

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

До захисту допущено

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ в.о. Шевченко О.В.  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

## Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки \_\_\_\_\_ **6.050503 «Машинобудування»**  
(код і назва)

на тему: **«Модернізація малогабаритного настільного фрезерного  
верстата портального компонування з числовим-програмним  
керуванням»**

Виконав студент:

IV курсу, групи МВ-51

Кривчук Юрій Тарасович

\_\_\_\_\_ (прізвище ім'я по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник проекту

д.т.н., проф., Кузнєцов Ю.М.

\_\_\_\_\_ (вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

КОНСУЛЬТАНТИ:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

РЕЦЕНЗЕНТ:

к.т.н., доцент, Фролов В.К.

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

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ - 2019 року

# ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Пояснювальна записка	96	
3	A1		Відомі малогабаритні фрезерні верстати з ЧПК	1	
4	A1		Патентно-інформаційне дослідження по лінійних двигунах та мотор-шпинделях	1	
5	A1	МВ-5112.ДПБ.210.000 ЗВ	Загальний вигляд НФВ до модернізації	1	
6	A1	МВ-5112.ДПБ.220.000 ЗВ	Загальний вигляд модернізованого НФВ з рухомою траверсою	1	
7	A1	МВ-5112.ДПБ.230.000 ЗВ	Загальний вигляд модернізованого НФВ з рухомим столом	1	
8	A1		Керуюча програма для обробки типової деталі	1	
9	A1		Розрахунок мотор-шпинделя на жорсткість	1	
10	A1		Робочі креслення	1	

				МВ-5112.ДПБ.00.000.00		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Кривчук Ю.Т.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Кузнєцов Ю.М				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КВМ Гр. <b>МВ-51</b>	
Н/контр.						
Зав.каф.	В.О. Шевченко О.В.					

**Національний технічний університет України**  
**“Київський політехнічний інститут**  
**ім. Ігоря Сікорського”**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання верстатів та машин**

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_ **6.050503 «Машинобудування»** \_\_\_\_\_  
(код і назва)

Назва програми професійного  
спрямування \_\_\_\_\_ **«Металорізальні верстати та системи»** \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ **О.В.Шевченко** \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ **Кривчуку Юрію Тарасовичу** \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: «Модернізація малогабаритного настільного фрезерного верстата портального компонування з числовим-програмним керуванням»

керівник проекту: Кузнєцов Юрій Миколайович, д.т.н., професор \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від **“22” травня 2019 року № 1326-с**

2. Термін подання студентом проекту: 15 червня 2019р.

3. Вихідні дані до проекту: настільний фрезерний верстат портального компонування з числовим-програмним керуванням «CNC 500»

4. Зміст пояснювальної записки: вступ; розділ 1. патентно-інформаційні дослідження; розділ 2. конструкторський; розділ 3.розрахунковий; розділ 4. рекомендації по створенню лабораторії малогабаритного обладнання; основні висновки; список використаних джерел;

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

6. Консультанти розділів проекту:

1. відомі малогабаритні фрезерні верстати з чпк; 2. патентно-інформаційне дослідження по лінійних електродвигунах та мотор-шпинделях; 3. загальний вигляд нфв до модернізації; 4. загальний вигляд нфв з рухомою траверсою; 5. загальний вигляд нфв з рухомим столом; 6. керуюча програма для обробки типової деталі; 7. розрахунок мотор-шпинделя на жорсткість; 8. робочі креслення;

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

7. Дата видачі завдання: 12 лютого 2019р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз завдання		виконано
2	Пошук інформації		виконано
3	Розробка першого листа		виконано
4	Розробка другого листа		виконано
5	Розробка третього листа		виконано
6	Розробка четвертого листа		виконано
7	Розробка п'ятого листа		виконано
8	Розробка шостого листа		виконано
9	Розробка сьомого листа		виконано
10	Розробка креслень оригінальних деталей		виконано
11	Компонування восьмого листа		виконано
12	Робота над пояснювальною запискою		виконано

Студент \_\_\_\_\_ Кривчук Ю.Т.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Кузнєцов Ю.М.

## Анотація

Пояснювальна записка дипломного проекту бакалавра на тему «Модернізація малогабаритного настільного фрезерного верстата портального компонування з числовим-програмним керування» складається з 94 аркушів формату А4, містить 66 ілюстрацію, 2 таблиці, 13 додатки, у яких наведено специфікації до робочих креслень та технічні характеристики використовуваного обладнання. При написанні роботи використано 68 літературних джерел та веб-ресурсів.

Графічна частина роботи складається з 8 аркушів формату А1: «патентно-інформаційне дослідження НФВ різних виробників», «патентно-інформаційне дослідження по лінійних двигунах та мотор-шпинделях», «загальний вигляд НФВ до модернізації», «загальний вигляд НФВ з рухомою траверсою», «загальний вигляд НФВ з рухомим столом», «керуюча програма для типової деталі», «аналіз напружень в середовищі Autodesk Inventor», «робочі креслення оригінальних деталей».

Мета роботи розділу «модернізація малогабаритного НФВ портального компонування» – заміна крокових двигунів на лінійні приводи, заміна звичайних ніжок на демпфуючі віброопори та заміна мотор-шпинделя.

Ключові слова: модернізація, мотор-шпиндель, лінійний двигун, віброопори

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Аннотация

Пояснительная записка дипломного проекта бакалавра на тему «Модернизация малогабаритного настольного фрезерного станка портальной компоновки с числовым-программным управлением» состоит из 94 листов формата А4, содержит 66 иллюстрации, 2 таблицы, 13 приложения, в которых приведены спецификации с рабочими чертежами и технические характеристики используемого оборудования. При написании работы использованы 68 литературных источников и веб-ресурсов.

Графическая часть работы состоит из 8 листов формата А1: «патентно-информационное исследование НФС разных производителей», «патентно-информационное исследование по линейным двигателям и мотор-шпинделям», «общий вид НФС до модернизации», «общий вид НФС с подвижной траверсой», «общий вид НФС с подвижным столом», «управляющая программа для типичной детали», «анализ напряжений в среде Autodesk Inventor», «рабочие чертежи оригинальных деталей».

Цель работы раздела «модернизация малогабаритного НФС портальной компоновки» - замена шаговых двигателей на линейные приводы, замена обычных ножек на демпфирующие виброопоры и замена мотор-шпинделя.

Ключевые слова: модернизация, мотор-шпиндель, линейный двигатель, виброопоры

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Annotation

The explanatory note of Bachelor`s Degree Project on “The Modernization of Small-Sized Desktop Gantry Milling Machine with Numerical Control” consists of 105 sheets of A4 format, contains 66 illustrations, 2 tables, 13 appendixes which include specifications for assembly drawings and technical specifications of equipment. 68 works of literature and web resources were used in writing the work.

Graphic part of the work consists of 8 sheets of A1 format: “patent-informative researches of the small-size desktop milling machines of different manufacturers”, “patent-informative researches of linear motors and motor-spindles”, “general view of the small-size desktop milling machine before modernization”, “general view of the small-size desktop milling machine with movable traverse”, “general view of the small-size desktop milling machine with movable table”, “numerical control program for a typical part”, “stress analysis in Autodesk Inventor”, “technical drawings of original parts”.

The purpose of the chapter “The Modernization of Small-Sized Desktop Gantry Milling Machine” is replacement of stepper motors on linear motors, replacement of conventional legs on damping vibro-assemblies and replacement of a spindle motor.

Key vocabulary: modernization, motor spindle, linear motor, vibro-assemblies.

					<i>МВ-5112.ДІПБ.000.2019 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# **Пояснювальна записка до дипломного проекту**

на тему: «Модернізація малогабаритного настільного фрезерного верстата порталного  
компонування з числовим-програмним керуванням»



## ЗМІСТ

### ВСТУП

### РОЗДІЛ 1. ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....12

1.1 Історичні відомості про систему числового програмного керування (ЧПК).....12

1.2. Короткі відомості про настільні фрезерні верстат (НФВ).....19

1.3. Аналіз компонувань і конструкцій малогабаритних НФВ різних виробників.....22

1.4. Аналіз компонувань і конструкцій лінійних електродвигунів різних виробників.....28

1.5. Аналіз компонувань і конструкцій мотор-шпинделів різних виробників.....34

### РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ.....40

2.1. Верстат «CNC 500» до модернізації.....40

2.2. Модернізований варіант НФВ з рухомою траверсою .....42

2.3. Модернізований варіант НФВ з рухомим столом.....46

2.4. Типові деталі, принципи програмування і наладки верстата для обробки деталі.....50

### РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВИЙ.....54

3.1. Основні вимоги до мотор-шпинделя.....54

3.2. Розрахунок режимів різання.....55

3.3. Розрахунок сил затиску інструменту в цанговому патроні.....58

3.4. Розрахунок жорсткості мотор-шпинделя .....60

3.5. Розрахунок динамічних характеристик мотор-шпинделя.....66

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ					
					<i>Пояснювальна записка</i>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.		Маса		Масштаб	
Розроб.		Кривчук Ю.Т.								
Перевір.		Кузнєцов Ю.М.								
Т. Контр.					Арк. 6		Аркушів 94			
Реценз.									«КПІ ім. Ігоря Сікорського» ММІ, МВ-51	
Н. Контр.										
Затверд.		Кузнєцов Ю.М								

3.6. Особливості розрахунку жорсткості мотор-шпинделя в середовищі «Autodesk Inventor».....	69
3.7. Розрахунок передачі гвинт-гайка ковзання.....	71
<b>РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО СТВОРЕННЮ ЛАБОРАТОРІЇ</b>	
<b>МАЛОГАБАРИТНОГО ОБЛАДНАННЯ.....</b>	<b>78</b>
4.1. Обґрунтування створення лабораторії.....	78
4.2. План лабораторії і робоче місце.....	78
4.3. Перелік обладнання, модулів і комплектуючих.....	81
4.4. Приблизна порівняльна оцінка вартості НФВ до модернізації і після модернізації з рухомою траверсою.....	84
4.5. Методика виконання лабораторної роботи на НФВ.....	86
<b>ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>89</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>90</b>

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

Даний дипломний проект присвячений розвитку машинобудівної промисловості в Україні та світі. А конкретно – верстатобудуванню.

В провідних країнах Європи металообробка стоїть на дуже високому рівні, що сприяє співпраці з економічно вигідними країнами, які потребують продукцію високої якості для своїх цілей. Це позитивно впливає як на розвиток країни-виробника, так і на розвиток країни-споживача.

Зараз в Україні металообробка розвинена досить погано. Надзвичайно мало підприємств які б виготовляли верстати чи продукцію яка б цінувалася у світі. Щоб дійти до цього нам потрібно ще багато працювати і переймати досвід в країн-сусідів, намагатися співпрацювати з ними.

В Київському політехнічному інституті імені Ігоря Сікорського, на кафедрі конструювання верстатів та машин (КВМ) був створений малогабаритний настільний фрезерний верстат (НФВ) портального компонування на модульному принципі «CNC 500». Даний проект був розроблений для впровадження його в навчальний процес на кафедрі КВМ, для того щоб студенти могли в лабораторіях власної кафедри здобувати практичні навички та вміння.

Це дуже цікава та особлива машина для обробки різних матеріалів. Однак він також має свої недоліки, через досить бюджетні комплектуючі. Та попри це, він є чудовою базою для створення більш досконалого, з кращими характеристиками і продуктивністю верстата.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### **Актуальність роботи:**

На сьогоднішній день дуже важко або навіть неможливо переоцінити актуальність настільних верстатів з числовим-програмним керування (ЧПК).

Верстати з програмним керуванням можуть оброблювати більшість відомих нам матеріалів: це, в першу чергу, різноманітні метали, пластмаси, дерево, каміння, граніт, віск та ін. Щодо точності обробки, то ЧПК немає собі рівних, адже крок переміщення виконавчих органів сягає одного мікрометра.

Вони дуже широко використовуються і виконують найрізноманітнішу роботу по виготовлення деталей для багатьох сфер діяльності людини. Сюди можна віднести медицину, судно-, авіа-, автомобілебудування, гравіювання, виготовлення рекламної продукції, обробку ювелірних виробів, виготовлення інструментів та багато іншого.

Настільні верстати також здобули таку актуальність через свою доступність і простоту, адже в порівнянні з класичними верстатами з програмним керуванням, настільні в багато разів дешевші, легші, мають простішу будову, не створюються стільки шуму. І коли мова йде про обробку невеликих одиничних деталей, чи використання їх в ВНЗ при досить обмеженому фінансуванні, то ці станки нічим не поступаються повноцінним. Звісно, вони не замінять великі верстати на підприємствах, де виготовляють великогабаритні деталі, чи там, де відбувається масове виробництво.

Але їх переваги все ж залишаються при них.

### **Мета роботи:**

В даному дипломному проекті ми будемо модернізувати згаданий вище НФВ портального компонування на модульному принципі «CNC 500»

Модернізація буде розвиватися в двох напрямках:

- 1) Верстат з рухомою траверсою та нерухомим столом;
- 2) Верстат з рухомим столом та статичною траверсою.

Таким чином ми зможемо отримати одночасно два варіанти фрезерного

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

верстата з ЧПК та порівняти їх переваги і недоліки.

Основою модернізації буде заміна певних вузлів чи деталей, а також не суттєві зміни в конструкції. Завдяки модульному принципу ми зможемо замінювати ті чи інші деталі без особливих труднощів.

В першу чергу це буде стосуватися механічних приводів координатних переміщень типу гвинт-гайка, що приводяться в рух кроковими двигунами. Це досить точні, якісні і відносно не дорогі електродвигуни, однак вони не дадуть нам потрібної точності та швидкості. Тому ми замінимо їх досконалішими – лінійними двигунами. Це чудове рішення для нашого випадку, адже в даний час на ринку важко знайти більш досконалий механізм лінійного переміщення.

Другим недоліком нашого верстата є вібрація при обробці металів чи будь-яких інших твердих матеріалів. Цю проблему можна вирішити шляхом встановлення спеціальних віброопор замість звичайних ніжок, які на даний момент використовуються на верстаті. Віброопори будуть демфувати коливання, що позитивно вплине на якість та точність обробки.

Ще однією вагомою зміною стане заміна основної складової верстата – мотор-шпинделя (М-Ш). Замість встановленого М-Ш китайського виробництва потужністю 500 Вт використаємо потужніший двигун, який буде забезпечувати більшу кількість обертів та потужність.

#### **Задачі для досягнення мети:**

Для того, щоб чогось досягти, чомусь навчитися, в першу чергу потрібно ставити перед собою цілі. І це стосується не лише нашої роботи, а й всього нашого життя в цілому. Потрібно бачити перед собою об'єкт, який ти хочеш створити, тоді буде набагато простіше дістатися до нього.

Тому, для того, щоб досягнути мети нашої роботи, потрібно скласти чіткий план роботи і поставити перед собою задачі:

- досягнути максимальної точності позиціювання робочого органу;

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- теоретично дослідити точність і жорсткість моторшпинделя
- збільшити потужність;
- зменшити вібрацію;

Кожну з цих задач потрібно уважно пропрацювати, знайти оптимальне рішення і лише тоді приступати до роботи.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1. ПАТЕНТНО – ІНФОРМАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1. Історичні відомості про систему числового-програмного керування (ЧПК)

*Числово-програмне керування* – це автоматичне управління шляхом передачі інформації у формі чисел від програмоносія до виконавчого органа, яке визначає його рух або виконання ним інших функцій. Цим ЧПК відрізняється від механічного програмного управління, що задає величину руху або передає команди за допомогою механічних пристроїв: копіїв, кулачків, важелів, розподільних валів та інших елементів. Перші верстати з ЧПК мали свої індивідуальні пристрої управління з програмоносіями на перфокартах, перфострічці або магнітній стрічці [49].

Можливість роботи електронно обчислювальної машини (ЕОМ) у режимі поділу часу дозволила перейти до прямого числового управління верстатами і устаткуванням від центральної ЕОМ – Direct Numerical Control (DNC). У такій системі управління програма (програмоносій) знаходиться в пам'яті центральної ЕОМ, а на верстат подаються з пам'яті тільки окремі команди, коли це потрібно [49].

З розвитком інтеграції виробництва, малих ЕОМ і мікропроцесорної техніки з'явилися верстати з ЧПК, керовані безпосередньо від власної ЕОМ – Computerized Numerical Control (CNC). У такій системі управління в пам'яті ЕОМ знаходиться вся або частина програми, по якій здійснюється управління верстатом від власної ЕОМ. На верстат подаються команди на завантаження і запуск необхідних програм, а також можлива передача управляючої програми з централізованого банку програм даного верстата [49].

У результаті появи ЧПУ типу CNC з'явилася можливість створення багатоцільових верстатів з автоматичною зміною інструмента, що одержали назву центрів (обробних, складальних). На таких верстатах виконується велика кількість різноманітних видів обробки різних деталей з мінімальним

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

часом на встановлення та зняття [49].

У цілому обробні центри поділяються на центри для обробки корпусних деталей за допомогою операцій фрезерування, свердління, розточування, нарізання різей та центри для обробки тіл (деталей) обертання за допомогою операцій токарного типу.

*Керуюча програма* (КП) представляє собою таку сукупність команд проблемно-орієнтованою мовою програмування, яка відповідає заданому алгоритму функціонування устаткування по виконанню технологічних, транспортних, допоміжних операцій. Реалізується програма пристроєм ЧПК верстата [49].

Під *пристроєм ЧПК* розуміють пристрій, що видає керуючі сигнали на виконавчі органи об'єкта у відповідності з управляючою програмою, алгоритмами її обробки та інформацією про стан керованого об'єкта [49].

В залежності від способу реалізації алгоритму обробки управляючої програми пристрої ЧПК (ПЧПК) бувають апаратні та мікропроцесорні. В апаратних пристроях алгоритми обробки реалізуються за допомогою спеціальних електронних схем і не можуть бути змінені, у мікропроцесорних – всі алгоритми обробки або їх частина реалізуються програмно (мікропрограмно) і існує можливість їх зміни або повної заміни. Мікропроцесорні пристрої не можуть функціонувати без програмних засобів, що забезпечують функціонування верстата як інформаційно-управляючої системи [49].

Під *системою ЧПК* розуміють сукупність функціонально взаємозалежних і взаємодіючих технічних і програмних засобів, що забезпечують числове програмне управління устаткуванням. Власне пристрій ЧПК складає частину цієї системи і конструктивно виконується у вигляді окремого блока [49].

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



У верстаті з ЧПК система управління виконує багато функцій верстатника. Але система повинна навчитися управляти верстатом. Системі необхідно знати, коли й у якому порядку користуватися інструментами, на яких режимах різання працювати, як досягти необхідної точності форми і розмірів оброблюваної деталі. Усі ці знання верстат із ЧПУ одержує у вигляді вхідної інформації – програми, записаної на перфострічці або іншим способом.

У програмі задається траєкторія руху інструмента відносно заготовки. Ця траєкторія формується за допомогою окремих приводів стола, салазок та інших механізмів, що керуються за програмою.

Технолог-програміст складає програму на підставі креслення і технологічного процесу обробки деталі. При цьому технологічна інформація кодується на перфострічку, що і передається в цех і встановлюється в пристрої ЧПУ верстатом.

Етапи підготовки процесу обробки деталі на верстаті з ЧПК показані на рис.1.1 і містять наступне:

- а) збір вихідної інформації (креслення деталі, дані про інструмент, технологічні дані про режим обробки);
- б) обробка інформації, створення технологічного процесу
- в) табличний запис програми;
- г) перфорація керуючої програми на перфораторі;
- д) перфострічка
- е) пристрій програмного керування верстатом;
- є) шафа електроавтоматики
- ж) верстат;
- з)заготовка;

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

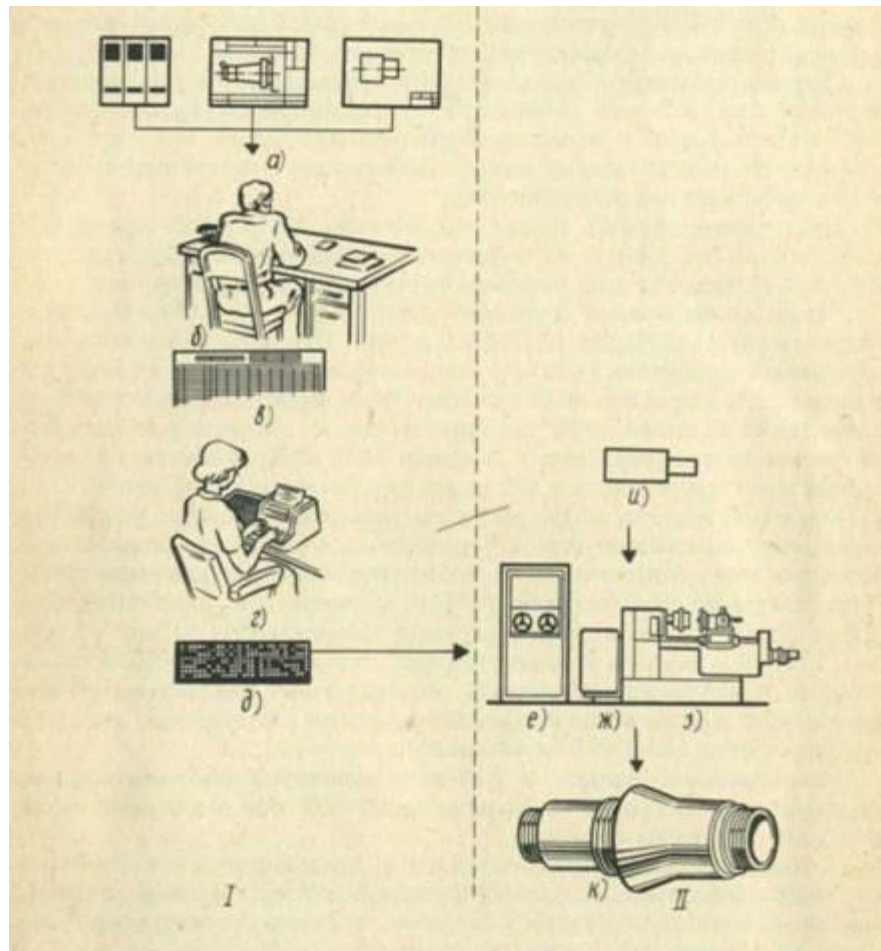


Рис. 1.1. Етапи підготовки процесу обробки деталі на верстаті з ЧПК

Можливе також автоматичне програмування за допомогою ЕОМ, яке заміняє в значній частині програміста і складає програми для верстатів з ЧПК.

Основним елементом програмного управління є пристрій ЧПК, що включає в себе устаткування для зчитування управляючої програми. Ця програма запам'ятовується в пам'яті пристрою ЧПК [49]. На підставі цієї інформації пристрій задає швидкості та величини переміщень виконавчих механізмів верстата, що реалізують пересування інструмента або стола із заготовкою.

Структурна схема пристрою ЧПК верстата показана на рис.1.2.

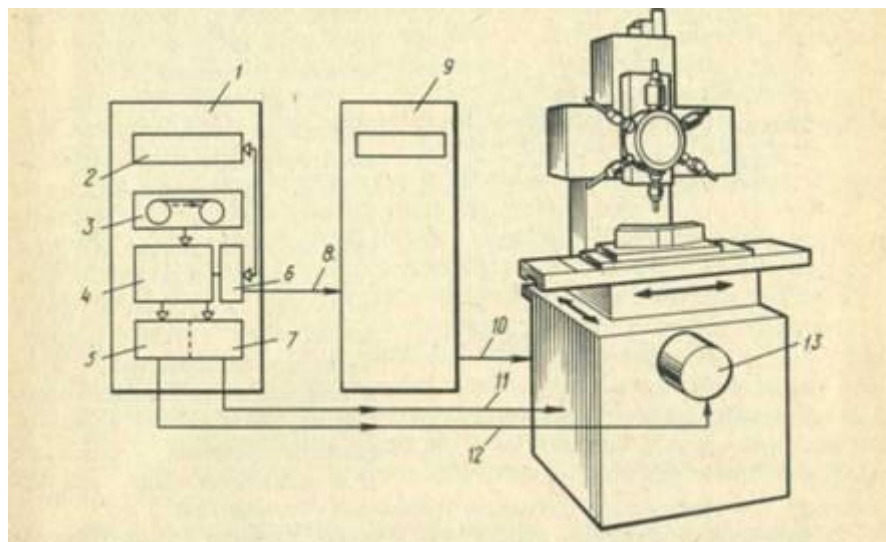


Рис. 1.2. Структурна схема пристрою ЧПК верстата:

1 – пристрій ЧПК; 2 – блок ручного управління та сигналізації; 3 – блок зчитування інформації; 4 – кодовий перетворювач; 5 – блок управління приводом салазок; 6 – блок технологічних команд; 7 – блок управління приводом переміщення стола; 8 – управління технологічними командами; 9 – шкаф силового електрообладнання; 10 – передача команд на електрообладнання верстата; 11 – лінія зв'язку з приводом стола; 12 – лінія зв'язку з двигунами; 13 – привод салазок [49].

Перші пристрої ЧПК на базі ламп і реле з'явилися у 1954 р. для управління верстатами, а на початку 60-х років пристрої ЧПК верстатами вже широко застосовувалися. У цей час одержали поширення пристрої ЧПК із записом управляючої програми на магнітну стрічку, де заданому переміщенню по осі верстата відповідала зміна фази аналогового сигналу [49]. Кодування інформації управління при цьому було відсутнє, що, у принципі, виключало можливість зміни керуючої програми (КП) безпосередньо оператором верстата і подовжувало цикл технологічної підготовки виробництва. Такі пристрої ЧПК відносяться до першого покоління.

Розвиток елементної бази призвів до появи пристроїв ЧПК другого покоління, побудованих на базі транзисторів і змінних печатних плат з роз'ємами. Крім різниці в елементній базі, ПЧПУ другого покоління передбачали кодування.

КП на стандартній вхідній мові *ISO* (Міжнародна організація по стандартизації), а також розміщення обчислювального пристрою, що перетворює інформацію УП у сигнали керування, безпосередньо біля верстата [52]. Така організація пристроїв ЧПК дозволяла оператору, у принципі, втручатися в технологічний процес, а також вводити заздалегідь обговорену корекцію в КП безпосередньо на робочому місці, що скоротило цикл підготовки виробництва. Такі системи одержали назву систем типу NC (числове управління) [49].

У NC-системах їх структурні блоки орієнтовані на виконання визначених задач, а їх алгоритми функціонування не піддаються оперативним змінам. Ця обставина пояснює вузьку спрямованість таких ПЧПК на конкретний клас об'єктів управління, а отже, велику кількість типів таких ПЧПК і труднощі виробництва й експлуатації [49].

Пристрої ЧПК другого покоління не мають пам'яті для збереження всієї КП, а її введення здійснюється кадрами з програмоносія (зазвичай з перфострічки) в ході виготовлення виробу, що знижує надійність роботи всієї системи.

Розвиток елементної бази систем другого покоління породив системи третього покоління, побудовані на базі інтегральних схем малого і середнього ступеня інтеграції [49].

Елементною базою сучасних ПЧПК є мікропроцесори та інтегральні мікросхеми великого і середнього ступеня інтеграції. На цій елементній базі будуються проблемно-орієнтовані по застосуванню мікропроцесорні системи

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(МПС). Пристрої ЧПК, які використовують МПС, називають мікропроцесорними.

В даний час не всі експлуатовані і випущені ПЧПК мають мікропроцесорну елементну базу, однак розробка нових моделей ПЧПК, що не мають мікропроцесорів, на сьогоднішній день припинена, і якщо коли-небудь відновиться, то на зовсім іншій основі – на базі спеціалізованих великих інтегральних схем.

Основною причиною застосування в пристроях ЧПК спочатку стандартних мікроЕОМ, а потім проблемно-орієнтованих МПС є значне розширення функцій, реалізованих мікропроцесорними пристроями ЧПК при одночасному скороченні та уніфікації апаратних засобів цих пристроїв. Останнє пояснюється тим, що деякі функції реалізуються майже повністю засобами програмного забезпечення. Звичайно, для збереження програмного забезпечення теж потрібні апаратні засоби у вигляді пам'яті програм і даних, але розробка і виробництво цих апаратних засобів значно дешевші розробки спеціальних блоків для реалізації тієї чи іншої функції пристроїв ЧПК [49].

Системи четвертого покоління побудовані на базі великих інтегральних схем і мікропроцесорів і одержали назву CNC-систем (числове управління від комп'ютера) [49]. У системах ЧПК типу CNC обробку інформації, отриманої від об'єкта управління, і управління системою в цілому веде процесор.

Характерна риса пристроїв ЧПК із запам'ятовуванням програм полягає в тому, що завдяки ЕОМ внутрішні цикли управління у вигляді послідовності команд можуть бути закладені в запам'ятовуючий пристрій. Завдяки цьому проектувальник ПЧПК може за допомогою складеної із команд програми орієнтувати системи на рішення визначених задач. Таким чином, він проектує пристрій ЧПК із вбудованим у нього системним програмним забезпеченням (СПЗ) [49].

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

За наявності ресурсів пам'яті користувач може розробити і закласти в пам'ять спеціальне СПЗ, орієнтоване на свої конкретні потреби, тобто взяти на себе функції проектувальника СПЗ пристрою ЧПК. Однак, як правило, користувач обмежується написанням програм адаптації пристроїв ЧПК до свого об'єкта управління за допомогою спеціальних засобів, наданих користувачу, і програмуванням виробничого завдання – складанням програми користувача [49].

## 1.2. Короткі відомості про настільні фрезерні верстати

Дані верстати набули великої популярності досить недавно, хоча сама система ЧПК – це досить не нова технологія, яка виникла ще на початку XIX ст. Перші ЧПК працювали на програмах, нанесених на перфокарти за допомогою двійкового коду. Після чого і розпочалася ера сучасних верстатів з програмним керуванням. Однак це зазвичай великі, важкі, потужні машини, які коштують надзвичайно дорого і їх можуть собі дозволити лише великі підприємства, які спеціалізуються на обробці різних матеріалів і мають

місце, де можна тримати та обслуговувати таке обладнання. Тому, з часом, з'явилася необхідність в компактних верстатах, які могли б виконувати ті ж самі функції, що і їх старші брати, тільки займати набагато менше місця, і коштувати в рази дешевше, що робило їх надзвичайно привабливими для одиничного виробництва невеликих за розміром деталей для власних потреб чи бізнесу. І встановити їх можна в будь-якому приміщенні включаючи звичайний будинок. За рахунок відносно невеликої потужності і малих сил різання, настільні верстати працюють досить тихо, що є також дуже важливо.

По класу точності обробки виробу, міні установки розділяються на наступні категорії:

- нормальної точності;
- підвищеної точності;
- високої точності.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Тенденції розвитку малогабаритних фрезерних верстатів ґрунтуються на наступних основних вимогах:

- зменшення металоємності несучої системи без зниження якісних характеристик верстату;
- підвищення точності обробки;
- підвищення жорсткості несучої системи;
- підвищення продуктивності обробки;
- підвищення ступеня модульності верстата;

Дані вимоги можна досягнути за рахунок раціонального компоновання верстату.

Сьогодні відомо декілька різних варіантів компоновань малогабаритних фрезерних верстатів. Можна виділити два з них, які зараз масово використовуються у світі, а саме: верстати консольного та порталного, рідше каркасного компоновання.

Верстати консольного компоновання (рис.1.3) зазвичай мають масивну основу, для забезпечення необхідної жорсткості, на якій розміщений хрестовий супорт і вертикальна колона по якій рухається консоль із шпиндельним вузлом.

Верстати порталного компоновання бувають двох типів: з рухомим порталом (рис. 1.4) і рухомим столом (рис. 1.5) порталом.

Перший тип являє собою рухомий шпиндель, який переміщується по осях X, Y, Z, та нерухомий стіл, на якому закріплена заготовка. У другому випадку портал з механізмом поперечного та вертикального переміщення шпиндельного вузла нерухомо з'єднаний з основою, на якій встановлений робочий стіл, який рухається вздовж цієї основи.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.3. Верстат консольного типу



Рис.1.4. З рухомим порталом

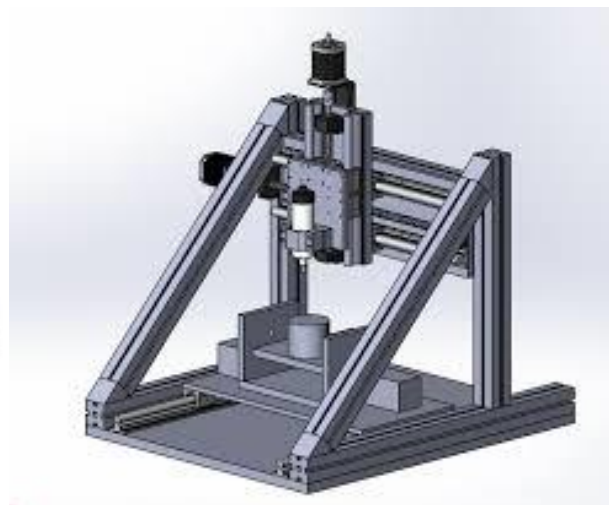


Рис. 1.5. З рухомим столом

Щодо верстата з каркасним компонуванням, то він складається з несучої системи у формі піраміди (рис.1.6), на ребрах якої розміщені напрямні, по яких рухаються каретки, що шарнірно з'єднані зі штангами постійної довжини, до інших кінців яких шарнірно кріпиться платформа з мотор-шпинделем

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21





Рис.1.6. 3Д -модель верстата з каркасним компонуванням

### 1.3. Аналіз компонувань і конструкцій малогабаритних НФВ різних виробників

В цьому розділі проаналізуємо і розглянемо декілька варіантів малогабаритних настільних фрезерних верстатів різних типів від різних виробників, які мають подібну будову та модулі.

Розпочнемо з уже відомого, створеного у київському національному технічному університеті імені Ігоря Сікорського на кафедрі конструювання верстатів та машин настільний фрезерний верстат «CNC 500» (рис.1.7).

Верстат «CNC 500» призначений для фрезерної обробки таких матеріалів як: бронза, дюраль, текстоліт, різні пластики, дерево, віск та ін. Даний верстат може використовувати в багатьох сферах діяльності, зокрема приладобудування, виготовлення плат, мікросхем, ювелірне виробництво, виготовлення сувенірів, унікальних надписів і т.д.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

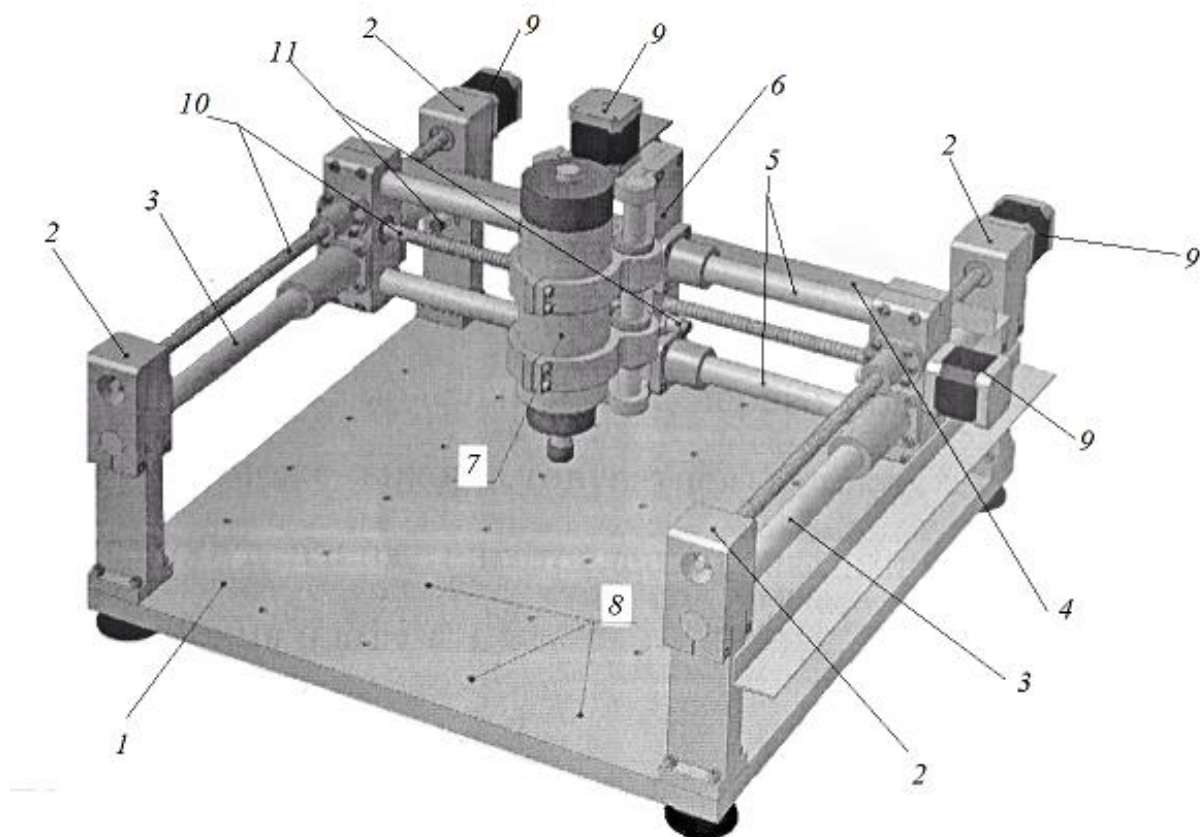


Рис.1.7. Малогабаритний настільний фрезерний верстат портального компонування «CNC 500»

Конструкція верстату «CNC 500» досить проста, (всі складові частини вказані на рис.1.3). Даний верстат портального компонування складається з несучої плити **1** товщиною 17мм, на кутах якої встановлені чотири вертикальні стійки **2**, з'єднані між собою напрямними **3**, по яких рухається портал **4**. Він містить дві напрямні **5**, по яких рухається каретка **6**, до каретки кріпиться мотор-шпиндель **7**, потужністю 800 Вт з повітряним охолодженням та частотним керуванням, що рухається вертикально. Для закріплення оброблюваної заготовки на несучій плиті виконані 32 різьбові отвори **8** з метричною різьбою М6х0.8. Для приводів подач використовуються крокові двигуни **9**. Передача руху здійснюється за рахунок кульково-гвинтової пари **10** з кроком 4 мм/об. Для визначення кінцевого положення портала по осях X та Y встановлені сенсори індуктивного типу **11**. Така конструкція верстату забезпечує високу жорсткість несучої системи і водночас підвищує зручність обслуговування робочої зони [17].

Технічні характеристики верстату «CNC 500»:

- Габарити: 500×500×350 мм
- Робочий простір: 250×250×80 мм
- Тип гвинтової передачі: ШВП 12×4
- Тип направляючих: вал Ø20мм
- Робоча швидкість: до 4000 мм/хв
- Частота обертання шпинделя: 10000-24000 об/хв
- Повторюваність: 0.05 мм
- Вага верстату: 35 кг [17].

Процес обробки на «CNC 500» аналогічний обробці на будь-якому іншому верстаті з ЧПК.

Спочатку встановлюється заготовка майбутньої деталі. Вона закріплюється на робочому столі в лещатах чи за допомогою інших пристроїв, в залежності від того, що це буде за деталь і які операції з нею будуть виконуватися. Далі за допомогою спеціального мірного пристрою (щупа) який фіксується в шпинделі оператор замірює координати нульової точки заготовки, це власне, і є та точка, від якої буде виконуватися вся подальша обробка. Потім виміряні координати записують в систему ЧПК як код G54.

Після цього потрібно заміряти довжину інструмента, який буде виконувати обробку. Для цього потрібно знати координати точки робочого простору, в яку потім можна підвести інструмент і шляхом не складних математичних розрахунків розрахувати довжину інструмента з точністю до 0.01 мм. Після того, як всі вище перераховані пункти виконані, можна завантажувати керуючу програму, яка була створена програмістом для даної деталі і розпочинати процес обробки.

Наступний верстат від вітчизняного виробника **«Київський верстатобудівний завод»**. Детальніше розглянемо малогабаритний настільний фрезерний верстат з ЧПК «CNC 3030» (рис.1.8.)

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.8. НФВ «CNC 3030»

Верстат з ЧПУ серій CNC-3030. Він призначений для обробки дерева, пластмас, органічного скла, акрилу, каменю, кольорових металів і навіть сталі. Управління промисловим фрезерним верстатом здійснюється системою числового програмного керування. Промислові фрезерні верстати з ЧПУ по дереву і металу нашого виробництва дозволяють виготовляти художні панно для оздоблення інтер'єрів та фасадів будівель, логотипи фірм, рекламну продукцію з дерева і металу.

Виготовлені на нашому заводі промислові фрезерні верстати з ЧПУ по дереву і металу застосовуються для невеликих високоточних виробів, ювелірних прикрас, восківки, друкованих плат, 2D і 3D фрезерування невеликих виробів, металевих форм, шильдів, приладових панелей, штампів і електродів, сувенірів і багато чого іншого [50].

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики МФВ «CNC 3030»:

- габарити верстата – 740x610x860;
- робочий простір – 300x300x150 мм;
- максимальна частота обертання шпинделя – 24 000 об/хв
- потужність шпинделя - 1.5 кВт;
- охолодження – водне;
- живлення – 220 В;
- вага – 170 кг;

Наступний верстат, на який варто звернути увагу «CNC 3020 mini» (рис.1.9):



Рис.1.9. МФВ «CNC 3020 mini»

Верстати серії CNC-mini - це настільні верстати з ЧПУ для професійної та аматорської обробки дерева. Можуть застосовуватися для виготовлення дерев'яних моделей, панелей, значків, сувенірів, авіамоделей і інших виробів з дерева. Установка і настройка верстатів дуже проста.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Настільні фрезерні верстати CNC-MINI. Оснащені системою ЧПУ, працюють від джерела змінного струму напругою 220 В. Верстати призначені для обробки дерева, а також пластмас, органічного скла, акрилу. Управління комплексом здійснюється системою числового програмного керування. Установка дозволяє виготовити художні панно для оздоблення інтер'єрів та фасадів будівель, логотипи фірм, рекламну продукцію. Для підключення до комп'ютера використовується інтерфейс РСІ.

Популярні верстати невеликого габариту. Відмінна швидкість, точність і різноманітність виконуваних завдань, все це робить ці верстати незамінними на виробництві невеликого і середнього розміру. Завдяки зручній системі управління NcStudio, точної механічної структурі, високій швидкості відмінно справляється з завданнями 3D різьблення по дереву (можна додатково встановити поворотну вісь), Станік підходять для виготовлення сувенірних виробів, обробки пластику, м'якого металу і інших задач.

Верстати зібрані в заводських умовах на промисловому обладнанні. Точність виробів перевіряється за допомогою електронно-вимірювальних приладів [50].

#### Технічні характеристики:

- робочий простір – 200x300x100;
- потужність шпинделя – 800 Вт;
- максимальна частота обертання – 22 000 об/хв;
- тип охолодження – водяне;
- живлення – 220 В;
- вага – 35 кг;

Ще один представник міні – фрезерних верстатів тепер вже від японського виробника «Roland». Це верстат «Roland SRM-20» (рис.1.10).

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



Рис.1.10. «Roland SRM-20»

Roland SRM-20 представник новітнього покоління настільних фрезерних машин для офісу, дизайн студії або інституту. Будучи початківцем створення настільних машин з 1986 року, roland продовжує вдосконалювати свій досвід в області точності обробки, і досягнення ефективності при використанні компактного формату. SRM-20 це інноваційні характеристики, новий шпиндель, нові цанги, і нове програмне керування. Як результат ми досягли нової якості обробки, швидкості і простоти у використанні. SRM-20 може обробляти різні матеріали для моделювання, такі як модельний пластик, дерево, акрил і модельний віск. Великий вибір опціональних цанг дозволяє використовувати різні інструменти для того, щоб ви могли вибрати оптимальний для чорнової і чистової обробки [58].

#### **1.4. Аналіз компонувань і конструкцій лінійних електродвигунів різних виробників**

Лінійний двигун (рис.1.11) – різновид електродвигунів, характерною рисою яких є прямолінійне переміщення ротора та статора один відносно іншого.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28



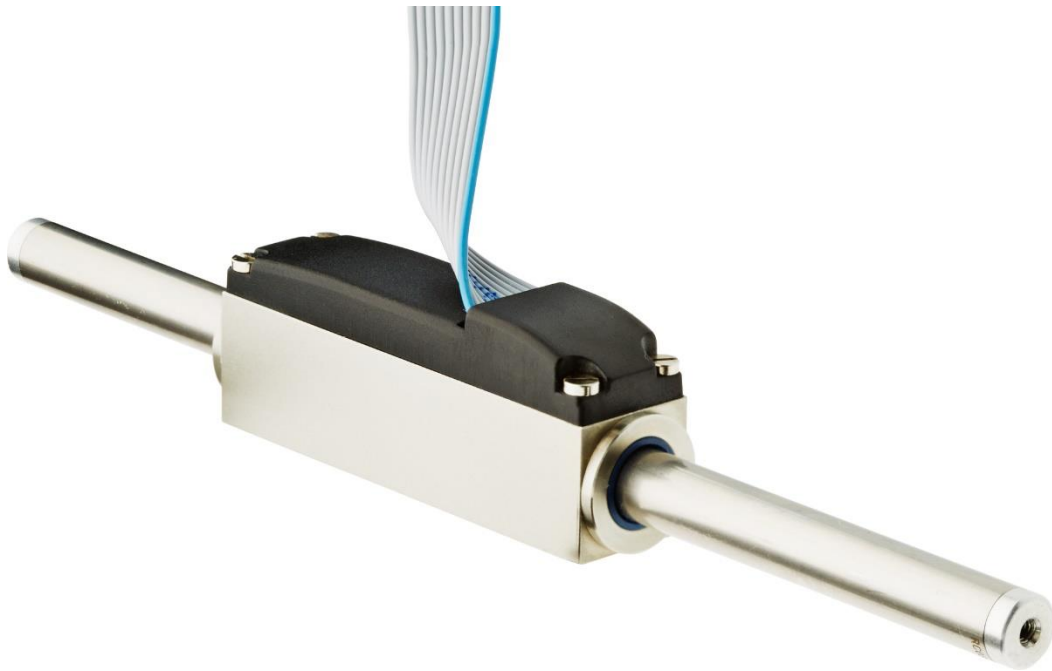


Рис. 1.11. Лінійний електродвигун

Попри те, що це дуже дорогі і сучасні двигуни, вони мають досить простий принцип дії. принципова схема зображена на рис.1.12. Особливістю конструкції є те, що обмотки 2 розташовані навколо постійних магнітів, які сформовані у вигляді циліндра, який виконує ще функцію направляючої, а сердечник у такого типу двигунів відсутній взагалі [61].

Лінійними двигунами обладнують більшість машин, які виконують поступальні рухи і до яких висуваються високі вимоги щодо точності та динамічності переміщення.

Основними перевагами лінійних електродвигунів стала можливість швидкого реагування на перемикання різних режимів роботи і високошвидкісне переміщення рухомого вузла. Одночасно з цим лінійні електродвигуни характеризуються особливо високими показниками надійності. Подібного типу двигуни встановлюють на пристроях з прямолінійною системою руху і є заміною механізмів, в яких ротаційне рух перетворюється в лінійне рух [61].



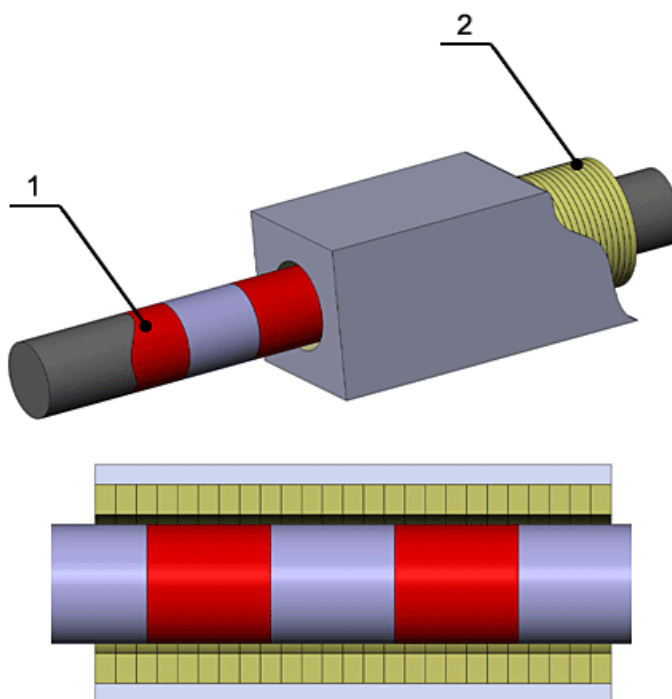


Рис. 1.12. Принципова схема циліндричного лінійного двигуна

До технологічних переваг пристрою з лінійним електроприводом відноситься забезпечення рухливості основного вузла без тертя і механічного коливання, а також відсутність зазорів в його системі [55]. Ці відмінні динамічні властивості незамінні в прецизійних системах з високою точністю позиціонування.

Саме двигуни такого типу ми будемо встановлювати в процесі модернізації замість крокових.

Для більш детального ознайомлення розглянемо декілька подібних лінійних електродвигунів і зрівняємо їх основні характеристики.

Циліндричні лінійні двигуни HIWIN MIKROSYSTEM серії LMTA-4 (рис.1.13), від тайванського виробника «HIWIN» мають високу ступінь динамічності завдяки наявності первинного елемента без сердечника (якоря), мають малу вагу і в якості вторинного елемента виступає статор з постійними циліндричними магнітами. Також лінійні двигуни HiwinMikro серії LMTA можуть застосовуватися у всіх пристроях, де необхідна наявність гвинтового елемента, внаслідок того, що вони мають аналогічний монтажний інтерфейс [60].

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

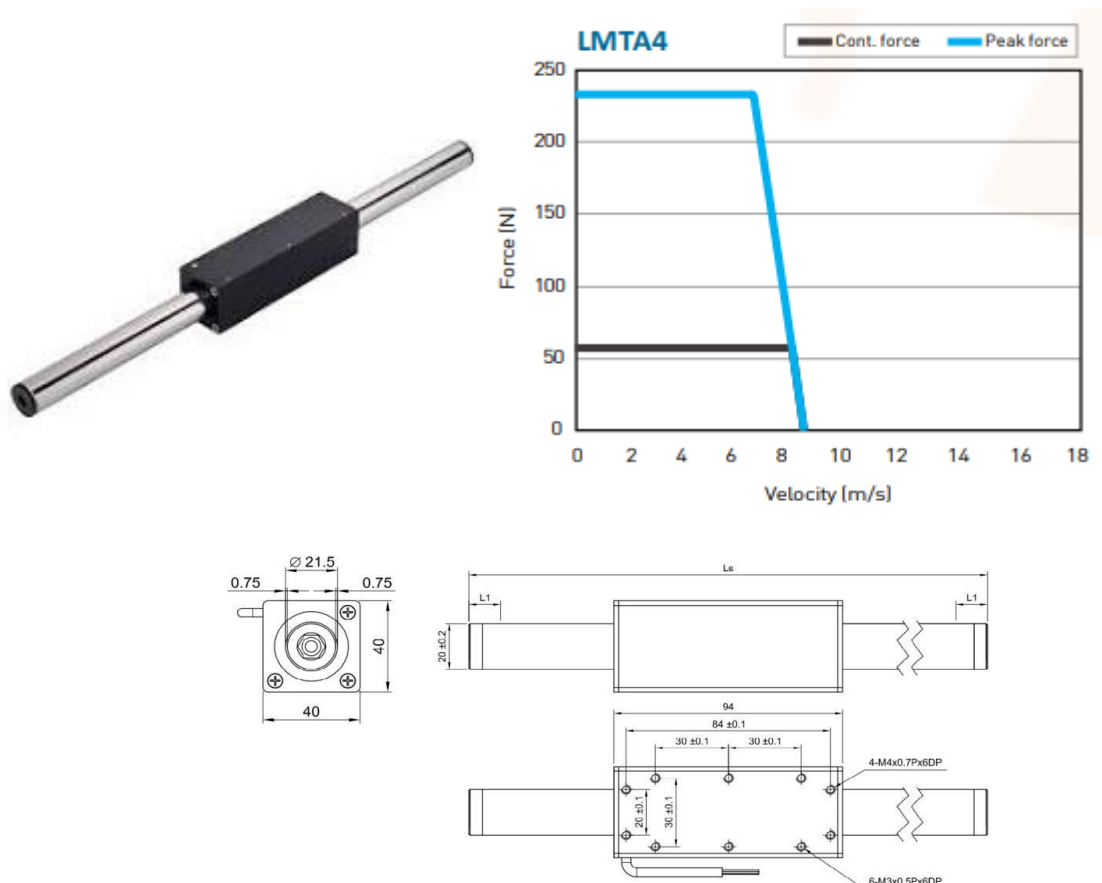


Рис.1.13. Лінійний двигун HIWIN MIKROSYSTEM серії LMTA-4

Технічні характеристики лінійного двигуна серії LMTA-4:

- Постійна сила – **55 Н**
- Пікова сила – **220 Н**
- Максимальне прискорення – **5 м/с**
- Макс. пост. напруга – **330 В**
- довжина ходу – **100-1550 мм**
- точність позиціонування – **0.001 мм**

Лінійний електродвигун LinMot PS01-37Sx120F-HP-N (рис.1.14) є електромагнітними прямими приводами в трубчастій формі. Лінійний рух виробляється чисто електрично і без зносу, без будь-яких проміжних з'єднань механічних коробок передач, шпинделів або ременів. Лінійний двигун складається з двох частин: повзуна і статора. Повзунок виконаний з неодимових магнітів, які встановлені в високоточній трубці з нержавіючої сталі. Статор містить обмотки двигуна, підшипники для

					<b>MB-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

повзуна, датчики положення захоплення і мікропроцесорну схему для моніторингу двигуна [61].

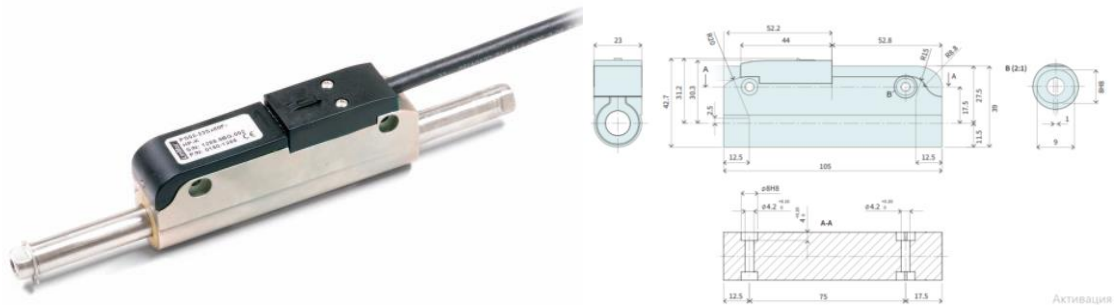


Рис. 1.14. Лінійний двигун «LinMot»

Технічні характеристики лінійного двигуна серії LinMot PS01-37Sx120F-HP-N:

- Постійна сила – **50 Н**
- Пікова сила – **255 Н**
- Максимальне прискорення – **3.8 м/с**
- Макс. пост. напруга – **330 В**
- довжина ходу – **80-1480 мм**
- точність позиціонування – **0.001мм**

Лінійний електродвигун «SL-2 ADVANCE» (рис.1.15) від українського виробника «SEW-EURODRIVE»



Рис.1.15.Лінійний електродвигун «SL-2 ADVANCE»

					<p>МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ</p>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Електродвигун SL2-Advance можна легко інтегрувати в якості мотор-редуктора. Наш блок охолодження двигуна вже пропонує всі ключові компоненти, необхідні для складання машини. Серед них охолоджуючі поверхні, міцність, вага, установка підшипника, вузол навантаження і теплове розширення [54].

Технічні характеристики:

- ширина: від 50 мм до 150 мм
- номінальні швидкості: 1, 3 і 6 м/с
- 4 варіанти габаритів двигуна: VS, S, M і ML
- 4 довжини статора: 64, 128, 256, 512 мм
- номінальне зусилля: від 280 Н до 3600 Н
- пікове зусилля подачі: від 650 Н до 7700 Н
- точність позиціювання: 0.002 мм;

Лінійний двигун «1FN3300-2NC10-0BA1» від німецького гіганта-виробника «Siemens» рис.1.16.

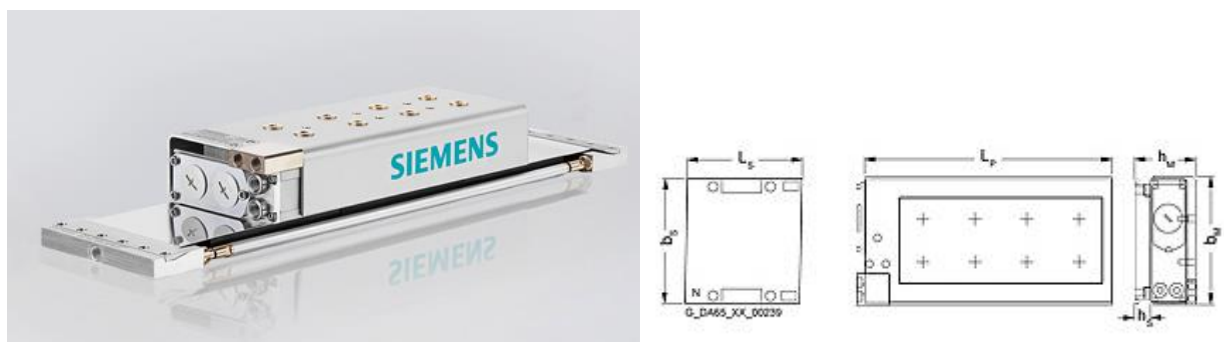


Рис.1.16. Лінійний двигун «1FN3300-2NC10-0BA1»

Електродвигун «1FN3300-2NC10-0BA1» є лінійним приводом з компактними габаритами, стильним дизайном, відрізняється чудовою продуктивністю / щільністю зусиль. Він характеризується

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

мінімальними втратами на тертя. Двигун 1FN3300-2NC10-0BA1 відповідає найвищим вимогам щодо динаміки, точності, а також він оптимізований для роботи високопродуктивних верстатів і машин.

Лінійний двигун 1FN3300-2NC10-0BA1 – чудово підходить для встановлення на різні типи верстатів та робототехніки, приладів для лазерного різання та багатьох інших сфер [63].

Технічні характеристики:

- номінальне навантаження: **1730 Н**;
- пікове навантаження: **до 2940 Н**;
- швидкість при номінальному навантаженні **3.8 м/с**;
- швидкість при максимальному навантаженні: **2.1 м/с**;
- максимальне перенавантаження: **До 2,75 x FN**;
- точність позиціювання: **0.001 мм**;

### 1.5. Аналіз компонувань і конструкцій мотор-шпинделів різних виробників

Мотор-шпиндель (рис.1.17) - один з типів шпиндельних вузлів (ШВ) верстатів, відносно не великих розмірів та малої потужності. Зазвичай використовується в конструкції малогабаритних верстатів для обробки точних, невеликих за розміром деталей. Особливістю мотор-шпинделя є відсутність кінематичного ланцюга між електродвигуном та робочим органом. Це вдалося завдяки вдалому поєднанню електродвигуна і шпинделя, в один агрегат. Така компоновка ШВ має перевагу в точності обробки, габаритності, стабільності крутного моменту як на мінімальних так і на максимальних обертах, що часто можуть сягати 50 000 об/хв і навіть більше.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

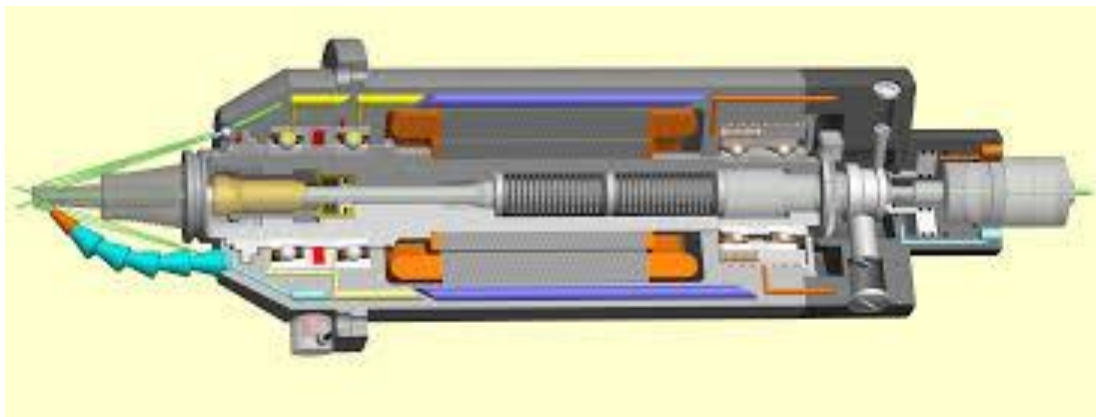


Рис.1.17. Будова мотор-шпинделя

Мотор-шпиндель від німецького виробника «KRESS 1050 FME» (рис.1.18). Kress 1050FME призначений для широкого спектру робіт. Колекторний 1050 FME має постійну потужність 1050 Вт і регульовану швидкістю 10000-32000 об/хв завдяки сучасній електроніці. Шпинделі Kress відрізняються зручністю, малим биттям і дуже високою надійністю. Момент фрезерування регулюється сталевим фланцем двигуна з подвійною опорою, підтримується блокування шпинделя для легкої зміни ріжучого інструменту. Фрезер оснащений захистом від перегріву і перевантажень. Плавний пуск з обмеженням пускового струму, можливість відімкнення вугільних щіток. За допомогою інструменту можна виконувати тонкі фрезерувальні роботи із приєднанням гнучкого валу. Двигун оснащений мережевим кабелем довжиною 4 м [64].



Рис.1.18. Мотор-шпиндель «KRESS 1050 FME»

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Технічні характеристики	
Властивість	Значення
Потужність	1050 Вт
Частота обертання шпинделя	10000–32000 об/хв
Зажимна цанга	ER 8
Живлення	220 В
Загальна маса	1.7 кг

Асинхронні мотор-шпинделі **FRANZ KESSLER** серій **DMS 060** (рис.1.19) від німецького виробника «Franz Kessler»

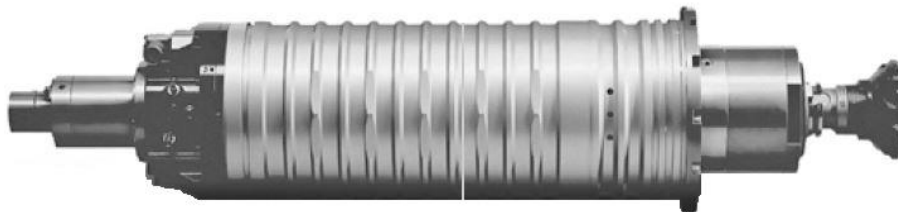


Рис.1.19. Мотор-шпиндель Franz Kessler DMS 060

Шпиндельні електромотори серій DMS 060 комплектуються системою швидкого встановлення робочого інструменту, яка в свою чергу дозволяє ефективно і оперативно виконувати різні завдання, як на фрезерних так і токарних промислових верстатах.

Моторшпинделі Franz Kessler серій DMS 060 конструктивно складаються з корпусу, надійно сконструйованого підшипникового вузла, і обмотки статорів, для виробництва яких, використовуються тільки якісні матеріали. Перед тим, як почати роботу з моторами цієї серії, необхідно виконати збірку приводу, яка, згідно з позитивним відгуками замовників, є інтуїтивно зрозумілою і простою. Отже, те ж саме, стосується і розбирання обладнання, в разі якщо необхідно виконати заміну тих чи інших комплектуючих або провести регламентне технічне обслуговування. У процесі повсякденної експлуатації моторшпинделя вищевказаних серій, були

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



відзначені такі переваги як: мінімальний рівень шуму та відсутність ознак стомлюваності (втоми) у операторів промислових верстатів, в складі яких і застосовувалися мотор-шпинделі марки **Franz Kessler** серій DMS 060 [57].

Залежність потужності і крутного моменту від частоти обертання МШ **DMS 060.643.949** (рис.1.20)

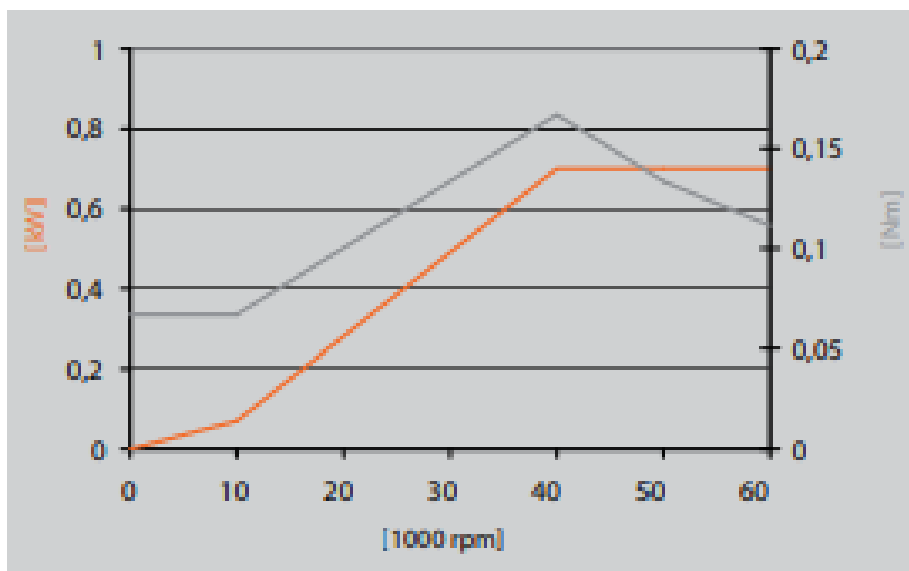


Рис.1.20. Залежність потужності і крутного моменту від частоти обертання

Технічні характеристики:

- **Тип електродвигуна:** асинхронний;
- **Діаметр валу:** від 60 до 80 мм;
- **Потужність:** від 600 Вт до 2 кВт;
- **Частота обертання:** від 60 до 80 тис. об/хв;
- **Крутний момент:** від 0.14 до 0.24 Н\*м;
- **Тип охолодження:** водяне;
- **Тип мастила підшипників:** рідке;
- **Тип кріплення інструменту:** комплект швидкої установки;
- **Вага:** до 4.5кг;

МШ **«C51/60-D-DB-P-ER25»** від італійського виробника «Technomotors» (рис.1.21)

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



## ОБЩИЕ ГАБАРИТЫ

### C51/60 – A or D – DB – P – ER25

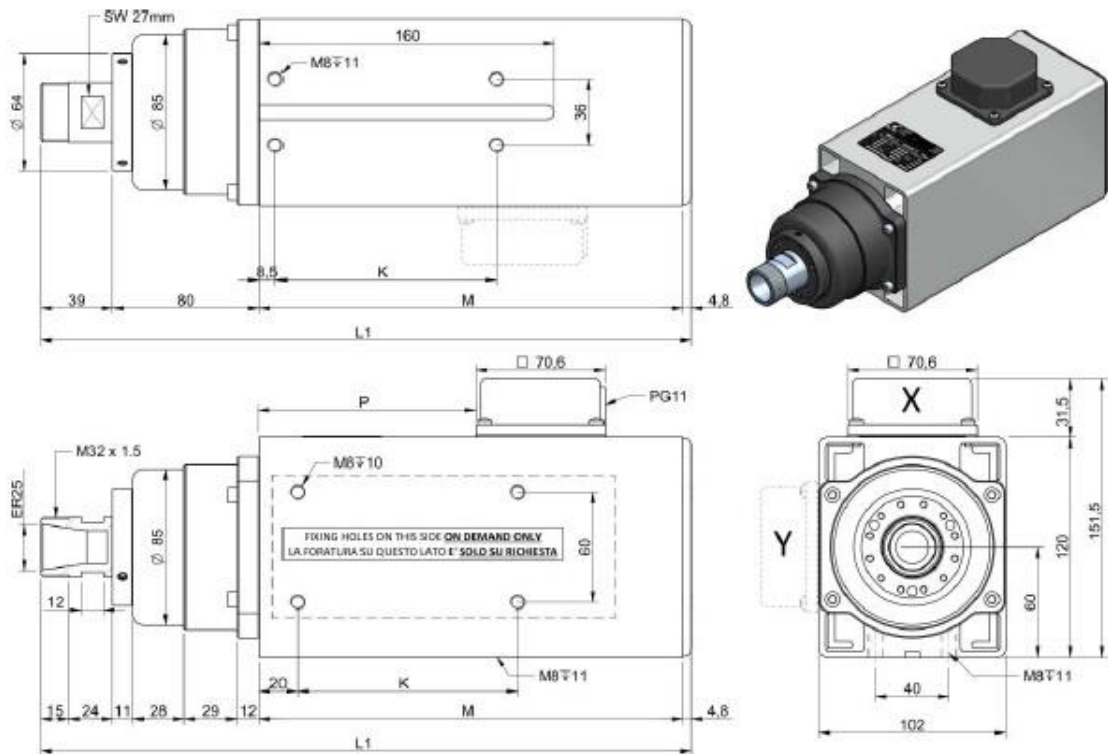


Рис.1.21. Загальний вигляд мотор-шпиндель «C51/60-D-DB-P-ER25»

Електрошпинделі серії C51 / 69-DB-ER25 розроблені для забезпечення високих швидкостей і потужності з обмеженими габаритними розмірами. Стандартні моделі працюють в діапазоні від 12000 до 24000 об/хв. Діапазон потужностей від 1.1 до 5.6 кВт. Ці особливості роблять їх ідеальними для використання на верстатах для обробки деревини, алюмінієвих сплавів і пластмас.

Електрошпинделі використовуються головним чином на фрезерних верстатах з ЧПУ, на свердлильних верстатах, на верстатах для зняття задирок, на автоматичних системах для будівництва вікон і дверей з ПВХ або алюмінію, а також для автоматизації в цілому (електрошпинделі встановлюється безпосередньо на антропоморфному роботі).

Через їх конструктивних особливостей, Електрошпинделі можуть витримувати радіальні або осьові чи змішані навантаження [65].

Електрошпинделі захищені від попадання таких забруднювачів, як деревна стружка, суха тирса, алюмінієва стружка і стружка з ПВХ [65].

Технічні характеристики:

- **Тип електродвигуна:** асинхронний;
- **Потужність:** від 1100 Вт
- **Частота обертання:** від 3000 до 24000 об/хв;
- **Тип охолодження:** водне;
- **Частота змінного струму:** 50 Гц;
- **Затискний пристрій:** цангвоий патрон ER-25;
- **Вага:** до 4.8кг;

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

В даному розділі більш детально розглянемо і опишемо всі конструкторські маніпуляції, які були проведені під час модернізації малогабаритного настільного фрезерного верстата «CNC 500».

Для того, щоб мати можливість працювати не в одному напрямку, а більш широко ми прийняли рішення розробляти одночасно два варіанти модернізації. Таким чином, ми зможемо отримати два дослідні зразки НФВ і зрівняти їх переваги та недоліки.

### 2.1. Верстат «CNC 500» до модернізації

За основу для модернізації ми взяли створений на кафедрі конструювання верстатів та машин НВФ «CNC 500» на модульному принципі (рис.2.1)

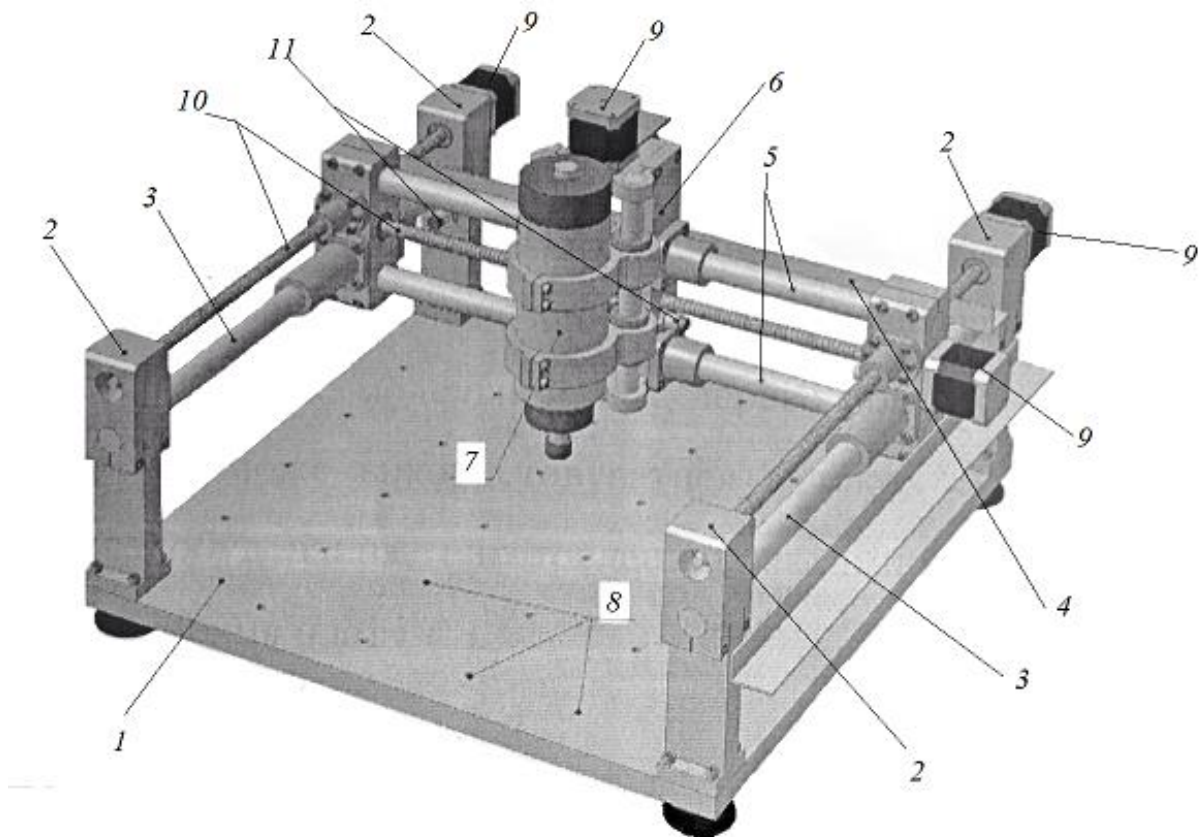


Рис.2.1. Малогабаритний настільний фрезерний верстат портального компонування «CNC 500»

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Верстат «CNC 500» призначений для фрезерної обробки таких матеріалів як: бронза, дюраль, текстоліт, різні пластики, дерево, віск та ін. Даний верстат може використовувати в багатьох сферах діяльності, зокрема приладобудування, виготовлення плат, мікросхем, ювелірне виробництво, виготовлення сувенірів, унікальних надписів і т.д.

Конструкція верстату «CNC 500» досить проста, (всі складові частини вказані на рис.1.3). Даний верстат порталного компоновання складається з несучої плити **1** товщиною 17мм, на кутах якої встановлені чотири вертикальні стійки **2**, з'єднані між собою напрямними **3**, по яких рухається портал **4**. Він містить дві напрямні **5**, по яких рухається каретка **6**, до каретки кріпиться мотор-шпиндель **7**, потужністю 800 Вт з повітряним охолодженням та частотним керуванням, що рухається вертикально. Для закріплення оброблюваної заготовки на несучій плиті виконані 32 різьбові отвори **8** з метричною різьбою М6х0.8. Для приводів подач використовуються крокові двигуни **9**. Передача руху здійснюється за рахунок кульково-гвинтової пари **10** з кроком 4 мм/об. Для визначення кінцевого положення портала по осях Х та Y встановлені сенсори індуктивного типу **11**. Така конструкція верстату забезпечує високу жорсткість несучої системи і водночас підвищує зручність обслуговування робочої зони [17].

Технічні характеристики верстату «CNC 500»:

- Габарити: 500×500×350 мм
- Робочий простір: 250×250×80 мм
- Тип гвинтової передачі: ШВП 12×4
- Тип направляючих: вал Ø20мм
- Робоча швидкість: до 4000 мм/хв
- Частота обертання шпинделя: 10000-24000 об/хв
- Повторюваність: 0.05 мм
- Вага верстату: 35 кг

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

## 2.2. Модернізований варіант НФВ з рухомою траверсою

Після обробки великої кількості інформації, патентного пошуку верстатів-аналогів, вивчення їх будови ми розпочали роботу над першим варіантом модернізованого НФВ (рис.2.2). Цей верстат буде максимально подібним до свого попередника за конструкцією. Замінюватися будуть переважно модулі та деякі вузли без суттєвої зміни конструкції. Робочі креслення оригінальних деталей будуть наведені в додатка до пояснювальної записки.

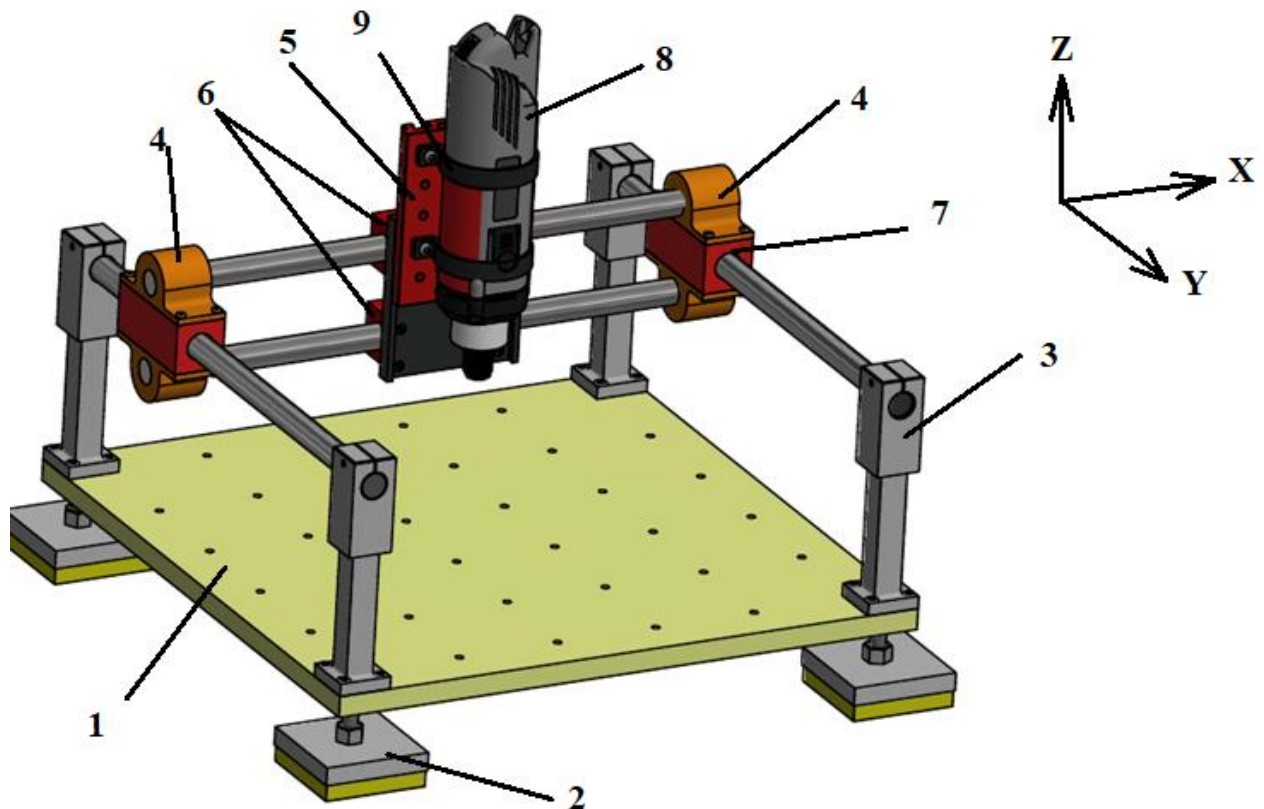


Рис. 2.2. 3Д- модель модернізованого НФВ з рухомою траверсою

Головною відмінністю і перевагою даного НФВ портального компонування є заміна крокових двигунів, які працювали в парі із ШВП на високоточні лінійні модулі (5,6).

6 - циліндричні лінійні двигуни «HIWIN MIKROSYSTEM» серії «LMTA-4» від тайванського виробника «HIWIN». Вони забезпечують лінійне переміщення робочого органу НФВ по осях X та Y.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Існує багато аналогів цих двигунів, але ми зупинилися саме на даній моделі через найбільш вдале співвідношення ціни, якості та технічних характеристик.

На рис. 2.3. зображено загальний вигляд та графік залежності швидкості від сили лінійного електродвигуна (ЛЕД) LMTA-4:

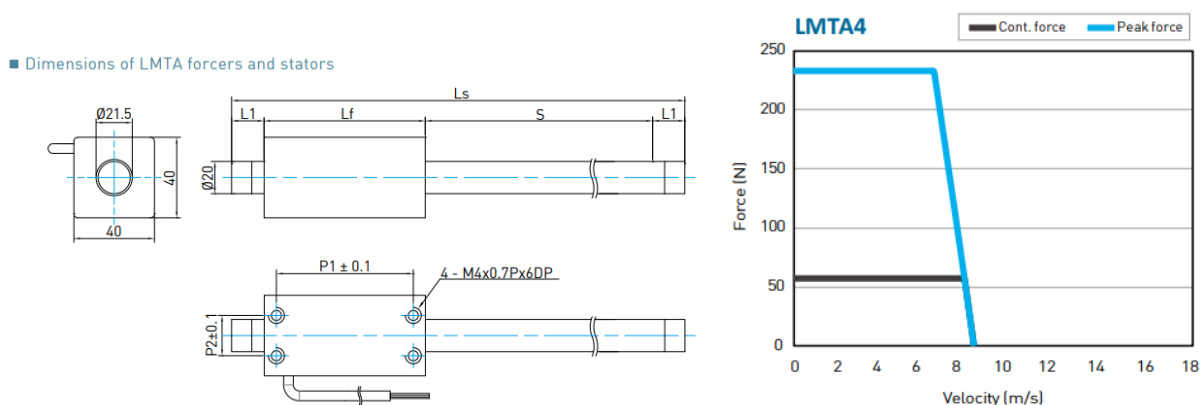


Рис. 2.3. Габарити та характеристики лінійного двигуна LMTA-4

Обраний двигун чудово підходить для використання на нашому верстаті за рахунок малих габаритних розмірів, зручного кріплення та високим динамічним характеристикам. Точності позиціонування електродвигуна в 0.01 мм вистачає для обробки найбільш відповідальних деталей з підвищеними вимогами по точності та якості.

Для переміщення по осі Y ротор ЛЕД 7 закріплюється в модернізованих стійках 3, які розміщені на кожному куті основи верстата 1. Для переміщення по осі X використовуються аналогічні електродвигуни 6, які фіксуються в спеціальних жорстких кронштейнах 4. Кронштейни, в свою чергу, кріпляться безпосередньо на корпус поперечних двигунів 7 утворюючи так званий рухомий портал. Перпендикулярно до ЛЕД 6 вертикально кріпиться плоский лінійний двигун «LMSA11» 5, також від виробника «HIWIN»

Плоский ЛЕД «LMSA11» (рис. 2.4) відповідає за переміщення по осі Z.

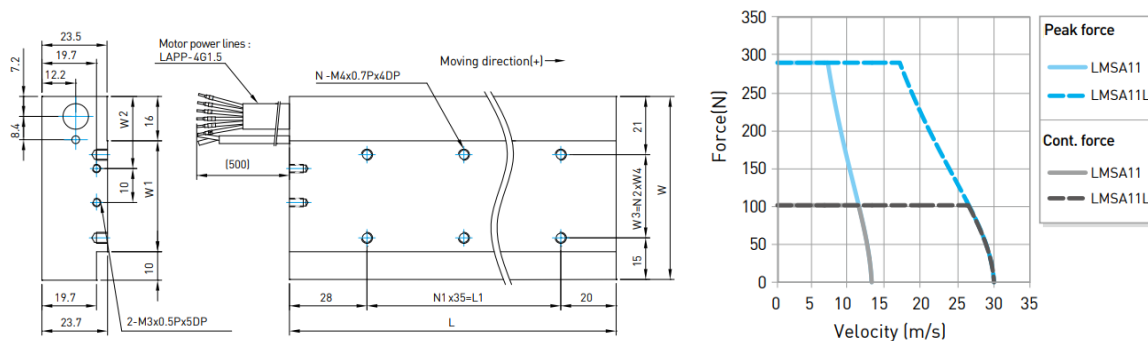


Рис.2.4. Характеристики лінійного двигуна «LMSA11»

Головною перевагою обраного ЛЕД-а є його пласка будова. Так як до нього буде консольно кріпитися мотор-шпиндель 8, це дозволить мінімізувати відстань від центра мас робочого органу до осі траверси. Що, в свою чергу, підвищить жорсткість системи та точність обробки.

Мотор-шпиндель – електродвигун, який забезпечує головний рух на верстаті – рух різання. До модернізації на верстаті був встановлений досить бюджетний, китайський мотор-шпиндель. Він мав значне радіальне биття, швидко нагрівався, тому було прийняте рішення замінити його на потужніший, прицепийни двигун від німецького виробника «Kress» моделі «Kress 1050 FME» (рис.2.5).

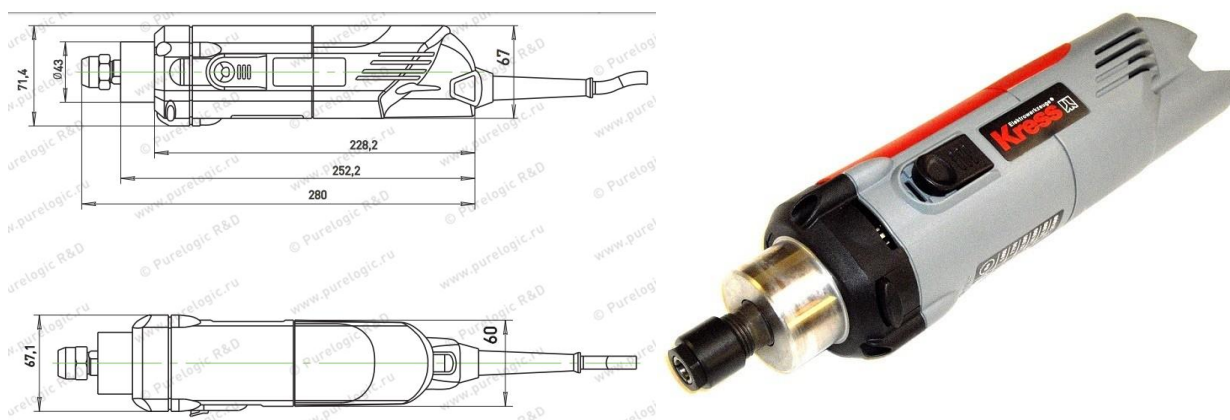


Рис.2.5. Мотор-шпиндель «Kress 1050 FME»

Вказаний вище мотор-шпиндель має ряд переваг над і користується популярністю у покупців. Основні з них:

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- висока частота обертання 10000 – 32000 об/хв
- висока потужність при відносно малих розмірах;
- висока продуктивність;
- мінімальне биття валу;
- м'який пуск;
- захист від перегріву;
- блокування для легкої зміни інструменту;
- можливість під'єднання гнучкого валу;
- стабільна потужність як на максимальних так і на мінімальних частотах обертання;
- маса – 1.7 кг;

МШ кріпиться до лінійного двигуна кронштейнами 9, які забезпечують, в разі необхідності, його швидкий демонтаж.

Ще одним завданням модернізації було вирішення проблеми надмірної вібрації під час обробки твердих матеріалів. Високий рівень коливань призводив до погіршення точності обробки, швидшого зносу розхідних елементів та надмірного шумового забруднення. Враховуючи, що це настільний верстат, вібрація відіграє не останню роль. Адже часто ці машини експлуатують просто в приватних будинках чи квартирах, де навіть незначна вібрація може створювати дискомфорт для оточення.

Для усунення цієї проблеми було запропоновано використати віброопори «Vibrofix Level 55» (рис.2.6).

Віброопори є чудовим та простим рішенням вирішення проблем з вібрацією. Дана модель чудово демпфує коливання, які виникають в процесі різання, цим самим збільшує точність обробки та зменшує рівень шумового забруднення. Завдяки модульному принципу верстата, для заміни звичайних ніжок на вібростійки не знадобилося вносити зміни в конструкцію., адже вони аналогічно попереднім вгвинчуються в різьбовий отвір основи М12.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



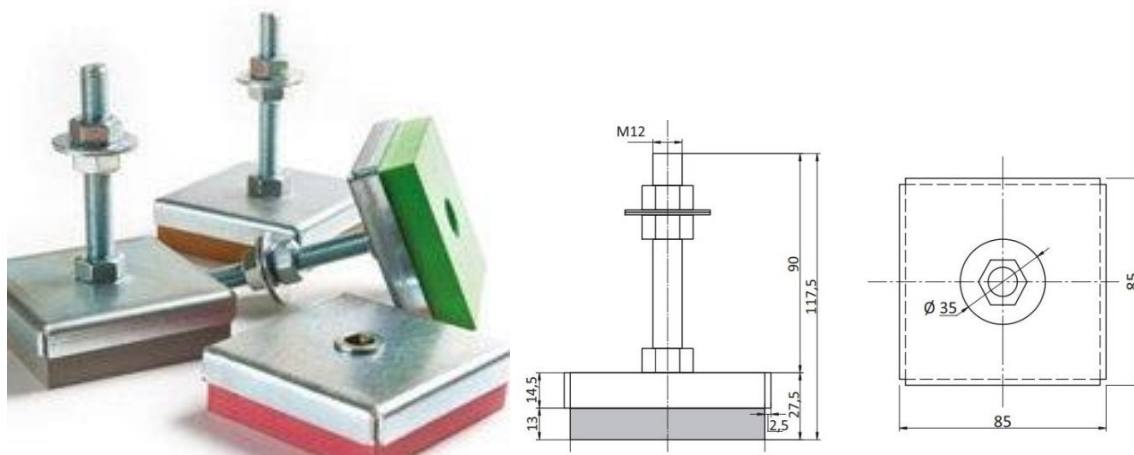


Рис.2.6. Віброопори «Vibrofix Level 55»

### ВИСНОВОК:

В результаті модернізації нам вдалося досягнути поставленої мети. Буде створений, на базі відомого «CNC 500», значно точніший, з динамічною стійкістю НФВ (рис.2.2) при збереженні модулів попередньої конструкції (рис.2.1). В результаті модернізації існуючої конструкції з мінімальними витратами буде досягнуто покращення більшості характеристик верстата, зокрема:

- ✓ точність позиціонування робочого органу збільшилася до 1 мкм;
- ✓ швидкість пересування робочого органу збільшилася до 5 м/с;
- ✓ мінімальна резонансна частота зменшилася до 13 Гц;
- ✓ збільшився робочий простір до 310x280x105 мм;
- ✓ зменшилася вага верстата до 28 кг.

### **2.3. Модернізований варіант НФВ з рухомим столом**

Альтернативним варіантом модернізованого НФВ став верстат з рухомим столом та статичною траверсою (рис.2.7)

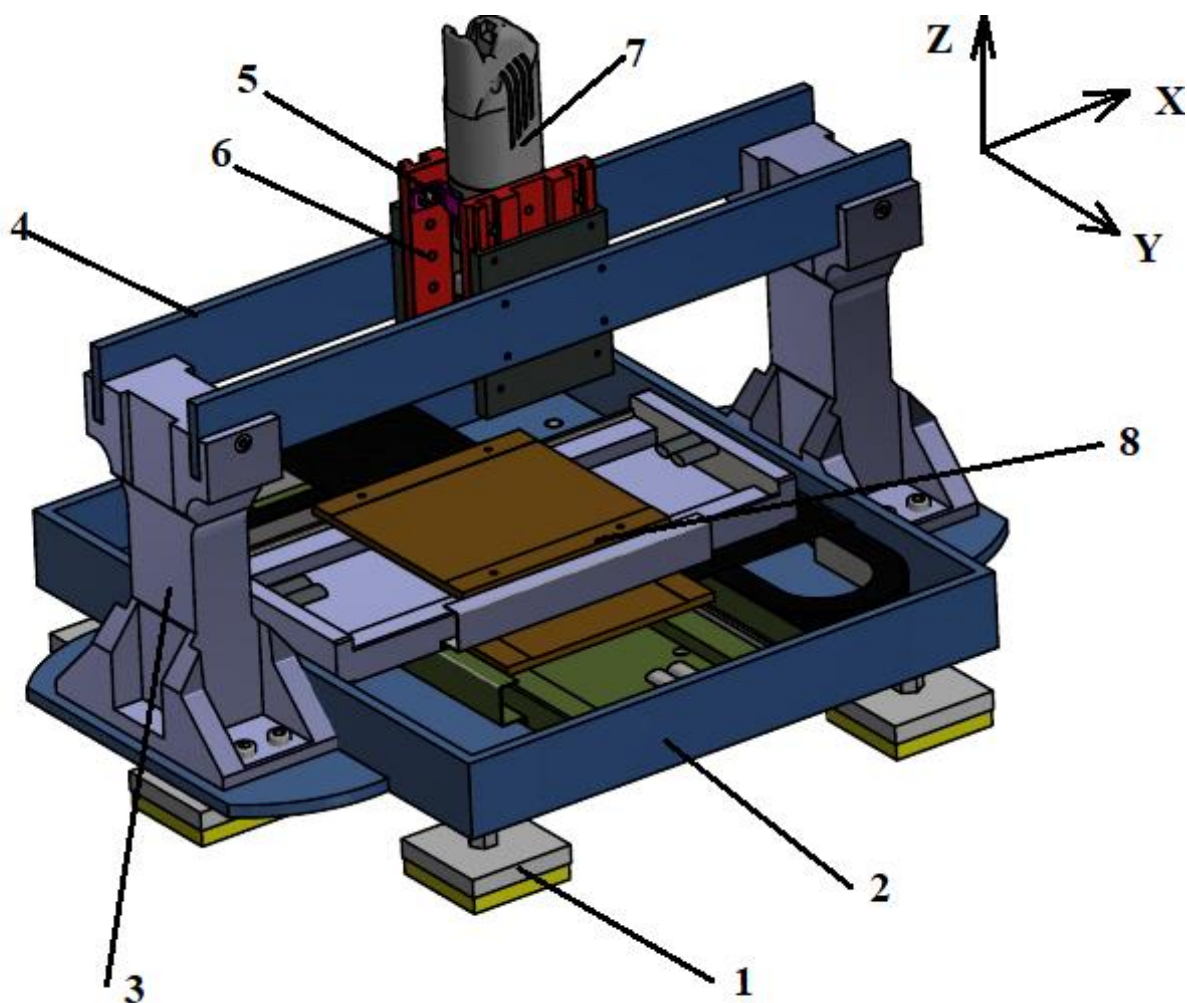


Рис. 2.7. 3Д- модель модернізованого НФВ з рухомим столом

Конструкція даного верстата суттєво відрізняється від початкового варіанту. Буде замінено більшість деталей, суттєво зміниться будова та збільшаться габаритні розміри. Головним недоліком верстатів з рухомим столом є їх габарити. Для того, щоб забезпечити достатньо робочого простору, необхідно суттєво збільшити габарити. В нашому верстаті розміри робочої зони будуть варіюватися близько до таких значень:

X – 190 мм;

Y – 190 мм;

Z – 90 мм;

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Однак головною перевагою має стати саме жорсткість несучої системи. Верстат дуже стійкий за рахунок низько розташованого центра мас. Об'ємна основа 2 була розроблена спеціально під дану модель. Захисні борти по периметру основи захищатимуть найдорожчу частину верстата – хрестовий лінійний стіл 8.

Після довготривалого пошуку ми зупинилися на координатному столі «LMX2E-CB5CB8-XXX-YYY-G20» серії «LMC-D» від виробника «HIWIN» (рис.2.8).



Рис.2.8. Хрестовий стіл «LMX2E-CB5CB8-XXX-YYY-G20»

Двовісні координатні столи серії LMC\_D оснащені лінійними двигунами HIWIN без сталевго сердечника серії LMC і відрізняються високою динамічністю. Ідеально підходять для застосування в на прицевійних верстатах, що вимагають високу ступінь синхронності виконуваних операцій [52].

Обрана модель має низький профіль, що дуже актуально для нашого верстата, адже це дозволить покращити одразу дві характеристики верстата:

- ✓ збільшення робочого простору по осі Z;
- ✓ низьке розташування центра мас;

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

#### Технічні характеристики координатного столу:

- постійне зусилля по осі X – 91 Н
- постійне зусилля по осі Y – 145 Н
- пікове зусилля по осі X - 364 Н;
- пікове зусилля по осі Y – 580 Н;
- максимальне переміщення по осі X – 300 мм;
- максимальне переміщення по осі Y – 400 мм;
- ортогональність - +/- 5''
- стабільність позиціонування – 0.002 мм;

Верхня частина верстата складається з двох потужних стійок 3, які встановлюються на основу за межами робочого простору. До них кріпиться подвійна траверса 4, всередині якої встановлені ті ж самі ЛЕД-и 6, що й на верстаті з рухомою траверсою («LMSA11», рис.2.4) та синхронізовані між собою. З допомогою оригінальних регульованих кронштейнів 5 до електродвигунів кріпиться мотор-шпиндель «Kress 1050 FME» 7. Через свої великі габарити, верстату 4-х віброопор «Vibrofix Level 55» (рис.2.6) буде недостатньо. Тому, для більшої надійності і стійкості встановимо ще дві додаткові опори під стійками. Така стійка конструкція буде забезпечувати чудову точність обробки, однак це має і негативний вплив. Орієнтовна вага верстату буде сягати 60 кг. Що досить таки багато, як для НФВ. Тому під цей варіант, швидше за все доведеться робити каркас чи встановлювати на достатньо стійкі поверхні.

#### ВИСНОВОК:

В результаті модернізації нам вдалося створити оригінальний зразок НФВ з рухом столом, що відрізняється особливою жорсткістю несучої системи та низьким рівне вібрації під час обробки. Його жорсткість та потужність дозволить проводити обробку більш твердих матеріалів, з більшими режимами різання аніж на верстаті з рухомою траверсою.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4. Типові деталі, принципи програмування і наладки верстата на обробку деталі.

Розроблений в дипломному проекті малогабаритний НФВ заточений переважно під виготовлення деталей дрібних та середніх розмірів. Типовими зазвичай є пластикові деталі або деталі з подібних до нього матеріалів. Також це можуть бути вироби з алюмінію чи його сплавів (рис.2.9.)

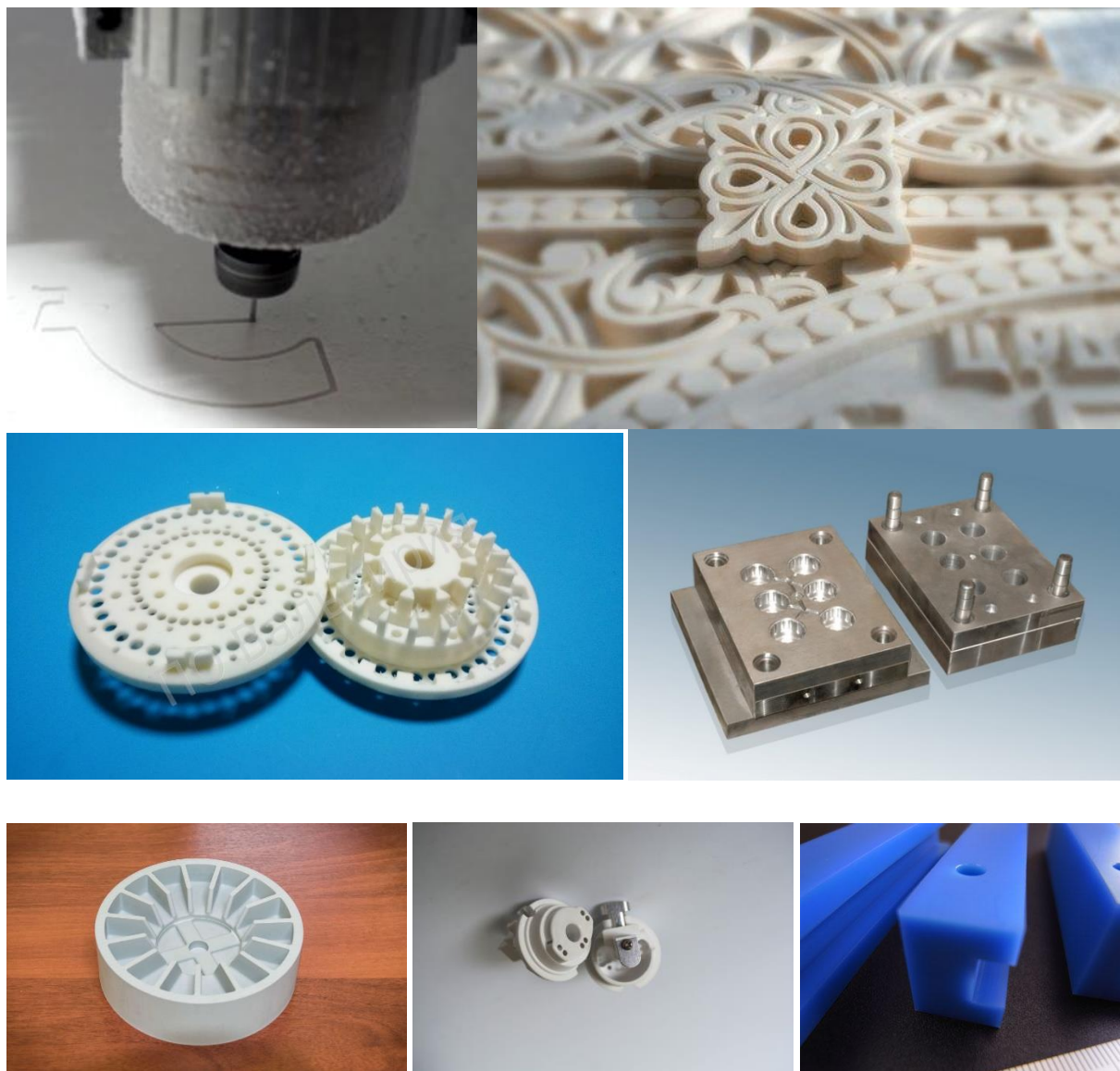


Рис. 2.9. Приклади типових деталей, виготовлених на НФВ

Всі вище показані деталі та багато інших без проблем можна виготовити на малогабаритному НФВ. Однак не достатньо лише тільки

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50



верстата. Для того, щоб він працював коректно, потрібно правильно написати керуючу програму (КП).

Керуюча програма – це сукупність кодів та координат які задають траєкторію руху інструменту та інші додаткові функції (напрям обертання шпинделя, ввімкнення/вимкнення подачі мастильно-охолоджуючої рідини (МОР), та багато іншого). КП можна створювати декількома способами. Найпоширенішим серед них є створення КП в спеціальних програмах – САМ (computer-aided manufacturing) системах, які можуть бути самостійними (ArtCAM, NX) або встановлюватися в програму комп'ютерного моделювання(CAD) (SolidCAM, InventorCAM). Для створення керуючої програми в САМ – системі потрібно створити 3Д модель майбутньої деталі, після чого налаштувати параметри заготовки, обрати базову поверхню та обрати точку початок координат (рис. 2.10) та обрати стратегію обробки (рис. 2.11).

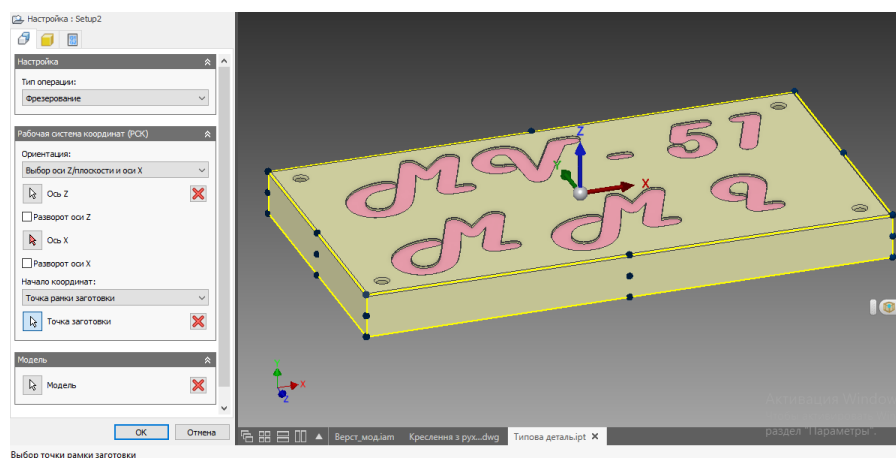


Рис. 2.10. Налаштування заготовки

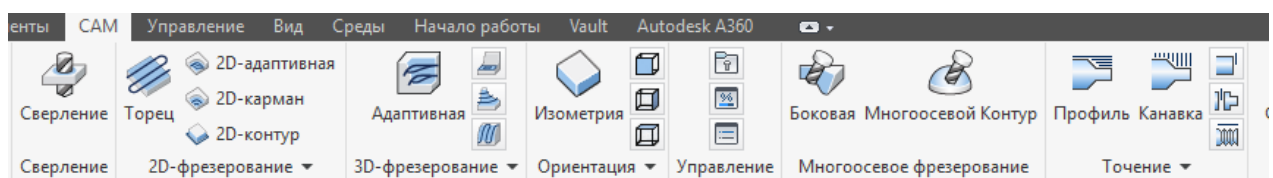


Рис. 2.11. Вибір стратегії обробки

В налаштуваннях тої чи іншої стратегії можна обрати інструмент (рис. 2.12), встановити режими різання (рис.2.13), вказати потрібний контур

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробки чи поверхню (рис.2.14), налаштувати кількість проходів як по глибині так і горизонтальних, чи припуски та багато чого іншого (рис.2.15)

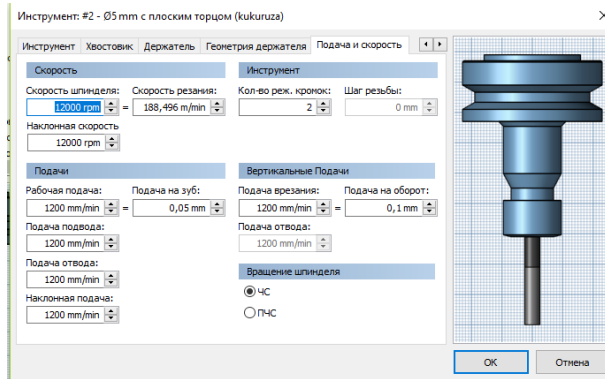


Рис. 2.12. Вибір інструменту

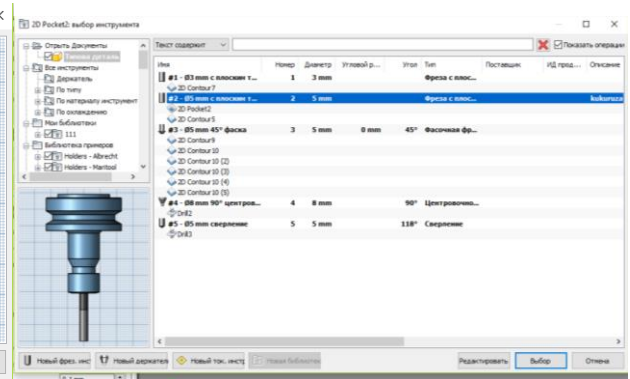


Рис. 2.13. Налаштування режимів

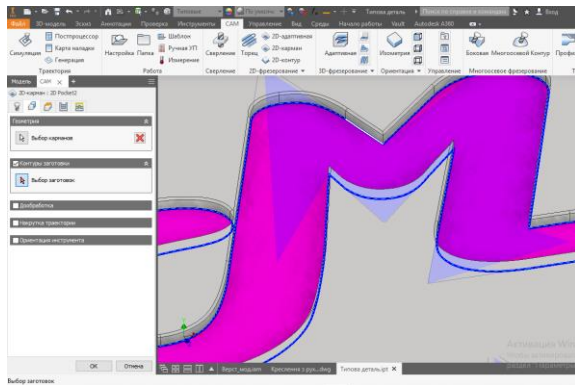


Рис. 2.14. Задання контуру обробки

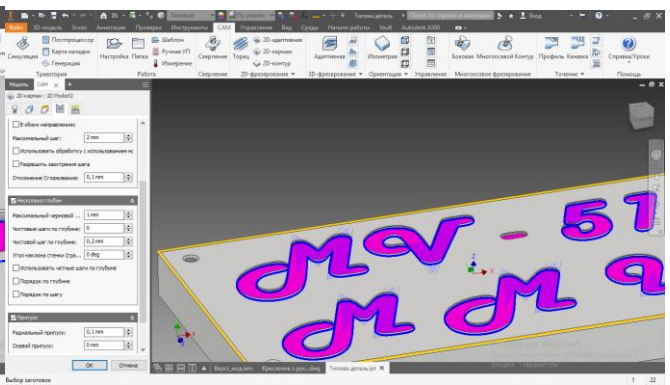


Рис. 2.15. Задання припусків

Після цього можна переглянути симуляцію, в якій буде візуалізуватися процес обробки (рис. 2.16). Тут можна переконатися в тому, що під час задання траєкторії, підводів/відводів не відбувається зіткнень інструменту з заготовкою, чи не лишається зарізів, тощо.

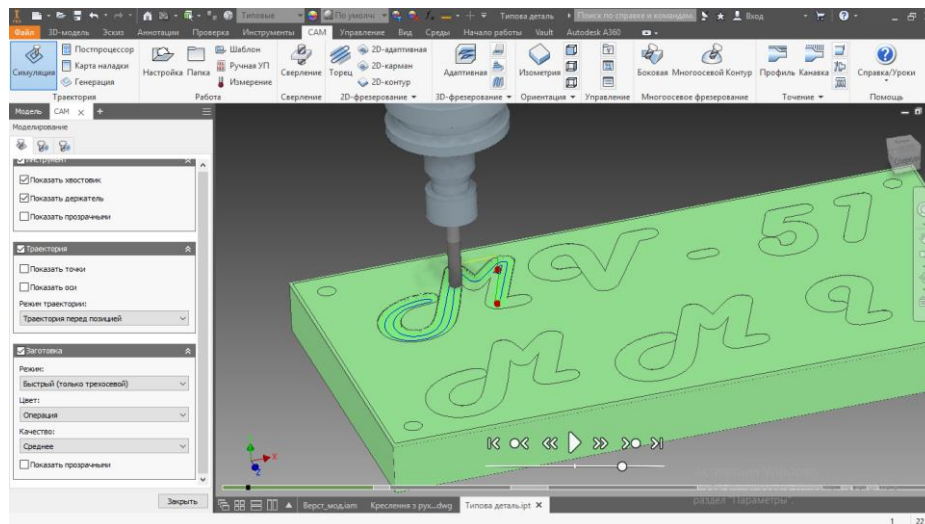


Рис. 2.16. Візуалізація процесу обробки

Після того, як програміст переконався, що помилок в програмі немає, її можна генерувати та передавати оператору для запуску на верстаті.

Інший спосіб створення керуючої програми в більшості випадків не такий продуктивний як перший. Він представляє собою ручне написання коду. Тобто оператор потрібно ідеально знати всі коди, вручну прораховувати траєкторію та інші нюанси. Це досить довго і не завжди точно. Даний спосіб написання програми виправданий лише для простих контурів або за використання циклів обробки. Для того, щоб написати програму вручну не потрібно особливих програм, адже писати код можна в будь-якому текстовому редакторі чи прямо на стійці верстата.

Наладкою верстата для обробки деталі займається оператор. Він відповідно до отриманої програми встановлює заготовку на робочому столі, закріплює, з допомогою мірного пристрою (щупа) визначає початок координат заготовки, який відповідає початку координат в програмі.



## РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВИЙ

### 3.1. Основні вимоги до мотор-шпинделя

Мотор-шпинделі (МШ) призначені для фіксування і точного обертання інструменту навколо своєї осі (виключенням є інструмент, який має ексцентриситет чи зміщення відносно осі) для виконання процесу різання.

#### Основні вимоги до МШ:

- Точність обертання інструменту, яка вимірюється биттям на передньому кінці мотор-шпинделя в радіальному чи осьовому напрямках; відхилення від ідеального обертання (вісь обертання інструменту співпадає з уявною віссю МШ) і є однією з основних причин похибки обробки.
- Жорсткість мотор-шпинделя визначається за пружним переміщення переднього кінця шпинделя, обумовленим податливістю власне шпинделя та його опор; радіальна та осьова жорсткість МШ суттєво впливає на точність обробки [33].
- Вібростійкість мотор-шпинделя суттєво впливає на загальну стійкість несучої системи і всього верстата в цілому. Демпфуючі властивості опор і амплітудно-частотні характеристики мотор-шпинделя впливають на шорсткість поверхні і критично допустимі режими різання. Для особливо швидкохідних МШ небезпеку можуть становити резонансні явища.
- Довговічність шпиндельних вузлів, яка зв'язана з довговічністю опор мотор-шпинделя в сенсі збереження початкової точності обертання; ця вимога має особливе значення для опор кочення.
- Обмеження тепловиділення і температурних деформацій ШВ, які дуже впливають на точність обробки; опори МШ при тривалій роботі на високих частотах обертання стають джерелом виділення тепла в безпосередній близькості до зони обробки [33].

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Швидке і надійне закріплення інструмента, що забезпечує точне центрування і відповідно точне обертання.

Основною перешкодою на шляху до досягнення всіх вище перерахованих вимог стоять широкі діапазони навантаження і частоти обертання МШ [33].

### 3.2. Розрахунок режимів різання

Для розрахунку режимів різання необхідно вибрати типовий інструмент, яким буде здійснюватися обробка. Враховуючи, що в дипломному проекті ми працюємо над малогабаритним верстатом з мотор-шпинделем «Kress 1050 FME» у якого максимальний діаметр інструменту, який може використовуватися не перевищує 8 мм, то обираємо кінцеву фрезу від виробника «GUEHRING» (рис.3.1). Матеріал оброблюваної деталі – Д16Т.

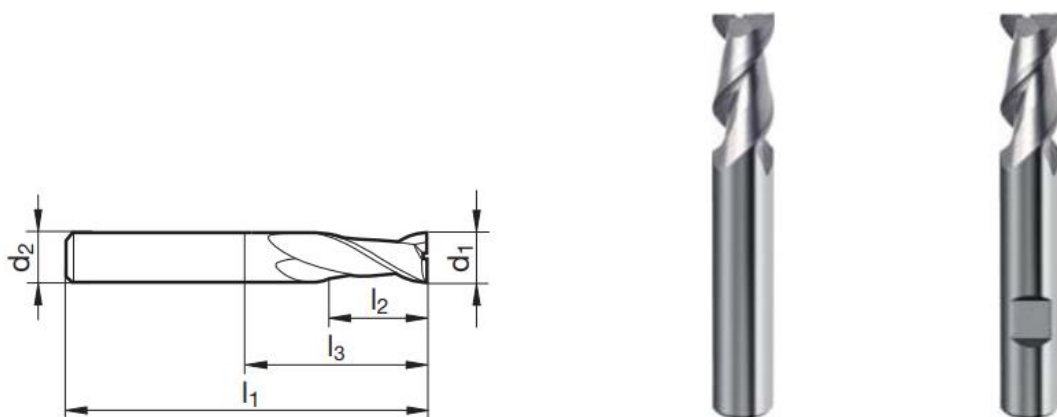


Рис.3.1 Фреза «GUEHRING»

$d_1 = 8 \text{ мм};$	$l_2 = 19 \text{ мм};$
$d_2 = 8 \text{ мм};$	$l_3 = 28 \text{ мм};$
$l_1 = 63 \text{ мм}$	$z = 2 \text{ мм};$

Мінімальна частота обертання мотор-шпинделя складає 10000 об/хв.

Визначимо мінімальну швидкість різання:

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$V_{Cmin} = \frac{\pi * D_{max} * n_{min}}{1000}, [м/хв]$$

де,  $D_{max}$  – максимальний діаметр фрези;

$n_{min}$  - мінімальні оберти шпинделя;

$$V_{Cmin} = \frac{\pi * D_{max} * n_{min}}{1000} = \frac{3.14 * 8 * 10000}{1000} = 251.2 [м/хв]$$

Подача на оберт:

$$S_{об} = S_z * z, \left[ \frac{мм}{об} \right]$$

де,  $S_z$ - подача на зуб (за рекомендаціями виробника приймаємо ,  $S_z = 0.035$  мм.

$$S_{об} = S_z * z = 0.035 * 2 = 0.07 \left[ \frac{мм}{об} \right]$$

Подача на хвилину:

$$S_{хв} = S_{об} * n = 0.07 * 10000 = 700 \left[ \frac{мм}{хв} \right]$$

Колова сила різання:

$$P_z = \frac{10 * C_p * t^{xp} * S_z^{yp} * B^{yp} * z}{D^{qp} * n^{wp}}, [Н]$$

де  $S_z$  – дійсна подача на один зуб інструмента.

Коефіцієнти та показники степеня вибираються з (табл. В32, [36]).

Також колову силу можна порахувати за універсальною, але менш

точною формулою:

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_z = \frac{6 * 10^4 * N_{\text{різ}}}{V_{\text{Cmin}}}, [\text{Н}]$$

де,  $N_{\text{різ}}$  — потужність різання,

приймаємо  $N_{\text{різ}} = N_{\text{мот.шп.}} = 1,050 \text{ кВт}$ ;

$$P_z = \frac{6 * 10^4 * N_{\text{різ}}}{V_{\text{Cmin}}} = \frac{6 * 10000 * 1,050}{251.2} = 250.79 [\text{Н}]$$

Складові сили різання визначимо за співвідношення, що наведені в таблиці 84 [29]:

$$P_y = (0.3 \div 0.35) * P_z = 0.32 * 250.79 = 80.252 [\text{Н}]$$

$$P_x = (0.5 \div 0.55) * P_z = 0.52 * 250.79 = 130.4 [\text{Н}]$$

Крутний момент на валу шпинделя:

$$M = \frac{10 * P_z * D}{2 * 1000} = \frac{10 * 250.79 * 8}{2000} = 10.3 [\text{Н} * \text{м}]$$

Розглядаємо два випадки деформації шпинделя (рис.3.2):

1. Деформація згину  $Y_{\text{зг}}$  — при навантаженні нежорсткого шпинделя в абсолютно жорстких опорах.

2. Пружна деформація  $Y_{\text{пр}}$  — при навантаженні абсолютно жорсткого шпинделя, встановленого у нежорстких опорах. Шпиндель у цьому випадку має радіальне переміщення  $Y_{\text{оп}}$  за рахунок податливості опор (статичне відтискання опор) та за рахунок власної податливості шпинделя, а також деформацію  $Y_{\text{т}}$  зсуву від поперечної сили, яка для реальних розмірів шпинделів з центральним отвором становить 3-6% загальної деформації шпинделя і при розрахунках не завжди враховується [9].

$$Y_{\text{ш}} = Y_{\text{зг}} + Y_{\text{пр}} = Y_{\text{зг}} + Y_{\text{оп}} + Y_{\text{т}} \approx Y_{\text{зг}} + Y_{\text{оп}}$$

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

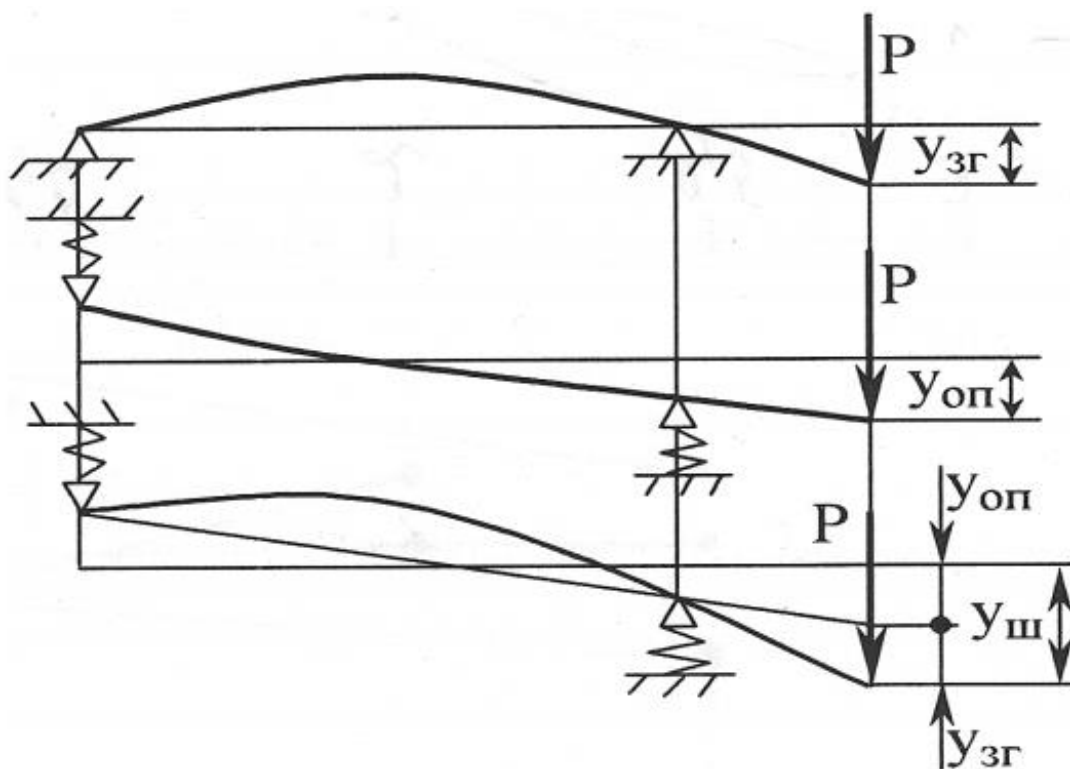


Рис.3.2. Схема деформації (пружні лінії) шпинделя

При експлуатації верстата складова  $Y_{ш}$  лишається незмінною, а  $Y_{пр}$  з часом змінюється, до того ж збільшується люфт у вузлі за рахунок зношення поверхонь тертя [9].

### 3.3. Розрахунок сил затиску інструменту в цанговому патроні

Цанговий патрон (рис.3.3) призначений для затиску і утримання ріжучого інструмента в шпинделі.

Затискний пристрій (цанга) (рис. 3.4) є самоцентруючим затискувачем з встановленням фрези по зовнішній поверхні. Цанга являє собою розрізану на певну кількість пелюсток, граючу втулку з зовнішнім конусом 7:24. Вона забезпечує концентричність установки інструменту з точністю до 0.01 мм. Для інструментів різних діаметрів використовують набір цанг.



Рис. 3.3. Упорна гайка і корпус цангового патрона ER11



Рис. 3.4. Цанга затискна двохконусна

Фрезу вставляють в отвір цанги, яка перебуває в вільному положенні і затискають за рахунок накручування накидної гайки. В цей момент цанга проковзує по конусу вздовж осі і тим самим сама ж затискає інструмент.

Для визначення зусилля затиску фрези використаємо вже розраховані в попередньому розділі режими різання. Тому зразу ж можемо перейти до розрахунку сили затиску.

$$W_0 = k \cdot P_x \cdot D \cdot 1, [\text{H}]$$

де,  $k$  – коефіцієнт запасу

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 = 1.5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.2 = 1.8$$

$P_x$  – осьова складова сили різання;

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$P_x = 130.4 \text{ [H]};$$

$D$  – діаметр інструменту;

$$D = 8 \text{ мм};$$

Підставимо отримані значення у вихідну формулу і розрахуємо силу затиску:

$$W_0 = k \cdot P_x \cdot D \cdot 1 = 1.8 \cdot 130.4 \cdot 8 \cdot 1 = 1877.76 \text{ [H]}$$

Отже, для того щоб фреза надійно трималася в цанговому патроні і не зміщалася під час обробки, її потрібно затиснути з силою, не меншою ніж 1877.76 [H].

### 3.4.Розрахунок жорсткості мотор-шпинделя

#### Розрахунок жорсткості опор

Загальні відомості про жорсткість опор. При розрахунках на жорсткість мотор-шпиндель розглядається як балка ступінчато-змінного перерізу на податливих опорах. Вважається, що радіальні підшипники сприймають тільки радіальну жорсткість, упорно-радіальні — осьову та кутову жорсткість, радіально-упорні — радіальну, осьову та кутову. Значення жорсткості підшипників можна визначити за довідниками або розрахувати самостійно. Зазвичай приймають, що жорсткість опор з попереднім натягом не залежить від робочого навантаження, але суттєво знижується при значному підвищенні частоти обертання шпинделя. Розрахункові точки радіальної опори шпинделя при застосуванні радіальних підшипників розташовані посередині ширини підшипників. Розрахункові точки радіальної опори шпинделя, встановленого на радіально-упорних шарикових та конічних роликів підшипниках, знаходять із врахуванням кута контакту тіл кочення та кілець підшипників. Вважається, що така точка фактично розташована на перетині осі шпинделя з лінією, яка проходить через вісь шарика або середину довжини ролика під кутом, що дорівнює куту контакту у підшипнику (рис. 3.3). Розрахункові точки опори шпинделя при

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

застосуванні упорно-радіальних та здвоєних упорних підшипників знаходяться на осі шпинделя посередині ширини підшипника [2, 6, 32].

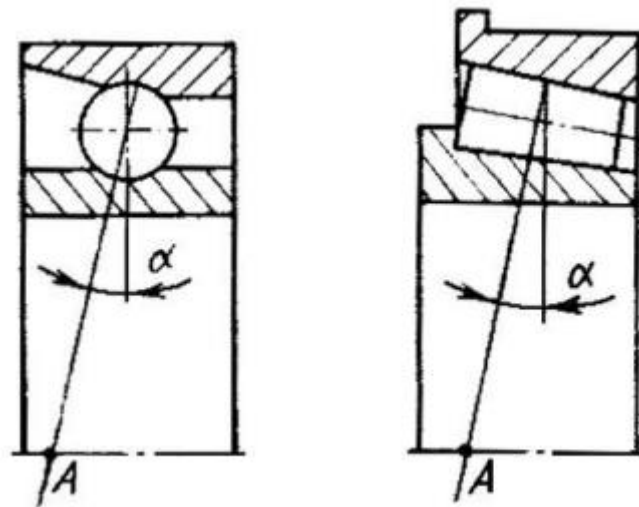


Рис.3.3. Схема визначення фактичної опори

Жорсткість шпиндельного вузла визначають із врахуванням жорсткості його опор. Якщо опора складається з одного підшипника, жорсткість опори дорівнює його жорсткості [9, 32]. Якщо в опору входить декілька підшипників, визначати жорсткість шпиндельного вузла можна двома шляхами:

- 1) приймати кожний підшипник в якості самостійної опори, що має жорсткість підшипника, і розглядати шпиндель як багатоопорну статично невизначену балку; 2
- 2) усі підшипники, що знаходяться у опорі, вважати такими, що утворюють одну комплексну опору з жорсткістю, яка залежить від її схеми компоновання жорсткості підшипників [2, 9, 33].

Розрахуємо реакції опор з допомогою сил різання, які ми визначили вище для цього визначимо сумарну силу різання :

$$F = \sqrt{P_z^2 * P_y^2 * P_x^2} = \sqrt{250.79^2 * 80.252^2 * 130.4^2} = \sqrt{86340.16} = 293.83 \text{ [H]}$$



Складемо рівняння моментів відносно опор А та Б:

$$\sum M_A = 0; -R_B * b + R_A * a = 0;$$

$$\sum M_B = 0; -R_A * b + F(b * a) = 0;$$

Звідси отримаємо:

$$R_B = \frac{F * a}{b} = \frac{293.83 * 33}{139.5} = 69.5 \text{ [Н]}$$

$$R_A = \frac{F * (a + b)}{b} = \frac{293.83 * (33 + 139.5)}{139.5} = 363.3 \text{ [Н]}$$

Осьова жорсткість комплексної опори А:

$$J_A = 1.5 * C^{\frac{2}{3}} * F_H^{\frac{1}{3}} * \left( i_1^{\frac{2}{3}} + i_2^{\frac{2}{3}} \right), \text{ [Н/мм]}$$

де,  $C = 10^5 * z * \sin^{\frac{5}{2}} * \alpha * \sqrt{1.25 * d_k}$  – жорсткість підшипника;

$F_H$  – сила натягу підшипника, Н;  $F_H = 145 \text{ Н}$ ;

$z$  – кількість тіл кочення в опорі;

$\alpha$  – кут нахилу тіла в підшипнику (рис.2.3);

$d_k$  – діаметр кульки;

$i_1, i_2$  – кількість підшипників в опорі;

$$C = 10^5 * z * \sin^{\frac{5}{2}} * \alpha * \sqrt{1.25 * d_k} = 10^5 * 22 * 0.12 * 2.5 = 660000 = 6.6 * 10^5 \text{ [Н]}$$

Звідси отримаємо:

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$J_A = 1.5 * C^{\frac{2}{3}} * F_H^{\frac{1}{3}} * \left( i_1^{\frac{2}{3}} + i_2^{\frac{2}{3}} \right) = 1.5 * 6.6 * 10^{\frac{10}{3}} * 145^{\frac{1}{3}} * (2 + 1) =$$

$$= 333159.9 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \right] = 333.2 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \right]$$

Радіальна жорсткість комплексної опори А:

Для підшипників типу 36000К і 36000У приблизна радіальна жорсткість визначається за відношенням [25]:

$$J_{rA} = (5.3 \div 6) * J_A = 5.7 * 333.2 = 1899.2 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \right]$$

Сумарна жорсткість опори А:

$$\sum J_A = \sqrt{J_A^2 + J_{rA}^2} = \sqrt{333.2^2 + 1899.2^2} = \sqrt{3717982.88} = 1928.2 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \right]$$

Жорсткість опори В:

$$J_B = 1.5 * C^{\frac{2}{3}} * F_H^{\frac{1}{3}} * \left( i_1^{\frac{2}{3}} + i_2^{\frac{2}{3}} \right), [\text{Н/мм}]$$

де,  $C = 10^5 * z * \sin^{\frac{5}{2}} * \alpha * \sqrt{1.25 * d_k}$  – жорсткість підшипника;

$F_H$  – сила натягу підшипника, Н;  $F_H = 90$  Н;

$z$  – кількість тіл кочення в опорі;

$\alpha$  – кут нахилу тіла в підшипнику (рис.2.3);

$d_k$  – діаметр кульки;

$i_1, i_2$  – кількість підшипників в опорі;

$$C = 10^5 * z * \sin^{\frac{5}{2}} * \alpha * \sqrt{1.25 * d_k} = 10^5 * 10 * 0.12 * 2.2 = 660000 =$$

$$= 2.6 * 10^5 [\text{Н}]$$

Звідси отримаємо:

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$J_B = 1.5 * C^{\frac{2}{3}} * F_H^{\frac{1}{3}} * \left( i_1^{\frac{2}{3}} + i_2^{\frac{2}{3}} \right) = 1.5 * 2.6 * 10^{\frac{10}{3}} * 90^{\frac{1}{3}} * (2 + 1) =$$

$$= 129962.2 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \right] = 129.9 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \right]$$

Для підшипників типу 36000К і 36000У приблизна радіальна жорсткість визначається за відношенням [25]:

$$J_{rB} = (5.3 \div 6) * J_A = 5.7 * 129.9 = 740.4 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \right]$$

Сумарна жорсткість опори А:

$$\sum J_B = \sqrt{J_B^2 + J_{rB}^2} = \sqrt{129.9^2 + 740.4^2} = \sqrt{565066.17} = 751.7 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \right]$$

Розрахунок загального зміщення переднього кінця вала моторшпинделя:

Спочатку варто розрахувати моменти інерції поперечного перерізу вільоту валу мотор-шпинделя, а також момент інерції між опорами:

$$I = 0.05 * (d_{\text{зовн}}^4 - d_{\text{вн}}^4), [\text{кг} * \text{м}^2]$$

$$I_1 = 0.05 * (35^4 - 17^4) = 0.05 * 1417104 = 70855.2 = 0.7 * 10^5, [\text{кг} * \text{м}^2]$$

$$I_2 = 0.05 * (26^4 - 10^4) = 0.05 * 446976 = 22348.8 = 0.22 * 10^5, [\text{кг} * \text{м}^2]$$

Пружна деформація переднього кінця валу мотор-шпинделя, складові переміщення переднього кінця шпинделя (рис.3.4) [6]:

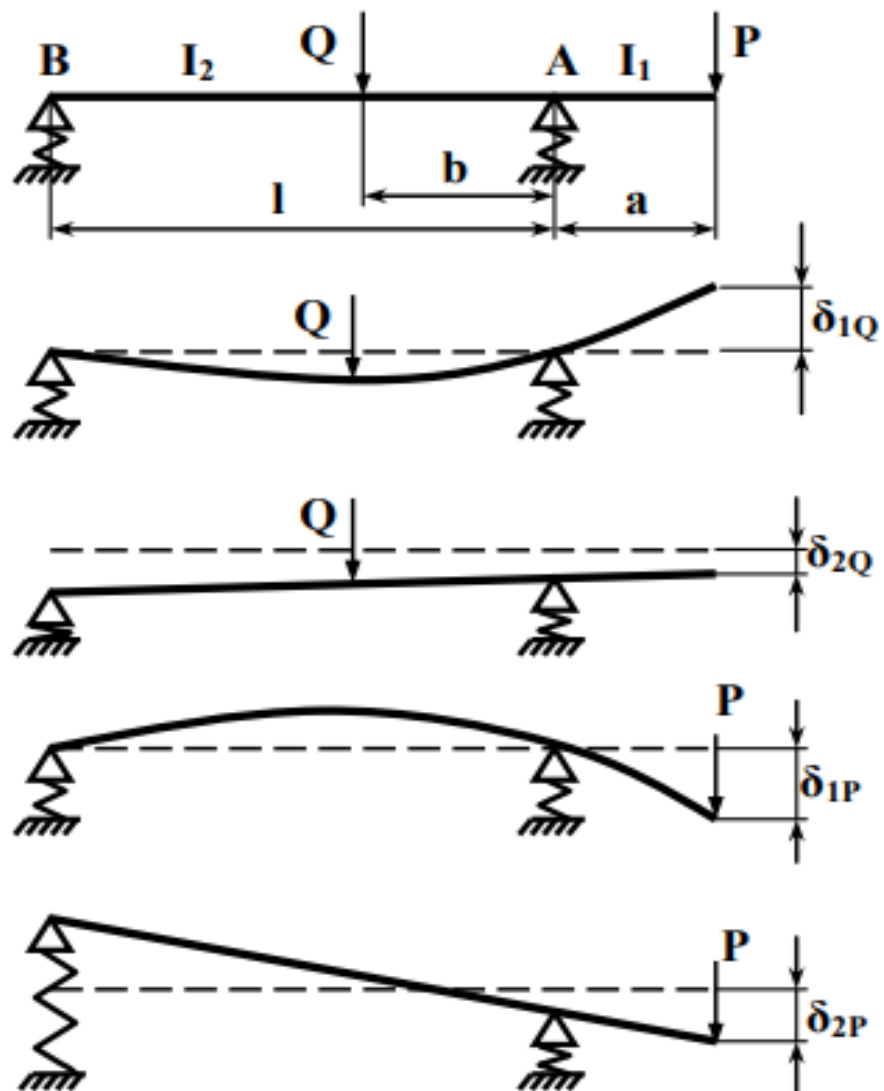


Рис.3.4. Складові переміщення переднього кінця мотор-шпинделя

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = F * \left[ \frac{a^3}{3 * E * I_1} + \frac{a^2 b}{3 * E * I_2} + \frac{J_A * a^2 + J_B * (a + b)^2}{J_A * J_B * b^2} \right], [\text{мм}]$$

де,  $E$  –модуль Юнга (пружності) матеріалу, з якого виготовлено вал мотор-шпинделя;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ

Арк.

65

$$\begin{aligned}
\delta &= \delta_1 + \delta_2 = F * \left[ \frac{a^3}{3 * E * I_1} + \frac{a^2 b}{3 * E * I_2} + \frac{J_A * a^2 + J_B * (a + b)^2}{J_A * J_B * b^2} \right] = \\
&= 293.83 * \\
&* \left[ \frac{33^3}{3 * 2 * 10^5 * 0.7 * 10^5} + \frac{33^2 * 139.5}{3 * 2 * 10^5 * 0.22 * 10^5} \right. \\
&+ \left. \frac{1928.2 * 33^2 + 751.7 * (33 + 139.5)^2}{1928.2 * 751.7 * 139.5^2} \right] \\
&= 293.83 \\
&* \left[ \frac{35937}{4.4 * 10^5} + \frac{151915.5}{1.26 * 10^5} + \frac{1928.2 * 33^2 + 751.7 * (33 + 139.5)^2}{1928.2 * 751.7 * 139.5^2} \right] \\
&= 293.83 * [0.081 + 1.2 + 3.1 * 10^{-6}] = 0.00128 \text{ [мкм]}
\end{aligned}$$

Визначимо кут повороту шпинделя в передній опорі:

$$\theta = \frac{F * a * b}{3 * E * I_2} = \frac{293.83 * 33 * 139.5}{3 * 2 * 10^5 * 0.22 * 10^5} = \frac{1352646.4}{132000 * 10^5} = 0.0001 \text{ [рад]}$$

### 3.5. Розрахунок динамічних характеристик мотор-шпинделя

Рівень коливань переднього кінця шпинделя визначають по амплітудно-фазових частотних характеристиках (АФЧХ) які доцільно розраховувати по завчасно підготованих програмах засобами обчислювальної техніки.

Приближений розрахунок власної частоти шпинделя,  $\text{с}^{-1}$  який не має великих зконцентрованих мас, можна за формулою:

$$\omega_c = \gamma \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_1}{m \cdot (1 + \lambda)^3 \cdot a^3}}, [\text{с}^{-1}]$$

де,  $m = 0.28 \text{ кг}$  – маса шпинделя;

$a = 139.5 \text{ мм}$  – відстань між опорами

$\lambda = l/a = 4.2$  – відносна відстань між опорами;

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\gamma = f(\lambda)$  – коефіцієнт, який для значення  $\lambda = 2.5 \div 3.5$  лежить в межах 2.3 - 2.4.

Підставимо значення в попередню формулу:

$$\begin{aligned}\omega_c &= \gamma \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_1}{m \cdot (1 + \lambda)^3 \cdot a^3}} = 3.5 \cdot \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^5 \cdot 333.2}{0.28 \cdot (1 + 4.2)^3 \cdot 33^3}} \\ &= 3.5 \cdot \sqrt{\frac{699.72 \cdot 10^5}{39.37 \cdot 35937}} = 3.5 \cdot \sqrt{\frac{699.72 \cdot 10^5}{14.1 \cdot 10^5}} = 3.5 \cdot \sqrt{49.62} \\ &= 3.5 \cdot 7.04 = 24.6[\text{с}^{-1}]\end{aligned}$$

Критична частота обертання шпинделя.

Обертові вали знаходяться під дією крутних і поперечних коливань. Найнебезпечніші останні. Вони можуть призвести до руйнування вала в умовах резонансу.

Резонанс настає при збігу частот вимушених сил і власних коливань вала. При цьому різко зростає амплітуда коливань, що може призвести до поломки вала.

Кутова частота вимушеної сили і частота обертання вала, при яких настає резонанс, називаються *критичними частотами*. Найбільше поширення дістали розрахунки основних частот коливань, тому що ці коливання є найнебезпечнішими.

Частоти власних коливань для валів із зосередженою масою:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{g}{y_{\text{ст}}}}, [\text{с}^{-1}]$$

де,  $g$  – прискорення вільного падіння -  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$y_{\text{ст}}$  – статичний прогин вала під вагою диска, мм.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$\omega_c = \sqrt{\frac{9.81}{0.0245}} = 20.01 \text{ [с}^{-1}\text{]}$$

Частота обертання, при якій настає резонанс, називається критичною:

$$n_{кр.р} = \frac{30 \cdot \omega_c}{\pi} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{y_{ст}}} = \frac{30}{3.14} \cdot \sqrt{\frac{9.81}{0.0245}} = 9.55 \cdot 20.01 = 191.17 \text{ [с}^{-1}\text{]}$$

Статичний прогин визначається за формулами опору матеріалів залежно від схеми навантаження вала [68]. Для лабораторної установки із двоопорним закріпленням вала й зосередженою масою розрахунковий статичний прогин визначається, мм:

$$y_{ст.р} = \frac{(G_{дк} + 0.5 \cdot G_{в}) \cdot a^2 \cdot (l - a)^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot l}, [\text{мм}]$$

де,  $G_{дк}$  – вага диска з кільцями;

$G_{в}$  – вага вала;

$a$  – відстань від лівої опори до диска;

$l$  – відстань між опорами, мм;

$E$  – модуль пружності матеріалу вала ( $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ );

$I$  – осьовий момент інерції перетину вала ( $I=700 \text{ мм}^4$ ).

$$\begin{aligned} y_{ст.р} &= \frac{(G_{дк} + 0.5 \cdot G_{в}) \cdot a^2 \cdot (l - a)^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot l} \\ &= \frac{(0.35 + 0.5 \cdot 0.28) \cdot 33^2 \cdot (139.5 - 33)^2}{3 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 700 \cdot 139.5} = \frac{533.61 \cdot 11342.25}{615.195 \cdot 10^5} \\ &= \frac{60.5 \cdot 10^5}{615.195 \cdot 10^5} = 0.098 \text{ [мм]} \end{aligned}$$

Для зменшення впливу резонансу для валів, що працюють у дорезонансній зоні жорсткість, а отже, і власні частоти коливань [68].

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.6. Особливості розрахунку жорсткості мотор-шпинделя в середовищі «Autodesk Inventor»

Для підтвердження достовірності розрахунків виконаємо їх ще раз, використовуючи розділ «Аналіз напружень» в середовищі «Autodesk Inventor».

Для цього за в розділі «Майстер проектування» з використанням параметра «Генератор компонентів вала» створимо модель вала мотор-шпинделя (рис. 3.5).

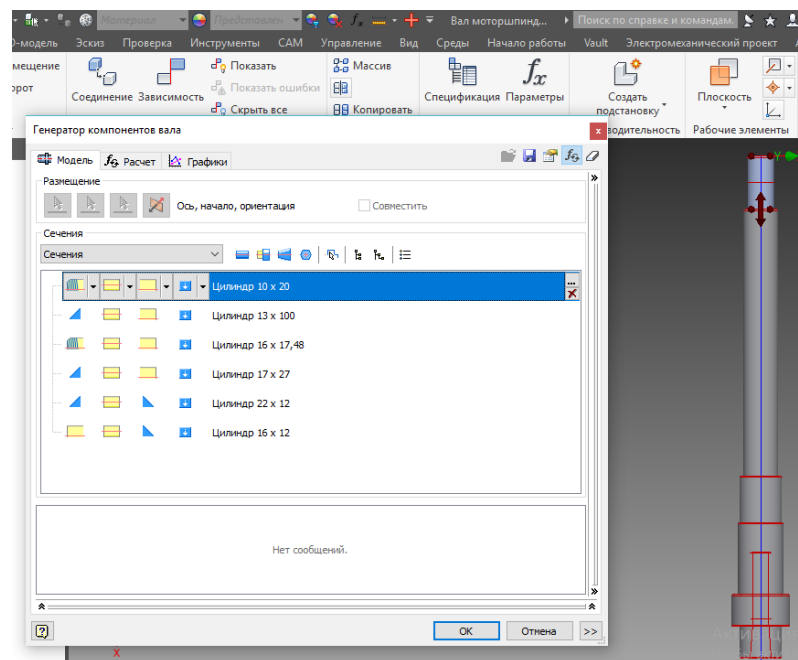


Рис.3.5. Модель вала мотор-шпинделя

Після чого додатково створимо всі елементи, які сприймають навантаження під час обробки і можуть суттєво вплинути на результат. В першу чергу це опори, елементи які їх фіксують (дистанційні кільця, гайки) і для нашого випадку ще варто включити також ротор моторшпинделя, який передає крутний момент на вал (рис. 3.6).



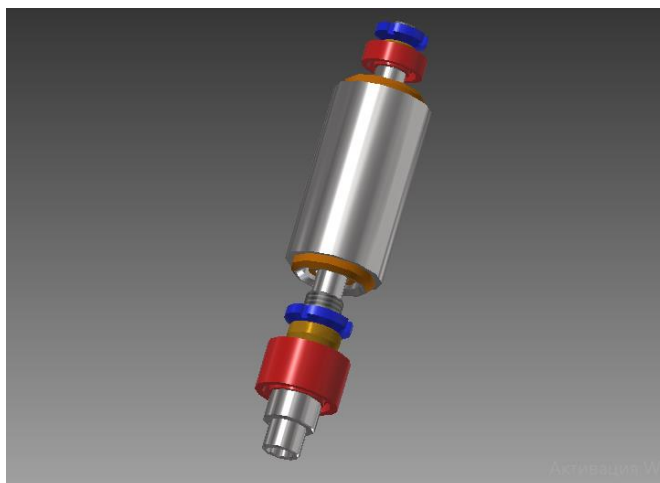


Рис. 3.6. Вал з усіма необхідними елементами для розрахунку

Для подальшого розрахунку необхідно прикласти сили, які діють на мотор-шпиндель під час процесу різання та крутні моменти. Одни від електродвигуна, інший – протилежний – від сили різання (рис. 3.7).

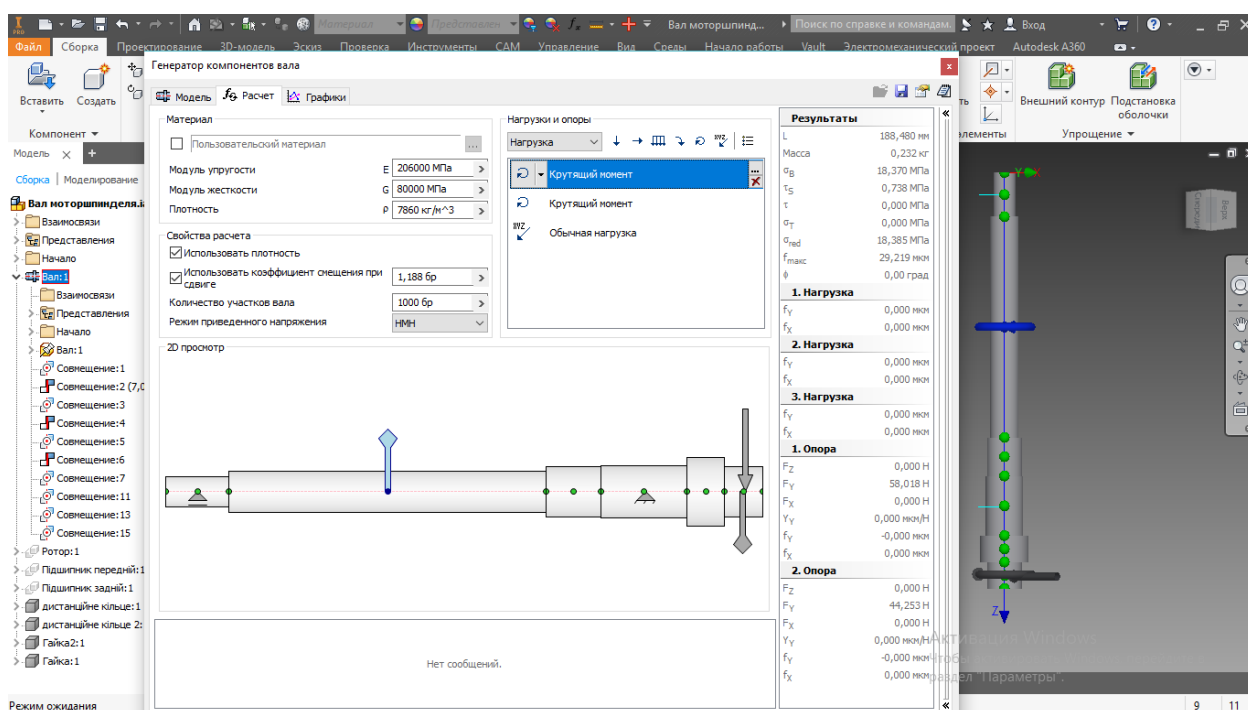


Рис.3.7. Прикладення сил різання та моментів до вала мотор-шпинделя

Після задання всіх необхідних параметрів, встановлюємо опори, заземлення, налаштовуємо контакти між деталями, налаштовуємо параметри сітки і робимо моделювання (рис.3.8)

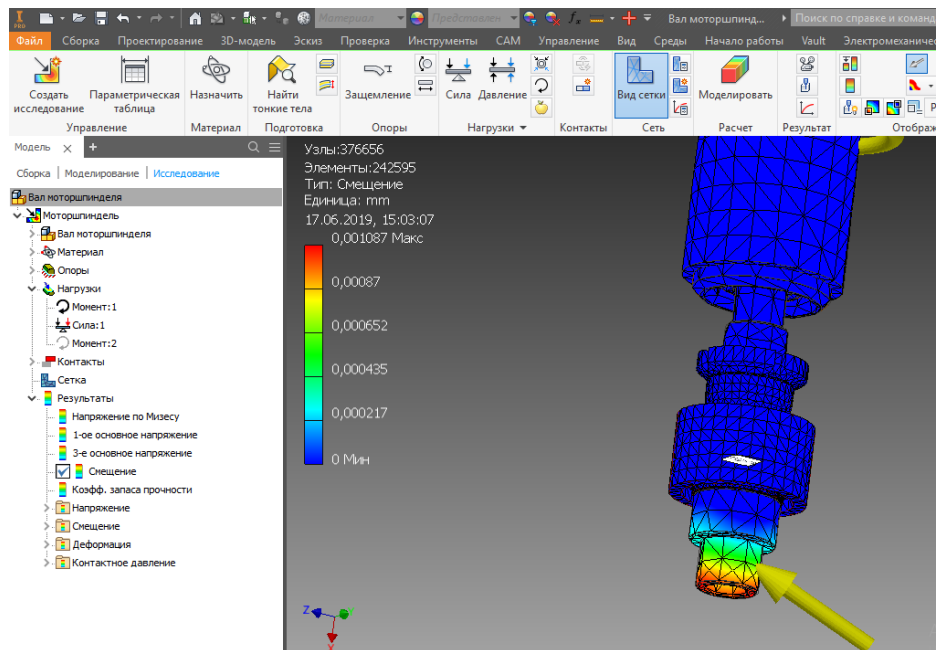


Рис.3.8. Результаты розрахунку в розділі аналіз напружень

Після розрахунку «Autodesk Inventor» генерує результати, подібні до результатів, що ми отримали після ручного обчислення.

Максимальне зміщення кінця шпинделя, для обраних раніше режимів обробки, складає 1мкм. За результатами ручного розрахунку ми отримали зміщення в 1.3мкм. Неточність склала 0.3 мкм, що є допустимо.

Отже, ми розраховували мотор-шпиндель на жорсткість двома способами і встановили, що зміщення є незначними і суттєво не вплинуть на точність обробки. Тому даний моторшпиндель повністю підходить для експлуатації на нашому НФВ.

### 3.7. Розрахунок передачі гвинт-гайка ковзання

Головною особливістю цього виду тягових пристроїв є наявність змішаного тертя і зв'язаний з ним знос. Перевагою передачі гвинт-гайка ковзання (рис.3.5) являється самогальмування, що сприяє надійній фіксації рухомого вузла навіть при його вертикальному переміщенні. Зносостійкість пари гвинт-гайка при змішаному терті забезпечують правильним підбором

матеріалів гвинта та гайки, а також обґрунтованим вибором основних конструкційних параметрів [33].

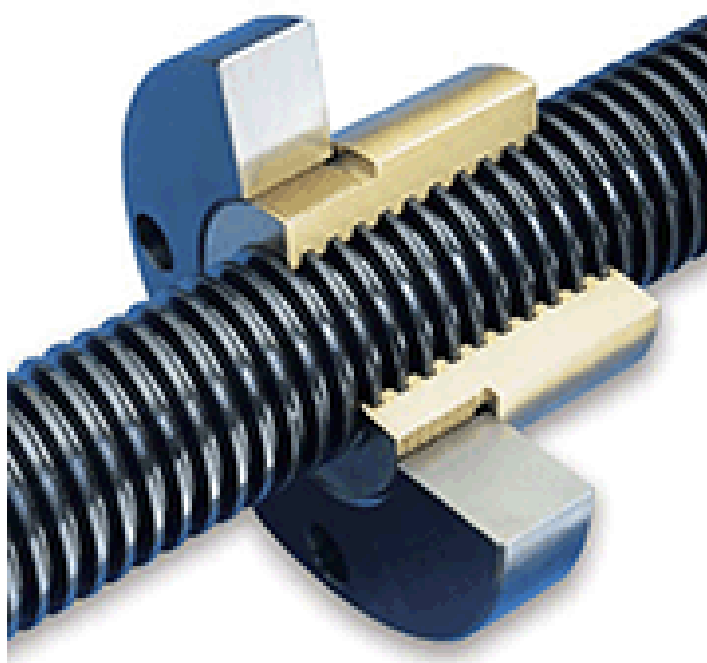


Рис. 3.5. Передача гвинт-гайка ковзання

Матеріал ходового гвинта повинен, за рахунок високої твердості, забезпечувати зносостійкість і, крім того, гарантувати незначні деформації в процесі механічної обробки та експлуатації. Оптимальним матеріалом ходового гвинта є азотовані сталі (40ХФА, 18ХГТ), які після азотування на глибину 0.5мм забезпечують відмінну зносостійкість і стабільність результатів [33].

Профіль різьби з міркувань найменшого тертя потрібно обирати прямокутний, однак він не технологічний і використовується рідко. Найбільш поширений трапецеїдальний профіль різьби з кутом 30 градусів в верстатах з нормальним класом точності, а в прицевій зоні кут може знижуватися до 10-20 градусів. Адже зі зменшенням кута нахилу профіля слабшає вплив радіального биття на точність переміщення гайки.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Розрахунок передач гвинт-гайка ковзання передбачає обмеження допустимих тисків на робочих гранях різьби з міркувань зносостійкості [33].

Розрахунок середнього тиску:

$$p = \frac{Q}{\pi * d * H * \frac{Lz}{t}}, \text{МПа}$$

де, Q – тягова сила;

d – середній діаметр різьби;

H – робоча висота профіля різьби;

L – довжина гайки;

z – число заходів різьби

$$p = \frac{Q}{\pi * d * H * \frac{L * z}{t}} = \frac{500}{3.14 * 11 * 1.6 * \frac{40 * 1}{4}} = 0.9 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Маючи на увазі, що для стандартних трапецеїдальних різьб  $H = \frac{t}{2 * z}$

і використовуючи позначення  $\lambda = \frac{L}{d}$ , то попередню формулу можна перетворити і вивести приблизний діаметр гвинта, в нашому випадку, так як діаметр відомий, це використовується виключно для перевірки правильності розрахунків [33].

$$\lambda = \frac{L}{d} = \frac{40}{11} = 3.63 \text{ [мм]}$$

$$d = 0.8 * \sqrt{\frac{Q}{\lambda * p}} = 0.8 * \sqrt{\frac{500}{3.63 * 0.9}} = 0.8 * 13.8 = 11 \text{ [мм]}$$

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Допустиме значення середніх тисків для передач гвинт-гайка ковзання не повинно перевищувати 30-120 [кгс/см<sup>2</sup>] [33].

Знаючи, що 1 [кгс/см<sup>2</sup>] приблизно дорівнює 0.098 [Н/мм<sup>2</sup>], дізнаємося значення середнього тиску в [кгс/см<sup>2</sup>] для нашого випадку:

$$p = \frac{0.88}{0.098} = 8.97 \text{ [кгс/см}^2\text{]}$$

Отриманий результат не перевищує допустимі значення, тому можна вважати, що тиск розрахований вірно.

Жорсткість ходового гвинта, зумовлена розтягненням чи стисненням його на робочій довжині між гайкою і підп'ятником, суттєво впливає на жорсткість всього тягового пристрою (рис.3.6 ) і повинна перевірятися розрахунком [33].

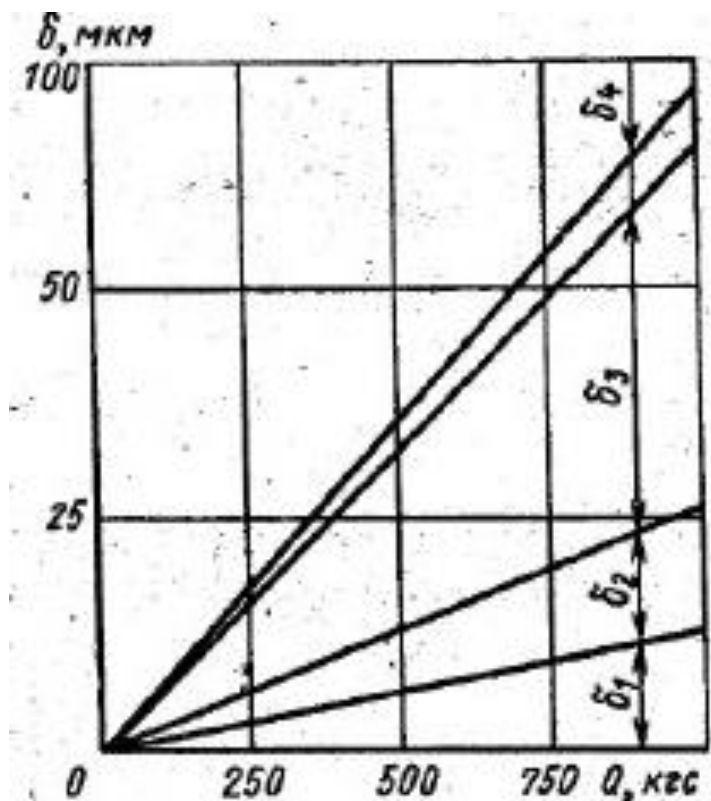


Рис.3.6 Баланс жорсткості передачі гвинт-гайка

$\delta_1$  – деформація корпусу підп'ятника;

$\delta_2$  – деформація підп'ятника;

$\delta_3$  – осьова деформація гвинта;

$\delta_3$  – деформація різьбового з'єднання;

Спотворення кроку різьби різьби при стисненні – розтягу гвинта визначається за формулою:

$$\Delta t = \pm \frac{Q * t}{E * F}, [\text{мм}]$$

де,  $E$  – модуль Юнга (пружності) матеріалу гвинта;

$F$  – площа поперечного перетину:

$$F = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{3.14 * 121}{4} = 94.98 [\text{мм}^2]$$

$$\Delta t = \pm \frac{Q * t}{E * F} = \frac{500 * 4}{2.1 * 10^5 * 94.98 * 10^{-3}} = 0.099 [\text{мм}]$$

Спотворення кроку різьби не повинно перевищувати 1/3 від допуску на крок.

Жорсткість ходового гвинта визначаємо за наступною формулою:

$$J_B = 160 \cdot \frac{d^2}{L_B}$$

де,  $d$  – середній діаметр ходового гвинта;

$L_B$  – робоча довжина ходового гвинта;

$$J_B = 160 \cdot \frac{d^2}{L_B} = 160 \cdot \frac{121}{250} = 77.44 [\text{кгс/мкм}]$$

На рисунку 3.7 показано співвідношення жорсткостей гвинта  $J_B$  і різьбового з'єднання  $J_P$ .

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

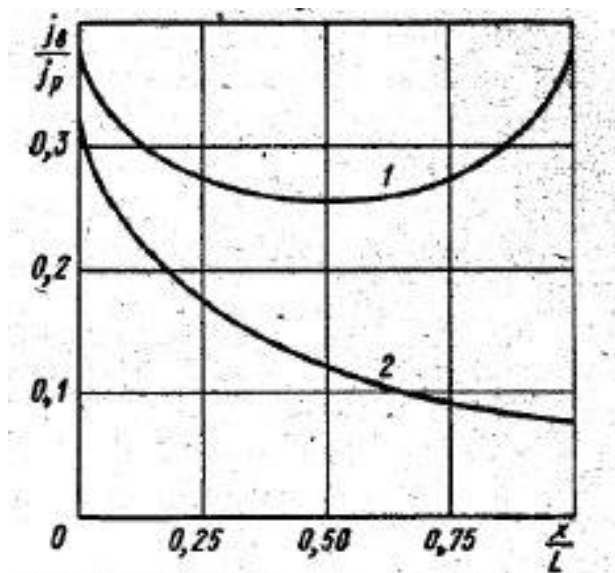


Рис 3.7 співвідношення жорсткостей гвинта і різьбового з'єднання

- 1- крива при двох підп'ятниках біля кожної опори;
- 2- крива при двох підп'ятниках тільки біля однієї опори;

Ходові гвинти що працюють під великим навантаженням доцільно розраховувати на міцність за напруженнями:

$$\sigma_0 = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot t^2} = \sqrt{\left(\frac{Q}{F}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{M_k}{W_p}\right)^2}, [MPa]$$

де,  $M_k$  – крутний момент, прикладений до гвинта;

$W_p$  – момент опору перерізу гвинта;

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{3.14 \cdot 1331}{16} = 261.2 \text{ [см}^3\text{]}$$

Тепер знайдемо допустиме напруження:

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot t^2} = \sqrt{\left(\frac{Q}{F}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{M_k}{W_p}\right)^2} = \sqrt{25.5 + 4 \cdot 10623.4} = \sqrt{42519.2} \\ &= 206.2 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

Довгі ходові гвинти, в яких довжина робочої частини перевищує діаметр в 7-10 раз, працюючи на стиснення, варто перевіряти на стійкість. Критичне значення тягової сили знайдемо за формулою:

$$Q_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{(\vartheta \cdot L_B)^2}, [H]$$

де,  $J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 718.3$  [кгс/мкм] – осьовий момент інерції перетину гвинта;

$\vartheta \cdot L_B$  – зведена довжина, що враховує характер закріплення кінців гвинта (при шарнірному закріпленні  $\vartheta = 1$ )

$$Q_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{(\vartheta \cdot L_B)^2} = \frac{3.14^2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 718.3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 250} = 5949 [H]$$

Втрати на тертя в передачі гвинт-гайка ковзання визначають головним чином тертя на бокових робочих поверхнях і пов'язані з ККД передачі в виді:

$$\eta = \frac{tg \lambda}{tg (\lambda + \rho)}$$

де,  $\lambda$  – кут підйому різьби по середньому діаметру;

$\rho$  – кут тертя (0.05÷0.2)

$$\eta = \frac{tg \lambda}{tg (\lambda + \rho)} = \frac{tg 15^\circ}{tg 15^\circ \cdot 0.1} = \frac{0.26}{0.26 + 0.1} = 0.72$$

Довговічність передач гвинт-гайка ковзання зазвичай в першу чергу залежить від ретельності прибирання та захисту від забруднення. Важливі ходові гвинти обладнують спеціальними захисними телескопічними пристроями чи гармошками [33].

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО СТВОРЕННЮ ЛАБОРАТОРІЇ МАЛОГАБАРИТНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 4.1. Обґрунтування створення лабораторії

. Доцільність її створення беззаперечна, адже це перший крок до підготовки висококваліфікованих спеціалістів і створення країни, яка зможе конкурувати з сьогоdnішніми гігантами промисловості, такими як Німеччина, Італія, Японія, США та іншими. Така лабораторія буде однією з небагатьох, якщо взагалі не єдиною такого рівня в Україні.

Кожний студент повинен оволодіти практичними навичками використання комп'ютерів і сучасних програмних продуктів при закріпленні лекційного матеріалу по дисциплінах «Інформатика», «Верстати з ЧПК», «Математичне моделювання верстатів та систем», «Промислові роботи і робототехнічні комплекси», «Технологічне обладнання з паралельною кінематикою». Все це можна здійснити в одній багатофункціональній лабораторії, завантажуючи її згідно розкладу в різних семестрах [19].

### 4.2. План лабораторії і робоче місце

Правильне планування лабораторії також відіграє велике значення в навчальному процесі студентів. Необхідність продумати план таким чином, щоб студентам було зручно працювати не заважати один одному і не створювати тисняву та метушню біля обладнання.

Було запропоновано наступний варіант розміщення робочих місць та столів для отримання теоретичної інформації (рис. 4.1).

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

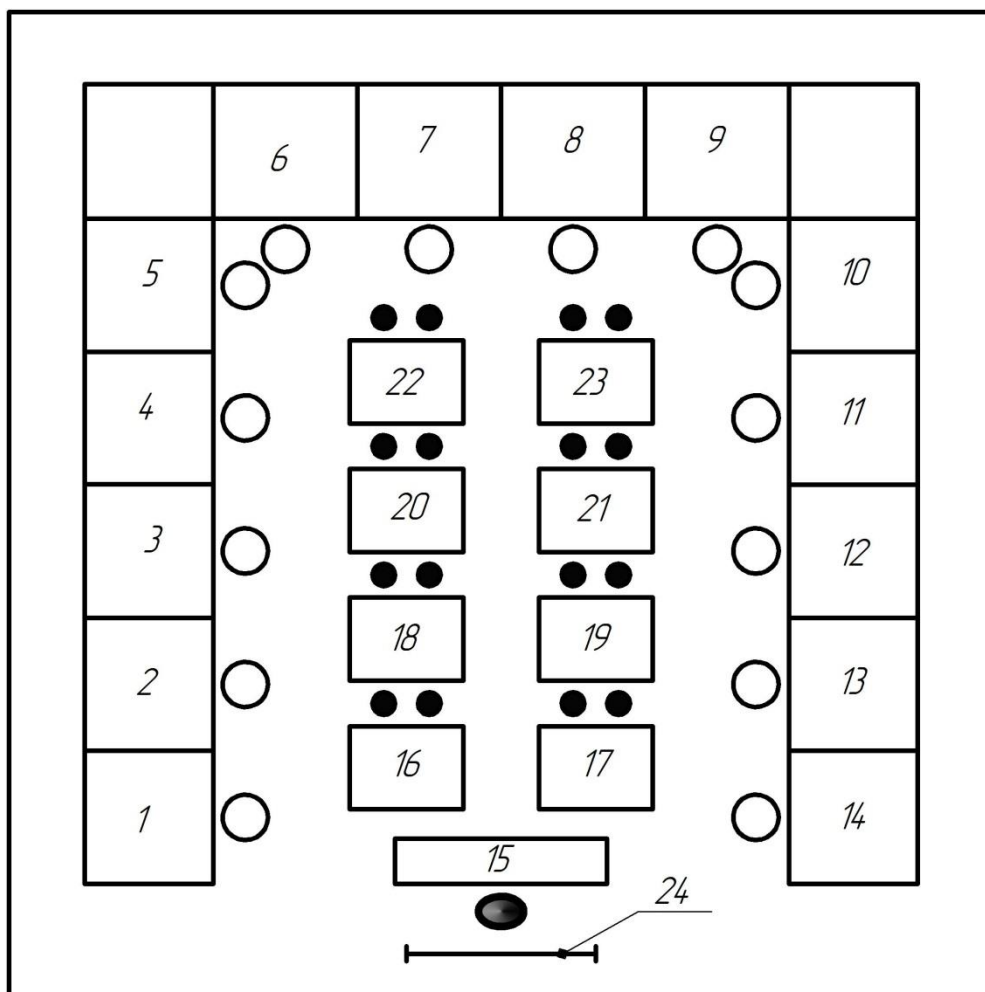


Рис. 4.1. План навчальної аудиторії-лабораторії

1-14 - робочі місця з верстатами;

15 – місце викладача;

16-23 – столи для отримання та нотування теоретичної інформації;

24 – електронний дисплей/дошка;

Розроблений варіант робочого навчального місця (рис. 4.2 а, б), з верстатом пірамідального компонування і механізмом паралельної структури (МПС). Верстат 1 встановлюється на робочому столі 2, який містить в собі системний блок комп'ютера 3 і контролер 4 для керування верстатом. Також на столі розміщений монітор 5 і органи вводу інформації 6 (клавіатура і мишка). Компонування робочого місця розроблено таким чином, щоб оператор, який працює з верстатом, мав вільний доступ до верстату та органів його керування і можливість безперешкодного обслуговування і

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ

Арк.

79

налаштування верстату, при цьому кути  $\beta$  і  $\gamma$  відображають зону доступу оператора до обладнання [19].

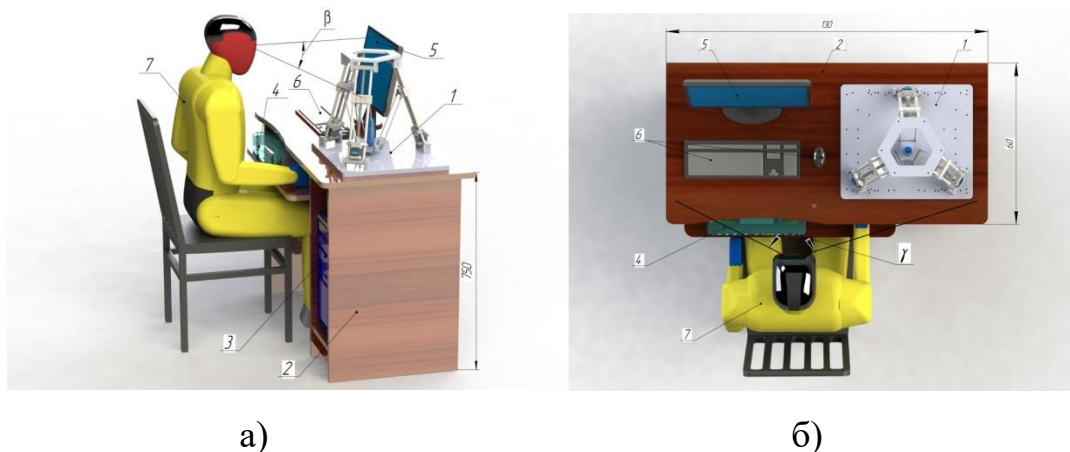
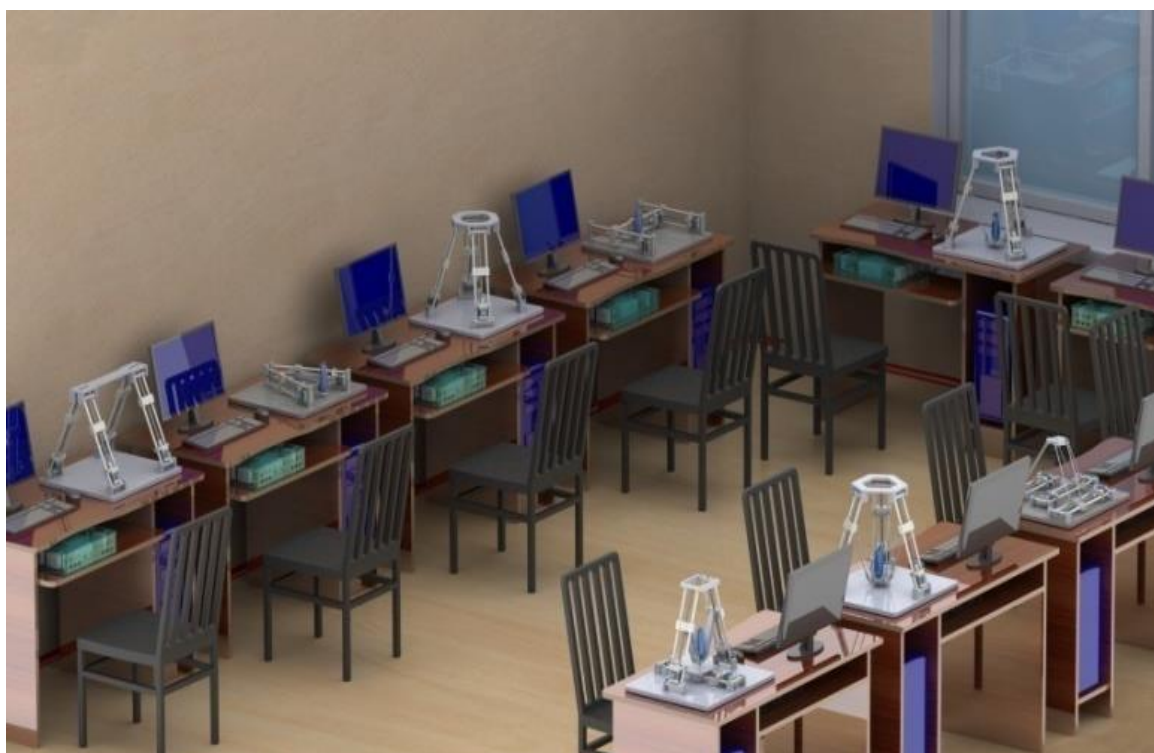
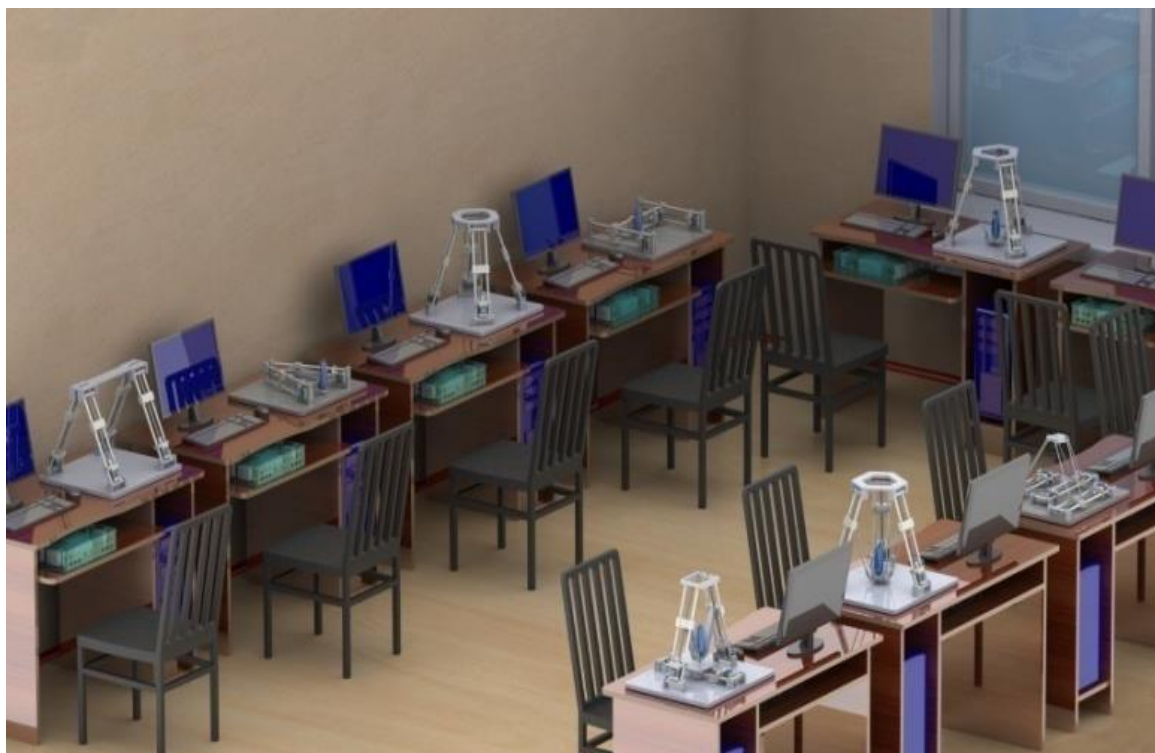


Рис. 4.2. Приклад робочого місця в навчальній лабораторії

Приклад навчальної лабораторії представлений на рис. 4.3, а по аналогії з обладнанням кабінетом інноватики №4 (рис.4.3, б) в корпусі №6 НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», де раніше проводилися заняття з дозволу керівництва університету [19].



а)



б)

Рис. 4.3. Приклади навчальних приміщень з малогабаритними верстатами і комп'ютерним керуванням: а – 3D-модель навчального класу з настільними верстатами; б – лабораторія кабінету інноватики №4 (НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», корп.№6) [19].

#### 4.3. Перелік обладнання, модулів і комплектуючих

Лабораторія розроблювалася під 14 робочих місць. Одне місце для викладача. Отже в першу чергу потрібно закупити 15 комп'ютерів. Беручи до уваги те, що модернізований верстат працює в трьох координатах можна закупити шість шестикоординатних контролерів і розмістити кожен з них між двома робочими місцями, так щоб можна було безперешкодно підключити одночасно два верстата [19].

Щодо основного обладнання лабораторії – НФВ. Планується встановити 2 верстата з жорсткою несучою системою (НС) – каркасом. Один фрезерний, інший – свердлильний.

1 3Д-принтер на жорсткій НС

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

1 токарний верстат (ТВ) з ЧПК традиційної компоновки (або фрезерний (ФВ) портального типу)

1 3Д-принтер з МПС – тригранна піраміда – триглайд (рис.4.4)

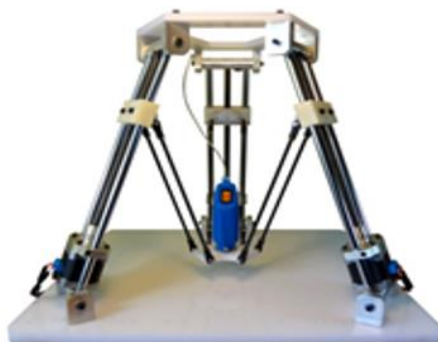


Рис. 4.4. Триглайд

1 3Д-принтер з МПС – тригранна призма (рис.4.5)

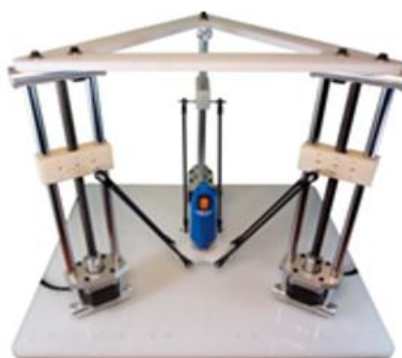


Рис. 4.5. Тригранна призма

1 контрольно-вимірювальна машина (КВМ) п'ятикоординатна з МПС

2 промислових робота (ПР) з МПС (трипод і триглайд)

3 свердлильно-фрезерних верстата (СФВ). Два з пірамідальним каркасом (3-х і 4-х гранні). Один з клиноподібним каркасом.

Розроблена конструкторська документація основного універсального модуля лінійного переміщення (рис. 4.6 а), який одночасно є несучою системою (НС) для малогабаритних верстатів каркасної будови, та основного універсального модуля штанги змінно-керованої довжини (рис. 4.6 б), де передбачається використання шарнірних з'єднань, які кріпляться до рухомої і нерухомої частин. Основа виготовленого модуля (рис.4.6 а) виконана у вигляді двох циліндричних напрямних, між якими на одній вісі розміщені кроковий двигун, муфта, ходовий гвинт і каретка з можливістю

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

повздовжнього руху по цим напрямним, а система кріплення модуля виконана у вигляді двох обертових вузлів, які розміщені по обидва кінці напрямних з можливістю обертання на  $180^\circ$  і кріплення у будь-якій площині під будь-яким кутом [19]. Виконання напрямних циліндричної форми зменшує їх металоємність і складність конструкції, а конструкція системи кріплення у вигляді двох обертових вузлів розширює функціональні можливості модуля. Підшипники розміщені в корпусах, які також прикріплені до напрямних. Каретка виконана цілком з капролону, що має низький коефіцієнт тертя і містить з чотирьох сторін різьбові отвори для кріплення. За допомогою даного модуля можна в короткий термін зібрати необхідну каркасну конструкцію верстата потрібних розмірів, що матиме необхідну точність і жорсткість.

При використанні різних приводів подач і напрямних для верстатів з МПС, оснащених штангами постійної або змінної довжини, при обмеженій кількості модулів (рис. 4.7), можна створити верстати різного призначення з різною кількістю керованих координат (рис. 4.8) [19].



Рис. 4.6. Універсальні модулі лінійного переміщення для верстатів каркасних компонувань: а – незмінної довжини з рухомою кареткою (дослідний зразок); б – змінно-керованої довжини (3D-модель)



		
Каркас модуля лінійного переміщення	Спеціально виготовлені деталі модулів	Напрямні, ходові гвинти, муфти для модулів
		
Штанги постійної довжини	Каркасна несуча система	Прямокутна основа і траверси
		
Шарніри	Мотор-шпиндель (бормашинка)	Контролер системи керування

Рис. 4.7. Основні виготовлені модулі для малогабаритних промислових роботів, 3D-принтерів і верстатів та їх складові деталі

#### 4.4. Приблизна порівняльна оцінка вартості НФВ до модернізації і після модернізації з рухомою траверсою

Для порівняння загальної вартості верстата до модернізації і після, складемо дві окремі таблиці з деталями, якими комплектуються верстати.

Так як ми працювали одночасно над двома варіантами модернізації, то для зрівняння обиремо дорожчу версію верстата – з рухомою траверсою.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Вартість НФВ до модернізації:

Назва	Вартість одиниці (грн)	Вартість одиниці (грн)	Загальна вартість (грн)
Алюмінієва плита 485x485x17	450	1	450
Стійка	250	4	1000
Опора	60	4	240
ШВП	900	4	3600
Напрямні	650	6	3800
Боковини	180	2	360
Кронштейн	140	2	280
Кроковий двигун	310	4	1240
Мотор-шпиндель	2950	1	2950
Індикатор кінцевого положення	180	4	720
<b>Приблизна загальна вартість: 14'640 грн.</b>			

Вартість НВФ після модернізації:

Назва	Вартість одиниці (грн)	Вартість одиниці (грн)	Загальна вартість (грн)
Алюмінієва плита 485x485x17	450	1	450
Стійка	210	4	840
Віброопора	345	4	1380
Кронштейн	120	2	240
Лінійний двигун «HIWIN LMTA-4»	3200	4	12800
Лінійний двигун «HIWIN LMSA-11»	4950	2	9900
Мотор-шпиндель	5850	1	5850
<b>Приблизна загальна вартість: 31'460 грн.</b>			



#### 4.5. Методика виконання лабораторної роботи на НФВ

Серед різноманітних форм організації навчальної роботи у вищих навчальних закладах України важливе місце належить лабораторним роботам. Адже, саме через них здійснюється дотримання одного з провідних принципів дидактики – принципу зв'язку теорії з практикою. Лабораторна робота – це форма навчального заняття, при якому слухач вищого закладу освіти під керівництвом викладача особисто проводить натурні чи імітаційні експерименти або досліди з метою практичного підтвердження окремих теоретичних положень даної навчальної дисципліни, набуває практичних навичок роботи з лабораторним устаткуванням, обладнанням, обчислювальною технікою, відповідною апаратурою, оволодіває методикою експериментальних досліджень у конкретній предметній галузі [37].

Лабораторні роботи можуть бути виконанні одним із методів: *репродуктивним, частково-пошуковим (евристичним) або дослідницьким.*

*Репродуктивний метод* виконання лабораторної роботи полягає в тому, що в даному випадку не передбачається самостійне здобуття нових знань, а лише підтверджуються вже відомі факти й істини або ілюструються теоретично встановлені твердження [67].

Виконання лабораторних робіт репродуктивним методом передбачає проведення актуалізації знань учнів, повторення способу вимірювання необхідних фізичних величин, з'ясування принципової схеми установки. Після цього учням пропонується зібрати схему установки, провести вимірювання, обробити результати дослідження та зробити відповідні висновки.

Даний метод виконання лабораторних робіт є найпоширенішим у практиці навчання фізики, але він має суттєві недоліки: він розрахований на відтворюючу діяльність учнів та вимагає від них дій за зразком.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

*Частково-пошуковий метод* полягає в тому, що вчитель, систематично даючи послідовні вказівки, керує практичними діями учнів, а потім своїми запитаннями спрямовує їх розумову діяльність на аналіз отриманих із дослідів результатів і на формулювання нового, раніше невідомого їм закону чи факту. Цей метод дозволяє органічно включати у виклад нового матеріалу лабораторний експеримент як джерело нових знань, здобутих учнем у результаті своїх спостережень на самостійно зібраній установці [67].

Частково-пошуковим методом доцільно користуватись у тих випадках, коли всі дії, які повинні виконати учні, вже засвоєні або виконуються легко. Даний метод може використовуватись у роботах, присвячених або спостереженню явищ, або встановленню функціональних залежностей між певними фізичними величинами [67].

При *дослідницькому методі* виконання учні отримують тільки завдання, а шляхи його виконання вони відшуковують самі і самостійно проводять усі етапи дослідження - збирають установку, проводять вимірювання, обробляють результати та ін.

Дослідницький метод у чистому вигляді може бути використаний лише в індивідуальній роботі з сильними учнями. Але елементам цього методу необхідно навчати всіх учнів. Для цього напередодні виконання лабораторної роботи доцільно запропонувати учням продумати можливі способи непрямого вимірювання якої-небудь величини, самим вказати необхідні прилади та способи проведення вимірювань. Пропозиції учнів обговорюються в класі та виробляється єдиний підхід до виконання роботи. Вся подальша робота виконується учнями повністю самостійно. Роль учителя полягає лише в контролі за діями учнів [67].

Методика виконання роботи на НФВ не буде суттєво відрізнятися від типових. Потрібно враховувати високу вартість обладнання і перш ніж

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допустити студента до практичного виконання потрібно переконатися в тому, що він розуміє принцип роботи верстата, вміє керувати всіма необхідними функція, та знає техніку безпеки. Та навіть, якщо сдунт володіє всіма перерахованими вище навичками, не можна без дозволу викладача виконувати заключний етап – запуск програми. Спочатку викладач особисто має переконатися, що все налаштовано правильно і верстат повністю готовий до роботи.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Дипломний проект на тему «МОДЕРНІЗАЦІЯ МАЛОГАБАРИТНОГО НАСТІЛЬНОГО ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА ПОРТАЛЬНОГО КОМПОНУВАННЯ З ЧИСЛОВ-ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯ» виконаний у повному обсязі. Всі поставлені цілі проекту були досягнуті, працездатність створеної конструкції НФВ підтверджено розрахунками.

Проведена робота над модернізацією є надзвичайно актуальною, адже в результаті вдалося не лише створити два варіанта НФВ, а й здобути важливі практичні навички по конструюванню верстатів, які однозначно знадоблять для розвитку верстатобудівної промисловості в Україні.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрегатно-модульне технологічне обладнання:/Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Кириченко А.М. та ін./Під ред. Ю.М.Кузнецова. Навч. Посібник для ВНЗ у 3-х част. – Кіровоград, 2003. – Частина III. Агрегатно-модульне технологічне обладнання нового покоління, його оснащення та інструментальне забезпечення. – 507 с.
2. Алексеева Н.И. Опоры быстровращающихся шпинделів в станкостроении/ Н. И. Алексеева, В.Д. Захаров, А.П. Зобнин и др. – М.: НИПМАШ, - 51с.
3. Амиров Ю.Д. Стандартизация и проектирования технических систем. – М.: Изд-во Стандартов, 1985. – 312 с.
4. Блюмберг В.А., Глуценко В.Ф. Какое решение лучше?: Метод расстановки приоритетов. – Л.:Лениздат, 1982. – 160с.
5. Босинзон М.А. Электроприводы на базе линейных двигателей для станков на выставке 12.ЕМО /М.А.Босинзон, Б.И. Черпаков // СТИН.-1998.-№11.-С.25-30.
6. Брендлейн И. Свойства шпинделей станков, установленных на подшипниках качения//Мат. междунар. выст. «Подшипники\*87». – Базель: ОСТ КОНТАКТ РЮС, 1987. – С.52-60.
7. Бушуев В.В. Основы конструирования станков. Учебник / В.В.Бушуев. – М.: Станкин, 1992. – 520 с.
8. Васильев А.Л. Модульный принцип формирования техники./ А.Л. Васильев – М.:Изд-во Стандартов, 1989. – 240с.
9. Верба І. І., Даниленко О.В., Статичний розрахунок шпиндельних вузлів на опорах кочення методичні вказівки до виконання розрахунків у дипломних проектах та курсових проектах з дисциплін “Металорізальні верстати”, “Металорізальні верстати та обладнання автоматизованого виробництва”, “Конструювання обладнання металообробних цехів”, 2011р.

					<b>МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

10. Воронкин В.А., Евланов В.В., Горбунов А.Г. Эксплуатационные отказы подшипниковых узлов электрических двигателей// Станки и инструмент. – 1993. - №5. – С.13-16.
11. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков (Основы компонетики): Монография/ Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208с.
12. Данильченко Ю.М. Узагальнена пружно-деформаційна модель шпиндельного вузла// Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямком «Інженерна механіка»). – 2002. – Вип.11. – С.126-131.
13. Данильченко Ю.М. Прецизійні шпиндельні вузли на опорах кочення: (Теорія і практика)/ Ю.М. Данильченко, Ю.М. Кузнецов; Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – Т.;К.: Економічна думка, 2003. – 342 с.
14. Детали и механизмы металлорежущих станков: Справочник/ Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1972. – Т2. – 519с.
15. Компьютерный обучающий лабораторный стенд «Станок с ЧПУ». Учеб. Пособие / ЧГТУ, каф. Оборудование и инструмент компьютериз. пр-ва; П.Г. Мазеин, А.В. Кастерин, Е.А. Рыжов, С.В. Шереметьев. – Челябинск: Изд-ва ЧГТУ, 1996. – 4.1. – 1996. – 135 с.
16. Кузнецов Ю.М. Сучасний стан, перспективи розвитку і виробництва металорізальних верстатів в Україні // Вісті АІНУ, №1 (44), 2011. – с.3-8.
17. Кузнецов Ю.М., Степаненко О.О. Настільні фрезерні верстати, керовані комп'ютером // Технологічні комплекси, №1, Луцьк, 2010.- С.18-24.
18. Кузнецов Ю.Н., Степаненко А.А., Олейник Е.А. Модульный подход в проектировании настольных фрезерных станков. Сборник научных трудов МНТК №84, Польша, 2012.-С.12-16.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

19. Кузнецов Ю.Н. Учебно-исследовательская лаборатория малогабаритных станков с компьютерным управлением на модульном принципе //Технічні науки та технології, №1(3), Чернігів. 2016.- С.15-24.
20. Кузнецов Ю.Н. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: Монография / под ред. Кузнецова Ю.Н./ Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби– Габрово: Университетское издательство «Васил Априлов», 2010. – 724 с.
21. Кузнецов Ю.Н. Морфологический синтез станков и их механизмов: Монография / А.Г. Хамуйела Жоаким, Т.О. Хамуйела / Под ред. Кузнецова Ю.Н. – К.: ООО «Гнозис», 2012г. – 416с.
22. Кузнецов Ю.М., Хамуйела Ж.А. Герра, Олійник К.О. Жорсткісні характеристики самодіючого мотор-шпинделя для верстатів з ЧПК. “Машиностроение и техносфера XXI века”//Сборник трудов XX международной научно-технической конференции в г. Севастополь 16-21 сентября 2013 г. В 3-х Томах. – Донецк: ДонНТУ, 2013.Т2. – с.44 – 52.
23. Кузнецов Ю.М. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури/ Ю.М.Кузнецов, Д.А. Дмитрієв, Г.Е. Диневич. Під ред. Ю.М. Кузнецова.-Херсон: ПП Вишемирский В.С., 2009 - 456 с.
24. Кузнецов Ю. М. Жорсткісні характеристики самодіючого мотор-шпинделя для верстатів з ЧПК/ Ю.М. Кузнецов, Ж.А. Герра Хамуйела, К.О. Олійник
25. Левина З.М. Контактная жесткость машин: Монография/ З.М. Левина, Д.Н. Решетов. – М.:Машиностроение, 1971. – 246 с.
26. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных втузов./ Под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение. – 1985. – 575 с.

27. Металлорежущие станки и автоматы: Учебник для машиностроительных вузов/ Под ред. А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1981. – 479 с.
28. Орликов М.Л. Динамика станков: Учебное пособие для вузов /М.Л. Орликов. – К.: Вища школа, 1980. – 256 с.
29. Орликов М.Л. Проектирование механизмов станков – автоматов: Монография/ М.Л. Орликов. – М.: Машиностроение, 1968. – 248с.
30. Подураев Ю. В. Мехатроника. Основы, методы, применение / Ю.В. Подураев // Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2006 – 256 с.
31. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т.2. Расчёт и конструирование узлов и элементов станков/ Под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1995. – Ч.1 – 371 с., Ч.2 – 320 с.
32. Пуш А.В. Шпиндельные узлы: Качество и надежность. Монография/ А.В. Пуш – М.: Машиностроение, 1992 – 288 с.
33. Пуш В.Э. Конструирование металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1977.-319 с.
34. Самойленко О.В. Вдосконалення токарних верстатів для обробки полігональних поверхонь методом кінематичного налагодження. Дис...канд. техн. наук. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 195с.
35. Сопротивление материалов./ Под общ. ред. Г.С. Писаренко. – К.:Вища школа. – 1971. – 672с.
36. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / [сост. Абрамов Ю. А., Андреев В. Н., Горбунов Б. И. и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — Т. 2. — 1985. — 496 с.

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93



37. Суркін В.І. Методичні вказівки до вивчення методики викладання технічних дисциплін у сільгосптехнікумі та профтехучилищах / В.І.Суркін, Б.Ф. Бесараб. - Челябінськ, 1990. – 24 с.
38. Технологічне оснащення для високоефективної обробки на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнєцов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин. – Київ-Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.
39. Федориненко Д.Ю. Шпиндельні гідростатичні підшипники: монографія /Д.Ю. Федориненко, С.П. Сапон-Чернігів: ЧНТУ, 2016.- 404 с.
40. Фигатнер А.М. Тенденции развития конструкций шпиндельных узлов с подшипниками качения// Станки и инструмент. – 1978. - №10. – с.16 – 18.
41. Фигатнер А.М. Шпиндельные узлы современных металлорежущих станков. – М.:НИИмаш, 1983. – 60с.
42. Хернинг В. Конструкции опор металлорежущих станков // Рабочий шпиндель и его опоры: Материалы семинара фирмы ФАГ в ЭНИМСЕ. – 1986. – С.38-64.
43. Хомяков В.С. Расчёт динамических характеристик шпиндельных узлов станков/ В.С. Хомяков, А.Н. Минасян// Станки и инструмент. – 1976, №3. – с.5-7.
44. Ямамура С. Теория линейных асинхронных двигателей: Монография /С.Ямамура.-Л.: Энергияатомиздат,1983.-180с.
45. Kuznetsov Y., Nedoboi V., Joaquim A. Guerra Hamuyela, H.(2014). Use the modular principle in the assembly spindle of machines tools based on the motor-spindles. Poland, TiAM, p.13-16.
46. Kuzniecowa J. Modularne podejście do projektowania frezarek stołowych sterowanych numerycznie (Модульный подход при создании настольных фрезерных станков с ЧПУ)/J. Kuzniecowa, A. Stepaneko, K. Oliynyk.

47. Venkatraman V. Analysis of spindle running accuracy// Mech. and prod. end. – 1975. – 22 Jan. – P. 66-69; 12 Febr. – P. 146-150; 16 apr. – P.359-364
48. Weck M. and Tullmann U., 1999, Kinematics of Spindle Bearings with Rigid and Spring Preload, Transactions of the 2-nd International Conference on High Speed Machining, Germany, Darmstadt Technical Univ. Press, pp.85-92.

Посилання на веб-ресурси:

49. «Базові поняття про числове програмне управління»  
<http://tc.kpi.ua/content/book2005/book3/glav0521/0521.html>
50. «Станки» <https://777russia.ru/cnc-stanok/cnc304060-cena/>
51. «selectelement» <http://selectelement.ru/total-block/electric-motors/linear-motor.php>
52. .«ZETEK важна каждая деталь»  
[http://www.zetek.ru/products/the\\_companys\\_products\\_hiwinmikro/linear\\_motor/shaft\\_motors/](http://www.zetek.ru/products/the_companys_products_hiwinmikro/linear_motor/shaft_motors/)
53. [http://www.comsol.ru/katalog/elektrodvigateli/siemens/linejnye\\_dvigateli\\_1fn3\\_siemens.html](http://www.comsol.ru/katalog/elektrodvigateli/siemens/linejnye_dvigateli_1fn3_siemens.html)
54. «SEW-EURUDRIVE driving the world»  
[https://www.seweurodrive.ua/produkty/dvigateli/prjamolinejnoe\\_dvizhenie/sinkhronnye\\_linejnye\\_servodvigateli\\_sl2/sinkhronnye\\_linejnye\\_servodvigateli\\_sl2.html#panel-5e46cf4d-0d3c-4ab7-acd2-1443fe2e831d-6](https://www.seweurodrive.ua/produkty/dvigateli/prjamolinejnoe_dvizhenie/sinkhronnye_linejnye_servodvigateli_sl2/sinkhronnye_linejnye_servodvigateli_sl2.html#panel-5e46cf4d-0d3c-4ab7-acd2-1443fe2e831d-6)
55. «Абамет ру» <https://www.abamet.ru/press/article/provolochno-vyreznye/cilindricheskii-lineinyi-dvigatel/>
56. «Вікіпедія»  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C)

					МВ-5112.ДПБ.000.2019 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

57. «Вік Енерго»  
<http://vecgroup.com/equipment/elektrodivigateli/asinxronnyie-elektrodivigateli/franz-kessler/shpindelnie-elektrodivigateli-franz-kessler-serii-dms-spetsialnogo-primeneniya>
- 58 «Imagine Roland» <https://rdm24.ru/products/frezernye-stanki/srm-20/>
59. «Луганский станкостроительный завод»  
[https://777.lg.ua/index.php?content=line&name=cnc\\_mini](https://777.lg.ua/index.php?content=line&name=cnc_mini)
- 60.«ZETEK важна каждая деталь»  
[http://www.zetek.ru/products/the\\_companys\\_products\\_hiwinmikro/linear\\_motor/shaft\\_motors/](http://www.zetek.ru/products/the_companys_products_hiwinmikro/linear_motor/shaft_motors/)
61. «LinMot» <https://linmot.com/>
62. «SEW-EURUDRIVE driving the world» [https://www.sew-eurodrive.ua/produkty/dvigateli/prjamolinejnoe\\_dvizhenie/sinkhronnye\\_linejnye\\_servodvigateli\\_sl2/sinkhronnye\\_linejnye\\_servodvigateli\\_sl2.html#panel-ab5cbb32-7b2f-42a5-a969-0c1f490ecd7e-3](https://www.sew-eurodrive.ua/produkty/dvigateli/prjamolinejnoe_dvizhenie/sinkhronnye_linejnye_servodvigateli_sl2/sinkhronnye_linejnye_servodvigateli_sl2.html#panel-ab5cbb32-7b2f-42a5-a969-0c1f490ecd7e-3)
63. «Siemens» <https://w3.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/motors/motion-control-motors/simotics-1-linear-motor/linear-motors-1fn3/Pages/linear-motors-1fn3.aspx>
- 64 «DARXTON КЛАСС ТОЧНОСТИ»  
[https://darxton.ru/catalog\\_section/shpindeli-kress/](https://darxton.ru/catalog_section/shpindeli-kress/)
65. «TEKNOMOTOR» <http://teknomotor.ru/product/elektroshpindeli-serii-c5160-db-er-25/>
66. «Розрахунок жорсткості опор шпинделя»  
<http://manzhilevskyy.vk.vntu.edu.ua/file/636d5f44d553d32bf6375618a5e0e19b.pdf>
67. «Методика виконання лабораторних робіт» <http://fizmet.org/L10.htm>
68. «Інфопедія» <https://infopedia.su/12x87f1.html>

ДОДАТКИ

[illegible]

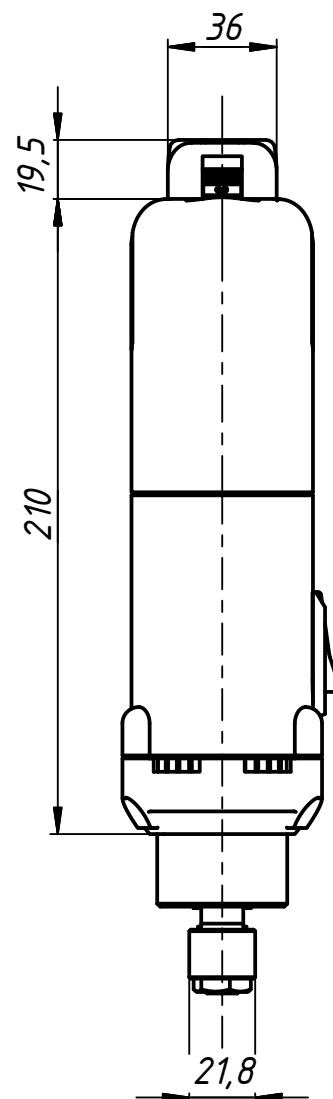
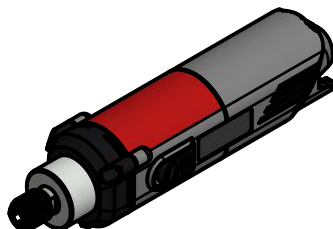
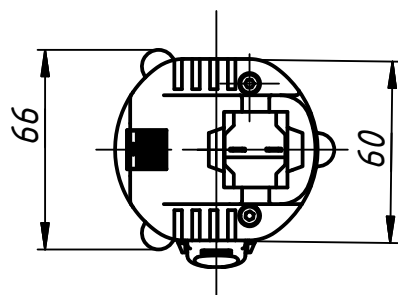
Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						Документація			
		A1			MB-5112.ДПБ.220.000.3В	Загальний вигляд модернізованого НФВ з рухомою траверсою	1		
						Оригінальні деталі			
Справ. №			1			Відброопора	4		
			2		MB-5112.100.000 РК	Основа	1		
			3		MB-5112.110.000 РК	Стійка	4		
			4		MB-5112.180.000 РК	Кронштейн	4		
			5		MB-5112.190.000 РК	Кронштейн мотор-шпинделя	2		
			6			Мотор-шпиндель	1		
			7			Лінійний двигун Z	1		
			8			Лінійний двигун X,Y	2		
Подп. и дата						Стандартні вироби			
						Гвинт ГОСТ 11738-84 М6х20	16		
						Гвинт ГОСТ 11738-84 М4х12	24		
						Гвинт ГОСТ 11738-84 М6х30	4		
Взам. инв. №									
Подп. и дата									
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	MB-5112.ДПБ.220.000 СП			
	Разраб.	Кривчук Ю.Т.				Загальний вигляд модернізованого НФВ з рухомою траверсою	Лит.	Лист	Листов
Пров.	Кузнецов Ю.М							1	
Н.контр.					"КПІ ім. Ігоря Сікорського"				
Утв.	Кузнецов Ю.М				ММІ, гр. MB-51				

[illegible]

Формат А4



Инв. № подл.



Технічні характеристики	
Властивість	Значення
Потужність	1050 Вт
Частота обертання шпинделя	10000– 32000 об/хв
Зажимна цанга	ER 8
Живлення	220 В
Загальна маса	1.7 кг

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кривчук Ю.Т.		
Пров.		Кузнецов Ю.М.		
Т. контр.				
Н. контр.				
Утв.		Кузнецов Ю.М.		

Моторшпиндель  
"Kress 1050 FME"

Лит.			Масса	Масштаб
В			1.7 кг	1:2.5
Лист			Листов 1	

НТУУ "КПІ ім. І.  
Сікорського" ММІ

## Портального типу:



Рис. 1. "CNC 3030"  
від українського виробника  
"Київський верстатобудівний завод"



Рис. 2. "CNC 3020 mini"  
від китайського  
виробника "TWITTE"



Рис. 3. "Roland SRM-20" від  
японського виробника  
"Roland"



Рис. 4 "Роутер Dent-M1"  
від російського виробника  
"Роутер"

## Консольного типу:



Рис. 5. "Proxxon FF 500"  
від німецького виробника  
"Proxxon"



Рис. 6. "BF20 CNC PRO"  
від німецького виробника "OPTIMUM"

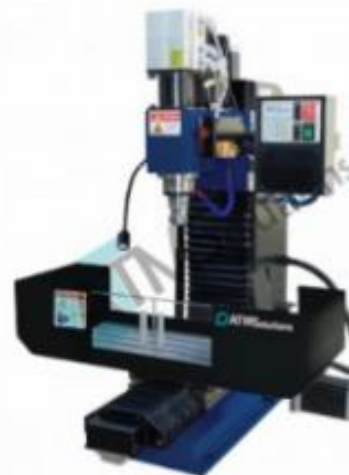


Рис. 7. "CNC MILL ELITE B11"  
від польського виробника  
"ATMSolution"



Рис. 8. "CNC-2030ASV-5D"  
від російського виробника  
"ЧПУ Моделист"

Виконав: Кривчук Ю.Т. \_\_\_\_\_  
Перевірив: Кузнецов Ю.М. \_\_\_\_\_

# Патентно-інформаційне дослідження по лінійних електродвигунах та моторшпинделях

## Лінійні електродвигуни (ЛЕД)



"SEW-EURODRIVE", Україна



"Siemens", Німеччина



"HIWIN", Тайвань



"OMRON", Японія



"Электропривод", Росія



"Mitsubishi", Японія



"GETOtec", Німеччина



"YOKOHAMA", Японія



"LinMot", Швеція



"Bosch Rexroth", Німеччина

## Моторшпинделі (МШ)



"KRESS 1050 FME-R",  
Німеччина



"F120PAB05425004AV36KJ\_13342" (3,3 л. моделі),  
Німеччина



"Technomotor NC35-B",  
Італія



"Vari Motor If-2164.1oz",  
Німеччина



"Changsheng GDZ70",  
Китай



IBAG "HT22" і "HTR",  
Швейцарія



"FRANZ KESSLER DMC 060",  
Німеччина



"Памек М-60-40/0,15",  
Росія



"PRECISE ESC3040 HIGH  
PERFORMANCE SPINDLE MOTOR",  
Німеччина

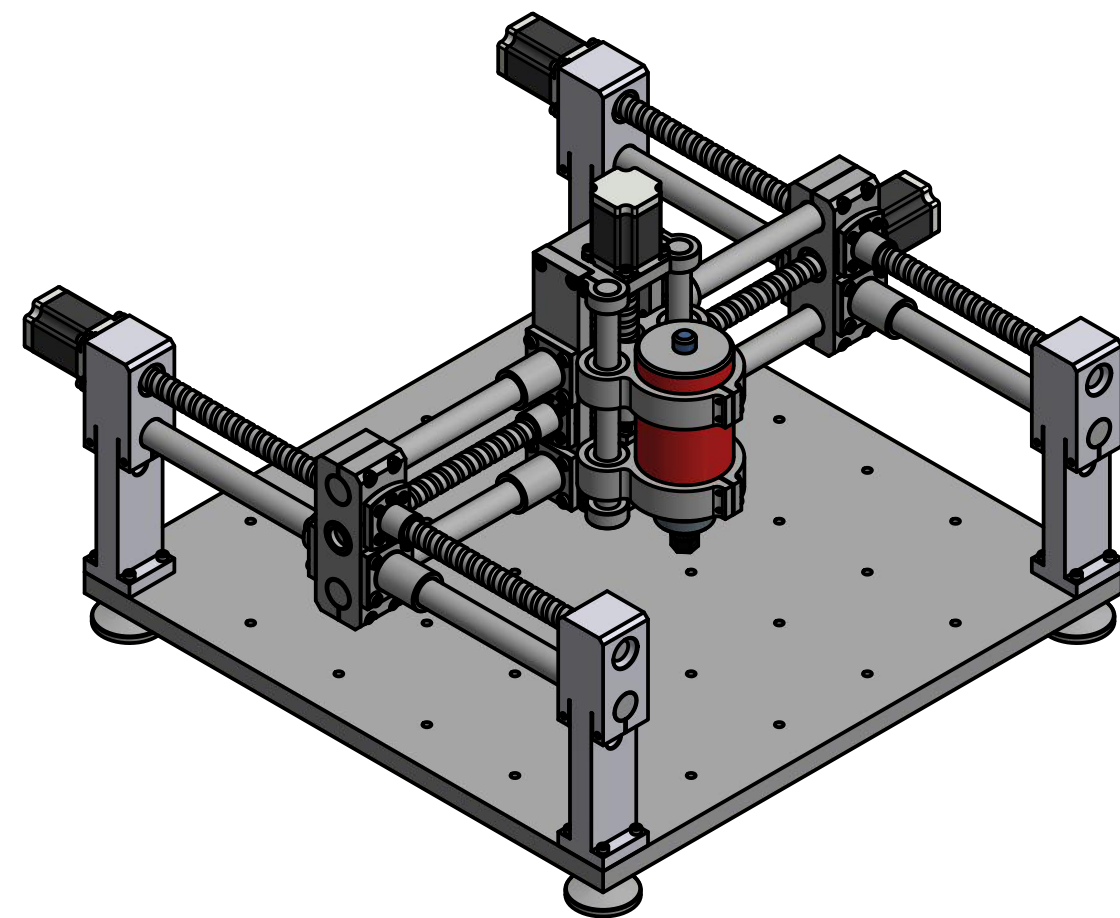
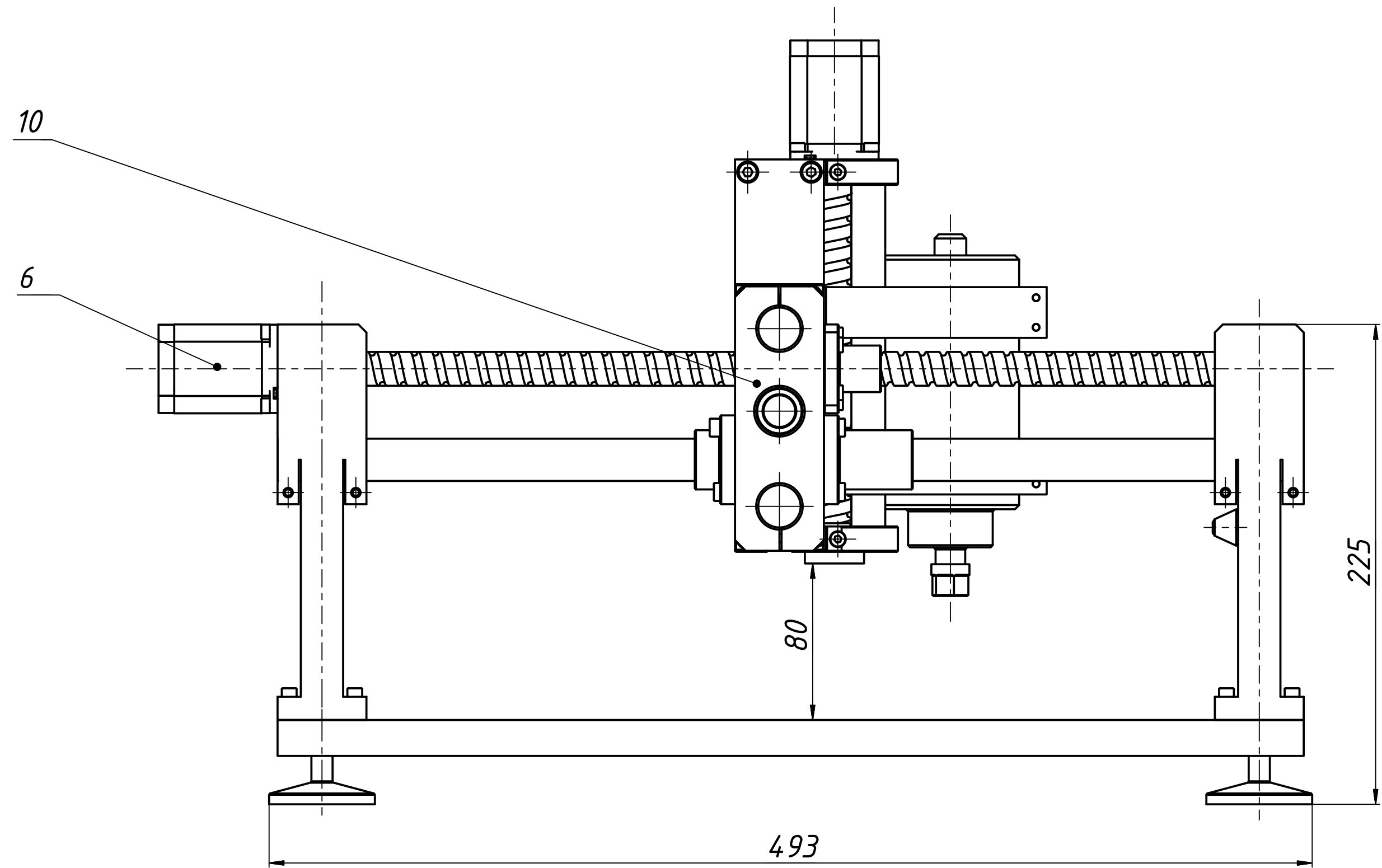
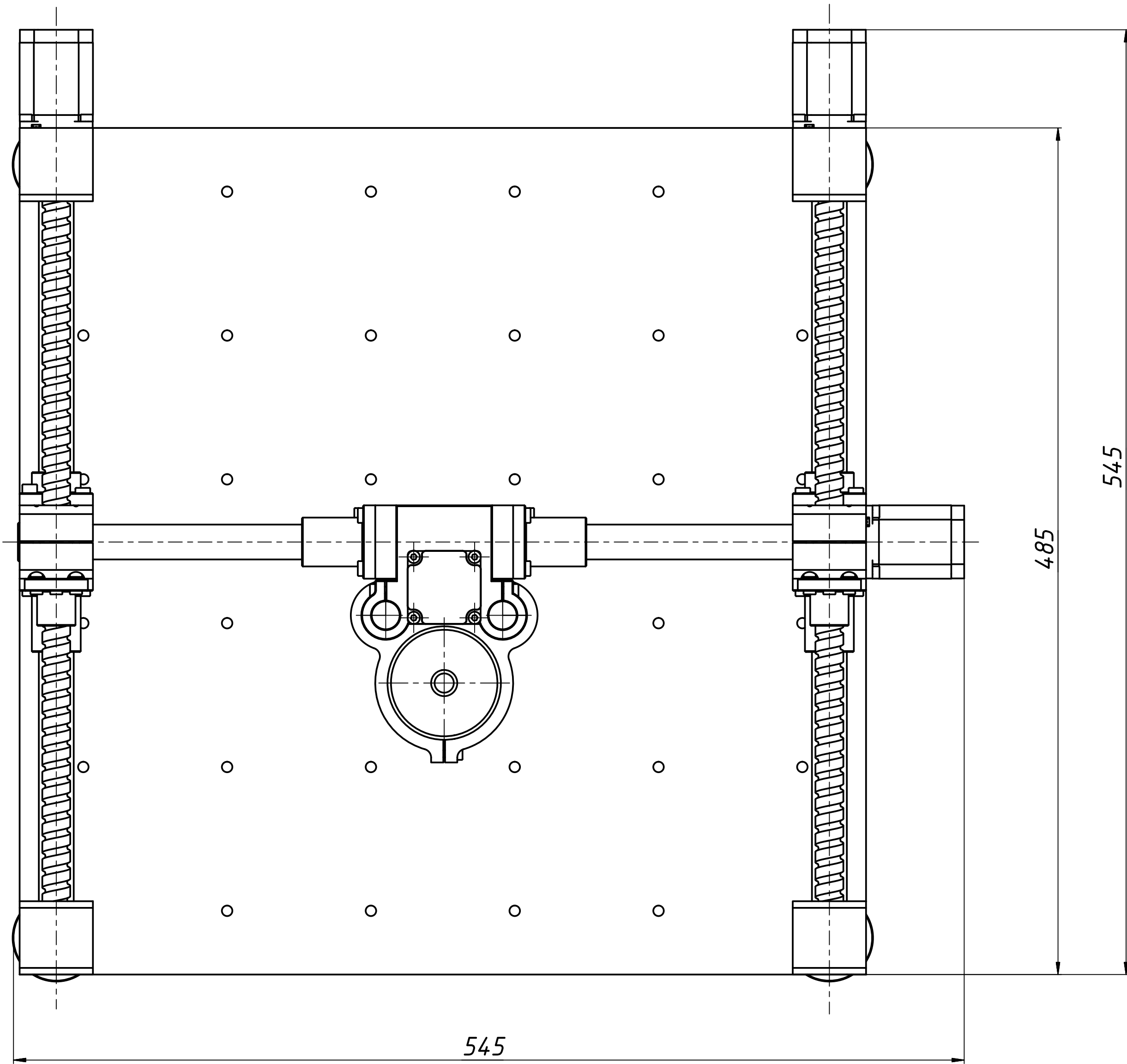
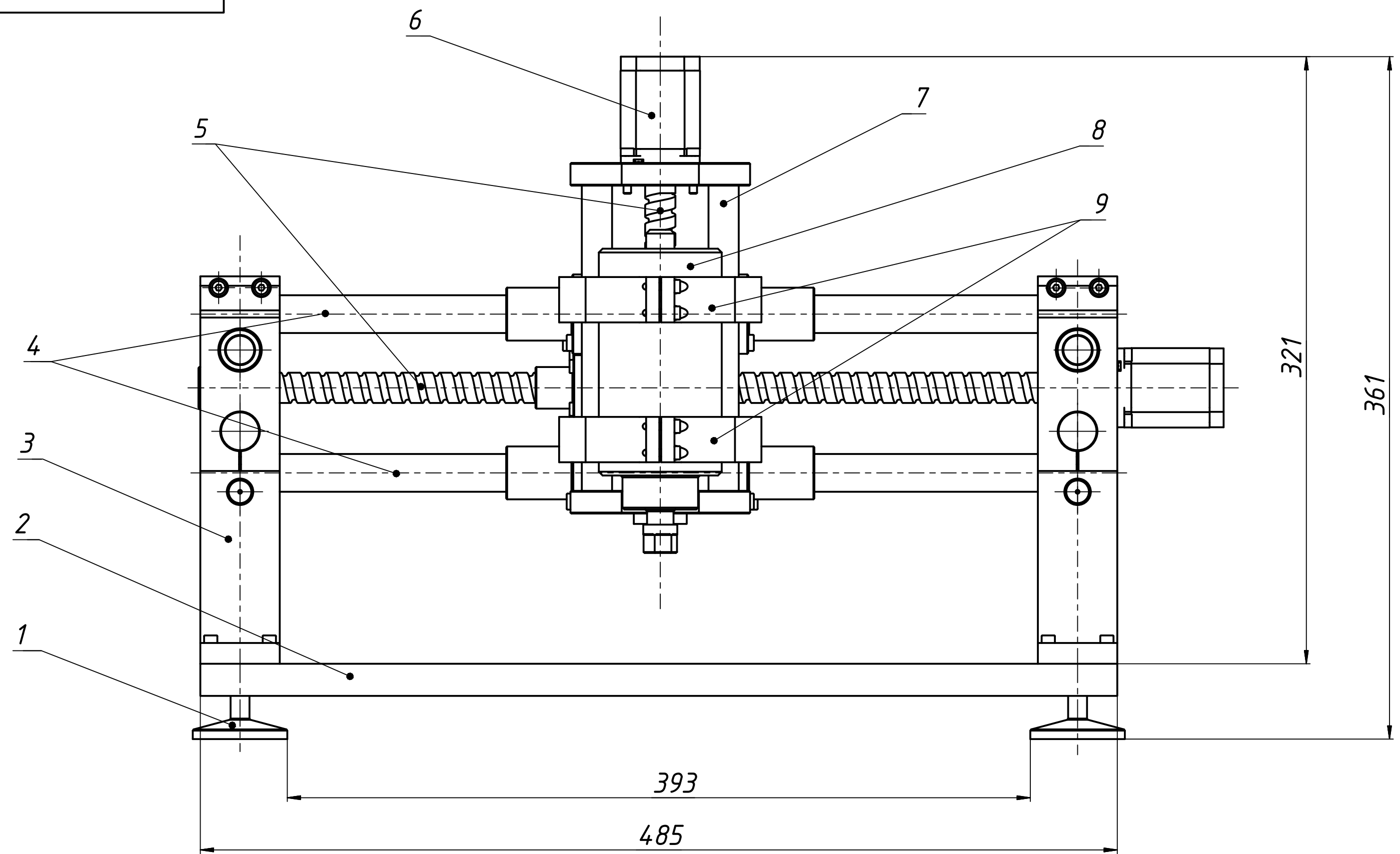


"SW-38A",  
Німеччина

Виконав: Кривчук Ю.Т. \_\_\_\_\_

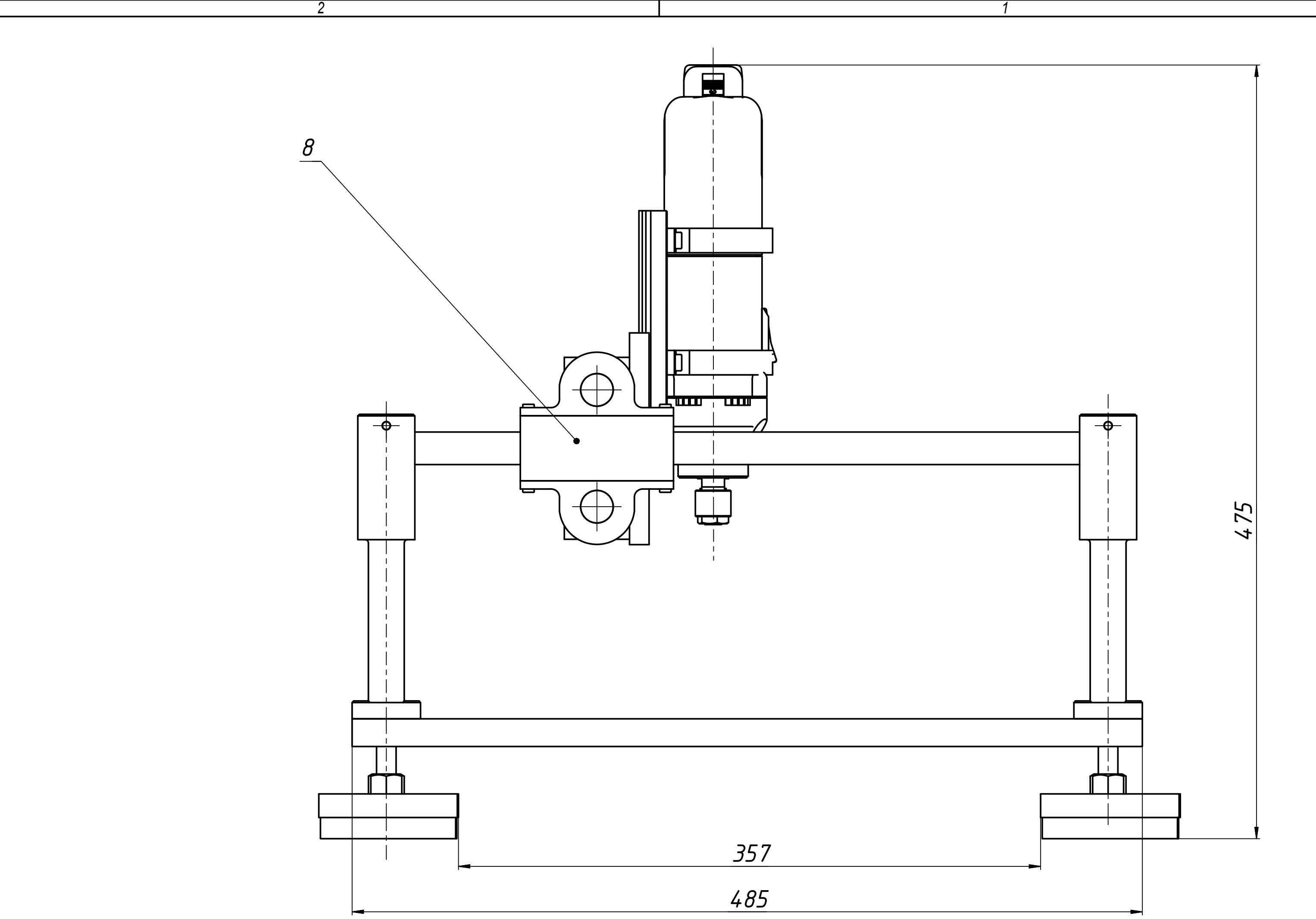
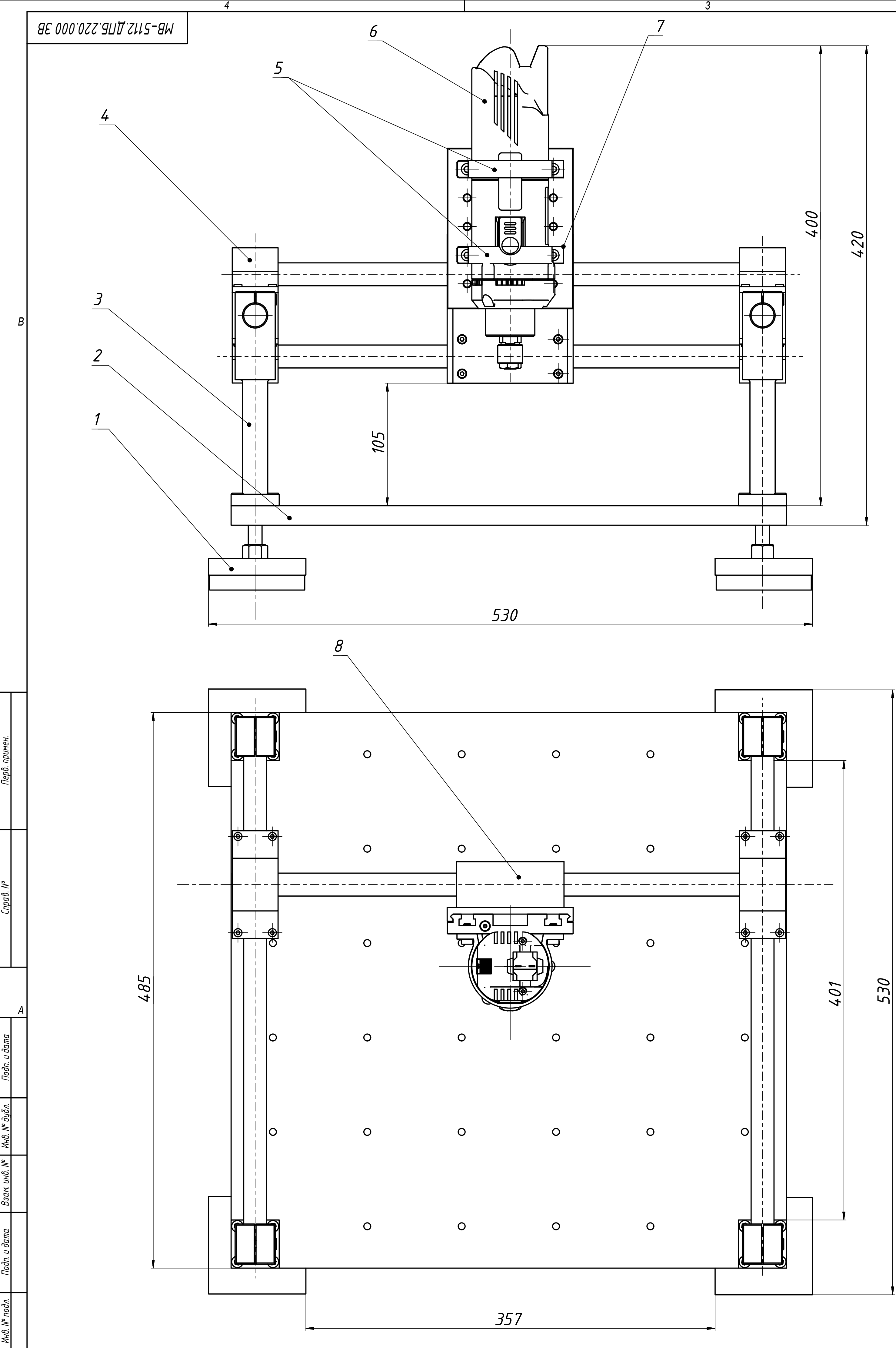
Перевірив: Кузнецов Ю.М. \_\_\_\_\_



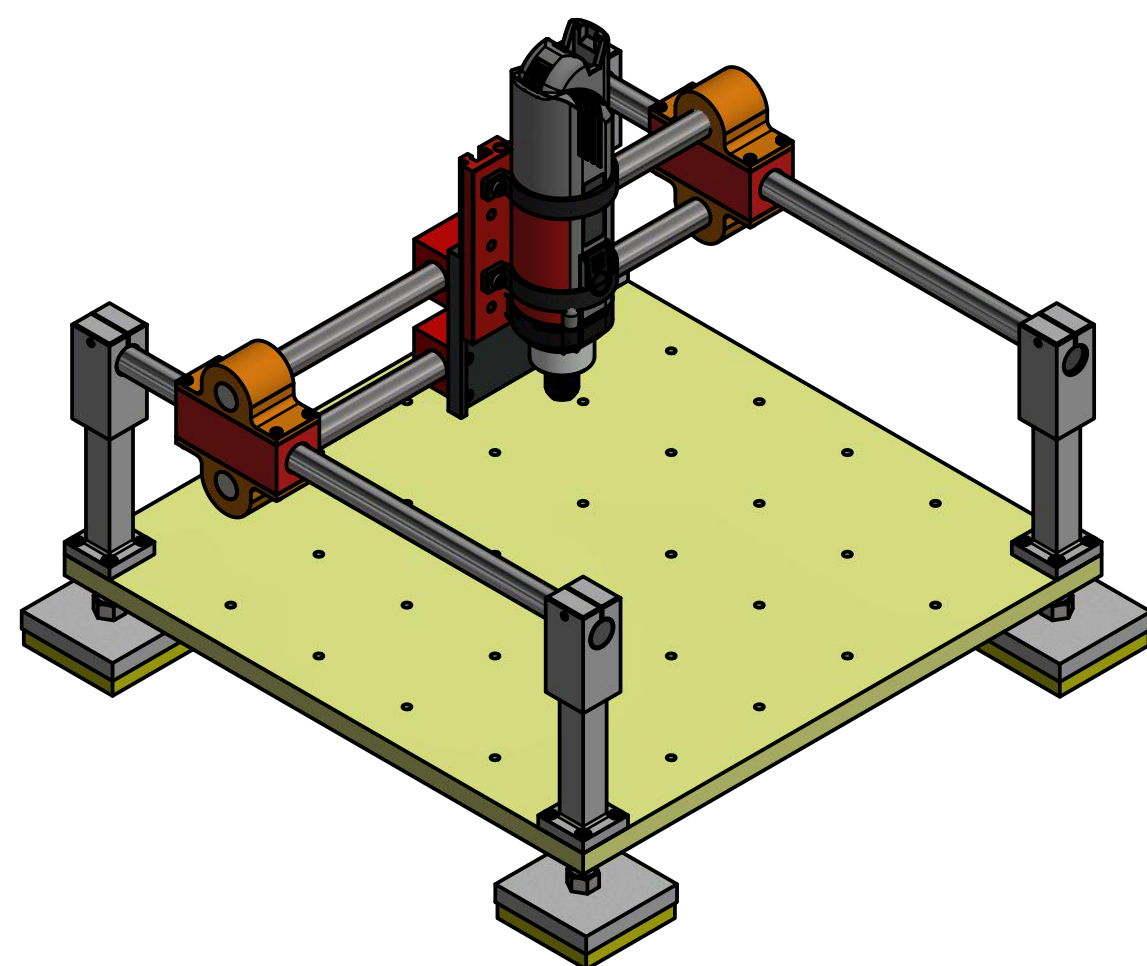


Технічні характеристики верстата	
Властивість	Значення
Максимальне переміщення по осі X	250 мм
Максимальне переміщення по осі Y	250 мм
Максимальне переміщення по осі Z	80 мм
Тип гвинтової пари	ШВП 12x4
Тип направляючих	Вал D20 мм
Потужність моторшпинделя	500 Вт
Частота обертання моторшпинделя	10000-24000 об/хв
Максимальна швидкість переміщення	до 4 м/с
Точність позиціонування робочого органу	0.05 мм
Напруга	220 В
Загальна маса	35 кг

МВ-5112.ДПБ.210.000 ЗВ				НФВ до модернізації		
Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
В				В	35	1:2
Загальний вигляд				Лист 1		
Н. контр. Утв.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ММІ зр. МВ-51		
Кознецов Ю.М.				Формат А1		



Технічні характеристики верстата	
Властивості	Значення
Максимальне переміщення по осі X	310 мм
Максимальне переміщення по осі Y	280 мм
Максимальне переміщення по осі Z	105 мм
Потужність моторшпинделя	1050 Вт
Частота обертання моторшпинделя	10000 - 32000 об/хв
Максимальна швидкість переміщення	5 м/с
Точність позиціонування робочого органу	1 мкм
Напруга	220 В
Загальна маса	26 кг



МБ-5112.ДПБ.220.000 3В						Модернізований верстат з рухомою траверсою			Лист	Маса	Масштаб
В						В			22 кг	1:2	
Загальний вигляд						Лист			Листов	1	
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ММІ гр. МБ-51											
Формат А1											



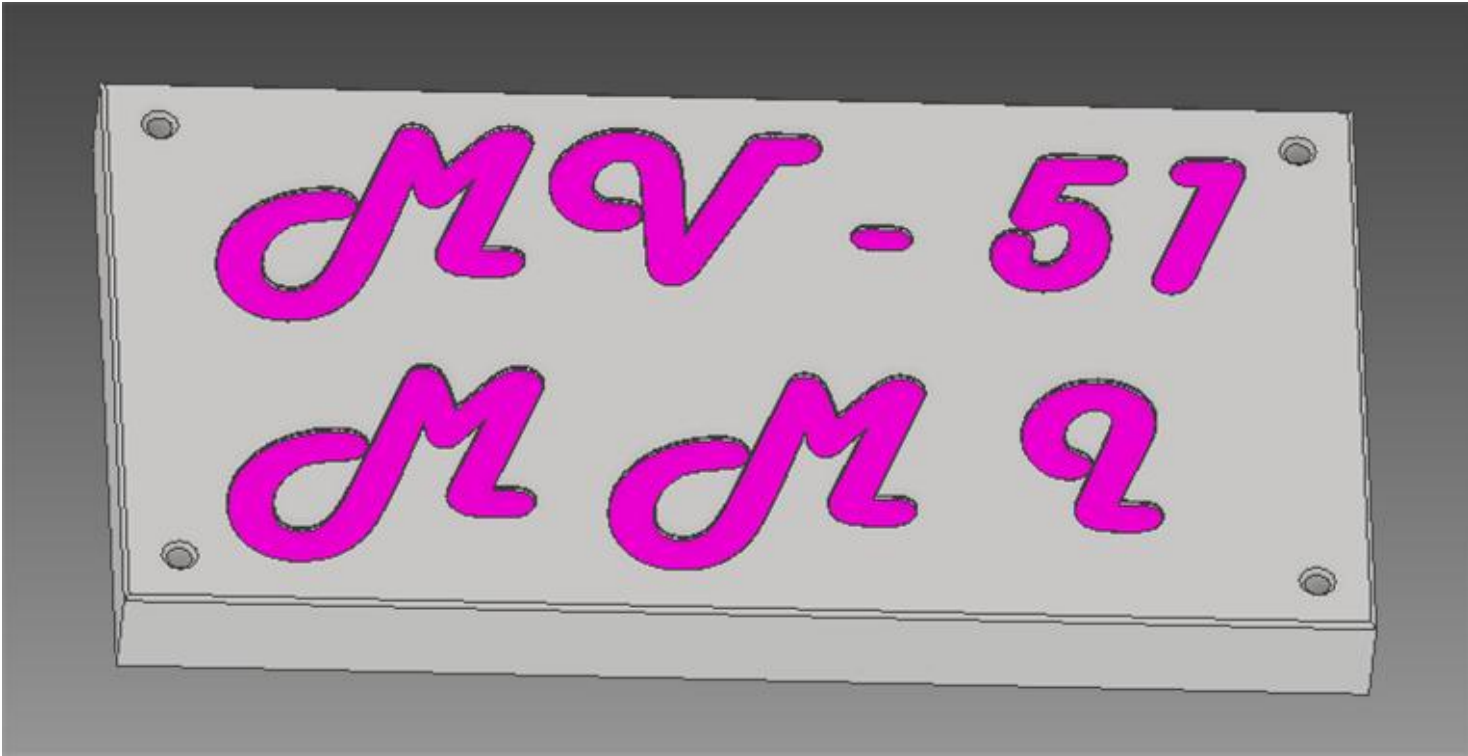


**A**

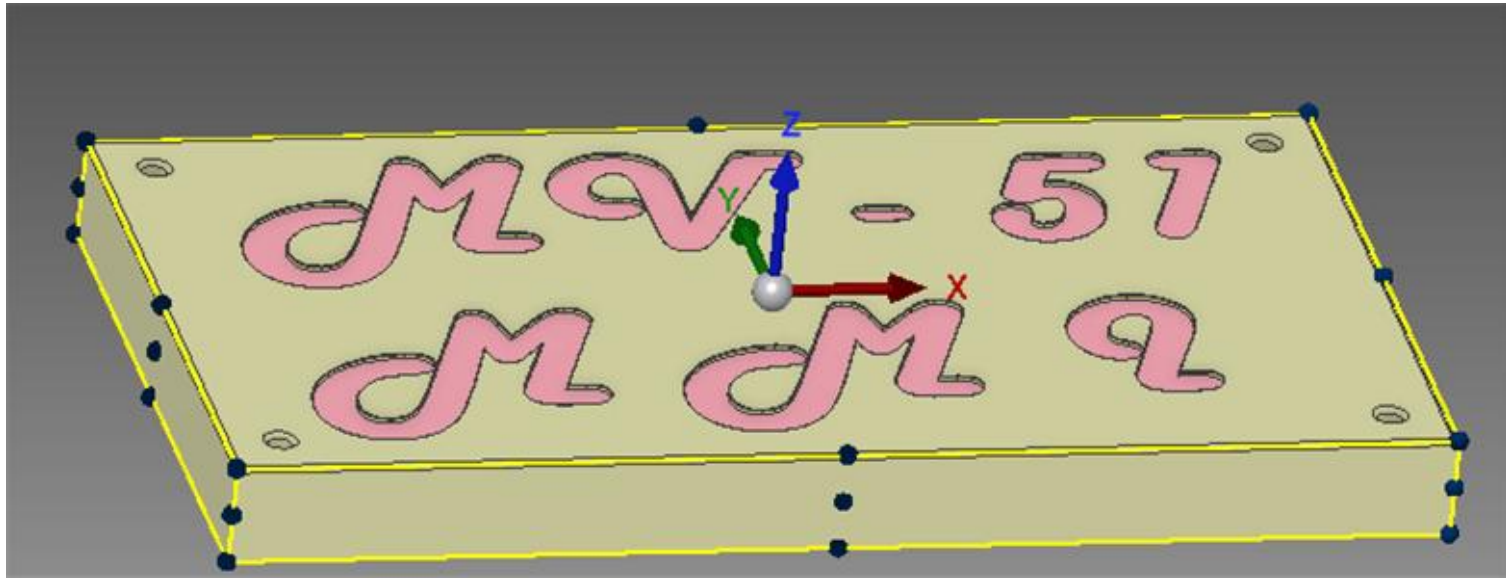


# Керуюча програма (КП) для обробки типової деталі на модернізованому НФВ "CNC 500"

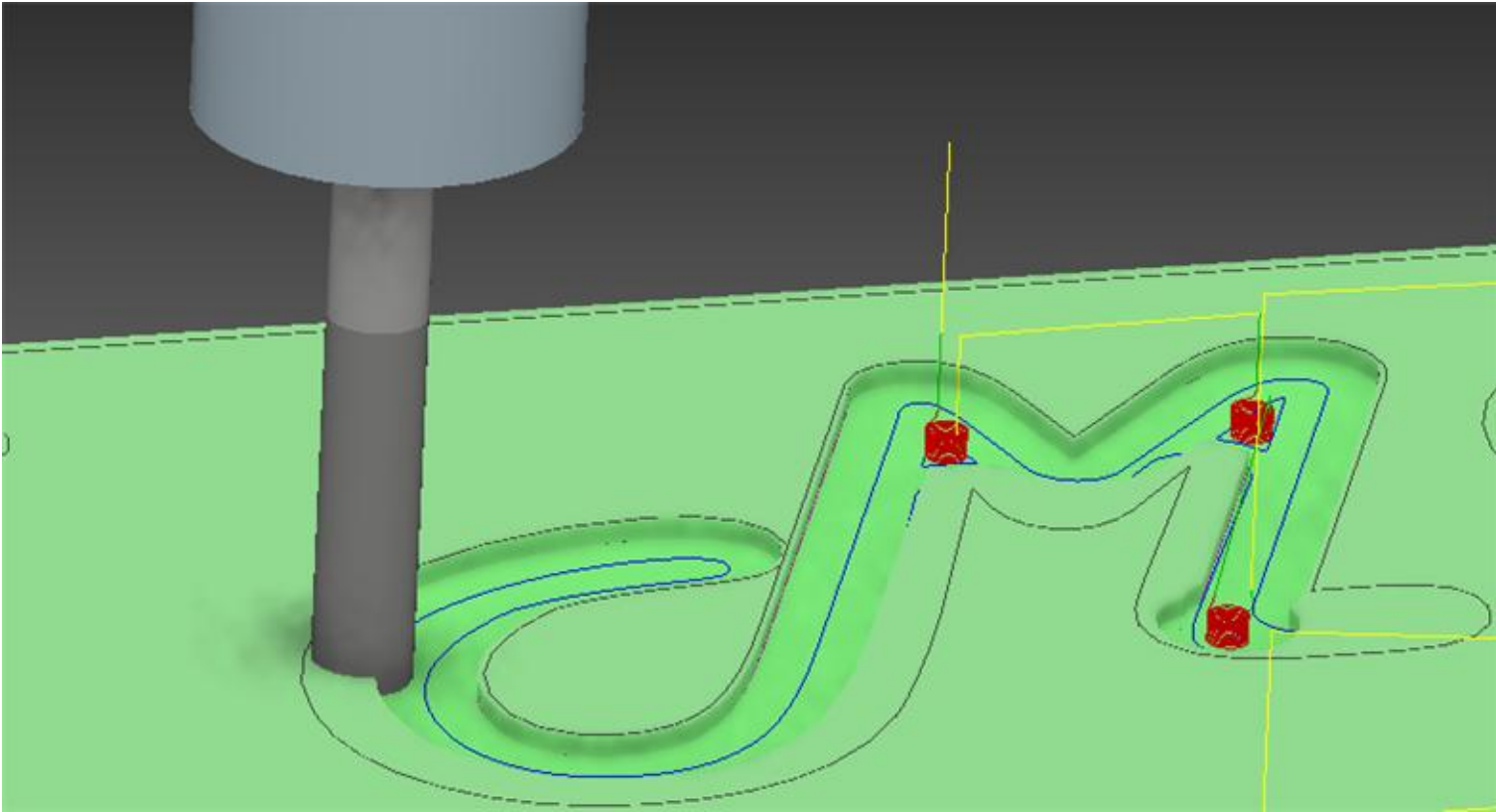
1. 3Д модель типової деталі



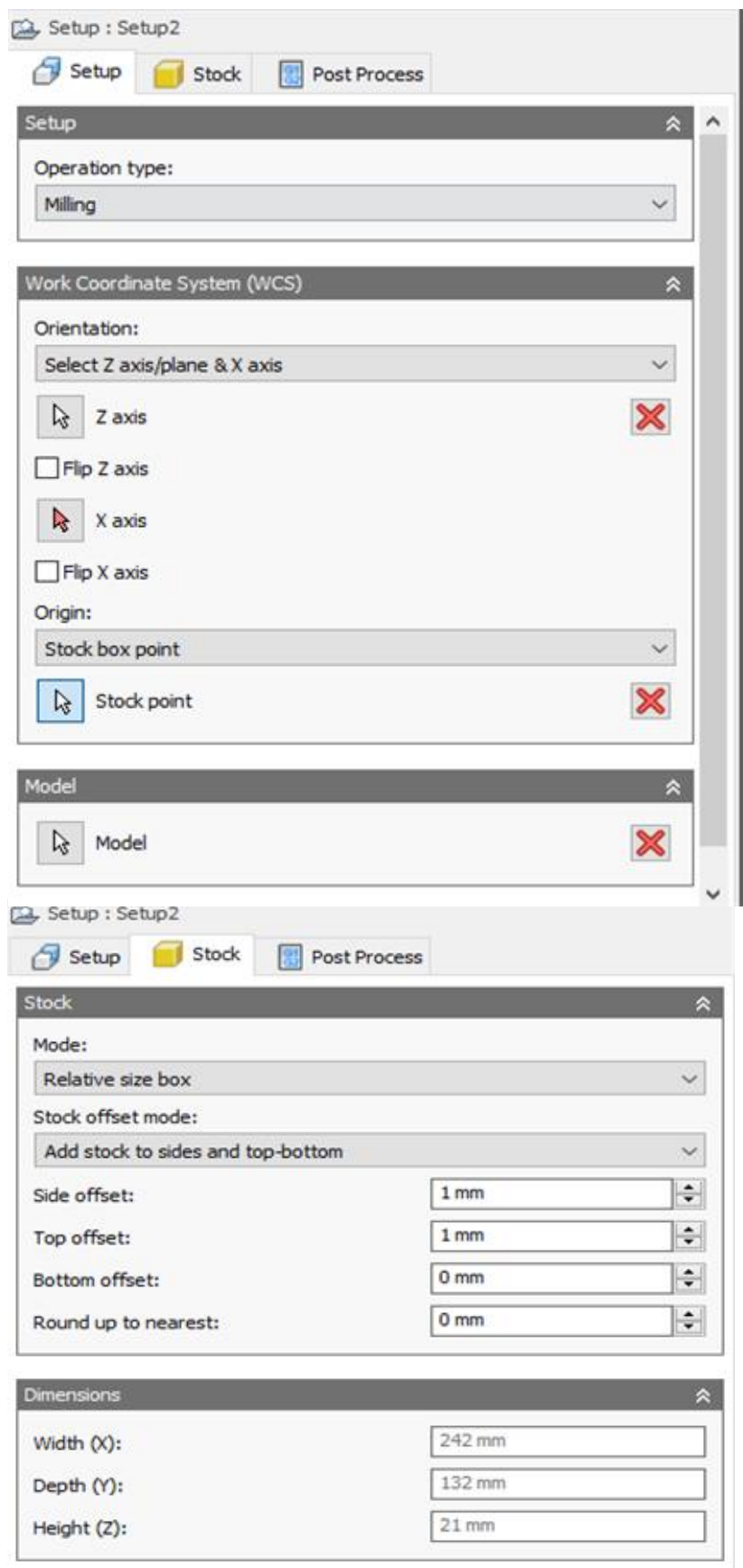
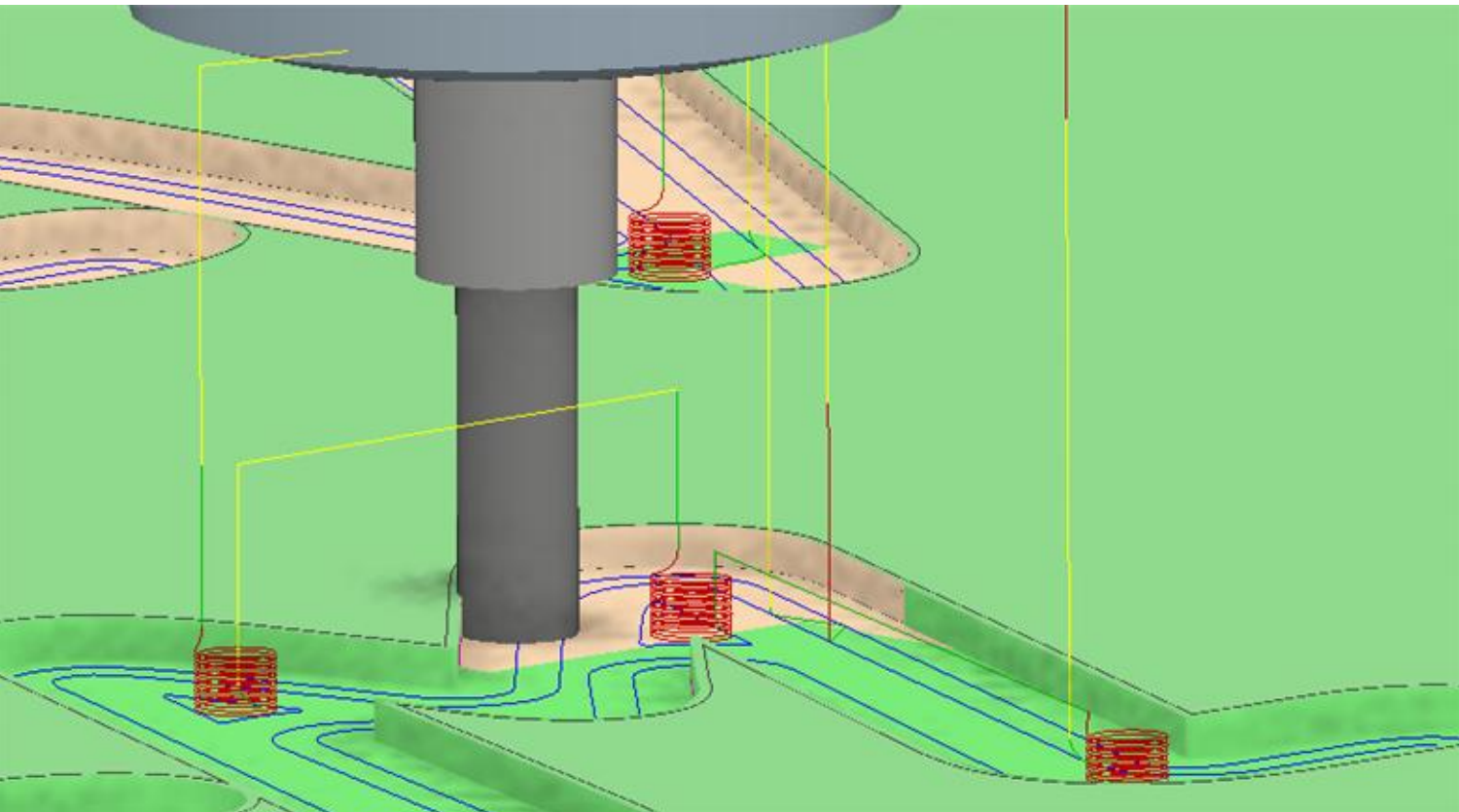
2. Задання розмірів та нулевої точки заготовки



3. Фрезерувати контур попередньо. Фреза кінцева, твердосплавна, D=5, z=2



4. Фрезерувати контур начисто. Фреза кінцева, твердосплавна, D=3, z=2



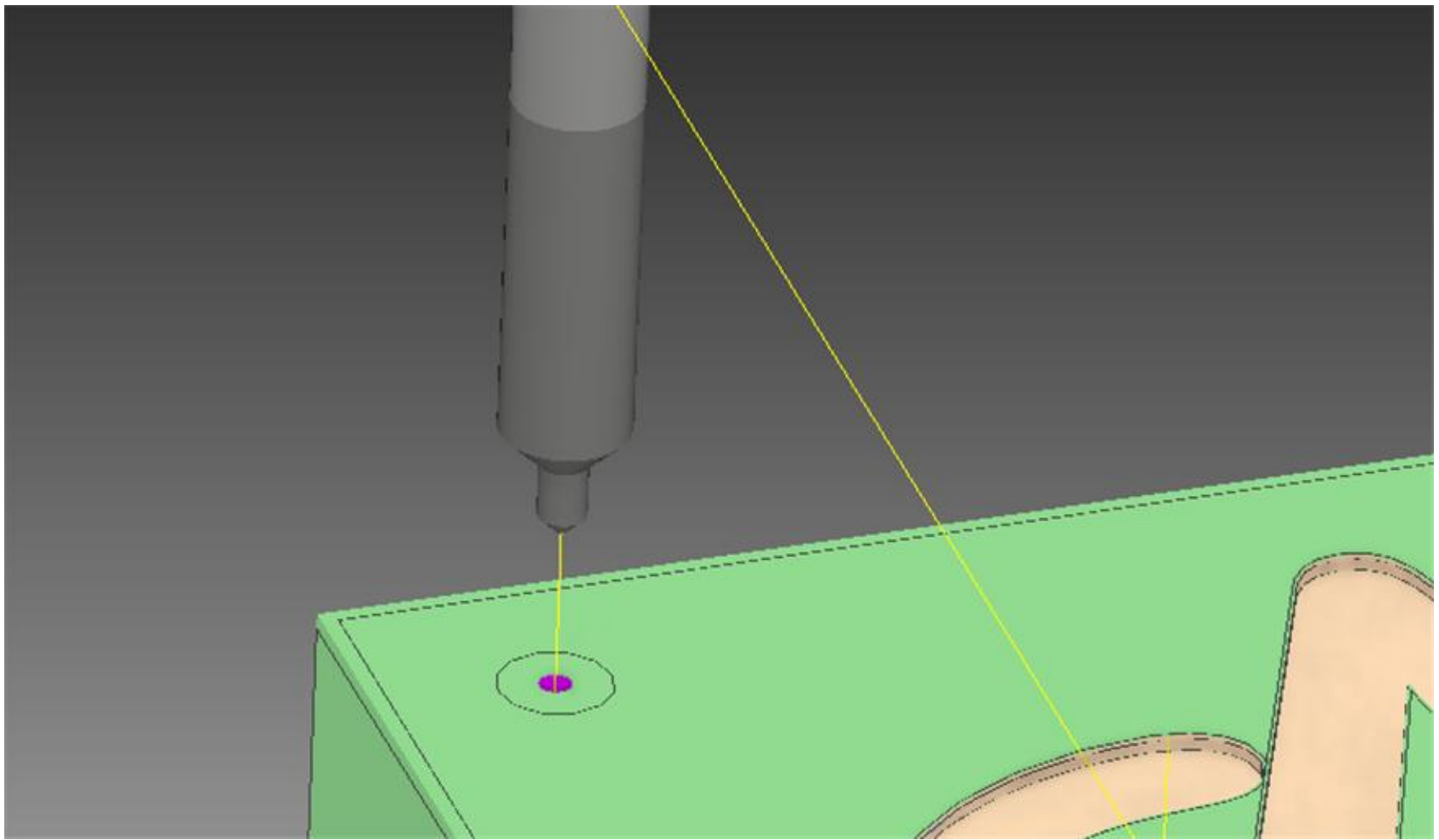
```
;(PROGRAM = tipova_detal')
;(26-MAY-2019 16:46)
;=====
;(T2 | | FREZA D=5. ZUB=2 | Zmin=-1. | 02m:25s)
;=====
;(WCS = G54 )
;(TOTAL NUMBER OF TOOLS = 1)
;(TOTAL TIME = 02m:25s)
;=====
%
O0001
N01 M9
;(FREZA D=5. ZUB=2)
N20 M6 T2
N03 M1
N05 S12000 M3
N07 G0 G90 G17 G54 X-60.887 Y47.523 M8
N09 G0 G43 H2 Z15.
N13 Z5.
N15 G1 Z1. F1200.
N17 G3 X-60.924 Y47.515 Z0.811 I0.207 J-0.978
.....
N8975 X-50.624 Y-33.218 Z-0.5 I-0.432 J-0.252
N8977 G0 Z15.
N8981 M5
N8983 M9
N8985 G91 G28 G0 Z0.
N8987 G91 G28 G0 Y0.
N8989 G90 M30
.....
;(PROGRAM = tipova_detal')
;(26-MAY-2019 16:55)
;=====
;(T1 | | FREZA D=3. ZUB=2 | Zmin=-1. | 01m:32s)
;=====
;(WCS = G54 )
;(TOTAL NUMBER OF TOOLS = 1)
;(TOTAL TIME = 01m:32s)
;=====
%
O0001
N01 M9
;(FREZA D=3. ZUB=2)
N10 M6 T1
N03 M1
N05 S15000 M3
N07 G0 G90 G17 G54 X-49.495 Y22.06 M8
N09 G0 G43 H1 Z60.
N13 Z5.
N15 G1 Z1. F1100.
N17 Z-0.8
N19 Y22.064 Z-0.839
N21 Y22.075 Z-0.877
.....
N9339 X-41.969 Y-12.906 Z-0.8
N9341 G0 Z60.
N9345 M5
N9347 M9
N9349 G91 G28 G0 Z0.
N9351 G91 G28 G0 Y0.
N9353 G90 M30
```

```
;(PROGRAM = tipova_detal')
;(26-MAY-2019 17:13)
;=====
;(T4 | | CENTR D=8. ZUB=2 | Zmin=-1. | 07s)
;=====
;(WCS = G54 )
;(TOTAL NUMBER OF TOOLS = 1)
;(TOTAL TIME = 07s)
;=====
%
O0001
N01 M9
;(CENTR D=8. ZUB=2)
N40 M6 T4
N03 M1
N05 S4000 M3
N07 G0 G90 G17 G54 X-109. Y-54. M8
N09 G0 G43 H4 Z60.
N13 Z50.
N15 G98 G81 X-109. Y-54. Z-1. R5. F200.
.....
N25 Z60.
N29 M5
N31 M9
N33 G91 G28 G0 Z0.
N35 G91 G28 G0 Y0.
N37 G90 M30
%
```

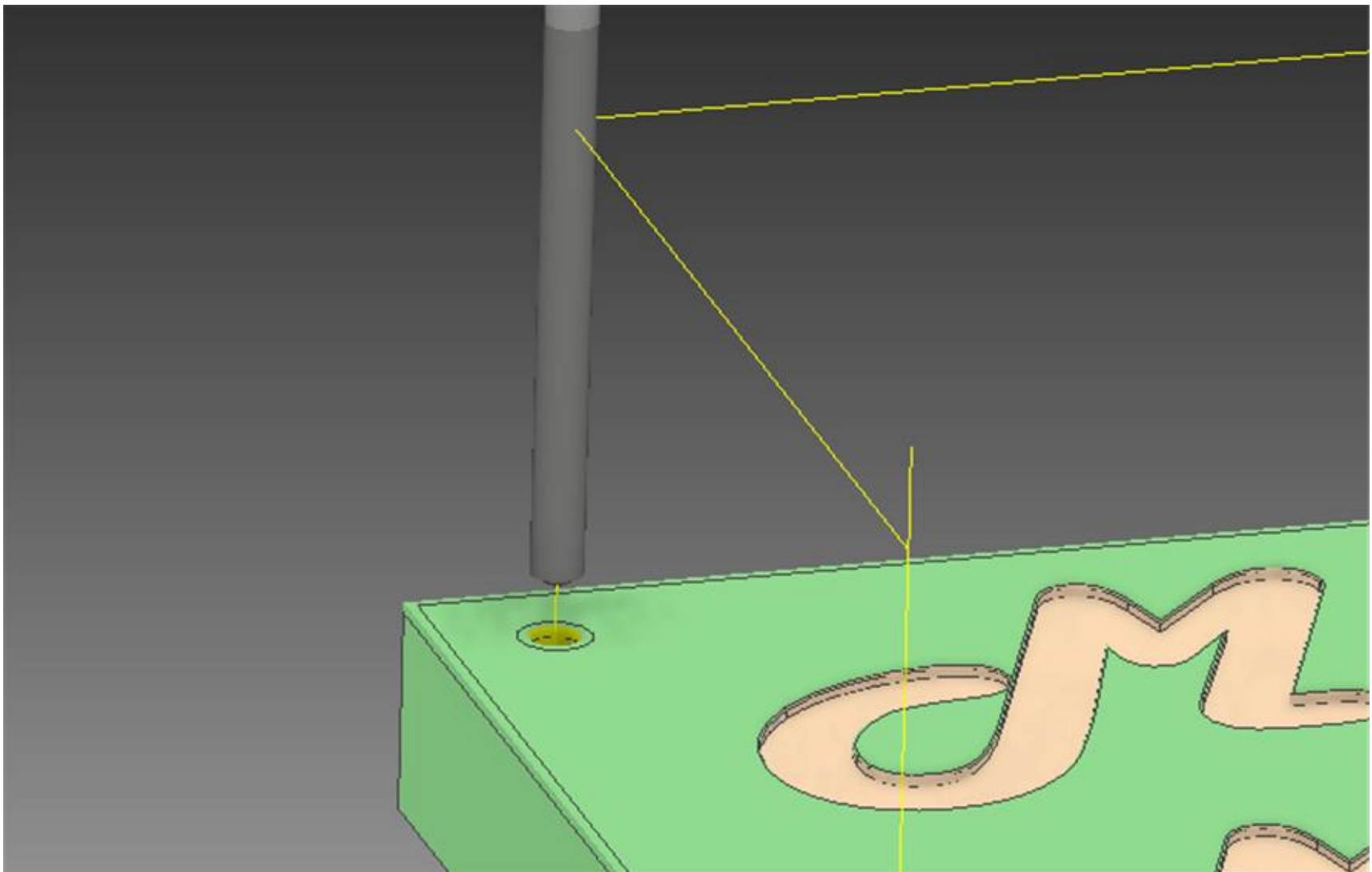
```
;(PROGRAM = tipova_detal');(26-MAY-2019 17:24)
;=====
;(T5 | | SVERLO D=5. ZUB=2 | Zmin=-23.502 | 01m:33s)
;=====
;(WCS = G54 )
;(TOTAL NUMBER OF TOOLS = 1)
;(TOTAL TIME = 01m:33s)
;=====
%
O0001
N01 M9
;(SVERLO D=5. ZUB=2)
N50 M6 T5
N03 M1
N05 S1200 M3
N07 G0 G90 G17 G54 X-109. Y-54. M8
N09 G0 G43 H5 Z60.
N13 Z50.
N15 G98 G83 X-109. Y-54. Z-23.502 R5. Q1.25 F80.
N17 Y54.
N19 X109.
N21 Y-54.
N23 G80
N25 Z60.
N29 M5
N31 M9
N33 G91 G28 G0 Z0.
N35 G91 G28 G0 Y0.
N37 G90 M30
%
```

```
;(PROGRAM = tipova_detal');
;(26-MAY-2019 17:37)
;=====
;(T3 | | FASKA D=5. V=45 ZUB=2 | Zmin=-1.5 | 03m:41s)
;=====
;(WCS = G54 )
;(TOTAL NUMBER OF TOOLS = 1)
;(TOTAL TIME = 03m:41s)
;=====
%
O0001
N01 M9
;(FASKA D=5. V=45 ZUB=2)
N30 M6 T3
N03 M1
N05 S7000 M3
N07 G0 G90 G17 G54 X10.69 Y-8.444 M8
N09 G0 G43 H3 Z60.
N13 Z5.
N15 G1 Z1. F700.
N17 Z-0.4
N19 X9.767 Y-8.059
N21 G3 X9.113 Y-8.328 I-0.193 J-0.461
N23 G1 X-1.88 Y-34.663
.....
N11267 X-107.65 Y-53.5 I-0.5
N11269 G1 X-108.15
N11271 G0 Z60.
N11275 M5
N11277 M9
N11279 G91 G28 G0 Z0.
N11281 G91 G28 G0 Y0.
N11283 G90 M30
%
```

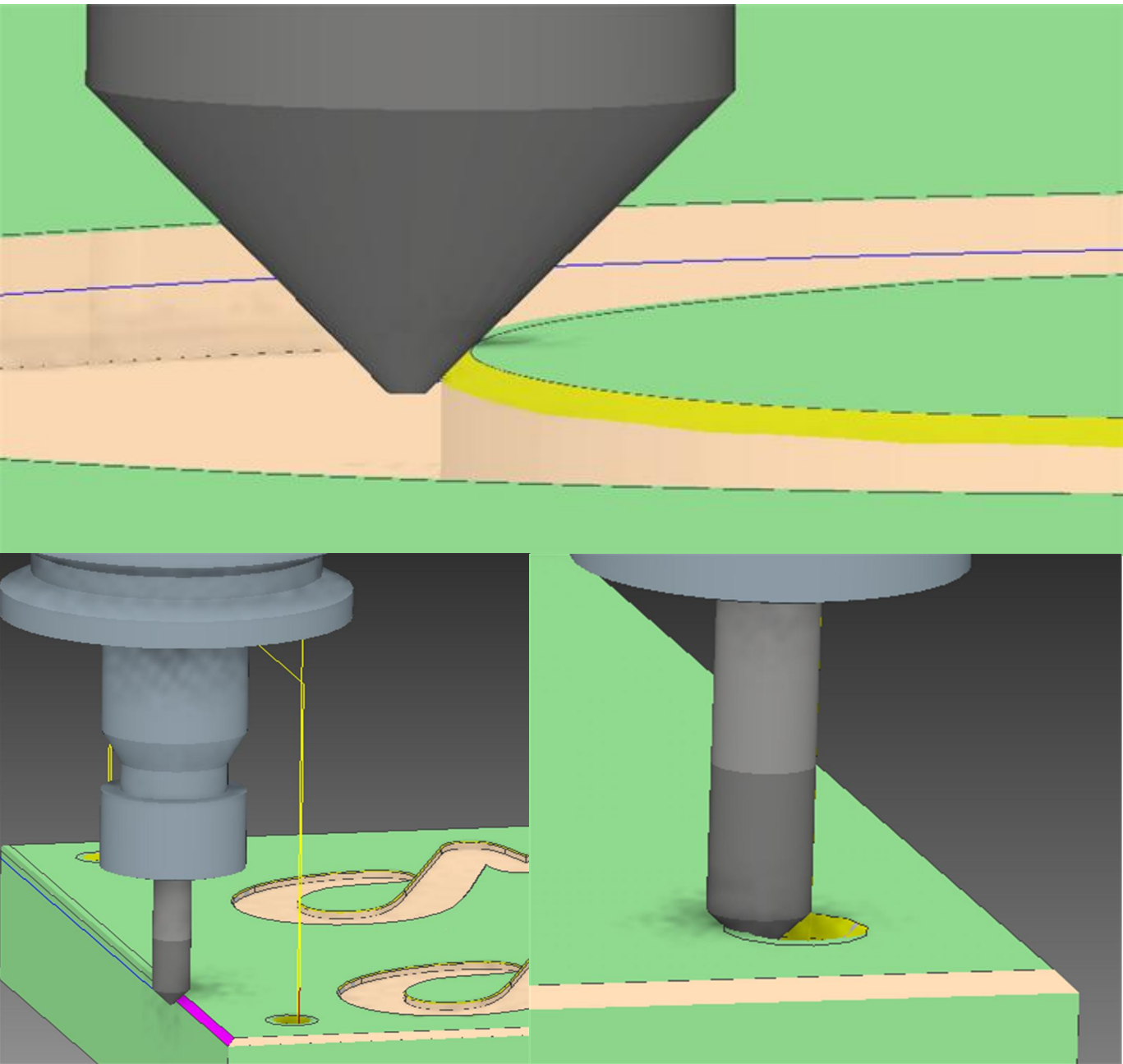
5. Центрувати положення осей 4-х отворів послідовно



6. Свердлити 4 отвори послідовно



7. Фрезерувати фаски



Виконав: Кривчук Ю.Т. \_\_\_\_\_

Перевірив: Кузнєцов Ю.М. \_\_\_\_\_



# Використання модулю Аналіз напружень Autodesk Inventor для розрахунку мотор-шпинделя «KRESS 1050 FME» на жорсткість

Матеріал заготовки: сплав Д16Т;

Для розрахунків режимів різання візьмемо кінцеву фрезу GUEHRING» D=8 мм; z=2;

Режими різання: швидкість різання  $v = 251.2 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$ , подача на оберт  $S = 0.07 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ , частота обертання шпинделя  $n = 10'000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ ; хвилинна подача  $S_{\text{хв}} = 700 \text{ мм/хв}$ ;

Сили різання, прикладені до конуса шпинделя:

- $F_z = 250.79 \text{ Н}$ ;  $F_y = 80.252 \text{ Н}$ ;  $F_x = 130.4 \text{ Н}$ ;
- Крутний момент, прикладений до шпинделя, в місці його з'єднання з ротором електродвигуна;
- $M_{\text{кр}} = 10.2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

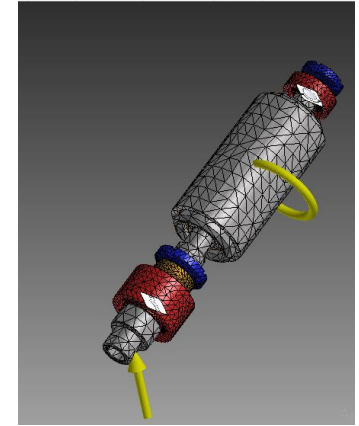


Рис.1. Розрахункова модель шпиндельного вузла

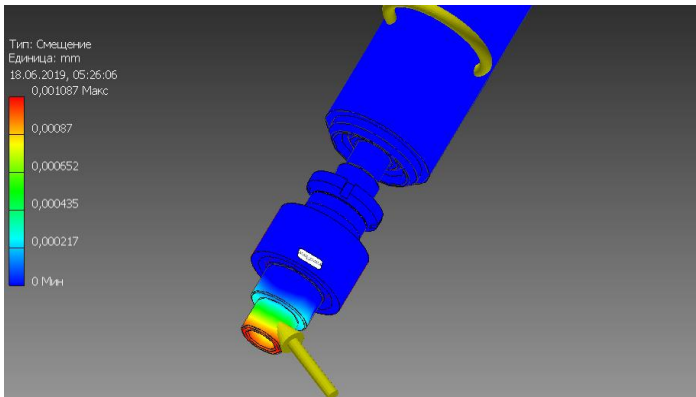


Рис.2. Зміщення переднього кінця валу шпинделя

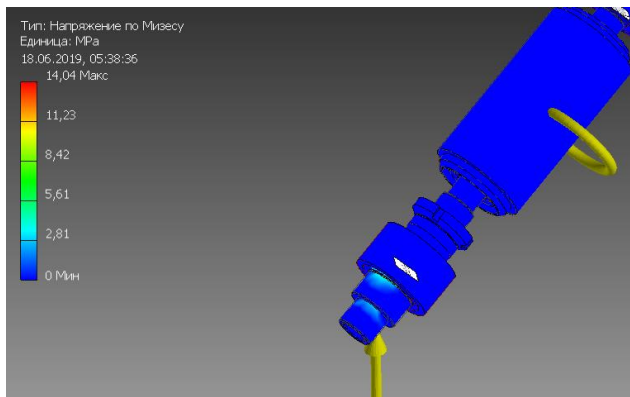


Рис.3. Розподіл напружень по Мізесу

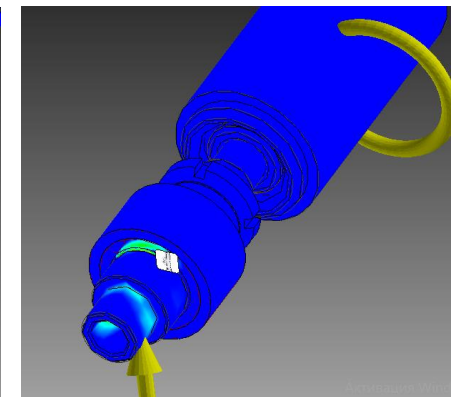


Рис. 3. Розподіл напружень на передньому кінці валу шпинделя

Як результат, розраховані значення податливості пружної системи:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{\Delta_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{1.08 \text{ мкм}}{293,91} = 0.0036 \frac{\text{мкм}}{\text{Н}}; \quad \delta_z = \frac{\Delta_z}{F_z} = \frac{0.81 \text{ мкм}}{250.79 \text{ Н}} = 0.0032 \frac{\text{мкм}}{\text{Н}}; \quad \delta_y = \frac{\Delta_y}{F_y} = \frac{0.35 \text{ мкм}}{80.252 \text{ Н}} = 0.0044 \frac{\text{мкм}}{\text{Н}}.$$

Виконав: Кривчук Ю.Т. \_\_\_\_\_

Перевірив: Кузнєцов Ю.М. \_\_\_\_\_



