{ мм}$$

$$d_{f6} = d_{w6} - 2,5 \cdot m = 135 - 2,5 \cdot 3 = 127,5 \text{ мм}$$

$$d_{f7} = d_{w7} - 2,5 \cdot m = 120 - 2,5 \cdot 4 = 110 \text{ мм}$$

$$d_{f8} = d_{w8} - 2,5 \cdot m = 240 - 2,5 \cdot 4 = 230 \text{ мм}$$

$$d_{f9} = d_{w9} - 2,5 \cdot m = 140 - 2,5 \cdot 4 = 130 \text{ мм}$$

$$d_{f10} = d_{w10} - 2,5 \cdot m = 220 - 2,5 \cdot 4 = 210 \text{ мм}$$

$$d_{f11} = d_{w11} - 2,5 \cdot m = 160 - 2,5 \cdot 4 = 150 \text{ мм}$$

$$d_{f12} = d_{w12} - 2,5 \cdot m = 200 - 2,5 \cdot 4 = 190 \text{ мм}$$

Результати розрахунків подані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати геометричного розрахунку діаметрів коліс

Кількість зубців коліс	Ділильний діаметр, мм	Зовнішній діаметр, мм	Внутрішній діаметр, мм
$Z_1 = 18$	54	60	46,5
$Z_2 = 72$	216	222	208,5
$Z_3 = 30$	90	96	82,5
$Z_4 = 60$	180	186	172,5
$Z_5 = 45$	135	141	127,5
$Z_6 = 45$	135	141	127,5
$Z_7 = 30$	120	128	110
$Z_8 = 60$	240	248	230
$Z_9 = 35$	140	148	130
$Z_{10} = 55$	220	228	210
$Z_{11} = 40$	160	168	150
$Z_{12} = 50$	200	208	190

3.1.3 Розрахунок зубів коліс на контактну міцність

Допустимі контактні напруження підраховують за формулою

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H \lim b} \cdot K_{HL}}{S_H} \cdot z_r \cdot z_v \cdot K_L \cdot K_{XH},$$

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;

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

$$\sigma_{H \lim b} = 2HB + 70,$$

З практичних міркувань:

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

Тоді:

$$[\sigma_{H \lim b}] = \frac{2 \cdot 350 + 70}{1,1} \cdot 0,9 = 630 \text{ МПа}$$

За наявності розрахованих допустимих контактних напружень можна уточнити значення міжцентрової відстані за формулою

$$a_w = (u + 1) \sqrt[3]{\frac{310^2 \cdot T_{II} \cdot K}{[\sigma_H]^2 \cdot u^2 \cdot \psi_a}} =$$
$$1,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{310^2 \cdot 71,1 \cdot 10^3 \cdot 1,2}{630^2 \cdot 0,5^2 \cdot 0,2}} = 112,$$

де u – передатне число $Z_4/Z_3=0,5$;

$T_{II}=71,1 \cdot 10^3$ – момент на валу 2;

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

ψ_a – коефіцієнт ширини вінця колеса, $\psi_a = 0,2$.

									Лист
									40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

За результатами розрахунку отримали значення, яке порівняли із тим що отримали у проектному розрахунку. Розраховане значення перевищує попереднє, залишили конструкцію без змін.

3.2 Конструювання коробки швидкостей модернізованого привода головного руху

Конструкція модернізованої коробки швидкостей верстата показаний на рисунку 3.3.

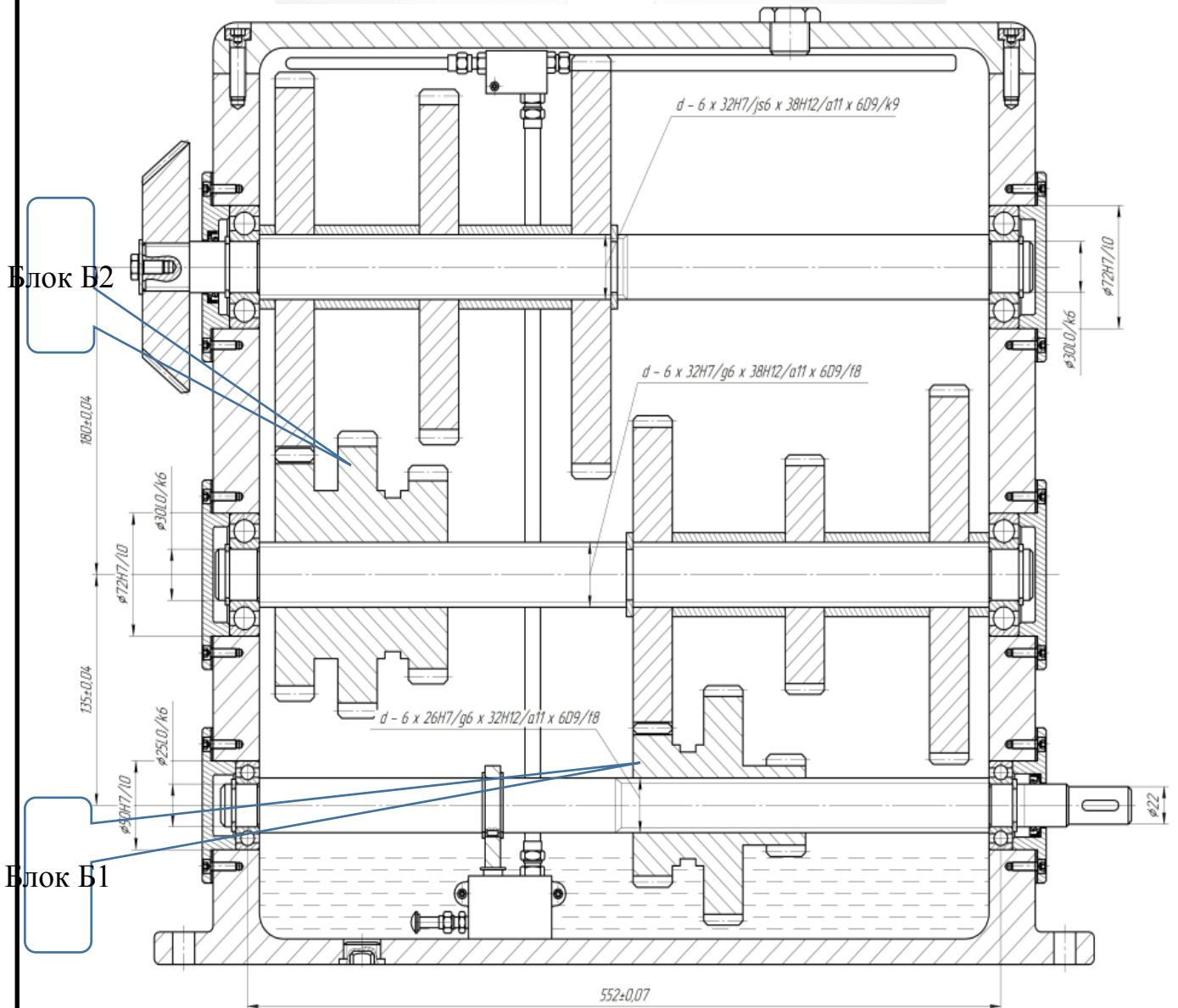


Рисунок 3.3 – Конструкція коробки швидкостей модернізованого привода головного руху верстата.

3.3 Розробка згортки коробки швидкостей (на блоках зубчастих коліс)

Система управління верстатом складається з механічних, електричних, гідравлічних та пневматичних пристроїв, що використовуються для передачі команди виконавчому органу; керуючого органу - важелі, кнопки, кінцевого перемикача і т.п.; виконавчого органу (вилки, рейки, важелі та ін.), переміщаючи відповідну частину станка.

Системи управління можна розділити на ручні та автоматичні. При ручному управлінні всі перемикачі циклу здійснюються робочим за допомогою важелів та штурвалів. Перемикання циклу здійснюються за допомогою важелів.

В коробці швидкостей модернізованого приводу верстата запропоновано ручний механізм перемикання швидкостей. Перемикання діапазону швидкостей здійснюється за допомогою важелів, які переміщують рухомі блоки коліс. В якості виконавчого органу для перемикання блоку використовується повзун звилкою. При цьому повзун звилкою рухається по направляючій скалці і за допомогою вилки переміщує блок. У цій конструкції при повороті важеля повертається зубчатий сектор, який через повзунок пересуває блок зубчастих коліс.

До механізму переключення передач коробки швидкостей надходить важіль 1, вал 2, шестерня 3, рейка 4, скалка 5, вилка 6. Конструкція механізму переключення подана на рисунку 3.4.

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

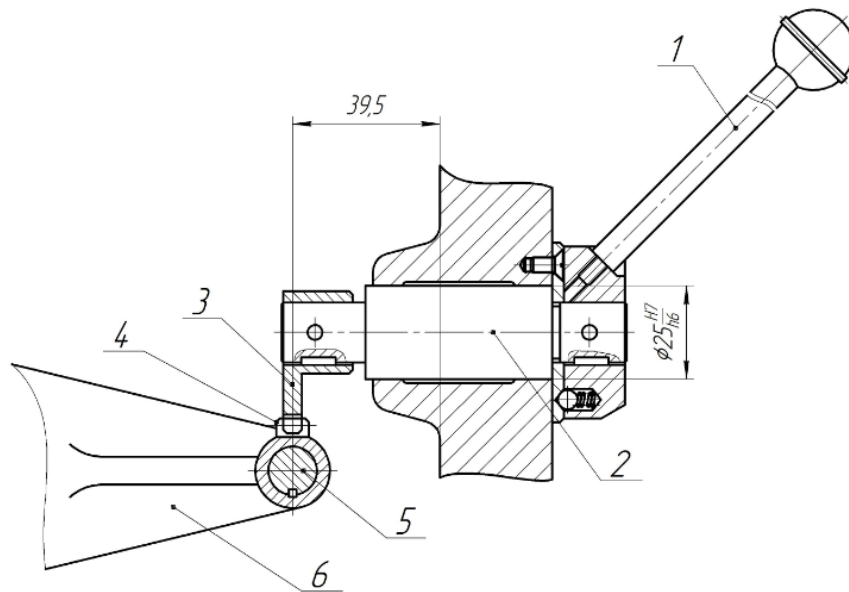


Рисунок 3.4 – Конструкція механізму переключення коробки швидкостей.

На рисунку 3.5 показано положення важеля при перемиканні швидкостей в модернізованій коробці швидкостей.

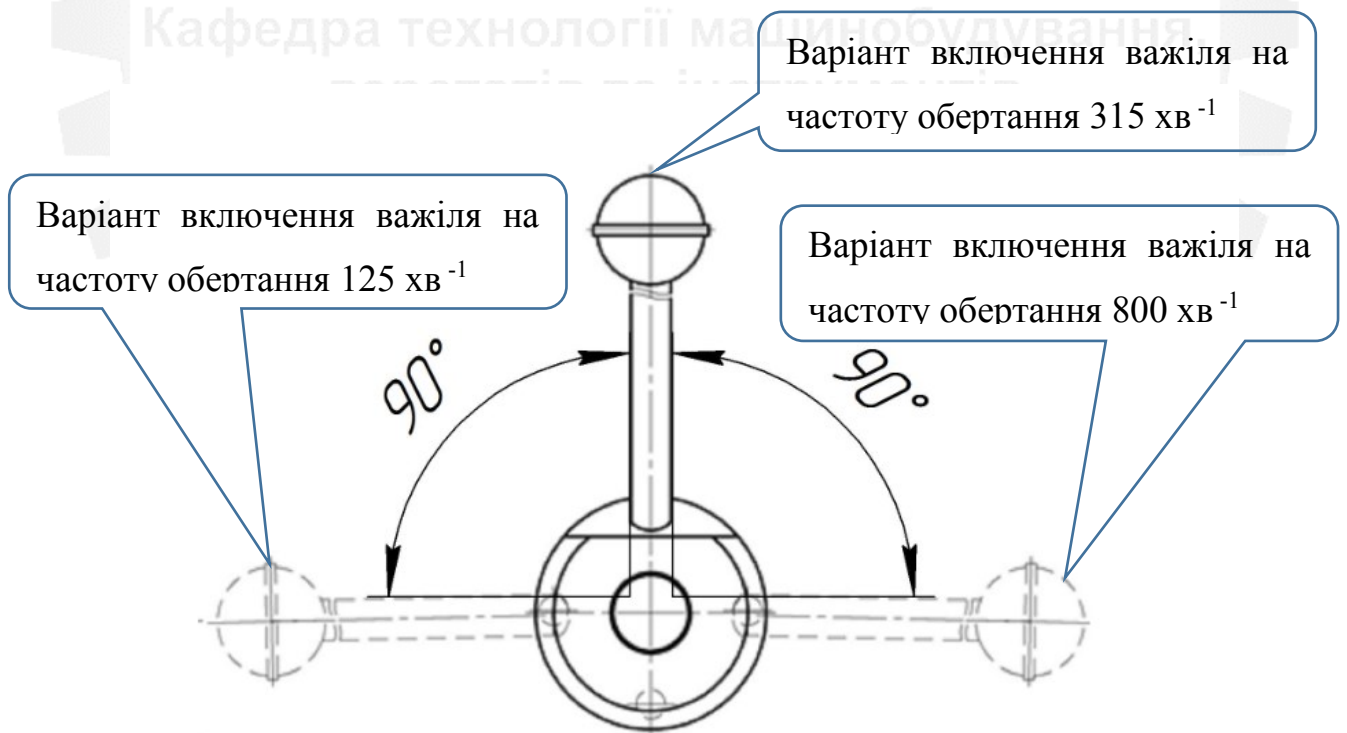


Рисунок 3.5 – Положення важеля для блоків з трьома зубчастими колесами

На рисунку 3.6 представлено згортку модернізованої коробки швидкостей привода головного

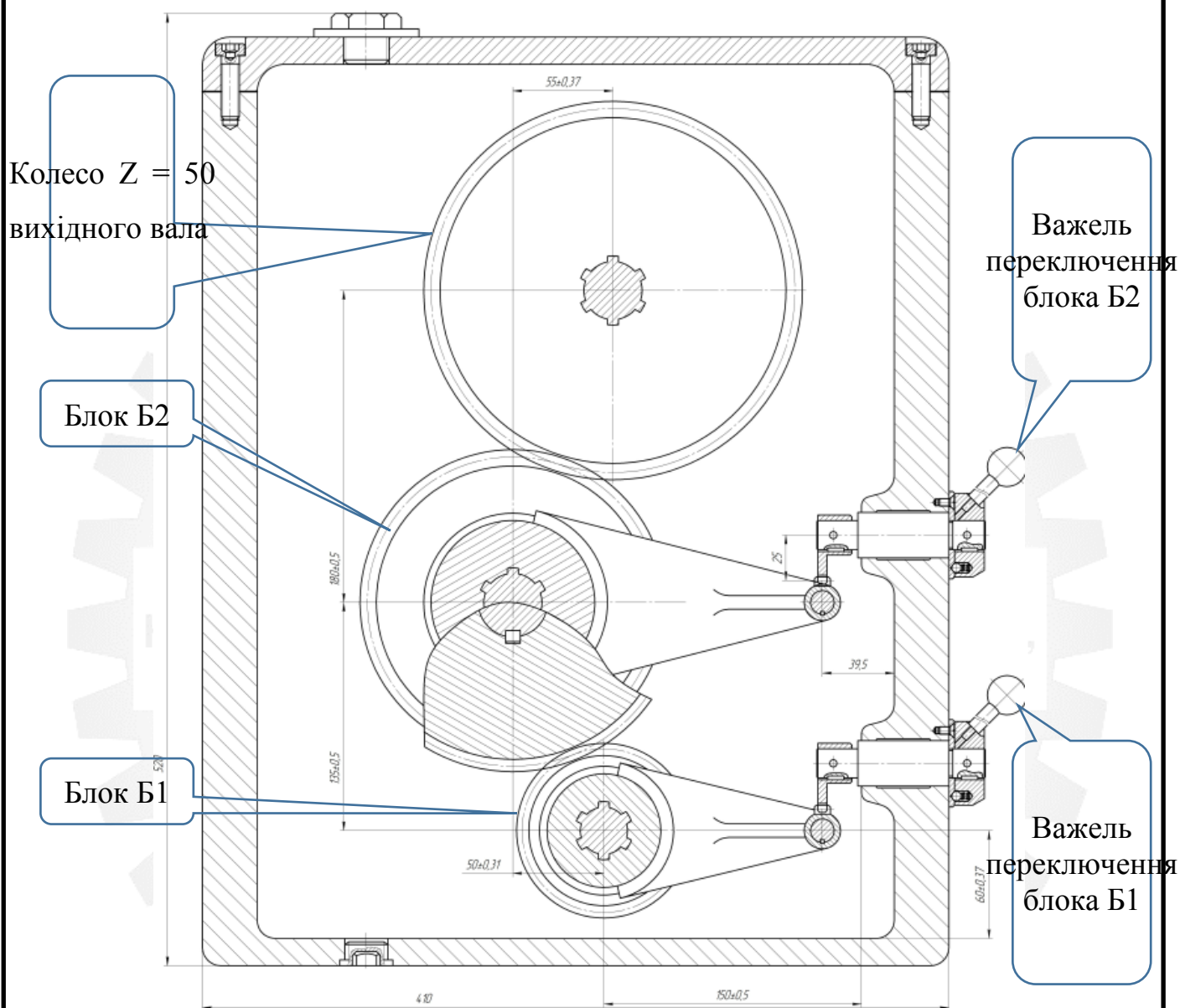


Рисунок 3.6 – Згортка коробки швидкостей

3.4 Варіант конструкції коробки швидкостей на електромагнітних муфтах

При конструюванні коробки швидкостей, в сучасному верстатобудуванні віддають перевагу автоматизації. Тому нами було розроблено варіант коробки швидкостей на електромуфтах, що дає

									Лист
									44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

КРБ ВІ-16510041-ПЗ

можливість автоматизації приводу головного руху зубофрезерного верстата.

Варіант конструкції коробки швидкостей з автоматичним механізмом перемикання частот обертання на електромуфтах представлено на рисунку 3.7.

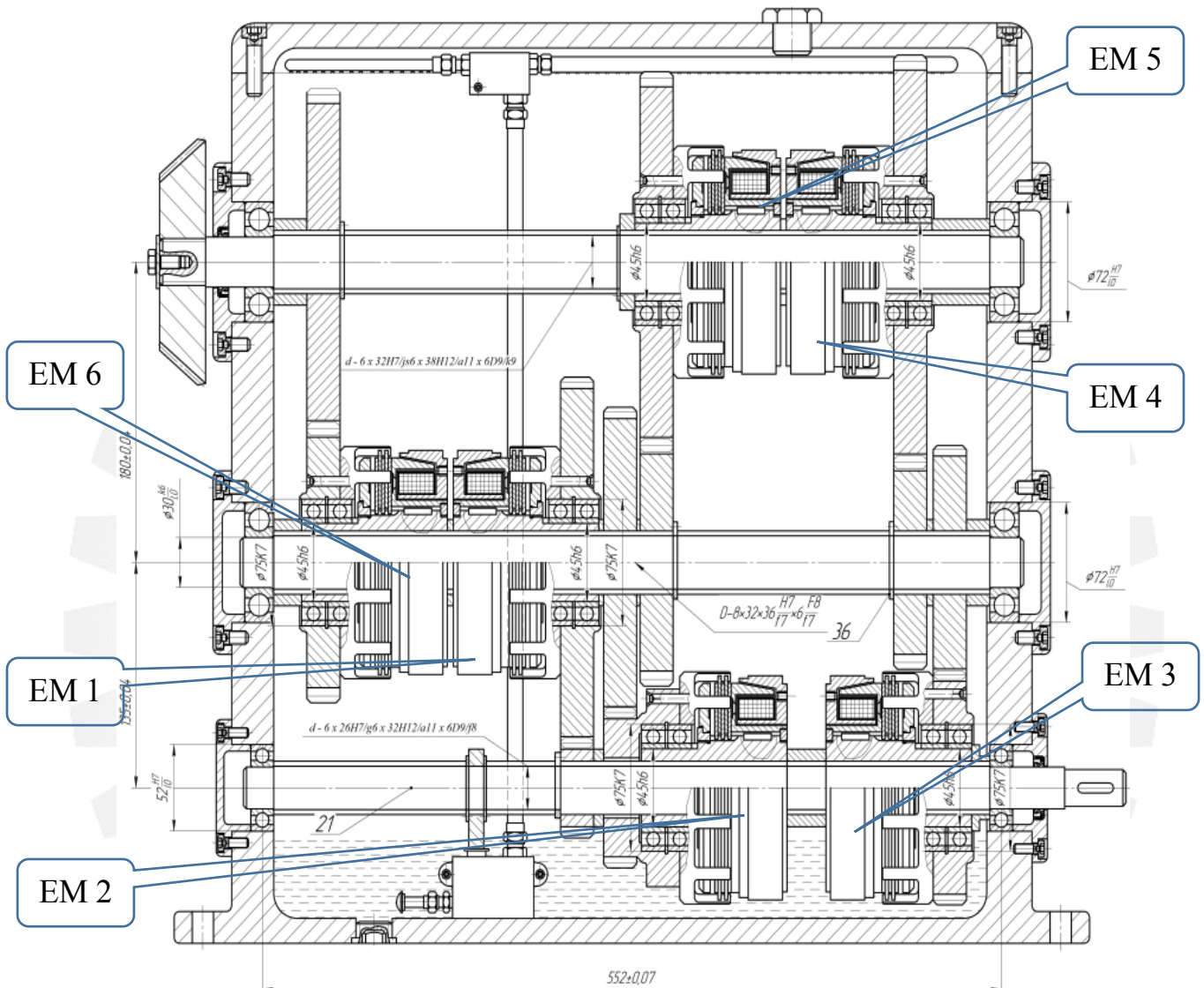


Рисунок 3.7 – Конструкція коробки швидкостей на електромуфтах

3.4.1 Органи управління коробки швидкостей з електромуфтами

Робочим органом автоматичного перключення є електромагнітна муфта зображена на рисунку 3.8. Принцип дії полягає в тому що при подачі струму на обмотку котушок електо муфти утворюється магнітне поле яке притискає фрикційні диски в наслідок чого крутний момент з валу передається до зубчастого колеса.

						КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			45

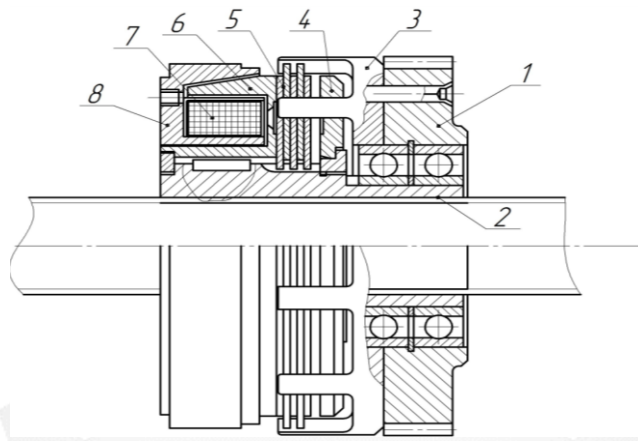


Рисунок 3.8 – Електромагнітна муфта Е1М 4

Для автоматизації управління такою коробкою розроблений пульт управління.

На рисунку 3.9 зображено пульт управління зубофрезерним верстатом з модернізованим приводом головного руху на електромуфтах. Позицією 1 позначено кнопку пуску гідросистеми верста, нижче позиція 2 служить для заального стопу. Наступна пара кнопок 3 та 4 служать для включення та виключення відповідно головного приводу. Перемикач 5 має 10 позицій, кожна з яких відповідає за свою частоту обертання приводу головного руху, в наслідок вибору тієї чи іншої частоти обертання включаються та виключаються певні електромагнітні муфти в коробці швидкостей головного приводу верстата.

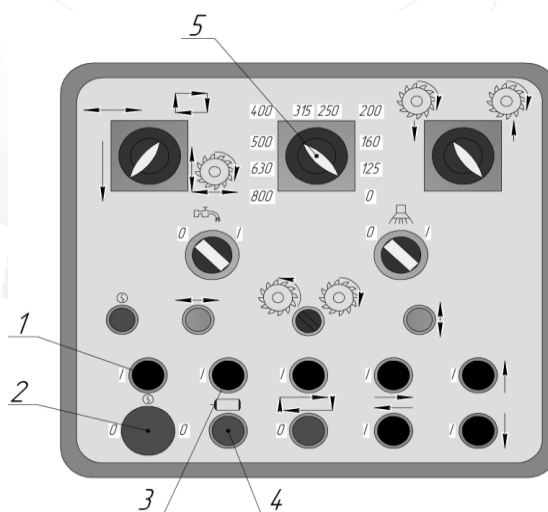


Рисунок 3.9 – Модернізований пульт управління зубофрезерного верстата з модернізованим приводом головного руху

4 КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ

4.1 Обґрунтування необхідності розробки верстатного пристрою

На зубофрезерній операції виконується нарізання зубчастого профілю деталі типу «Вінець черв'ячного колеса» (рис 4.1).

За завданням для виконання даної операції потрібно використати пневматичний привід.

Використання пневмопривода дозволить:

- збільшити продуктивність роботи;
- зменшити допоміжний час;
- зменшити трудомісткість роботи;
- швидкість дії та простоту в управлінні;
- забезпечити необхідне зусилля затиску;
- збільшити стабільність параметрів по точності виконання операції.

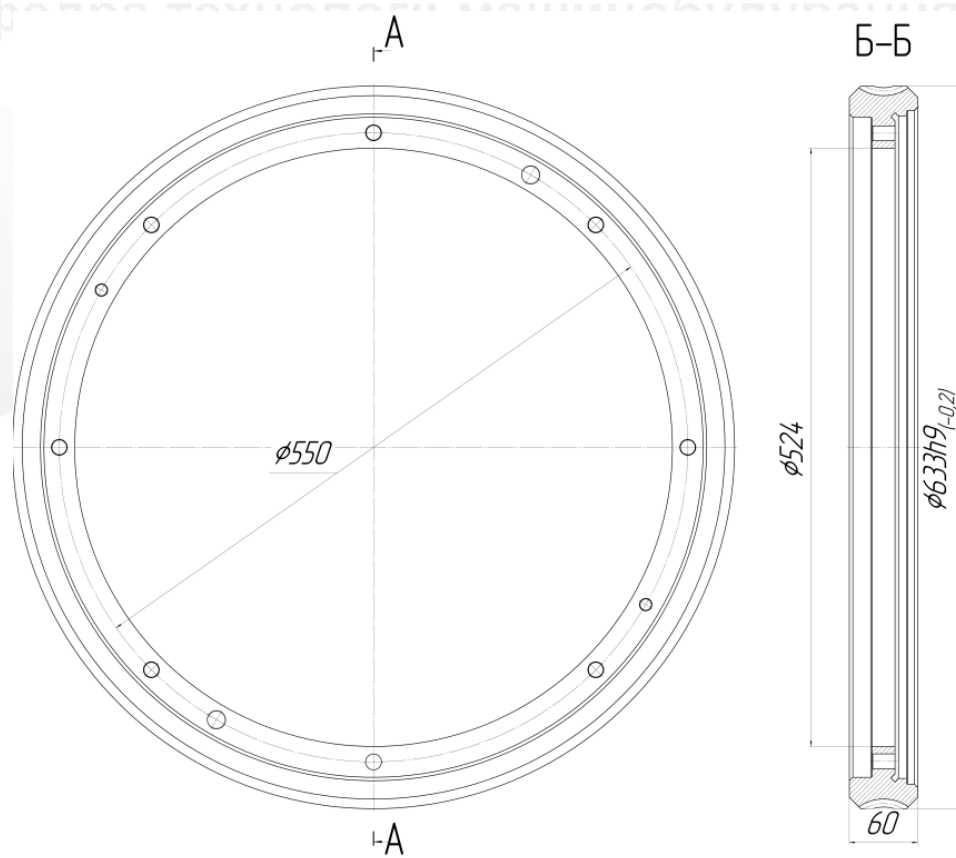


Рисунок 4.1 – Ескіз деталі типу «Вінець червячного колеса»

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

4.2 Розробка та обґрунтування схеми базування

Із усього комплексу поверхонь, що утворюють заготовку, на базову поверхню може претендувати циліндричний отвір $\varnothing 524$. На її користь свідчить те що застосування цієї поверхні як базової не перешкоджає доступу інструменту для оброблюваної поверхні.

Циліндрична поверхня $\varnothing 524$, будучи прийнятою в якості базової, позбавляє заготовку двох ступенів свободи, тобто являються подвійною опорною базою. Вона забезпечує паралельність зубів до осі центрального отвору (осі заготовки).

У якості установчої бази беремо торець деталі $\varnothing 580^{+0,06}$, вона позбавляє заготовку трьох ступенів свободи.

Дана схема базування позбавляє заготовку п'яти ступенів вільності і показана на рисунку 4.2.

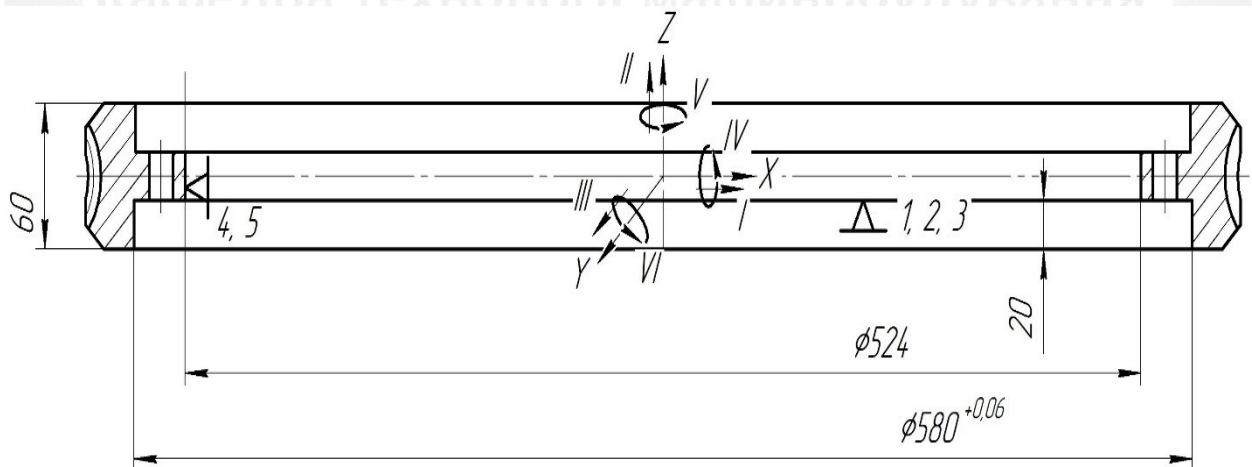


Рисунок 4.2 – Схема базування

Таблиця 4.1 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Назви баз
1, 2, 3	III, IV, V	Установча база
4,5	I, II	Подвійна опорна база
6	VI	Вакансія

4.3 Побудова функціональної структури верстатного пристрою та функціональна структура пристрою

З набору функцій, що наведені в пункті 5, виділимо ті, які реалізуються на протязі оперативного часу: 0, 1, 2, 5, 6, 7. Функції 3, 4 впливають на підготовчо-заклучний час; функції 8, 10 прямого впливу на штучний час не здійснює. Схема послідовної реалізації функцій показана на рисунку 4.3.

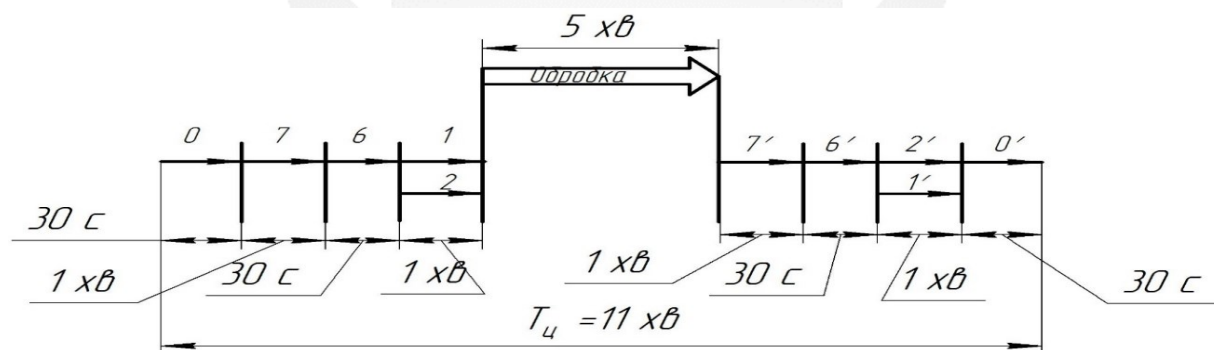


Рисунок 4.3 – Схема послідовної реалізації функцій

Функціональна структура пристрою представлена на рисунку 4.4

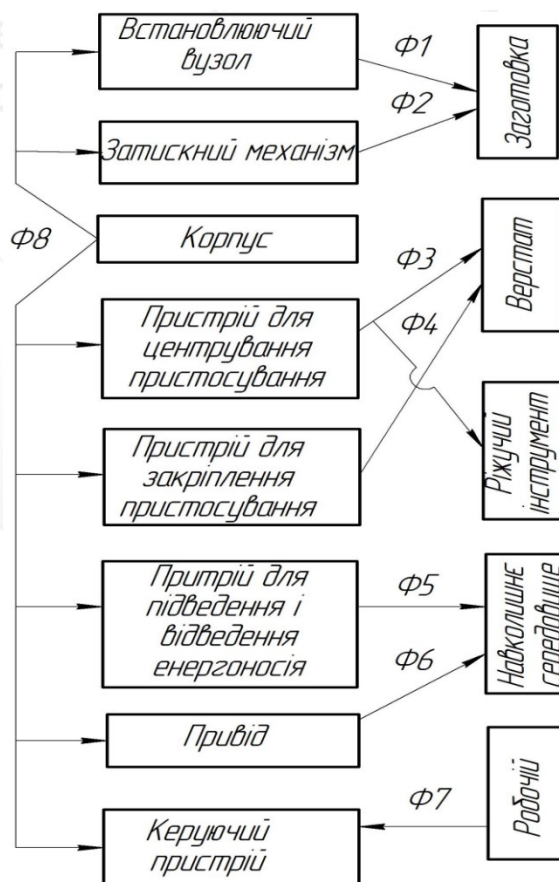


Рисунок 4.4 – Функціональна структура проектованого пристрою

4.4 Розрахунок сил закріплення

Визначаємо крутний момент, діючий під час зубофрезерування по формулі 4.1:

$$M_{кр} = C_m \cdot s^{0,9} \cdot t^{0,4} \cdot m, \quad (4.1)$$

де $C_m = 4$ – коефіцієнт що враховує умови обробки;

$s = 3$ мм/об – радіальна подача при зубофрезеруванні;

$t = 7$ мм – глибина різання;

$m = 3,25$ мм – модуль зубчастого колеса.

$$M_{кр} = 4 \cdot 3^{0,9} \cdot 7^{0,4} \cdot 3,2 = 76 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Необхідне зусилля при умові не провороту заготовки знайдемо:

$$W = \frac{1,33 \cdot K \cdot L \cdot M_{кр}}{f \cdot D}, \quad (4.2)$$

де W – сила затискання;

$D = 0,633$ м – діаметр закріплення заготовки;

$L = 0,02$ виліт заготовки;

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

$K = 2,7$ – коефіцієнт запасу, залежить від умов обробки (формула 4.3).

$$K = K^0 \cdot K^1 \cdot K^2 \cdot K^3 \cdot K^4 \cdot K^5 \cdot K^6, \quad (4.3)$$

де $K_0 = 1,5$ – 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;

Підставимо числа в формулу 4.3:

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1 = 3,33$$

Приймаємо значення $K = 3,4$;

Знайдемо силу, яку необхідно прикласти до заготовки підставивши числа в формулу 4.2:

$$W = \frac{1,33 \cdot 3,4 \cdot 0,02 \cdot 76 \cdot 10^3}{0,633 \cdot 0,2} = 5429 \text{ Н}$$

Так як в конструкції патрона три кулака та коромисло плечі якого складають $100/50 = 2$ то силу закріплення на штоці необхідно зменшити в 6 разів з урахуванням ККД патрона (сили тертя механізму переміщення кулачків, $\eta=0,9$), тобто $\frac{5429}{0,9 \cdot 6} = 1005 \text{ Н}$

4.5 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 виконувалась наступна умова:

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

Розрахуємо $[\sigma]_p$ за формулою 6.4:

$$[\sigma]_p = 0,6 \cdot \sigma_T, \quad (4.4)$$

де $\sigma_T = 300 \text{ МПа}$ – границя текучості сталі 40.

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

σ_p розраховується по формулі 4.5:

$$\sigma_p = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (4.5)$$

де $d = 16 \text{ мм}$ – діаметр штока;

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

Підставимо значення в формулу 4.5:

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

									Лист
									51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

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

4.6 Обґрунтування вибору привода

Затиск заготовки виконується при подачі зтиснутого повітря в штокову порожнину пневмокамери двосторонньої дії. При цьому максимальна сила на штоку розраховується по формулі 4.6 (для вихідного положення штока):

$$Q = \frac{\pi}{16} [(D + d)^2 - d_1^2] p \quad (4.6)$$

де D – діаметр діафрагми усередині пневмокамери, см;

d – діаметр опорного диска діафрагми, см;

d_1 – діаметр штока, см;

$p = 4 \text{ кгс/см}^2 \approx 39,2 \text{ Н/см}^2$ – тиск стиснутого повітря.

Діаметр опорного диска діафрагми визначається по формулі 4.7

$$d = D - 2h - (2 \div 4) \text{ мм} \quad (4.7)$$

де $h = 4-8 \text{ мм}$ – товщина діафрагми (приймаю $h = 7 \text{ мм}$).

Тоді:

$$d = D - 2 \cdot 7 - 3 = D - 17 (\text{мм}) = D - 1,7 (\text{см}).$$

Діаметр штока дорівнює:

$$d_1 = (0,08 \div 0,12) D$$

Приймаю значення $d_1 = 0,1D$.

Підставляючи співвідношення по попереднім формулам, маємо наступне вираження:

$$Q = 0,196 \cdot p \cdot [(2D - 1,7)^2 - (0,1D)^2]$$

Урахувавши те, що необхідна сила затиску дорівнює $Q = 1005 \text{ Н}$, а тиск стисненого повітря $p = 39,2 \text{ Н/см}^2$, маємо:

$$1005 = 0,196 \cdot 39,2 \cdot (4D^2 - 2 \cdot 2D \cdot 1,7 + 1,7^2 - 0,1D^2)$$

Вирішуємо квадратне рівняння:

$$153,6 \cdot D^2 - 78,8 \cdot D - 1185 = 0,$$

$$D = 78,8^2 + 4 \cdot 153,5 \cdot 1185 \approx 855^2 > 0,$$

$$D_1 = \frac{153,6 - 1185}{2 \cdot 78,8} < 0,$$

$$D_2 = \frac{153,6 + 1185}{2 \cdot 78,8} = 8,5 \text{ см.}$$

Приймаю стандартне значення діаметра пневмокамери $D = 125$ мм. Тоді діаметр опорного диска рівний: $d = 125 - 2 \cdot 7 - 3 = 108$ (мм). Приймаю $d = 110$ мм. А діаметр штока: $d_1 = 0,1 \cdot 125 = 12,5$ (мм).

Сила на штоку в його початковому положенні визначається по формулі 4.6:

$$Q = \frac{3,14}{16} [(125 + 110)^2 - 12,5^2] \cdot 39,2 \approx 6230 \text{ Н}$$

Дана сила перевищує необхідну силу затиску заготовки, а, отже, пристрій забезпечує фіксоване положення при обробці.

Оптимальна довжина ходу штока пневмокамери визначається по формулі:

$$l = \frac{L}{2} = (0,17 \div 0,22)D$$

Тоді, приймаю значення $l = 0,2D$, маємо: $l = 0,2 \times 125 = 25$ (мм).

4.7 Точнісні розрахунки пристрою

Від точності пристрою, безпосередньо биття його установчих поверхонь, буде залежати отримання необхідної точності оброблюваних поверхонь, розглянемо допуск радіального биття, котрий складає 2 мкм (знайдений раніше). Розрахуємо охибку пристрою за формулою 4.8:

$$E_{\text{пр}} \leq T - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot E_6)^2 + E_3^2 + E_y^2 + E_{\Pi}^2 + E_{\text{ИС}}^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + E_{\text{поз}}^2}, \quad (4.8)$$

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;

										Лист
										53
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

$E_6 = 0$ мкм – похибка базування;

$E_3 = 0$ мкм – похибка закріплення, виникає в результаті зсуву оброблюваних поверхонь заготовок від дії затискної сили (не збігається напрям сили закріплення до допуску розміру, що вимірюється);

$E_y = 0$ мкм – похибка установки пристрою на верстаті;

$E_{II} = 0$ мкм – похибка перекосу інструмента;

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

$\omega = 60$ мкм – середня економічна точність обробки;

$E_{Поз} = 0$ мкм - похибка позиціювання інструмента;

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

$$E_{И} = \beta \cdot N = 0,002 \cdot 1500 = 3 \text{ мкм.}$$

Тоді похибка пристрою складе:

$$E_{пр} = 2 - 1,2 \sqrt{(0 \cdot 0,8)^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 2^2 + (0,6 \cdot 60)^2 + 0^2} = 41 \text{ мкм}$$

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.

4.8 Конструкція пристрою та принцип його роботи

Пневматичний патрон (рисунок 4.4) встановлюється на столі зубофрезерного верста.

Патрон має кулачки 3, які закріплені за допомогою гвинтів 18.

Заготовку-колесо встановлюють на кулачки та розжимають їх. Закріплення заготовки відбувається подачею робочого повітря в нижню порожнину пневмокамери через пневморозподільник 3, при цьому шток 12 рухається вгору 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.

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

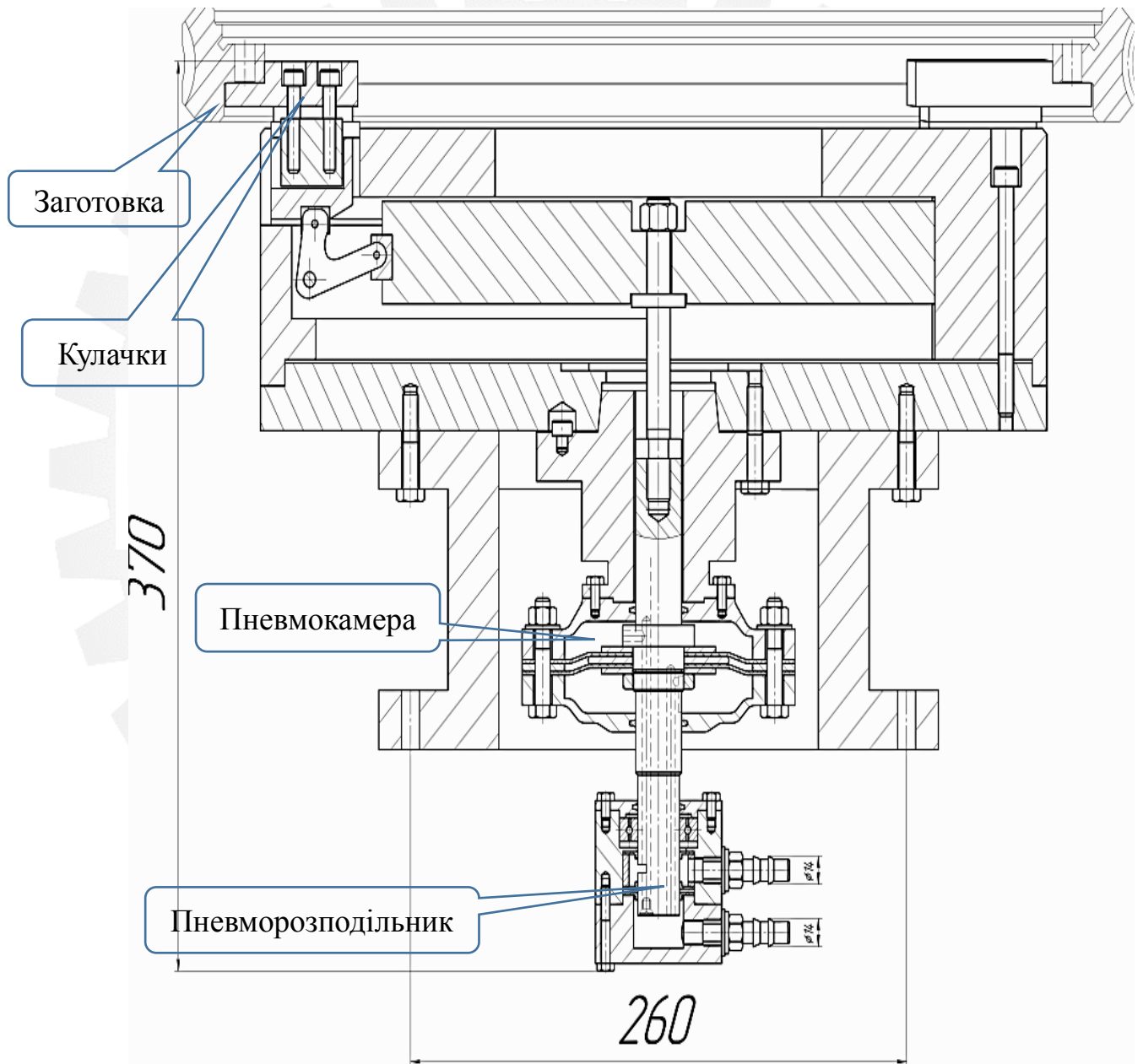


Рисунок 4.4 – Верстатний пристрій

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ ВІ-16510041-ПЗ

Лист

55

5 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЧЕРВ'ЯЧНОГО КОЛЕСА

5.1 Розроблення опису маршрутного технологічного процесу обробки деталі черв'ячне колесо

Вінці черв'ячних коліс для зубообробних верстатів виготовляють із бронзи марок Бр.ОЦС 6-6-3 і Бр.ОФ-10-0,5 при колових швидкостях до 2,6 і 10 м/с відповідно. Для особливо точних передач, навіть працюючи при малих колових швидкостях виготовляють із високоякісної бронзи Бр.ОФ-10-0,5.

Вінець черв'ячного колеса, обробку якого розглянуто в даній роботі виготовляється з бронзи марки Бр. ОЦС-6-6-3. Вінець має 192 зуба, модуль – 3,25 та має вугол профіля 15° . Направлення лінії зуба – праве. Ступінь точності вінця – 5 ГОСТ 3675-81. Діаметр початкової окружності вінця – 312 мм.

5.1.1 Технологічний маршрут механічної обробки черв'ячного колеса

Складаю маршрутну технологію обробки:

005 Токарно-карусельна.

На даній операції відбувається чорнове точіння зовнішньої та внутрішніх поверхонь та зняття фасок.

010 Токарно-карусельна.

На даній операції відбувається чистове точіння поверхні $\varnothing 633$ мм, розточування внутрішньої поверхні $\varnothing 524$ мм та $\varnothing 578$ мм з підрізанням торців.

015 Токарно-карусельна.

На даній операції відбувається напівчистове точіння поверхні $\varnothing 633$ мм, розточування поверхні $\varnothing 580$ мм із підрізання торців на цих діаметрах та зняття фасок.

020 Токарно-карусельна.

На даній операції відбувається чистове точіння поверхні $\varnothing 633$ мм, розточування поверхні $\varnothing 580$ мм із підрізання торців на цих діаметрах та зняття фасок.

						КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			56

025 Свердлильна.

На даній операції виконується свердління та зенкування кріпильних отворів. Також на даній операції відбувається нарізання різі М16 в двох отворах

030 Зубофрезерна.

На даній операції відбувається чорнове фрезерування канавки радіусом 31 мм та попереднє нарізання зубців.

035 Слюсарна.

На даній операції відбувається спилування гострих кромок по всьому контуру деталі.

040 Слюсарна.

На даній операції відбувається складання обробленої деталі із столом верстата на який виготовляється ця деталь.

045 Зубофрезерна.

На даній операції відбувається шевінгування зубців вінця .

050 Контрольна.

На даній операції відбувається контроль всіх розмірів.

5.1.2 Підбір верстатів

005 Токарно-карусельна.

Токарно-карусельний верстат моделі ВЛ-1000 АТС.

010 Токарно-карусельна.

Токарно-карусельний верстат моделі ВЛ-1000 АТС.

015 Токарно-карусельна.

Токарно-карусельний верстат моделі ВЛ-1000 АТС.

020 Токарно-карусельна.

Токарно-карусельний верстат моделі ВЛ-1000 АТС.

025 Свердлильна.

Вертикально-свердлильний верстат моделі 2Р135Ф2.

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

030 Зубофрезерна.

Зубофрезерний верстат моделі 5К32.

045 Зубофрезерна.

Зубофрезерний верстат моделі 5К32.

5.1.3 Підбір ріжучого та вимірювального інструменту

005 Токарно-карусельна.

Точіння зовнішньої поверхні: Державка - SCLCR 2020K09JET, пластина - CCMT 160508-F2

Розточування та підрізання внутрішньої поверхні: Державка - C4-SCLCR -11070-09, пластина - CCMT 160508-F2.

010 Токарно-карусельна.

Точіння зовнішньої поверхні: Державка - SCLCR 2020K09JET, пластина - CCMT 160508-F2

Розточування та підрізання внутрішньої поверхні: Державка - C4-SCLCR -11070-09, пластина - CCMT 160508-F2.

015 Токарно-карусельна.

Точіння зовнішньої поверхні: Державка - SCLCR 2020K09JET, пластина - CCMT 160508-F2

Розточування та підрізання внутрішньої поверхні: Державка - C4-SCLCR -11070-09, пластина - CCMT 160508-F2.

020 Токарно-карусельна.

Точіння зовнішньої поверхні: Державка - SCLCR 2020K09JET, пластина - CCMT 160508-F2

Розточування та підрізання внутрішньої поверхні: Державка - C4-SCLCR -11070-09, пластина - CCMT 160508-F2.

025 Свердлильна.

Свердло для Ø10 мм - SD1103-1000-035-10R1

Свердло для Ø13 мм - SD1103-1300-043-14R1

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

Свердло для отвору під різь M16 - SD1103-1450-045-16R1
Зенковка - C280616F000S.
Мітчик для різі M16 - MTH- M16X2.00ISO6H-BC-S020.
030 Зубофрезерна.
Фреза циліндрична - 2200-0101 T15K6 ГОСТ 8721-69
Фреза черв'ячна – 2510-4167 P18 ГОСТ 9324-80
045 Зубофрезерна.
Черв'ячний шевер.
005 Токарно-карусельна.
Штангенциркуль ШЦ-II-250-800-0,05 ГОСТ 166-89.
010 Токарно-карусельна.
Штангенциркуль ШЦ-II-250-800-0,05 ГОСТ 166-89.
015 Токарно-карусельна.
Штангенциркуль ШЦ-II-250-800-0,05 ГОСТ 166-89.
020 Токарно-карусельна.
Штангенциркуль ШЦ-II-250-800-0,05 ГОСТ 166-89.
025 Свердлильна.
Штангенциркуль ШЦ-II-250-800-0,05 ГОСТ 166-89, угломір типу 2-2 ГОСТ 5378 -88, різьбовий калібр.
030 Зубофрезерна.
Штангензубомір 1-26 0,02 ГОСТ 1643-81, профілограф.
035 Зубофрезерна.
Штангензубомір 1-26 0,02 ГОСТ 1643-81, профілограф.
050 Контрольна.
Штангензубомір 1-26 0,02 ГОСТ 1643-81, Штангенциркуль ШЦ-II-250-800-0,05 ГОСТ 166-89, крокомір.

5.1.4 Обладнання

005 Токарно-карусельна.

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

Кулачки які встановлені в Т-подібні пази планшайби верстата.

010 Токарно-карусельна.

Кулачки які встановлені в Т-подібні пази планшайби верстата.

015 Токарно-карусельна.

Кулачки які встановлені в Т-подібні пази планшайби верстата.

020 Токарно-карусельна.

Кулачки які встановлені в Т-подібні пази планшайби верстата.

025 Свердлильна.

Набір затискних присторів.

030 Зубофрезерна.

Циліндрична оправка для встановлення черв'ячного вінця

035 Слюсарна.

Слюсарний стіл, напильник.

045 Зубофрезерна.

Циліндрична оправка для встановлення складеного столу з вінцем черв'ячного колеса.

5.2 Розроблення 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 025 – Свердлильну.

Дана операція виконується на вертикально-свердлильному станку 2P135Ф2 з ЧПУ. Його технічні характеристики повністю задовольняють умовам обробки нашої деталі, а саме габаритним розмірам та масі.

На даній операції виконується обробка кріпильних отворів $\varnothing 10$, $\varnothing 13$ та під різь М16 і зенкування отриманих отворів.

Закріплення відбувається завдяки набору прихватів які встановлюються в Т-подібні пази столу верстата. Обробка виконується за один установ. Схема

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

закріплення та обробки зображена на рисунку 5.1.

Ріжучий інструмент на даній операції:

- Свердло $\varnothing 10$ - SD1103-1000-035-10R1
- Свердло для $\varnothing 13$ мм - SD1103-1300-043-14R1
- Свердло для отвору під різь M16 - SD1103-1450-045-16R1
- Зенковка - C280616F000S.
- Мітчик для різі M16 - MTH- M16X2.00ISO6H-BC-S020.

Пристрій: прихоп 7011-0097 ГОСТ 12938-67.

Для контролю розмірів на операції достатньо застосувати: штангенциркуль ШЦ-II-250-800-0,05 ГОСТ 166-89, угломір типу 2-2 ГОСТ 5378 -88, різьбовий калібр.

Режими різання на операції:

- Свердло $\varnothing 10$ - SD1103-1000-035-10R1, глибина різання $t=5$ мм, подача $S=0,1$ мм/об, швидкість різання $V=16$ м/хв, частота обертання шпинделя при цьому складе 500 об/хв, кількість проходів 1.
- Свердло $\varnothing 13$ мм - SD1103-1300-043-14R1, глибина різання $t=6,5$ мм, подача $S=0,1$ мм/об, швидкість різання $V=16$ м/хв, частота обертання шпинделя при цьому складе 400 об/хв, кількість проходів 1.
- Свердло для отвору під різь M16 - SD1103-1450-045-16R1, глибина різання $t=7,45$ мм, подача $S=0,07$ мм/об, швидкість різання $V=15$ м/хв, частота обертання шпинделя при цьому складе 315 об/хв, кількість проходів 1.
- Зенковка - C280616F000S , швидкість різання $V=15$ м/хв, частота обертання шпинделя при цьому складе 315 об/хв, кількість проходів 1.
- Для мітчика - MTH- M16X2.00ISO6H-BC-S020 глибина різання $t=0,55$ мм, подача $S=0,1$ мм/об, швидкість різання $V=16$ м/хв, частота обертання шпинделя при цьому складе 315 об/хв, що відповідає паспорту верстата; кількість проходів 1.

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

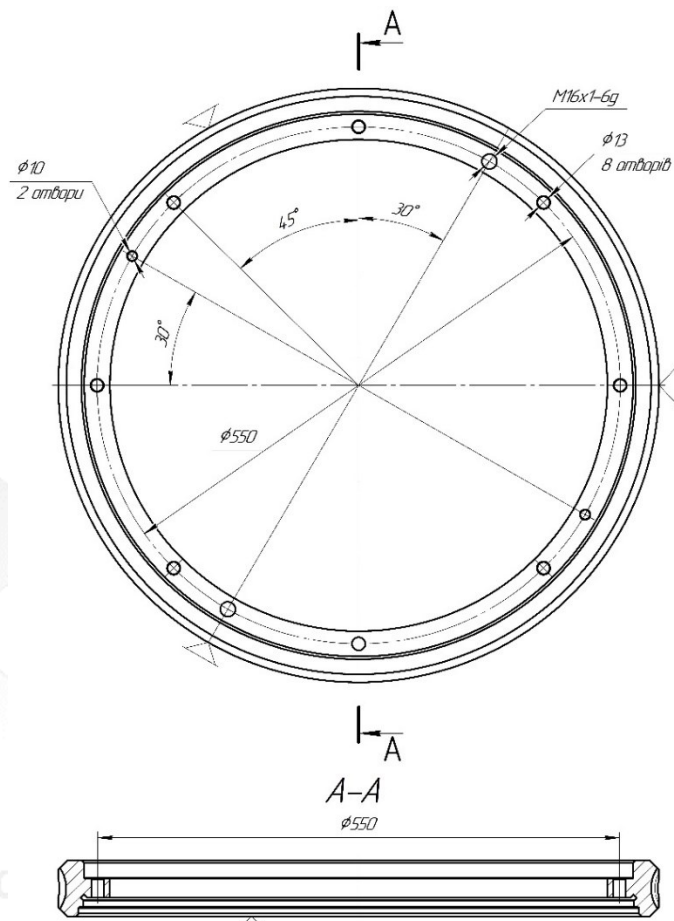


Рисунок 5.1 – Операційний ескіз 025 операції
Розглянемо операцію 010 – Токарно-карусельна.

Дана операція виконується на токарно-карусельному верстаті моделі ВЛ-1000 АТС. Його технічні характеристики повністю задовольняють умовам обробки нашої деталі, а саме габаритним розмірам та масі.

На даній операції відбувається чистове точіння поверхні $\varnothing 633$ мм, розточування внутрішньої поверхні $\varnothing 524$ мм та $\varnothing 578$ мм з підрізанням торців.

Деталь закріплюється в кулачки які встановлені в Т-подібні пази планшайби верстата. Обробка виконується за 1 установ. Операційний ескіз зі схемою базування приведено на рис. 5.2.

						КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			62

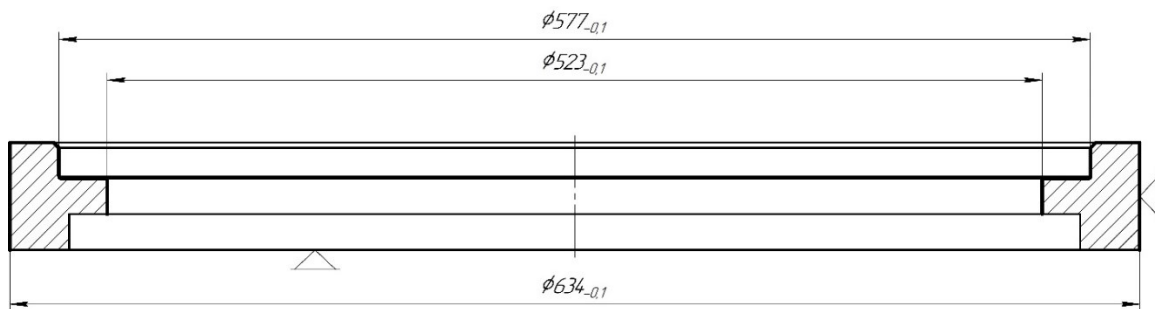


Рисунок 5.2 – Операційний ескіз 010 операції

Різальний інструмент на операції:

Точіння зовнішньої поверхні: Державка - SCLCR 2020K09JET, пластина - CCMT 160508-F2

Розточування та підрізання внутрішньої поверхні: Державка - C4-SCLCR -11070-09, пластина - CCMT 160508-F2.

Для контролю розмірів на операції достатньо застосувати штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-800-0,05 ГОСТ 166-89.

Режими різання на операції:

- для точіння: глибина різання $t = 2$ мм, подача $S=0,2$ мм/об, швидкість різання $V=125$ м/хв, частота обертання шпинделя при цьому складе 63 об/хв, що відповідає паспорту верстата; кількість проходів 2.

- для розточування: глибина різання $t=2$ мм, подача $S=0,2$ мм/об, швидкість різання $V = 104$ м/хв, частота обертання шпинделя при цьому складе 63 об/хв, що відповідає паспорту верстата; кількість проходів 2.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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. Кочергин А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование : учеб. пос. / А. И. Кочергин. – Минск : Вышэйшая школа, 1991. – 382 с.
5. 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. : ил.
6. Орликов М. Л. Металлорежущие станки. Курсовое и дипломное проектирование : учеб. пос. / М. Л. Орликов. – К. : Вища школа, 1987. – 152 с.
7. Кузьмин А. В. и др. Расчеты деталей машин : справ. пос. / А. В. Кузьмин и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск : Высш. шк., 1986. – 400 с.
8. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи “ Кінематичний розрахунок привода металорізальних верстатів ” /Укладач М.М.Коротун. – Суми: Вид – во СумДУ, 2009. – 23 с.
9. 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
10. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений / В.С. Корсаков. - М.: Машиностроение, 1983.

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

11. Проектирование станочных приспособлений: Учебное пособие для учащихся техникумов. – 3-е издание., перераб. и доп.– М.: Высш. Школа, 1980. – 240 с., ил.

13. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машностроения – Мн.: Выш. Школа, 1983.

14. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка”/Укладач П.В. Кушніров. – Суми: Вид-во Сум ДУ, 2009. – Ч.1. – 52с.

15. 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.

16. Materials and processing in manufacturing. Tenth edition. / J T. Black, Ronald A. Kohser: John Wiley & Sons, Inc, 2008 – 1000 p.

17. Metal cutting theory and practice manufacturing engineering and materials processing. / CRC Press 1997 – 914 p.

Сумський державний університет
кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

					КРБ ВІ-16510041-ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

