

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

навчально-науковий  
механіко-машинобудівний інститут  
кафедра "Конструювання машин"

До захисту допущено:

завідувач кафедри

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**зі спеціальності 131 Прикладна механіка**

**на тему: «Шпindelний вузол фрезерного верстату з ЧПК»**

Виконав студент групи

IV курсу, групи МВ-02

Супруненко Євгеній Олександрович

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Керівник проєкту

к. т. н, доцент Даниленко О. В.

(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

КОНСУЛЬТАНТИ:

Даниленко О. В.

Вербі І. І.

РЕЦЕНЗЕНТ:

(посада, наукова ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ - 2024

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

| № з/п | Формат | Позначення               | Найменування                           | Кількість листів | Примітка |
|-------|--------|--------------------------|----------------------------------------|------------------|----------|
| 1     | A4     |                          | Завдання на дипломний проект бакалавра | 2                |          |
| 2     | A4     |                          | Пояснювальна записка                   | 57               |          |
| 3     | A1     | ДПБ.МВ-0216.000.00.01.КЗ | Додаток 1                              | 1                |          |
| 4     | A1     | ДПБ.МВ-0216.000.00.02.СК | Додаток 2                              | 1                |          |
| 5     | A1     | ДПБ.МВ-0216.000.00.03.СК | Додаток 3                              | 1                |          |
| 6     | A0     | ДПБ.МВ-0216.000.00.04    | Додаток 4                              | 1                |          |
| 7     | A1     | ДПБ.МВ-0216.000.00.05    | Додаток 5                              | 1                |          |
| 8     | A1     | ДПБ.МВ-0216.000.00.06    | Додаток 6                              | 1                |          |
|       |        |                          |                                        |                  |          |
|       |        |                          |                                        |                  |          |
|       |        |                          |                                        |                  |          |

|                 |                         |               |             |                                             |                                                           |               |
|-----------------|-------------------------|---------------|-------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------|
|                 |                         |               |             | <i>ДПБ.МВ-0216.000.00.00.ВДП</i>            |                                                           |               |
|                 | <i>ПІБ</i>              | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                                             |                                                           |               |
| <i>Розроб.</i>  | <i>Супруненко Є. О.</i> |               |             | <i>Відомість<br/>дипломного<br/>проекту</i> | <i>Лист</i>                                               | <i>Листів</i> |
| <i>Керівн.</i>  | <i>Даниленко О. В.</i>  |               |             |                                             | <i>1</i>                                                  | <i>1</i>      |
| <i>Н/контр.</i> |                         |               |             |                                             | <i>"КПІ ім. Ігоря<br/>Сікорського",<br/>НН ММІ, МВ-02</i> |               |
| <i>Зав.каф.</i> |                         |               |             |                                             |                                                           |               |
|                 |                         |               |             |                                             |                                                           |               |

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий «Механіко-машинобудівний інститут»  
(повна назва)

Кафедра «Конструювання машин»  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 131 «Прикладна механіка»  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      (ініціали, прізвище)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
на дипломний проект**

Студент Супруненко Євгеній Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Шпиндельний вузол фрезерного верстату з ЧПК»  
керівник проекту Даниленко Олександр Васильович, канд. техн. наук, доцент.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проекту (роботи) «12» червня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): базовий верстат – вертикально-фрезерний консольний верстат з ЧПК мод. ГФ2171С5: технічна характеристика, опис технологічних можливостей та конструктивних особливостей. Мета: визначення можливості пристосування верстату, який обрано в якості базового, для здійснення потрібного обсягу операцій і заміни ним сучаснішого верстату Маho MH 500 W3, який застосовують у реальних виробничих умовах.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити): опис верстату МАХО та його застосування на заводі (фото), постановка задачі. Опис, технічні характеристики та конструктивні особливості верстата мод. ГФ2171С5 (базовий верстат). Інформаційне дослідження верстатів-аналогів: технічні характеристики, конструктивні особливості. Вибір варіанту реалізації та кінематичний розрахунок приводу головного руху. Вибір компоновки опор шпиндельного вузла, розрахунок

шпинделя модернізованого верстата в середовищі Autodesk Inventor. Висновки та рекомендації.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): 1. Кінематична схема. 2. Коробка швидкостей. 3. Шпиндельний вузол 4. Шпиндель креслення 5. Розрахунок шпинделя в середовищі Autodesk Inventor. 6. Інформаційне дослідження верстатів-аналогів (плакат).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        | Даниленко Олександр Васильович            |                |                  |
|        | Верба Ірина Іванівна                      |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання 30.04.2024 року.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту(роботи)                                                                     | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Опис верстату МАНО та його застосування на заводі. Постановка задачі                                                  | 30.04 – 04.05                           | вик      |
| 2     | Опис, технічні характеристики та конструктивні особливості верстата мод. ГФ2171С5(базовий)                            | 06.05 – 11.05                           | вик      |
| 3     | Інформаційне дослідження верстатів-аналогів                                                                           | 12.05 – 20.05                           | вик      |
| 4     | Вибір варіанту реалізації та кінематичний розрахунок приводу головного руху                                           | 21.05 – 04.06                           | вик      |
| 5     | Вибір компоновки опор шпиндельного вузла, розрахунок шпинделя модернізованого верстата в середовищі Autodesk Inventor | 05.06 – 11.06                           | вик      |
| 6     | Висновки та рекомендації                                                                                              | 13.06                                   | вик      |
| 7     | Підготовка презентації та доповіді                                                                                    | 13.06 – 20.06                           | вик      |
|       |                                                                                                                       |                                         |          |

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Супруненко Є. О.

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Даниленко О. В.

(ініціали, прізвище)

# **Пояснювальна записка**

## **до дипломного проекту**

**на тему: «Шпиндельний вузол фрезерного верстату з ЧПК»**

Київ – 2024 року

## РЕФЕРАТ

Метою дипломного проекту є визначення можливості пристосування верстату, який обрано в якості базового, для здійснення потрібного технологічного процесу і заміни ним сучаснішого верстату, який застосовують у реальних виробничих умовах.

У проекті наведено опис та технічні характеристики верстату досліджень Маho MH 500 W3 та базового верстату для модернізації – вертикально-фрезерний консольний верстат з ЧПК мод. ГФ2171С5. Наведені верстати аналоги, та визначено тенденції розвитку фрезерних верстатів з ЧПК. Визначено характеристики, до яких потрібно модернізувати базовий верстат.

В якості шляху здійснення модернізації вирішено приділити увагу приводу головного руху та його кінцевому елементу – шпиндельному вузлу.

Обрано двигун з необхідними характеристиками. Змінено та проведено розрахунок нової коробки швидкостей верстата. Обрано тип компоновки опор шпинделя та підшипники відповідно до необхідних характеристик. Створено 3д модель та проведено розрахунок шпинделя модернізованого верстата в середовищі Autodesk Inventor.

Надано рекомендації в разі впровадження даного проекту.

**Ключові слова:** фрезерний верстат з ЧПК, коробка швидкостей, шпиндельний вузол, шпиндель.

## ABSTRACT

The aim of the diploma project is to determine the possibility of adapting the machine tool, which has been selected as the base model, for performing the required technological process and replacing a more modern machine tool currently used in real production conditions.

The project provides a description and technical specifications of the research machine tool Maho MH 500 W3 and the base machine tool for modernization – the vertical milling console machine with CNC model GF2171S5. Comparable machines are listed, and the development trends of CNC milling machines are identified. The characteristics that need to be upgraded in the base machine tool are determined.

As a modernization approach, attention was decided to be paid to the main drive and its end component – the spindle unit.

A motor with the necessary characteristics was selected. The new gearbox of the machine was changed and recalculated. The type of spindle supports and bearings was chosen according to the required specifications. A 3D model was created, and the spindle of the upgraded machine was calculated in the Autodesk Inventor environment.

Recommendations are provided for the implementation of this project.

**Keywords:** CNC milling machine, gearbox, spindle unit, spindle.

## **Зміст**

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Вступ .....</b>                                           | <b>10</b> |
| <b>1 Інформаційне дослідження.....</b>                       | <b>12</b> |
| <b>1.1 Наявний верстат Maho MH 500 W3 .....</b>              | <b>14</b> |
| 1.1.1 Опис та принцип роботи .....                           | 14        |
| 1.1.1 Загальний вид та головні компоненти.....               | 15        |
| 1.1.2 Характеристики.....                                    | 16        |
| 1.1.3 Робочий процес .....                                   | 17        |
| 1.1.4 Переваги та недоліки .....                             | 19        |
| <b>1.2 Базовий верстат для модернізації ГФ2171С5.....</b>    | <b>20</b> |
| 1.2.1 Призначення та сфера застосування .....                | 20        |
| 1.2.2 Принцип роботи.....                                    | 21        |
| 1.2.3 Особливості конструкції верстата .....                 | 22        |
| 1.2.4 Технічні характеристики .....                          | 26        |
| <b>1.3 Верстати – аналоги .....</b>                          | <b>28</b> |
| 1.3.1 Тенденції розвитку .....                               | 28        |
| 1.3.2 Порівняння .....                                       | 29        |
| <b>2 Проектування привода головного руху.....</b>            | <b>33</b> |
| 2.1 Вибір двигуна привода головного руху .....               | 33        |
| 2.2 Кінематичний розрахунок привода головного руху .....     | 38        |
| <b>3 Проектування шпиндельного вузла.....</b>                | <b>43</b> |
| 3.1 Компоновка та підшипники .....                           | 43        |
| 3.2 Розрахунок шпинделя в середовищі Autodesk Inventor ..... | 44        |
| 3.2.1 Визначення сил, що діють на шпиндель.....              | 44        |
| <b>Висновок .....</b>                                        | <b>61</b> |



|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>Рекомендації.....</b> | <b>63</b> |
| <b>Література.....</b>   | <b>65</b> |

## Вступ

Перед верстатобудуванням завжди постає ціль спроектувати нове сучасне обробне обладнання, а одночасно – покращити й осучаснити металорізальні верстати, що вже існують, таким чином, щоб вони відповідали сучасним потребам машинобудування.

Отож, проектування верстатів традиційно має два напрямки:

- створення нового обладнання, що ґрунтується на потребі забезпечити показники працездатності, що визначаються не лише вимогами користувачів (підвищення продуктивності, точності обробки, спрощення обслуговування, зокрема, автоматизація, економічні показники тощо), а й тому, що з'являються нові оброблювані матеріали та нові інструментальні матеріали, які потребують змінювання показників режимів різання порівняно із традиційними;
- осучаснення обробного обладнання, яке існує на виробництві шляхом модернізації. Зокрема, це стосується не лише верстатів універсальних, а і верстатів з ЧПК та спрямовано ще й на розширення технологічних функцій (тобто гнучкості обладнання), що можна забезпечити використанням додаткових покупних модулів. Звісно, верстат з відкритою ре конфігурацією дозволяє здійснити таке оновлення простіше, ніж традиційні верстати минулих часів випуску, які вимагають їхнього пристосування до подібних конструктивних рішень.

За наявної тенденції поширення використання багатоцільових верстатів, які мають певні беззаперечні переваги у сучасному виробництві, верстати, які спеціалізовані для виконання певної групи технологічних процесів, все ж таки не втратили своєї актуальності.

Додатковою перевагою є наявність вичерпної документації стосовно конструктивного виконання верстату, яка відсутня у покупних верстатів

іноземного виробництва. До того ж, необхідно врахувати і фінансовий стан підприємства, що змушує прискіпливо ставитись до вибору обладнання, яке необхідно придбати.

В зв'язку з наявністю на машинобудівних заводах значної кількості верстатів минулих років випуску доцільно проаналізувати можливість їхнього використання у виробництві необхідної продукції після певної модернізації та осучаснення у відповідності з напрямками розвитку верстатобудування.

Отож, метою дипломного проекту є визначення можливості пристосування верстату, який обрано в якості базового, для здійснення потрібного технологічного процесу і заміни ним сучаснішого верстату, який застосовують у реальних виробничих умовах.

# 1 Інформаційне дослідження

Для визначення напрямку модернізації було розглянуто обробне обладнання, яке використовується на приватному акціонерному товаристві "Київське центральне бюро арматуробудування", що спеціалізується переважно на виготовленні арматури для атомних станцій, проаналізовані їхні можливості та характеристики. Основним напрямком досліджень обрані фрезерні верстати з ЧПК. Були проаналізовані оброблювані деталі. Серед використовуваних верстатів є такі, що можуть бути застосовані для обробки складних деталей. Але продукція, яка випускається, містить і певні прості деталі, які недоцільно виготовляти на верстатах типу оброблюваних центрів і навіть вартісних сучасних верстатах з ЧПК, що орієнтовані на виконання певного комплексу технологічних операцій, але мають занадто широкі показники.

Технологічні можливості верстата визначаються можливим діапазоном оброблюваних деталей за розмірами, формою, видами поверхонь, матеріалами. Відповідно:

- габаритами заготовок, які можуть бути встановлені у робочому просторі верстата;
- потужністю приводу (визначає максимальний переріз стружки, що її знімаємо за один перехід);
- діапазон робочих швидкостей (визначає номенклатуру оброблюваних матеріалів);
- точністю обробки, яка досягається;
- кількістю робочих рухів;
- інструментами та пристосуваннями для закріплення заготовок;
- можливістю повної обробки заготовки за одне встановлення.

Звісно, не всі ці ознаки підходять для розгляду з точки зору модернізації базового верстату. Наприклад, не може бути шляхом для досягнення мети збільшення габаритів оброблюваної заготовки. Складно змінити кількість

робочих рухів, хоча використання деяких модульних вузлів дозволяє в певних межах вносити зміни. Остаточного можна уявити можливі зміни та їхні межі тільки досконально вивчивши базовий верстат.

Для подальших досліджень обрано верстат MaHo MH 500 W3, а в якості базового верстату для модернізації – вертикально-фрезерний консольний верстат з ЧПК мод. ГФ2171С5.

В якості шляху здійснення модернізації вирішено приділити увагу приводу головного руху та його кінцевому елементу – шпиндельному вузлу.

Для приводу головного руху забезпечити можливість виконувати обробку із швидкостями, визначеними за інформаційно-аналітичним дослідженням показників працездатності та технічними характеристиками верстатів, що є аналогами фрезерному верстату MaHo MH 500 W3, та обрати регульований електродвигун із відповідною за вимогами точності й швидкодії системою управління.

Для шпиндельного вузла здійснити модернізацію згідно з обраними швидкостями й навантаженнями, за можливістю виключити консольні радіальні навантаження з боку привода. Здійснити моделювання шпиндельного вузла та підтвердити відповідними розрахунками доцільність запропонованої модернізації.

## 1.1 Наявний верстат Маho MH 500 W3

### 1.1.1 Опис та принцип роботи



Рисунок 1.1 – Маho MH 500 W3

Маho MH 500 W3 (рис 1.1) - це універсальний інструментальний фрезерний верстат з ЧПК, призначений для фрезерування, свердління та інших видів обробки металу.

Даний верстат, відповідно до своєї будови та характеристик, належить до типу вертикально фрезерних верстатів з ЧПК.

Вертикально фрезерні верстати з ЧПК - це тип фрезерних верстатів, що керовані комп'ютерною програмою з числовим програмним керуванням (ЧПК). Фрезерна головка рухається по вертикальній осі, що дозволяє обробляти площини, уступи та інші вертикальні поверхні.

Верстат Маho MH 500 W3 виготовлений компанією Маho, яка відома своїми високоякісними верстатами та системами ЧПК.

### 1.1.1 Загальний вид та головні компоненти

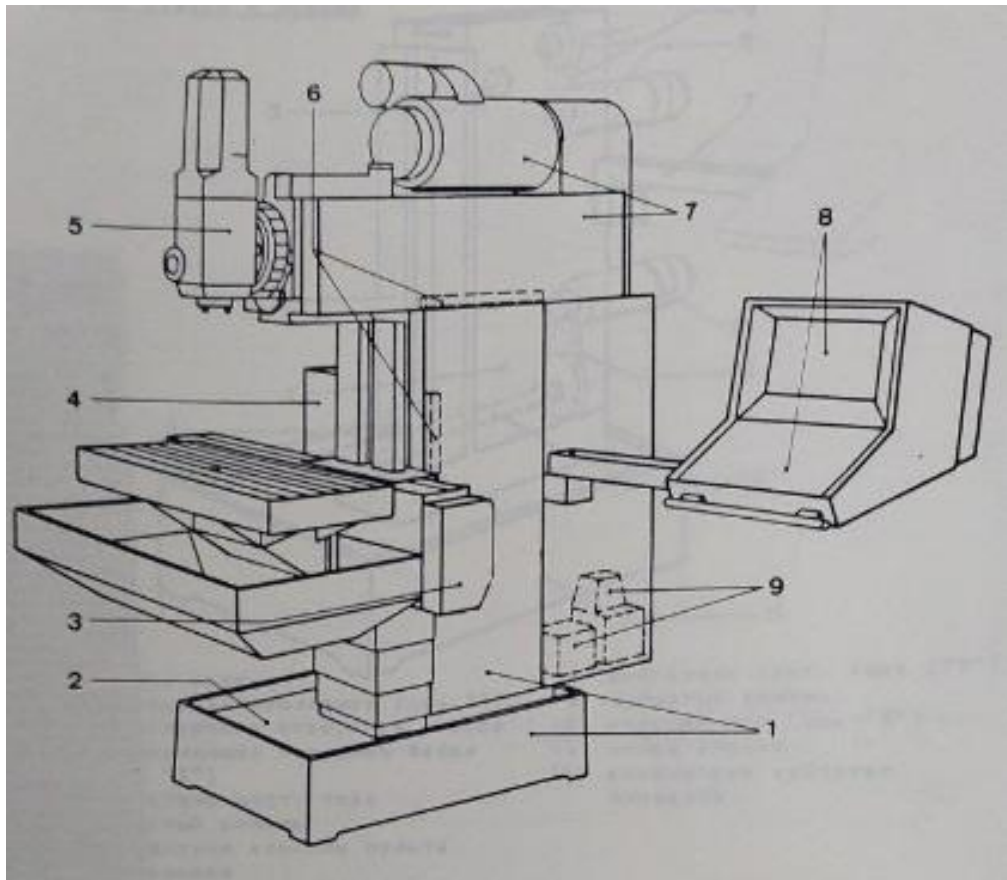


Рисунок 1.2 – Головні компоненти Maho MH 500 W3

Головні компоненти верстата(рис. 1.2):

1. Стійка верстата з опорою та приводними механізмами подачі по осях "Y" та "Z".
2. Змащувальна-охолоджувальна система.
3. Хрестовий супорт з вертикальним кріпильним столом і приводним механізмом подачі по осі "X".
4. Електрообладнання з системою управління з ЧПК кл. "CNC".
5. Вертикальна фрезерна головка з вертикальним робочим шпинделем
6. Вимірювальні системи.
7. Передня бабка з горизонтальним робочим шпинделем та головним двигуном.
8. Пульт керування системи ЧПК.
9. Насос централізованої змазки / гідравлічна система.



### 1.1.2 Характеристики

Працюючи з верстатом, я мав змогу визначити базові характеристики, але все ж більшість інформації стосовно Maho MH 500 W3 довелося шукати в джерелах інтернету, так як підприємство не надає вичерпної інформації стосовно свого обробного обладнання. Надалі частина характеристик, що представлені в таблицях 1.1.1 – 1.1.3 взята з онлайн сервісу[1].



Рисунок 1.3 – Пульти керування системи ЧПК

Maho MH 500 W3 керується системою числового програмного керування MAHO 332, що розроблена компанією HEIDENHAIN (рис 1.3). Короткі характеристики системи ЧПК представлені в таблиці 1.1.1.

Таблиця 1.1.1 – Система ЧПК

| Характеристика                                                | Значення   |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| Система ЧПК                                                   | Maho 332   |
| Тип дисплея                                                   | РК-дисплей |
| Рік випуску                                                   | 1989       |
| Роздільна здатність лінійних вимірювальних систем переміщення | 0,001 мм   |
| Кількість осей, керованих одночасно                           | 2          |
| Кількість послідовно керованих осей                           | 3          |



Таблиця 1.1.2 – Специфікація

| Характеристика                      | Значення        |
|-------------------------------------|-----------------|
| Робоча область                      |                 |
| Вісь X                              | 500 мм          |
| Вісь Y                              | 380 мм          |
| Вісь Z                              | 350 мм          |
| Робоча кімната                      |                 |
| Притискна поверхня                  | 254 x 354 мм    |
| Кількість напрямних пазів           | 1               |
| Робочий шпиндель                    |                 |
| Тримач інструменту                  | ISO40           |
| Хід пера                            | 50 мм           |
| Швидкості та подачі                 |                 |
| Частота обертання робочого шпинделя | 20 - 5000 об/хв |
| Діапазон подачі осей X, Y і Z       | 1 - 2000 мм/хв  |
| Швидкий траверс                     |                 |
| Осі X і Z                           | 4 м/хв          |
| Вісь Y                              | 2 м/хв          |
| Електрообладнання                   |                 |
| Напруга                             | 400 В           |
| Сумарне підключене навантаження     | 19 кВА          |

Доволі часто підприємства мають обмежений простір приміщення для розташування верстату, тому варто враховувати й такі характеристики як габарити та вага верстату (табл. 1.1.3).

Таблиця 1.1.3 – Вимоги до ваги та простору

| Характеристика  | Значення              |
|-----------------|-----------------------|
| Розміри (ШхВхГ) | 2235 x 1943 x 2375 мм |
| Вага            | Приблизно 1800 кг     |

### 1.1.3 Робочий процес

Верстати типу MaHo MH 500 W3, безперечно, є важливою частиною виробничого процесу на підприємствах. Адже, в деяких випадках, використання сучаснішого, дорожчого в обслуговуванні обладнання, для виконання малих конкретних задач, не є раціональним.

Як приклад, була поставлена задача фрезерувати до необхідних розмірів заготовки деталей (рис. 1.4), що зварені між собою, через неможливість їх поодинокого оброблення. Дані заготовки в процесі оброблення (рис 1.5) потребують постійного контролю розмірів, що унеможлиблює виконання оброблення за одну операцію.



Рисунок 1.4 – Заготовки до деталей "прижим"



Рисунок 1.5 – Процес фрезерування заготовки

Враховуючи потребу постійного зняття, переустановлення заготовки в лещата, малий об'єм операцій та малі габаритні розміри заготовки, верстат MaHo MH 500 W3 цілком виконав поставлену задачу.

В той же час не було задіяно надлишкових ресурсів у вигляді сучаснішого обладнання, що паралельно могло використовуватися для оброблення складніших деталей.

#### **1.1.4 Переваги та недоліки**

Спираючись на отриманий від фахівця відгук та переконавшись особисто можу стверджувати, що верстат MaHo MH 500 W3 - це надійний та простий у використанні верстат з ЧПК, який може використовуватися для обробки різних матеріалів.

В контексті підприємства, MaHo MH 500 W3 та схожі верстати за технічними характеристиками, несуть економічну вигоду для виготовлення простих деталей. Адже можуть розвантажувати сучасніше обробне обладнання, яке в той час може бути задіяне для оброблення складніших деталей.

Звичайно, враховуючи те, що з'являються нові матеріали, верстати старих поколінь не завжди спроможні задовольнити необхідні для оброблення вимоги, не зважаючи на простоту необхідної обробки.

Також до недоліків даного верстату можна віднести відсутність автоматичної зміни інструментів, відсутність четвертої осі, малий об'єм оперативної пам'яті системи ЧПК.

## 1.2 Базовий верстат для модернізації ГФ2171С5

### 1.2.1 Призначення та сфера застосування

Фрезерний верстат моделі ГФ2171С5 (рис. 1.6) з нерухомою консоллю, ЧПК та автоматичною зміною інструменту (АСІ) був розроблений у 1985 році на базі верстатів 6Т13Ф3 та 6Т13МФ4.



Рисунок 1.6 – Фрезерний верстат ГФ2171 [2]

До цього випускалися моделі ГФ2171С1 з ЧПК Fanuk-6М та ГФ2171С3 з ЧПУ 2С42-61.

У 1991 році завод розпочав випуск моделі ГФ2171С6 з потужним головним приводом (11 кВт).

Вертикальний фрезерний верстат з ЧПК та АСІ ГФ2171 призначений для багатоопераційної обробки різноманітних деталей складної конфігурації з сталі, чавуну, кольорових та легких сплавів.

Окрім фрезерування, на верстаті можна виконувати точне свердління, зенкування, розгортання та розточування отворів, координати яких пов'язані між собою.

### **1.2.2 Принцип роботи**

Велика потужність головного приводу, широкий діапазон подач і частот обертання шпинделя, висока жорсткість конструкції верстата дозволяють використовувати фрези з швидкоріжучої сталі, а також інструмент, оснащений пластинами з твердих і надтвердих синтетичних матеріалів.

Верстати оснащені три- (чотири) координатним ЧПК та сервоприводами подач, що дозволяє обробляти складні криволінійні поверхні.

Верстати випускаються в різних виконаннях за напругою та частотою живлячої мережі.

Верстат може використовуватися в одиничному та серійному виробництві.

Компоновка верстата ГФ 2171 – консольний тип з вертикально переміщуваною по програмі повзунком та поздовжньо-поперечно переміщуваням столу.

Привід головного руху здійснюється від асинхронного електродвигуна М1 через коробку передач, яка забезпечує 18 частот обертання шпинделя. Приводи подач здійснюються від високо моментних електродвигунів М2, М3, М4. Вертикальне переміщення консолі (установче) виконується від електродвигуна М5.

Додаткові можливості:

- ручне керування переміщенням координат від виносного маховика;
- підключення контрольно-вимірювального щупа типу SONDI 3D
- Можливість введення технологічних програм з гнучких магнітних дисків FD 3,5;
- Зберігання технологічних програм на жорсткому магнітному диску ємністю від 5 до 20 Гб.

### **1.2.3 Особливості конструкції верстата**

Станина верстата виконана з термостабілізованого чавуну, має жорстку конструкцію, що забезпечує високу точність позиціонування інструменту.

Високий верхній поріг частот обертання та потужність шпинделя дозволяють ефективно використовувати сучасний ріжучий інструмент, оснащений пластинами з надтвердих композитних матеріалів.

Високі швидкості швидких переміщень та робочих подач підвищують продуктивність верстата.

Реверсивний привід головного руху забезпечує технологічну можливість нарізання на верстаті різьб мітчиками без застосування спеціального патрона.

Відсутність рухомої консолі дозволяє встановлювати на столі верстата заготовки великої маси.

Моноблочна компоновка верстата без окремо стоячих станцій управління та гідростанції дозволяє істотно скоротити виробничі площі, займані верстатом.

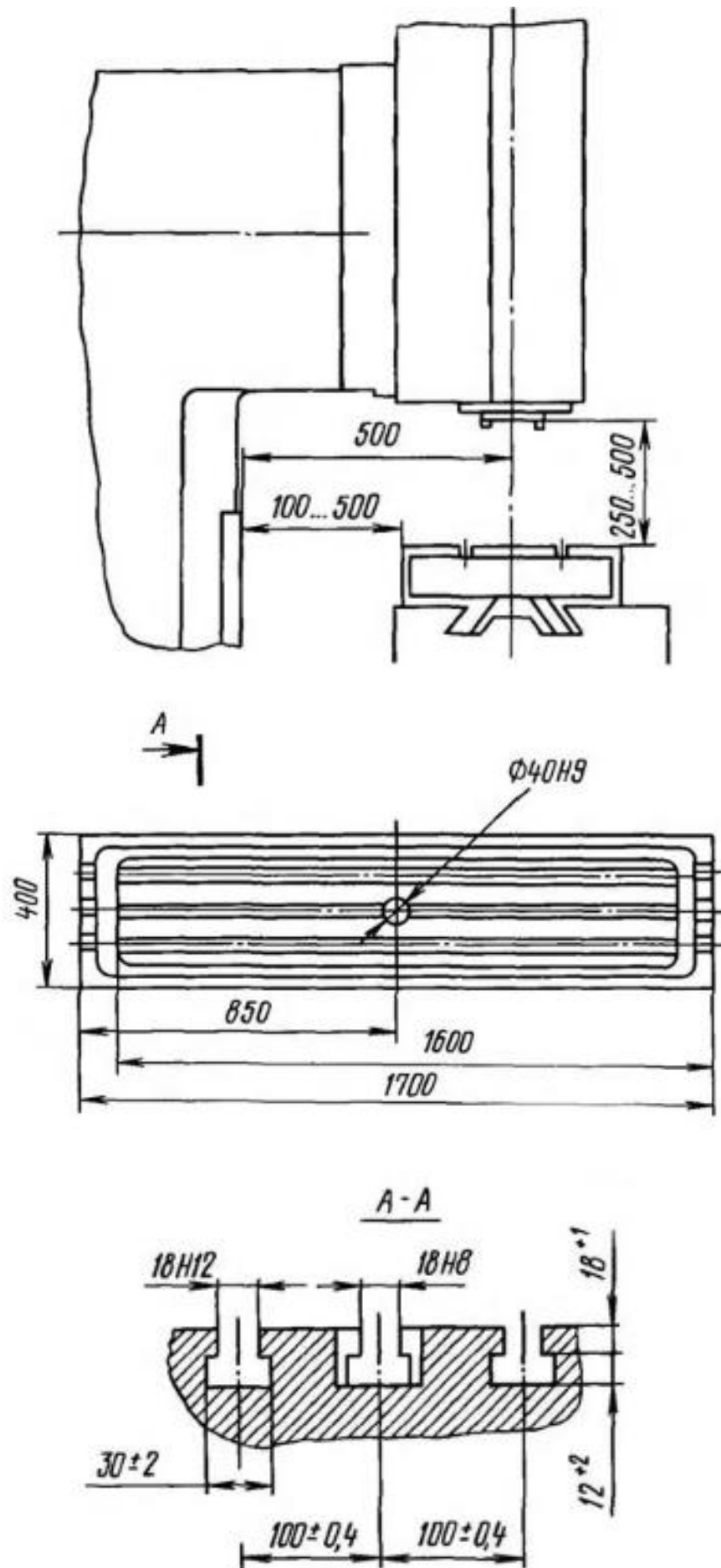


Рисунок 1.7 – Габаритні розміри робочого простору верстата [2]



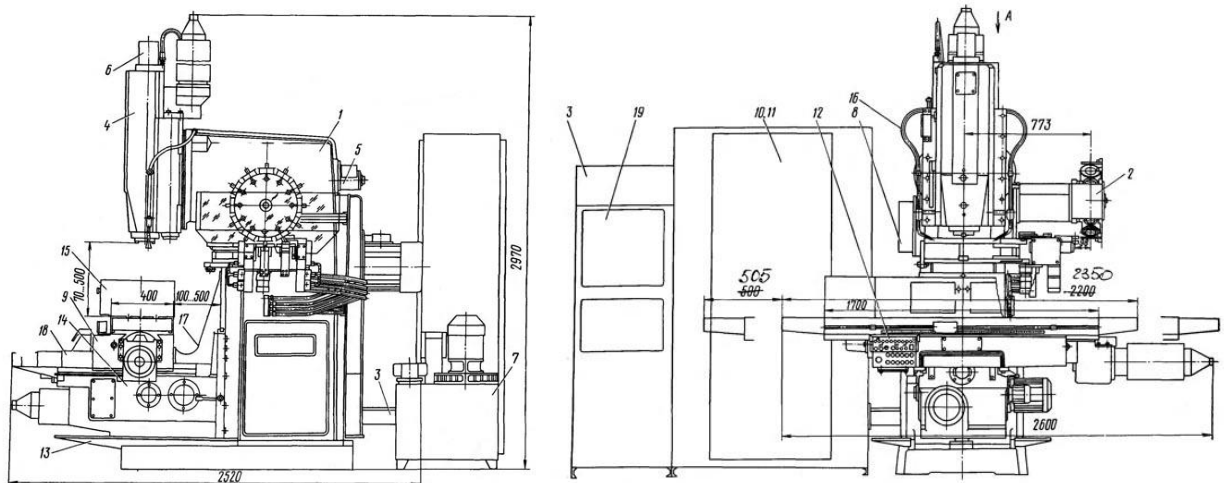


Рисунок 1.8 – Розташування складових частин верстата [2]

Специфікація складових частин фрезерного станка ГФ2171(рис. 1.8):

1. Станина.
2. Механізм автоматичної зміни інструменту.
3. Короб електромонтажний.
4. Головка шпиндельна.
5. Коробка швидкостей.
6. Механізм кріплення інструменту.
7. Гідрообладнання.
8. Коробка перемикання швидкостей.
9. Робочий стіл.
10. Електрообладнання.
11. Станція управління.
12. Пульти управління.
13. Піддон.
14. Консоль.
15. Огородження.
16. Охолодження.
17. Захисний пристрій.
18. Телескопічний захист напрямних.
19. Пристрій ЧПК.



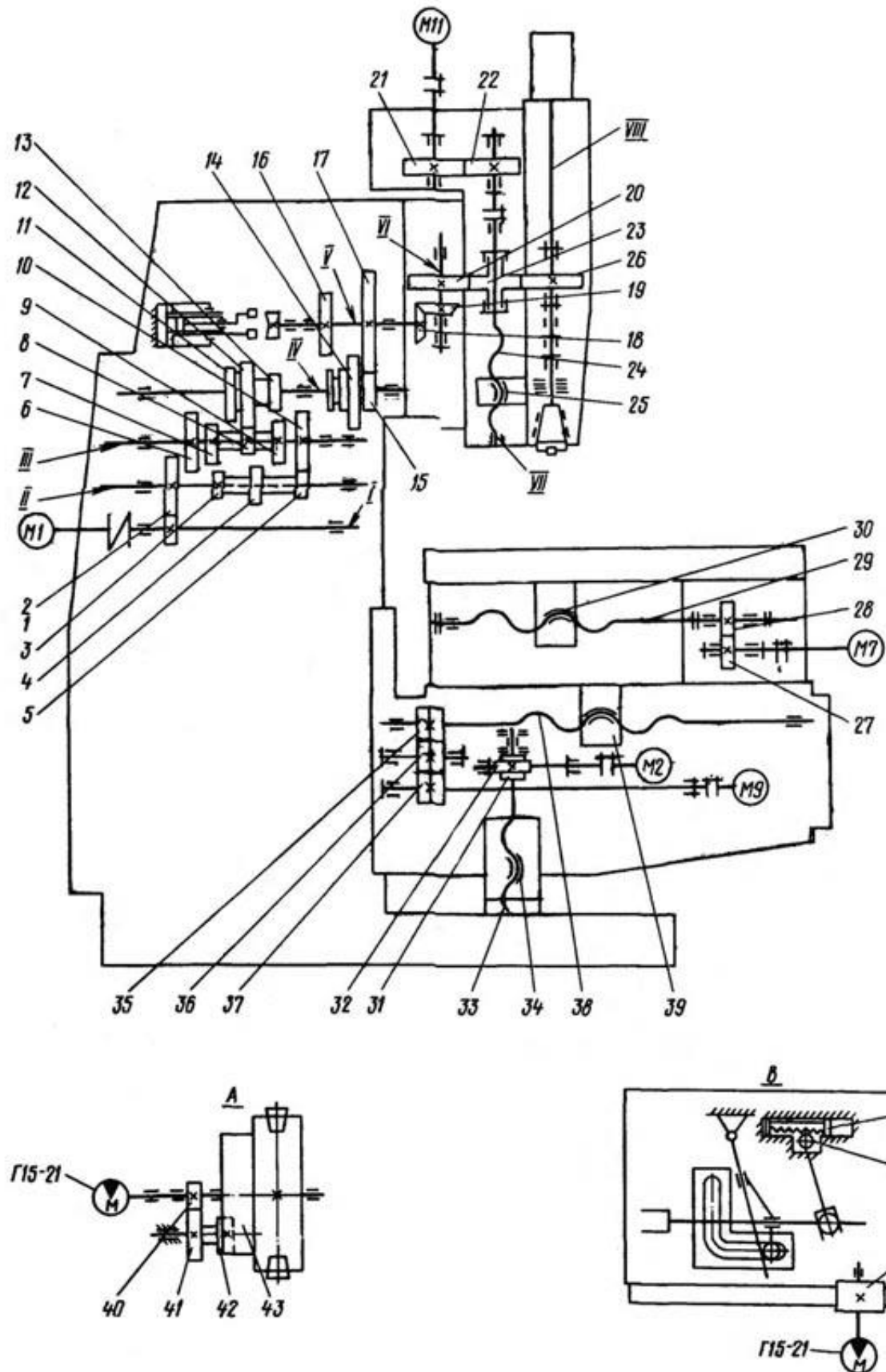


Рисунок 1.9 – Кінематична схема верстата [2]

### 1.2.4 Технічні характеристики

В таблицях 1.2.1 – 1.2.6 наведенні характеристики всіх елементів верстата [2].

Таблиця 1.2.1 – Основні технічні характеристики верстата

| Назва параметра                                                            | Значення    |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Клас точності по ГОСТ 8-82                                                 | Н           |
| Модель пристрою ЧПК                                                        | 2C45-65     |
| Кількість керованих координат                                              | 3           |
| Кількість одночасно керованих координат при лінійній круговій інтерполяції | 3/2         |
| Найменша і найбільша відстань від торця шпинделя до столу, мм              | 250..500    |
| Відстань від осі шпинделя до вертикальних направляючих станини (виліт), мм | 500         |
| Граничні розміри оброблюваних поверхонь (довжина x ширина x висота), мм    | 850x250x380 |
| Максимальне навантаження на стіл (по центру), кг                           | 400         |

Таблиця 1.2.2 – Робочий стіл

| Назва параметра                                                | Значення   |
|----------------------------------------------------------------|------------|
| Розміри робочої поверхні столу (довжина x ширина), мм          | 1600 x 400 |
| Кількість Т-подібних пазів                                     | 3          |
| Найбільше поздовжнє переміщення столу (X), мм                  | 1010       |
| Найбільше поперечне переміщення столу (Y), мм                  | 400        |
| Найбільше вертикальне переміщення столу (Z), мм                | 250        |
| Найбільше переміщення повзуна (Z), мм                          | 260        |
| Межа робочих подач столу та повзуна, мм/хв                     | 3..6000    |
| Швидкість швидких переміщень столу (X, Y) / повзуна (Z), мм/хв | 7000       |
| Допустиме зусилля подачі по координаті X і Y, Н                | 15690      |
| Допустиме зусилля подачі по координаті Z, Н                    | 9806       |
| Точність позиціонування, мм                                    | 0,015      |

Таблиця 1.2.3 – Шпиндель

| Назва параметра                                        | Значення     |
|--------------------------------------------------------|--------------|
| Частота обертання шпинделя, об/хв (кількість ступенів) | 50-2500 (12) |
| Кількість швидкостей шпинделя                          | 18           |
| Найбільший крутний момент, кНм                         | 0,615        |
| Коефіцієнт ряду вихідних частот обертання шпинделя     | 1,26         |
| Ескіз кінця шпинделя по ГОСТ 24644-81 7:24             | 50           |

Таблиця 1.2.4 – Магазин інструменту

| Назва параметра                                     | Значення |
|-----------------------------------------------------|----------|
| Ємність магазину інструменту                        | 12       |
| Час зміни інструменту, с                            | 20       |
| Максимальний діаметр фрези торцевої, мм             | 125      |
| Максимальний діаметр фрези кінцевої, мм             | 40       |
| Максимальний діаметр свердла, мм                    | 30       |
| Максимальний вага інструменту, кг                   | 15       |
| Виліт інструменту від торця шпинделя, мм, не більше | 250      |

Таблиця 1.2.5 – Електрообладнання і привод

| Назва параметра                                                  | Значення    |
|------------------------------------------------------------------|-------------|
| Електродвигун приводу головного руху, кВт (об/хв)                | 7,5 (1450)  |
| Електродвигуни приводу подач HG-112B, HG-112C (осі X, Y), Нм     | 17          |
| Електродвигуни приводу подач повзуна HG-112C (ось Z), Нм         | 23          |
| Електродвигун налагоджувального переміщення консолі, кВт (об/хв) | 2,2 (1450)  |
| Електродвигун гідростанції, кВт (об/хв)                          | 2,2 (1450)  |
| Електродвигун насоса мастила                                     | 0,27 (1500) |
| Електронасос охолоджуючої рідини, потужність, кВт                | 0,12 (2800) |
| Продуктивність насоса мастило-охолоджувальної рідини, л/хв       | 8           |
| Тип гідростанції                                                 | 5АГ48-22Н   |

Таблиця 1.2.6 – Габарити та маса верстата

| Назва параметра                                   | Значення           |
|---------------------------------------------------|--------------------|
| Габарити верстата (довжина x ширина x висота), мм | 3680 x 4170 x 3150 |
| Маса верстата, кг                                 | 6580               |

## 1.3 Верстати – аналоги

### 1.3.1 Тенденції розвитку

Вертикально фрезерні верстати з числовим програмним керуванням стають все більш популярними в сучасній машинобудівній промисловості. Це пов'язано з низкою факторів, які роблять їх більш ефективними та універсальними, ніж традиційні фрезерні верстати.

Ось деякі з ключових тенденцій розвитку вертикально фрезерних верстатів з ЧПК[3][4]:

- збільшення використання багатоосьових верстатів: дають змогу обробляти деталі з більшою складністю та точністю, ніж одно- або двоосьові верстати. Це робить їх ідеальними для таких завдань, як фрезерування, свердління, нарізування різьби та інші види обробки;
- зростання популярності високошвидкісних фрезерування: дозволяє обробляти деталі з більшою швидкістю та точністю, ніж традиційні методи фрезерування. Це може призвести до значної економії часу та ресурсів;
- нові технології ЧПК, такі як адаптивна обробка та 5-осьове синхронне фрезерування, дають змогу верстатам з ЧПК виконувати ще більш складні та точні завдання;
- робототехніка все частіше використовується з верстатами з ЧПК для автоматизації процесу завантаження та розвантаження деталей. Це може призвести до значного підвищення продуктивності та зниження витрат;
- зростання популярності верстатів з ЧПК з сервоприводами: верстати з ЧПК з сервоприводами забезпечують більш високу точність та динаміку, ніж верстати з ЧПК з кроковими двигунами. Це робить їх ідеальними для таких завдань, як високошвидкісне фрезерування та обробка складних деталей.

Загалом, тенденції розвитку вертикально фрезерних верстатів з ЧПК спрямовані на підвищення їх ефективності, універсальності та точності. Це робить їх цінним інструментом для виробників, які потребують обробляти деталі з більшою складністю та точністю.

### 1.3.2 Порівняння

Інформаційний пошук відіграє важливу роль у розумінні та прогнозуванні тенденцій розвитку будь-якої галузі. У контексті фрезерних верстатів з ЧПК, дослідження схожих моделей інших виробників може значно розширити наше уявлення про майбутнє цієї технології.

Зважаючи на значну кількість наявних на ринку фрезерних верстатів з ЧПК, потрібно виокремити параметри пошуку, щоб звужити коло верстатів, що підлягають порівнянню.

Зростання потужності приводу головного руху та швидкості обертання шпинделя є одними з ключових напрямків розвитку вертикальних фрезерних верстатів з ЧПК. Це робить їх більш універсальними та продуктивними, що дозволяє їм використовуватися в ширшому спектрі галузей.

Оскільки метою дипломного проекту є дослідження можливості модернізації верстату ГФ2171С5 шляхом його пристосування до виконання технологічного процесу, що потребує сучасніший верстат Маho МН 500 W3, то потрібно орієнтуватися на його технічні характеристики.

На основі характеристик верстата Маho МН 500 W3 було відібрано 5 схожих верстатів (рис 1.10)[5]:

1. HAAS VF-2.
2. HURCO VM 1.
3. Mikron Haas VCE 750.
4. Mazak VTC 20 B.
5. DECKEL MAHO DMC 70 V.



а)



б)



в)



г)



д)

Рисунок 1.10 – Загальний вигляд верстатів: а - HAAS VF-2;  
 б - HURCO VM 1; в - Mikron Haas VCE 750;  
 г - Mazak VTC 20 B; д - DECKEL MAHO DMC 70 V

Фото та інформація стосовно верстатів взята з онлайн сервісу з продажу верстатів [4]. Результати інформаційно пошуку представлені в таблиці 2.5.1.

Таблиця 2.5.1 – Порівняння фрезерних верстатів

| Характеристика                       | Maho MH 500 W3     | HAAS VF-2          | HURCO VM 1         | Mikron Haas VCE 750 | Mazak VTC 20 B      | DECKEL MAHO DMC 70 V |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Рік випуску                          | 1989               | 1996               | 2006               | 2001                | 1996                | 1996                 |
| Система управління                   | Heidenhain CNC 332 | HAAS               | SingleMAX          | HAAS                | Mazatrol M Plus     | Dialog 112           |
| Робоча область (X x Y x Z)           | 500 x 380 x 350 мм | 760 x 405 x 508 мм | 660 x 355 x 455 мм | 762 x 406 x 508 мм  | 1120 x 510 x 510 мм | 700 x 550 x 500 мм   |
| Розмір стола (мм)                    | 254 x 354 мм       | 910 x 356 мм       | -                  | 914 x 356 мм        | 1460 x 510 мм       | 900 x 550 мм         |
| Автоматична зміна інструментів       | -                  | 24                 | 20                 | 20                  | 24                  | 30                   |
| Тип конуса інструменту               | ISO40              | BT 40              | SK-A40             | SK 40               | SK 40               | SK 40                |
| Швидкість обертання шпинделя (об/хв) | 20 - 5000          | 12000              | 10000              | 7500                | 5000                | 8000                 |
| Потужність приводу шпинделя (кВт)    | 19                 | 11                 | -                  | 11                  | -                   | 15                   |
| Вага (кг)                            | 1800               | 3550               | 3000               | 3600                | 5500                | 8700                 |
| Ціна (EUR)                           | 10000              | 21000              | 30000              | 23000               | 24000               | 43000                |

З таблиці видно, що швидкість обертання шпинделя та потужність приводу головного руху верстатів з ЧПК більша, порівнюючи з обраним базовим верстатом. Це пояснюється наступними факторами:

- збільшення твердості оброблюваних матеріалів: з розвитком технологій з'являються все більш тверді матеріали, які потребують більшої потужності та швидкості обробки;
- підвищення вимог до точності та якості обробки: Зростаючі вимоги до точності та якості обробки потребують більш жорстких верстатів та потужніших приводів;

- впровадження нових технологій: Впровадження нових технологій, таких як твердосплавний ріжучий інструмент та високошвидкісне фрезерування, дозволяє використовувати більш високі швидкості обертання шпинделя та потужність приводу.

Також напрямом розвитку вертикальних фрезерних верстатів з ЧПК чітко простежується в сторону збільшення робочої області, розміру столу, кількості інструментів в магазині, швидкості обертання шпинделя та потужності приводу головного руху. Це робиться для того, щоб задовольнити зростаючі вимоги до продуктивності, точності та якості обробки.



## 2 Проектування привода головного руху

### 2.1 Вибір двигуна приводу головного руху

Як відомо, у ПГР можуть використовуватися:

- нерегульовані асинхронні двигуни (одно- чи багатошвидкісні), які забезпечують ступінчасте регулювання частот обертання шпинделя; винятком є безступінчасте регулювання в обмеженому діапазоні з використанням нерегульованого двигуна та варіатору;
- регульовані ЕД постійного або змінного струму. Кінематичні та конструктивні варіанти ЕД у поєднанні із двох- чи триступеневою зубчастою передачею, яка розширює діапазон регулювання швидкостей;
- вузли типу мотор-редуктор з різного типу редукторами, які збільшують крутний момент на низьких частотах обертання – в разі, коли не потрібне розширення діапазону регулювання;
- безпосередній привод шпинделя від серводвигуна (трифазного асинхронного або синхронного з прецизійним регулюванням частоти ) через муфту або шляхом використання функціонального поєднання якоря ЕД та шпинделя (електрошпинделі).
- високооборотний ЕД головного привода з широким діапазоном змінювання швидкості – для верстатів типу HSC/HSM.

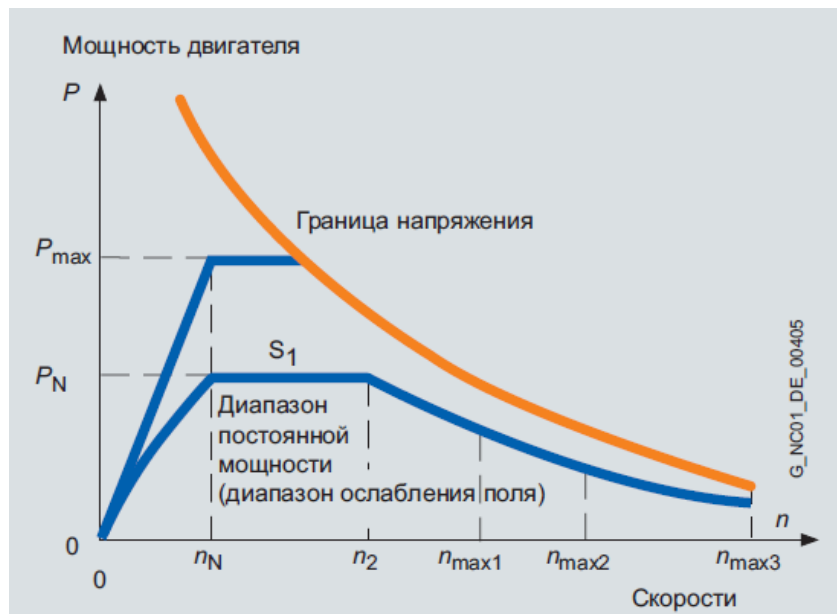
Електротехнічні фірми пропонують для приводів головного руху верстатів спеціалізовані двигуни з відповідними характеристиками. Наприклад, фірма Siemens випускає лінійки приводів Simodrive 611 та Sinamics 120 для шпинделів випускають асинхронні двигуни із суцільним валом серій 1PH7, асинхронні та синхронні 1PH8, а також спеціальні двигуни для нетипових конструкцій.

Синхронний ЕД (СЕД) є більш потужним та має більший момент обертання, ніж асинхронний ЕД, одночасно його вал менше нагрівається і

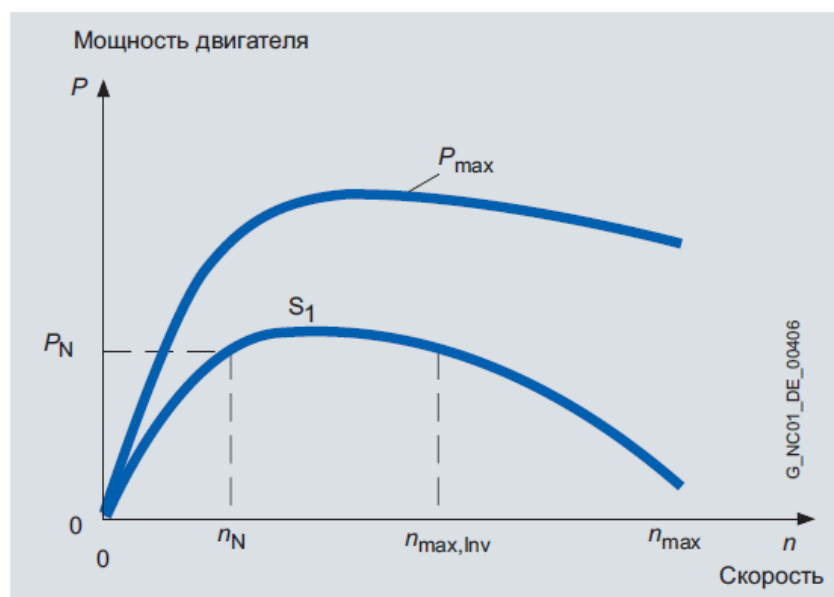
краще охолоджується, теплові витрати менше.

При використанні послаблення магнітного поля існують діапазони  $P=\text{const}$  та  $M=\text{const}$ . Саме діапазон  $P=\text{const}$  використовують у приводах головного руху. У СЕД режим  $P=\text{const}$  шпинделя зберігається до максимальної частоти обертання, а у АЕД його обмежено межею граничної напруги.

На рис. 2.1 показані типові характеристики швидкість/потужність для двигунів 1РН8, а на рис. 2.2 – різниця між характеристиками синхронних та асинхронних двигунів за умови однакового активного об'єму.



а)



б)

Рисунок 2.1 – Характеристики швидкість/потужність для двигунів 1РН8:  
а) – асинхронних; б) – синхронних [6]

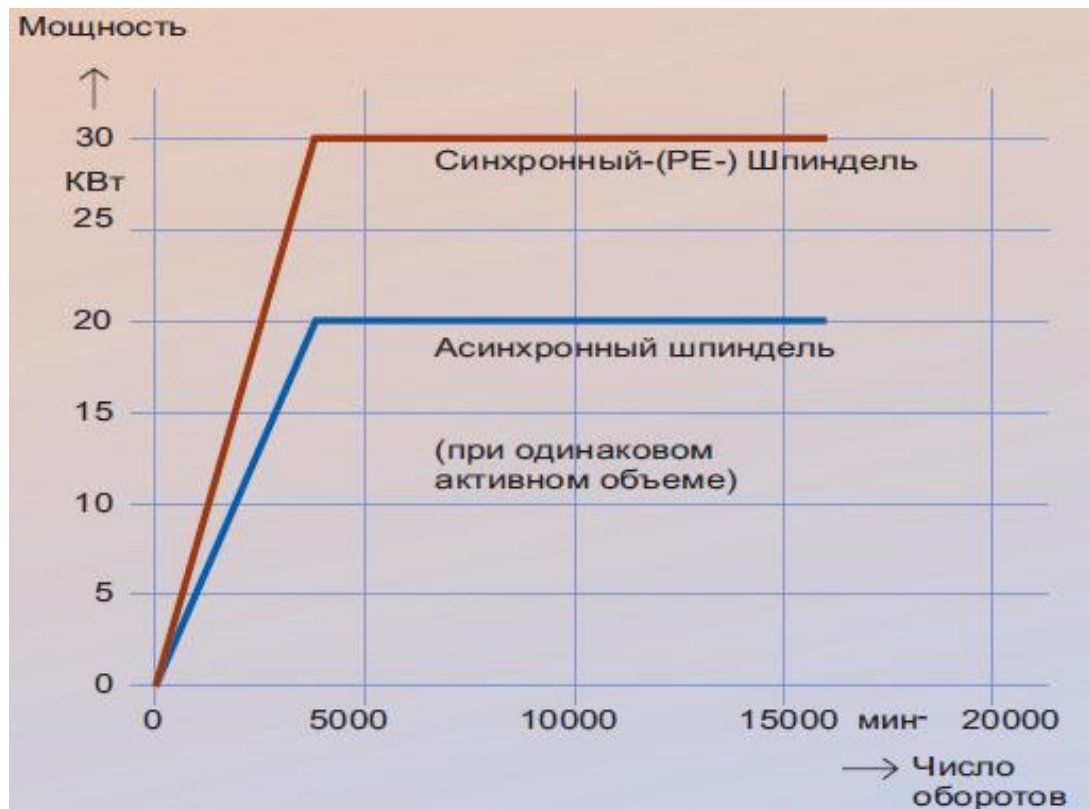


Рисунок 2.2 – Різниця між характеристиками синхронних та асинхронних двигунів за умови однакового активного об'єму [6]

Принципово можливі кілька типових компоновок приводу головного руху:

- прямий привод;
- привод двигун-пасова передач-шпиндель;
- привод із редуктором.

Оскільки верстат ГФ 2171С5 має коробку швидкостей, то доцільно використати для модернізації схему по аналогії приводу з редуктором. Редуктор або коробка передач із незначною кількістю ступенів частот сприятиме розширенню діапазону регулювання частот обертання з постійною потужністю.

Необхідно врахувати також тип навантаження за тривалістю вмикання; постійне, змінне з певною тривалістю, довільне. Оскільки верстат є досить універсальним і може використовуватись для виробництва продукції невеликими партіями або взагалі одиничної, то, можливо, треба орієнтуватись на цикл довільного вмикання або повторно-короткочасний режим S3, для якого тривалість робочого періоду разом з паузою не перевищує 10 хв.

Стандартні величини відносної тривалості включення становлять S3 – 60%; S3 – 40%; S3 – 25%. Передбачено відповідні характеристики двигуна (рис. 2.3).

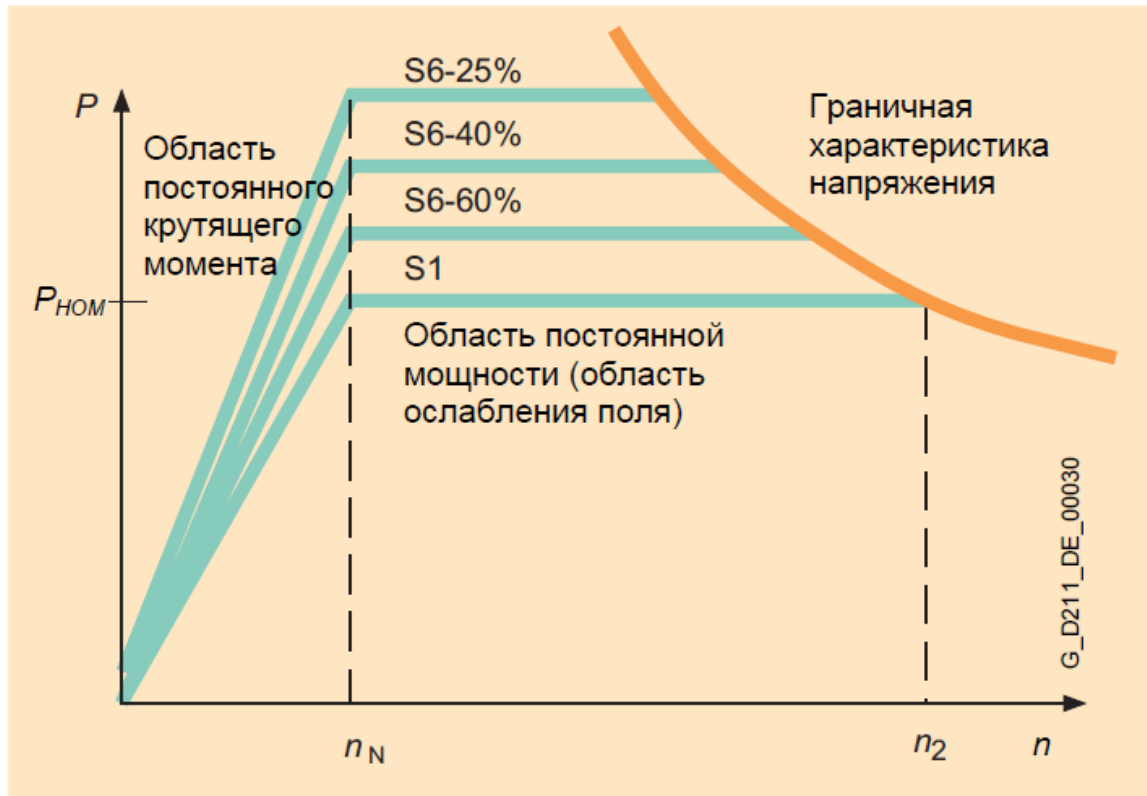


Рисунок 2.3 – Залежність потужності двигуна 1PH7 від швидкості (граничні характеристики для асинхронних двигунів) [6]

Позначено:

- $n_N$  – номінальна швидкість двигуна;
- $n_2 = n_{max}$  – максимально припустима з умов нагріву швидкість у режимі S1, у режимі  $P = P_{ном}$  знаходиться на межі обмеження напруги. Це максимальна швидкість, що є припустимою при роботі з постійною швидкістю у тривалому режимі;
- $P_{ном}$  – номінальна потужність двигуна.
- Швидкість частково обмежують з умови  $< 5 n_N$ .

Враховуючі досить значну відмінність габаритів двигунів серій 1PH7 та 1PH8 від габаритів стандартних асинхронних двигунів (в середньому на 2 габарити менше) з дотримання умов встановлення двигуна у тому ж місці, де знаходиться двигун базового верстата, треба при виборі двигуна звернути

увагу на висоту осі обертання. В свою чергу, висота осі обертання зумовить встановлення тих чи інших підшипників – шарикових чи роликових та швидкості, які забезпечує електродвигун.

У приводі головного руху базового верстата з ЧПК моделі ГФ 2171 встановлено електродвигун типу 4AM132S4У3 потужністю 7,5 кВт, номінальною частотою обертання 1450 об/хв, живлення 380 В. Висота осі обертання становить 132 мм, а діаметр валу – 38 мм. [7]

Частоти обертання базового верстату становлять 50 – 2500 об/хв, а кількість швидкостей шпинделя 18. Максимальний крутний момент 615 Нм

Згідно з інформаційним дослідженням верстатів, які використовують на виробництві, та верстатів-аналогів обрано наступні характеристики для проектування приводу головного руху модернізованого верстату на базі ГФ 2171C5:

- потужність приводу шпинделя (кВт) – у діапазоні 19-15;
- максимальна швидкість обертання шпинделя (об/хв) в межах 6000-8000, мінімальну швидкість можна підвищити до 50 об/хв;
- висоту осі двигуна бажано зберегти нарівні 132 мм або збільшити мінімально.

Вирішено використати електродвигун фірми Siemens. Аналіз запропонованих фірмою Siemens асинхронних та синхронних ЕД серії 1PH8, які оптимізовані для приводної системи SINAMICS S120, показав наступне.

Синхронні двигуни серії 1PH8 мають занадто високу потужність за умови збільшення  $P_N$  та зменшення  $P_{max}$ , що звужить діапазон обробки із постійною потужністю.

**Асинхронные двигатели 1PH8**  
**Принудительная вентиляция, степень защиты IP55**

**Данные для выбора и заказные данные**

| Ном. скорость<br>$n_N$<br>мин <sup>-1</sup>                   | Высота оси<br>$BO$ | Ном. мощность<br>$P_N$<br>кВт | Ном. момент вращения<br>$M_N$<br>Нм | Ном. ток<br>$I_N$<br>А | Ном. напряжение<br>$U_N$<br>В | Ном. частота<br>$f_N$<br>Гц | Рабочая скорость при ослаблении поля, макс. <sup>1)</sup><br>$n_2$<br>мин <sup>-1</sup> | Скорость, макс. <sup>2)</sup><br>$n_{max}$<br>мин <sup>-1</sup> | Асинхронный двигатель 1PH8<br>Принудительная вентиляция<br><br>Заказной Nr. |
|---------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Напряжение сети 3 AC 400 В, модуль питания Smart/Basic</b> |                    |                               |                                     |                        |                               |                             |                                                                                         |                                                                 |                                                                             |
| <b>400</b>                                                    | 160                | 9,5                           | 227                                 | 30                     | 260                           | 14,3                        | 2150                                                                                    | 6500                                                            | 1PH8163-1 B ■■■-...1                                                        |
|                                                               |                    | 13                            | 310                                 | 36                     | 300                           | 14,1                        | 1750                                                                                    | 6500                                                            | 1PH8165-1 B ■■■-...1                                                        |
| <b>1000</b>                                                   | 100                | 3,7                           | 35                                  | 10                     | 333                           | 35,8                        | 2550                                                                                    | 9000                                                            | 1PH8103-1 D ■■■-...1                                                        |
|                                                               |                    | 6,3                           | 60                                  | 17,5                   | 307                           | 35,5                        | 4300                                                                                    | 9000                                                            | 1PH8107-1 D ■■■-...1                                                        |
|                                                               | 132                | 12                            | 115                                 | 30                     | 319                           | 35,0                        | 3000                                                                                    | 8000                                                            | 1PH8133-1 D ■■■-...1                                                        |
|                                                               |                    | 17                            | 162                                 | 43                     | 307                           | 34,8                        | 4300                                                                                    | 8000                                                            | 1PH8137-1 D ■■■-...1                                                        |
|                                                               | 160                | 22                            | 210                                 | 55                     | 300                           | 34,2                        | 2800                                                                                    | 6500                                                            | 1PH8163-1 D ■■■-...1                                                        |
|                                                               |                    | 28                            | 267                                 | 71                     | 292                           | 34,2                        | 4600                                                                                    | 6500                                                            | 1PH8165-1 D ■■■-...1                                                        |

Рисунок 2.4 – Характеристики асинхронных двигателей серии 1PH8 [6]

Попередньо обираємо асинхронний двигун 1PH8137-1.

Додатково: коефіцієнт потужності  $\cos \varphi = 0,88$ ; ККД  $\eta = 0,881$ ; струм збудження  $I=15,1\text{A}$ ; момент інерції  $J = 0,1090\text{ кгм}^2$ ; вага 141 кг.

## 2.2 Кінематичний розрахунок привода головного руху

Проаналізувавши верстати-аналоги та обравши електродвигун, ми маємо наступні дані:

Для обраного електродвигуна 1PH8137 (за умови послаблення поля) маємо наступні частотні характеристики:

$$n_{\text{двном}} = 1000 \text{ (об/хв)}$$

$$n_{\text{двmax}} = 4300 \text{ (об/хв)}$$

Для шпинделя:

$$n_{\text{min}} = 50 \text{ (об/хв)}$$

$$n_{\text{max}} = 6000 \text{ (об/хв)}$$

Для початку потрібно визначити загальний діапазон регулювання привода:

$$R_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{6000}{50} = 120,$$

де  $n_{max}$  – номінальна частота обертання шпинделя, об/хв;

$n_{min}$  – максимальна частота обертання шпинделя, об/хв.

Визначаємо діапазон регулювання двигуна з постійною потужністю:

$$R_{двN} = \frac{n_{двmax}}{n_{двном}} = \frac{4300}{1000} = 4,3$$

де  $n_{двmax}$  – максимальна частота обертання двигуна, об/хв;

$n_{двном}$  – номінальна частота обертання двигуна, об/хв.

Далі визначаємо відносну розрахункову частоту, нижче якої можливе регулювання з  $M = const$ :

$$\begin{aligned} n_{розр} &= 20(\sqrt[4]{R_n} \dots \sqrt[3]{R_n}) = \\ &= 20(\sqrt[4]{120} \dots \sqrt[3]{120}) = \\ &= 66 \dots 98 \left(\frac{\text{об}}{\text{хв}}\right) \end{aligned}$$

де  $R_n$  – загальний діапазон регулювання привода.

Приймаємо  $n_{розр} = 80 \left(\frac{\text{об}}{\text{хв}}\right)$ .

Визначаємо діапазон регулювання привода при постійній потужності:

$$R_{nN} = \frac{n_{max}}{n_{розр}} = \frac{6000}{80} = 75$$

де  $n_{max}$  – максимальна частота обертання шпинделя, об/хв;

$n_{розр}$  – розрахункова частота, об/хв.

Оскільки  $R_{двN} < R_{nN}$ , то  $R_{nN} = R_{двN} \cdot R_{ст}$ .

Діапазон регулювання ступінчатої структури:

$$R_{ст} = \frac{R_{nN}}{R_{двN}} = \frac{75}{4,3} = 17$$

де  $R_{nN}$  – діапазон регулювання привода при постійній потужності;

$R_{двN}$  – діапазон регулювання двигуна при постійній потужності.

Беручи до уваги те, що  $R_{ст} > [R_{гр}]$ , то при розробленні нової кінематичної структури потрібно використати дві групи передач:  $R_{ст} = R_{гр1} \cdot R_{гр2}$ .

Тоді  $R_{nN} = R_{гр1} \cdot R_{гр2}$ .

Визначаємо кількість швидкостей ступінчатої структури:

$$Z_{ст} \geq \frac{\log R_{nN}}{\log R_{двN}} = \frac{\log 75}{\log 4,3} = 3,11$$

де  $R_{nN}$  – діапазон регулювання привода при постійній потужності;

$R_{двN}$  – діапазон регулювання двигуна при постійній потужності.

Приймаємо:  $Z_{ст} = 4 = 2 \cdot 2$

Далі визначаємо фіктивну кількість ступенів частот обертання, що забезпечуються двигуном у діапазоні  $R_{двN}$ :

$$P_{фiкт} = \frac{\log R_{двN}}{\log \varphi_{умов}} + 1 = \frac{\log 4,3}{\log 1,25} + 1 = 7,5$$

$$P_{фiкт} = 7$$

де  $R_{двN}$  – діапазон регулювання двигуна при постійній потужності;

$\varphi_{умов}$  – умовний знаменник геометричного ряду частот обертання.

Далі знаходимо діапазон регулювання першої групи ступінчатої структури:



$$R_{\text{гр1}} = R_{\text{двN}} = 4,3$$

Знаходимо діапазон регулювання другої групи:

$$R_{\text{гр2}} = \frac{R_{\text{ст}}}{R_{\text{гр1}}} = \frac{17}{4,3} = 3,9$$

де  $R_{\text{ст}}$  – діапазон регулювання ступінчатої структури;

$R_{\text{гр1}}$  – діапазон регулювання першої групи ступінчатої структури.

Далі визначаємо умовну кількість частот обертання:

$$Z_{\text{ум}} = \frac{\log R_n}{\log \varphi_{\text{умов}}} + 1 = \frac{\log 120}{\log 1,25} + 1 = 22,45$$

$$Z_{\text{ум}} = 22$$

де  $R_n$  – загальний діапазон регулювання привода;

$\varphi_{\text{умов}}$  – умовний знаменник геометричного ряду частот обертання.

Структурна формула:

$$22 = 7_1 \cdot 1 \cdot 2_x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$$

Знаходимо характеристику другої групи:

$$x = \frac{\log R_{\text{гр2}}}{(p-1) \log \varphi_{\text{умов}}} = \frac{\log 3,9}{(2-1) \log 1,25} = 6,1$$

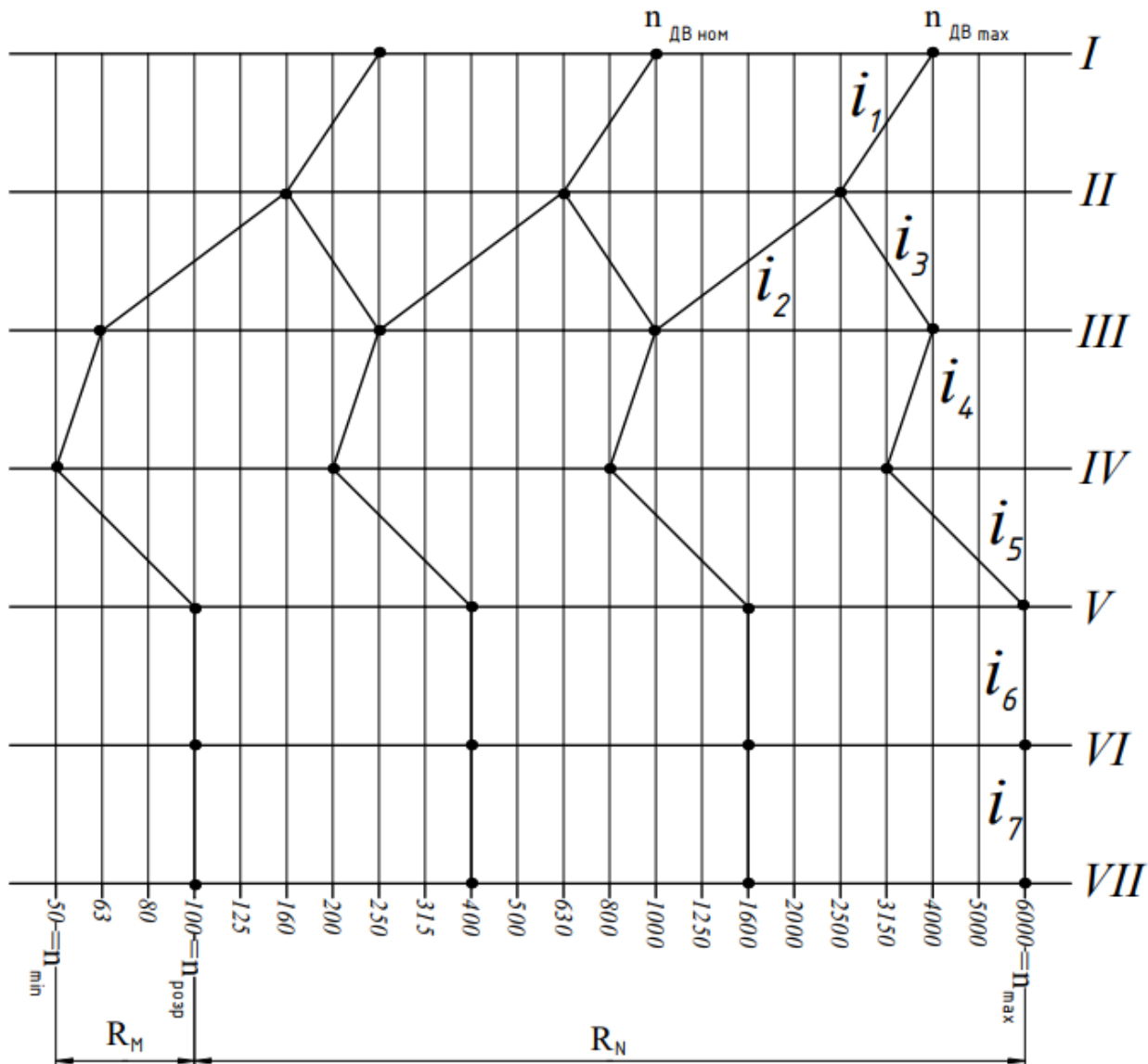
де  $R_{\text{гр2}}$  – діапазон регулювання другої групи ступінчатої структури;

$\varphi_{\text{умов}}$  – умовний знаменник геометричного ряду частот обертання.

Готова структурна формула:

$$22 = 7_1 \cdot 1 \cdot 2_6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$$

Наведений на рисунку 2.5 - графік частот зумовить завищений діапазон падіння потужності на низьких частотах, до чого призвів спрощений варіант модернізації конструкції коробки швидкостей. Інший варіант – збільшення мінімальної частоти обертання.



$$n_{ДВ} \cdot 31/49 \begin{matrix} 16/38 \\ 33/21 \end{matrix} 28/30 - 82/38 - 39/39 - 42/41 \cdot 41/42$$

Рисунок 2.5 – Графік частот обертань шпинделя

## 3 Проектування шпиндельного вузла

### 3.1 Компоновка та підшипники

До шпиндельних вузлів висуваються наступні вимоги:

- висока стійкість до вібрацій. Вібрації негативно впливають на якість оброблюваної деталі, особливо на чистоту поверхні, а також зменшують довговічність роботи верстата та знижують стійкість інструменту. Тому важливо, щоб власна частота шпинделя була не менше 500-600 Гц, що забезпечує зменшення вібраційних впливів під час роботи верстата.
- жорсткість (радіальна та осьова), яка визначається пружними переміщеннями шпинделя та шпиндельних опор під дією сил різання. Виходячи з умов нормальної роботи шпиндельних опор, жорсткість шпинделя в міжопорній частині повинна бути не менше 250 Н/мм для верстатів нормальної точності та 500 Н/мм для прецизійних верстатів. Це забезпечує точність і стабільність роботи верстата при різанні матеріалів різної твердості та структури.

Виходячи з вказаних вимог і значення швидкісного параметра обираємо схему шпиндельного вузла, яка представлена на кінематичній схемі в графічній частині проекту. Ця схема дозволяє оптимально розподілити навантаження на шпиндель та забезпечити його надійну роботу в різних режимах обробки.

Для обраної схеми на передній опорі можна використати кулькові радіально-упорні однорядні підшипники серії 7200. Підшипники задньої опори лишаємо без змін.

Наведемо технічні характеристики підшипників:

1. Базове позначення: ГОСТ: 36218, ISO/DIN: 7218-C.
2. Форма тіла кочення: кульковий.

3. Кількість рядів тіл кочення: однорядний.
4. Напрямок сприйняття навантаження: радіально-упорний – здатний сприймати радіальне та осьове навантаження.
5. Серія діаметрів: Легка серія діаметрів.
6. Внутрішній діаметр підшипника:  $d=90$  мм.
7. Зовнішній діаметр підшипника:  $D=160$  мм.
8. Ширина підшипника:  $B=30$  мм.
9. Вага підшипника:  $m=2.26$  кг.

## 3.2 Розрахунок шпинделя в середовищі Autodesk Inventor

### 3.2.1 Визначення сил, що діють на шпиндель

З визначених за інформаційним дослідженням необхідних характеристик базового модернізованого верстату маємо:

Максимальна швидкість обертання шпинделя:

$$n_{max} = 6000 \text{ (об/хв)}$$

Максимальна потужність:

$$P = 17 \text{ кВт}$$

Формула визначення потужності:

$$P = \frac{\pi \cdot n_{max} \cdot M_1}{1000 \cdot 30} \text{ кВт},$$

звідки визначаємо крутний момент прикладений до шпинделя в полюсі зачеплення зубчастої передачі:

$$M_1 = \frac{1000 \cdot 30 \cdot P}{\pi \cdot n_{max}} = 9549 \frac{P}{n_{max}} = 9549 \frac{17000}{6000} = 27055 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $P$  – потужність що передається на шпиндель, кВт;

$n_{\max}$  – максимальна частота обертання шпинделя, об/хв.

Приймаємо  $M_1 = 27000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

В полюсі зачеплення зубчастої передачі прикладні тангенціальна та радіальна сили, що діють на шпиндель.

Визначаємо тангенціальну силу:

$$F_t = \frac{2 \cdot M_1}{d} = \frac{2 \cdot 27000}{78} = 692,3 \text{ Н},$$

де  $M_1$  – крутний момент прикладений до шпинделя,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;

$d$  – середній діаметр зачеплення колеса з шпинделем через шліцьове з'єднання, мм.

Приймаємо  $F_t = 692$ .

Визначаємо радіальну силу:

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha = 692 \cdot \tan 20^\circ = 251,86 \text{ Н},$$

де  $F_t$  – тангенціальна сила, Н;

$\tan \alpha$  – кут зачеплення зубчастої передачі,  $^\circ$ .

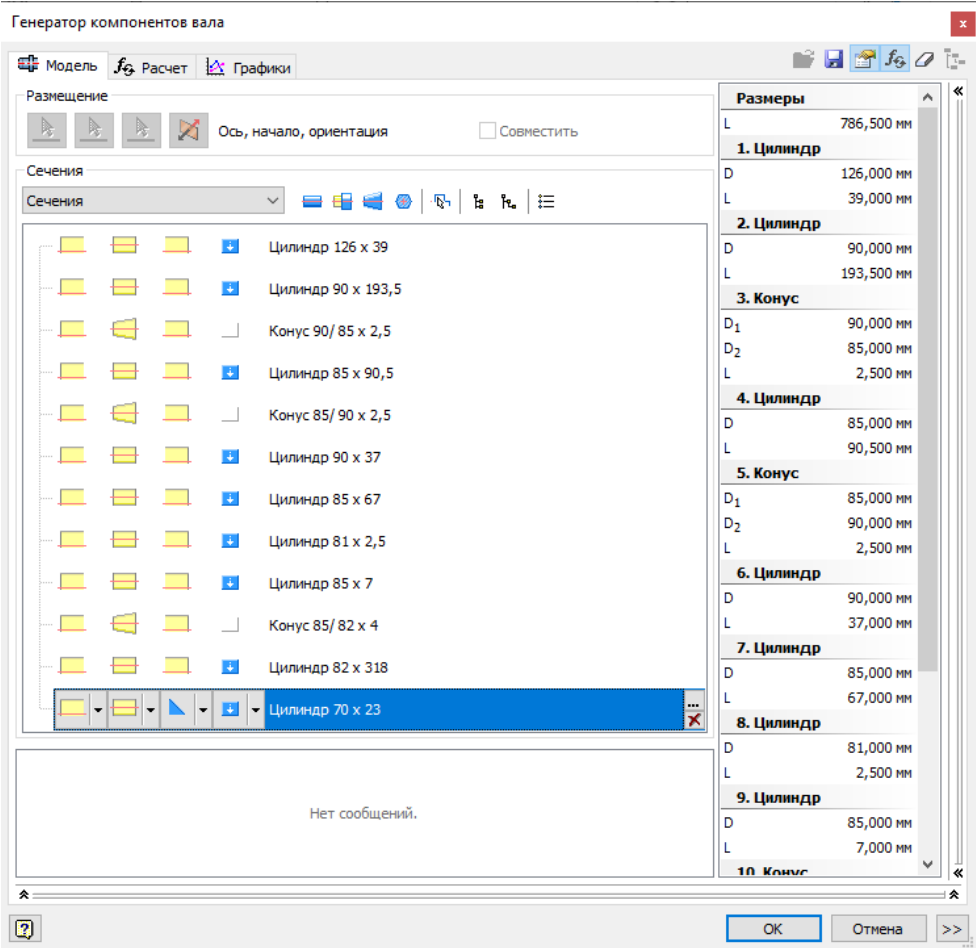
Приймаємо  $F_r = 250 \text{ Н}$ .

Допустиме зусилля подачі приймаємо  $F_{\pi} = 15690 \text{ Н}$ .

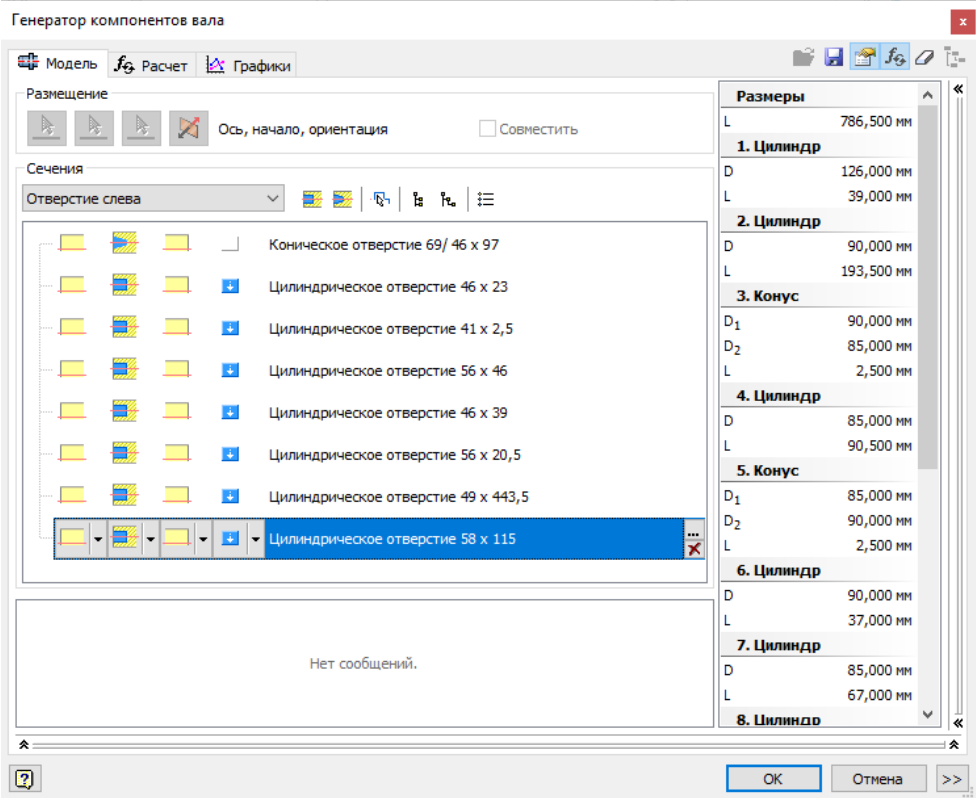
Далі переходимо до середовища Autodesk Inventor.

Перед тим як проводити розрахунок потрібно створити 3д модель шпинделя, використовуючи наявне креслення.

Для початку переходимо до вкладки «Проектування», в розділі «Привід» обираємо «Вал». Відкривається вікно «Генератор компонентів вала». Задаємо необхідні параметри (рис. 3.1). Отримуємо 3д модель шпинделя (рис 3.2).



а)



б)

Рисунок 3.1 – Параметры поверхонь шпинделя:  
а – зовнішня; б – внутрішня

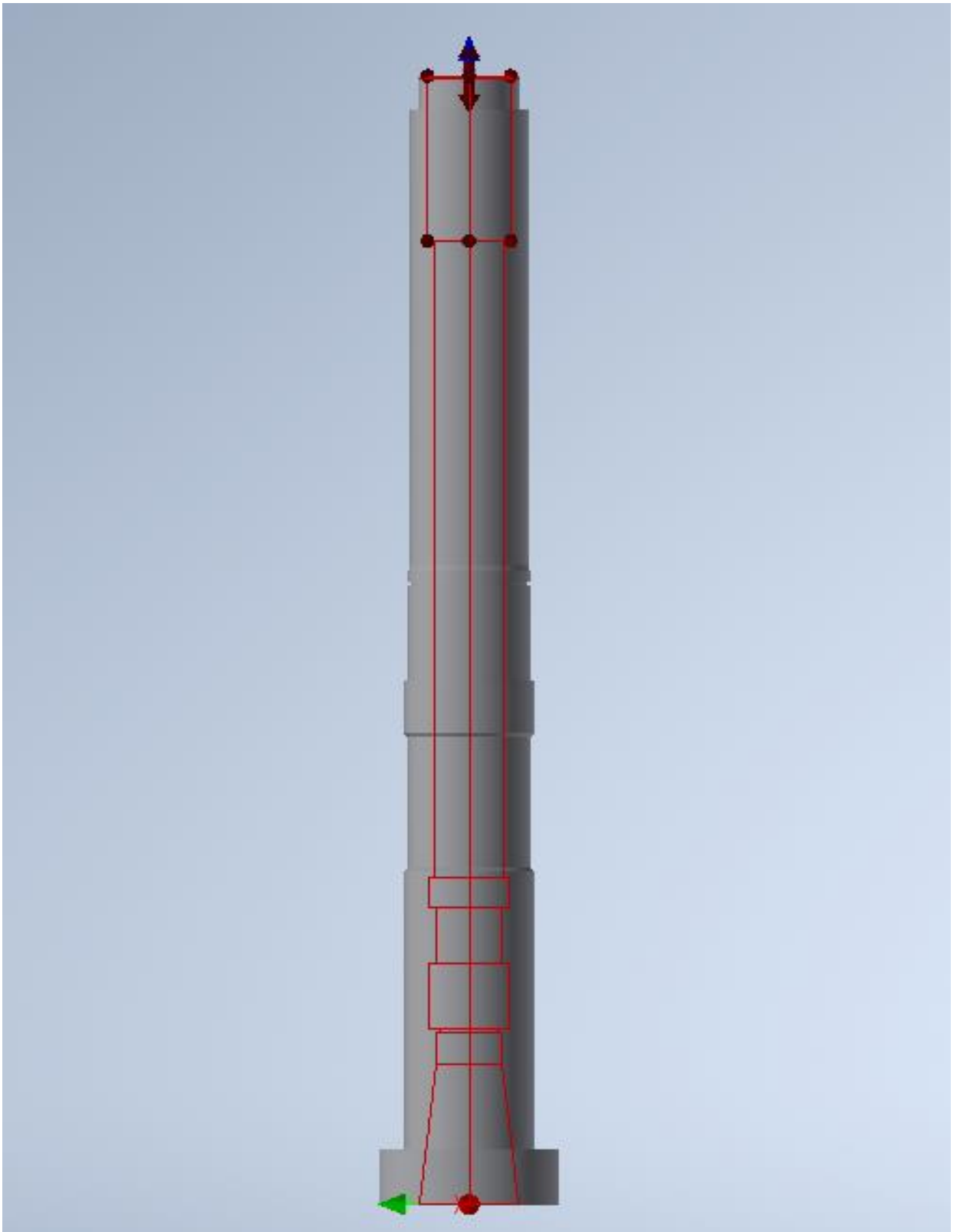


Рисунок 3.2 – 3д модель шпинделя

Переходимо до вкладки «Розрахунки». Задаємо матеріал шпинделя, наявні опори що контактують зі шпинделем та навантаження, що діють на нього (рис 3.3).

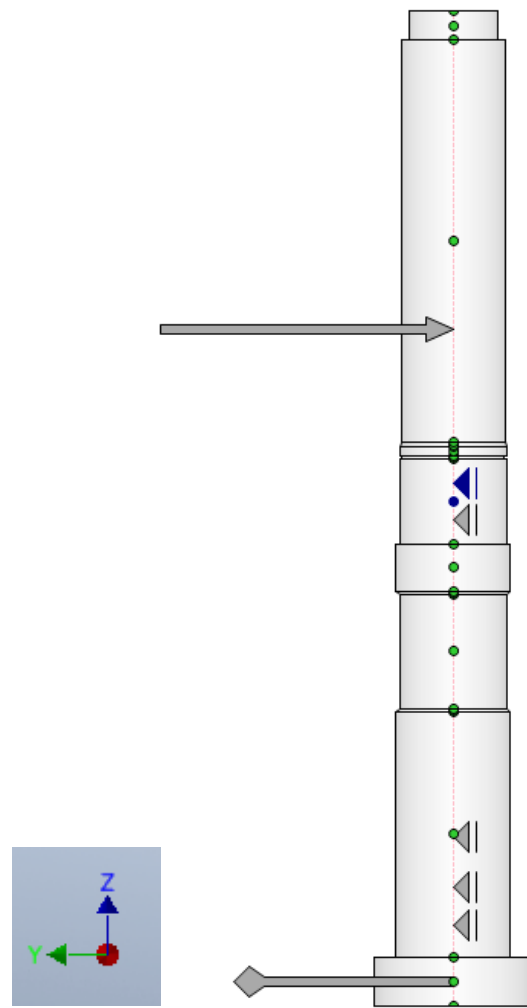


Рисунок 3.3 – Розташування опор та навантажень

Натискаємо «Розрахувати». Отримуємо графіки сил, моментів, відхилень та напружень, що виникають в шпинделі. Результати представлені на рисунках 3.4 – 3.10.

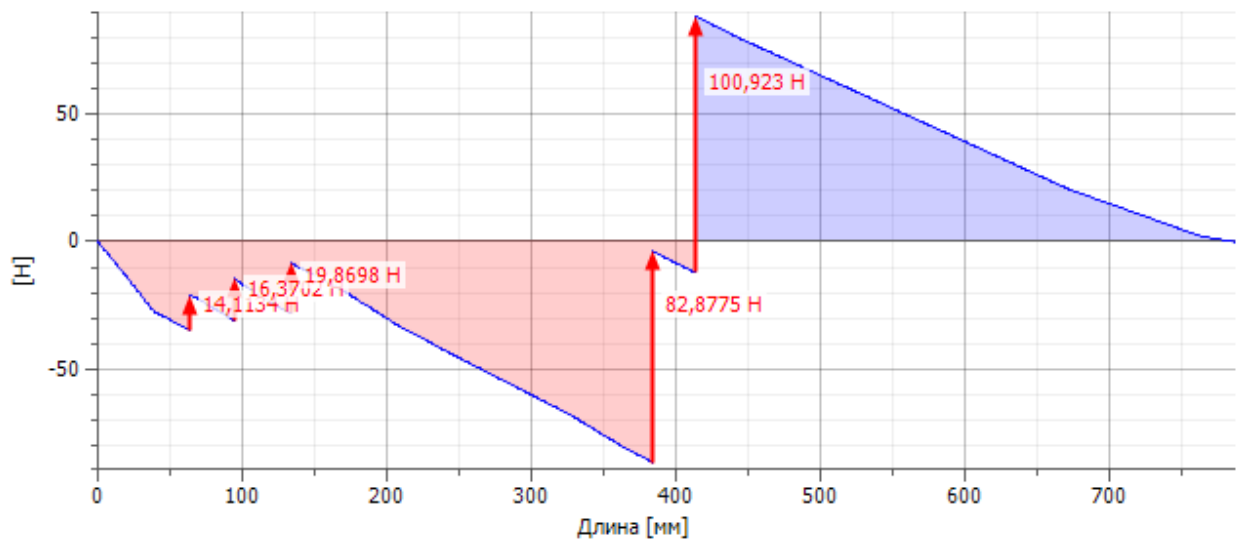


Рисунок 3.4 – Сила зсуву (площина YZ)



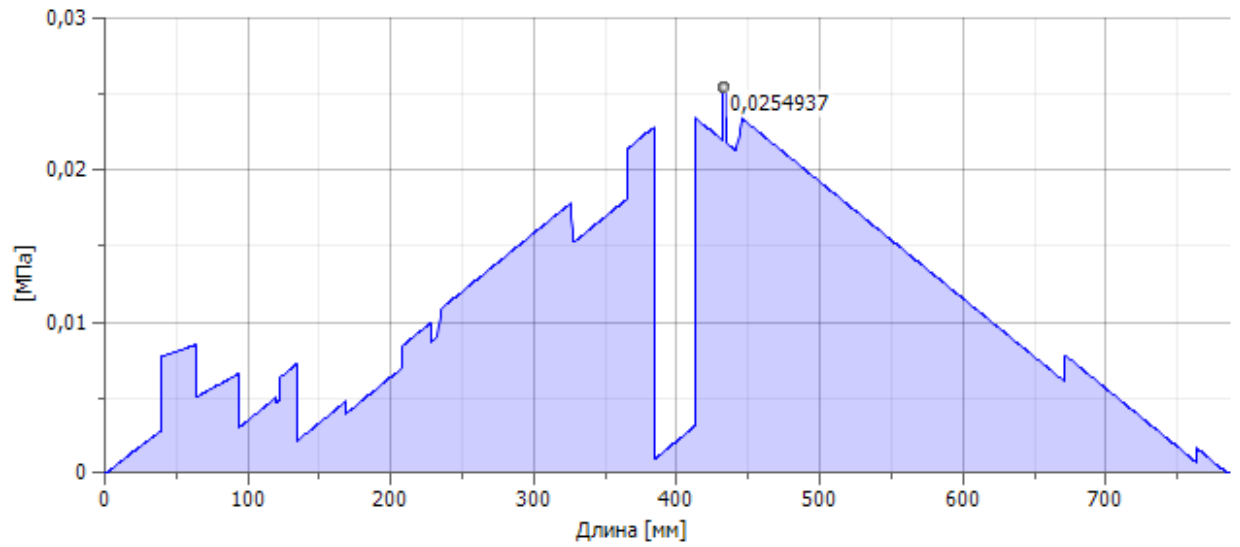


Рисунок 3.5 – Напруження зсуву (площина YZ)

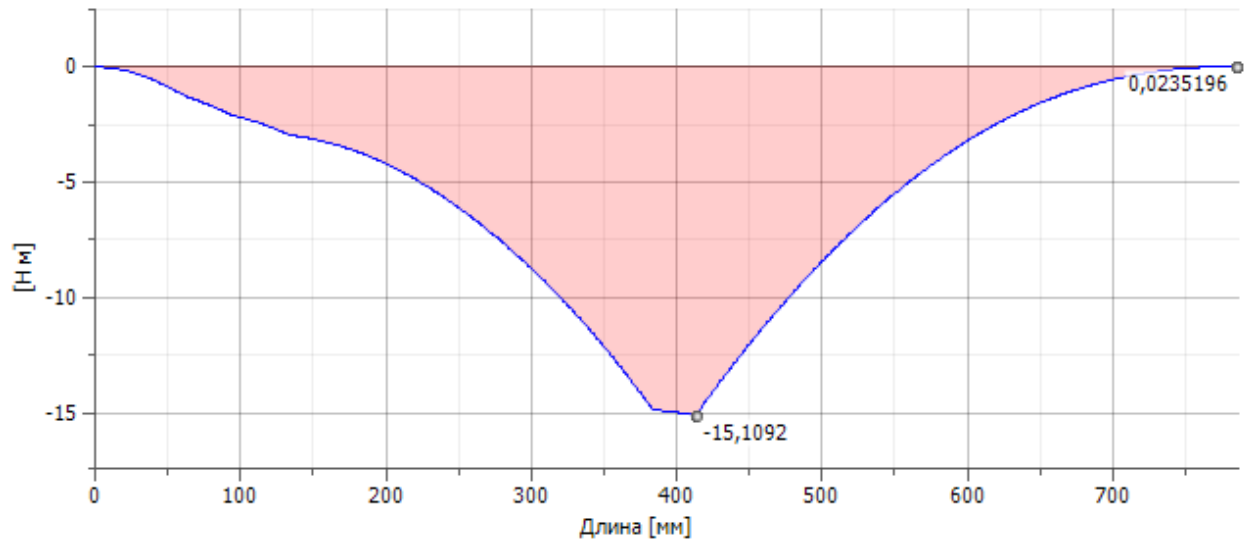


Рисунок 3.6 – Згинальний момент (площина YZ)

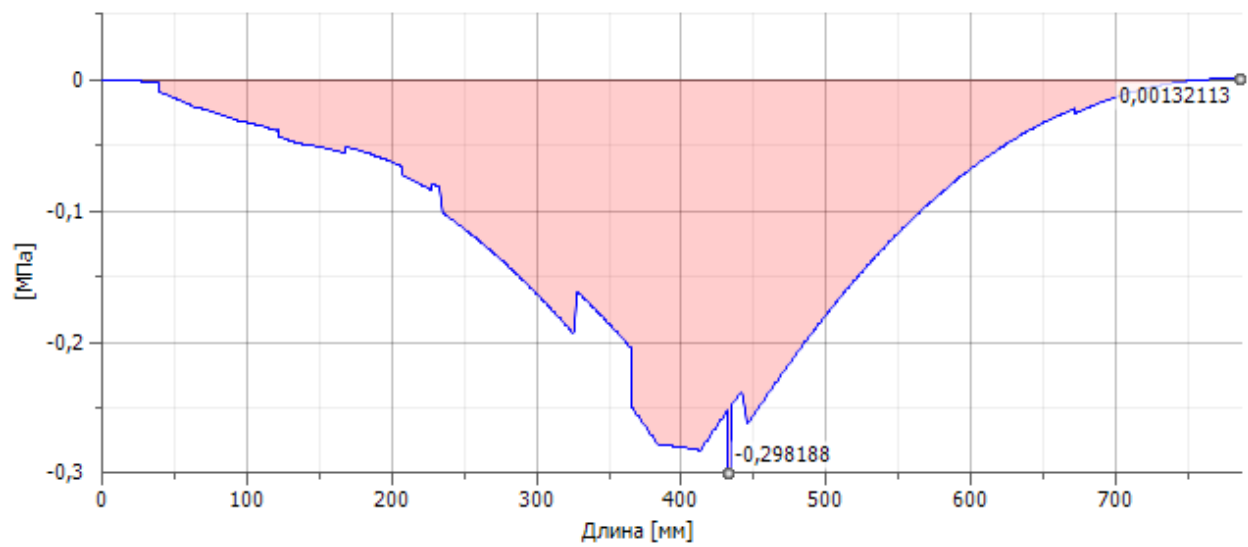


Рисунок 3.7 – Напруження при згинанні (площина YZ)

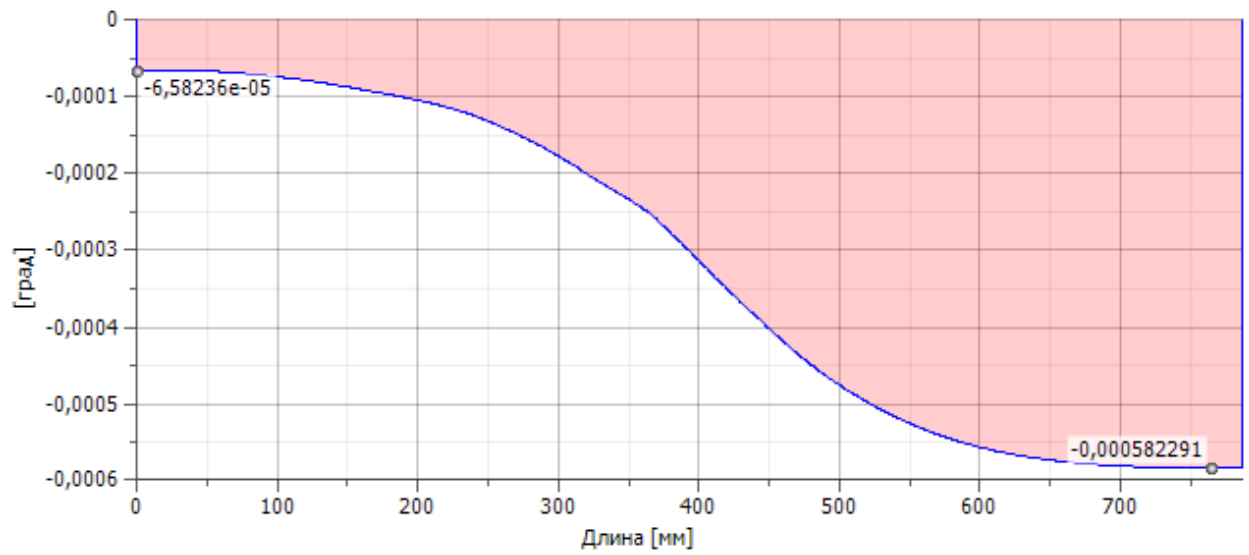


Рисунок 3.8 – Кут відхилення (площина YZ)

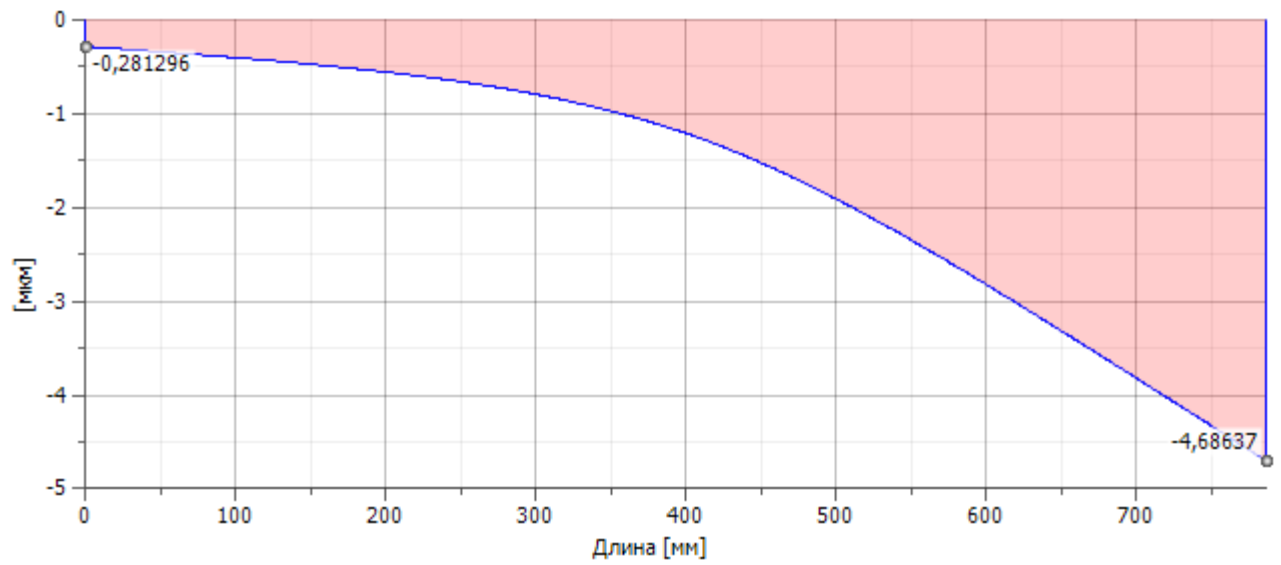


Рисунок 3.9 – Відхилення (площина YZ)

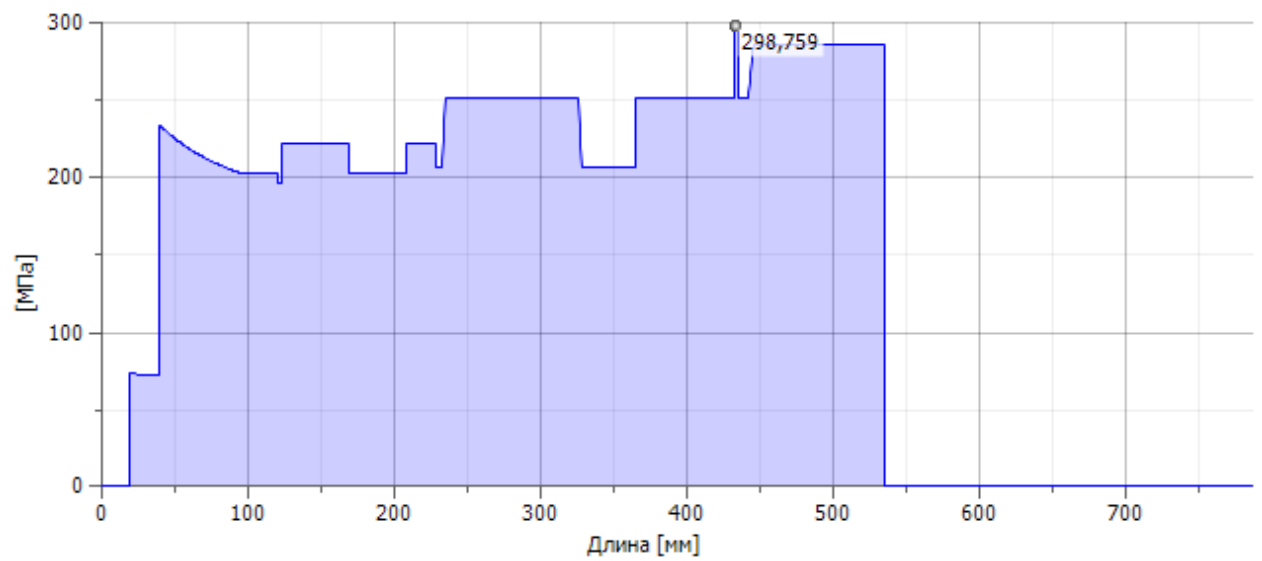


Рисунок 3.10 – Напруження кручення

Налаштування розрахунку в середовищі Autodesk Inventor «Аналіз напружень» :

1. Розділяємо шпиндель на сегменти площинами; додаємо опори; призначаємо сили, що діють на шпиндель (рис. 3.11).
2. Формуємо сітку на поверхні шпинделя (рис. 3.12).
3. Виконуємо моделювання та отримуємо результати моделювання, що представлені в таблицях 3.2.1 – 3.2.2 та рисунках 3.13 – 3.23.

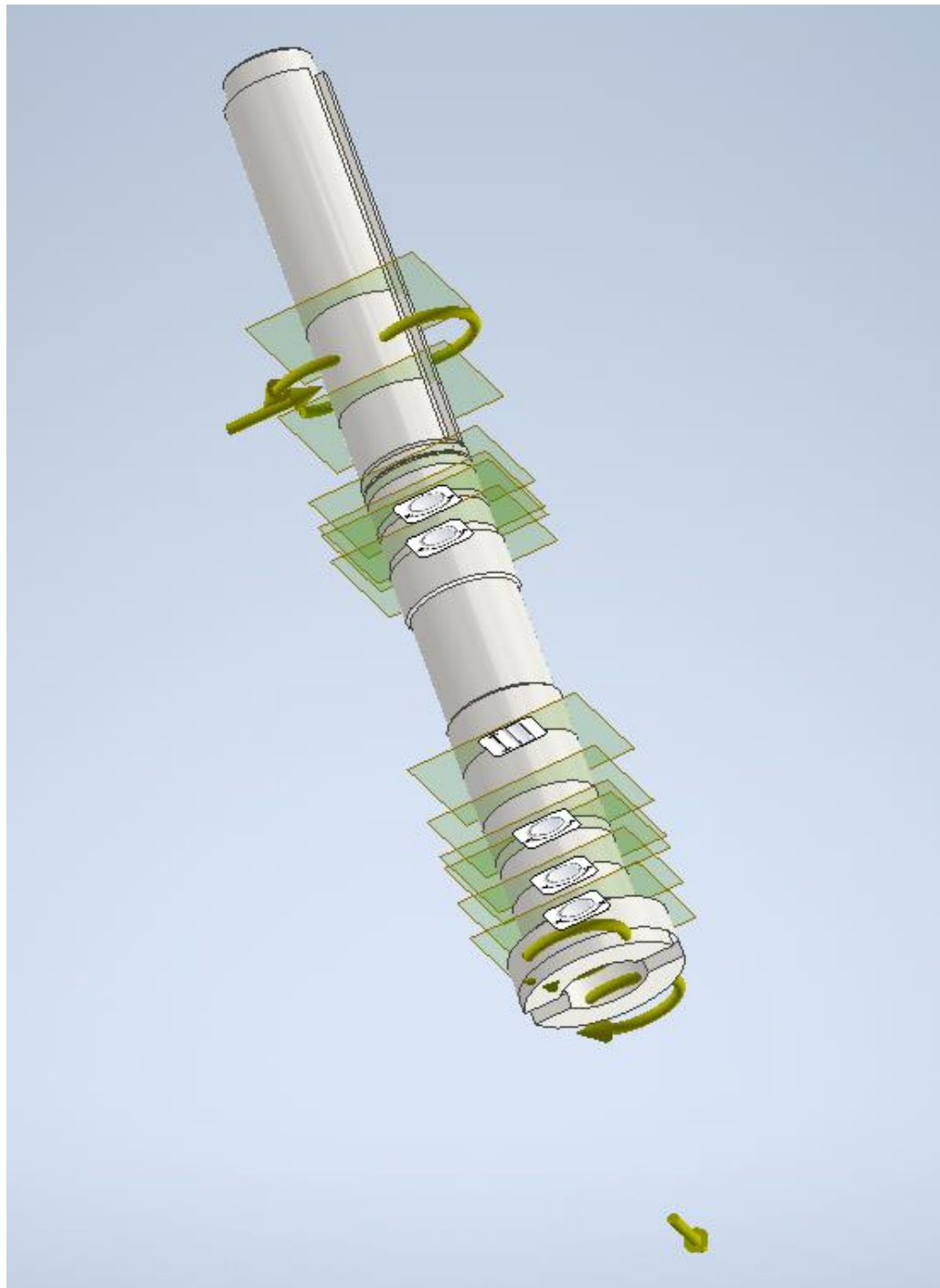


Рисунок 3.11 – Розташування опор та навантажень

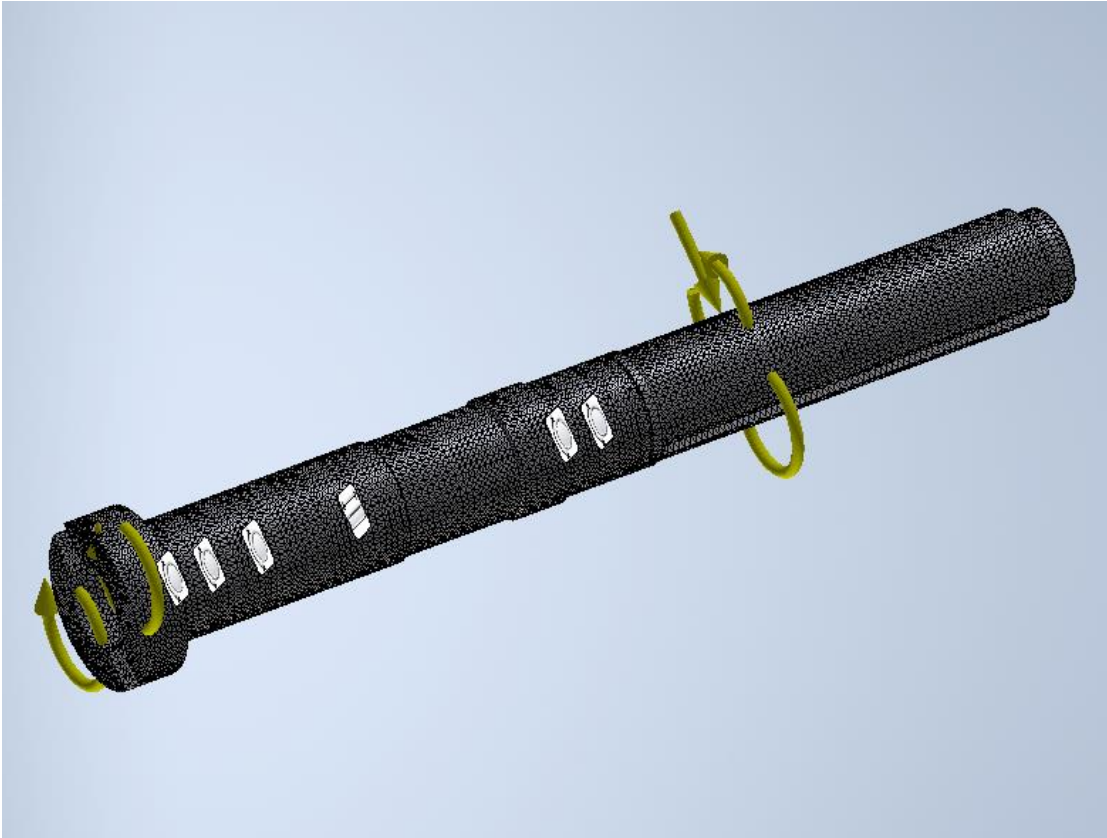


Рисунок 3.12 – Вид сітки шпинделя

Таблиця 2.5.1 – Сили та моменти в опорах

| Опора            | Сила реакції |                   | Реактивний момент |                   |
|------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                  | Величина     | Компонент (X,Y,Z) | Величина          | Компонент (X,Y,Z) |
| Ідеальна опора:1 | 6,29919 Н    | -0,511312 Н       | 51,6872 Н м       | 51,6852 Н м       |
|                  |              | 0,632312 Н        |                   | -0,424327 Н м     |
|                  |              | -6,24649 Н        |                   | -0,166656 Н м     |
| Підшипник 1      | 667,713 Н    | -21,9883 Н        | 181,393 Н м       | 0,00873598 Н м    |
|                  |              | 243,087 Н         |                   | -181,374 Н м      |
|                  |              | -621,504 Н        |                   | -2,59835 Н м      |
| Підшипник 2      | 232,051 Н    | -112,208 Н        | 13,3369 Н м       | -0,0194117 Н м    |
|                  |              | -196,625 Н        |                   | -9,87059 Н м      |
|                  |              | -50,9452 Н        |                   | 8,96906 Н м       |
| Підшипник 3      | 193,043 Н    | -184,613 Н        | 2,60453 Н м       | -0,0000696844 Н м |
|                  |              | -48,1259 Н        |                   | -0,187707 Н м     |
|                  |              | 29,4523 Н         |                   | 2,59776 Н м       |
| Підшипник 4      | 273,288 Н    | 273,243 Н         | 0,679272 Н м      | -0,00283355 Н м   |
|                  |              | -3,58541 Н        |                   | 0,171629 Н м      |
|                  |              | -3,45325 Н        |                   | -0,657226 Н м     |
| Підшипник 5      | 63,7912 Н    | 45,5695 Н         | 5,6452 Н м        | -0,00185647 Н м   |
|                  |              | -44,5428 Н        |                   | -0,108542 Н м     |
|                  |              | 2,94472 Н         |                   | -5,64416 Н м      |

Таблиця 2.5.1 – Результат напружень в шпинделі

| Назва                   | Мінімальна          | Максимальна     |
|-------------------------|---------------------|-----------------|
| Напруження по Мізесу    | 0,0000419103 МПа    | 140,513 МПа     |
| 1-е основне напруження  | -25,0474 МПа        | 164,746 МПа     |
| 3-є основне напруження  | -168,419 МПа        | 24,9664 МПа     |
| Зсув                    | 0,0237381 мм        | 0,0826613 мм    |
| Коеф. запасу міцності   | 1,47317 бр          | 15 бр           |
| Напруження XX           | -161,175 МПа        | 157,774 МПа     |
| Напруження XY           | -20,3476 МПа        | 21,0749 МПа     |
| Напруження XZ           | -47,3106 МПа        | 34,7206 МПа     |
| Напруження YY           | -40,9704 МПа        | 65,1241 МПа     |
| Напруження YZ           | -31,0627 МПа        | 30,3357 МПа     |
| Напруження ZZ           | -94,9448 МПа        | 94,5824 МПа     |
| Зсув по осі X           | -0,00870357 мм      | 0,00868177 мм   |
| Зсув по осі Y           | -0,0732956 мм       | 0,0741741 мм    |
| Зсув по осі Z           | -0,0739443 мм       | 0,0803993 мм    |
| Еквівалентна деформація | 0,00000000213197 бр | 0,000614537 бр  |
| 1-а основна деформація  | -0,0000232379 бр    | 0,000701226 бр  |
| 3-я основна деформація  | -0,000718965 бр     | 0,0000184823 бр |
| Деформація XX           | -0,000674121 бр     | 0,000658062 бр  |
| Деформація XY           | -0,000125962 бр     | 0,000130463 бр  |
| Деформація XZ           | -0,000292875 бр     | 0,000214937 бр  |
| Деформація YY           | -0,000188251 бр     | 0,000233194 бр  |
| Деформація YZ           | -0,000192293 бр     | 0,000187793 бр  |
| Деформація ZZ           | -0,000432856 бр     | 0,000432651 бр  |

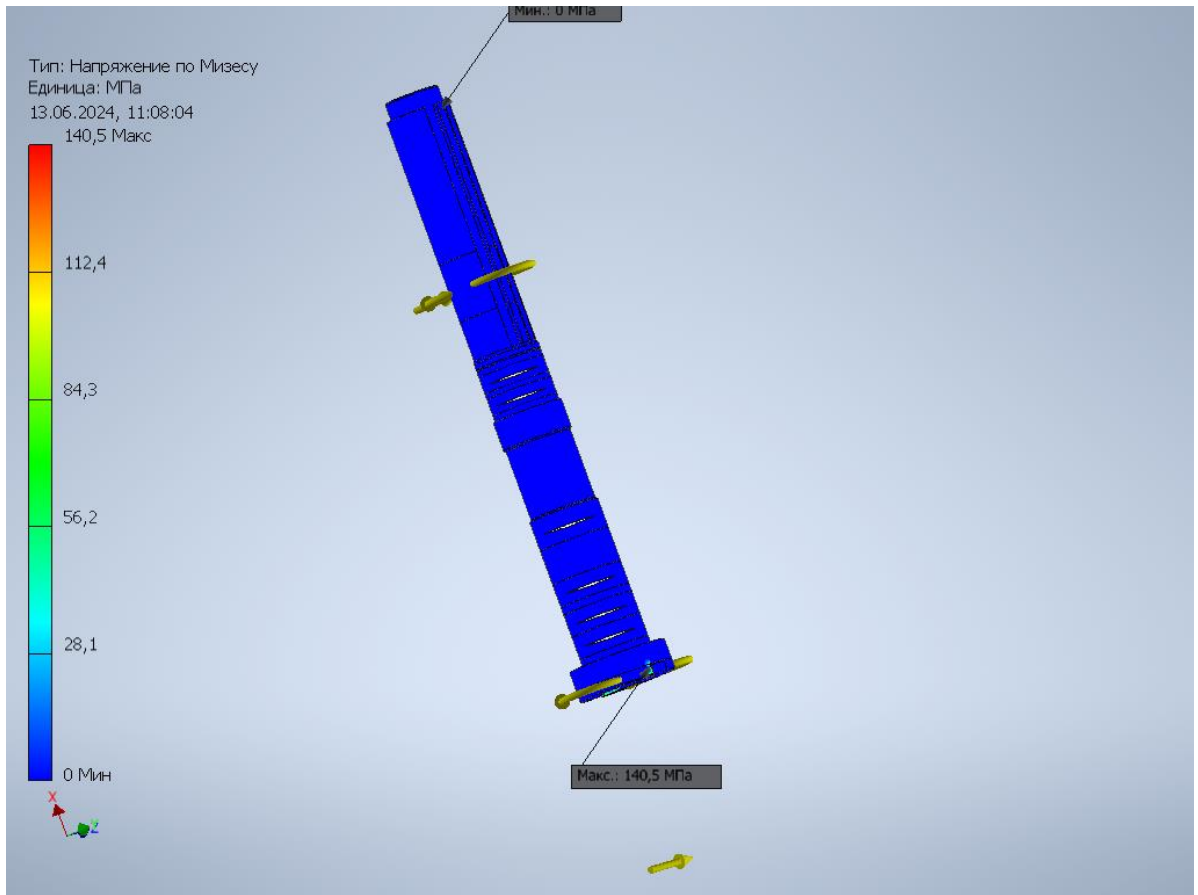


Рисунок 3.13 – Напряжения по Мизесу

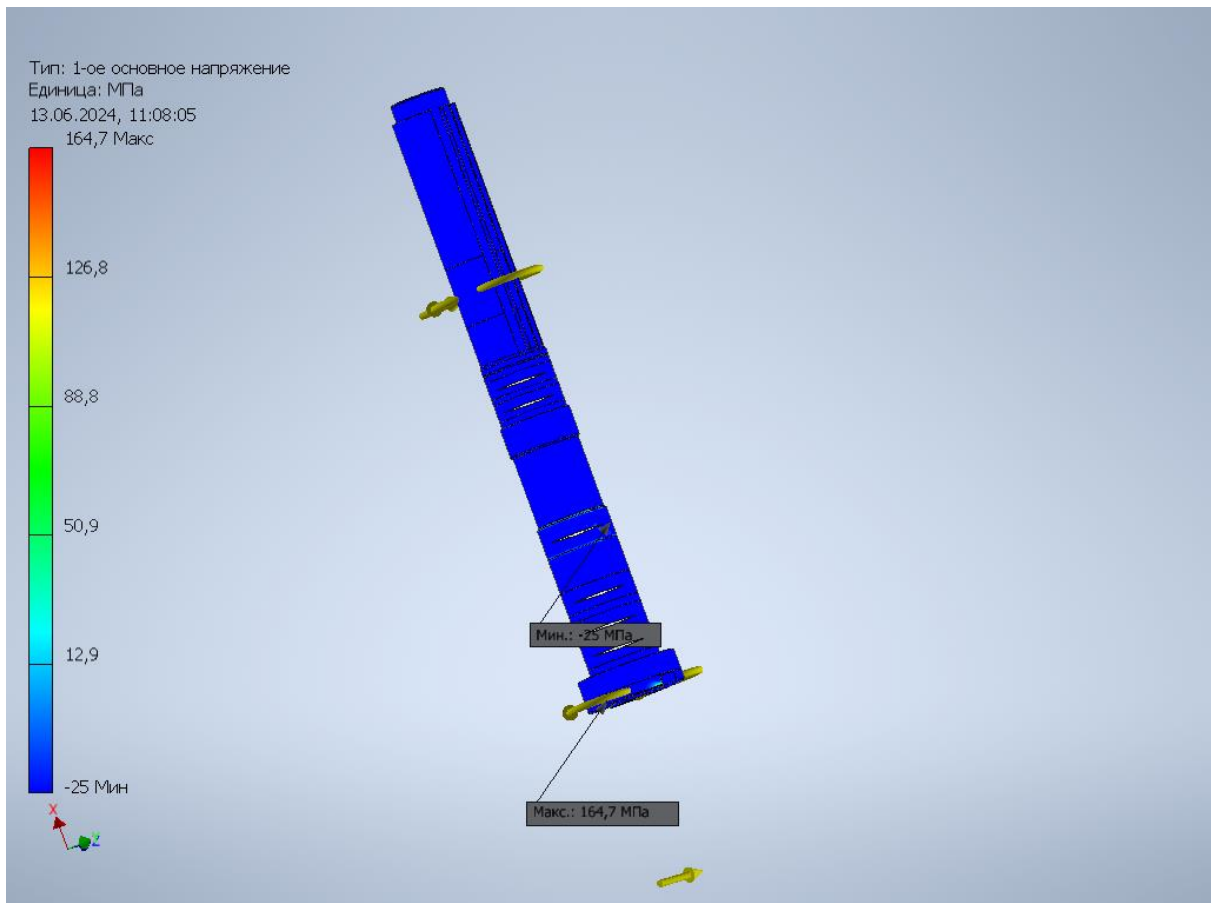


Рисунок 3.14 – 1-е основное напряжения

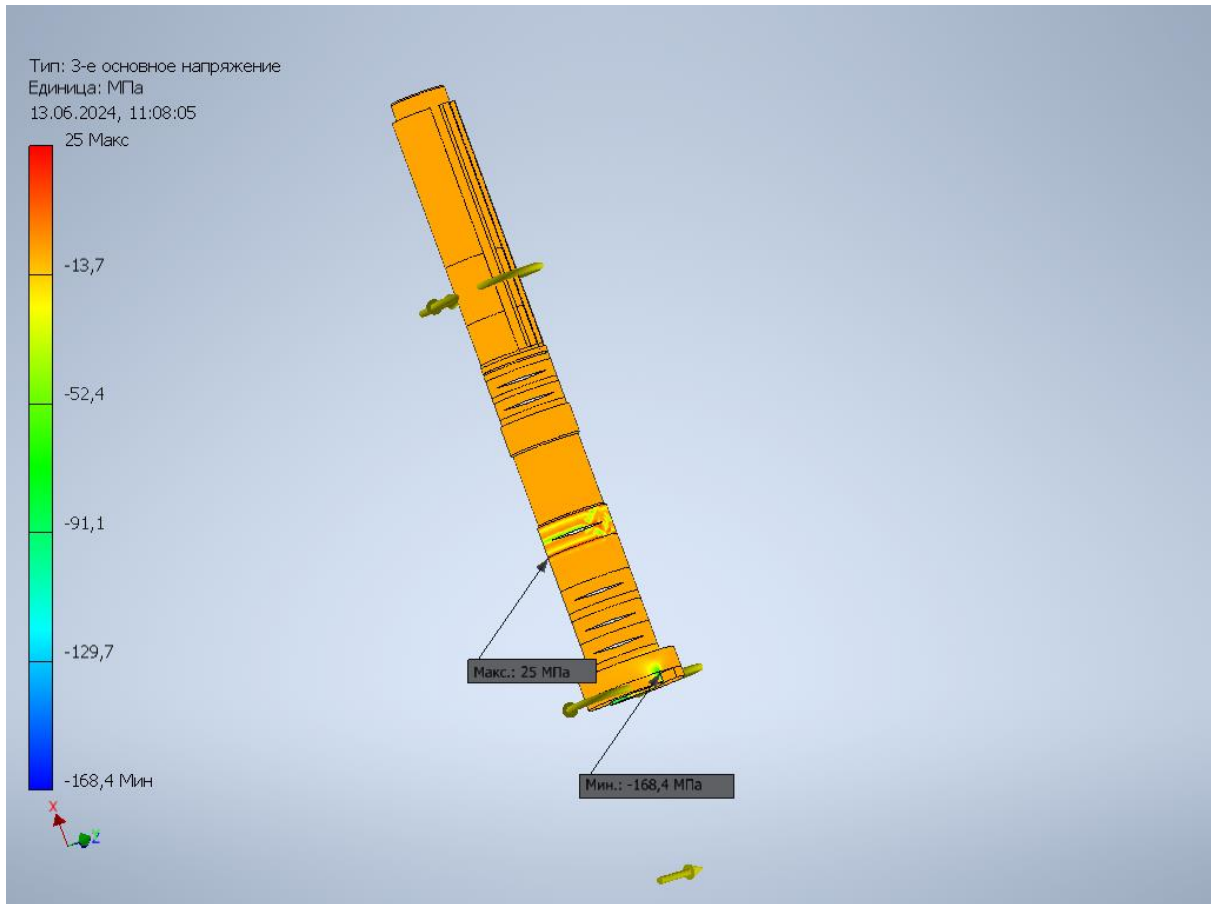


Рисунок 3.15 – 3-е основное напряжение

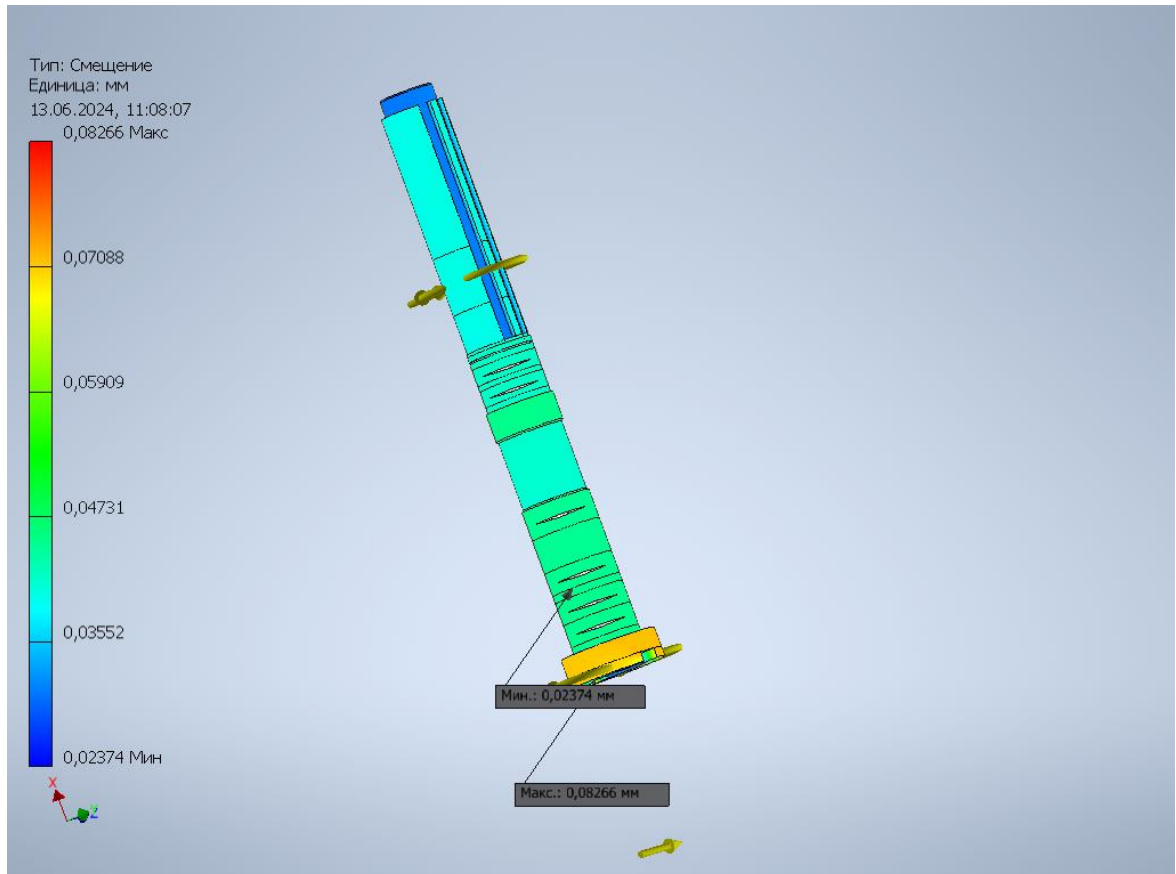


Рисунок 3.16 – Зсув

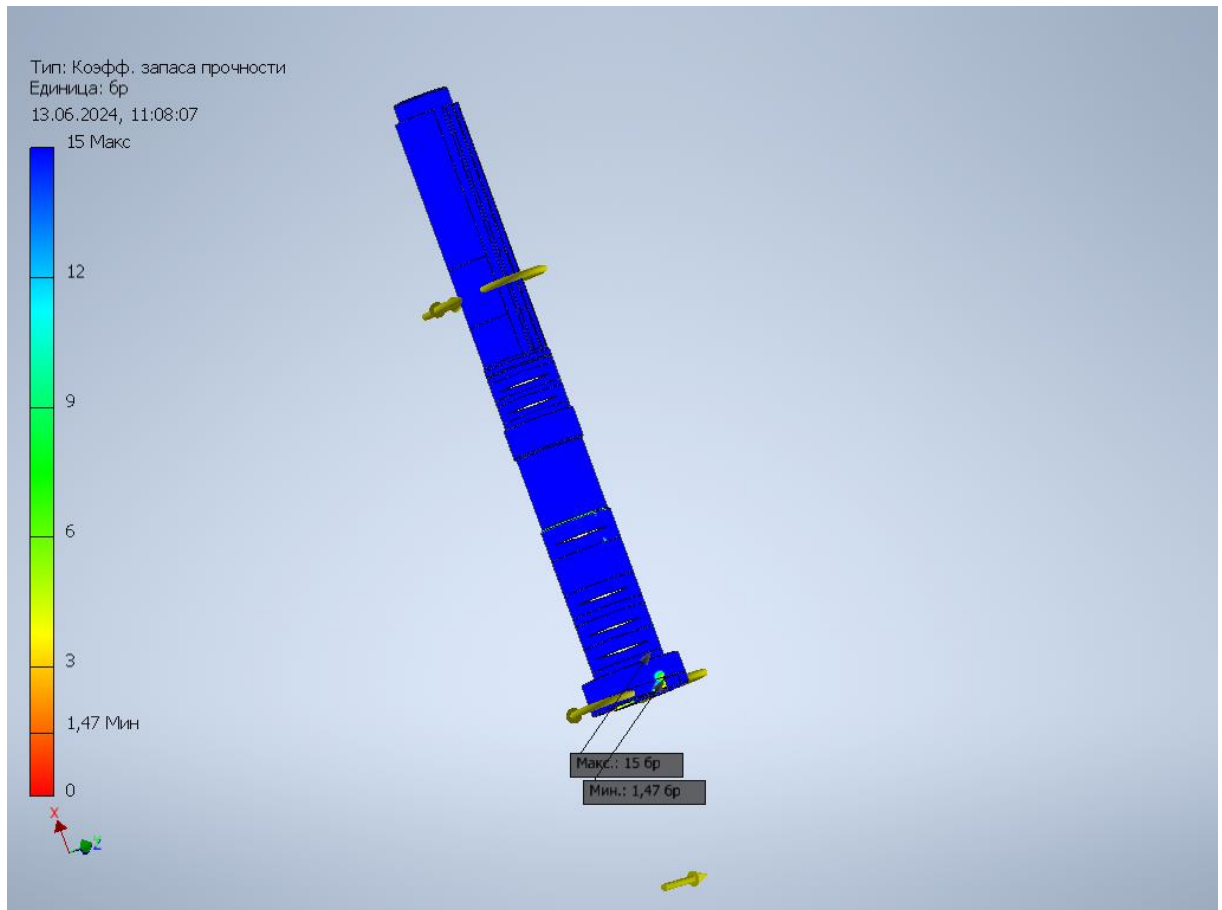


Рисунок 3.17 – Коеф. запасу міцності

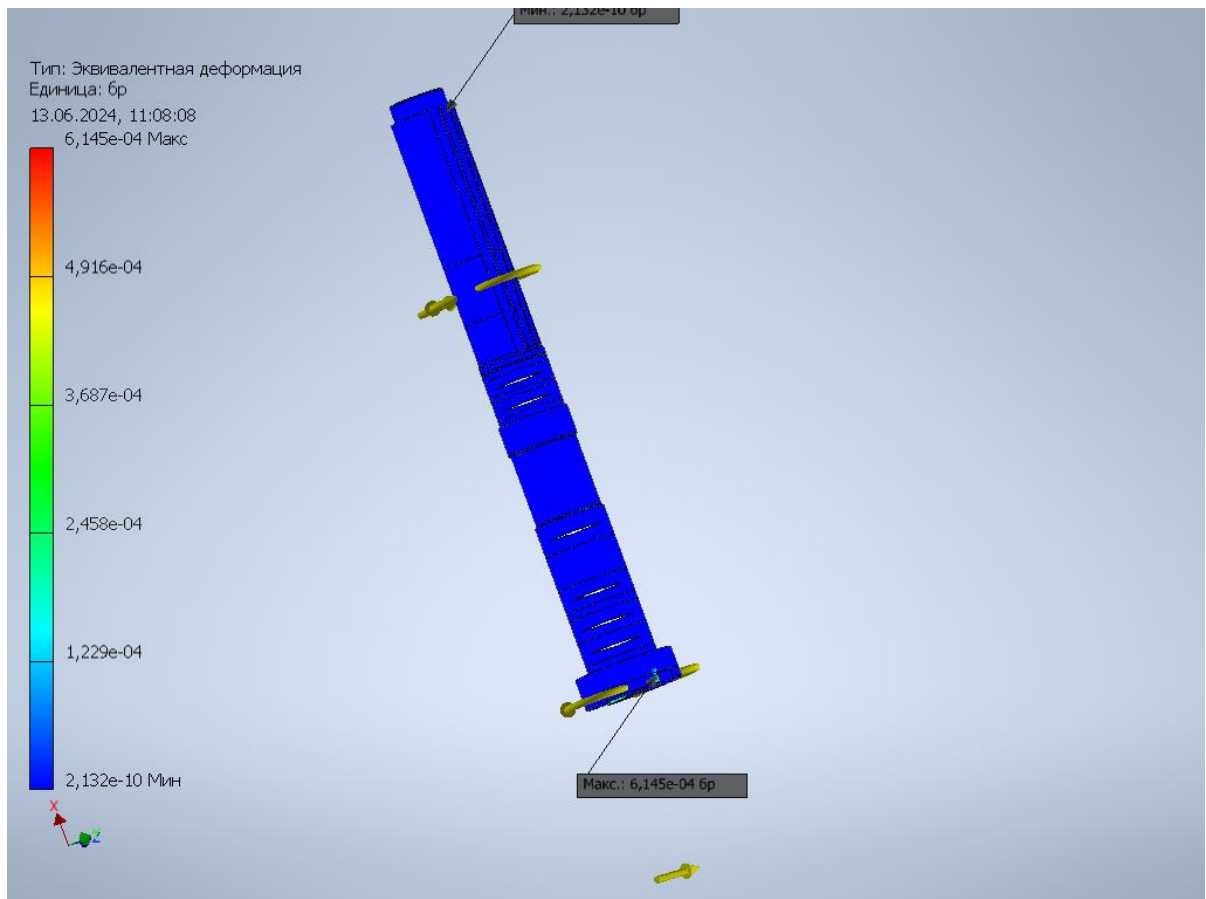


Рисунок 3.18 – Еквівалентна деформація



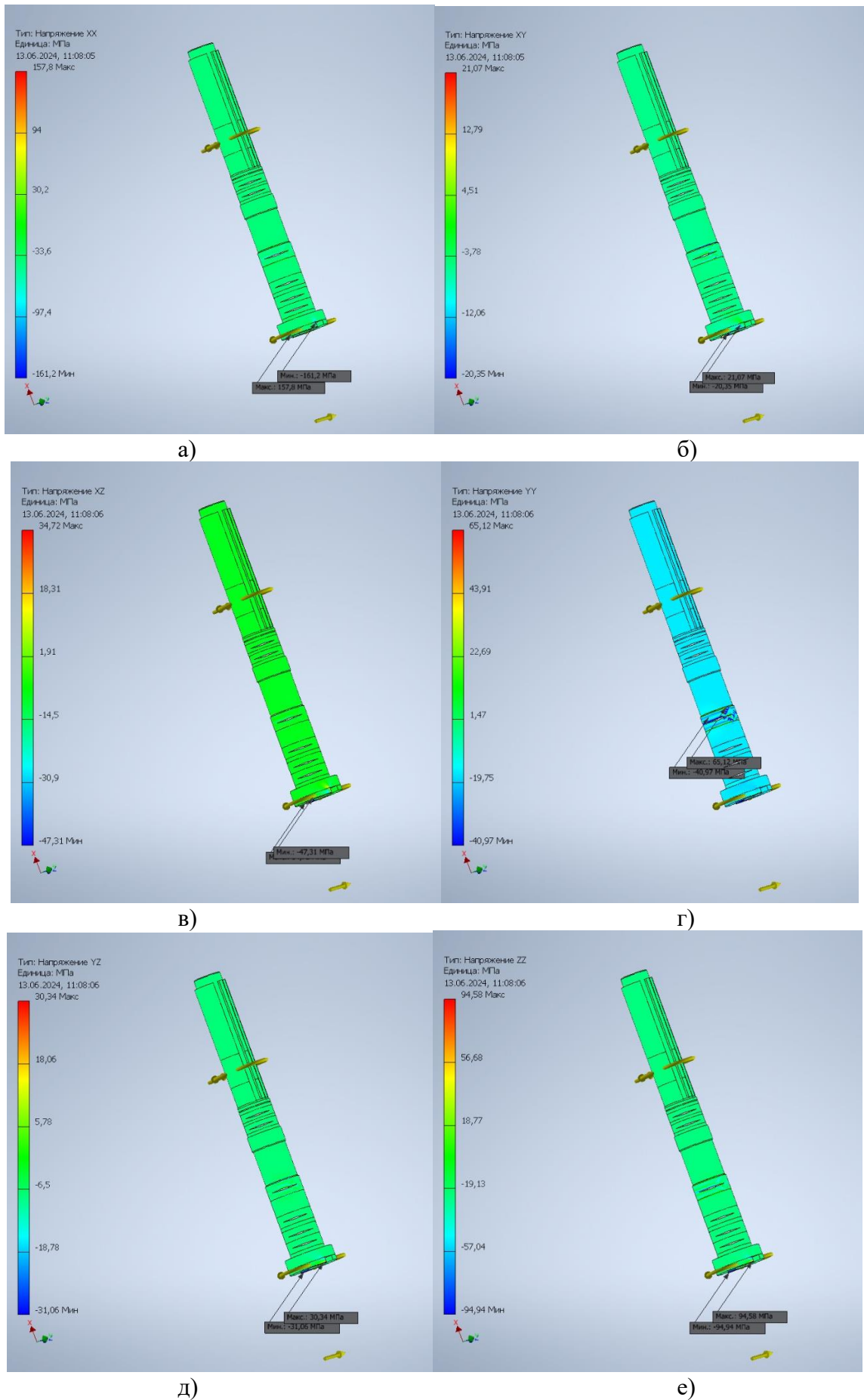
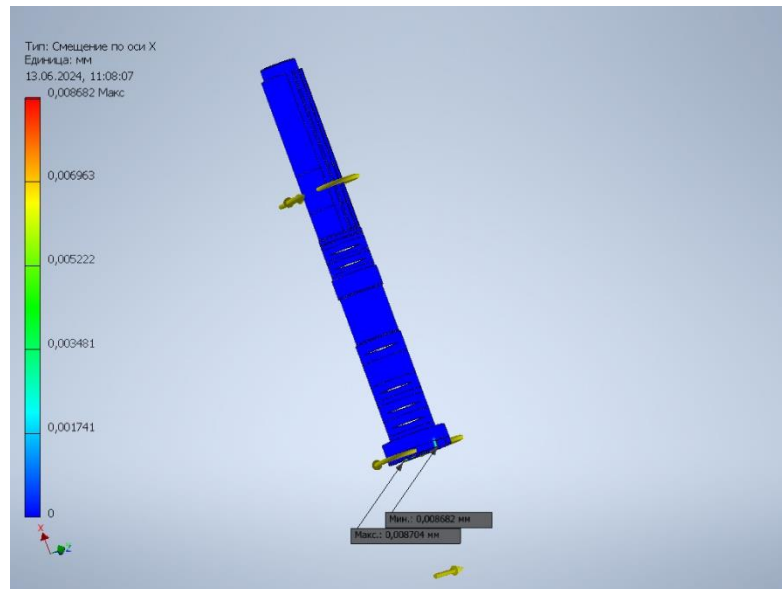
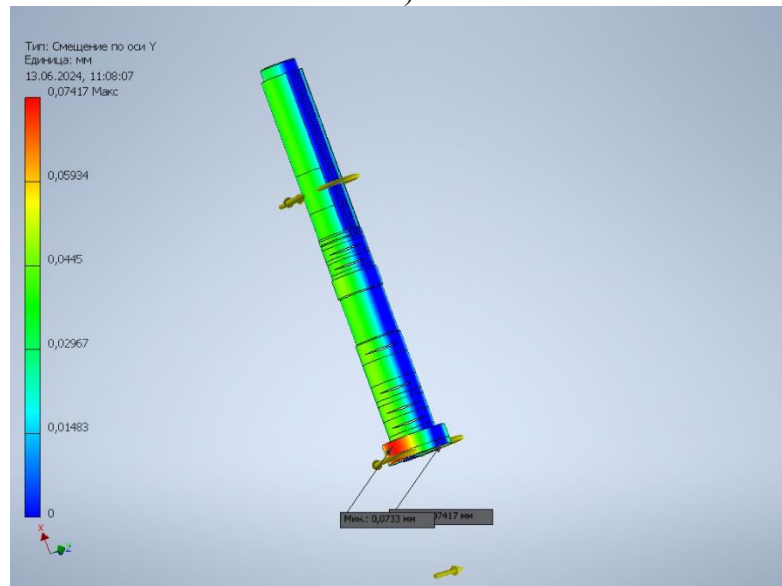


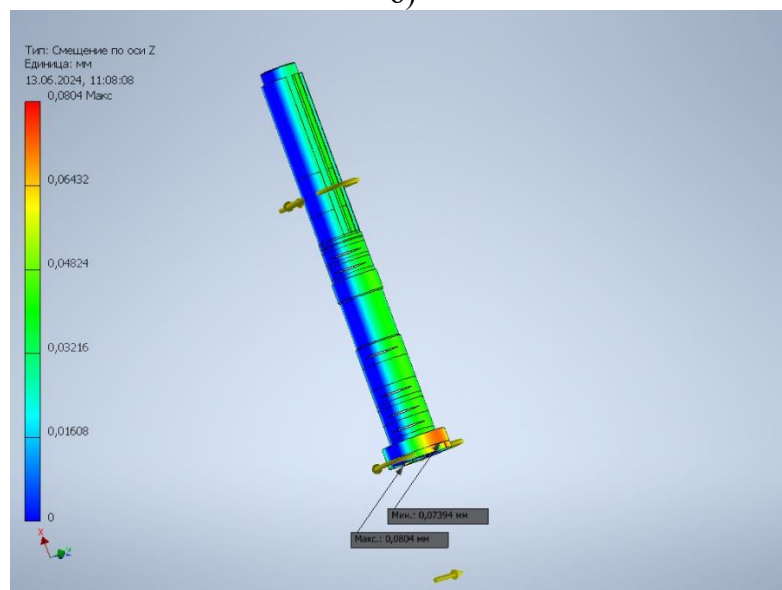
Рисунок 3.19 – Напряжения по координатам: а – XX; б – XY; в – XZ;  
г – YY; д – YZ; е – ZZ;



а)



б)



в)

Рисунок 3.20 – Зсув по осям: а – X; б – Y; в – Z

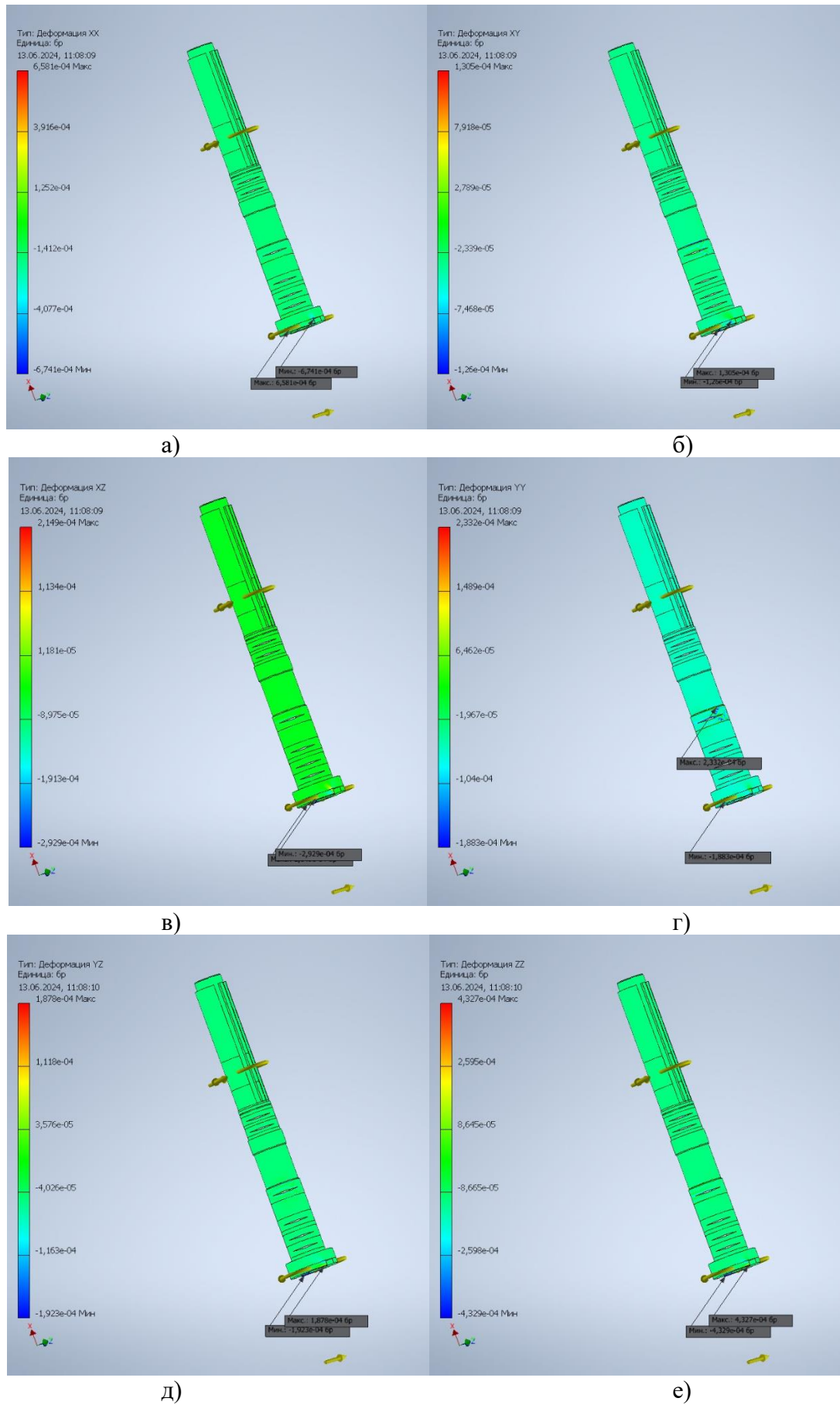


Рисунок 3.21 – Деформація по координатам: а – XX; б – XY; в – XZ;  
г – YY; д – YZ; е – ZZ

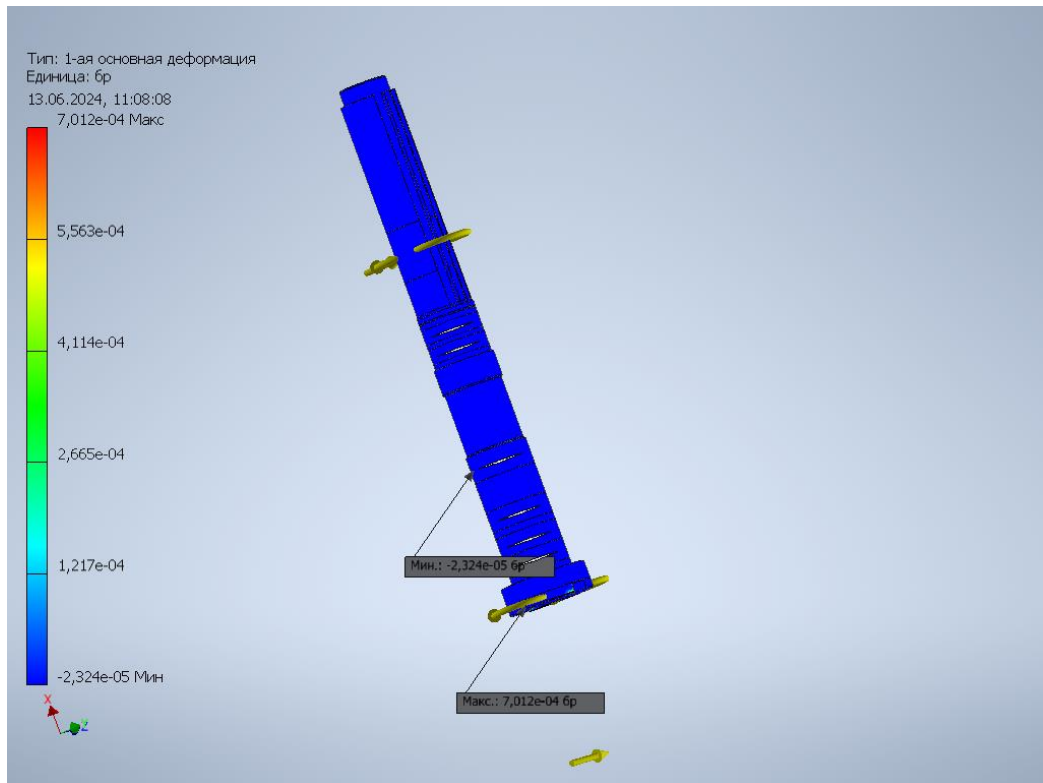


Рисунок 3.22 – 1-а основна деформація

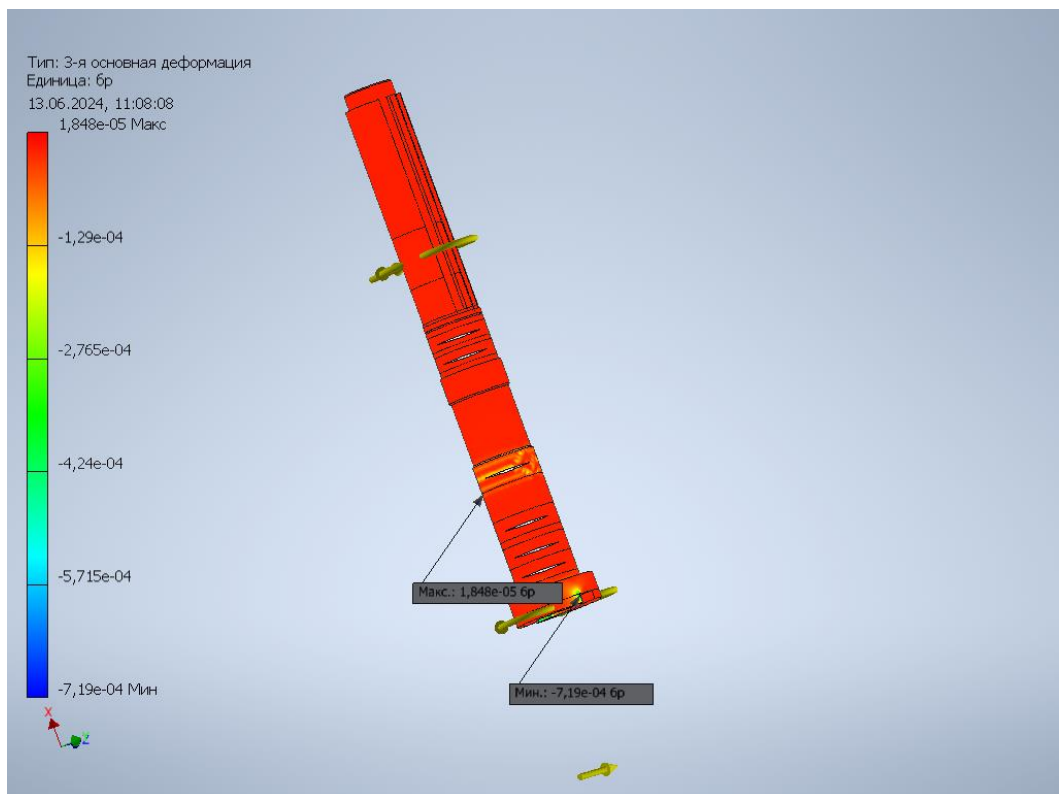


Рисунок 3.23 – 3-я основна деформація

Аналізуючи результати вимірювання можна стверджувати, що шпиндель та обрані підшипники в їх компоновці цілком задовольняють вимоги, напруження не перевищують допустимих.

## Висновок

У дипломному проєкті досліджено можливість модернізації верстату ГФ2171С5 шляхом його пристосування до виконання технологічного процесу, що потребує сучасніший верстат MaHo MH 500 W3.

В ході дослідження:

- проведено опис та порівняльний аналіз технічних характеристик верстатів MaHo MH 500 W3 та ГФ2171С5;
- вивчено аналоги верстатів та тенденції розвитку фрезерних верстатів з ЧПК;
- визначено характеристики, які потребують модернізації у базовому верстаті;
- зосередившись на приводі головного руху та шпиндельному вузлі розроблено план модернізації, що відповідає тенденціям розвитку даного типу верстатів;
- підібрано двигун з відповідними характеристиками;
- розроблено та розраховано нову коробку швидкостей верстата;
- обрано тип компоновки опор шпинделя та підібрано підшипники;
- створено 3D-модель та проведено розрахунок шпинделя модернізованого верстата в середовищі Autodesk Inventor.

Отримані результати розрахунків свідчать про те, що модернізація верстата ГФ2171С5 до виконання технологічного процесу, що потребує сучасніший верстат MaHo MH 500 W3 є технічно можлива.

Переваги модернізації:

- зниження витрат у порівнянні з купівлею нового верстата.
- можливість адаптувати верстат до конкретних потреб виробництва.
- покращення технічних характеристик верстата.
- продовження терміну служби верстата.

Під час будь-якої модернізації деякі елементи верстата потребують

повної заміни, а інші - часткових коригувань.

Загалом, модернізація верстата ГФ2171С5 може стати ефективним способом оновлення виробничого обладнання та підвищення його продуктивності.

## **Рекомендації**

### **Рекомендації щодо впровадження проекту модернізації верстату ГФ2171С5**

#### **1. Розрахунок валів та зубчастих коліс коробки швидкостей :**

Оскільки характеристики нового двигуна (потужність та швидкість обертання) відрізняються від характеристик оригінального двигуна, необхідно провести розрахунок валів та зубчастих коліс коробки швидкостей модернізованого верстата.

Цей розрахунок дозволить:

- переконатися, що вали та зубчасті колеса витримають навантаження, що виникають від нового двигуна;
- підібрати відповідні матеріали та розміри валів та зубчастих коліс;
- забезпечити надійну та довговічну роботу коробки швидкостей.

Розрахунок валів та зубчастих коліс можна виконати вручну або за допомогою спеціального програмного забезпечення.

#### **2. Детальне планування:**

1. Скласти детальний план модернізації, що включає чіткий перелік робіт, етапи їх виконання, необхідні ресурси та бюджет.
2. Визначити відповідальних осіб за кожен етап проекту.
3. Встановити чіткі терміни виконання робіт.

#### **3. Вибір кваліфікованих виконавців:**

1. Залучити до проекту кваліфікованих фахівців з досвідом модернізації верстатного обладнання.
2. Співпрацювати з надійними постачальниками комплектуючих та запчастин.

#### **4. Тестування та налагодження:**

1. Після завершення модернізації провести ретельне тестування верстата, щоб переконатися в його працездатності та відповідності всім вимогам.

2. За потреби провести додаткові налагодження та коригування.

**5. Навчання персоналу:**

1. Забезпечити навчання персоналу роботі з модернізованим верстатом.
2. Розробити інструкції з експлуатації та технічного обслуговування.

**6. Контроль та моніторинг:**

1. Встановити систему контролю та моніторингу роботи модернізованого верстата.
2. Регулярно проводити планові огляди та технічне обслуговування.

**7. Економічна оцінка:**

1. Провести економічну оцінку проекту модернізації, щоб визначити його рентабельність та термін окупності інвестицій.
2. Порівняти витрати на модернізацію з витратами на купівлю нового верстата.

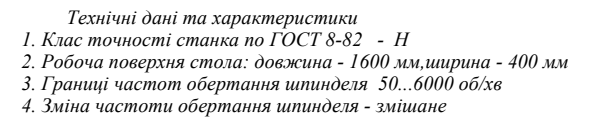
Впровадження даних рекомендацій, зокрема й розрахунок валів та зубчастих коліс коробки швидкостей, допоможе зробити проект модернізації верстата ГФ2171С5 максимально ефективним, надійним та вигідним.



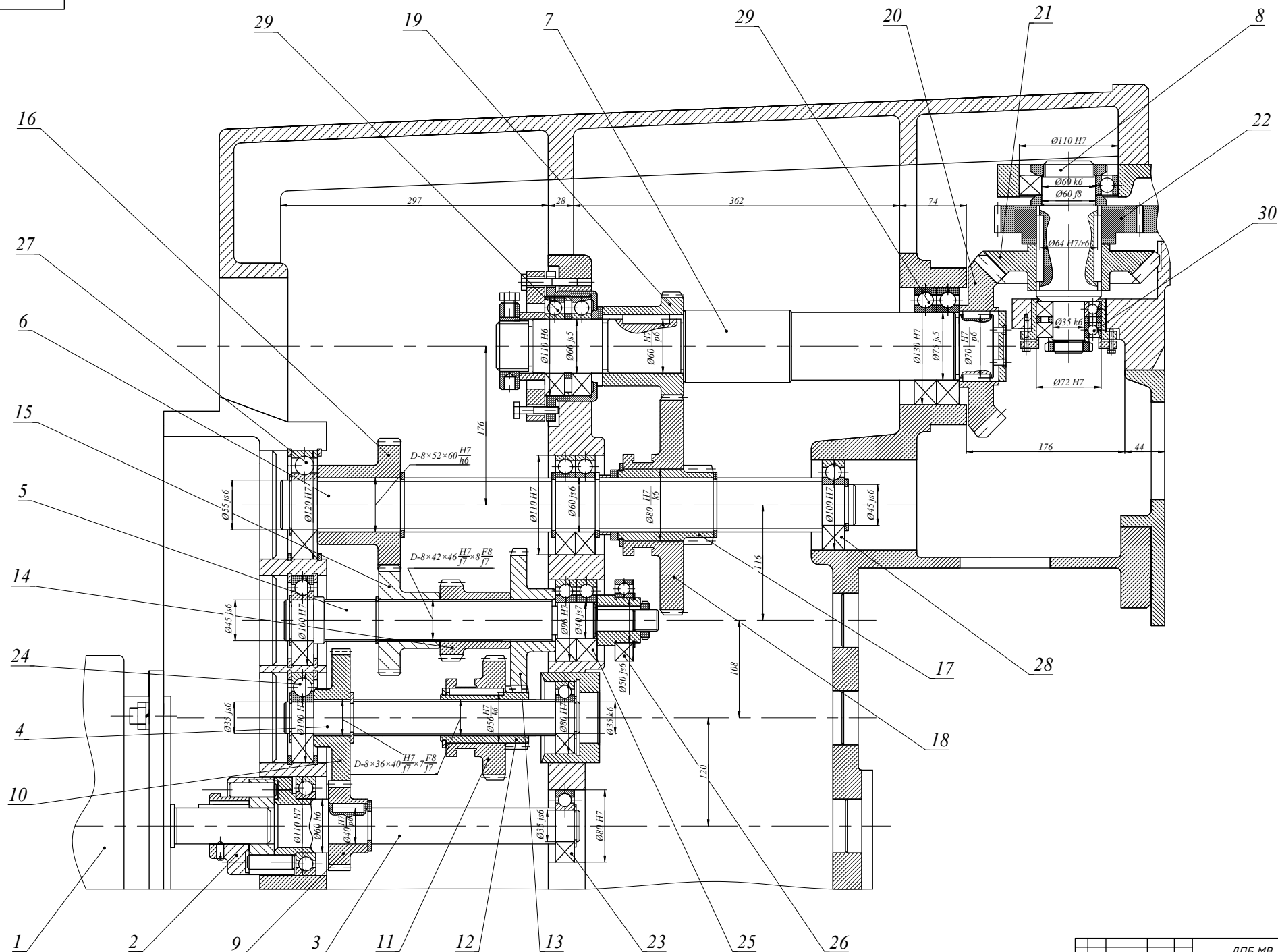
## Література

1. Resale. Технічні характеристики МАНО МН 500 W3 [Електронний ресурс] / resale. – 1989. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.resale.info/ua/maho-mh-500-w3-інструментальні-фрезерні-верстати-з-чпу/No-162945354>. (16.06.2024)
2. Rubicon. Схеми, описи, характеристики [Електронний ресурс] / Rubicon. – 1985. – Режим доступу до ресурсу: [https://stanki-katalog.ru/sprav\\_gf2171.htm](https://stanki-katalog.ru/sprav_gf2171.htm). (16.06.2024)
3. ATD Precision. Precision machining specialists with over 50 years of industry experience [Електронний ресурс] / ATD Precision. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thomasnet.com/insights/cnc-machining-projected-to-be-100b-industry-by-2025/>. (16.06.2024)
4. Shenyang Elite Machunery&Equipment Co., Ltd. Майбутні тенденції розвитку верстатів з ЧПК [Електронний ресурс] / Shenyang Elite Machunery&Equipment Co., Ltd. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.eltcncmachine.com/news/future-development-trends-of-cnc-machine-tools-69482314.html>. (16.06.2024)
5. Vitintech. Продаж б/в верстатів з ЧПК [Електронний ресурс] / Vitintech – Режим доступу до ресурсу: <https://vitcompany.com.ua/>. (16.06.2024)
6. Siemens. Technical Online-Documentation [Електронний ресурс] / Siemens. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109476679/technical-online-documentation-for-sinumerik-sinamics-simotion-and-simotics?dti=0&lc=en-UA>. (16.06.2024)
7. ЕЛНАС. Електродвигун 4AM132S4 Детальніше: <https://all-electro.com.ua/ua/p112662514-4am132s4-elektrodivigatel-4am132s4.html> [Електронний ресурс] / ЕЛНАС – Режим доступу до ресурсу: <https://all-electro.com.ua/ua/p112662514-4am132s4-elektrodivigatel-4am132s4.html>. (16.06.2024)

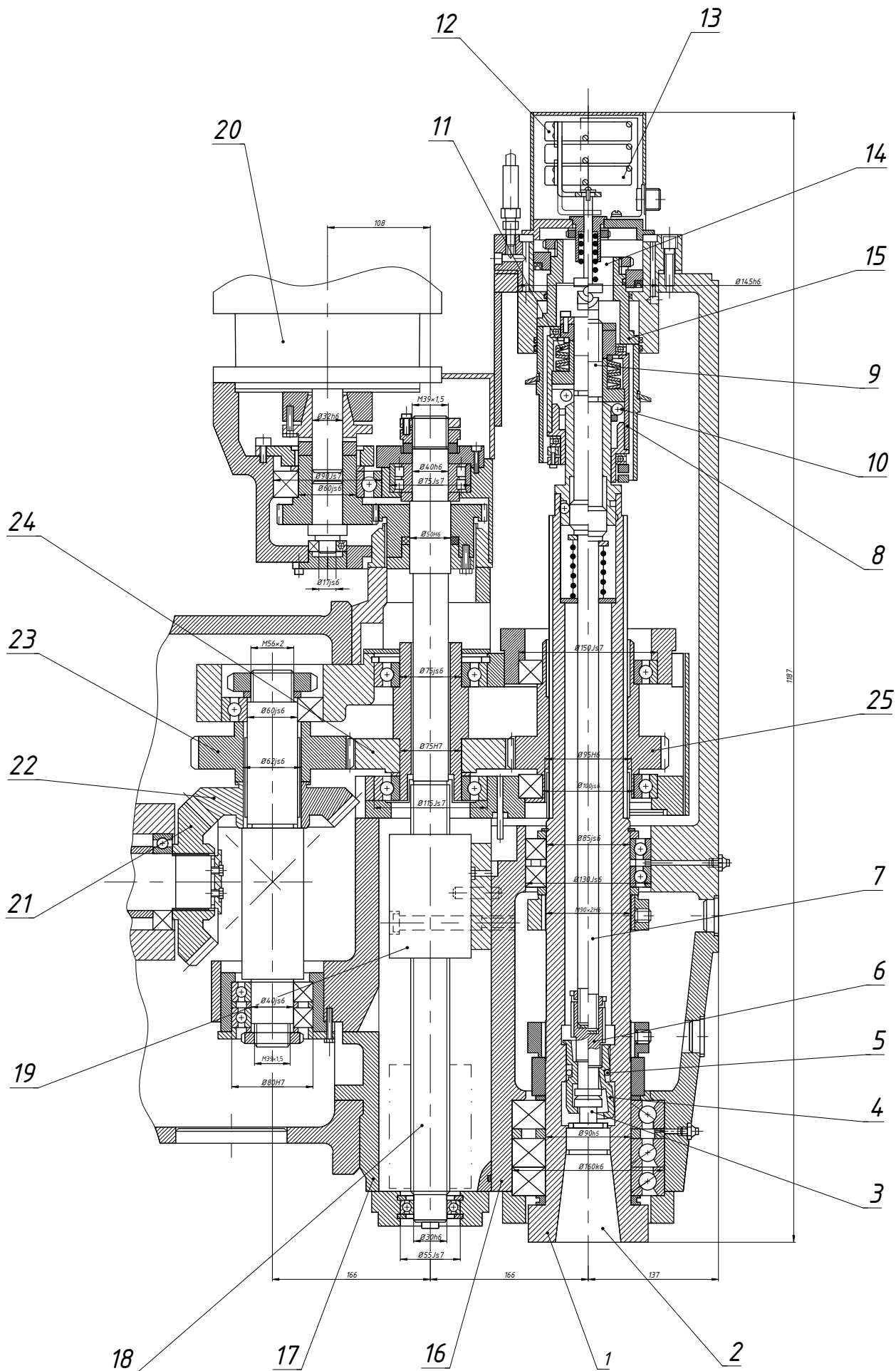
8. Бочков В. М. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник / В. М. Бочков, Р. І. Сілін, О.В. Гаврильченко. За ред. Сіліна Р. І.– Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008. – 448 с.
9. Данильченко Ю.М., Кузнєцов Ю.М. Прецизійні шпиндельні вузли на опорах кочення (теорія і практика). – Тернопіль-Київ, Економічна думка, 2003 – 344 с.
10. Курмаз Л.В. Основи конструювання машин: навчальний посібник МОН України. – Х.: Підручник НТУ —ХПІ, 2010. – 532 с.
11. Киркач Н. Ф., Баласанян Р. А. Расчет и проектирование деталей машин. – Харьков: Основа, 1991. – 276 с
12. К.64 Розрахунок та конструювання валів. Вибір підшипників кочення за динамічною вантажопідйомністю: Навчальний посібник. Електронне навчальне видання/ Уклад.: В. А. Стадник – К.: НТУУ 2014, 128 с., іл.
13. Металлорежущие станки. Учеб. пособие для вузов Н. С. Колев, Л. В. Красниченко, Н. С. Никулин и др. – М.: Машиностроение, 1980.–500 с.
14. Верба І. І., Даниленко О. В. Проектування обладнання галузевого машинобудування: Шпиндельні вузли на опорах кочення. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра, за освітньою програмою „Технології комп’ютерного конструювання верстатів, роботів та машин“ спеціальності 131 „Прикладна механіка“; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,9 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 135 с.
15. Кобзар Е. П. Розрахунок та проектування вузлів та деталей верстатів і систем: Навчальний посібник / Е.П. Кобзар, Л.С. Мельничук, О.А. Громовий – Житомир: Інженерно-технологічний ін-т, 2001 – 361с.



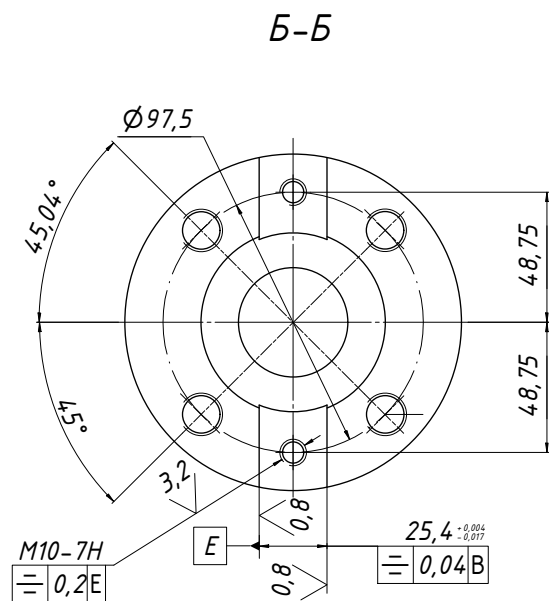
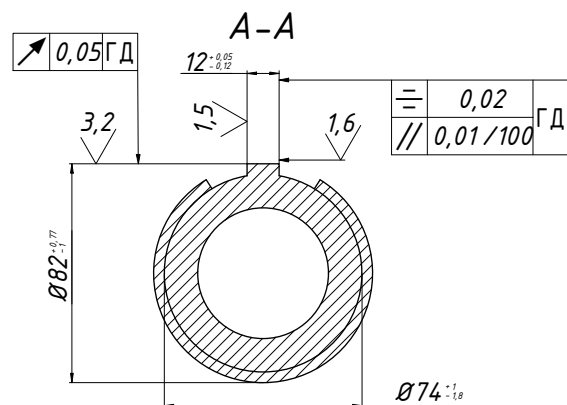
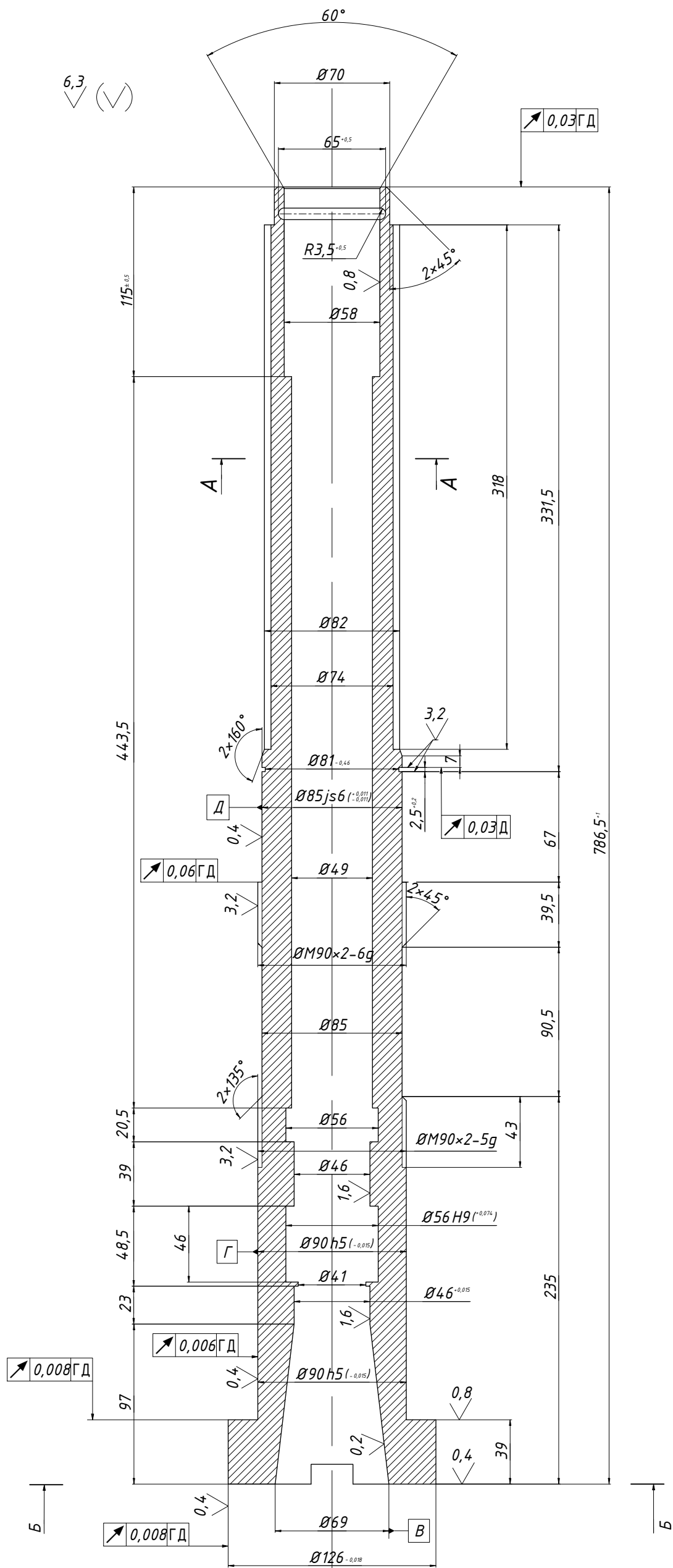
|           |     |                 |        |      |                                             |       |         |  |
|-----------|-----|-----------------|--------|------|---------------------------------------------|-------|---------|--|
|           |     |                 |        |      | ДПБ.МВ-0216.000.00.01КЗ                     |       |         |  |
| Экз       | Арк | № докум         | Подпис | Дата | Кинематична схема                           |       |         |  |
| Разработ  |     | Сопровождает    |        |      | Лист                                        | Маса  | Масштаб |  |
| Печат     |     | Дополнительно 0 |        |      | Арк. 1                                      | Архив | 1       |  |
| Н. контр. |     |                 |        |      | "КПБ им. Гора Спирского".<br>НН ММБ, ММБ-02 |       |         |  |
| Затв      |     |                 |        |      |                                             |       |         |  |



|                          |                |          |         |      |                    |       |         |
|--------------------------|----------------|----------|---------|------|--------------------|-------|---------|
| ДПБ.МВ-0216.000.00.02.СК |                |          |         |      | Коробка шевкоостей |       |         |
| Эк.                      | Арх.           | № докум. | Подпис. | Дата | Лит.               | Масса | Масштаб |
| Разр.                    | Сутормин С. О. |          |         |      |                    |       | 1:2     |
| Проект.                  | Давыдов О. В.  |          |         |      | Арх.               | Архив | 1       |
| Г. контр.                |                |          |         |      |                    |       |         |
| Н. контр.                |                |          |         |      |                    |       |         |
| Затв.                    |                |          |         |      |                    |       |         |
| Формат А1                |                |          |         |      | Копиров            |       |         |



|                          |           |                  |            |            |                  |  |  |  |  |
|--------------------------|-----------|------------------|------------|------------|------------------|--|--|--|--|
| ДПБ.МВ-0216.000.00.03.СК |           |                  |            |            |                  |  |  |  |  |
| Ис.                      | Арх.      | Утверждено       | Пом.       | Дата       | Шпиндельный узел |  |  |  |  |
| Рис.                     | Проект    | Согласовано С.О. | Длина О.В. | Длина О.В. |                  |  |  |  |  |
| Т. контр.                | Т. контр. | Т. контр.        | Т. контр.  | Т. контр.  | 1:2              |  |  |  |  |
| Н. контр.                | Н. контр. | Н. контр.        | Н. контр.  | Н. контр.  | Архив            |  |  |  |  |
| Зам.                     | Зам.      | Зам.             | Зам.       | Зам.       | Формат А1        |  |  |  |  |

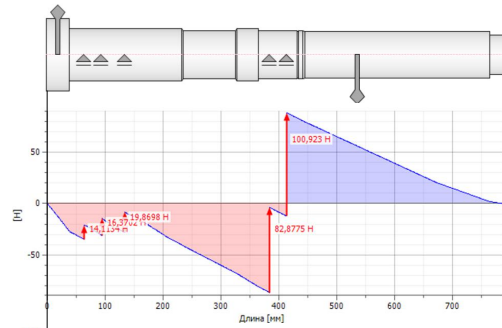


Матеріал – Сталь 58/55 пп/ГОСТ 1050–74  
 НВ 170...217,окрім місць, вказаних окремо  
 Допуск на радіальне біття осі конічного отвору  
 7:24 – відносно шийок підшипника:  
 на торці шпинделя 0,008;  
 на довжині 300мм від торця шпинделя 0,01 мм

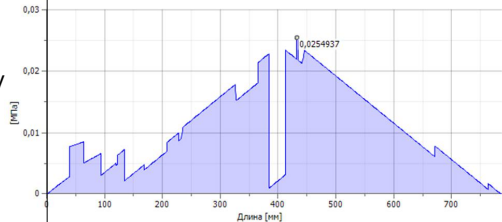
Невказані граничні відхилення розмірів: H14, b14,  $\pm \frac{IT14}{2}$

[illegible]

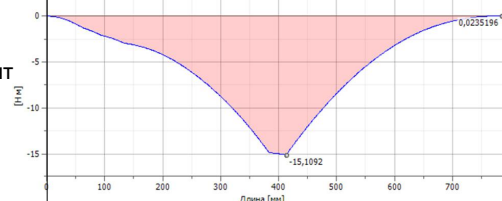
Сила зсуву



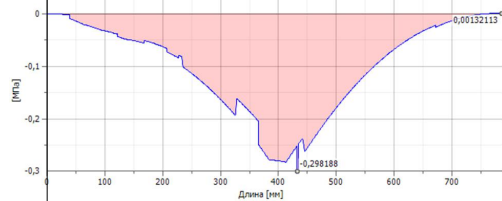
Напруження зсуву (площина YZ)



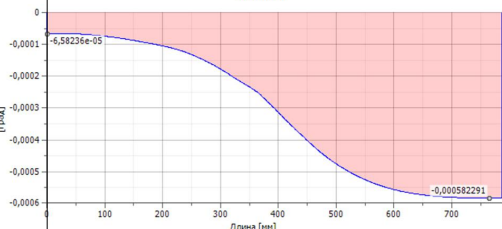
Згинальний момент (площина YZ)



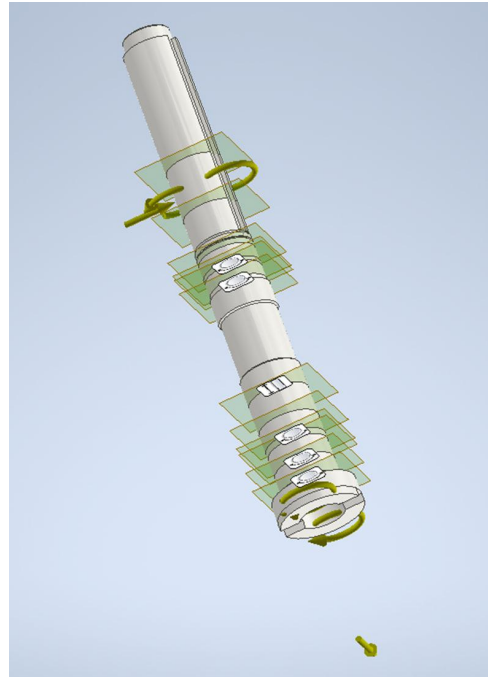
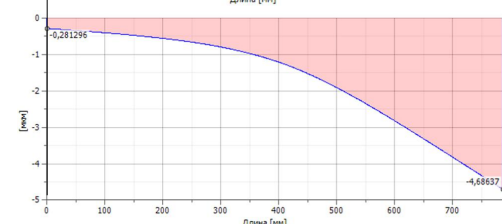
Напруження при згинанні (площина YZ)



Кут відхилення (площина YZ)



Відхилення (площина YZ)



Наявні опори та навантаження

## Сили та моменти в опорах

| Опора            | Сила реакції |                                         | Реактивний момент |                                                  |
|------------------|--------------|-----------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------|
|                  | Величина     | Компонент (X,Y,Z)                       | Величина          | Компонент (X,Y,Z)                                |
| Ідеальна опора:1 | 6,29919 Н    | -0,511312 Н<br>0,632312 Н<br>-6,24649 Н | 51,6872 Н м       | 51,6852 Н м<br>-0,424327 Н м<br>-0,166656 Н м    |
| Підшипник 1      | 667,713 Н    | -21,9883 Н<br>243,087 Н<br>-621,504 Н   | 181,393 Н м       | 0,00873598 Н м<br>-181,374 Н м<br>-2,59835 Н м   |
| Підшипник 2      | 232,051 Н    | -112,208 Н<br>-196,625 Н<br>-50,9452 Н  | 13,3369 Н м       | -0,0194117 Н м<br>-9,87059 Н м<br>8,96906 Н м    |
| Підшипник 3      | 193,043 Н    | -184,613 Н<br>-48,1259 Н                | 2,60453 Н м       | -0,0000696844 Н м<br>2,59776 Н м                 |
| Підшипник 4      | 273,288 Н    | 273,243 Н<br>-3,58541 Н<br>-3,45325 Н   | 0,679272 Н м      | -0,00283355 Н м<br>0,171629 Н м<br>-0,657226 Н м |
| Підшипник 5      | 63,7912 Н    | 45,5695 Н<br>-44,5428 Н<br>2,94472 Н    | 5,6452 Н м        | -0,00185647 Н м<br>-0,108542 Н м<br>-5,64416 Н м |

## Результат напружень в шпинделі

| Назва                   | Мінімальна          | Максимальна     |
|-------------------------|---------------------|-----------------|
| Напруження по Мізесу    | 0,0000419103 МПа    | 140,513 МПа     |
| 1-е основне напруження  | -25,0474 МПа        | 164,746 МПа     |
| 3-є основне напруження  | -168,419 МПа        | 24,9664 МПа     |
| Зсув                    | 0,0237381 мм        | 0,0826613 мм    |
| Коеф. запасу міцності   | 1,47317 бр          | 15 бр           |
| Напруження XX           | -161,175 МПа        | 157,774 МПа     |
| Напруження XY           | -20,3476 МПа        | 21,0749 МПа     |
| Напруження XZ           | -47,3106 МПа        | 34,7206 МПа     |
| Напруження YY           | -40,9704 МПа        | 65,1241 МПа     |
| Напруження YZ           | -31,0627 МПа        | 30,3357 МПа     |
| Напруження ZZ           | -94,9448 МПа        | 94,5824 МПа     |
| Зсув по осі X           | -0,00870357 мм      | 0,00868177 мм   |
| Зсув по осі Y           | -0,0732956 мм       | 0,0741741 мм    |
| Зсув по осі Z           | -0,0739443 мм       | 0,0803993 мм    |
| Еквівалентна деформація | 0,00000000213197 бр | 0,000614537 бр  |
| 1-а основна деформація  | -0,0000232379 бр    | 0,000701226 бр  |
| 3-я основна деформація  | -0,000718965 бр     | 0,0000184823 бр |
| Деформація XX           | -0,000674121 бр     | 0,000658062 бр  |
| Деформація XY           | -0,000125962 бр     | 0,000130463 бр  |
| Деформація XZ           | -0,000292875 бр     | 0,000214937 бр  |
| Деформація YY           | -0,000188251 бр     | 0,000233194 бр  |
| Деформація YZ           | -0,000192293 бр     | 0,000187793 бр  |
| Деформація ZZ           | -0,000432856 бр     | 0,000432651 бр  |

|           |                  |          |         |                       |                                                    |  |  |  |           |          |         |
|-----------|------------------|----------|---------|-----------------------|----------------------------------------------------|--|--|--|-----------|----------|---------|
|           |                  |          |         | ДПБ.МВ-0216.000.00.05 |                                                    |  |  |  |           |          |         |
| Зм.       | Арх.             | № докум. | Підпис. | Дата                  | Розрахунок шпинделя в середовищі Autodesk Inventor |  |  |  | Лист      | Маса     | Масштаб |
| Розроб.   | Сторуменко С. О. |          |         |                       |                                                    |  |  |  |           |          |         |
| Перев.    | Данилюк О. В.    |          |         |                       |                                                    |  |  |  | Арх. 1    | Архивув. | 1       |
| Г. контр. |                  |          |         |                       |                                                    |  |  |  |           |          |         |
| Н. контр. |                  |          |         |                       | "КПІ ім. Ігоря Сікорського",<br>ІНН ММІ, МВ-02     |  |  |  |           |          |         |
| Затв.     |                  |          |         |                       |                                                    |  |  |  |           |          |         |
|           |                  |          |         |                       | 1 Копія                                            |  |  |  | Формат А1 |          |         |





Maho MH 500 W3

Інформаційний пошук схожих за технічними характеристиками фрезерних верстатів з ЧПК до Маho MH 500 W3, для порівняння та визначення необхідних параметрів для модернізації базового верстату ГФ2171С5.

Потужність - 15-19 кВт.  
Швидкість обертання шпинделя  
6000-8000 об/хв.

Потужність - 7,5 кВт.  
Швидкість обертання шпинделя  
50..2500 об/хв

Обрано наступні характеристики для проектування модернізованого верстату на базі ГФ 2171С5:

- потужність приводу шпинделя (кВт) – у діапазоні 15-19;
- максимальна швидкість обертання шпинделя (об/хв) в межах 6000-8000, мінімальну швидкість можна підвищити до 50 об/хв.



HURCO VM 1



DECKEL MAHO DMC 70 V

| Характеристика                       | Maho MH 500 W3     | HAAS VF-2          | HURCO VM 1         | Mikron Haas VCE 750 | Mazak VTC 20 B      | DECKEL MAHO DMC 70 V |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Рік випуску                          | 1989               | 1996               | 2006               | 2001                | 1996                | 1996                 |
| Система управління                   | Heidenhain CNC 332 | HAAS               | SingleMAX          | HAAS                | Mazatrol M Plus     | Dialog 112           |
| Робоча область (X x Y x Z)           | 500 x 380 x 350 мм | 760 x 405 x 508 мм | 660 x 355 x 455 мм | 762 x 406 x 508 мм  | 1120 x 510 x 510 мм | 700 x 550 x 500 мм   |
| Розмір стола (мм)                    | 254 x 354 мм       | 910 x 356 мм       | -                  | 914 x 356 мм        | 1460 x 510 мм       | 900 x 550 мм         |
| Автоматична зміна інструментів       | -                  | 24                 | 20                 | 20                  | 24                  | 30                   |
| Тип конуса інструменту               | ISO40              | BT 40              | SK-A40             | SK 40               | SK 40               | SK 40                |
| Швидкість обертання шпинделя (об/хв) | 20 - 5000          | 12000              | 10000              | 7500                | 5000                | 8000                 |
| Потужність приводу шпинделя (кВт)    | 19                 | 11                 | -                  | 11                  | -                   | 15                   |
| Вага (кг)                            | 1800               | 3550               | 3000               | 3600                | 5500                | 8700                 |
| Ціна (EUR)                           | 10000              | 21000              | 30000              | 23000               | 24000               | 43000                |



Mikron Haas VCE 750



Mazak VTC 20 B



HAAS VF-2



ГФ2171С5

|                       |                 |          |        |                                             |        |       |      |      |         |
|-----------------------|-----------------|----------|--------|---------------------------------------------|--------|-------|------|------|---------|
| ДПБ.МВ-0216.000.00.06 |                 |          |        | Інформаційне дослідження верстатів-аналогів |        |       | Лист | Маса | Масштаб |
| Зм.                   | Арх.            | № докум. | Підпис | Дата                                        | Арх. 1 | Архив | 1    |      |         |
| Розроб.               | Сироманко Є. О. |          |        |                                             |        |       |      |      |         |
| Перев.                | Данилюк О. В.   |          |        |                                             |        |       |      |      |         |
| Т. контр.             |                 |          |        |                                             |        |       |      |      |         |
| Н. контр.             |                 |          |        |                                             |        |       |      |      |         |
| Затв.                 |                 |          |        |                                             |        |       |      |      |         |