

Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра технології машинобудування

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ **Олександр ОХРИМЕНКО**
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

“ _____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування»
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Підвищення ефективності технологічної системи “Верстат-пристрій-інструмент-деталь”

Виконав:

студент 6 курсу, групи МТ-01мп

_____ **Пірогов Дмитро Олександрович** _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н, проф. Воронцов Борис Сергійович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр ОХРИМЕНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

_____ Пірогову Дмитру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Підвищення ефективності технологічної системи
“Верстат-пристрій-інструмент-деталь” _____

науковий керівник д.т.н., проф.. Воронцов Борис Сергійович _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2021р. № 3205-с

2. Термін подання студентом дисертації «__» _____ 20__ р.

3. Об'єкт дослідження – вертикально-фрезерний верстат.

4. Вихідні дані – креслення деталей, що потребують вертикально-фрезерного оброблення, з габаритними розмірами: а) циліндричні деталі: довжиною до 115 мм, діаметром 50мм; б) площинні деталі: довжиною до 75 мм, висотою до 50 мм.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Розробити конструкцію вертикально-фрезерного верстата.
2. Розробити технологію складання вертикально-фрезерного верстата.
3. Виконати чисельне моделювання в програмних продуктах ANSYS.
Дослідити напружено-деформований стан системи, виконати модальний аналіз, гармонічний аналіз та динамічний аналіз вузлів верстата.
4. Запропонувати, оптимальні умови оброблення, використовуючи які, ми зможемо визначити оптимальний критерій точності для подальшої обробки, не знижуючи продуктивності верстата і не підвищуючи собівартості виготовленої деталі, а також при яких досягається задана на кресленні точність та якість поверхні.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу – 90 ілюстрацій.

7. Орієнтовний перелік публікацій – 2 статті.

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Проведення аналізу та каталогів виробників вертикально-фрезерного обладнання, підбір деталей, які потребують оброблення та пошук оптимальної конструкції для проектування.	01.09.21-15.09.21	Виконано
2.	Розроблення конструкції вертикально-фрезерного верстата та конструкторської документації.	15.09.21-15.10.21	Виконано
3.	Розроблення технології складання та технологічних схем складання	15.10.21-30.10.21	Виконано
4.	Виконання чисельного моделювання в середовищі ANSYS: 1. Статичний структурний аналіз 2. Модальний аналіз 3. Гармонічний аналіз	30.10.21-15.11.21	Виконано
5.	Розроблення стратап-проекту	15.11.21-30.11.21	Виконано

Студент

Дмитро ПІРОГОВ

Науковий керівник

Борис ВОРОНЦОВ

РЕФЕРАТ

Магістерська атестаційна робота на тему: «Підвищення ефективності технологічної системи "Верстат-пристрій-інструмент-деталь" складається з 124 аркушів формату А4 та містить 108 ілюстрацій, 27 таблиць. При написанні роботи використано 41 літературне джерело, серед яких наукові роботи, наукові статті, посібники.

Актуальність теми. За останні роки спостерігається значне збільшення випуску продукції верстатобудування на машинобудівних підприємствах Японії, Німеччини, Китаю, Італії, Південної Кореї, зростає попит на більш високу точність виробництва із ще вищими допусками [1]. Продуктивність верстатів з точки зору точності верстатів (висока точність) та продуктивність верстатів (висока ефективність роботи) багато в чому залежить від статичної жорсткості технологічної системи та динамічних характеристик верстатів. Тому сьогодні актуальною є тема оптимізації конструкцій верстатів та забезпечення ефективності технологічної системи "Верстат-пристрій-інструмент-деталь"(ВПД), шляхом розроблення методології чисельного моделювання, за допомогою найкращого поєднання технологічних параметрів налагодження верстату, пристрою, інструменту та режимів різання, які дозволяють визначити зони оптимальної роботи інструмента при мінімальному рівні вібрацій із максимальною продуктивністю і стійкістю ріжучого інструмента і забезпечити задану точність обробки. Відносно того, чи забезпечується задана на кресленні точність, можна буде зробити висновок про ефективність системи ВПД.

Мета і задачі дослідження.

Метою даної роботи є підвищення ефективності технологічної системи "Верстат-пристрій-інструмент-деталь" на основі вивчення закономірностей виникнення вібрацій в системі ВПД та їх впливу на жорсткість системи.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Розробити конструкцію вертикально-фрезерного верстата.

2. Розробити технологію складання вертикально-фрезерного верстата.
3. Виконати чисельне моделювання в програмних продуктах ANSYS. Дослідити напружено-деформований стан системи за допомогою модального аналізу, гармонічного аналізу та статичного аналізу вузлів верстата.
4. Перевірити оптимальні умови оброблення, використовуючи які, ми зможемо визначити оптимальний критерій точності для подальшої обробки, не знижуючи продуктивності верстата і не підвищуючи собівартості виготовленої деталі, а також при яких досягається задана на кресленні точність та якість поверхні.

Об'єкт дослідження – процес фрезерування деталей.

Предмет дослідження – закономірності підвищення якості оброблюваних деталей в процесі фрезерування.

Методи дослідження. Теоретичною базою виконаних досліджень є фундаментальні положення теорії технічних систем та концепцій проектування технічних систем. Достовірність наукових припущень, положень, висновків, щодо правильності конструювання технічної системи обумовлена використанням основних принципів, методів проектування технічних систем та методів численного моделювання, міцнісний аналіз та аналіз системи на зовнішній вплив у вигляді розподілених навантажень, а також використання методів геометричного та кінцево-елементного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів. Було проведено віртуальне числове моделювання в системі ANSYS, за допомогою якого було досліджено напружено-деформований стан системи, виконано модальний аналіз, гармонічний аналіз та структурний аналіз верстата. На основі отриманих даних запропоновано оптимальні умови оброблення, використовуючи які, ми зможемо визначити оптимальний критерій точності для подальшої обробки, не знижуючи продуктивності верстата і не підвищуючи собівартості виготовленої деталі, а також при яких досягається задана на кресленні точність та якість поверхні.

Апробація та публікації.

1. Besedin M., Pirogov D., Ivanov V., Vorontsov B., Pavlenko I., Seminsky J. Assembling technology of vertical milling machine tool / Maksym Besedin, Dmytro Pirogov, Vitalii Ivanov, Borys Vorontsov, Ivan Pavlenko, Jaroslav Seminsky // Principia cybernetica 2020. Stretnutie ústavov a katedier automatizácie, kybernetiky a informatiky technických vysokých škôl a univerzít z Českej Republiky a Slovenskej Republiky. – 2 - 4 Septembra 2020. – Prešov, Slovenská Republika. 2020. – P. 17-1 – 17-7.

2. Пірогов Д.О., Воронцов Б.С. Іванов В.О. Підвищення ефективності системи верстат – пристрій – інструмент – деталь при обробленні деталей на вертикально-фрезерному верстаті / Д.О. Пірогов, Б.С. Воронцов, В.О. Іванов // Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: зб. наук. праць Міжнар. молодіжної наук.-техн. конф., 14-15 квітня 2021 р. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – С.203-207.

Конкурсна робота «Геометричне моделювання процесу складання вертикально-фрезерного верстата». 2-е місце у II етапі Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт «Прикладна геометрія, інженерна графіка та технічна естетика», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»), 2021-04-26.

Акт впровадження результатів науково-дослідної роботи “Геометричне моделювання процесу складання вертикально-фрезерного верстата” у навчальний процес Сумського державного університету в рамках науково-дослідної теми, при проведенні практичних робіт з дисципліни Металообробне обладнання.

РЕФЕРАТ

Магистерская аттестационная работа по теме: «Повышение эффективности технологической системы "Станок-приспособление-инструмент-деталь"» состоит из 124 листов формата А4 и содержит 108 иллюстраций, 27 таблиц. При написании работы использовано 40 литературных источников, среди которых – научные работы, научные статьи, пособия.

Актуальность темы. В последние годы наблюдается значительное увеличение выпуска продукции станкостроения на машиностроительных предприятиях Японии, Германии, Китая, Италии, Южной Кореи, растет спрос на более высокую точность производства с еще более высокими допусками [1]. Производительность станков с точки зрения точности станков (высокая точность) и производительность станков (высокая эффективность работы) во многом зависит от статической жесткости технологической системы и динамических характеристик станков. Поэтому сегодня актуальна тема оптимизации конструкций станков и обеспечения эффективности технологической системы "Станок-приспособление-инструмент-деталь" (СПИД), путем разработки методологии численного моделирования, с помощью наилучшего сочетания технологических параметров наладки станка, устройства, инструмента и режимов резки, которые позволяют определить зоны оптимальной работы инструмента при минимальном уровне вибраций с максимальной производительностью и стойкостью режущего инструмента и обеспечить заданную точность обработки. Относительно того, обеспечивается ли заданная на чертеже точность, можно будет заключить об эффективности системы СПИД.

Цели и задачи исследования.

Целью данной работы является повышение эффективности технологической системы "Станок-приспособление-инструмент-деталь" на основе изучения закономерностей возникновения вибраций в системе СПИД и их влияния на жесткость системы.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать конструкцию вертикально-фрезерного станка.
2. Разработать технологию сборки вертикально-фрезерного станка.
3. Произвести численное моделирование в программных продуктах ANSYS. Исследовать напряженно деформированное состояние системы с помощью модального анализа, гармонического анализа и статического анализа узлов станка.
4. Проверить оптимальные условия обработки, используя которые мы сможем определить оптимальный критерий точности для дальнейшей обработки, не снижая производительности станка и не повышая себестоимости изготовленной детали, а также при которых достигается заданная на чертеже точность и качество поверхности.

Объект исследования – процесс фрезерования деталей.

Предмет исследования – закономерности повышения качества обрабатываемых деталей в процессе фрезерования.

Методы исследования. Теоретической базой выполненных исследований есть фундаментальные положения теории технических систем и концепций проектирования технических систем. Достоверность научных предположений, положений, выводов относительно правильности конструирования технической системы обусловлена использованием основных принципов, методов проектирования технических систем и методов многочисленного моделирования, прочностной анализ и анализ системы на внешнее воздействие в виде распределенных нагрузок, а также использование методов геометрического и конечно-элементного моделирования .

Научная новизна полученных результатов. Было проведено виртуальное числовое моделирование в системе ANSYS, с помощью которого было исследовано напряженно деформированное состояние системы, выполнен модальный анализ, гармонический анализ и структурный анализ станка. На основе полученных данных предложены оптимальные

условия обработки, используя которые мы сможем определить оптимальный критерий точности для дальнейшей обработки, не снижая производительности станка и не повышая себестоимости изготовленной детали, а также при которых достигается заданная на чертеже точность и качество поверхности.

Апробация и публикации.

1. Беседин М., Pirogov D., Ivanov V., Vorontsov B., Pavlenko I., Seminsky J. Assembling technology of vertical milling machine tool / Maksym Besedin, Dmytro Pirogov, Vitalii Ivanov, Borys Vorontsov, Ivan Pavlenko, Jaroslav // *Principia cybernetica* 2020. Продолжение институтов и кафедров автоматизации, кибернетики и informatiky технических высших школ и universit z Slovenské Republiky a Slovenské Republiky. – 2 - 4 Сентября 2020. – Прешов, Slovenská Republika. 2020. – P. 17-1 – 17-7.

2. Пирогов Д.О., Воронцов Б.С. Иванов В.А. Повышение эффективности системы станок – устройство – инструмент – деталь при обработке деталей на вертикально-фрезерном станке / Д.О. Пирогов, Б.С. Воронцов, В.А. Иванов // Молодая наука – роботизация и нанотехнологии современного машиностроения: сб. наук. прать Междунар. молодежной науч.-техн. конф., 14-15 апреля 2021 г. – Краматорск : ДГМА, 2021. – С.203-207.

Конкурсная работа «Геометрическое моделирование процесса сборки вертикально-фрезерного станка». 2-е место во II этапе Всеукраинского конкурса студенческих научных работ "Прикладная геометрия, инженерная графика и техническая эстетика", Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт" (НТУ "ХПИ"), 2021-04-26.

Акт внедрения результатов научно-исследовательской работы "Геометрическое моделирование процесса сборки вертикально-фрезерного станка" в учебный процесс Сумского государственного университета в рамках научно-исследовательской темы при проведении практических работ по дисциплине Металлообрабатывающее оборудование.

ABSTRACT

Master's certification work on the topic: "Improving the efficiency of the technological system" Machine-device-tool-part "" consists of 124 sheets of A4 format and contains 108 illustrations, 27 tables. 40 literary sources were used in writing the work, including scientific works, scientific articles, manuals.

Actuality of theme. In recent years, there has been a significant increase in machine tool production at machine-building enterprises in Japan, Germany, China, Italy, South Korea, growing demand for higher accuracy of production with even higher tolerances [1]. Productivity of machines in terms of machine accuracy (high accuracy) and machine productivity (high efficiency) largely depends on the static rigidity of the technological system and dynamic characteristics of machines. Therefore, the topic of optimizing machine designs and ensuring the efficiency of the technological system "Machine-device-tool-part" is relevant today, by developing a methodology for numerical modeling, using the best combination of technological parameters of the machine, device, tool and cutting modes. to define zones of optimum work of the tool at the minimum level of vibrations with the maximum productivity and stability of the cutting tool and to provide the set accuracy of processing. As to whether the accuracy specified in the drawing is provided, it will be possible to draw a conclusion about the effectiveness of the technical system.

The purpose and objectives of the study.

The purpose of this work is to improve efficiency of the technological system "Machine-device-tool-part" based on the study of the laws of vibration in the VPID system and their impact on the rigidity of the system.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

1. Develop the design of a vertical milling machine.
2. To develop the technology of assembling a vertical milling machine.
3. Perform numerical simulation in ANSYS software products. Investigate the stress-strain state of the system using modal analysis, harmonic analysis and static analysis of machine components.

4. Check the optimal machining conditions, using which, we can determine the optimal criterion of accuracy for further processing, without reducing the productivity of the machine and without increasing the cost of the workpiece, as well as achieving the specified accuracy and surface quality.

Object of research is the process of milling parts.

The subject of research - patterns of improving the quality of machined parts in the milling process.

Research methods. The theoretical basis of the research is the fundamental provisions of the theory of technical systems and concepts of technical systems design. The reliability of scientific assumptions, provisions, conclusions on the correct design of the technical system due to the use of basic principles, methods of designing technical systems and methods of numerical modeling, strength analysis and analysis of the system for external influences in the form of distributed loads, as well as geometric and finite element modeling methods. .

Scientific novelty of the obtained results. Virtual numerical simulation was performed in the ANSYS system, with the help of which the stress-strain state of the system was investigated, modal analysis, harmonic analysis and structural analysis of the machine were performed. Based on the obtained data, the optimal processing conditions are proposed, using which we can determine the optimal criterion of accuracy for further processing, without reducing the productivity of the machine and without increasing the cost of the workpiece, and which achieves the specified accuracy and surface quality.

Approbation and publications.

1. Besedin M., Pirogov D., Ivanov V., Vorontsov B., Pavlenko I., Seminsky J. Assembling technology of vertical milling machine tool / Maksym Besedin, Dmytro Pirogov, Vitalii Ivanov, Borys Vorontsov, Ivan Pavlenko, Jaroslav Seminsky // Principia cybernetica 2020. Meeting of Constitutions and Departments of Automation, Cybernetics and Informatics of Technical Colleges and Universities of the Czech Republic and the Slovak Republic. - 2 - 4 September 2020 - Prešov, Slovenská Republika. 2020. - P. 17-1 - 17-7.

2. Pirogov DO, Vorontsov BS Ivanov VO Improving the efficiency of the system machine - device - tool - part in the processing of parts on a vertical milling machine / D.O. Pirogov, BS Воронцов, B.O. Ivanov // Young science - robotics and nano-technologies of modern mechanical engineering: coll. Science. works International. youth scientific and technical Conf., April 14-15, 2021 - Kramatorsk: DSEA, 2021. - P.203-207.

Competitive work "Geometric modeling of the process of assembling a vertical milling machine". 2nd place in the II stage of the All-Ukrainian competition of student research papers "Applied Geometry, Engineering Graphics and Technical Aesthetics", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (NTU "KhPI"), 2021-04-26.

Act of implementation of the results of research work "Geometric modeling of the process of assembling a vertical milling machine" in the educational process of Sumy State University in the research topic, during practical work in the discipline of metalworking equipment.

Keywords. MACHINE BUILDING, VERTICAL MILLING MACHINE, NUMERICAL MODELING, STRUCTURAL ANALYSIS, MODAL ANALYSIS, HARMONIC ANALYSIS.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ	5
1.1 Призначення вертикально-фрезерних верстатів	5
1.2 Технологічні можливості вертикально-фрезерного обладнання	5
2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	32
2.1 Службове призначення верстата	32
2.2 Свердлильний вузол.....	34
2.3 Шпиндельний модуль	35
2.4 Верстатні лещата	37
2.5 Задній підтискний центр.....	38
2.6 Кроковий електродвигун	39
2.7 Технічні характеристики вертикально-фрезерного верстата.....	41
3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	42
3.1 Загальний опис технології складання вертикально-фрезерного верстата	42
3.2 Технологічний процес складання свердлильного модуля	44
3.3 Технологічний процес складання свердлильного вузла	50
3.4 Технологічний процес складання рухомого модулю	56
3.5 Технологія складання додаткових вузлів верстата.....	63
3.5.1 Технологічний процес складання шпиндельного вузла.....	63
3.5.2 Технологічний процес складання заднього підтискного центра.....	67
3.5.3 Технологічний процес складання лещат верстатних	70
3.6 Загальний технологічний процес складання вертикально-фрезерного верстата.....	73
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	78
4.1 Числове моделювання в ANSYS.....	78
4.2 Статичний структурний аналіз	84
4.3 Модальний аналіз	90
4.4 Гармонічний аналіз	93
4.5 Висновки	96
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	101
5.1 Вступ до розроблення стартап проекту	101
5.2 Опис ідеї стартап-проекту.....	102
5.3 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.....	104
5.4 Технологічний аудит ідеї проекту.....	105

5.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	106
5.6 Розроблення ринкової стратегії проекту	114
5.7 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	116
5.8 Висновок	118
ВИСНОВКИ.....	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	121
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Верстатобудування - це одна з базових галузей машинобудування, від технічного стану якої залежить рівень розвитку всієї економіки країни. Галузь забезпечує верстатним обладнанням всі підприємства машинобудівного комплексу. У світі випускається велика кількість моделей верстатів на тисячах підприємств. За останні роки спостерігається значне збільшення випуску продукції верстатобудування у Японії, Німеччині, Китаї, Італії, Південній Кореї [1], але після періоду активного зростання в останні роки верстатобудівна промисловість зіткнулася з безліччю негативних впливів. Окрім величезних наслідків пандемії COVID-19, кілька зовнішніх та внутрішніх ефектів призводять до зниження попиту на ринку верстатів. По-перше, зростання конкуренції на світовому ринку верстатного обладнання змушує компанії впроваджувати новітні технології та адаптуватися до інновацій відповідно до їх змінних стандартів. По-друге, крім всієї економічної невизначеності, галузь перебуває у фазі серйозного збою. Ніколи раніше виробники верстатів не зустрічалися із такими серйозними змінами у своїй галузі, як цифровізація та нові технології. Тенденція до більшої гнучкості у виробництві стимулює такі інноваційні продукти, як багатозадачність, адитивне виробництво, як відповідну альтернативу традиційним верстатам, автоматизацію процесів, підвищення продуктивності виробництва та зниження загальних витрат, розширення можливостей верстата шляхом впровадження сучасних пристроїв, розробка якісного та точного інструмента, підвищення довговічності та якості складання верстатів. Цифрові інновації та широкі можливості підключення є цінними функціями. Інтеграція датчиків, використання штучного інтелекту та інтеграція складних функцій моделювання дозволяють підвищити продуктивність машин та загальну ефективність обладнання. Нові датчики та нові способи зв'язку, управління та моніторингу відкривають нові можливості для інтелектуальних послуг та нові бізнес-моделі на ринку верстатів. Цифрові послуги незабаром стануть частиною портфеля кожного виробника верстатів. Пандемія COVID-19 може ще більше посилити цю тенденцію на сучасне металорізальне обладнання з системами числового програмного

керування (ЧПК). Високотехнологічні галузі покладаються на верстати з ЧПК, оскільки вони потребують продукції високої точності та якості.

Розглянемо один з найбільш перспективних напрямків сучасного верстатобудування, вертикально-фрезерні оброблювані центри з ЧПК [2].

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Призначення вертикально-фрезерних верстатів

Сучасні вертикально-фрезерні оброблювальні центри є універсальним високопродуктивним багатофункціональним обладнанням, на якому можна виконувати високоточне складне фрезерне оброблення. Завдяки своїй надійній конструкції та доступній ціні, відносяться до найпопулярніших видів обладнання. Вертикально-фрезерний центр дозволяє вирішувати широке коло завдань: високошвидкісне фрезерування, свердління отворів, розточування, шліфування поверхонь, обробка торців, отворів, пазів, складних вигинів, а також оброблення мініатюрних деталей у мікрометричному діапазоні в заготовках із різних матеріалів і сплавів. Сучасні високоточні центри з ЧПУ виконують як чорнову, так і чистову обробку, що дозволяє отримати з верстата повністю готову деталь [3].

В залежності від поставлених задач вертикально-фрезерні оброблювальні центри можуть комплектуватися різноманітним набором опцій. Розглянемо детальніше технологічні можливості металорізального обладнання.

1.2 Технологічні можливості вертикально-фрезерного обладнання

Виконано аналіз технологічних можливостей багатофункціональних вертикально-фрезерних оброблювальних центрів з ЧПК. Загалом проаналізовано більше 30 провідних виробників вертикально-фрезерного обладнання із США, Німеччини, Японії, Індії, Південної Кореї, Тайваню, Китаю, Австрії, Словаччини, Італії, Чехії, Бельгії, Нідерландів, Польщі, Франції, Швеції та Швейцарії.

Серед яких світовими лідерами є:

1. Австралія – ANCA.
2. Європа. Постійним виробництвом верстатів займаються 12 країн:
 - Австрія – EMCO.
 - Бельгія – HACO, LVD.

- Великобританія – HEXAGON.
 - Німеччина – BENZINGER, Biegemaster, Bihler, Boschert, CHIRON, DMG MORI, ELB-Schliff, Handtmann, HEDELIUS, HELLER, INDEX TRAUB, LEIFELD, OPS INGERSOLL, SPINNER, Starrag, TRUMPF, ZIMMERMAN, ZOLLER.
 - Італія – ALESAMONTI, Biglia, BOLDRINI, CARETTA TECHNOLOGY, CEMSA, CO.MA.L., COSTA, EUROMAC, FASPAR, GASPARINI, Giuseppe Giana, MACRI, Millutensil, PAMA, RIELLO SISTEMI, ROBBI, Salvagnini, Somo, SPADA, Waterjet Corporation, ZANI.
 - Нідерланди – UNISIGN, Voortman.
 - Польща – AVIA.
 - Словаччина – MicroStep, TRENDS.
 - Франція – JAMMES, HURON, SB2C.
 - Чехія – Bomar, TAJMAC–ZPS, H.M.Transtech, KOVOSVIT MAS, TOS VARNSDORF.
 - Швейцарія – BalTec, Daetwyler, EWAG, FEINTOOL, FEHLMANN, MIKRON, OSTERWALDER, REIDEN, SOLO, TORNOS, WILLEMIN-MACODEL.
 - Швеція – CIDAN.
3. Індія – JYOTI.
 4. США – CINCINNATI MASHINES, ABM, HAAS [8], [9], HURCO, Milltronics, Moore Tool.
 5. Японія – AMADA, FANUK, MAKINO, Matsuura, Mazak, MITSUI SEIKI, Okuma, TOYODA.
 6. Китай – SMTCL [7], DBHH, DMTG, SOLEX.
 7. Тайваню - Wele mechatronic [5].

Виробники верстатного обладнання постійно в пошуках інноваційних ідей та шляхів для покращення верстатів із ЧПК, вони не стоять на місці тому проєктують верстати із забезпеченням високої якості і підвищенням продуктивності оброблення заготовок. Це змушує виробників впроваджувати

автоматизацію для мінімізації впливу людського фактору на процес металообробки. Крім цього, всесвітньою тенденцією є перехід від виробництва вузькоспеціалізованих пристроїв до випуску універсальних оброблювальних центрів, у яких в одному технологічному циклі здійснюється автоматична металообробка від стадії металічної заготовки до отримання готового виробу. В цій області перші місця займають японські виробники Їх продукція є кращою з точки зору відношення ціни до якості. Використання автоматичних пристроїв вимірювання заготовки скорочує час на кріплення деталей, забезпечує високу точність їх базування, прив'язку до ЧПР, що дозволяє проводити вимірювання деталей у процесі їх обробки. Додаткові переваги дає використання встановлених у шпиндель вертикально-фрезерних обробних центрів електронних вимірювальних датчиків. Це дозволяє:

- скоротити простої;
- автоматизувати кріплення заготовок та оброблюваних деталей, їх вирівнювання по відношенню до осей ОЦ;
- оперативно коригувати кутове положення поворотної осі;
- виключити помилки, зумовлені невірними діями оператора;
- суттєво знизити кількість шлюбу, одночасно підвищивши продуктивність.

Автоматизація налагодження інструменту також суттєво економить час, знижує обсяги шлюбу, забезпечуючи високу точність вимірювань діаметрів та довжин інструментів, своєчасне виявлення його поломок безпосередньо у процесі обробки деталей [6]. Сьогодні в основі багатофункціональних обробних центрів лежить модульний принцип. Маленькі обробні центри приходять на зміну машинам із великою масою. Кожний модуль являє собою легку пустотілу конструкцію, яка стійка до вібрацій і дозволяє формувати верстат будь-якої конфігурації. При цьому велика увага приділяється підвищенню надійності та скорочення затрат на технічне обслуговування і ремонт [1].

Найважливішим завданням розвитку сучасного машинобудування є створення високотехнологічного та наукомісткого верстатного обладнання. Багатоцільові вертикально-фрезерні верстати забезпечують довготривалу продуктивність для різних завдань обробки, включаючи високошвидкісну, важку та п'ятиосьову обробку. Завдяки амортизуючій основі з чавуну і великим прецизійним підшипникам шпинделя мають підвищену жорсткість, витримуючи при цьому більш високу вантажопідйомність. Кожен вертикальний центр обробки оснащений повністю обладнаними системами управління, що забезпечують максимальні можливості обробки [4].

Для розширення можливостей вертикально-фрезерного верстат з ЧПК та підвищення його продуктивності оброблення, виробники почали виготовляти високошвидкісні вертикально-фрезерні обробні центри із 4+1 осями (рисунок 1.1), що включає X,Y,Z осі, вісь В, яка відповідає за поворот столу та похилу головку вісь С для п'яти осьового оброблення [5].

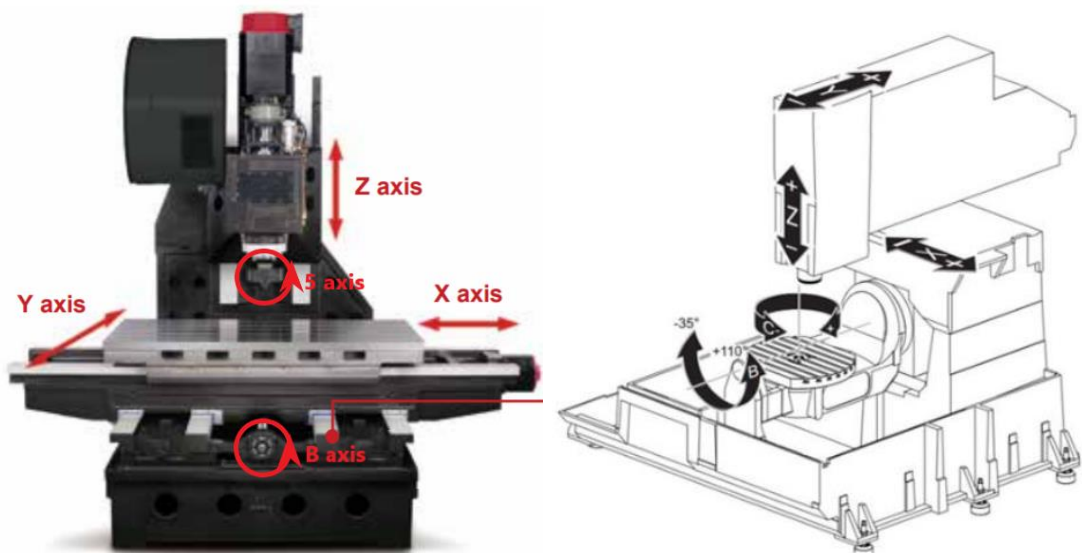


Рисунок 1.1 – Розташування осей 5-ти осьового верстата

Такі центри, можуть поєднувати в собі функції як вертикальний, так і горизонтальний обробний центр із елементами токарного оброблення. три координати виконують поступальний рух по X/Y/Z та дві похило-поворотні B та C. Привідний інструмент з C-віссю встановлюється для модернізації трьох координатного верстата на 4-ох координатний, шляхом встановлення поворотної вісі, для виконання додаткових операцій – фрезерування, свердлення, шліфування та нарізання різі. C-вісь забезпечує поворот із точним визначенням швидкості та подачі для точного позиціонування деталі і безперервного оброблення з усіх сторін. Одне налаштування дозволяє виконувати комплексне оброблення за один установ, що забезпечує максимальну точність оброблення, суттєво зменшує час оброблення, виключає можливість ручних операцій та відсутність додаткового оснащення, зменшує кількість браку та збільшує якість виготовленої продукції, а також знижує собівартість, а також допомагає закінчити весь процес в цілому [5].

Жорстка станина обробних центрів (рисунок 1.2) виконана методом відливу чавуна, забезпечує міцність фундаменту, стійкість до згинаючих навантажень і забезпечує до десяти разів більше демпфірування ніж сталь. Всі відливки посилені важкими ребрами, для того, щоб протистояти згинаючим і вологим вібраціям, оброблюються за один установ (рисунок 1.4), перевіряються до і після оброблення, щоб впевнитися, що станини не мають дефектів, що сприяє досягненню більш високої точності і виключає помилки при кінцевому складанні. Трикутні відливки із широкою опорою забезпечують максимальне навантаження на конструкцію при ефективному використанні матеріалів. Вони являють собою жорстку та стабільну платформу для обробки, яка стійка до згинань, ефективно розподіляє сили різання і має високу термічну стабільність [8].



Рисунок 1.2 – Станина обробних центрів Haas

Лита станина тунельного типу (рисунок 1.3) дозволяє домогтися найбільшої жорсткості і максимальної стійкості до згинаючих навантажень, а також запобіганню впливу вібрацій на зону обробки [11].

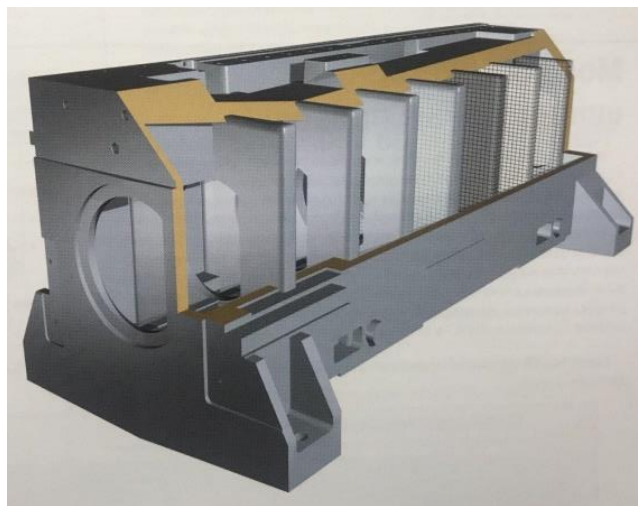


Рисунок 1.3 – Лита станина тунельного типу

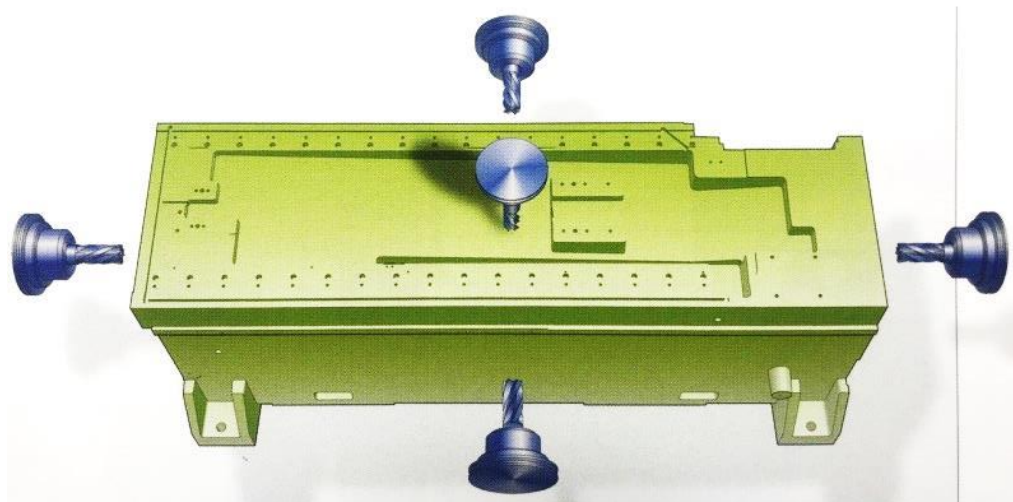


Рисунок 1.4 – Оброблення станин за 1 установ

Колони вертикально-фрезерних обробних центрів посилені поглинаючими ребрами (рисунок 1.5), які переносять вібрацію від зони різання. У колонах використовується конструкція крутної трубки, що забезпечує чудову жорсткість і протистоїть згинанню.

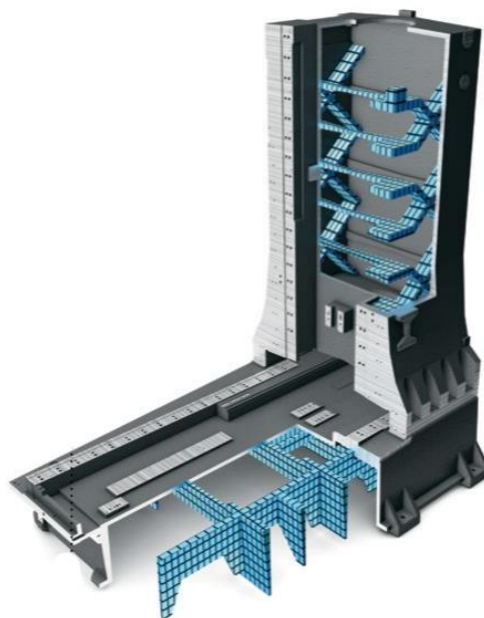


Рисунок 1.5 – Конструкція колони верстатів HAAS

Вертикально-фрезерні оброблювальні центри компанії JYOTI [10] мають особливість вирівнювання станини по трьом точкам (рисунок 1.6). Як правило,

верстати вирівнюються по чотирьом очкам, регулюючи накладні гвинти. Особливістю машин JYOTI є баланс по трьом точкам, що дозволяє цим машинам спиратися на них без високого навантаження. У той час як чотирьох точкове вирівнювання вимагає терпіння і виснажливої роботи, верстати JYOTI можна встановити та перемістити з точністю та легкістю на будь яке місце в цеху. Напруга, що виникає під час вирівнювання машин за допомогою чотирьох точок може призвести до викривлення в конструкції, поступово скручуватиме корпус машини і призведе до нестабільної геометрії. З трьох точковою збалансованою машиною, корпус завжди знаходиться в стані спокою, без напруги, без скручування протягом усього використання, що забезпечує стабільну геометричну точність [10].

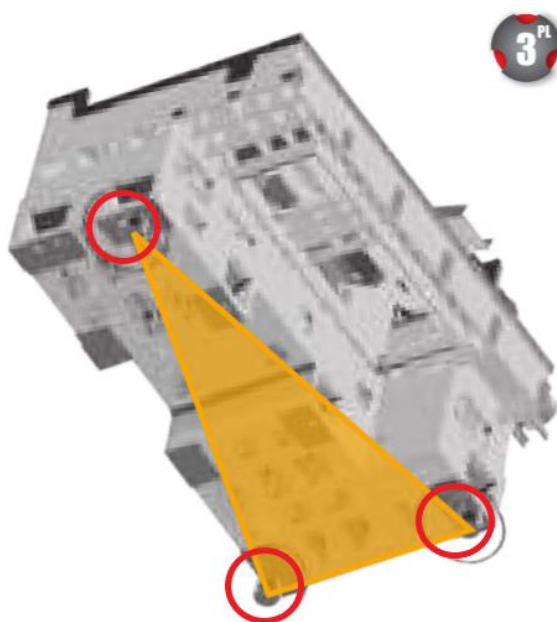


Рисунок 1.6 – Балансування верстата по трьом точкам

Структура кроків (Step-up structure) конструкції столу (рисунок 1.7) з широкими напрямними забезпечує стійкість конструкції під час динамічної обробки різанням та забезпечує стабільну продуктивність механічного оброблення [10].



Рисунок 1.7 – Конструкція напрямних стола обробних центрів JYOTI

Управління рухами (рисунок 1.7) станини здійснюється за допомогою кулькових гвинтових пар (рисунок 1.8). Гвинтова пара забезпечує лінійне переміщення приводу, перетворює обертання в поступальний рух. Особливістю цього процесу є вкрай мале тертя, що допомагає протистояти зносу матеріалу і істотного зниження ККД, а також нагріванню елементів дотику. Використання сучасних енергоефективних, без щіткових сервомоторів на всіх осях забезпечує більше потужності для важкої обробки, вищі показники прискорення та гальмування, а також ультра точне позиціонування [8].

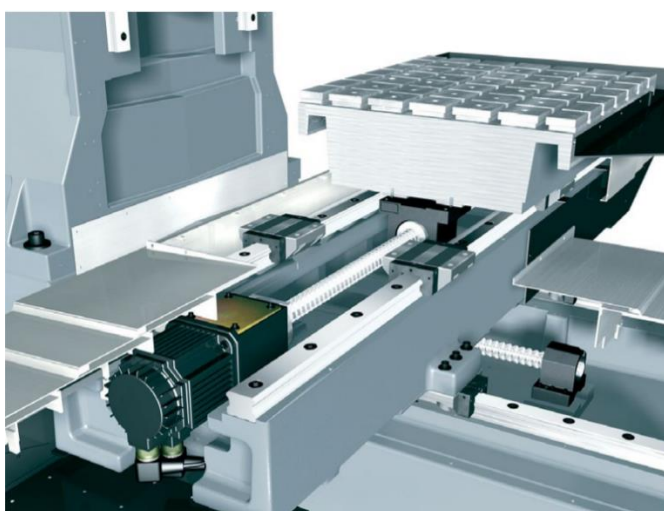


Рисунок 1.7 – Управління рухами за допомогою сервомоторів

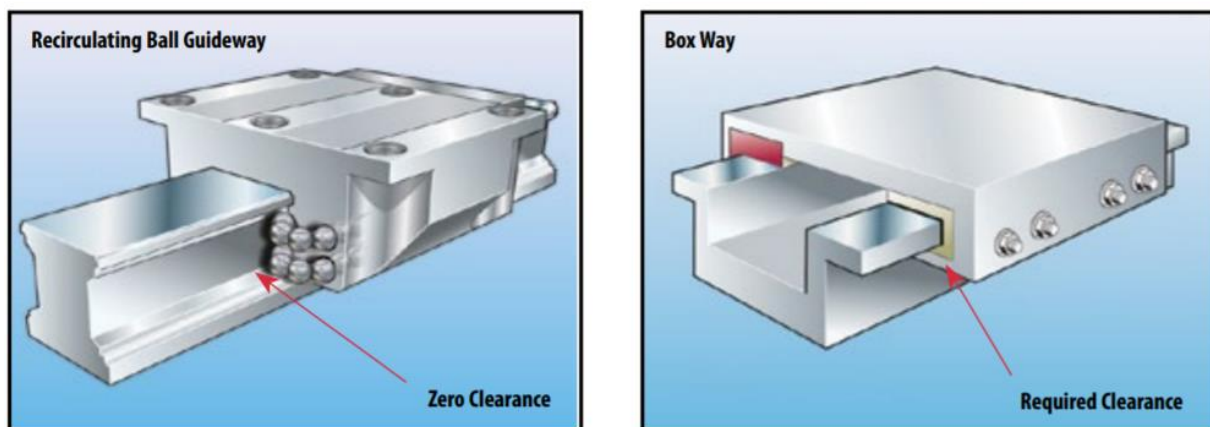
Серводвигуни з'єднані безпосередньо з кульково-гвинтовими кріпленнями за допомогою сталевих дискових муфт, щоб виключити накручування, навіть при

сильному навантаженні. Це значно покращує точність позиціонування та забезпечує більш точне нарізування різьби та контурування. І вони не зношуються і не втрачають точність з часом. Haas використовує найсучасніші тести для перевірки лінійного розташування та геометрії кожної машини. Надточна кулька відстежує рух, коли машина проходить серію рухів для підтвердження синхронного руху та перевірки геометрії машини. Це створює діаграму, що ілюструє стан машини та дані про продуктивність. Будь-які відхилення в геометрії або положенні відображаються як спотворення, які дуже легко помітити. Копія цієї діаграми постачається з кожним Haas VMC як гарантія того, що машина точна та правильно вирівняна [8].



Рисунок 1.8 – Кульково-гвинтова пара станини

Направляючі вісі обробних центрів комплектуються рециркулюючими кульками (рисунок 1.9а), які потребують значно менше енергії, не потребують додаткового регулювання, а також значно кращі ніж направляючі ковзання (рисунок 1.9б) по швидкості і точності переміщення за вказаними координатами.



а)

б)

Рисунок 1.9 – Направляючі вісі обробних центрів:

а) Направляючі із рециркулюючими кульками;

б) Направляючі ковзання.

Рециркуляційні кулькові напрямні попередньо завантажені, щоб забезпечити нульовий зазор між рухомими поверхнями. Це підвищує жорсткість у всіх напрямках, забезпечуючи при цьому більш високу точність і надійність. Вони мають дуже низький коефіцієнт тертя, що дозволяє здійснювати швидші рухи без шкоди до точності розташування. Для роботи направляючих ковзання зазор між рухомими поверхнями. Вони мають високий коефіцієнт тертя, що створює ефект ковзання і що може призвести до помилок машини. Кулькові гвинти виділяють тепло, коли вони обертаються, що може призвести до їх розширення. При високих робочих циклах розширення кулькового гвинта може призвести до помилок різання. Алгоритм електронної термокомпенсації (ETC) запроваджені компанією HAAS точно моделює цей ефект нагрівання та компенсує положення гвинта [8].

Столи із поворотним інтегральним двигуном TRIM (Table Rotate Integral Motor) (рисунок 1.10) є унікальною функцією на високотехнологічних машинах. Концепція TRIM зменшує складність механічних елементів у поворотному столі за допомогою використання інтегрального сервомотора з високим крутним моментом, який змінює складні механічні елементи, такі як черв'ячний редуктор.

Передача крутного моменту відбувається напряму, оскільки двигун є поворотною частиною столу. TRIM робить вісь обертання машини ідеальною [10].

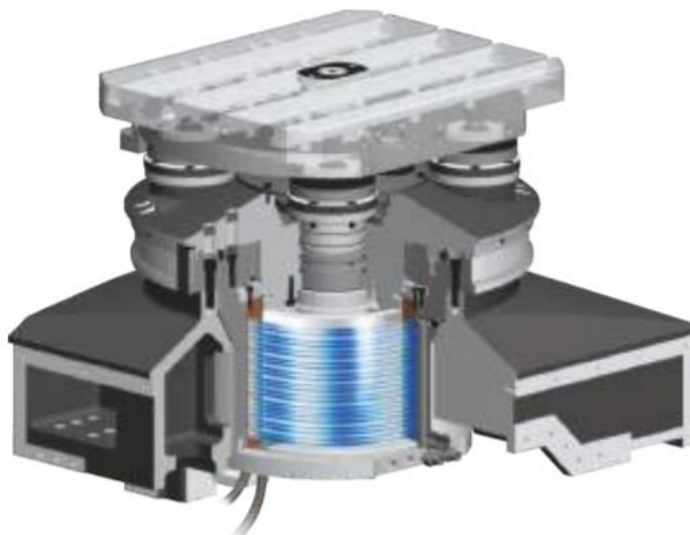


Рисунок 1.10 – Конструкція поворотного столу з інтегральним двигуном

Мінімальна система мастила Naas (рисунок 1.11) складається з двох підсистем, які оптимізують кількість змащування компонентів машини. Система забезпечує змащення лише тоді, коли це необхідно, таким чином зменшуючи кількість мастила, необхідного для машини та обмежуючи ймовірність забруднення охолоджуючої рідини надлишком мастила. Система мастила для лінійних напрямних і кулькових гвинтів базується на відстані, яку проходять осі, а не на відповідному проміжку часу. Мастило вводиться, коли будь-яка з осей пройде відстань, зазначену в елементі керування. Система мастила для шпинделя базується на кількості фактичних обертів шпинделя. Під час роботи шпинделя на низькій швидкості використовується цикл упорскування, що забезпечує належне змащування. Одне заповнення кожної системи повинно тривати щонайменше 1 рік безперервної роботи.

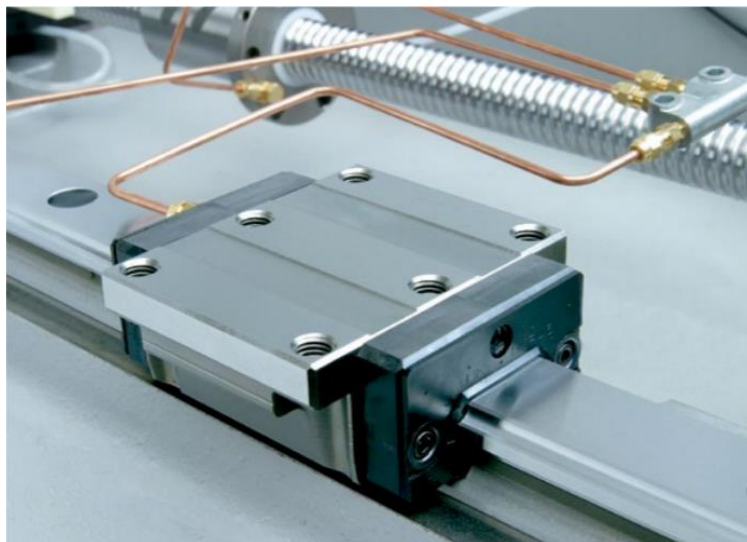


Рисунок 1.11 – Система змащування HAAS

Лінійні шкали забезпечують точність позиціонування вздовж осей X, Y і Z, компенсуючи температурні зміни, властиві всім верстатам. З роздільною здатністю 1 мікрон ці шкали забезпечують надзвичайну точність, необхідну для виготовлення деталей із використанням високоточної механічної обробки [8].

Вдосконалена конструкція головного шпинделя (рисунок 1.12) забезпечує високу осьову тягу, але генерує мінімальне тепло, забезпечує високоточне регулювання швидкості і максимальну продуктивність при важких режимах різання. Щоб гарантувати ідеальне вирівнювання між валом і корпусом, передні та задні отвори корпусу оброблюються за одну операцію та шліфується зовнішня поверхня вала шпинделя за одну операцію. Використовуються попередньо навантажені кутові підшипники з великою прокладкою між двома передніми підшипниками для підвищення радіальної стабільності, що дозволяє сильно різати сталь. Шпиндель знаходиться під тиском, щоб запобігти забрудненню охолоджувальною рідиною і автоматично змащується для забезпечення тривалого терміну служби підшипника [8].

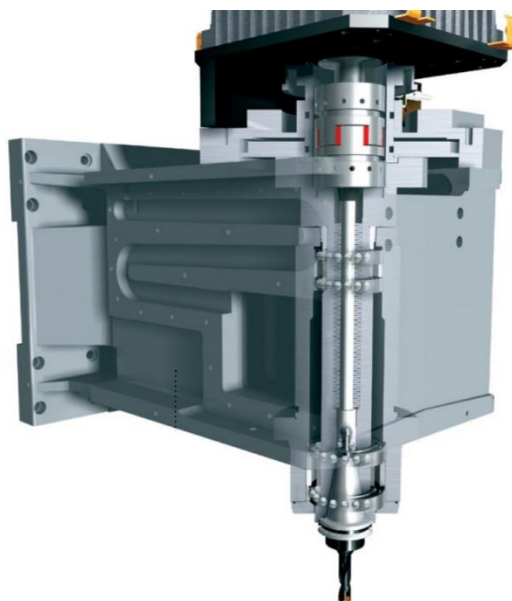


Рисунок 1.12 – Конструкція головного шпинделя

Конструкція шпинделя виконана в гільзі і має назву картриджний шпиндель (рисунок 1.13), така конструкція забезпечує високу здатність сприйняття осьових навантажень. Шпиндель герметизований для запобігання забруднення МОР, а сприскування масляної суміші відбувається із заданою періодичністю, забезпечуючи якісне змазування і високу довговічність підшипників. Картриджна конструкція шпинделя, дозволяє виконувати швидку зміну всього шпинделя і спрощує його обслуговування [12].

Розроблений Naas векторний привід шпинделя використовує технологію цифрового сервоприводу із замкненим контуром для забезпечення точного контролю швидкості та максимальної продуктивності при великих навантаженнях на різання. Система значно збільшує крутний момент і прискорення на низьких оборотах, що дає характеристики найшвидшого та найпотужнішого шпинделя. Ці приводи забезпечують достатній запас продуктивності, щоб підняти шпиндель до 150 відсотків безперервної потужності двигуна протягом 15 хвилин і до 200 відсотків протягом 5 хвилин [8].

Багатоцільові вертикально-фрезерні верстати в основному мають три типи шпинделів (рисунок 1.14).



Рисунок 1.13 – Конструкція картриджного шпинделя

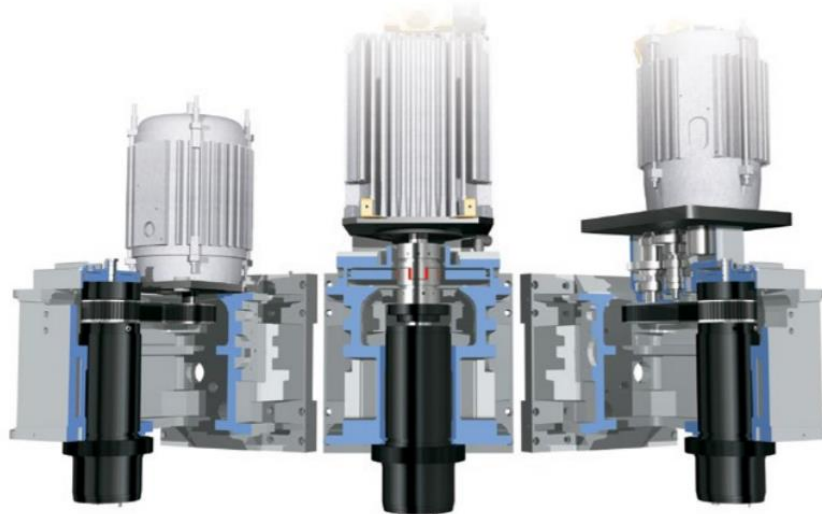


Рисунок 1.14 – Шпинделі вертикально-фрезерних верстатів

Стандартною конфігурацією для більшості вертикально-фрезерних верстатів є вбудований шпиндель з прямим приводом, який з'єднаний безпосередньо з двигуном, щоб забезпечити чудову обробку поверхні та більшу термічну стабільність. Вбудований шпиндель доступний у конфігураціях 8100 об/хв, 10000 об/хв і 12000 об/хв.

Шпиндель з зубчастою головкою забезпечує підвищений крутний момент на нижньому кінці для важкого різання, зберігаючи при цьому здатність до 10000 об/хв для високошвидкісної обробки.

Шпиндель через ремінну передачу – система оснащена шпинделем картриджа, який приводиться в рух від двигуна через ремінь. Це забезпечує гарне поєднання крутного моменту та швидкості для широкого діапазону операцій обробки [8].

Шпинделі мають покращену температурну стабільність за рахунок контакту MOR з усіма поверхнями зони обробки, що понижує температурну деформацію корпусу, а також верстата в цілому. Для підвищення стабільності використовується безпосереднє охолодження шпиндельної головки (рисунок 1.15), що мінімізувати термічні пошкодження головки шпинделя та усунути зміни осей Y та Z , охолоджуюча рідина циркулює через незалежний отвір головки шпинделя, щоб відвести тепло, яке виділяє шпиндель.

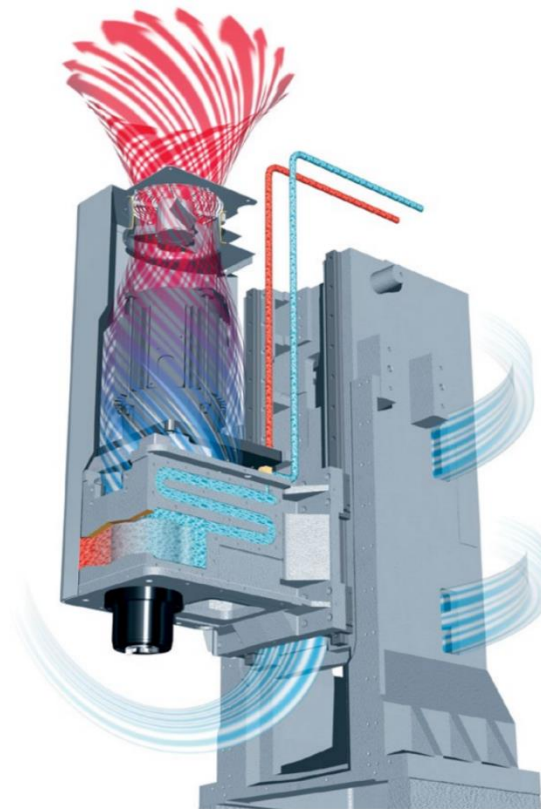


Рисунок 1.15 – Схема охолодження шпинделя

Оскільки охолоджуюча рідина торкається всіх частин зони обробки, вона точно відображає загальну температуру машини, забезпечуючи більшу термостабільність. Для додаткової термостабільності головка шпинделя ізолюється та збільшується потік повітря через вузол. Холодне повітря надходить

із задньої частини верстата, обтікає шпиндель і виходить у верхній частині, подалі від шпиндельної головки [12]. Також, поширене використання допоміжного шпинделя (контршпинделя), повністю синхронізованого із основним шпинделем, це дає можливість проводити оброблення деталі з обох боків за один установ, підвищити продуктивність та скоротити час оброблення деталі [13].

Коробка передач обробних центрів (рисунок 1.16) має відмінну ізоляцію. Зубчасті шестерні Naas оброблені з ЧПК та оброблені з легованої сталі, точно шліфовані за допомогою ЧПК до найвищої якості. Система мастила з сухим картером забезпечує циркуляцію масла до всіх життєво важливих ділянок коробки передач, а поліуретанові опори усувають вібрації, які можуть проявлятися на чистових проходах [8].



Рисунок 1.16 – Ізоляційний бокс вертикально-фрезерних верстатів

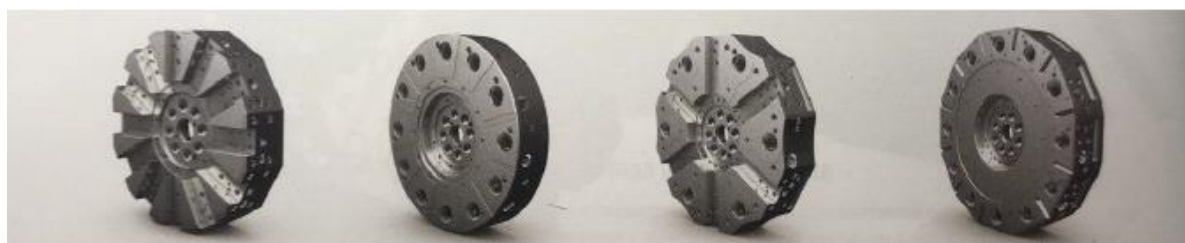
Економічний електронний пристрій зміни інструменту (рисунок 1.17) з 40 конусами є економічним вибором. Синусоїдальна рукоятка прискорює і уповільнює затвор для плавної роботи, а кожна кишеня має висувну кришку, яка запобігає потраплянню стружки в пристрій зміни і прилипання до конусів інструменту. Проста конструкція та мінімальна кількість рухомих частин гарантують довгий термін служби та надійне обслуговування [8].



Рисунок 1.17 – Пристрій зміни інструменту

Пристрій зміни інструменту в якому синхронізований циклоїдний рух пристроїв зміни інструменту з боковим кріпленням, контролюється точними кулачками, які виготовляються власними силами на стандартних 5-осьових верстатах Naas. У цій міцній, надійній конструкції використовується спеціальний черв'ячний привід Naas і система запуску/зупинки з електронним керуванням для тривалого терміну служби та експлуатації без обслуговування.

Револьверні головки для вертикально-фрезерних багатоцільових верстатів за своєю конфігурацією діляться на 4 типи (рисунок 1.18).



а)

б)

в)

г)

Рисунок 1.18 – Різновиди револьверних головок верстатів

Револьверна головка із кріпленням болтами (рисунок 1.18 а), забезпечує надміцне кріплення інструментів і оправок, вона приймає інструменти по всьому периметру, як лівосторонні, так і правосторонні. Стандартна револьверна головка,

яка містить осьові та радіальні привідні інструменти (рисунок 1.18 б). Гібридна револьверна головка, яка має позиції для токарних інструментів, а також для інструментів для обробки в радіальному напрямку (рисунок 1.18 в). 24-позиційна гібридна револьверна головка (рисунок 1.18 г), яка є найбільш популярною і має 12 позицій для токарного інструмента і 12 позицій для інструментів для обробки циліндричних отворів [13].

Системи видалення стружки (рисунок 1.19) з ЧПК є дуже необхідним інструментом, щоб робити деталі швидше. Haas має додаткову систему з одним або кількома шнеками, які автоматично видаляють стружку з корпусу та зручно вивантажують її збоку машини [8].

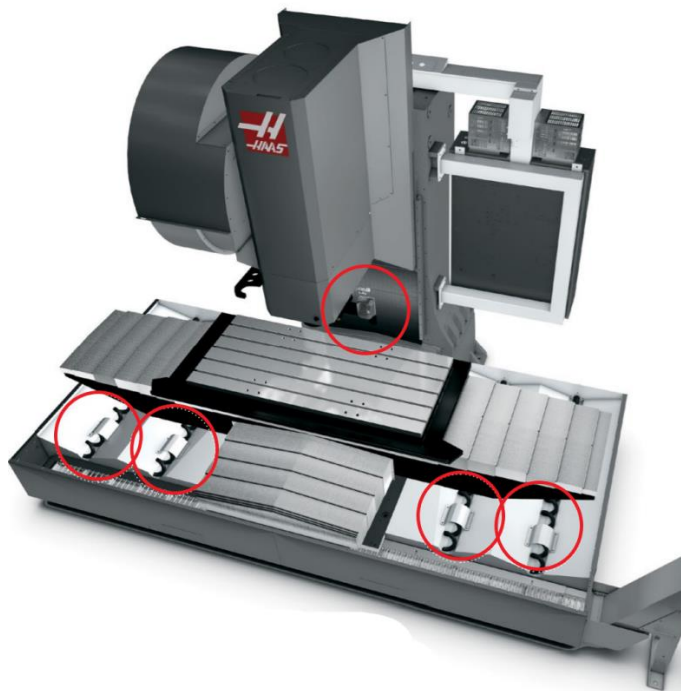


Рисунок 1.19 – Система видалення стружки

Програмована форсунка охолоджуючої рідини (рисунок 1.20) автоматично керується програмою обробки, щоб точно направляти охолоджуючу рідину на зону різання, виключаючи постійні налаштування оператора. Насадку також можна регулювати з клавіатури під час виконання програми [8].

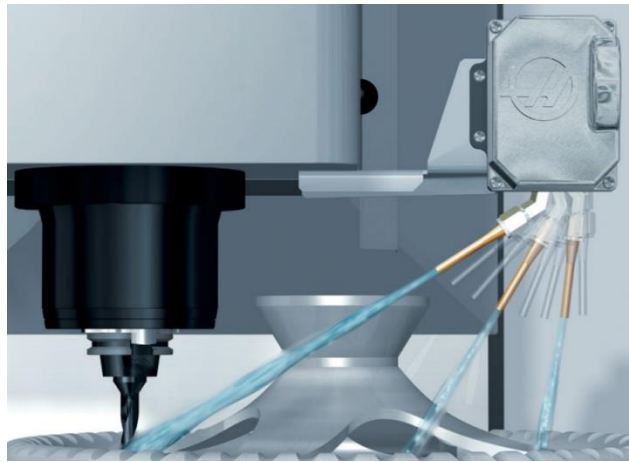


Рисунок 1.20 – Форсунка для охолоджуючої рідини

Також верстати оснащені системою , яка контролює розмір деталі і дозволяє проводити вимірювання деталі безпосередньо на верстаті. Система вимірювання щупом (рисунок 1.21) гарантує підтримку допуску деталей, можливість визначати координати робочих поверхонь, встановлювати корекцію на довжину інструментів, а також виконувати активний контроль інструмента під час роботи [14].



Рисунок 1.21 – Вимірювальна головка

Серед розглянутого переліку проаналізованого верстатного обладнання найпоширенішими системами ЧПК вважаються: Heidenhain (Німеччина), Siemens Sinumerik (Німеччина), Fanuc (Японія), Haas (США). Більшість вертикально-фрезерного обладнання використовує систему програмування, яка базується на

інтуїції, така система допомагає оператору-верстатнику задати основні операції фрезерування без знання кодів. Система ЧПК дозволяє швидко забезпечити налаштування верстата і виконати процеси оброблення, а також забезпечити надійний контроль за інструментом та деталлю під час оброблення. Система самостійно визначає чи правильно виконано налаштування верстата на програмному рівні [15].

Вертикально-фрезерні оброблювані центри дозволяються працювати із заготовками із будь-якого матеріалу. Залежно від області застосування, для якої буде використовуватися спроектована конструкція, існує широкий вибір матеріалів, сумісних із технологією фрезерування з ЧПК. Одним із найбільш поширених матеріалів для фрезерування з ЧПК є метали. Зокрема, алюмінієві сплави, різноманітні сталеві сплави, холоднокатані сталі, нержавіюча сталь, кольорові метали, титан, латунь, дюралеві сплави, в тому числі і деревина, ДВП, ДСП, фанера, а також пластмаса, такі як полівінілхлорид, нейлон, акрил, полікарбонат та поліпропілен, а також органічне скло, штучний та органічний камінь [16].

Перед вибором матеріалу необхідно впевнитися, що обраний матеріал відповідає потребам замовника і є рентабельним. Необхідно відповісти на питання: “Як буде використовуватися деталь? Вага маж значення? Потрібна деталь високої міцності чи термостійкості? Який бюджет проекту?”.

Інженери повинні враховувати довговічність деталі, можливість використання пластика, для зниження ваги, якщо вони готові знехтувати міцністю. Визначити який ступінь міцності потрібен і яким температурним коливанням буде схильна деталь. Обраний матеріал деталі повинен протидіяти екстремальним змінам температури, деформації, руйнуванню під час роботи. Потрібно врахувати міцність матеріалу, зносостійкість, здатність витримувати тертя, твердість, здатність витримувати поверхневі навантаження, хімічну стійкість та температурну стабільність. Наразі, неметалічні матеріали стали популярними серед матеріалів для оброблення на ЧПК, тому що вони легкі та міцні, стійкі до хімічних речовин та корозії, вони більш доступні та економічно

ефективні [17]. Композитні матеріали стають все більш переконливими для завдяки своїм властивостям матеріалу, забезпечують безліч переваг для машинобудування, зокрема їх високий інноваційний потенціал. Використання легких композитних матеріалів з високими властивостями, що демпфують, дозволяє значно зменшити рухомі маси в різних галузях машинобудування. Роботизовані маніпулятори з вуглепластику, балки в верстатах для лазерного різання, патрони, супорти шпинделя в обробних центрах та високошвидкісних фрезерних верстатах вже реалізовані. Зменшення ваги збільшує динаміку приводів та знижує споживання енергії та ресурсів. Розробники прагнуть повною мірою використати весь потенціал нових матеріалів при певних навантаженнях. Для високоточного верстата дуже важливі малі маси та високе гасіння вібрації. Наприклад, можуть бути реалізовані приводи меншого розміру та конструкція зі зменшеними зусиллями обробки. Така оптимізація конструкції також підвищує точність обробки. Приводи меншого розміру викликають менше вібрацій конструкції, а також скорочується перерегулювання під час прискорення та гальмування. Легкі композитні матеріали з високим ступенем демпфування практично не створюють вібрації і таким чином підвищують досягну якість обробки. Вища демпфування також дозволяє збільшити прискорення осі. Конструкційні коливання все частіше призводять до втомних тріщин, які різко скорочують термін служби машин та агрегатів. Таким чином, більш високе демпфування значно продовжить термін служби машин та агрегатів. Ще одна перевага: гарне гасіння цих вібрацій на тримачі інструменту і станині верстата призводить до кращих результатів обробки з точки зору якості поверхні і збільшення терміну служби інструменту. Композити, армовані волокном мають великий потенціал для використання в секторі верстатів, тому що вони забезпечують більш високу динаміку та використання приводних двигунів та напрямних елементів меншого розміру, що значною мірою сприяє підвищенню енергоефективності [18].

Ефективне використання верстатів з ЧПК значною мірою залежить від високого рівня інструментальної оснастки та її раціонального використання [1].

Особливість використання сучасних вертикально-фрезерних обробних центрів є висока якість оброблюваних деталей, тому вибір ріжучого інструменту має високе значення. Ріжучий інструмент повинен забезпечувати надійність, високу міцність, універсальність оброблення заготовки, необхідну точність оброблення, високий рівень зносостійкості та жорсткості, швидку зміну та переналадку, а також протистояти вібраціям під час оброблення. Металорізальний інструмент обирають виходячи із задачі, які ставляться перед обробленням матеріалу на верстаті та як обраний інструмент буде впливати на ефективність виконання робіт. Щоб прорізати тверду заготовку, різальні інструменти повинні бути виготовлені з твердішого матеріалу, ніж матеріал заготовки. Оскільки обробка з ЧПК регулярно використовується для створення деталей з дуже твердих матеріалів, це обмежує кількість доступних матеріалів для різального інструменту. Для виробництва ріжучого інструмента для вертикально-фрезерних верстатів використовують, як правило, вуглецеві сталі, більш дорогі швидкорізальні сталі, для низькошвидкісних операцій, інструменти з карбиду, які мають високу зносостійкість і термостійкість забезпечують високу чистоту поверхні. Керамічні інструменти, що використовуються для різання жароміцних сплавів, чавуну та інших міцних матеріалів, стійкі до корозії та нагрівання. Функція різального інструменту залежить від його форми та матеріалу, але також може регулюватися за допомогою покриття поверх основного матеріалу. Ці покриття можуть зробити інструменти твердішими, збільшити термін їхньої служби або дозволити їм різати на більш високих швидкостях без шкоди для деталі. Нітрид титану (TiN)- це покриття загального призначення з високою температурою окиснення, що підвищує твердість різального інструменту. Карбо-нітрид титану (TiCN) збільшує змащувальну здатність та твердість поверхні ріжучого інструменту. Нітрид титану (Al-TiN) підвищує термостійкість ріжучих твердосплавних інструментів, особливо при мінімальному використанні СОЖ. Алмазне покриття забезпечує високоефективне покриття для різання абразивних матеріалів. Нітрид хрому (CrN) підвищує корозійну стійкість та твердість різального інструменту [19]. Найефективнішим матеріалом для різальних інструментів є інструменти оснащені

твердосплавними пластинами або повністю виготовлені з твердого сплаву, інколи використовують ріжучу кераміку. Для оброблення деталей використовують: різці, різного виду свердла, розвертки, різноманітні фрези та мітчики, церковки, гравірувальні штифти, зенкери [20]. Правильний вибір інструмента налаштує на успішно виконану роботу, дозволить швидко повернути витрати на обладнання, допоможе підвищити продуктивність старого обладнання і зробити роботу більш ефективною.

Для вирішення проблем пов'язаних із інструментальним оснащенням, виробники ріжучого інструменту розробляють передові сплави, матеріали та покриття для оброблення. Розробник ріжучих інструментів “SANDVIK COROMAT” [21] пропонує інноваційні високоякісні покриття “Zertivo” та “Inveio”, зазначені технології підвищують стійкість інструмента, зносостійкість, довговічність та надійність, покращують умови адгезії між основою і покриттям і покращують якість ріжучої кромки. Вони допомагають адаптувати ріжучий інструмент під конкретні умови роботи. Компанія Guhring [22] виготовляє ріжучий інструмент із карбїду і політкристалічного алмаза, шляхом припою алмазний ріжучих головок надвисокої твердості на корпусах із загартованої інструментальної сталі. Новими технологіями компанії є виготовлення метало ріжучого інструмента надрукованого на 3Д принтері. Розробник CERATIZIT [23] пропонує марки карбїдів і металокераміки для біосумісних інструментів для медичної промисловості. Карбїди та металокераміка CERATIZIT значно перевершують стандартні сталеві вироби завдяки своїй надзвичайній твердості, ударній в'язкості, стійкості до руйнування, стійкості до температури та корозії. Фірма KORLOY [24] пропонує ультра дрібнозернистий твердосплавний матеріал на основі зерен карбїду вольфраму, цей матеріал міцний, твердий та має підвищену зносостійкість та теплостійкість для оброблення жароміцних сталей та чавуну.

Багатофункціональні вертикально-фрезерні обробні центри мають багато переваг в порівнянні із традиційними верстатами вертикально-фрезерної групи,

через те що інженери передбачили можливість встановлення на верстаті додаткових пристроїв для механічного оброблення.

Фрезерні пристрої (рисунок 1.22), встановлюється на інструментальний супорт і допомагає економити час та додаткове обладнання.



Рисунок 1.21 – Фрезерний пристрій

Пристрій для шліфування заготовок (рисунок 1.22), встановлюється на револьверну головку або замість неї для швидкого виконання операцій шліфування.



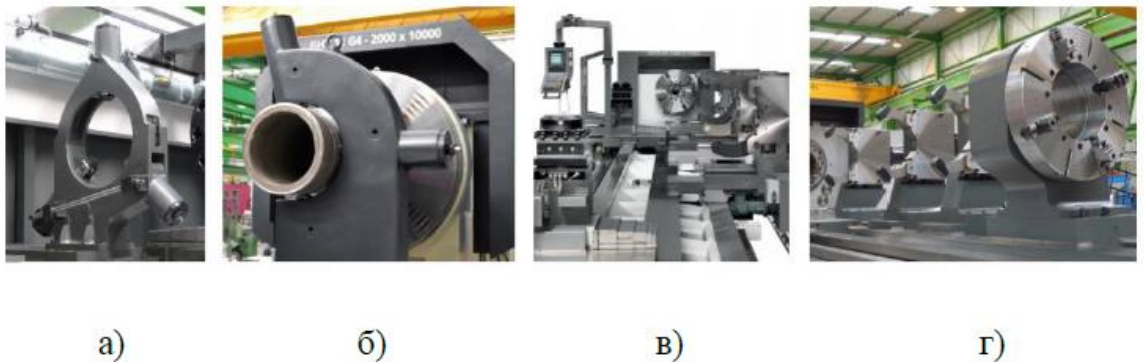
Рисунок 1.22 – Пристрій для шліфування

Пристрій для глибокого розточування (рисунок 1.23), встановлюється на супорт верстата, або на додаткову револьверну головку, або замість неї.



Рисунок 1.23 – Пристрій для глибокого розточування

Декілька видів лонетів (рисунок 1.24): відкриті з двома та трьома точками контакту (рисунок 1.24 а), закриті з трьома та чотирма точками контакту (рисунок 1.24 б), рухомі (рисунок 1.24 в) та нерухомі (рисунок 1.24 г), гідравлічні лонети та ін.



а)

б)

в)

г)

Рисунок 1.24 – Класифікація лонетів

На даний момент, технології машинобудування стали постійним і динамічним елементом нашого світу, а розроблення верстатного обладнання, пристроїв для верстатів та інструментів однією із найбільш трансформуючих технологій в останні декілька років.

Тому, нашою метою в підвищенні ефективності технологічної системи “Верстат – пристрій – інструмент – деталь” є проектування верстату для

забезпечення заданої точності виготовлення деталі за допомогою найкращого поєднання технологічних параметрів налагодження верстату, пристрою, інструменту, які дозволяють визначити зони оптимальної роботи інструмента при мінімальному рівні вібрацій із максимальною продуктивністю і стійкістю ріжучого інструмента і забезпечити задану точність обробки. Відносно того, чи забезпечується задана на кресленні точність, можна буде зробити висновок про ефективність системи ВПД.

Основні задачі, є:

1. Розробити конструкцію вертикально-фрезерного верстата.
2. Розробити технологію складання вертикально-фрезерного верстата.
3. Виконати чисельне моделювання в програмних продуктах ANSYS.

Дослідити напружено-деформований стан системи за допомогою модального аналізу, гармонічного аналізу та статичного аналізу вузлів верстата.

4. Перевірити оптимальні умови оброблення, використовуючи які, ми зможемо визначити оптимальний критерій точності для подальшої обробки, не знижуючи продуктивності верстата і не підвищуючи собівартості виготовленої деталі, а також при яких досягається задана на кресленні точність та якість поверхні.

2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Службове призначення верстата

Даний пункт передбачає розробку просторової, тривимірної моделі вертикально-фрезерного верстата (рисунок 2.1), його ланок із яких він складається та допоміжних компонентів. На основі проведеного аналізу даний вертикально-фрезерний гравірувальний верстат із ЧПК призначений для фрезерування, свердління, гравірування та 4-х осьового комплексного оброблення із використанням поворотної осі деталей типу валів, дисків, фланців, втулок. Даний верстат призначений для роботи в домашніх умовах одиничного виробництва. Виконується як фрезерна обробка, свердління, розточування отворів, так і точіння. Верстат можна використовувати для виконання складної графіки у вигляді фігурних зображень та рельєфів за допомогою програмування. 4-х осьове фрезерування дає можливість оброблювати виріб з усіх сторін без зупинки, а також без застосування додаткових операцій переналагодження деталі на робочому столі. Даний спосіб оброблення дозволяє отримувати деталі складної форми. Виготовляти та оформлювати різноманітні фігури, статуетки, обручки, елементи ювелірної та сувенірної продукції, гравірувати та оформлювати контури. Крім того для безперервної роботи верстата, передбачена система управління верстатом за допомогою комп'ютера та програмного САМ (Computer-aided manufacturing) модуля для створення керуючої програми "ARTCAM". Даний верстат має два типи 4-х координатного оброблення: перший тип – це безперервне оброблення і другий – це позиційне оброблення. Безперервне оброблення змушує фрезу переміщуватися по трьом координатам і своєчасно виконувати оброблення. Позиційне оброблення застосовує поворотну вісь для зміни положення заготовки, а інші операції виконуються в тривимірному режимі. Даний вертикально-фрезерний верстат оснащений одним фрезерним та одним токарним шпинделем. Використовується для створення рельєфів, здатний виконувати найскладніші технологічні завдання, і досить легкий у керуванні. Зокрема, на верстаті можна виконати програмне завдання на виготовлення художнього гравірування, напису,

малюнка в графічному форматі 3D. Даний верстат призначений для роботи із деревом, фанерою, пластиком, пінопластом, полікарбонатом, воском, текстолітом, кольоровими металами. На верстаті можливе гравірування кольорових металів, скла, а також каменю, за умови правильного налагодження.

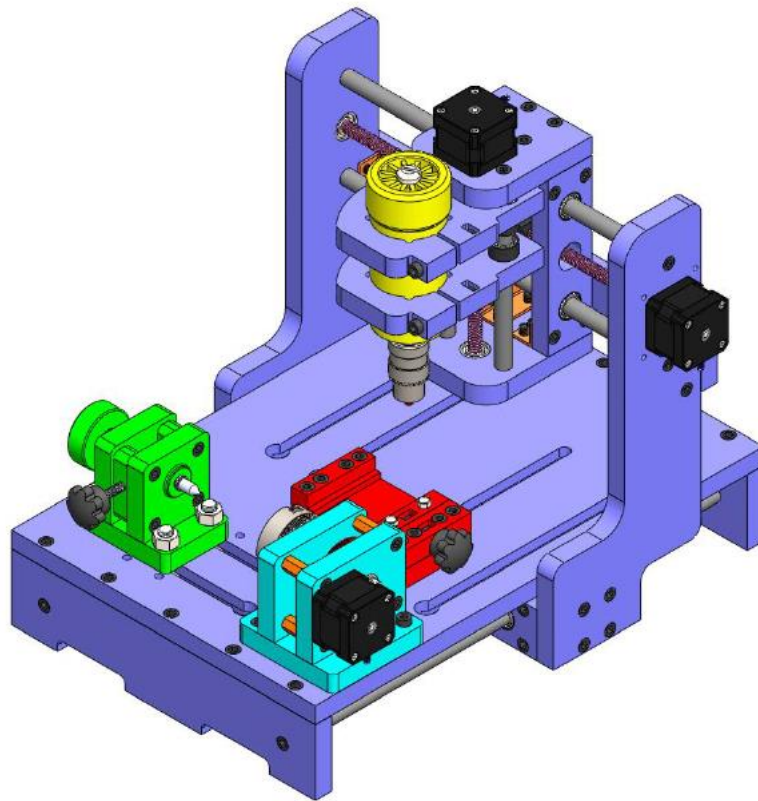


Рисунок 2.1 – Просторова модель вертикально-фрезерного верстата

При достатньо компактних розмірах і невеликій масі верстат має жорстку компактну станину із полівінілхлориду 15 мм, на якій розміщується свердильний модуль (рисунок 2.2), шпindelний модуль (рисунок 2.3), пристрій для затискання заготовок (рисунок 2.4), а також підтискний центр (рисунок 2.5).

Розглянемо детальніше кожен модуль верстата.

2.2 Свердильний вузол

Свердильний вузол (рисунок 2.2) являє собою окремий блок, корпус якого komponується трикулачковим патроном, який забезпечує функцію надійного закріплення ріжучого інструмента на осі шпинделя верстат. Конструкція трикулачкового патрона складається із наступних основних елементів: корпусу, обойми, хвостовика та кулачків. Обойма має три пази із кулачками або затискачами. Фіксація здійснюється за допомогою ключа. В процесі свердління або фрезерування, хвостовик патрона провертається а корпусі в напрямку годинної стрілки, тим самим збільшує силу фіксації інструмента. При зміні інструмента обойма провертається проти годинникової стрілки, тим самим розтискаючи кулачки. Таким способом здійснюється затиск або звільнення ріжучого інструмента [25].

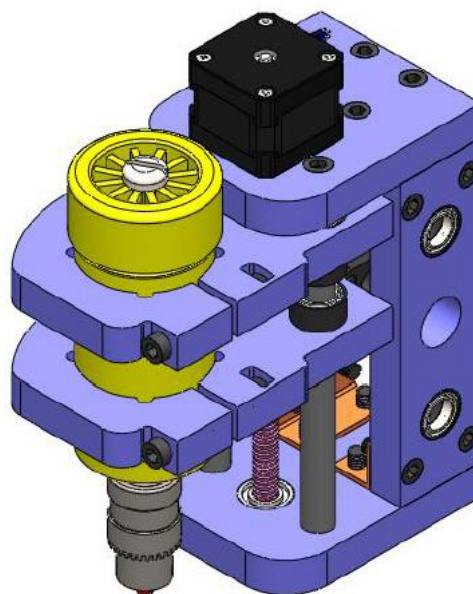


Рисунок 2.2 – Свердильний вузол верстата

Свердильний модуль рухається по ходовим валам вздовж осі X до 200 мм, а свердильний патрон переміщується вертикально по осі Z до 80 мм. Весь рухомий модуль може перемішуватися по осі Y до 300 мм. Свердильний патрон використовується для фіксації інструменту діаметр, якого варіюється в межах 2,68-3,175 мм. Конструкція і різноманітність оснащення дозволяє використовувати його для цілого ряду технологічних операцій: свердління

отворів, як наскрізних так і глухих потрібної довжини, розсвердлення раніше просвердлених отворів бід більший діаметр, зменшення шорсткості отворів шляхом зенкерування, розсортування отворів циліндричної форми, підготовка фасок і пазів під шайби, потайні головки шляхом зенкування, нарізання різьб мітчиком на всю глибину або її частину, виконання ряду фрезерних операцій, таких як фрезерування торців та пазів. Даний патрон вертикально-фрезерного верстата, також призначений для закріплення гравірувального інструмента та виконання гравірувальних операцій, таких як створення малюнків, об'ємних зображень, форм і написів. Базування свердлильного вузла здійснюється за допомогою основної конструкторської бази, що являє собою циліндричні отвори на бокових планках свердлильного модуля. Допоміжною конструкторською базою є вали рухомого модуля.

2.3 Шпиндельний модуль

Шпиндельний модуль (рисунок 2.3) вважається однією із основних частин даного вертикально-фрезерного верстата. Шпиндельний модуль нерухомо закріплений на станині верстата шляхом болтового з'єднання.

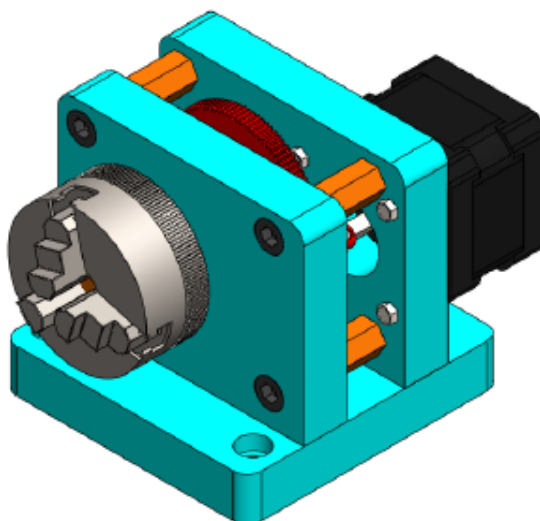


Рисунок 2.3 – Шпиндельний модуль верстата

Даний модуль складається з планок корпусу, токарного шпинделю і крокового двигуна, за допомогою якого шпindel здійснює обертання через вал та зубчасту передачу. Шпindel є основним конструктивним сегментом шпindelного модуля, являє собою пристрій із циліндричним отвором і призначений для закріплення різноманітного оснащення або деталей, виконаний із високоміцної сталі, що є необхідним для безпечної експлуатації верстата, довговічності деталі і високої точності виконання робіт. Складається із трьох рухомих елементів (кулачків), за допомогою яких фіксується деталь або інструмент. Має спіральну конструкцію, яка виконує центрування і одночасно фіксує її, даний механізм зменшує час на необхідну додаткову підготовку. Шпindelний модуль призначений для закріплення деталі на осі шпинделя та центрування заготовки. Конструкція шпинделя забезпечує швидку зміну деталей та закріплення заготовок типу валів діаметром до 50 мм, а довжиною до 115 мм. Завдяки його використанню досягається надійна фіксація, а затискне зусилля збільшується при великих крутних моментах. Закріплена деталь обертається при роботі із потрібною частотою, не зривається та зберігає правильне положення. Шпindelний модуль верстата базується на станині верстата по плоскій поверхні шляхом болтового з'єднання по отворах, які знаходяться на станині. Основною конструкторською базою є чотири отвори та нижня плоска поверхня шпindelного вузла, допоміжною конструкторською базою є отвори на станині верстата. На даний вертикально-фрезерний верстат можливе встановлення різних типів шпинделів. На сьогоднішній день існують різні типи шпинделів, які відрізняються за способом фіксації ріжучого інструменту, приведення ротора в дію, а також типу матеріалу, придатного для обробки. Зокрема пристрої невеликої потужності (0,8 кВт) призначені для обробки фанери, гравіювання металевих виробів, а також для роботи з тонким пластиком. Шпинделі, потужність яких становить 1,5 кВт, використовуються з метою обробки алюмінію та латуні. Для роботи з твердими породами дерева потрібне застосування пристрою потужністю 2,2 кВт. Обробка міцних матеріалів потребує використання шпинделів, потужність яких становить 3 кВт. Для різання твердих матеріалів потрібна

потужність 4 кВт, а робота з твердими заготовками із металу та дерева передбачає застосування шпинделя, потужність якого не менше 4,5 кВт [26].

2.4 Верстатні лещата

Верстатні лещата (рисунок 2.4) - це спеціальний пристрій закріплений на столі верстата шляхом болтового з'єднання і використовується для ручної фіксації оброблюваної деталі в ході технологічної операції

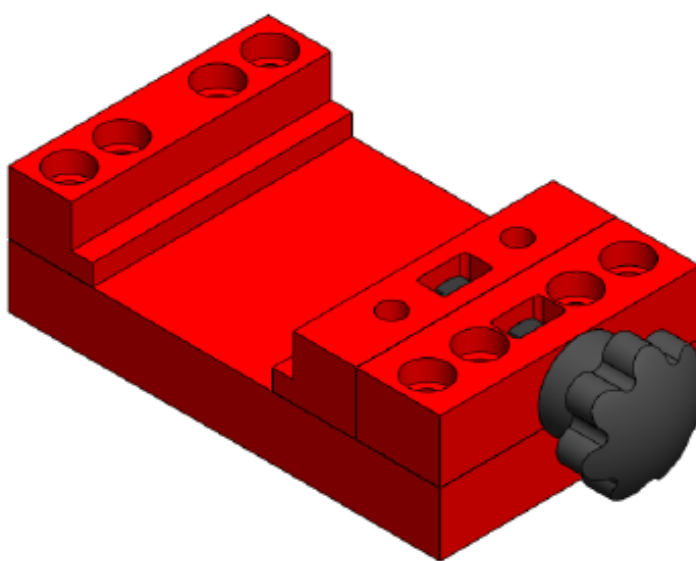


Рисунок 2.4 – Верстатні лещата

Забезпечує надійний контакт заготовки з встановлювальними елементами та запобігає їх вібрації. Мають гвинтовий механізм для встановлення та закріплення заготовки для свердлильних та фрезерних операцій. Являє собою корпус та двоє губок для фіксації, одна з яких нерухома, а одна рухома притискається до деталі і виконує закріплення за допомогою гвинтового механізму. Ширина губок 20 мм, висота губок 15 мм, максимальний розмір встановлення заготовки для оброблення 50 мм. При цьому є можливість регулювати силу затиску заготовок, за допомогою гвинтового механізму. В залежності від виконуваних робіт на даний верстат можливе встановлення спеціальних верстатних лещат, таких як поворотних та універсальних. У відмінності від традиційних нерухомих лещат, губки

поворотних лещат можуть бути повернуті навколо своєї осі на потрібний кут обробки, який регулюється за допомогою шкали. Універсальні лещата можна повертати навколо горизонтальної осі на кут до 90°. Пневматичні лещата, які створюють умови затиску заготовки за допомогою тиску повітря, що дозволяє надійно фіксувати заготовку для обробки. Синусні лещата для фіксації деталі під потрібним кутом по відношенню до площини верстата. Для закріплення у лещатах заготовок неправильної форми використовують замість плоско паралельних губок фасонні, а також губки призматичної форми для закріплення циліндричних заготовок [27]. Основними конструкторськими базами є нижня поверхня пилити та 4 отвори для установчих болтів.

2.5 Задній підтискний центр

Задній підтискний центр вертикально-фрезерного верстата (рисунок 2.5) складається із корпусу виконаного із двох планок із конусним центром із високоякісної сталі, який призначений для центрування та фіксації (підтиску) оброблюваних заготовок типу валів, діаметр яких перевищує в 5 разів і більше, а також заготовок, які мають установочні центрові отвори.

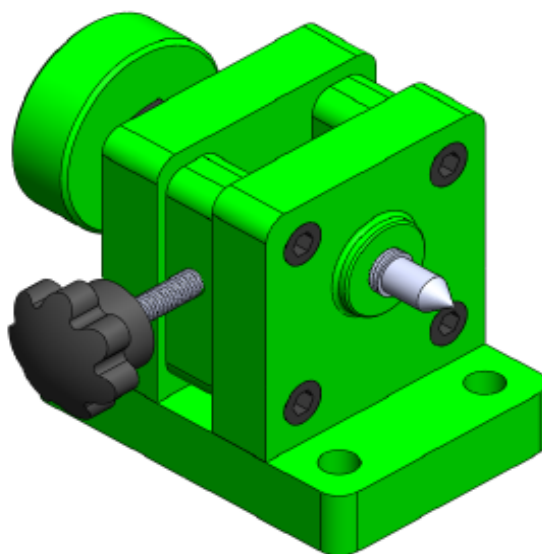


Рисунок 2.5 – Підтискний центр

Закріплюється на станині вертикально-фрезерного верстата шляхом болтового з'єднання, головки болтів входять в повздовжні пази стола та служать для виставлення положення необхідного для оброблення. Регулювання положення здійснюється вручну. В якості заживного пристрою використовується передній опорний центр, який може бути закріплений в токарному шпинделі. Задній центр є нерухомим, а передній обертається разом із заготовкою. Найбільша довжина оброблюваної заготовки 115 мм. Найбільший діаметр центрового отвору 8 мм. Задній центр має робочий конус виконаний за стандартами із кутом 60 градусів. Як правило, даний центр використовується при невеликій швидкості оброблення, так як між робочим конусом і заготовкою з'являється тертя, що може призвести до швидкого зносу. Для зменшення тертя у центрувальний отвір вводиться густа змащувальна рідина, яка під час обертання заготовки нагрівається і зменшує тертя. Задній центр базується по плиті верстата за допомогою 4-х установочних болтів по повздовжнім пазам на станині верстата. Основна конструкторська база є нижня плоска поверхня центра і чотири установочних отвори. Допоміжною конструкторською базою є пази на станині верстата.

2.6 Кроковий електродвигун

Кроковий електродвигун (рисунок 2.6) – це обертовий електродвигун із дискретним переміщенням ротора, за рахунок імпульсів сигналу керування.

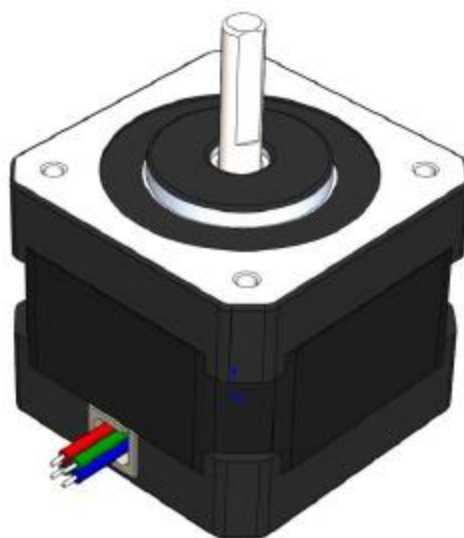


Рисунок 2.6 – Кроковий електродвигун

Крокові двигуни безпосередньо перетворюють керуючий сигнал у вигляді послідовності імпульсів в пропорційний числу імпульсів і фіксований кут повороту валу або лінійного переміщення механізму, тобто імпульс перетворюється у крок. Стандартна частота обертання валу електродвигуна 200 кроків/оберт. Це означає, що за кожен повний оберт на 360° , один повний оберт валу двигуна потрібно 200 кроків. Така система застосовується для верстатів з ЧПК, щоб точно визначати кількість кроків, яка нам потрібна. За допомогою програмного забезпечення користувач повідомляє двигуну, куди йому рухатися і враховуючи, що двигуну достатньо потужності він перемістить вузол в потрібну позицію. Конструкція крокового двигуна (рисунок 2.7) достатньо проста, складається із ротора і статора. Статор – нерухома частина. Ротор – рухома частина [28].

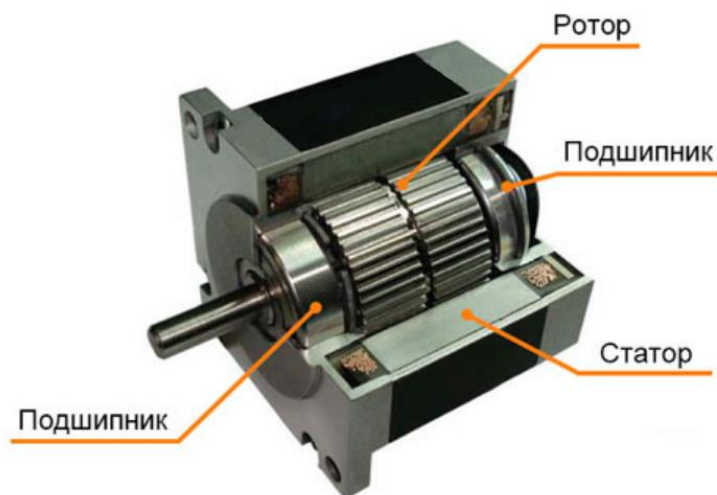


Рисунок 2.7 – Конструкція крокового двигуна

Даний двигун з'єднується з ходовими валами за допомогою з'єднувальної втулки (муфти), яка служить для з'єднання приводного валу з валом ротора. Кроковий двигун не призначений для неперервного обертання в його параметрах потужність не вказують. Основним завданням муфти є передача крутного моменту з ротора двигуна на приводний гвинт.

2.7 Технічні характеристика вертикально-фрезерного верстата

Числове програмне керування активно впроваджується в сучасні виробничі процеси. Ми розробили універсальну конструкцію вертикально-фрезерного верстата із додатковим токарним модулем, для виконання фрезерування, свердління, гравірування та 4-х осьового комплексного оброблення.

Для ефективного використання вертикально-фрезерного верстата необхідно знати його технічні характеристики.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристика вертикально-фрезерного верстата

Характеристика	Значення
Розміри верстата, мм	450x310x350
Діапазон переміщень рухомого модуля:	
вздовж осі X, мм	200
вздовж осі Y, мм	300
вздовж осі Z, мм	80
Висота просвіту верстата, мм	До 100
Діаметр отвору в шпинделі, мм	15
Найбільший діаметр оброблюваної заготовки в пристрої, мм	45
Найбільша довжина оброблюваної заготовки в пристрої, мм	115
Потужність приводу, Вт	300
Напруга живлення, В	8-35
Діапазон повороту свердлильного модулю, град	±90
Крутний момент, Н·см	24
Максимальна робоча швидкість, мм/хв	2500
Швидкість гравірування, мм/хв.	300-2500
Маса верстата, кг	20

3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Загальний опис технології складання вертикально-фрезерного верстата

Даний розділ описує найефективнішу технологію складання вертикально-фрезерного верстата. Для вертикально-фрезерного верстата (рисунок 3.1) представлена наступна технологія складання. Для ефективності складання була обрана методика складання окремих вузлів верстата: рухомого модуля, свердлильного модуля, свердлильного вузла, шпиндельного модуля, заднього підтискного центра та верстатних лещат, які встановлюються на базову основу верстата.

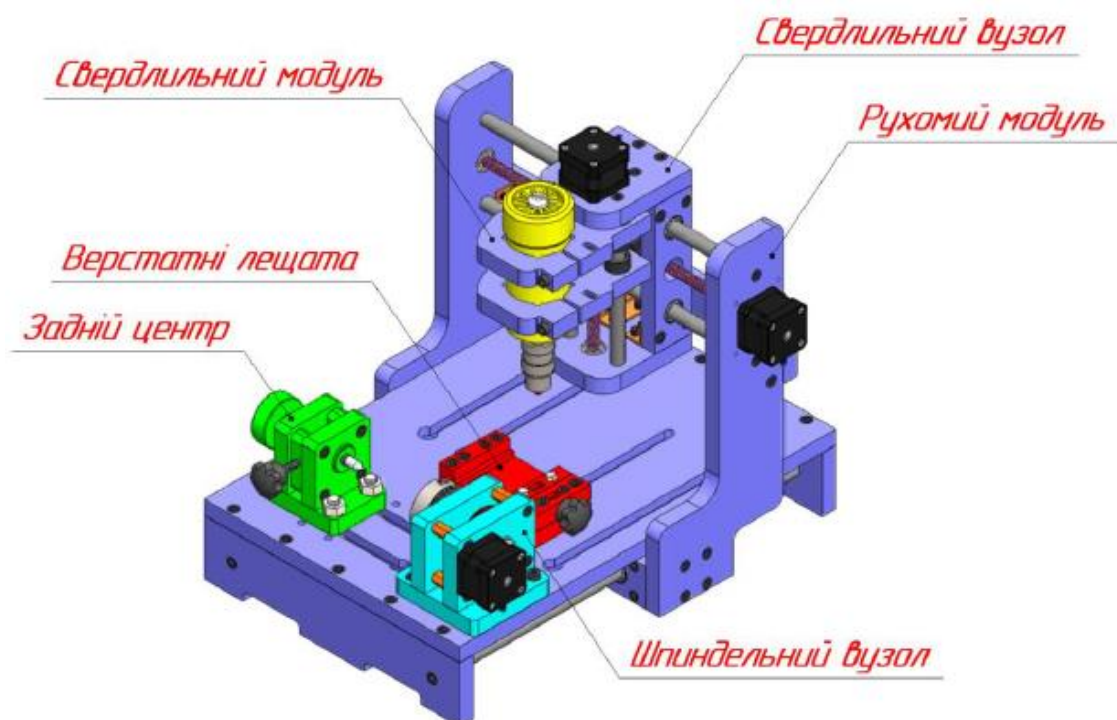


Рисунок 3.1 – Вертикально-фрезерний верстат в сборі

По представлені технологічній схемі складання, даний верстат утворюється шляхом складання кожного окремого вузла із базової деталі, що являє собою нижню основу з якою і починається складання і до якої приєднуються всі наступні деталі та вузли верстата. Основна технологічна схема складання

вертикально-фрезерного верстата складає п'ять вузлів та дванадцять деталей, які послідовно встановлюються на базову основу. Обов'язковою умовою перед початком складальних робіт, це перевірка складальних пристроїв на працездатність, а також змазування підшипників, а саме їх посадкових місць спеціальною змащувальною речовиною МК-8 ГОСТ 6457-66. Для втулок використовувати мастильну речовину "Літол-24".

Детально розглянемо технологію складання кожної складальної одиниці окремо.

Базовою основою для складання є нижня пластина, до якої за допомогою клейового з'єднання приєднуються втулки в зборі (рисунок 3.3).

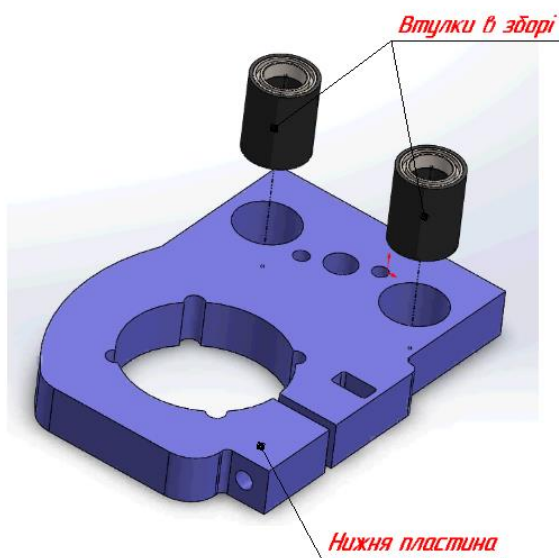


Рисунок 3.3 – Монтаж втулок

Наступним кроком є встановлення осей 1-5 L=50 ГОСТ 9650-80, гайок М5Х0,8 ГОСТ 5915-70 шляхом різьбового з'єднання та пружин (рисунок 3.4).

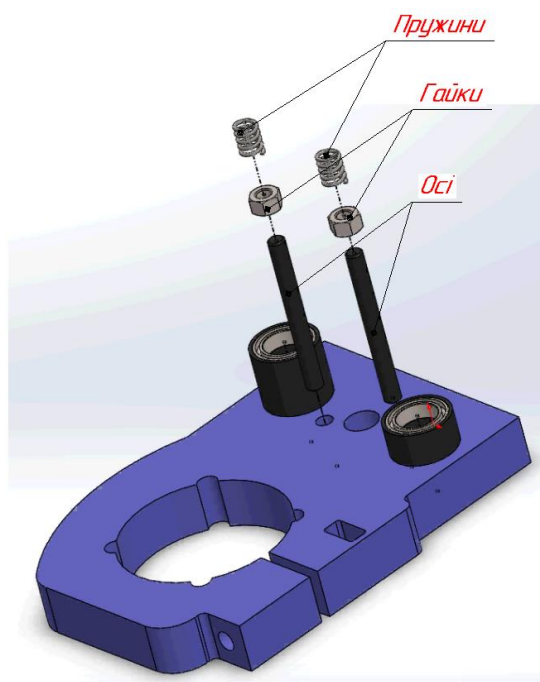


Рисунок 3.4 – Монтаж осей, гайок та пружин.

На осі за допомогою з'єднання з натягом встановлюється елемент бобишка (рисунок 3.5).

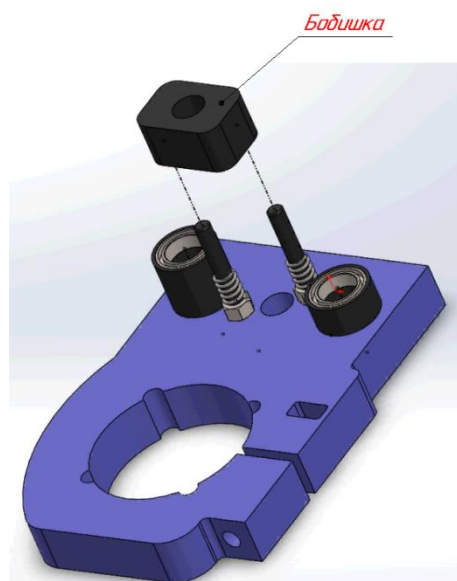


Рисунок 3.5 – Монтаж бобишки

Отвори у втулках є базовими елементами для встановлення ходових валів, які закріплюються болтами М6Х25 ГОСТ 7805-70 із нижньою планкою (рисунок 3.6).

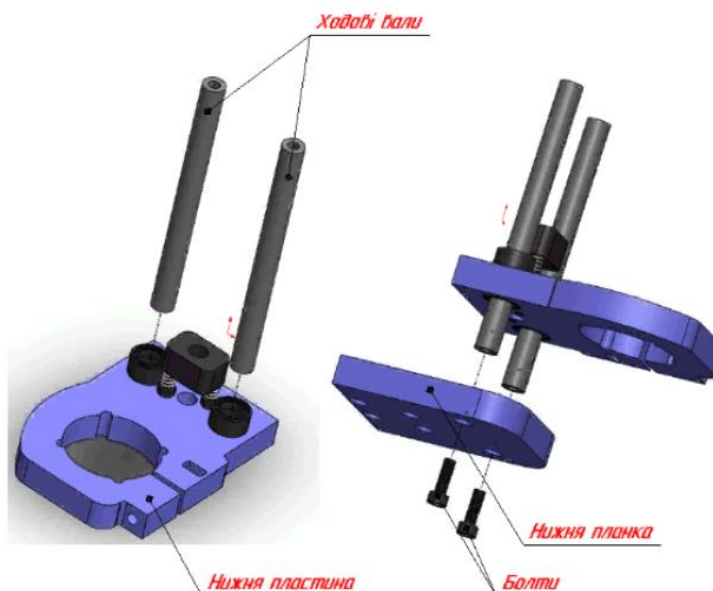


Рисунок 3.6 – Встановлення ходових валів

Наступник кроком є запресування підшипника у посадковий отвір нижньої планки, далі в підшипник по посадці із натягом встановлюється ходовий гвинт (рисунок 3.7) для переміщення свердлильного пристрою у вертикальному напрямку.

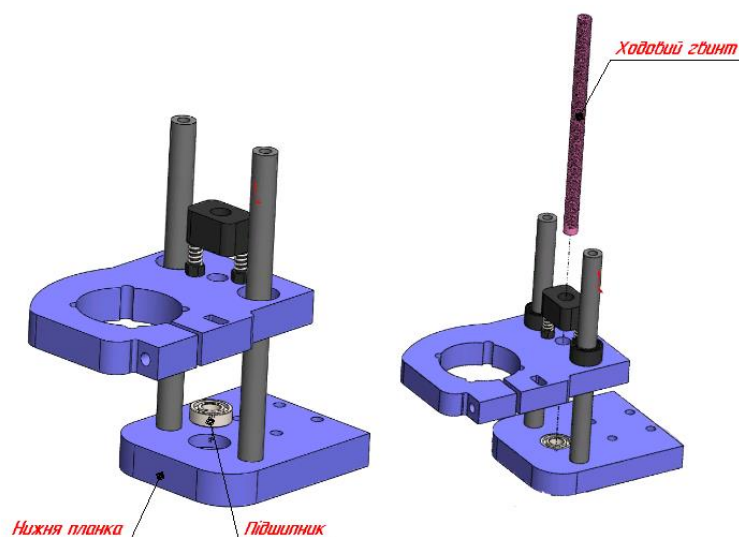


Рисунок 3.7 – Монтаж підшипника та ходового гвинта

На ходові вали встановлюються втулки в зборі та верхня планка шляхом клейового з'єднання герметиком (рисунок 3.8).

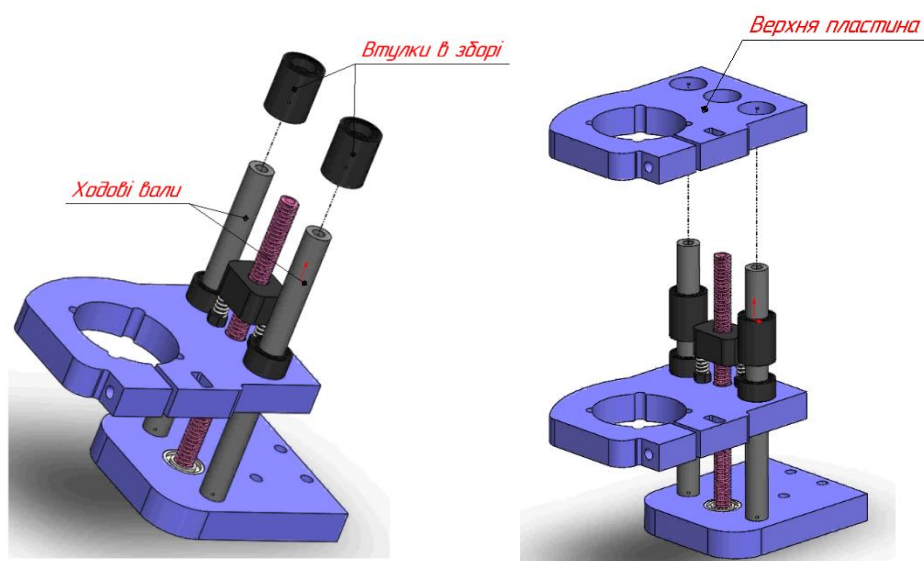


Рисунок 3.8 – Монтаж втулок та верхньої пластини

В посадковому отворі у пластинах закріплюється свердильний пристрій (рисунок 3.9) шляхом болтового з'єднання болтами М6Х50 ГОСТ 7805-70 і гайками М6Х1 ГОСТ 5915-70.

На нижню планку шляхом різьбового з'єднання встановлюються кутники (рисунок 3.11) для закріплення свердильного модуля із рухомим модулем верстата, на ходовий гвинт встановлюється муфта для з'єднання із валом крокового двигуна і передачі обертового моменту.

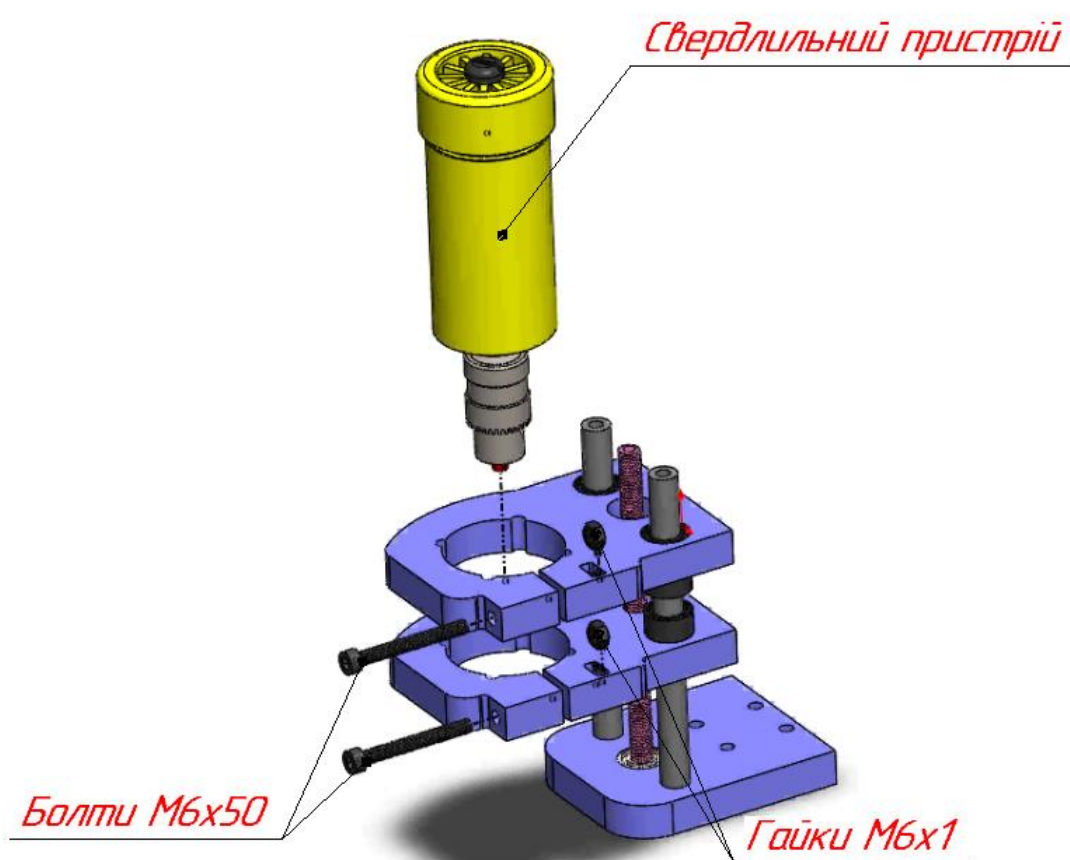


Рисунок 3.9 – Монтаж свердильного пристрою

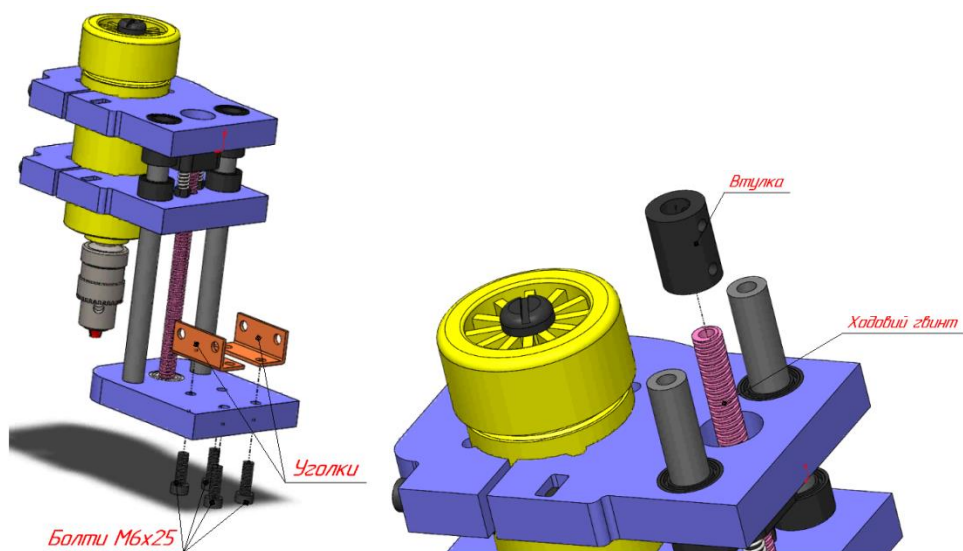


Рисунок 3.10 – Монтаж уголків і муфти на ходовий гвинт

Кінцевий вигляд свердильного модуля і його елементів представлений на рисунку 3.11.

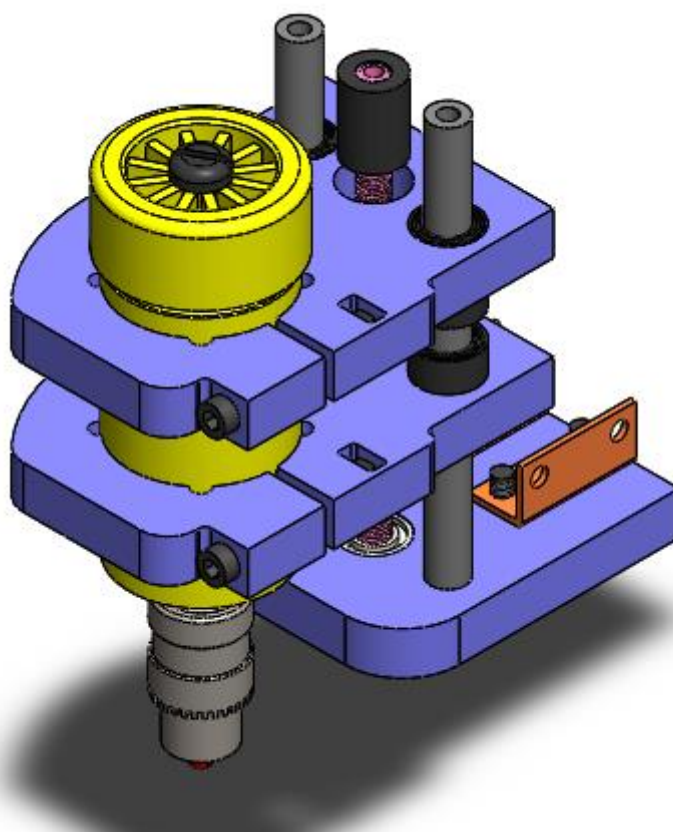


Рисунок 3.11 – Свердильний модуль

3.3 Технологічний процес складання свердлильного вузла

Другим етапом, є складання свердлильного вузла (рисунок 3.) та розроблення технологічної схеми складання свердлильного вузла (рисунок 3.12).

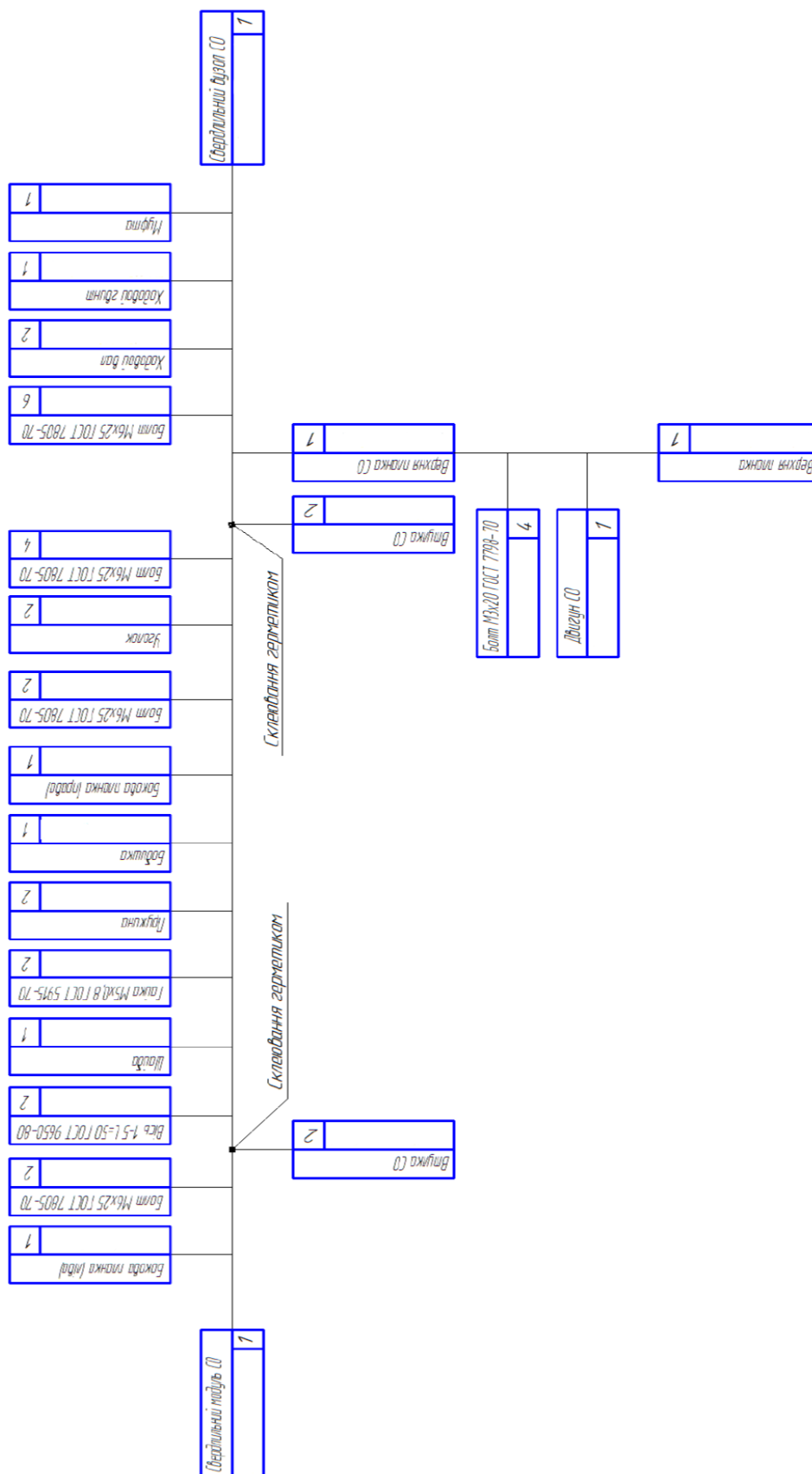


Рисунок 3.12 – Технологічна схема складання свердлильного вузла

Етап складання свердлильного вузла починається із приєднання до кріпильних елементів нижньої планки свердлильного модуля в зборі бокової планки (лівої) шляхом різьбового з'єднання із використанням болтів М6Х25 ГОСТ 7805-70 (рисунок 3.13).

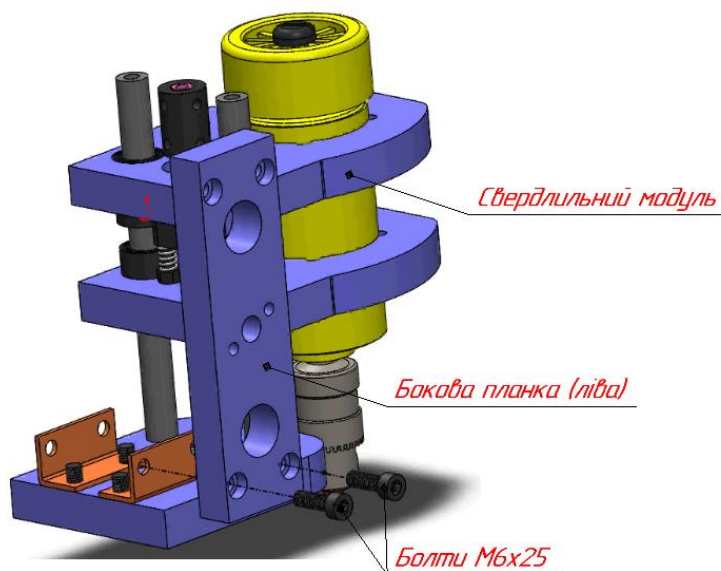


Рисунок 3.13 – Монтаж бокової планки (лівої)

В посадкові отвори і боковій планці встановлюються втулки в зборі за допомогою клейового з'єднання герметиком (рисунок 3.14).

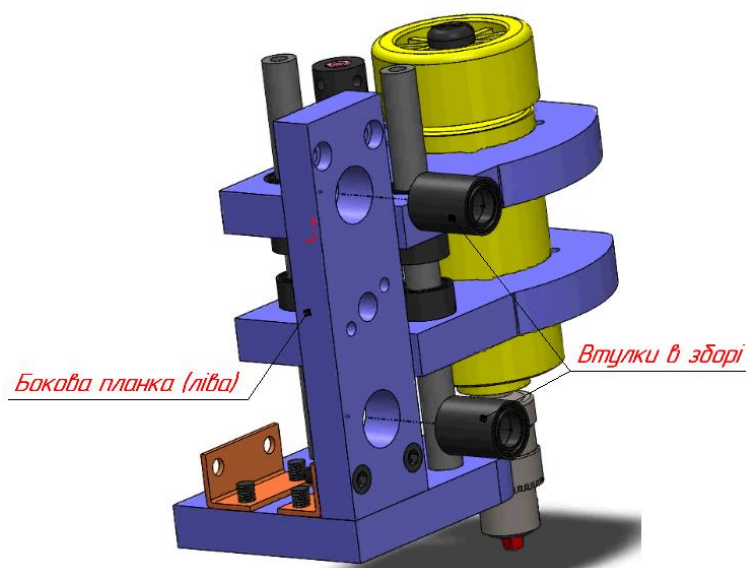


Рисунок 3.14 – Монтаж втулок

Наступний кроком є встановлення посадкових елементів для подальшого монтажу ходових валів і ходового гвинта, осей 1-5 L=50 ГОСТ 9650-80, шайби, бобишки та пружин по посадці із натягом та двох гайок М5Х0.8 ГОСТ 5915-70 (рисунок 3.15) та встановлення бокової планки (правої) шляхом різьбового з'єднання болтами М6Х25 ГОСТ 7805-70 (рисунок 3.16).

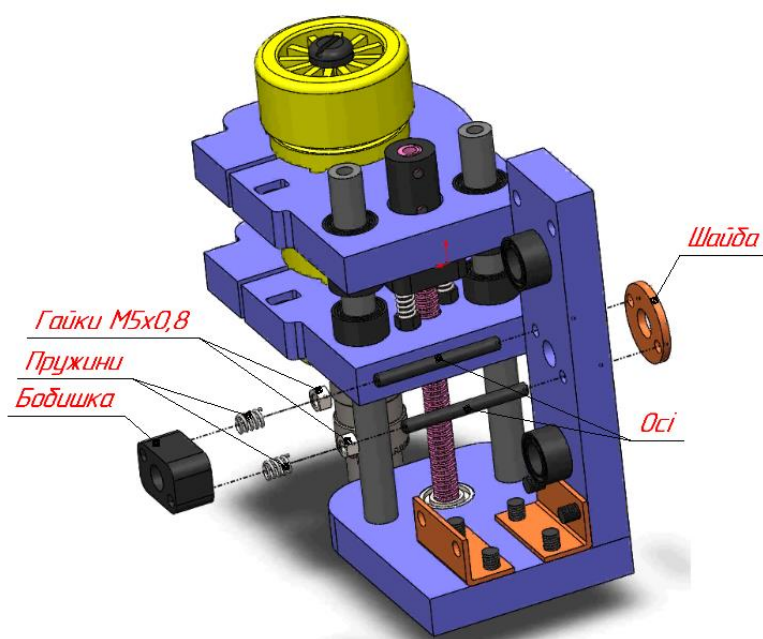


Рисунок 3.15 – Монтаж посадкових елементів

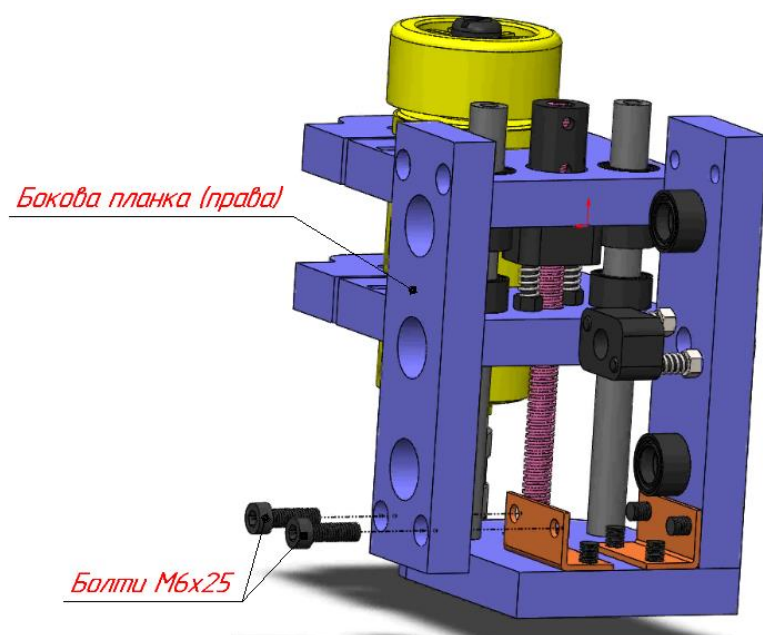


Рисунок 3.16 – Монтаж бокової планки (правої)

В посадкові отвори бокової правої планки встановлюються втулки в зборі шляхом застосування клейового з'єднання герметиком (рисунок 3.17).

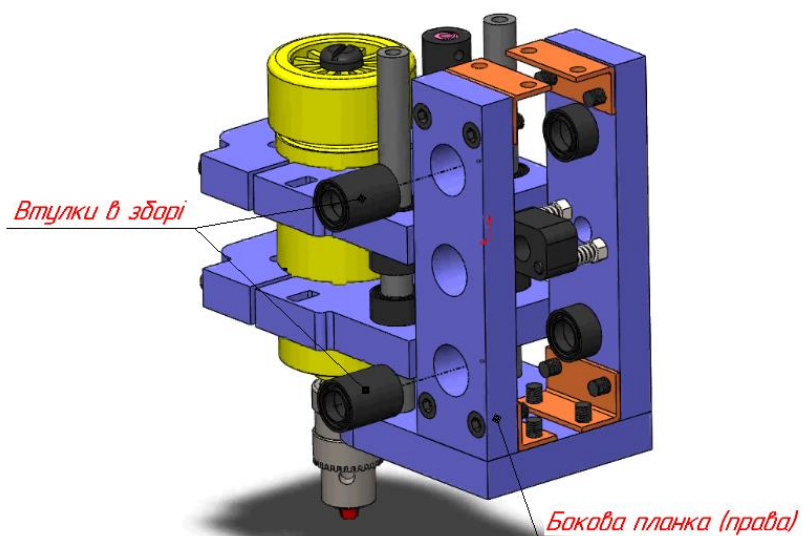


Рисунок 3.17 – Монтаж втулок у посадкові отвори бокової планки (правої)

Верхні отвори на бокових планках служать для встановлення кріпильних елементів уголків (рисунок 3.18) шляхом різьбового з'єднання із використанням болтів М6х25 ГОСТ 7805-70 для подальшого монтажу верхньої планки в зборі (рисунок 3.19).

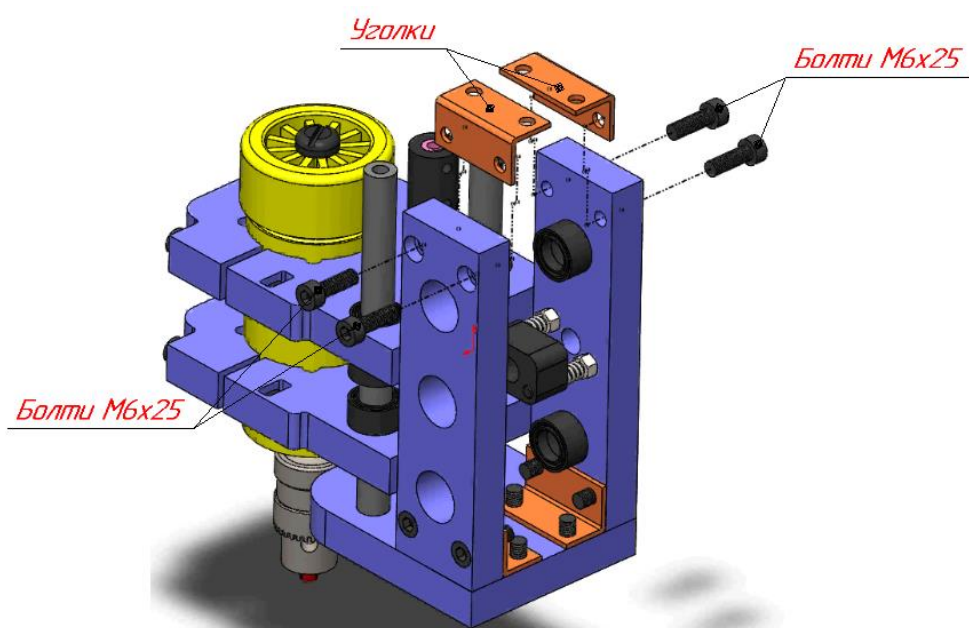


Рисунок 3.18 – Монтаж уголків

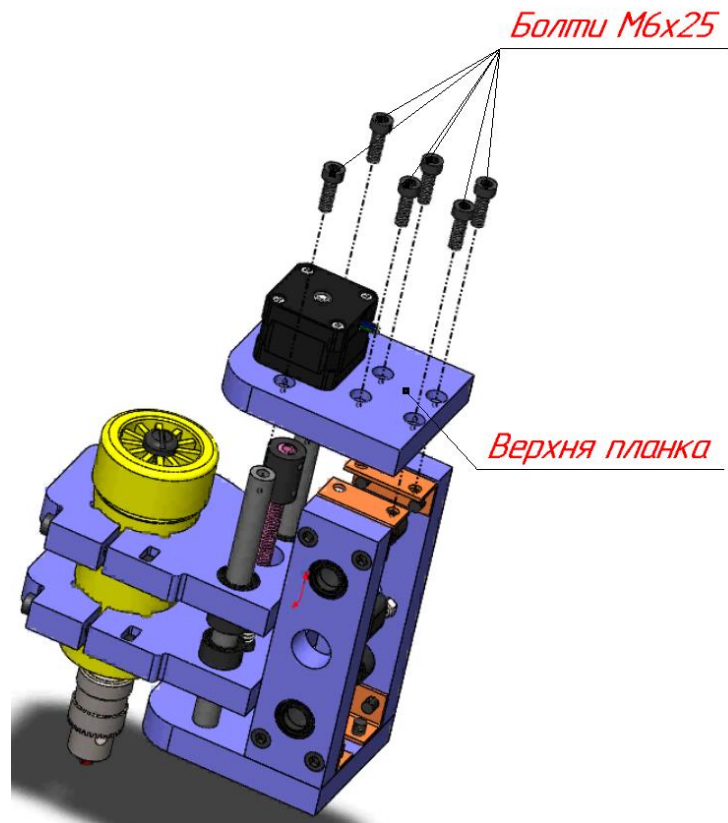


Рисунок 3.19 – Монтаж верхньої планки в зборі

Наступним кроком є встановлення у базові посадкові отвори бокових планок двох ходових валів та ходового гвинта (рисунок 3.21).

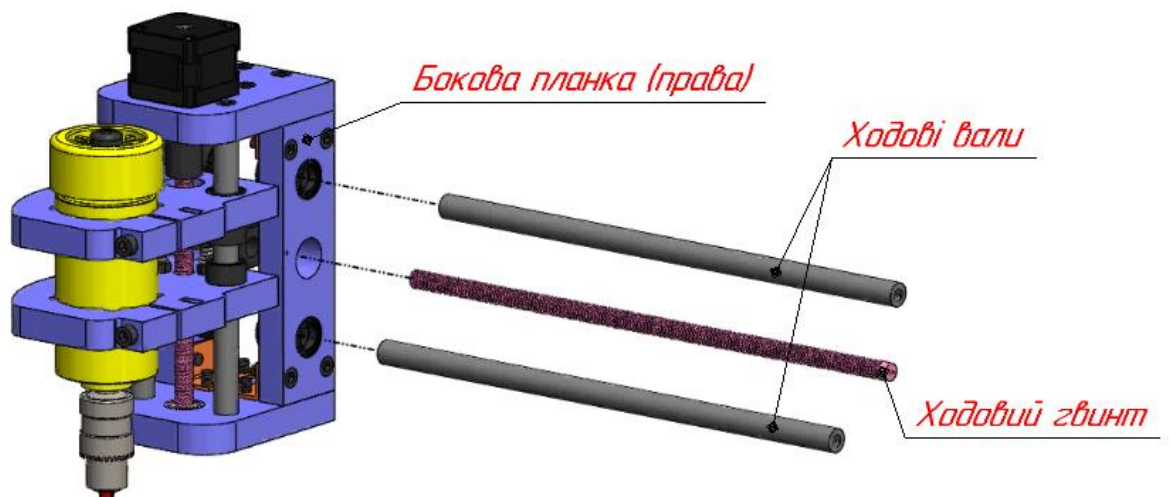


Рисунок 3.21 – Монтаж ходового гвинта та валів

На ходовий гвинт встановлюється втулка (рисунок 3.22), яка має функції муфти для передачі крутного моменту від крокового двигуна на ходовий вал для горизонтального переміщення свердильного вузла.

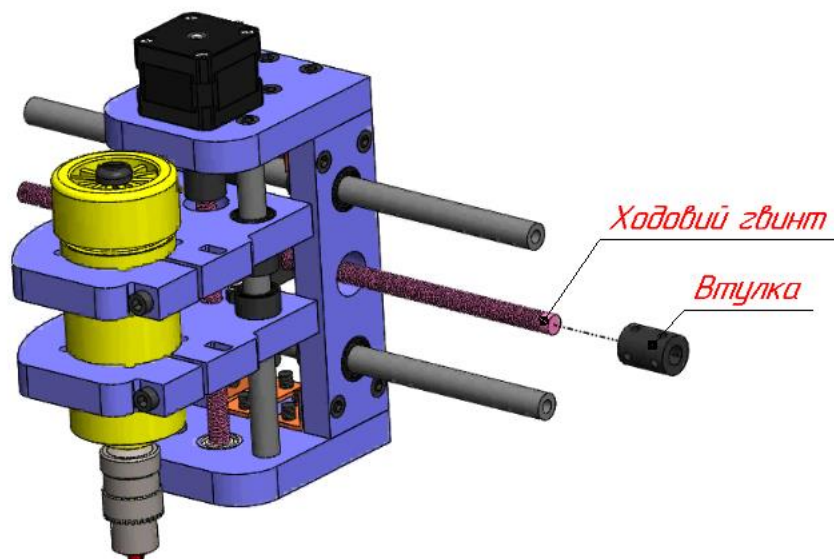


Рисунок 3.22 – Монтаж втулки на ходовий гвинт

Кінцевий вигляд свердильного вузла і його елементів представлений на (рисунку 3.23).

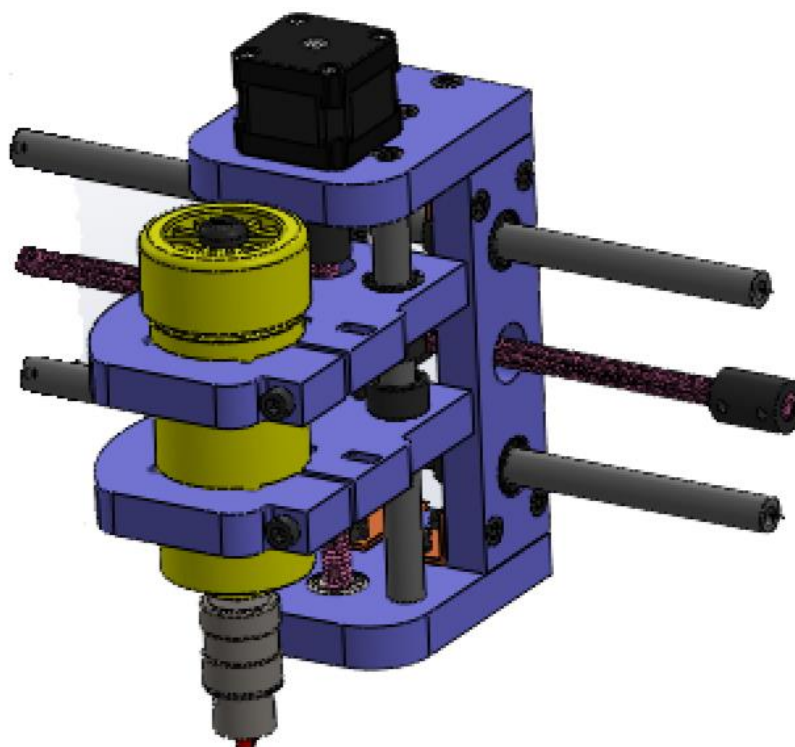


Рисунок 3.23 – Свердильний вузол

3.4 Технологічний процес складання рухомого модулю

Третім етапом складання вертикально-фрезерного верстата, є складання рухомого модуля (рисунок 3.35) та розроблення технологічної схеми складання рухомого модулю (рисунок 3.24).

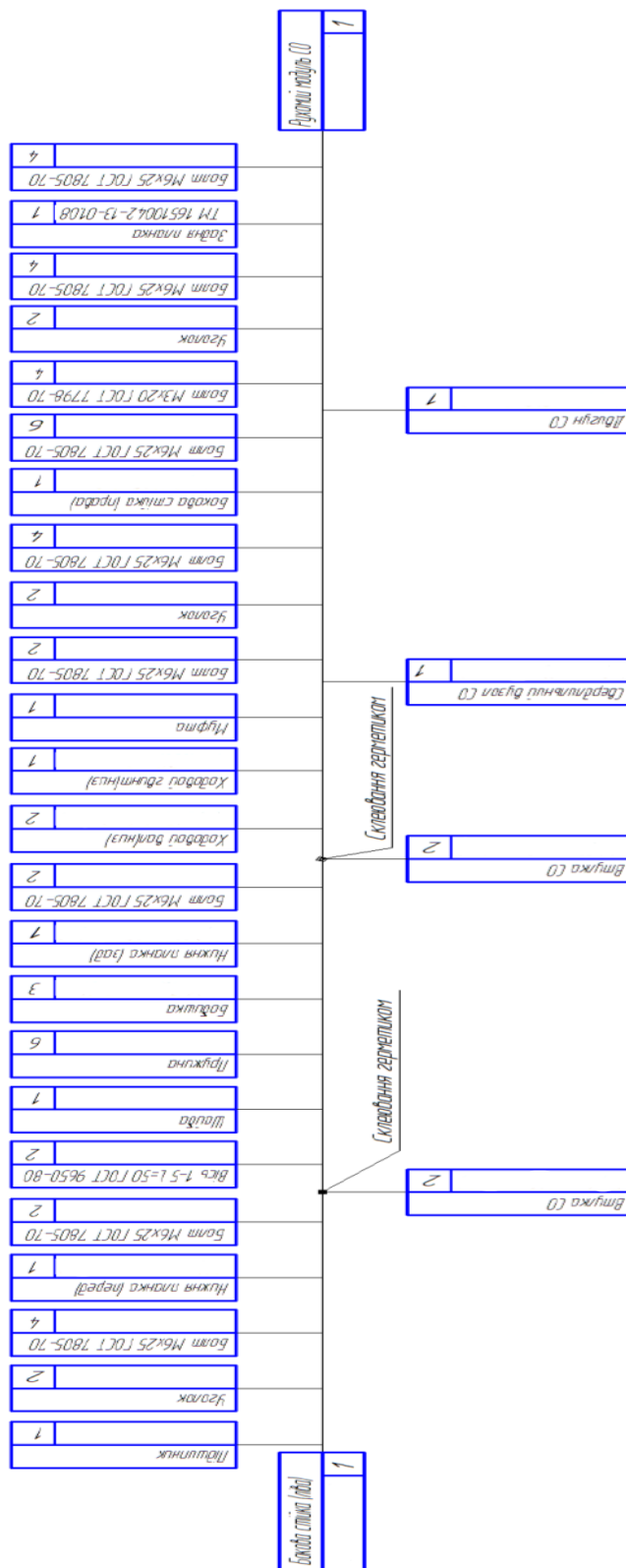


Рисунок 3.24 – Технологічна схема складання рухомого модулю

Етап складання рухомого модулю починається із встановлення підшипників у посадкові отвори на бокових стійках та встановлення кріпильних елементів у голків за допомогою різьбового з'єднання із використанням болтів М6Х25 ГОСТ 7805-70 (рисунок 3.25).

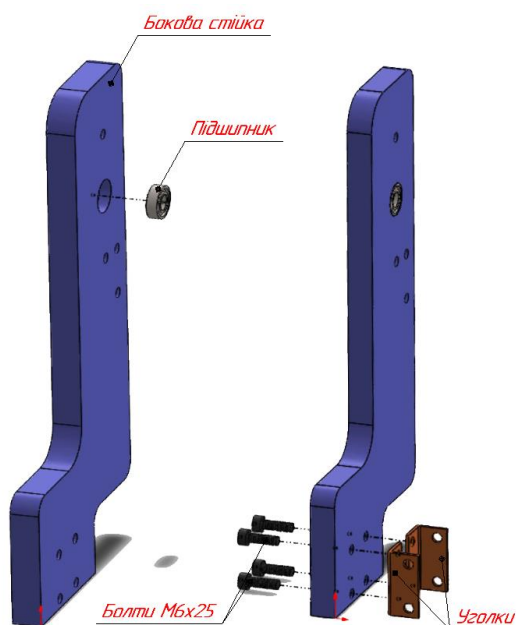


Рисунок 3.25 – Запресування підшипника та кріпильних елементів

До уголків шляхом використання болтів М6Х25 ГОСТ 7805-70 приєднується нижня передня планка (рисунок 3.26), в посадкові отвори, якої встановлюється клейовим з'єднанням втулки в зборі.

Наступним кроком йде монтаж елементів, які служать для базування ходового гвинта, це встановлення осей у отвори нижньої планки, шайби, бобишки та пружин (рисунок 3.27).

Далі встановлюється нижня задня планка (рисунок 3.28) шляхом використання різьбового з'єднання болтами М6Х25 ГОСТ 7805-70 та втулок в зборі.

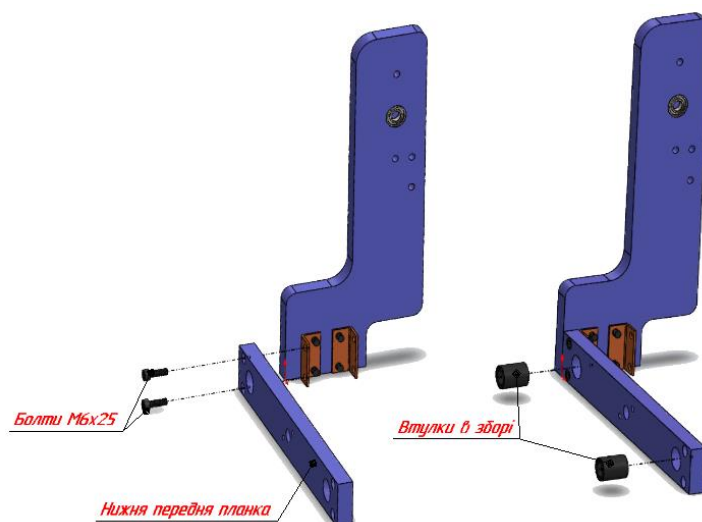


Рисунок 3.26 – Монтаж нижньої планки та втулок

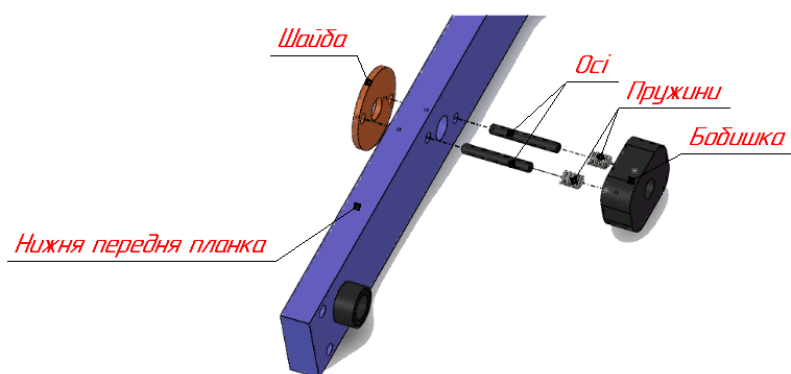


Рисунок 3.27 – Монтаж базуючих елементів для ходового гвинта

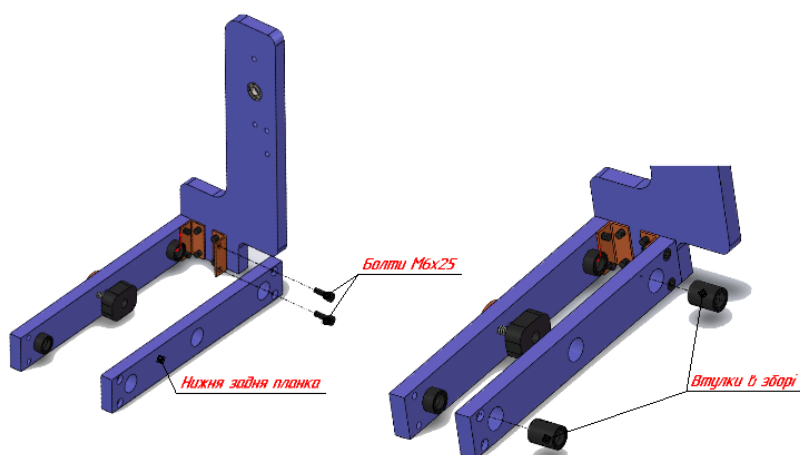


Рисунок 3.28 – Монтаж нижньої задньої планки і втулок

Отвори на нижніх планках служать базуючими елементами для ходових валів та ходового гвинта на який встановлюється втулка, яка має функції муфти для з'єднання ходового гвинта та валу крокового двигуна для перелачі крутного моменту (рисунок 3.29).



Рисунок 3.29 – Встановлення ходового гвинта, муфти та ходових валів.

Наступним кроком до бокової стійки рухомого модуля шляхом різьбового з'єднання встановлюється свердлильний вузол в зборі із використанням болтів М6Х2 ГОСТ 7805-70 (рисунок 3.30)

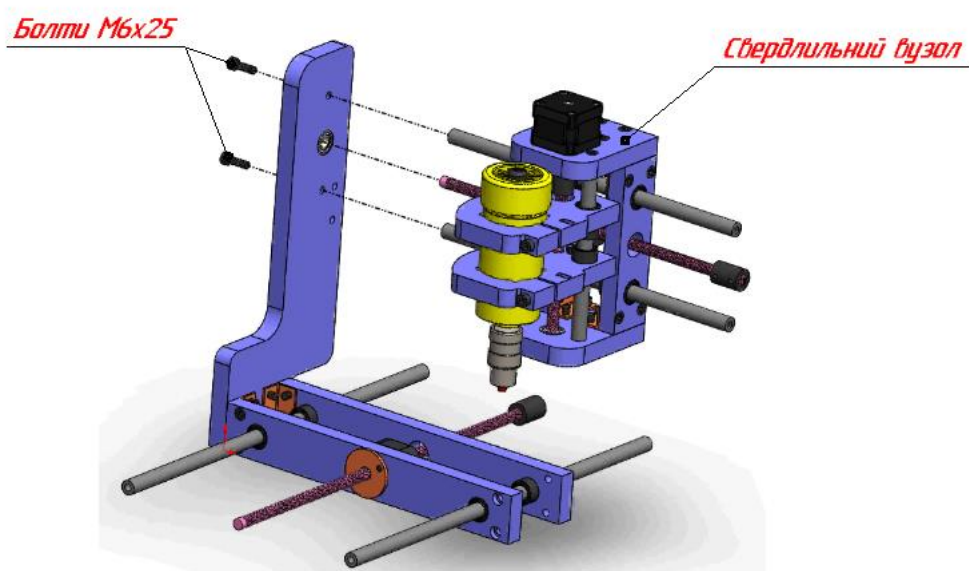


Рисунок 3.30 – Фіксація свердлильного вузла до бокової стійки

Далі до нижніх планок встановлюються кріпильні елементи уголки (рисунок 3.31) шляхом використання болтів М6Х25 ГОСТ 780570 для фіксації правої бокової стійки (рисунок 3.32).

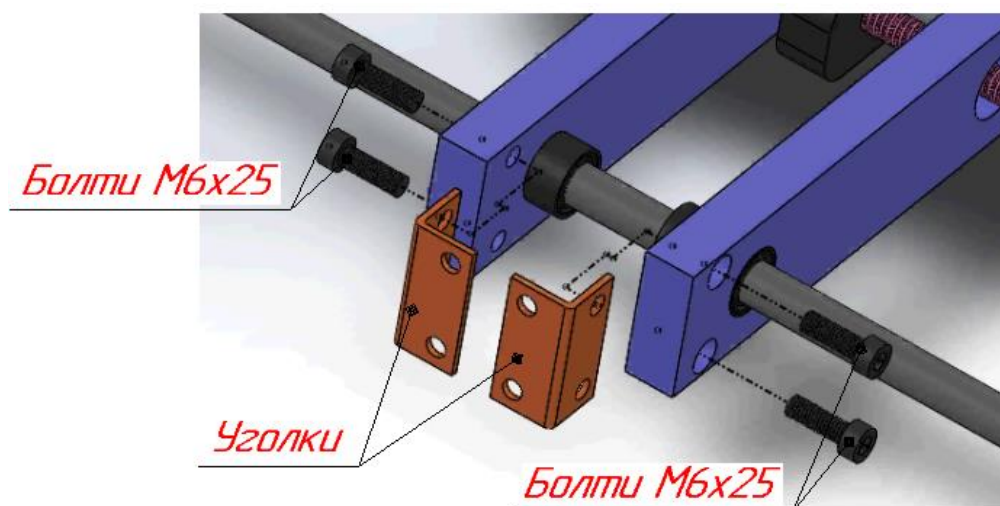


Рисунок 3.31 – Монтаж уголків

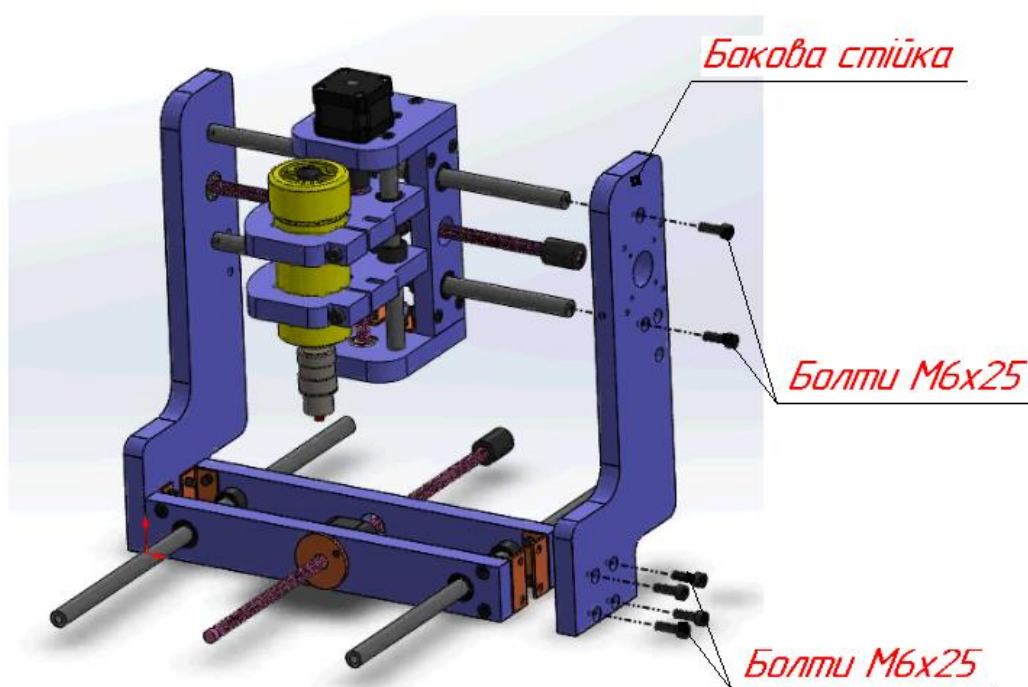


Рисунок 3.32 – Фіксація бокової правої стійки

До бокової стійки фіксується кроковий двигун (рисунок 3.33) болтовим з'єднанням із використанням болтів М3Х20 ГОСТ 7798-70. Позаду встановлюється задня планка (рисунок 3.34) шляхом болтового з'єднання із використанням болтів М6Х25 ГОСТ 7805-70.

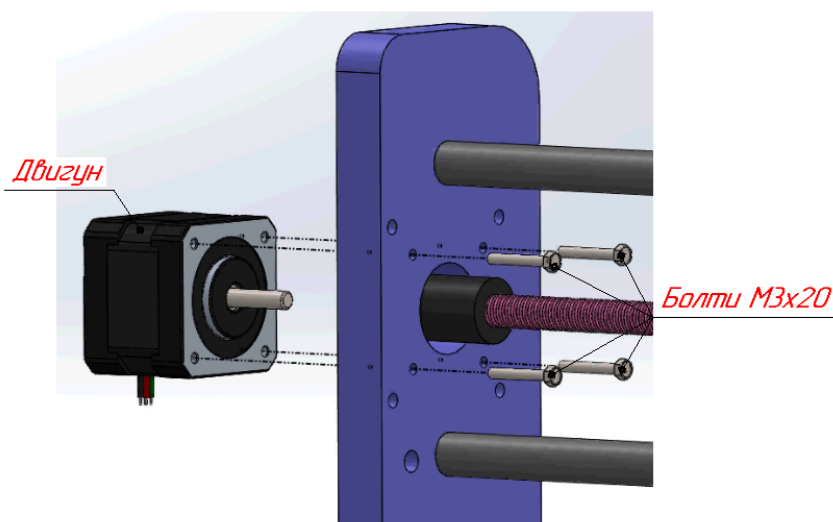


Рисунок 3.33 – Монтаж крокового двигуна

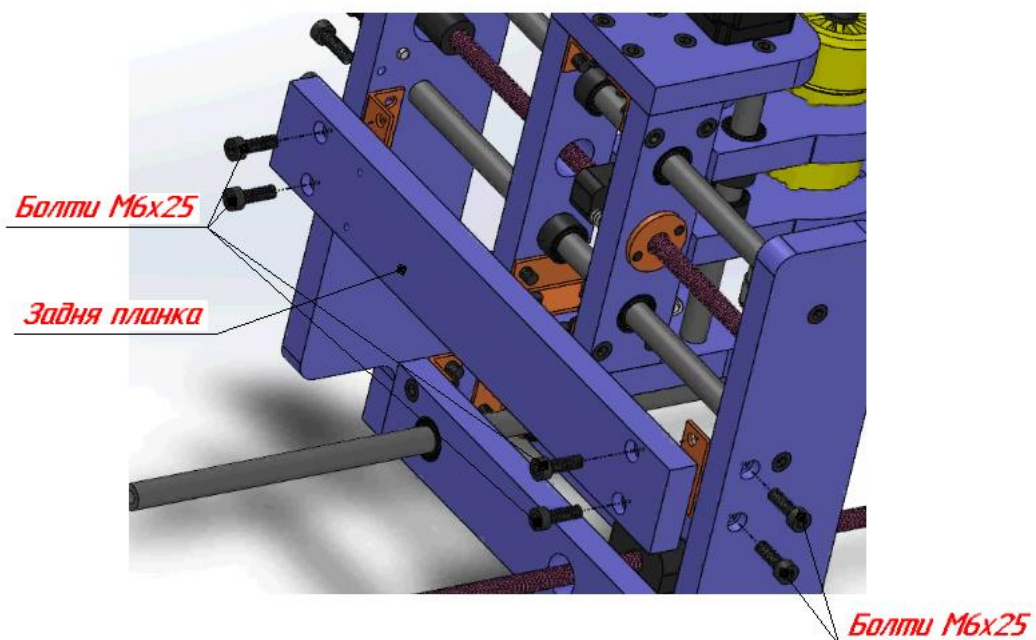


Рисунок 3.34 – Монтаж задньої планки

Кінцевий вигляд рухомого модулю і його елементів представлений на (рисунку 3.35).

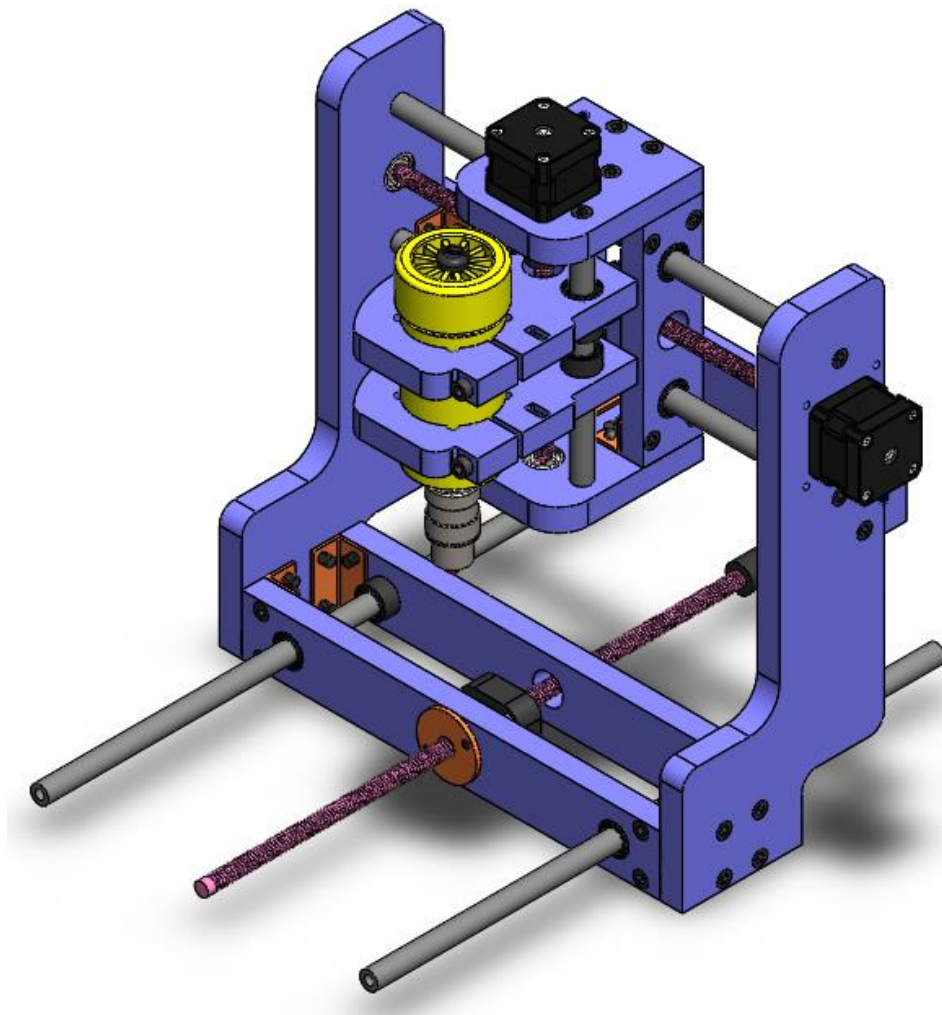


Рисунок 3.35 – Рухомий модуль

3.5 Технологія складання додаткових вузлів верстата

Наступний етапом у складанні вертикально-фрезерного верстата є складання його окремих елементів, таких як шпindelний вузол, задній підтискний центр та верстатні лещата. Технологія складання окремих елементів базується на вузловому складанні елементів вузла і по закінченню складання в подальшому їх монтажі на вертикально-фрезерний верстат.

3.5.1 Технологічний процес складання шпindelного вузла

Процес складання шпindelного вузла починається із розроблення технологічної схеми складання (рисунок 3.36).

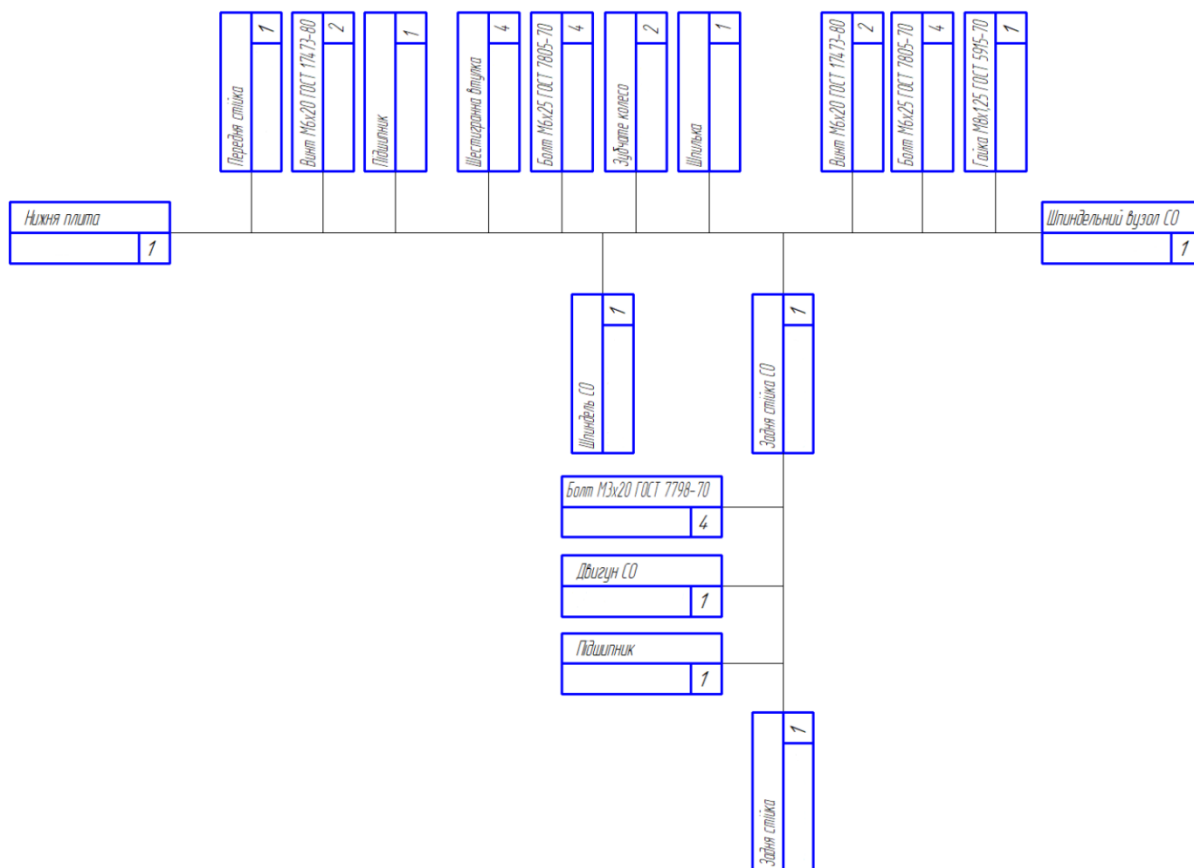


Рисунок 3.36 – Технологічна схема складання шпindelного вузла

Базовий елемент шпindelного вузла є нижня пластина на яку встановлюється передня стійка шляхом використання болтового з'єднання за допомогою болтів М6Х20 ГОСТ 12473-80. В посадковий отвір передньої стійки

встановлюється підшипник по посадці із натягом або із використанням клейового з'єднання (рисунок 3.37).

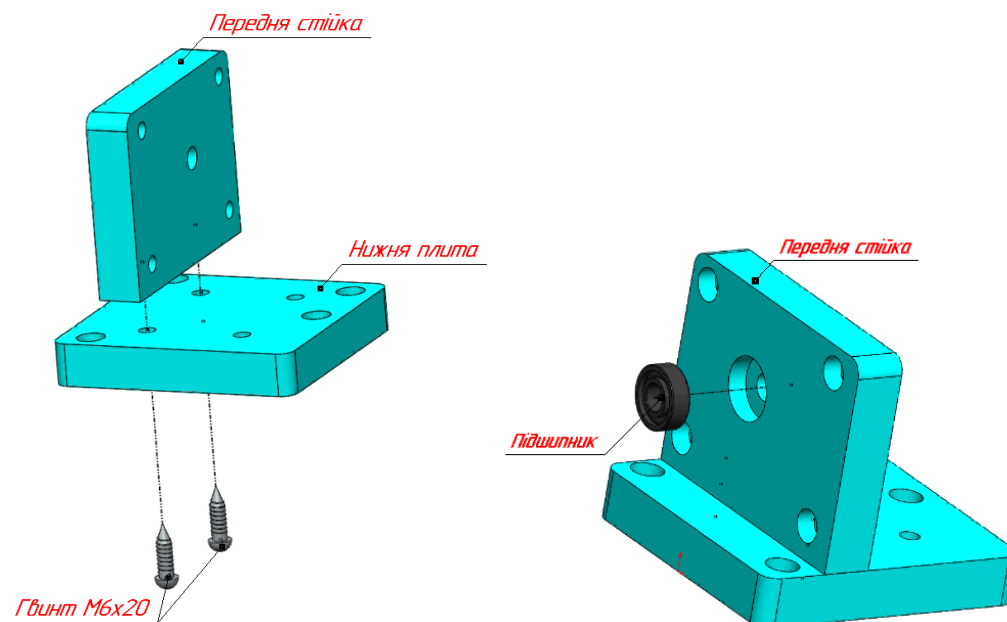


Рисунок 3.37 – Монтаж передньої стійки та підшипника

До передньої стійки приєднуються шестигранні втулки (рисунок 3.38) болтами М6Х25 ГОСТ 7805-70.

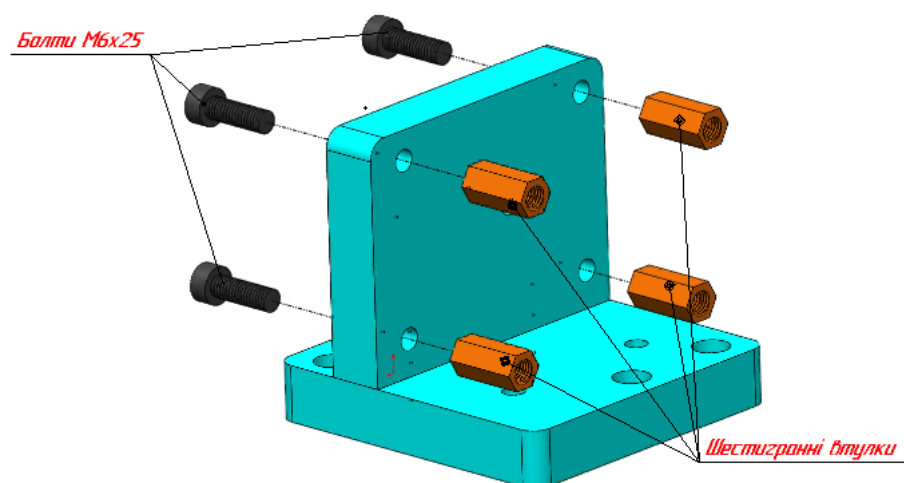


Рисунок 3.38 – Монтаж шестиграних втулок

Отвір підшипника є базовим для шпинделя токарного вузла, встановлюється шляхом використання посадки із натягом (рисунок 3.39а). Слідом на вал шпинделя по посадці із натягом встановлюється зубчате колесо (рисунок 3.39б).

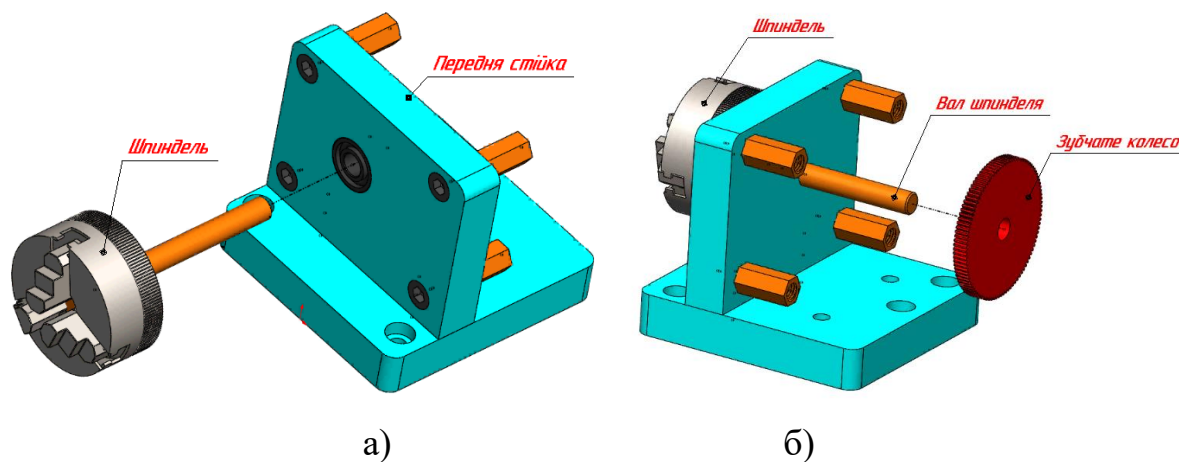


Рисунок 3.39 – Монтаж шпинделя та зубчатого колеса

Задня стійка шпиндельного вузла, являє собою другорядне складання, окремо від інших елементів шпиндельного вузла, яка в подальшому встановлюється на нижню плиту шпиндельного вузла. В посадковий отвір задньої стійки встановлюється підшипник клейовим з'єднанням в чотири отвори встановлюється кроковий двигун із використанням чотирьох болтів М6Х25 ГОСТ 7805-70 (рисунок 3.40).

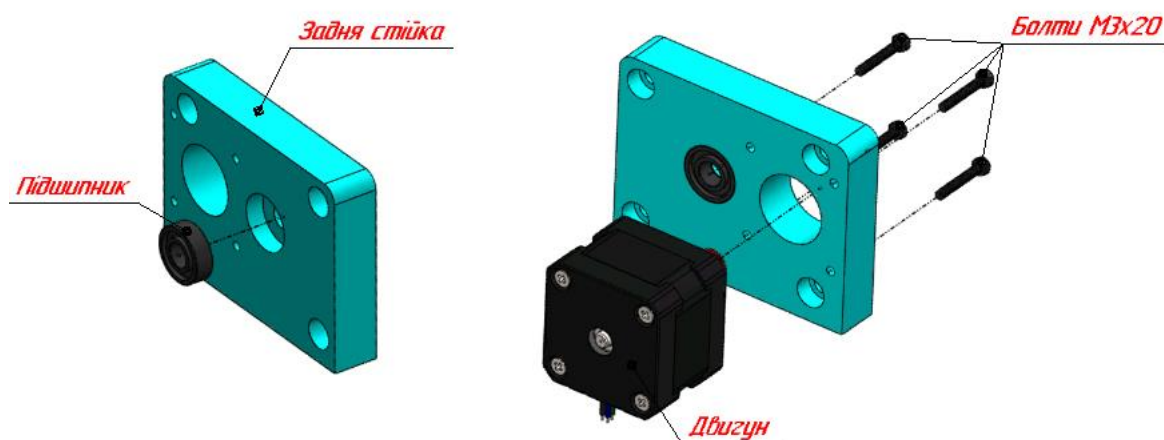


Рисунок 3.40 – Другорядне складання задньої стійки

Встановлення задньої стійки в зборі відбувається шляхом використання болтового з'єднання гвинтами М6Х20 ГОСТ 12473-80, які кріплять стійку до нижньої плити модуля та чотирьох болтів М6Х25 ГОСТ 7805-70, які фіксують стійку до шестигранних втулок (рисунок 3.41).

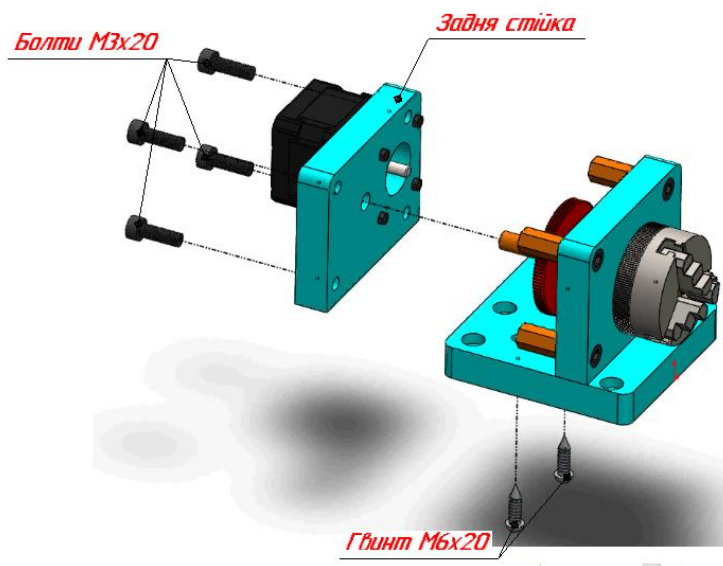


Рисунок 3.41 – Монтаж задньої стійки в зборі

Останнім кроком є фіксація валу шпинделя (рисунок 3.42) різьбовим з'єднанням із використанням гайки М8Х1,25 ГОСТ 5915-70.



Рисунок 3.42 – Фіксація шпинделя

Кінцевий вигляд шпиндельного вузла і його елементів представлений на рисунку 3.43.

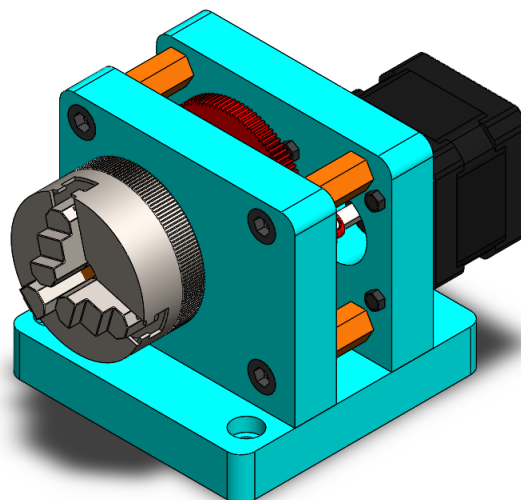


Рисунок 3.43 – Шпиндельний вузол

3.5.2 Технологічний процес складання заднього підтискного центра

Процес складання заднього підтискного центра починається із розроблення технологічної схеми складання (рисунку 3.44).

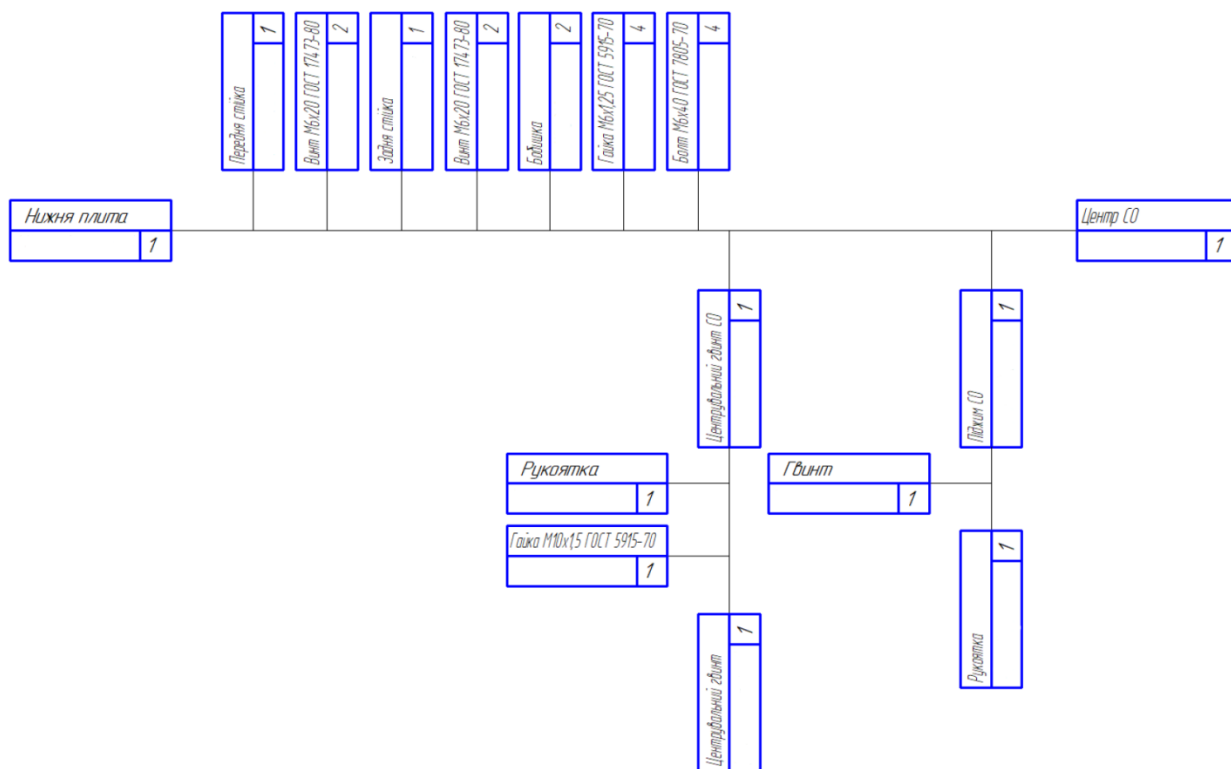


Рисунок 3.44 – Технологічна схема складання заднього підтискного центра

Базовою деталлю для складання заднього центра служить нижня плита, із якої починається складання. До нижньої плити фіксується шляхом різьбового з'єднання із використанням гвинтів М6Х25 ГОСТ 17473-80 передня та задня стійки (рисунок 3.45).

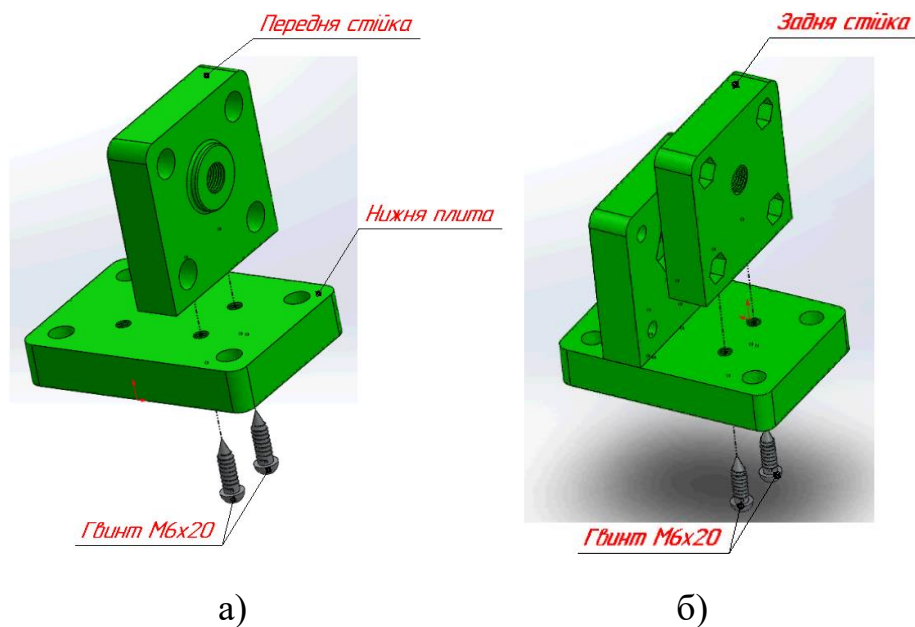


Рисунок 3.45 – Фіксація стійок заднього підтискного центра:

а – фіксація передньої стійки;

б – фіксація задньої стійки.

Наступний крок є встановлення бобишок (рисунок 3.36) між передньою та задньою стійкою за допомогою різьбового з'єднання шляхом використання болтів М6Х40 ГОСТ 7805-70 та гайок М6Х1 ГОСТ 5915-70.

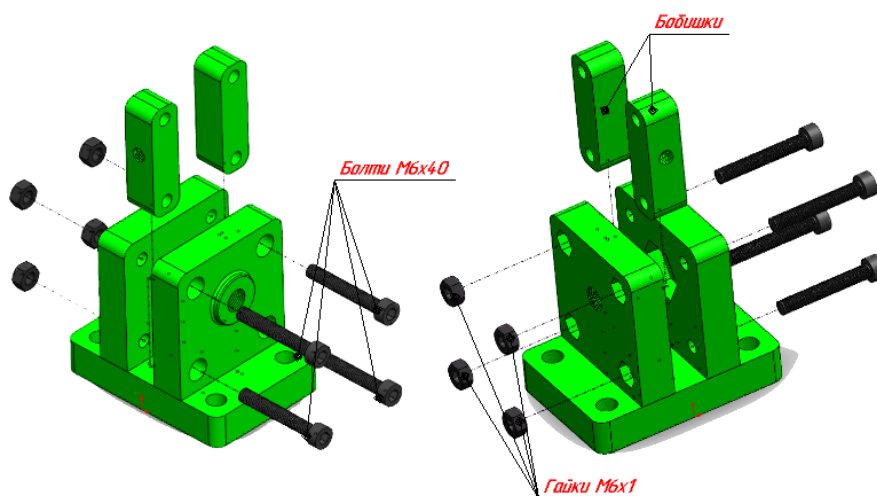


Рисунок 3.46 – Монтаж бобишок

В базовий отвір у стійках різьбовим з'єднанням встановлюється центрувальний гвинт у зборі, для фіксації гвинта у необхідному положення у отвір бобишки встановлюється піджим (рисунок 3.47).

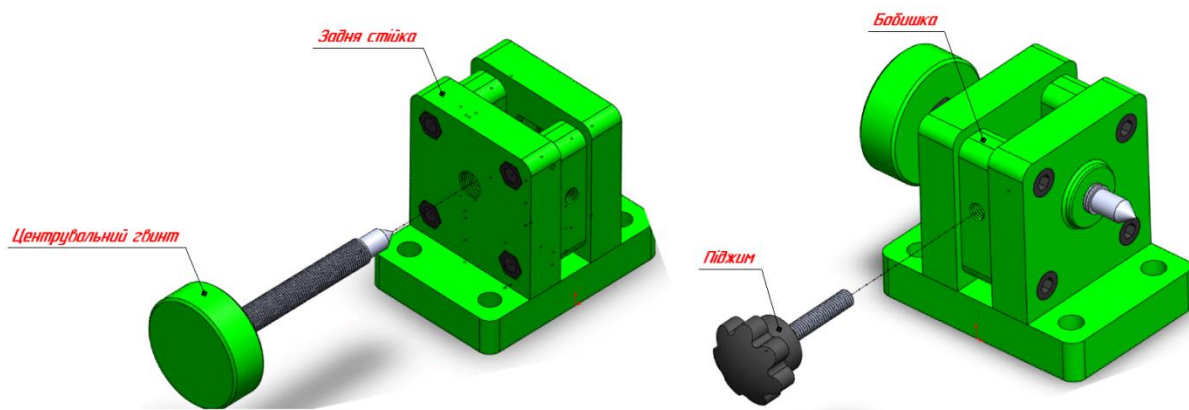


Рисунок 3.47 – Встановлення центрувального гвинта та піджиму

Кінцевий вигляд заднього підтискного центру і його елементів представлений на рисунку 3.48.

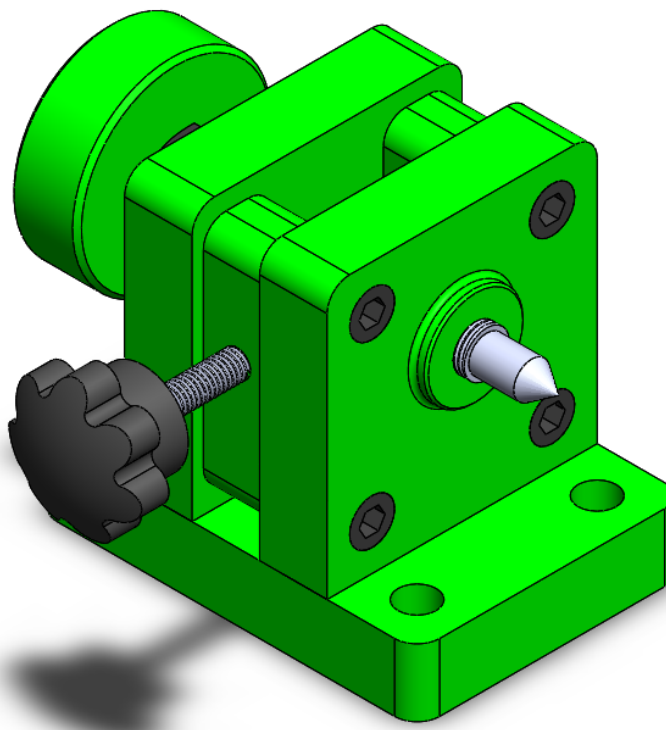


Рисунок 3.48 – Задній підтискний центр

3.5.3 Технологічний процес складання лещат верстатних

Процес складання лещат верстатних починається із розроблення технологічної схеми складання (рисунок 3.49).

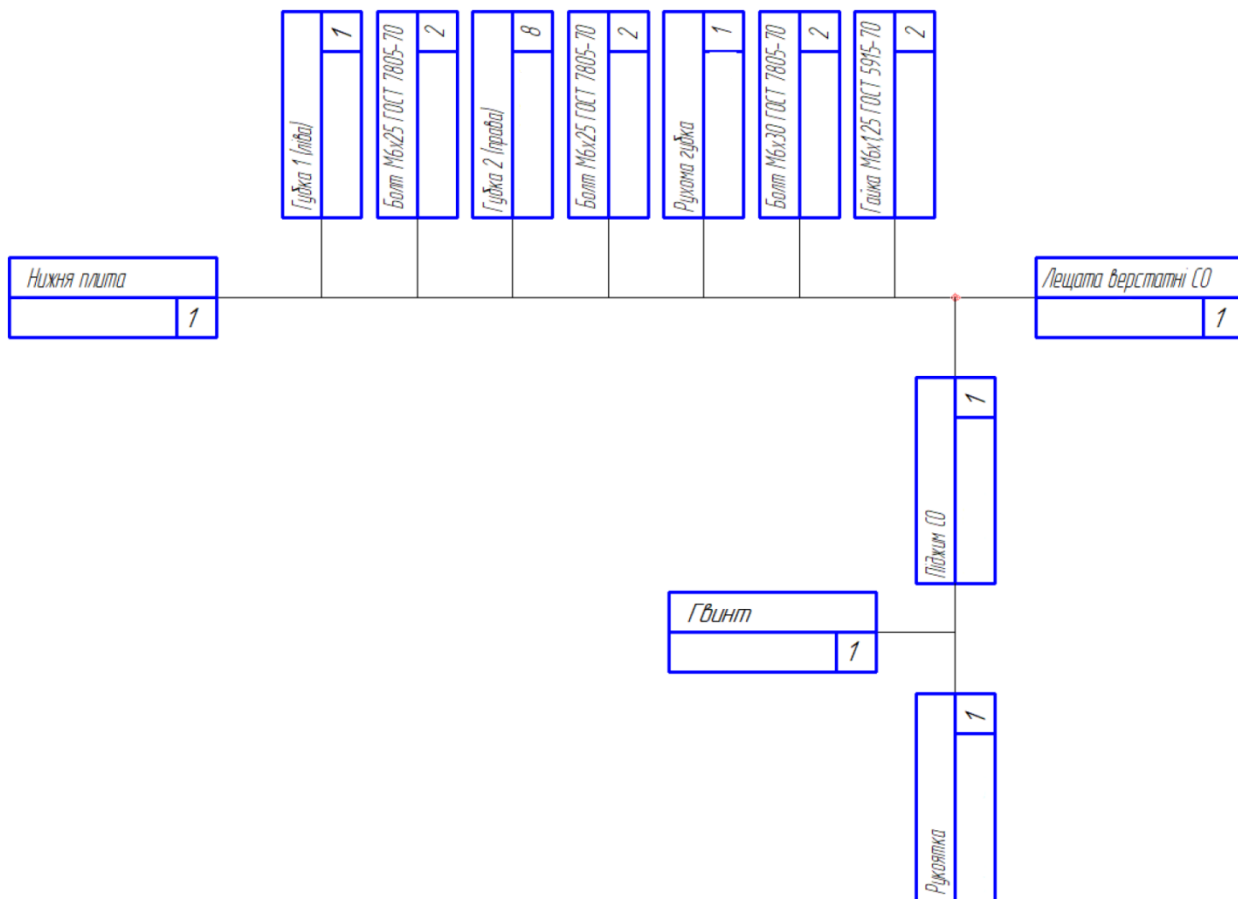


Рисунок 3.49 – Технологічна схема складання лещат верстатних

Базовою деталлю, на яку встановлюються функціональні елементи лещат є нижня плита із якої починається складання, до неї приєднуються нерухомі губки 1 та 2 (рисунок 3.50) шляхом різьбового з'єднання із використанням болтів М6Х25 ГОСТ 7805-70.

В базуючі пази на нижній плиті встановлюється рухома губка (рисунок 3.51) за допомогою використання болтового з'єднання із застосуванням болтів М6Х30 ГОСТ 7805-70 та гайок М6Х1,25 ГОСТ 5915-70, а також піджим, який виконує роль фіксатора рухомої губки для закріплення необхідного положення за допомогою гайок М6Х1,25 ГОСТ 5915-70 (рисунок 3.52).

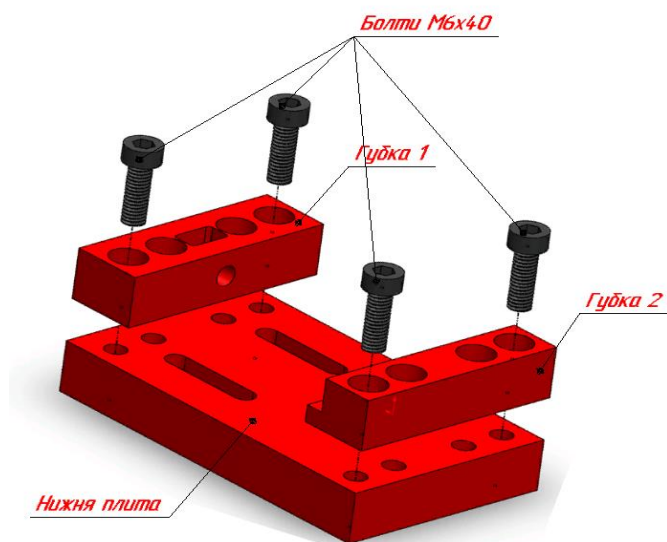


Рисунок 3.50 – Монтаж губок 1 та 2

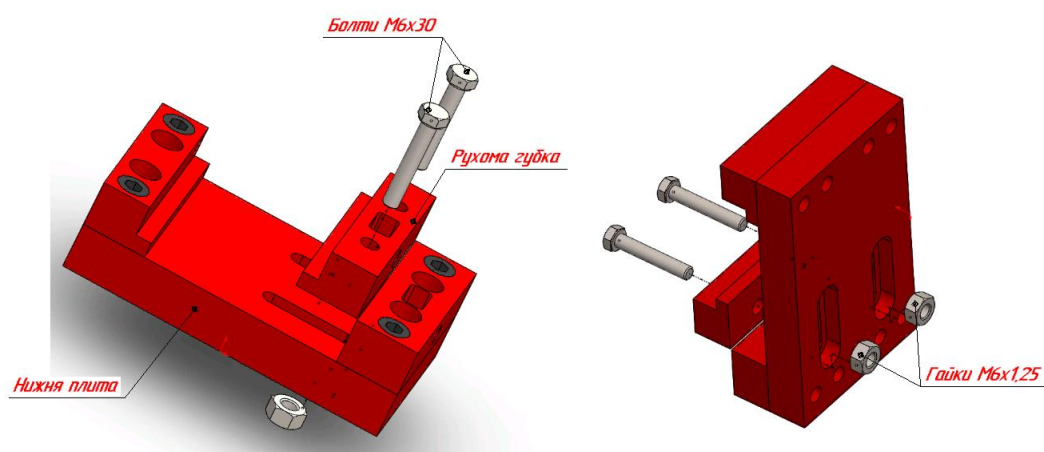


Рисунок 3.51 – Фіксація рухомої губки

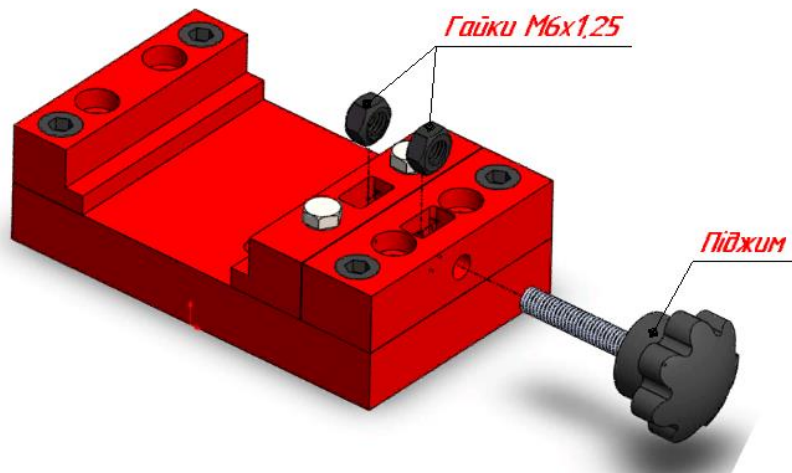


Рисунок 3.52 – Встановлення піджиму

Кінцевий вигляд лещат верстатних і їх елементів представлений на рисунку 3.53.

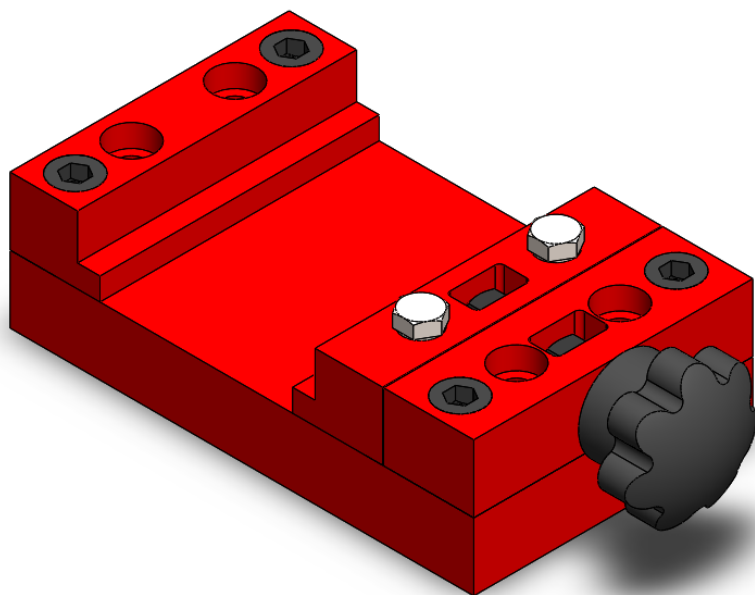


Рисунок 3.53 – Лещата верстатні

3.6 Загальний технологічний процес складання вертикально-фрезерного верстата

Після того, як всі основні та другорядні елементи вертикально-фрезерного верстата в зборі виконується фінальний етап складання. Фінальним, називаємо такий етап, в якому відповідно до розробленої загальної схеми складання (рисунок 3.54) відбувається складання вертикально-фрезерного верстата і приєднання всіх основних вузлів.

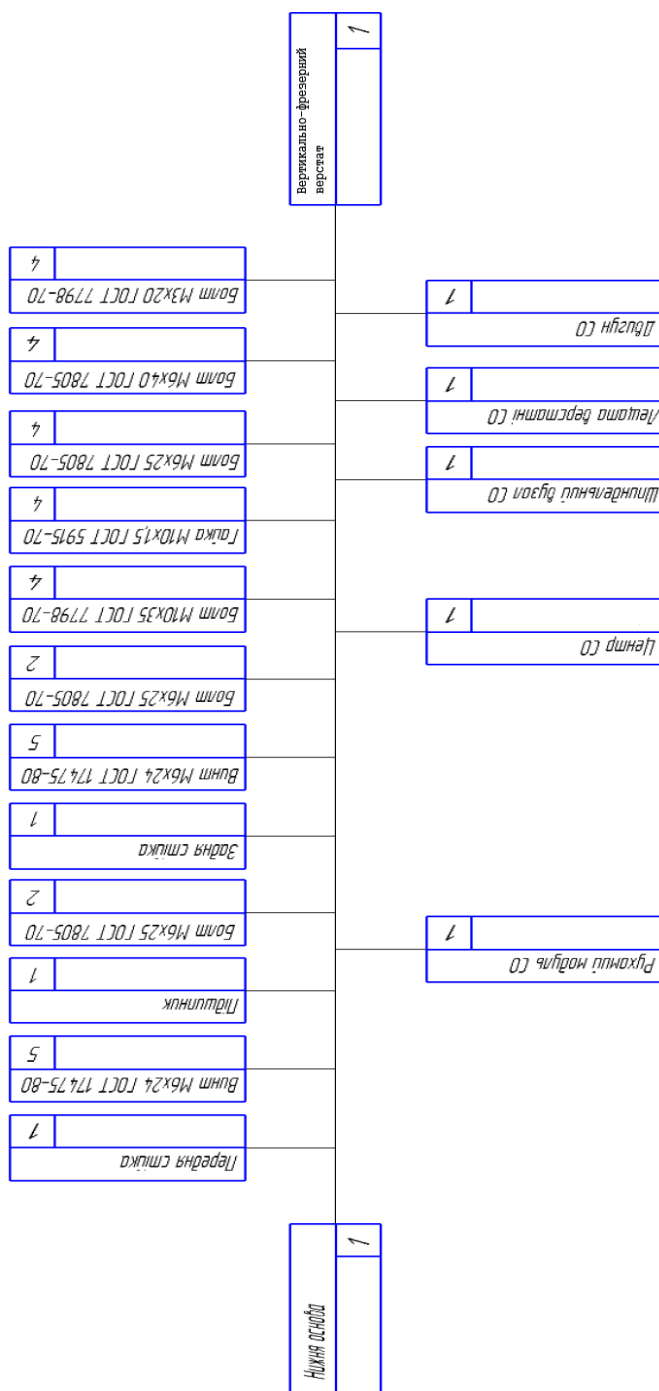


Рисунок 3.54 – Технологічна схема складання вертикально-фрезерного верстата

Завершальний етап складання вертикально-фрезерного верстата починається із базової деталі – нижня основа, на яку в подальшому встановлюються всі основні та додаткові елементи. До нижньої основи приєднується передня стійка (рисунок 3.55) різьбовим з'єднанням із використанням гвинтів М6Х25 ГОСТ 17475-80 в посадковий отвір передньої стійки клейовим з'єднанням встановлюється підшипник (рисунок 3.56).

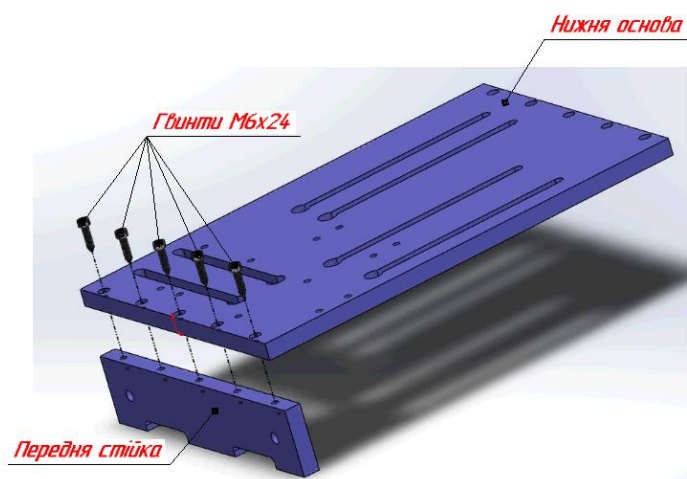


Рисунок 3.55 – Монтаж передньої стійки

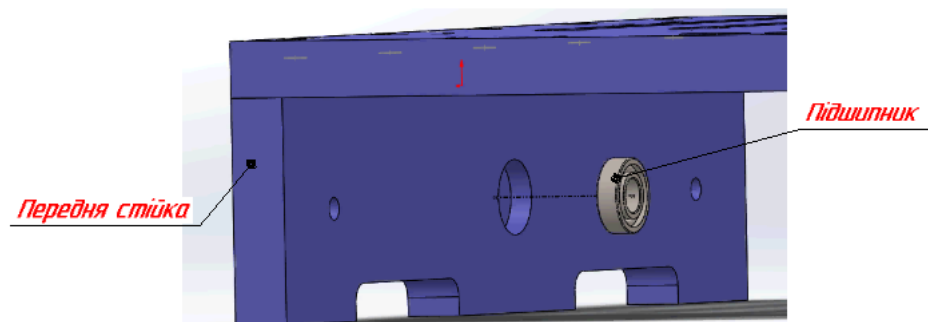


Рисунок 3.56 – Встановлення підшипника

Наступним кроком є встановлення рухомого модуля в зборі (рисунок 3.57) і фіксація його за допомогою болтового з'єднання болтами М6Х25 ГОСТ 7805-70.

Фіксується задньою стійкою (рисунок 3.58) із використанням болтового з'єднання гвинтами М6Х25 ГОСТ 17475-80. Болтовою фіксацією ходових валів із задньою стінкою повністю фіксується рухомий модуль.

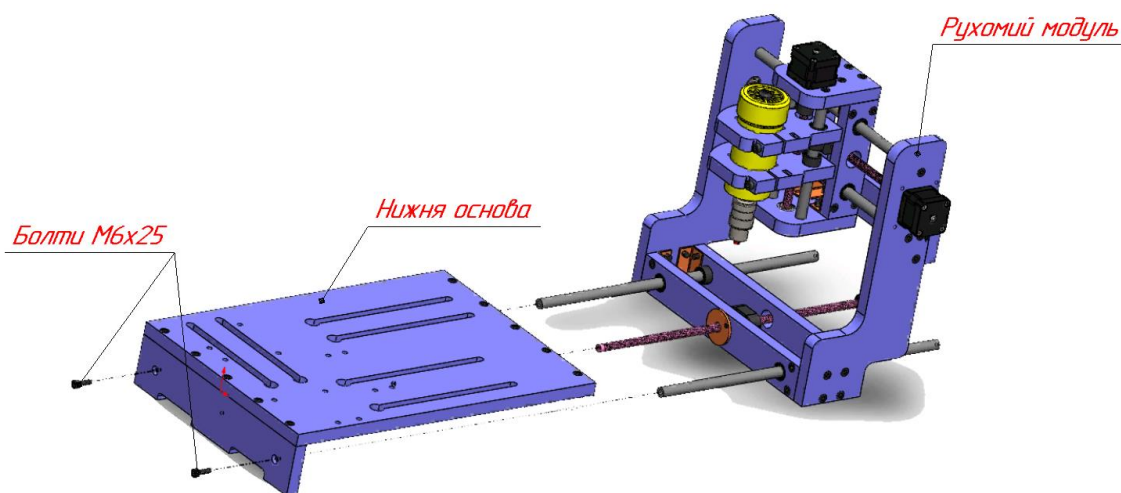


Рисунок 3.57 – Приєднання рухомого модуля до передньої стійки

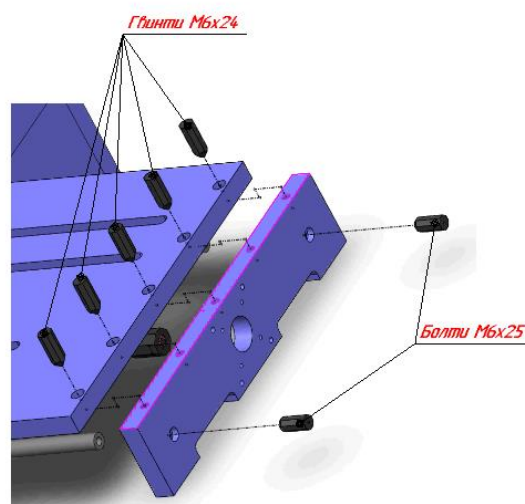


Рисунок 3.58 – Фіксація задньої стінки

Наступний кроком є встановлення допоміжних функціональних елементів вертикально фрезерного верстата: шпиндельного вузла, заднього центру та лещат верстатних. Допоміжні елементи встановлюються на нижню основу верстата.

Шпиндельний вузол жорстко фіксується в на нижню основу верстата шляхом використання болтів М6Х25 ГОСТ 7805-70 (рисунок 3.59).

Задній центр базується по поперечним пазам нижньої основи і фіксується болтами М10Х35 ГОСТ 7798-70 та гайками М10Х1,5 ГОСТ 5915-70 (рисунок 3.60).

Останнім кроком є встановлення лещат верстатних (рисунок 3.61), які нерухомо фіксуються болтами М6Х40 ГОСТ 7805-70, а також встановлення крокового двигуна до ходового валу рухомого модуля (рисунок 3.62) для передачі крутного моменту і переміщення рухомого модуля вздовж осі У.

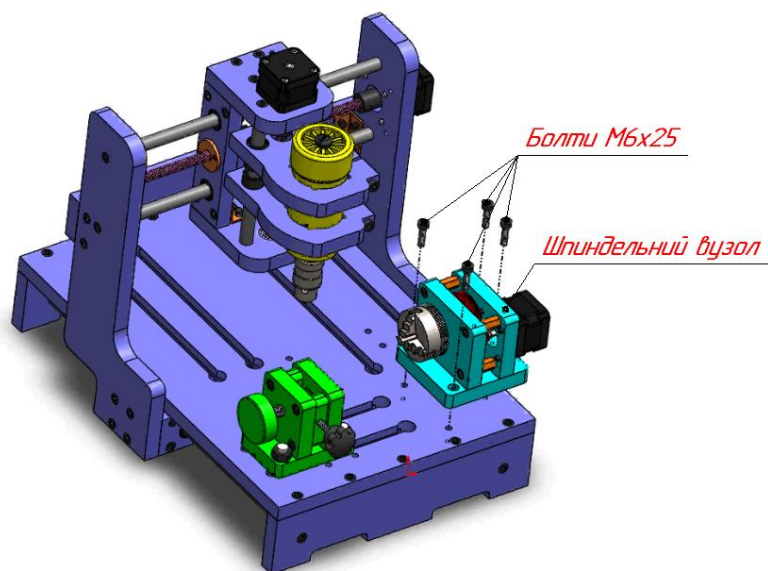


Рисунок 3.59 – Фіксація шпиндельного вузла

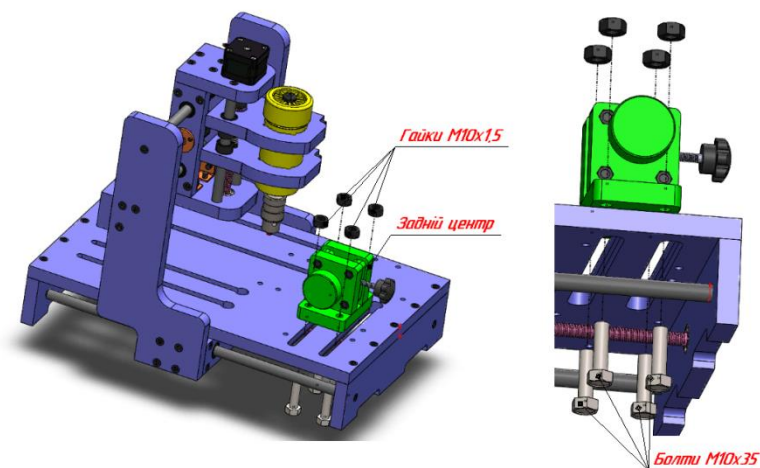


Рисунок 3.60 – Встановлення заднього центра

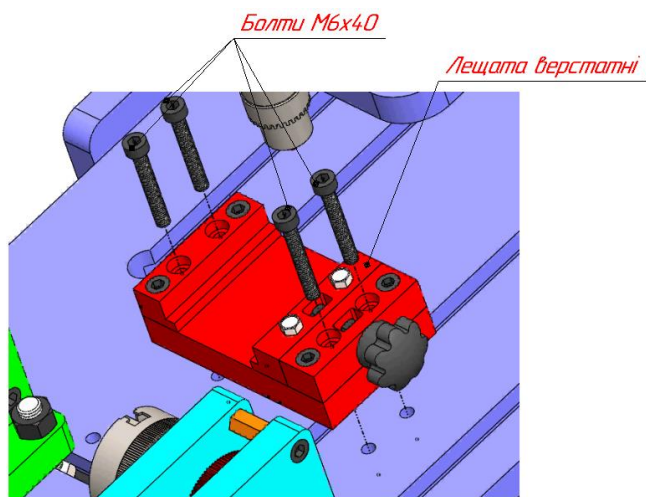


Рисунок 3.61 – Фіксація лещат верстатних

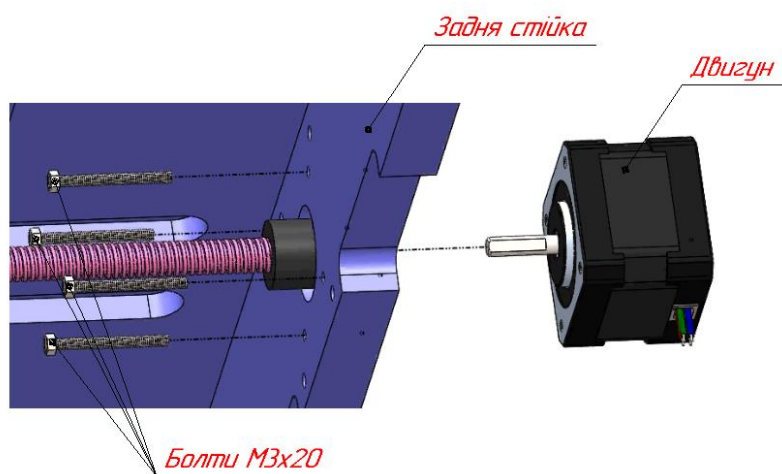


Рисунок 3.62 – Встановлення крокового двигуна на ходовий гвинт

Кінцевий вигляд зібраного вертикально-фрезерного верстата представлений на рисунку 3.1.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Числове моделювання в ANSYS

Вібрації верстата мають великий вплив на процес обробки. Динамічну поведінку конструкцій верстата в кожному діапазоні частот можна моделювати як набір окремих режимів вібрації. Моделюючи структуру з модальними параметрами, можна дослідити вібраційні проблеми, викликані резонансами [30]. Досі неможливо визначити динамічну поведінку конструкцій верстатів за кресленням. Проте значних успіхів досягнуто в розробці експериментальних методів визначення модових форм конструкцій верстатів. Багато дослідників [31-33] запровадили статичний та динамічний аналіз конструкцій верстатів, які беруть участь у системі обробки, за допомогою вимірювань жорсткості та модального аналізу. Еман і Кім [34] ввели концепцію модального аналізу конструкцій верстатів на основі параметричного представлення вимірних відгуків. У їх дослідженні використовуються багатозмінні авторегресійні моделі ковзних середніх. Юань та ін. [35] представили метод скінченних елементів для модального аналізу конструкцій верстатів. При їх дослідженні визначено перші десять власних частот і модових форм конструкції верстата. Патварі та ін. [36] представили методіку експериментального та аналітичного модального аналізу для процесів динамічної оцінки конструкції вертикального обробного центру. При їх дослідженні проведено експериментальний модальний аналіз різних компонентів фрезерного верстата та отримано теоретичну режимну форму компонентів. Зиджун та ін. запропонували підхід до аналізу характеристик верстатів методом модального аналізу та гармонійної реакції. Вони провели модальний експеримент для отримання модальної частоти, демпфування та форми. Тим часом моделювання та модальний аналіз були зроблені за допомогою ANSYS для отримання точних динамічних характеристик. Бейкер і Роуч проаналізували нестабільність процесу обробки, але цілісність результатів не підтверджена експериментальними результатами [37].

У цьому дослідженні, досліджується статична, динамічна поведінка та модальні параметри конструкції верстата, за вихідні дані приймається конструкція верстата в цілому.

Метод моделювання складається із наступних кроків:

1. В SolidWorks розроблено тривимірну модель вертикально-фрезерного верстата (рисунок 4.1).
2. Потім модель CAD експортується в середовище ANSYS Workbench, а модальний аналіз використовується для отримання власних частот коливання і модових форм структури.

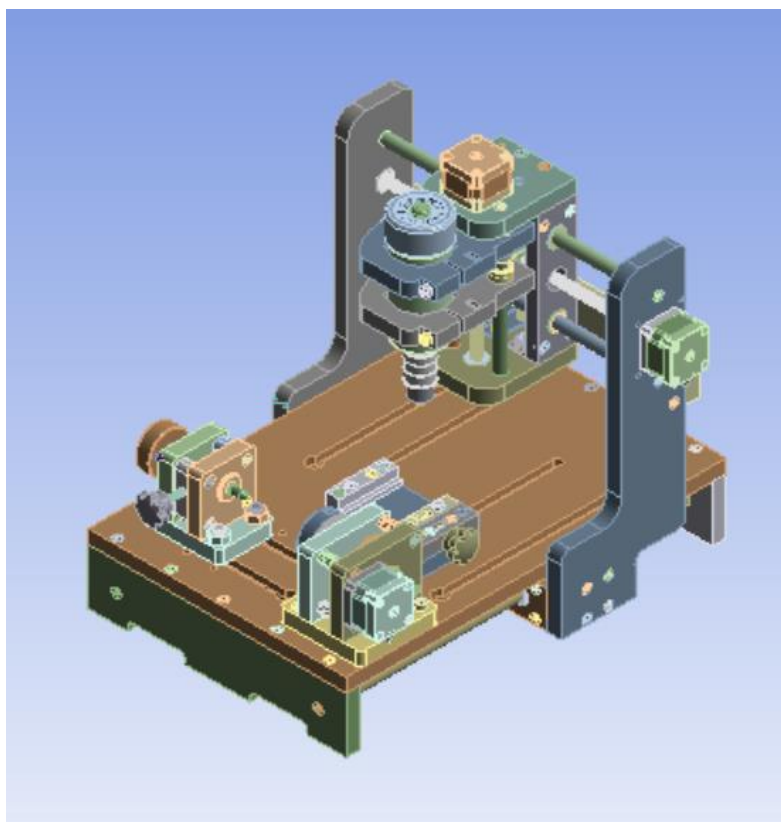


Рисунок 4.1 – CAD модель вертикально-фрезерного верстата в середовищі ANSYS

3. Встановлення необхідних зовнішніх сил впливу на верстат.
4. Створення сітки. Типова сітка створюється для всіх компонентів моделі і на основі контакту між деталями. При проведенні попереднього аналізу було прийнято обрати сітку на основі п'яти комірок, для визначення

максимально подібних значень (рисунок 4.2). Через складність конструкції рами модель була створена шляхом комбінування структурована і неструктурована сітка. Взаємні з'єднання сусідніх частин виконано з правильно підібраним злиттям вузлів та введенням жорсткого з'єднання (наприклад, у разі заміни гвинтових кріплень).

5. Обчислення.
6. Отримання результатів зміщення, деформації та напруги.

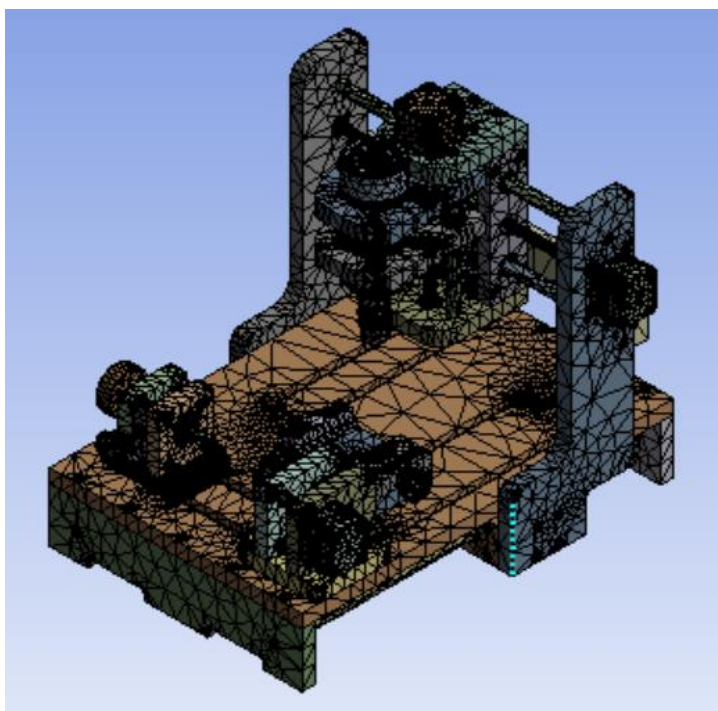


Рисунок 4.2 – Типова сітка для вертикально-фрезерного верстата

Метою даного числового моделювання є забезпечення заданої точності виготовлення деталі за рахунок вибору найкращого поєднання технологічних параметрів налагодження, тобто правильного конструювання верстату, пристрою та інструменту, які забезпечують задану точність обробки, шляхом оптимізації геометричних і технологічних параметрів конструкції верстата в цілому. Статичний структурний та динамічний аналіз покажуть, які зміщення, напруги, деформації та сили в конструкціях або компонентах, зокрема статичні навантаженнями, які не викликають значних ефектів інерції та демпфування,

передбачаються стійкі умови навантаження та реакції, тобто передбачається, що навантаження та реакція конструкції повільно змінюються у часі, а динамічну поведінку конструкцій верстата в кожному діапазоні частот можна моделювати як набір окремих режимів вібрації.

Статичний структурний аналіз – аналіз, який просто визначає напруження або деформації в системі від дії сили.

Модальний аналіз - це фундаментальний тип динамічного аналізу, що забезпечує власні частоти, на яких конструкція резонуватиме. Ці власні частоти мають першорядне значення у різних галузях техніки. Підвіски зазвичай налаштовуються на різні власні частоти для легкових та гоночних автомобілів. Будівельним інженерам необхідно розрахувати власну частоту будівель, щоб сейсмічні хвилі, що виникають під час землетрусів, не відповідали власним частотам будівель. Все у світі вібрує. Це життєвий факт і модальний аналіз – це метод, який використовується для характеристики динамічної поведінки структур. Модальний аналіз забезпечує огляд граничних відгуків системи. Наприклад, він дає загальну відповідь на питання, який граничний діапазон відгуку системи для заданих навантажень. Кожен об'єкт має особисту частоту, на якій він може вібрувати.

Гармонічний або динамічний аналіз – це тип динамічного аналізу при якому буде моделюватися конструкція, яка реагує на повторюване динамічне навантаження. Цей тип навантаження виникає у багатьох конструкціях і пов'язується із власними частотами та резонансом. У відмінності від звичайного динамічного аналізу, гармонічний аналіз вирішує задачу динаміки конструкції у частотній області, а не часовій, для того, щоб зрозуміти, коли надмірний рух, напруження, шум і вібрації виникають на певній частоті.

Дані результати числового моделювання отримані в середовищі ANSYS дозволяють дати відповідь на питання: “Чи правильно розроблено конструкцію верстата?”, тобто перевірити правильність конструкторських рішень, скоротити кількість досліджуваних зразків і об'єм натурних випробувань, дослідити велику кількість перспективних варіантів конструкції для вибору найкращого, перевірити

відповідність виробу проектним вимогам, вирішити локальні проблеми механізмів і систем верстата та передбачити умови для подальшої обробки, щоб уникнути непередбачуваних результатів.

Вихідними даними для виконання числового моделювання є:

1. Матеріал деталі – дерево.
2. Режими різання визначаємо за додатком [41]:

Таблиця 4.1 Рекомендовані умови різання

Матеріал заготовки	$\sigma, \text{МПа}$	НВ	Припуск на обробку, мм	Довжина	Ширина
				Оброблювана поверхня	
				l, мм	B, мм
Дерево	62,2	3,7	0,5	70	50

- Наявний діаметр фрези: $D_{\phi} = 1 \div 3 \text{ мм}$;
- Число ріжучих кромок: $Z = 6$;
- Період стійкості: $T_{\phi} = 120 \text{ хв}$;
- Глибина різання: $t = h = 0,5 - 1 \text{ мм}$;
- Подача на зуб фрези: $S_Z = 0,035 \text{ мм/зуб}$;
- Швидкість різання:

$$V_g = \frac{C_v \cdot D_{\phi}^{q_v}}{T^m \cdot S_Z^{X_v} \cdot t_Z^{y_v} \cdot B^u \cdot Z^p} = \frac{445 \cdot 1}{120^{0,3} \cdot 0,035^{0,1} \cdot 1^{0,3} \cdot 50^{0,2} \cdot 6^0} = 18 \text{ м/хв.}$$

- Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = 1900 \text{ об/хв}$$

- Швидкість подачі:

$$V_S = S_Z \cdot n_{\phi} \cdot z = 0,035 \cdot 4000 \cdot 6 = 800 \text{ мм/хв.}$$

- Окружена сила:

$$F_t = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^{x_p} \cdot S_Z^{y_p} \cdot B^n \cdot z}{D_\phi^{q_p} \cdot n_\phi^{cm}} \cdot K_{MP} = \frac{10 \cdot 544 \cdot 1^{0,9} \cdot 0,035^{0,7} \cdot 50^{1,0} \cdot 6}{1_\phi^{1,0} \cdot 1900} =$$

$$= 1000 \text{ Н}$$

Осьова сила:

$$F_a = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta = 212 \text{ Н}$$

•Радіальна сила:

$$F_r = F_t \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} = 400 \text{ Н}$$

Огляд робочих параметрів і параметрів навантаження для навантаження на інструмент відповідно до рекомендованих умов різання для матеріалу “Дерево” наведено в табл.4.2.

Таблиця 4.2 Рекомендовані умови різання

Параметр	Значення
1. Діаметр фрези, мм	1÷3
2. Число ріжучих кромки	6
3. Допустима швидкість різання, м/хв.	18
4. Ширина фрезерування, мм	$a_e=0,05 \cdot D=0,05 \div 0,15$
5. Глибина різання, мм	0,5÷1
6. Швидкість обертання шпинделя, хв. ⁻¹	$n = \frac{1000V}{\pi D} = 1900$
7. Подача на зуб, мм/зуб	0,035
8. Протидія дерева різанню, Н·мм ²	900
9. Потужність шпинделя, кВт	8,5
10. Обертовий момент, Н·м	0,1
11. Зосереджена окружна сила, Н	$F_t = 1000$
12. Осьова сила, Н	$F_a = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta = 212$ де β – кут нахилу зубців
13. Радіальна сила, Н	$F_r = F_t \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} = 400$ де α – кут зчеплення по ГОСТ 13755-81

На підставі аналізу геометрії та умов роботи умов навантаження (див. табл.

1) проведемо кожен із видів числового моделювання.

4.2 Статичний структурний аналіз

При лінійному статичному структурному аналізі врахування сили інерції, демпфуючої сили і сили удару не враховується. Загальне матричне рівняння математичної моделі, яке використовується в комп'ютерній програмі:

$$[M]\{u\} = \{f\} \quad (4.1)$$

де, M – це жорсткість матеріалу, u – вектор зміщення, f – вектор зовнішнього навантаження.

Вихідними даними необхідними для проведення статичного структурного аналізу є:

1. CAD модель верстат (рисунок 4.1).
2. Згенерована сітка (рисунок 4.2).
3. Поверхні фіксації верстата (fixed support) (рисунок 4.3).

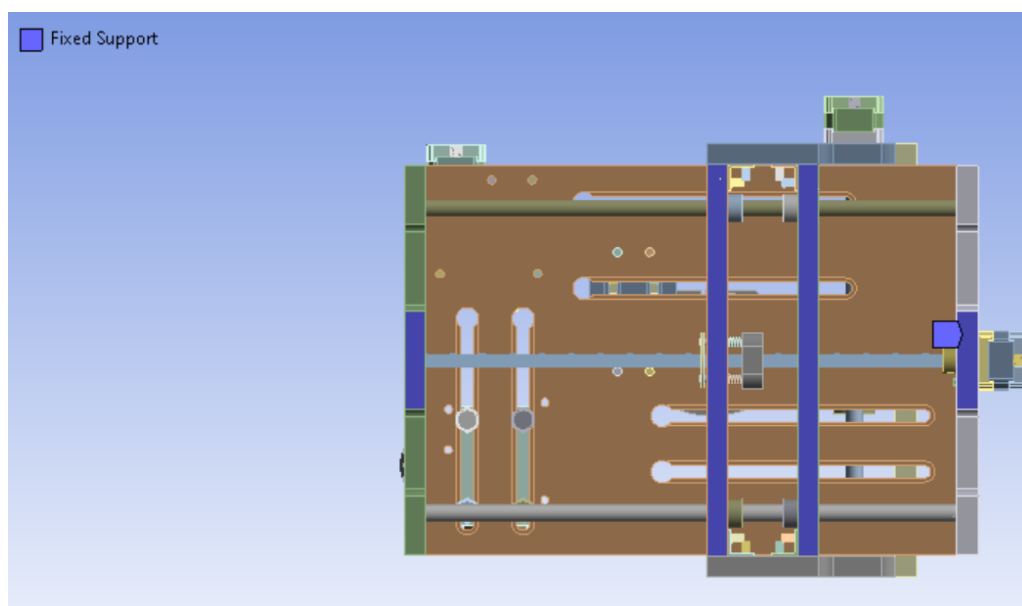


Рисунок 4.3 – Поверхні фіксації (fixed support)

4. Прискорення - a (рисунок 4.4)

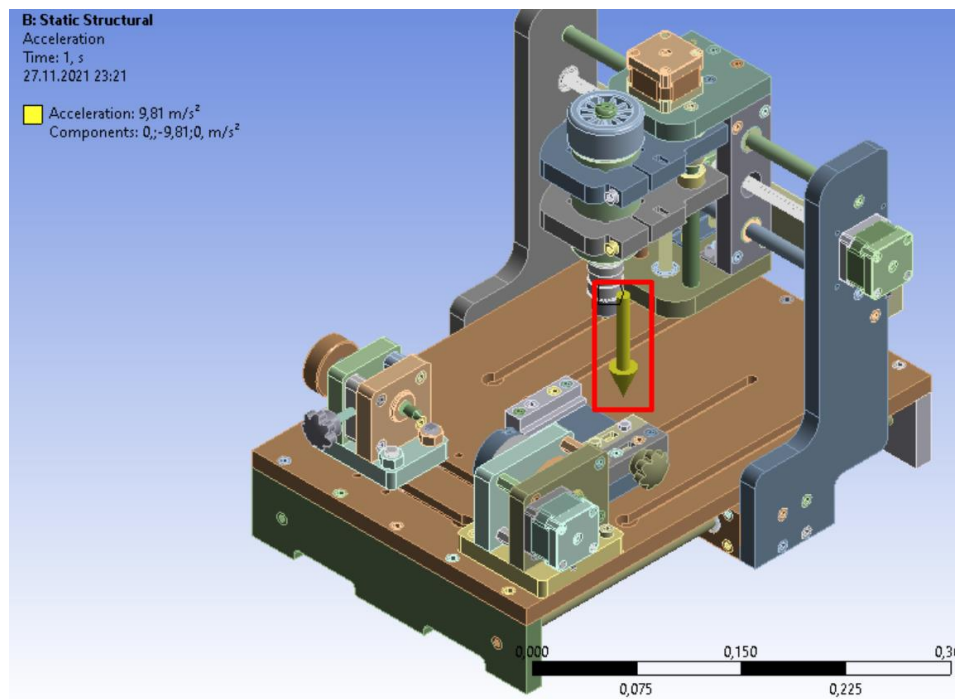


Рисунок 4.4 – Направлення вектору прискорення

5. Вектор напрямку сили N (рисунок 4.5)

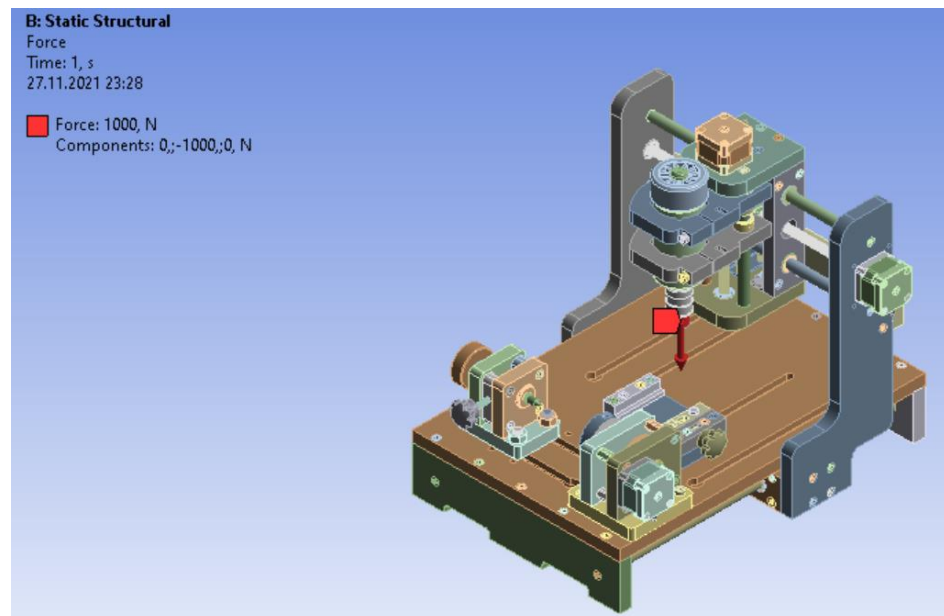


Рисунок 4.5 – Вектор сили N

Отримані результати:

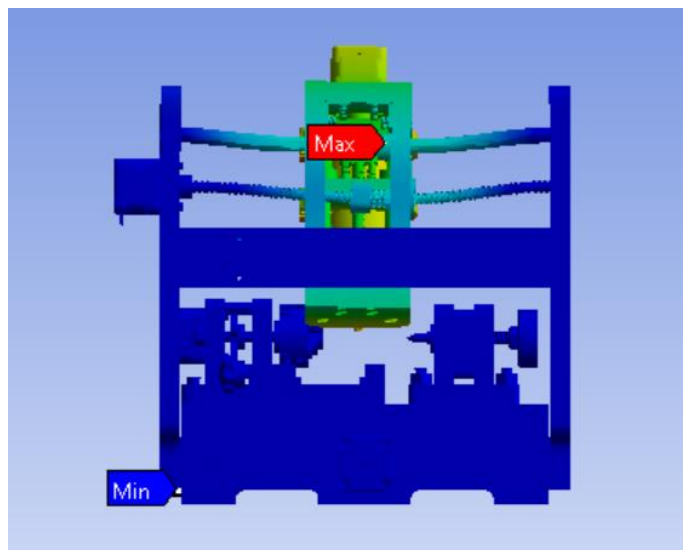
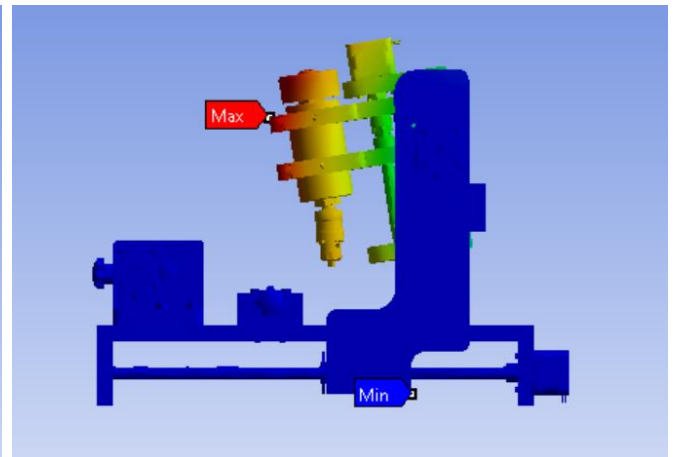
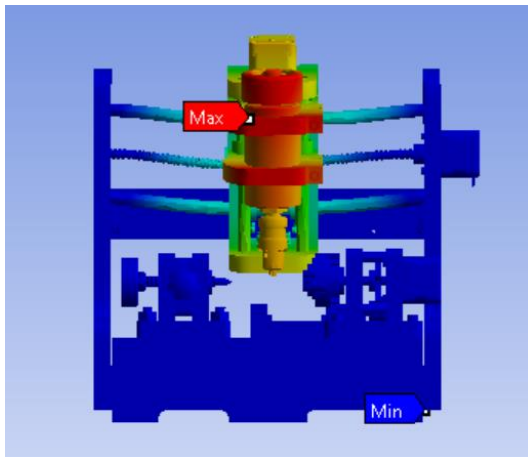
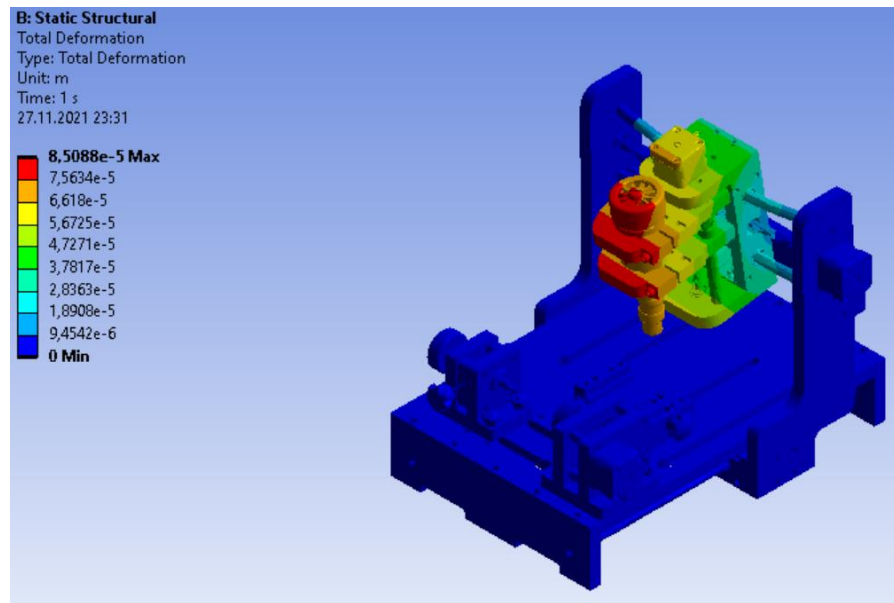


Рисунок 4.6 – Вплив сили N на деформацію свердильного модуля вертикально-фрезерного верстата

Таблиця 4.3 – Загальна деформація (Total deformation)

<i>Minimum [m]</i>	<i>Maximum [m]</i>	<i>Average [m]</i>
0	8,51E-05	1,33E-05

Основне зосередження напружень та деформацій сконцентроване на свердлильному вузлі верстата, тому із цього можна зробити висновок, що при обробленні деталі можливий перекис ріжучого інструмента, і як наслідок неточність форми виконаного отвору, тобто брак.

Еквівалентний стрес (Equivalent stress) широко використовується для представлення стану матеріалу (рисунок 4.7), тобто це механічна напруга, яка характеризує результат впливу зовнішньої сили на поверхню матеріалу. Інженери використовують це просте скалярне значення, щоб визначити, чи піддався матеріал, чи вийшов з ладу.

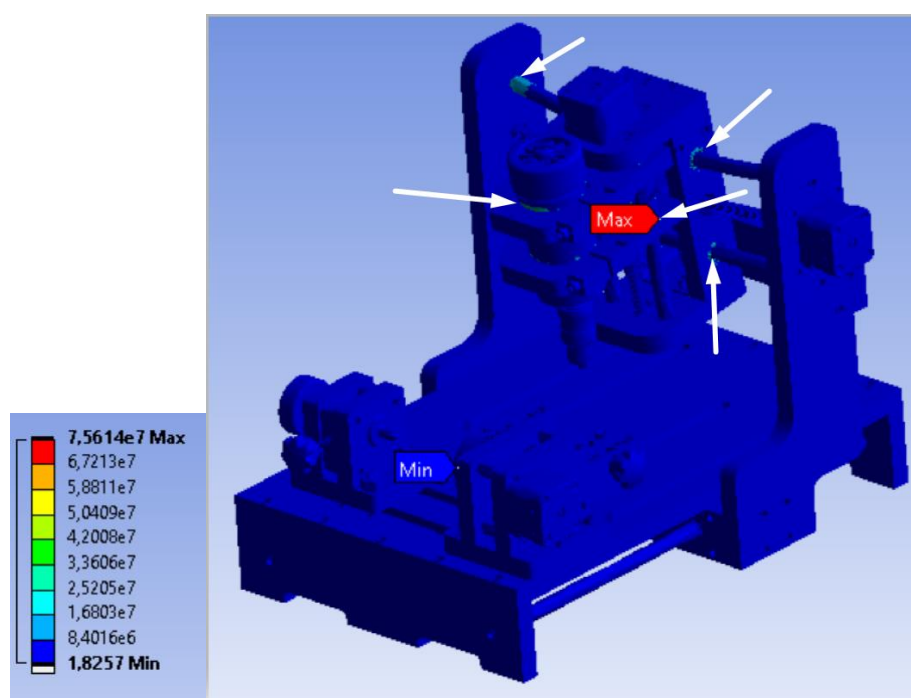


Рисунок 4.7 – Еквівалентна напруга матеріалу

Таблиця 4.4 – Еквівалентний стрес (Equivalent stress)

<i>Minimum [Pa]</i>	<i>Maximum [Pa]</i>	<i>Average [Pa]</i>
1,8257	7,56E+07	1,01E+06

Основне зосередження еквівалентної напруги сконцентровано у точках кріплення свердлильного модуля до бокових стійок рухомого модуля, а також у місцях де встановлюються втулки, вони сприймають найбільшу напругу.

На рисунку 4.7 продемонстровано нормальну напругу всього вертикально-фрезерного верстата в цілому.

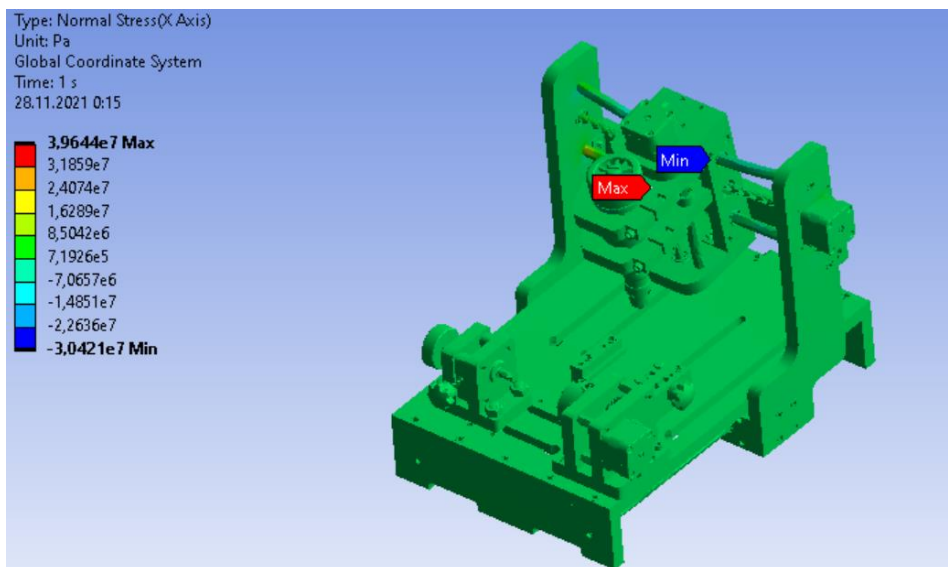


Рисунок 4.7 – Нормальний стрес (Нормальна напруга)

На рисунку 4.8 продемонстровано результат руйнування механізму верстата при максимальному навантаженні.

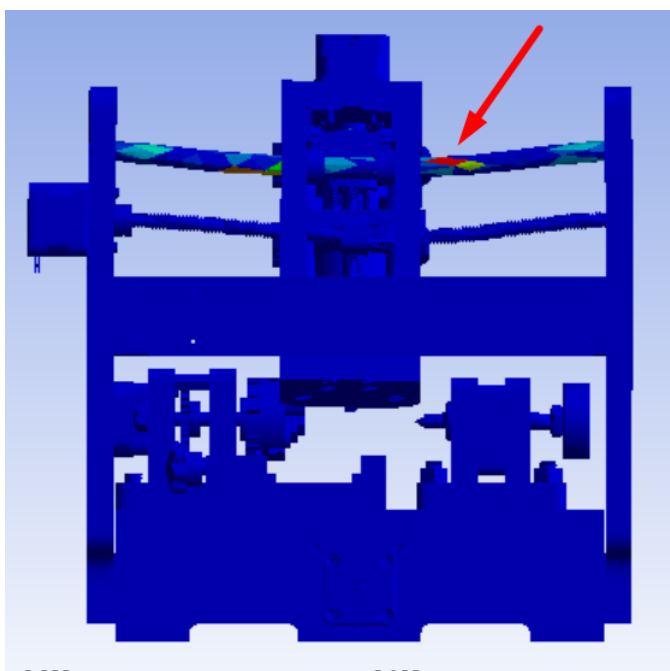


Рисунок 4.8 – Точка руйнування

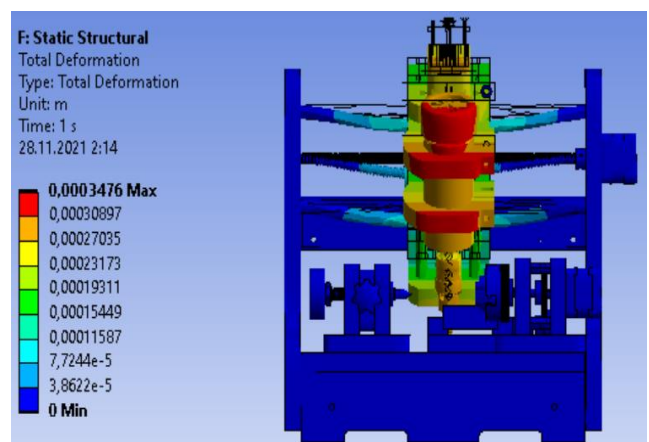
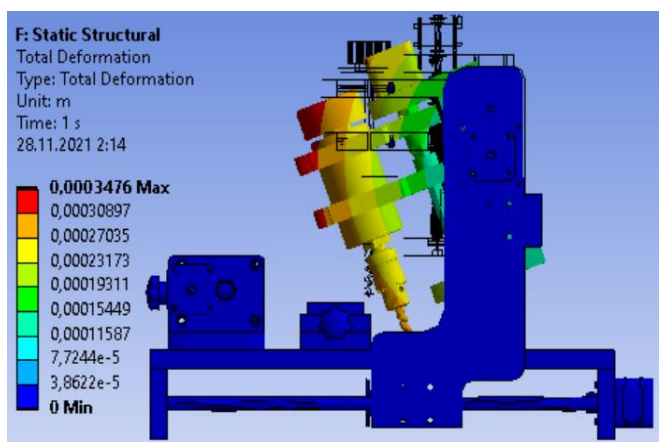
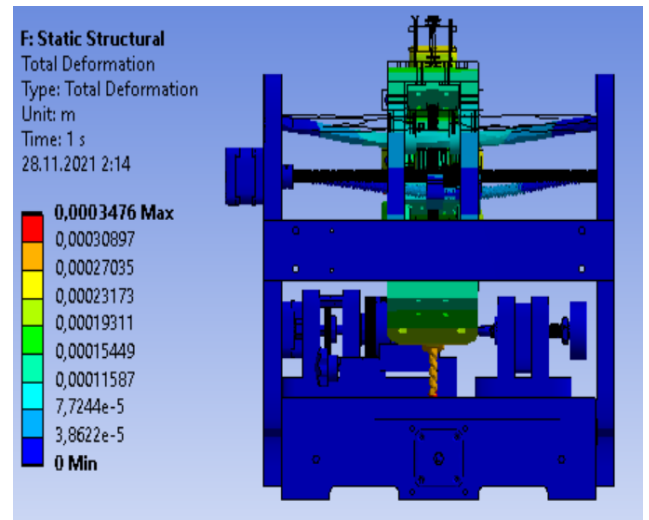
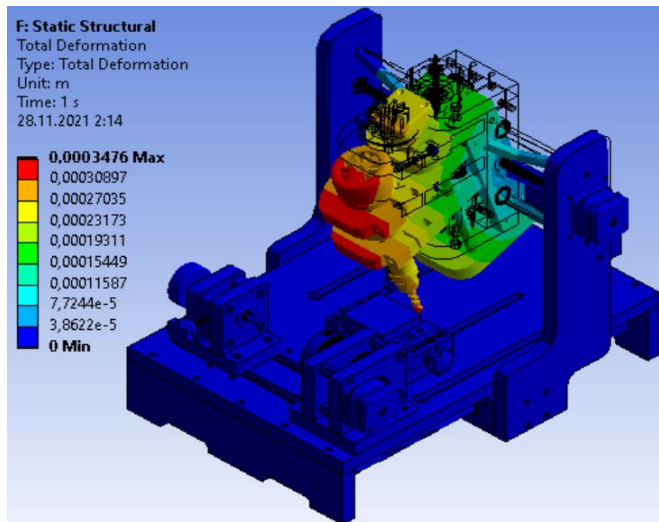


Рисунок 4.9 – Статичний структурний аналіз конструкції верстата

Таблиця 4.5 – Руйнівний стрес (Error stress)

<i>Minimum [J]</i>	<i>Maximum [J]</i>	<i>Total [J]</i>
5,68E-25	1,08E-04	1,31E-02

4.3 Модальний аналіз

Модальний аналіз — це процес визначення всіх модальних параметрів, яких потім достатньо для формулювання математичної динамічної моделі. Більшість практичних проблем із шумом та вібрацією пов'язані з явищами резонансу, коли експлуатаційна сила активізує один або кілька режимів вібрації. Режими вібрації представляють притаманні для вільної конструкції динамічні властивості. Моді пов'язані зі структурним резонансом, резонанс визначається як зовнішня сила, що діє на тіло, то частота зовнішнього збудження дорівнює власній частоті системи, або модель відома як резонанс. Резонансна вібрація виникає внаслідок взаємодії між інерційними та гнучкими або пружними властивостями матеріалів всередині конструкції. Типовим і цінним методом для цього є визначення його режимів вібрації. Кожна мода характеризується модальною частотою, модальним загасанням і формами моди. Кожного разу, коли система піддається впливу зовнішньої сили, а потім вивільняється, вона зазнає природних вібрацій або вільних коливань. Частоту цих вільних коливань називають «власною частотою». При резонансних умовах відбувається максимальна передача енергії між системою та навколишнім середовищем. Режими форми є властивостями матеріалу або структури. Режими в основному залежать від властивостей матеріалу, таких як щільність, жорсткість, константи демпфування, ефект інерції та гіроскопічний ефект тощо. Форми режиму є унікальними [39].

Вихідні дані для проведення модального аналізу:

1. Встановлення кількості мод (змінні значення або режими) – 10;
2. Поверхні фіксації (рисунок 4.3);
3. Встановлення характеристик для дослідження – напруга і вібрації.

Отриманні результати:

На рисунку 4.9 продемонстровано вібраційний вплив на механізми верстата під час оброблення.

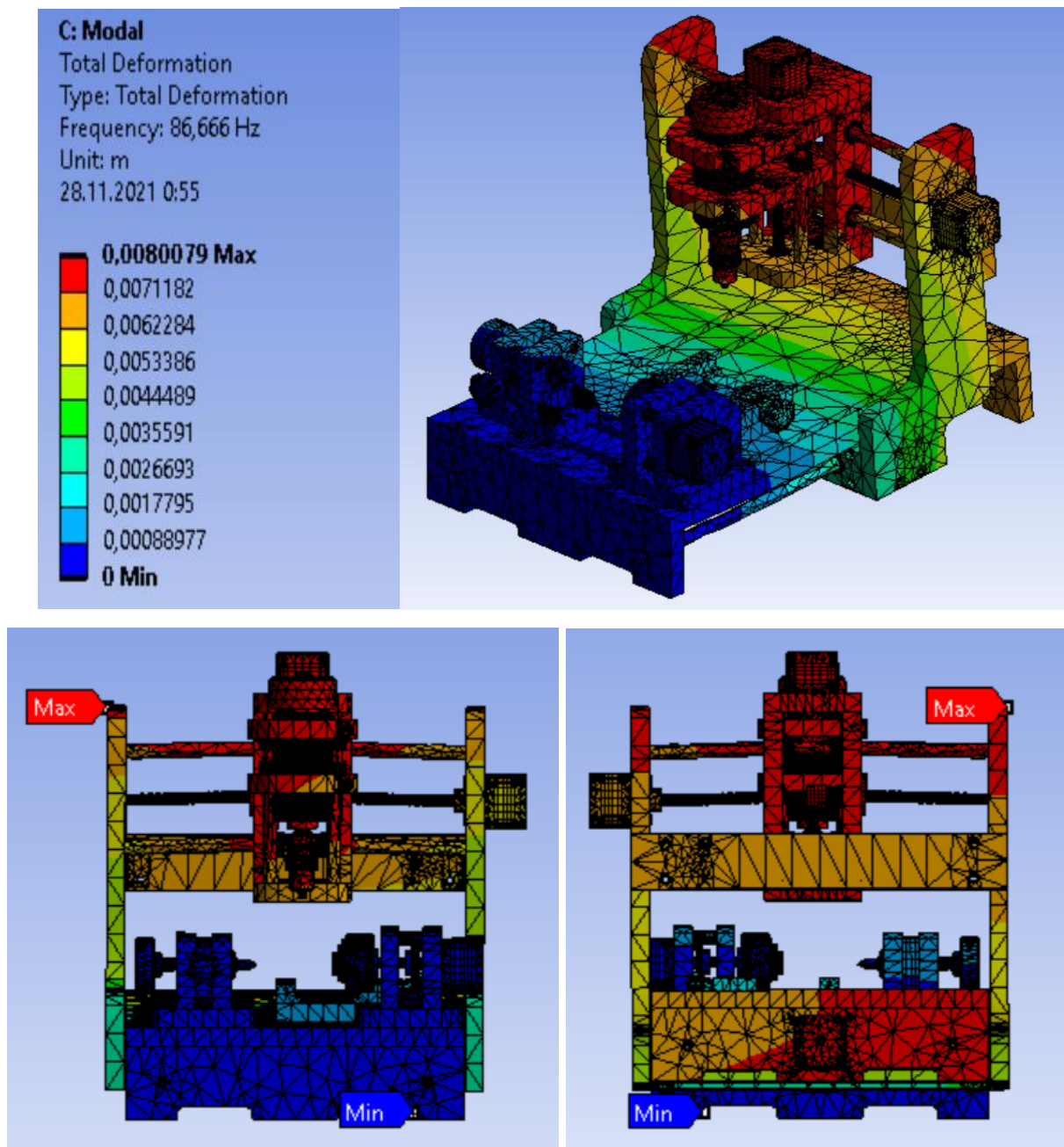


Рисунок 4.10 – Розповсюдження вібрацій по конструкції верстата

Із рисунка 4.10 можна спостерігати, що найбільших вібрацій під час різання зазнає свердлильний вузол верстата, свердлильний патрон, а також елементи каркасу. Задня планка, яка слугує для додання жорсткості елементам конструкції не грає вирішальної ролі під час оброблення. Мінімальні вібрації в передній частині. Лещата верстатні, мають вібрації, які знаходяться в нормальному діапазоні частот, близькому до мінімального, це говорить про те, що вони мають менший вплив на стан оброблення ніж червона зона свердлильного вузла.

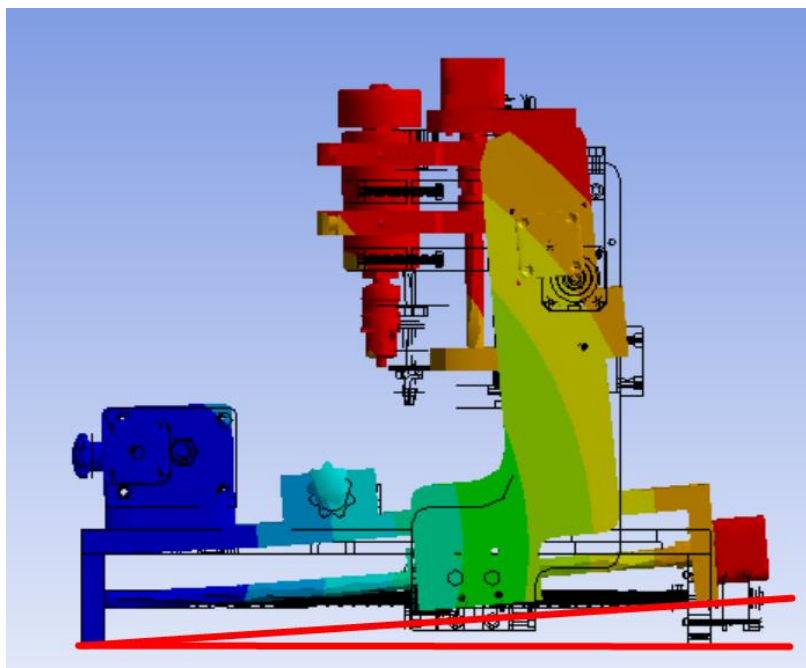


Рисунок 4.11 – Зміщення верстата відносно нульової точки під час різання

Отримані результати власних коливань показані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.6 – Власні коливання верстата

<i>Номер режиму</i>	<i>Frequency [Hz]</i>
1	86,666
2	168,38
3	190,85
4	288,38
5	438,56
6	493,39
7	534,29
8	585,01
9	769,69
10	777,67

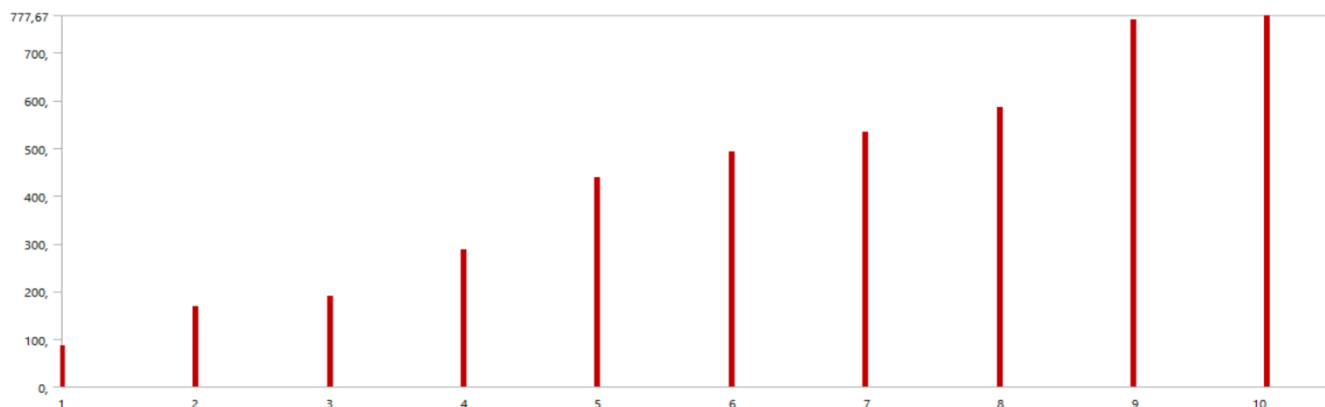


Рисунок 4.12 – Діаграма власних коливань верстата

Із даних результатів можна зробити висновок, що із збільшенням режиму, зокрема із збільшенням частоти обертання шпинделя при якому зростають вібрації, власні коливання верстата збільшуються, і як наслідок вони передаються всій технологічній системі, це призводить до погіршення умов оброблення та дисбалансу верстата, його точності, продуктивності та надійності. Як вже було зазначено вище, одним із випадків можливої втрати стійкості пружною системою є обертання валів із критичними частотами, близькими до власних частот коливань вала.

4.4 Гармонічний аналіз

На основі модального аналізу для оцінки відгуку конструкції на змінне навантаження проведемо гармонічний аналіз верстата. Додамо момент обертання свердлильного патрону $M=0,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ (рисунок 4.12).

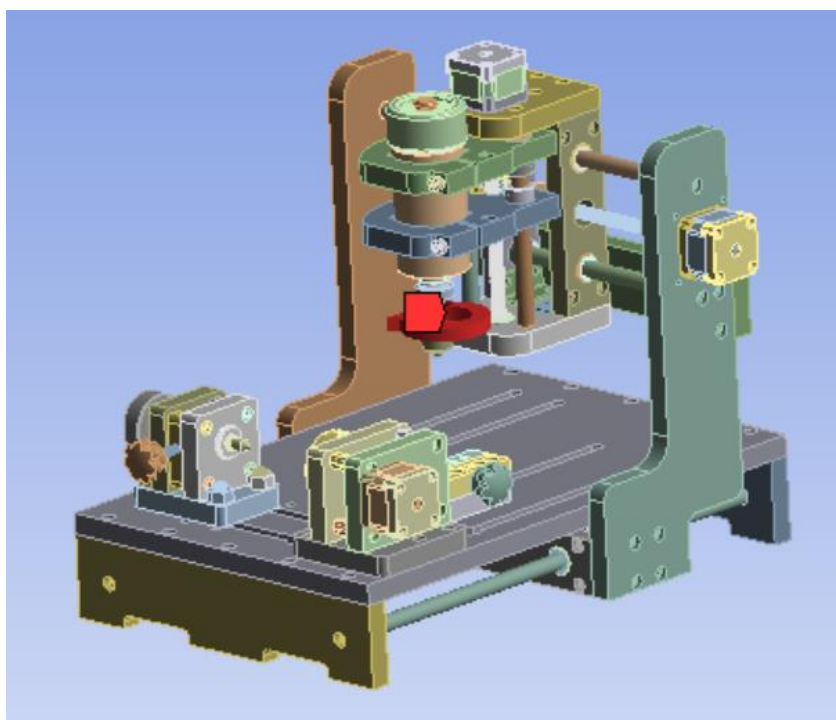


Рисунок 4.13 – Обертання шпинделя верстата

Як бачимо, каркас верстата піддається скручуванню. Отримані результати більш наглядно показані на рисунку 4.13, 4.14, 4.15 та 4.16.

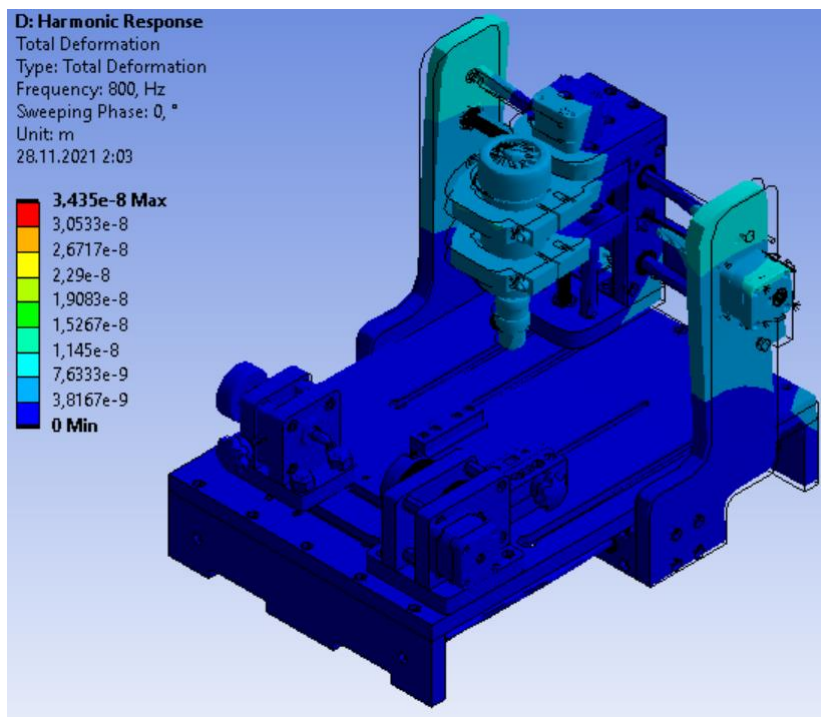


Рисунок 4.13 – Скручування конструкції верстата під дією моменту обертання пік власних коливань 800 Гц.

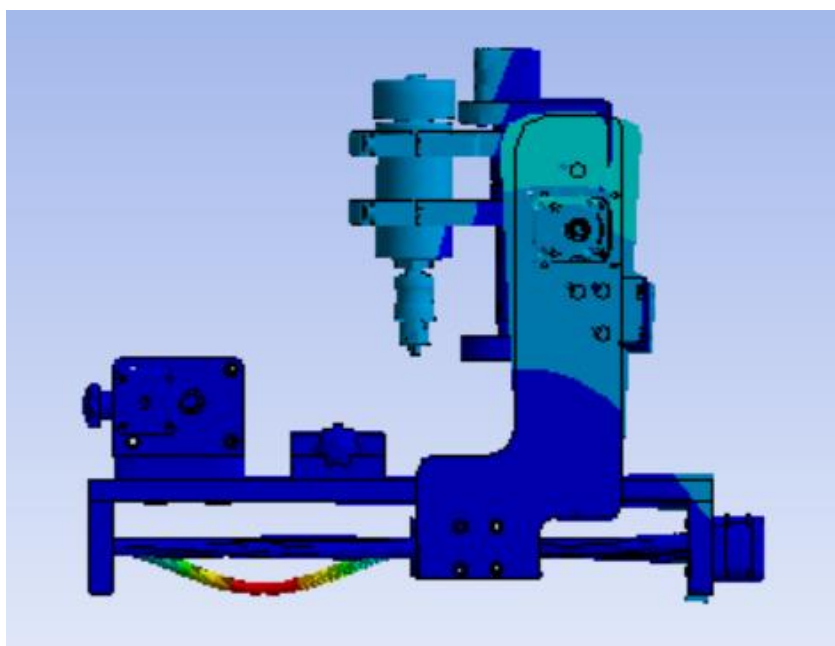


Рисунок 4.14 – Вплив моменту обертання шпинделя (вид збоку)

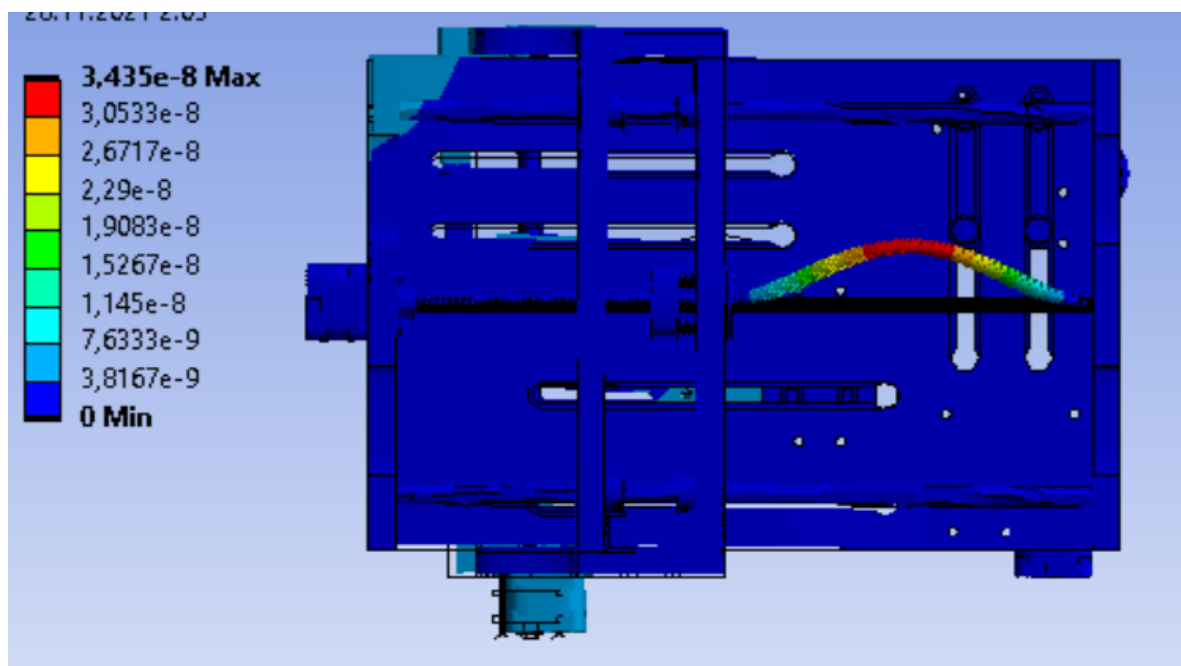


Рисунок 4.15 – Вплив моменту обертання шпинделя (вид знизу)

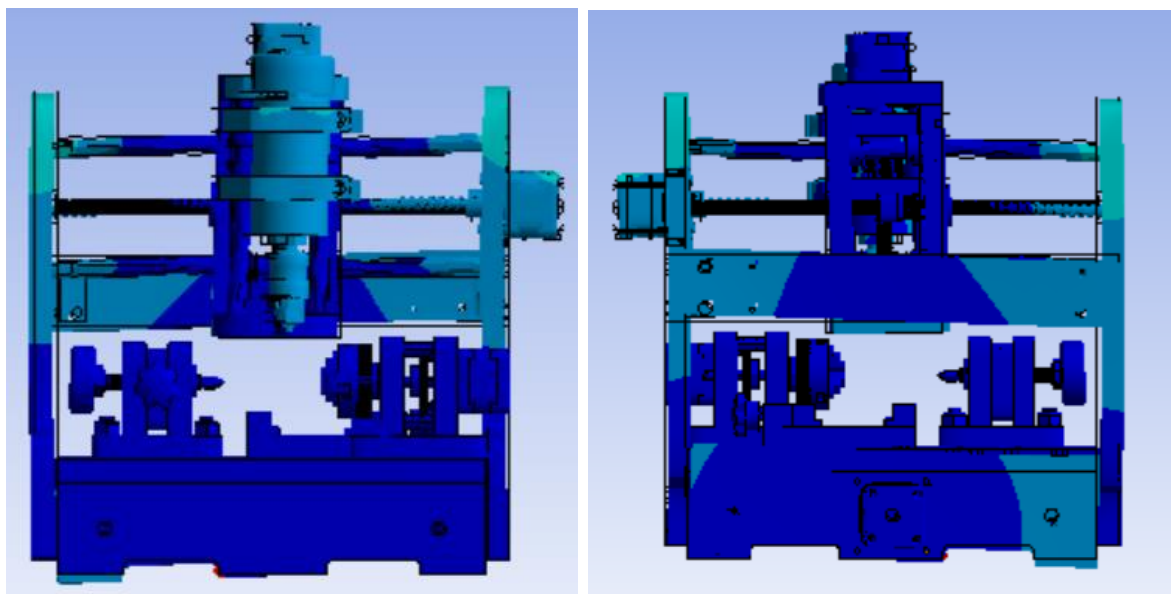


Рисунок 4.16 - Вплив моменту обертання шпинделя (вид спереду та ззаду)

Як видно із рисунку 4.14, 4.15 – найбільшого руйнування при моменті обертання свердлильного патрону зазнає вал переміщення рухомого модуля, який зазнає скручування.

При гармонічному аналізі пік власних коливань складає 440 Гц (рисунок 4.17).

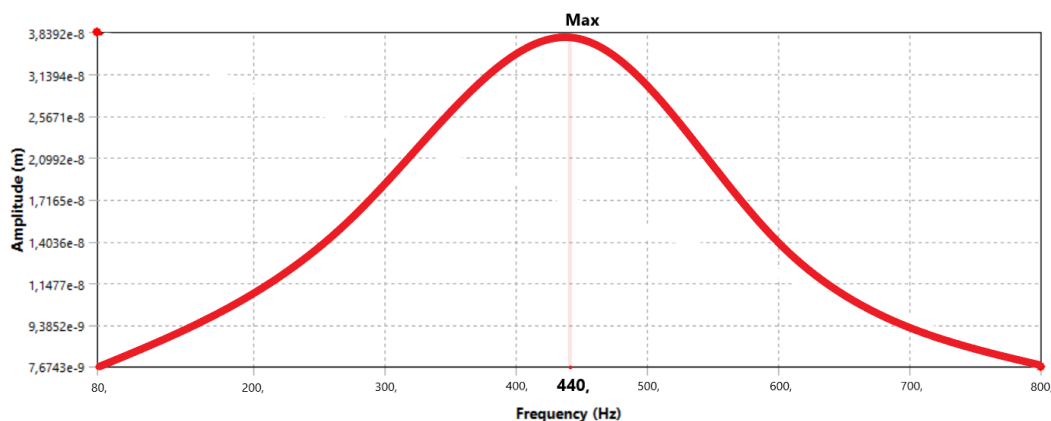


Рисунок 4.17 – Амплітуда коливань при гармонічному аналізі (пік коливань 440 Гц)

Результати впливу коливань на деформацію конструкції верстата по вісі x, y, z при частоті 440 Гц.

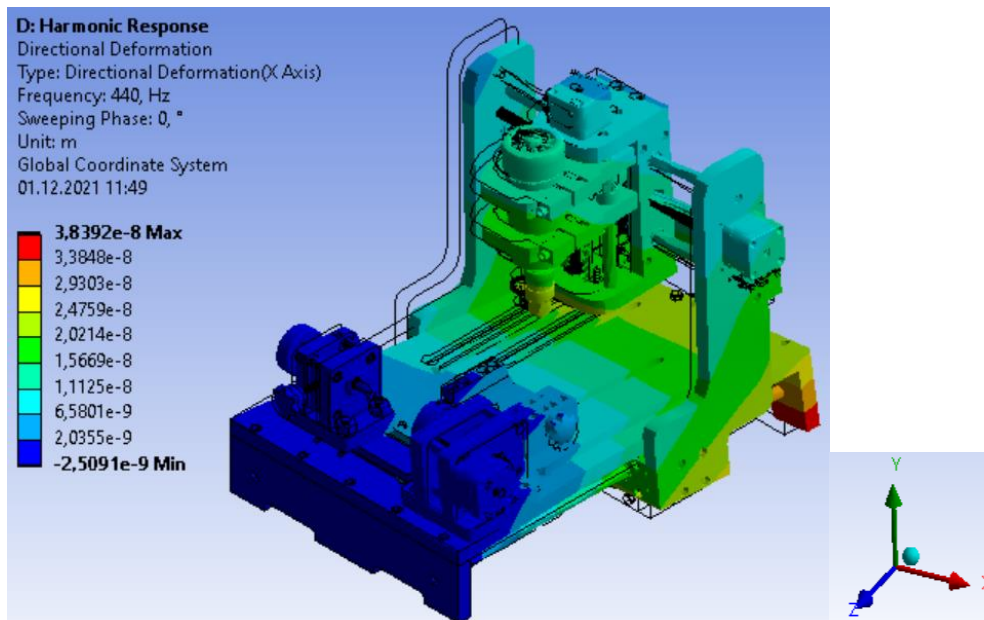
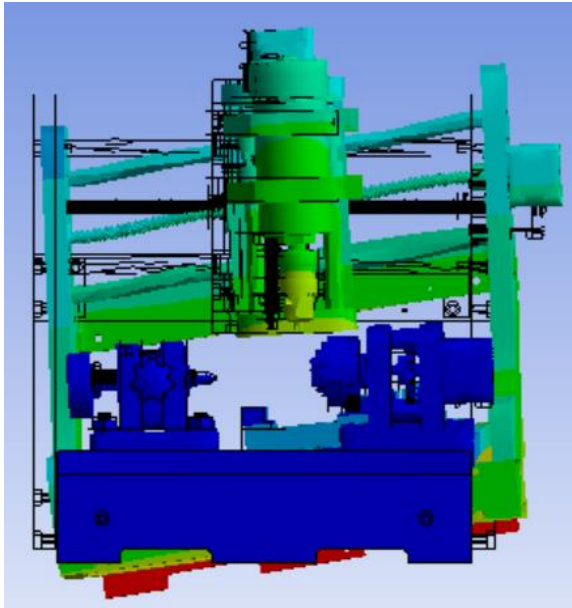
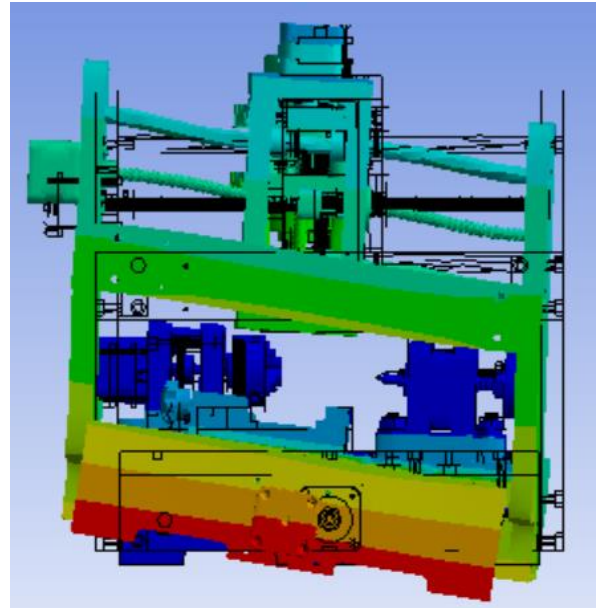


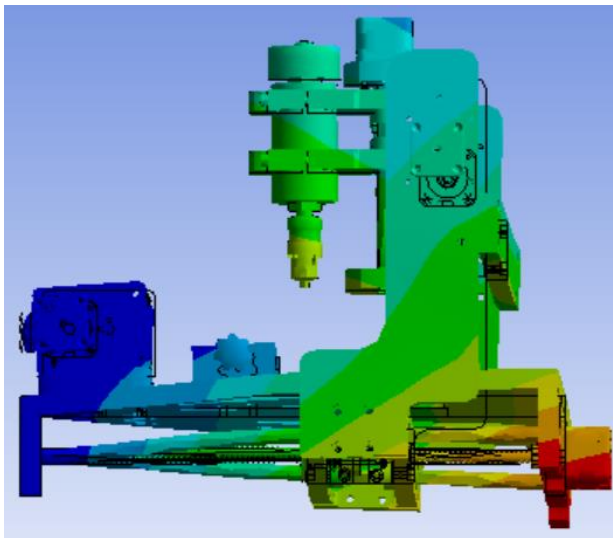
Рисунок 4.18 – Вплив коливань на деформацію по вісі X (просторова модель)



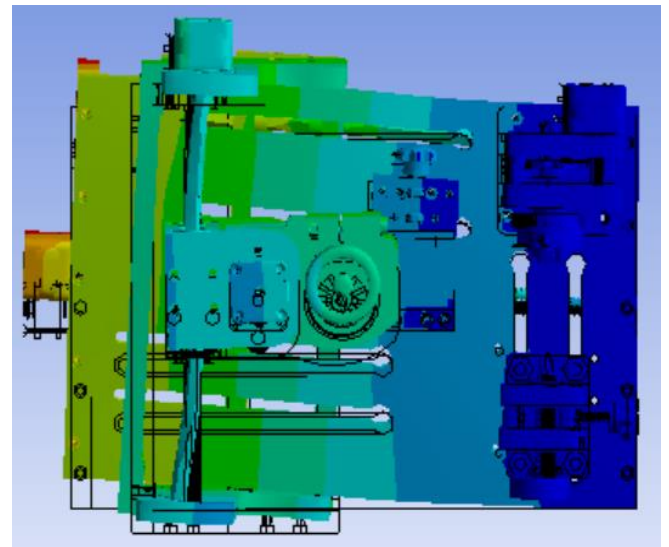
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.19 – Вплив коливань на деформацію по вісі X:
а) вид спереду; б) вид ззаду; в) вид збоку; г) вид зверху.

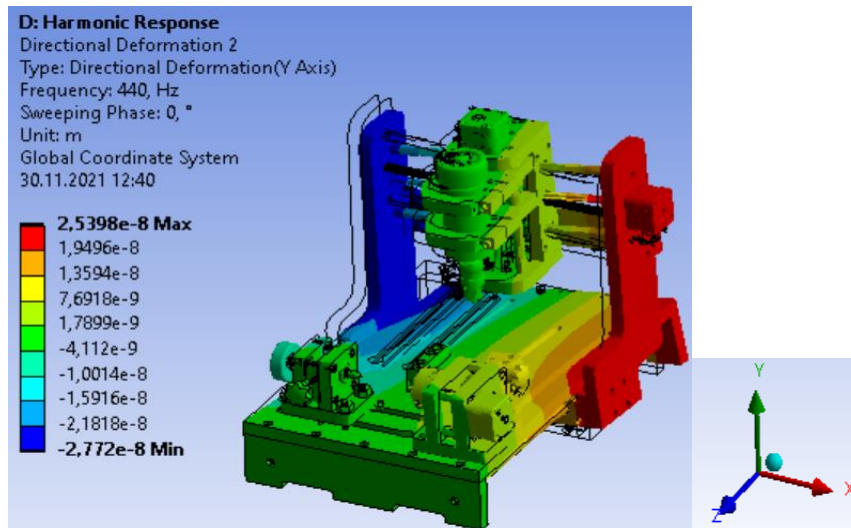
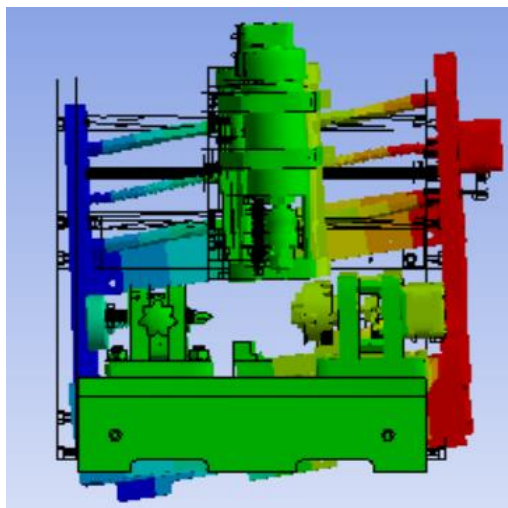
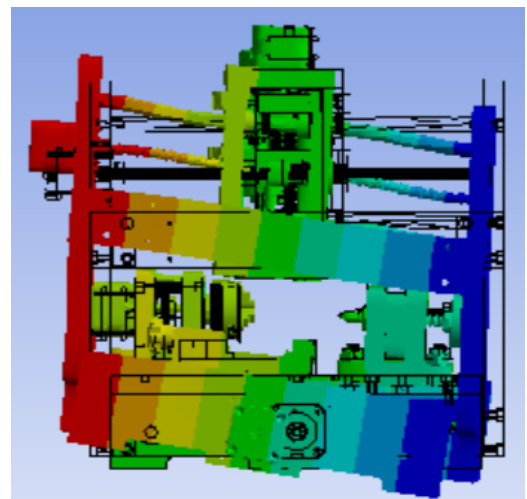


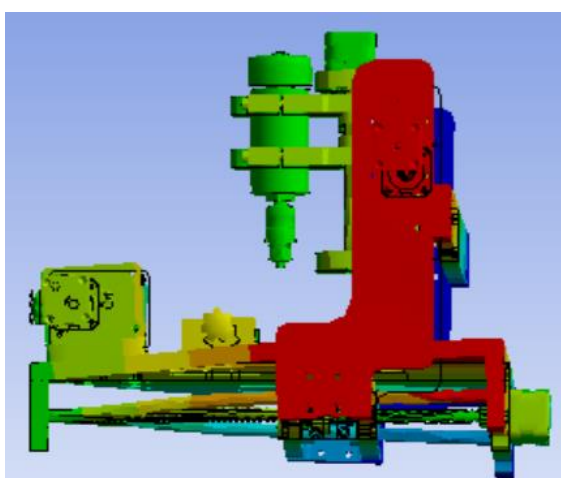
Рисунок 4.20 – Вплив коливань на деформацію по вісі Y (просторова модель)



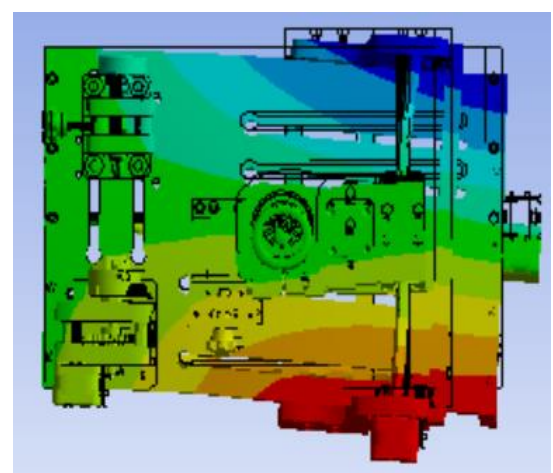
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.21 – Вплив коливань на деформацію по вісі Y:

а) вид спереду; б) вид ззаду; в) вид збоку; г) вид зверху.

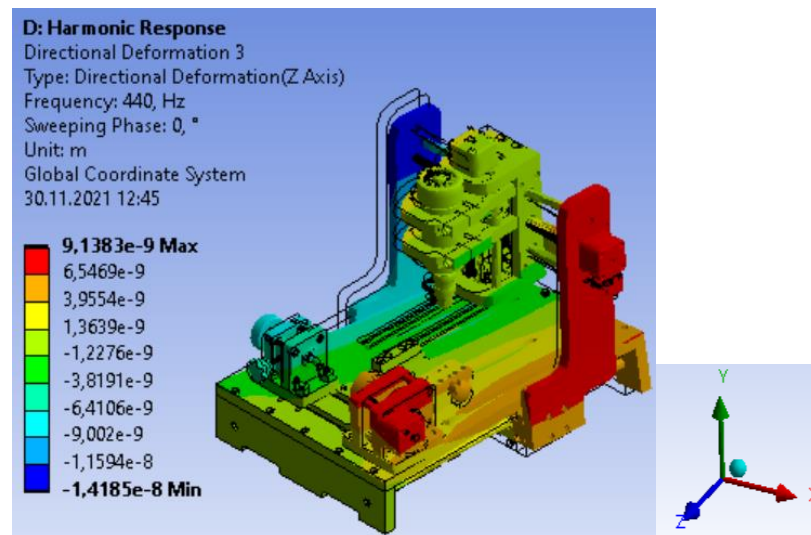
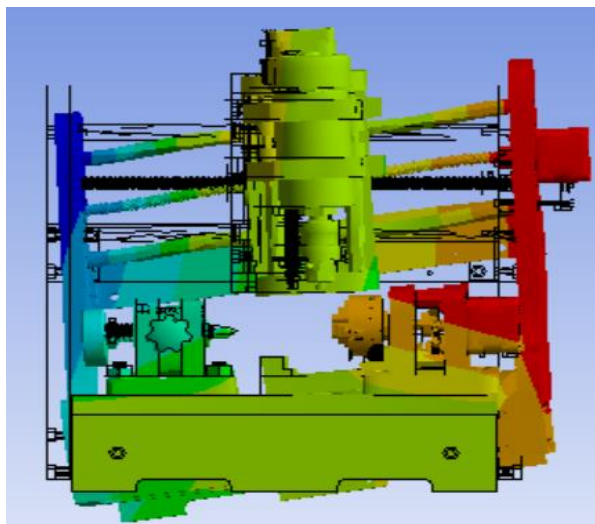
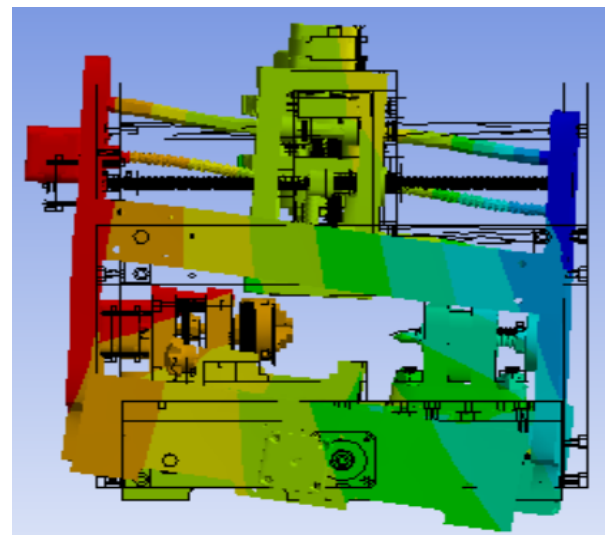


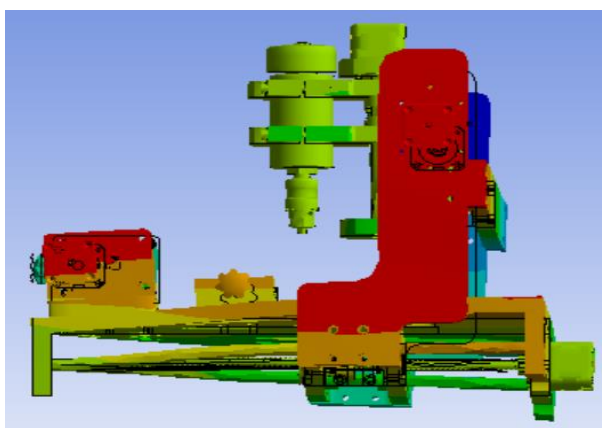
Рисунок 4.22 – Вплив коливань на деформацію по вісі Z (просторова модель)



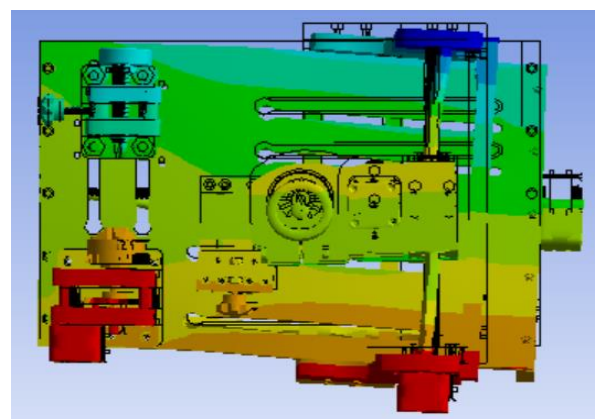
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.23 – Вплив коливань на деформацію по вісі Z:

а) вид спереду; б) вид ззаду; в) вид збоку; г) вид зверху.

4.5 Висновки

Спираючись на проведений аналіз можна зробити висновок, щодо оптимальності технологічної системи “Верстат-пристрій-інструмент-деталь”, дослідження проведені на напружено-деформований стан конструкції верстата, а також на віброактивність механізмів вертикально-фрезерного верстату, можна зробити припущення про можливі джерела виникнення вимушених коливань механізмів верстата. Але потрібно усвідомлювати, що без експериментальної перевірки результатів чисельного моделювання навряд чи можна сприймати за належне. Основне джерело помилки в роботі програми, ймовірно, це спрощення конструкції верстата, тобто спрощення підшипників, гвинтів, направляючих валів, відсутність різі. Усі умови контакту мають просте злиття вузлів. Без цих спрощень числове моделювання не могло бути проведено.

Модальний аналіз показав, що власні моди, що виникають у діапазоні 80 - 800 Гц, відображаються в коливання (див. рис.4.10), а також у взаємному нахилі та обертанні окремих частини каркаса (див. рис.4.11). Тому також був проведений гармонічний аналіз.

Гармонічний аналіз, був проведений для коливань 80 та 800 Гц, який відобразив, що при доданні моменту обертання шпинделя в 0,1 Н·м, відбувається обертання частин каркасу верстата і як видно із (рис. 4.15) найбільшого руйнування зазнає ходовий вал верстата. Пікові частоти власних коливань верстата 440 Гц.

Із впевненістю говорити про те, який саме елемент або механізм верстата має найбільший вплив на виникнення коливань в системі неможливо, адже це потребує обов'язкового детального дослідження та діагностики. Але в подальшому можна користуватися отриманими результатами дослідження, як орієнтирами, на які потрібно спиратися в разі отримання негативних результатів оброблення.

Дана методика досліджень стану верстата може мати місце при проектуванні, виготовленні та експлуатації нових металорізальних верстатів, адже вона дозволяє виявляти дефекти, які іншими методами виявляються складно або не виявляються взагалі.

5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Вступ до розроблення стартап проекту

За останні десятиліття темпи зростання визначили успіх більшості технологічних компаній. Закон Мура забезпечив безпрецедентну обчислювальну потужність, започаткувавши принцип «переможець отримує все» зі зростаючою віддачею від масштабу проекту. Зростання кількості стартапів стало підприємницькою мантрою початку 21 століття, що призвело до створення нових технологічних гігантів, нових галузей і епохи, в якій онлайн-спільнота, контент і комерція змінили наші уявлення про життя, навчання і роботу.

Стартапи - це підприємства, що швидко ростуть, які прагнуть задовольнити потреби ринку шляхом розробки інноваційних продуктів, послуг або платформ. Стартапи сприяють досягненню вікової мети прогресу. Стартапи допомагають полегшити життя та досягти успіхів. Однією з їх найбільших переваг є глобальний вплив на розвиток людини.

Для сучасної України є необхідністю розвивати інноваційно-орієнтовану економіку, для перетворення ідей в інноваційні продукти та виведення їх на ринок. Тобто, саме реалізація ідей в життя робить їх інноваціями. Існування ідеї в чиемусь уявленні, навіть найунікальнішої, не означає, що вона інноваційна. Ідею треба продати, застосувати, поширити, лише тоді вона стає інновацією. З цього випливає закономірне питання: як це зробити, як подолати відому "долину смерті"?

Для швидкого зростання інноваційного продукту (стартапу), підприємець повинен випускати продукт, який буде мати наступні особливості:

- Унікальна ідея – стартап буде успішним тільки в тому випадку, якщо його ідея раніше не використовувалася і при цьому буде корисною для клієнтів та прибутковою для інвесторів.
- Швидке зростання – у стартапів не має часу на розгойдування, їм потрібно якнайшвидше знайти ефективну стратегію просування на ринку.
- Мінімальні витрати на старті — у стартапів може не бути свого капіталу, а розвиток відбувається з допомогою сторонніх інвестицій.

- Вміння шукати слабкі місця – вміння зрозуміти, де інші люди втрачають свої гроші та час, інколи допомагає розробити корисні рішення.
- Стати експертом - бути інсайдером ринку завжди вигідніше, ніж заходити до нього збоку. При цьому можна поєднувати знання відразу в кількох галузях, щоб винайти щось на стику технологій.

Отже, секрет створення успішного стартапу дуже простий треба мати далекоглядність і стратегічне мислення, необхідно зрозуміти тенденції, що існують на момент запуску ідеї. Створюваний продукт повинен бути привабливим, як для інвесторів, так і для цільової аудиторії. У стартап проектів немає права на банальність.

5.2 Опис ідеї стартап-проекту

Виконання складної графіки, фігурних контурів, фрезерування, свердління на запропонованій конструкції вертикально-фрезерного верстата відбувається із низькою точністю позиціонування механізмів верстата, що призводить до значного зниження якості оброблення, а також викликає брак. Основною проблемою, яка може впливати на точність позиціонування є використання звичайних крокових двигунів, у яких при високому навантаженні та безперервній роботі виникають пропуски кроків, що викликає похибку в обробці. Відомі конструкції крокових двигунів – це електродвигун, де розміщені котушки збудження, і частини, що обертається, з постійними магнітами або обмотками. Така конструкція ротора забезпечує його фіксацію після відпрацювання команди, що управляє, струм, що подається в одну з обмоток статора, викликає фіксацію ротора. Послідовна активація обмоток двигуна викликає дискретні кутові переміщення (кроки) ротора, при високому навантаженні кроки пропускаються. Нова запропонована конструкція крокового двигуна дозволяє покращити позиціонування механізмів верстата за рахунок впровадженні програмованої електронної схеми із автоматичним регулюванням параметрів заданих у керуючій програмі. При невідповідності режимам різання та координатам оброблення, контролер буде подавати сигнали на відпрацювання, шляхом підбор параметрів, поки необхідний параметр або положення не відповідатиме заданому.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Переваги для користувача</i>
Впровадження програмованої електронної схеми із автоматичним регулюванням параметрів заданих у керуючій програмі, таких як швидкість різання та координати положення механізмів верстата.	Складне контурне оформлення виробів	Підвищена точність позиціонування механізмів верстата незалежно від навантаження
	Фігурне фрезерування	Наявність зворотного зв'язку, що повністю виключає втрату кроків.
	Виготовлення статуток, елементів ювелірної та сувенірної продукції	За рахунок програмованої електронної схеми, при зіткненні з перешкодою драйвер двигуна реагує на дану зупинку.

Точність оброблення, а саме правильність виконання фігурних контурів значною мірою залежить від точності позиціонування механізмів верстата відносно оброблюваної поверхні. У запропонованій конструкції крокового двигуна дані похибки будуть зменшені, через те, що програмована електронна схема, буде автоматично порівнювати числа коду із керуючої програми із числами отримуваними в процесі обробки і якщо вони відрізняються автоматично регулювати їх значення.

5.3 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї

Визначається перелік слабких (W), сильних (S) та нейтральних (N) характеристик та властивостей ідеї проекту для формування його конкурентоспроможності [29].

Таблиця 5.2 Визначення слабких, сильних та нейтральних характеристик стартап-проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї проекту	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W(слабка сторона)	N(нейтральна сторона)	S(сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент №1	Конкурент №2			
1	Експлуатаційний ресурс	високий	високий	високий		+	
2	Точність переміщень виконуючого органу	високий	високий	високий		+	
3	Реакція на примусову зупинку	високий	високий	високий		+	
4	Точність виготовлення	високий	середня	низька			+
5	Продуктивність	високий	високий	середня		+	
6	Діапазон регулювання числових значень	високий	низька	низька			+
7	Вартість	низька	високий	високий			+

5.4 Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічний аудит – метод оцінювання комерційного потенціалу результатів наукових розробок та ефективності технологічних інновацій. Даний метод розглядається як діючий механізм активізації інноваційної політики в науково-технічній сфері [29].

Таблиця 5.3 Технологічний аудит проекту

№	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Складне фігурне оброблення виробів, контурне фрезерування, виготовлення статуеток, елементів ювелірної та сувенірної продукції із використанням нової конструкції крокового двигуна із впровадженням нової електронної схеми автоматичного регулювання числових значень	Виконання замовлень (виготовлення деталей) та продаж для фізичних та юридичних осіб	+	-
2	Складне фігурне оброблення виробів, контурне фрезерування, виготовлення статуеток, елементів ювелірної та сувенірної продукції із використанням нової конструкції крокового двигуна із впровадженням нової електронної схеми автоматичного регулювання числових значень	Надання права підприємствам на користування патентом із використанням нової конструкції крокового двигуна	+	+

Проаналізувавши результати таблиці 5.3 була обрана технологія реалізації ідеї проекту, шляхом надання права підприємствам на користування патентом із використання нової конструкції крокового двигуна із впровадженням нової електронної схеми автоматичного регулювання числових значень. Рішення було прийняте з урахуванням наявності та доступності технологій.

5.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Аналіз ринкових можливостей є важливим етапом започаткування ринкових можливостей стартап-проекту. Дана стадія дозволяє спланувати напрямки розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, визначити потреби потенційних клієнтів, а також виявити ринкові загрози, які заважають реалізувати проект [29].

Проведемо аналіз попиту, його наявність, обсяг та динаміку розвитку ринку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців	50+
2	Загальний обсяг продаж на рік, грн/ум.од	43 млрд. ум.од
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Дефіцит кадрів, дефіцит мікросхем
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги до утилізації, безпеки для життя та здоров'я
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	5-10%

За результатами таблиці 5.4 можна зробити висновок, що даний ринок є привабливим, так як відсоток рентабельності більше 0% , а також дана рентабельність для точного машинобудування є дуже привабливою.

Надалі, визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у введінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
<i>1</i>	Зменшення браку при виконанні складної графіки, контурування та оздоблення ювелірної і сувенірної продукції	Приватні підприємці, малі виробництва	Вимоги до точності виготовленої продукції	Точність позиціонування механізмів верстат, за рахунок нової конструкції, від якої залежить точність виробу і як наслідок зменшується відсоток браку
<i>2</i>	Окупності конструкції крокових двигунів	Приватні підприємці, малі виробництва	Висока продуктивність	Підвищена продуктивність, зменшення браку.

Далі проводимо аналіз ринкового середовища, складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 5.6 – 5.7).

Таблиця 5.6 Фактори загроз

<i>№</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Зростання інфляції	Підвищення цін на продукцію за рахунок падіння платоспроможності	Гнучка політика ціноутворення, контроль за емісією коштів
2	Зростання дефіциту мікросхем	Підвищення попиту на продукцію і неспроможність задовольнити попит споживача	Залучення інвесторів на територію України із метою будівництва нових виробничих ліній із використання додаткових податкових пільг
3	Спад виробництва	Відсутність кадрів, зменшення попиту, поява інноваційних продуктів	Вдосконалення існуючої продукції, співпраця із технологічними гігантами даної області

Таблиця 5.7 Фактори можливостей

<i>№</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Зростання інфляції	Падіння платоспроможності підприємств конкурентів	Впровадження інновацій, збільшення інвестицій в проект
2	Внутрішня інтеграція	Підвищення масштабів підприємства	Збільшення виробничих потужностей, обмін технологіями
3	Стимуляція розвитку точного машинобудування	Зміна податкової політики та тиску на нові підприємства	Збільшення інвестицій, залучення іноземних інвесторів
4	Зовнішня торгівля	Зміна зовнішньоторгівельної політики підприємства, додаткові переваги на імпортування продукції	Пошук іноземних споживачів, розширення потужностей підприємства, освоєння іноземного ринку

Таблиця 5.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства</i>
<i>1. Тип конкуренції</i>	Олігополія	Невелика кількість національних виробників, які виготовляють подібний продукт, що сприяє захопленню ринку
<i>2. За рівнем конкурентної боротьби</i>	Національний	Здатність підприємств цієї країни успішно конкурувати із міжнародними компаніями, які поставляють даний продукт на територію нашої держави
<i>3. За галузевою ознакою</i>	Внутрішньогалузева	Відмінності у виробничих затратах із іншими підприємствами: підвищення якості і зменшення ціни
<i>4. Конкуренція за видами товарів</i>	Товарно-видова конкуренція	Впровадження інновацій
<i>5. За характером конкурентних переваг</i>	Цінова	Нова гнучка політика ціноутворення
<i>6. За інтенсивністю</i>	Марочна	Нова поті лика маркетингу, реклами і маніпуляції цінами

Після ступеневого аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера (табл. 5.9)

Таблиця 5.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари замітники</i>
<i>Складові аналізу</i>	Конкурент 1, конкурент 2	Дефіцит кадрів, прихильність споживача до конкурентів, дефіцит сировини	Постачальники потрібні	Втрата клієнтів є ризиком для розвитку	Точність, якість, ціна

Продовження таблиці 5.9

<i>Висновки</i>	Висока інтенсивність конкуренції	Високі можливості входу на ринок, є потенційні конкуренти, від 6 місяців строк виходу їх на ринок	Постачальники не диктують умови роботи на ринку.	Диктують умови роботи на ринку, шляхом потреби у інноваціях	Мала кількість аналогів на ринку
-----------------	----------------------------------	---	--	---	----------------------------------

Проаналізувавши таблицю 5.9 можна зробити висновок щодо принципової можливості роботи на ринку. Продукт представляє себе конкурентоспроможним на ринку, його сильні сторони це якість виготовлення та ціна. Можливості виходу на ринок присутні.

На основі ступеневого аналізу конкуренції (табл. 5.8) та із врахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 5.2), вимог споживачів до товару (табл. 5.6) та факторів маркетингового середовища (табл. 5.6-5.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [29]. Аналіз представлений в табл. 5.10.

Таблиця 5.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення факторів, що роблять чинник для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Відданість споживачів товару	Стабільний продаж продукції
2	Корисність для споживача	Завоювання і утримання конкурентних позицій на ринку
3	Застосування новітніх технологій	Нові можливості для вдосконалення продукції
4	Ціноутворення	Збереження темпів виробництва
5	Якість продукції	Максимум прибутку
6	Сприятлива державна політика регулювання економіки	Додаткові інвестиції у розвиток
7	Дефіцит електронних схем	Підвищення цін на продукцію
8	Поява нових “гравців” на ринку	Створення кооперацій для обміну технологіями і досвідом
9	Динамічний розвиток і розширення ринку	Залучення нових інвестицій, розширення ринку і вихід на інші ринки

Продовження таблиці 5.10

10	Строки і умови гарантії, умови платежів та постачань товару, система знижок	Залучення нових споживачів
11	Старіння конструкції	Виявлення слабких сторін конструкції та впровадження нових технологій

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 5.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Аналіз представлений в табл. 5.11.

Таблиця 5.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Конкурент 1 "3X MOTION TECHNOLOGIES CO.,LTD."						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Відданість споживачів товару	8			+				
2	Корисність для споживача	8				+			
3	Застосування новітніх технологій	5				+			
4	Ціноутворення	9	+						
5	Якість продукції	7				+			
6	Сприятлива державна політика регулювання економіки	4							+
7	Дефіцит електронних схем	1				+			
8	Поява нових "гравців" на ринку	8				+			
9	Динамічний розвиток і розширення ринку	3			+				

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 5.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 5.11)

Таблиця 5.12 SWOT-аналіз стартап-проекту

<p><i>Сильні сторони:</i></p> <p>Висока якість, надійність і точність продукції.</p> <p>Строки і умови гарантії, умови платежів та постачань товару, система знижок.</p> <p>Застосування новітніх технологій.</p> <p>Висококваліфіковані кадри.</p>	<p><i>Слабкі сторони:</i></p> <p>Невідома компанія на ринку.</p> <p>Відсутність великих інвестицій.</p> <p>Можливий дефіцит сировини.</p>
<p><i>Можливості:</i></p> <p>Розширення виробництва, через зростання інвестицій.</p> <p>Вдосконалення і автоматизація процесів і технологій.</p> <p>Падіння рівня інфляції для збільшення платоспроможності споживача.</p>	<p><i>Загрози:</i></p> <p>Поява нових конкурентів.</p> <p>Дефіцит точного обладнання.</p> <p>Дефіцит постачальників.</p> <p>Високий попит, який не здатні задовольнити.</p> <p>Нестабільні стихійні ситуації в країні.</p> <p>Нестабільна економічна ситуація.</p>

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл. 5.9, аналіз потенційних конкурентів). Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів і представлені в (табл. 5.13).

Таблиця 5.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
<i>1</i>	Стратегія посилення існуючих сильних сторін проекту за рахунок наявних ринкових можливостей	50%	1 рік
<i>2</i>	Стратегія компенсації слабких сторін за рахунок сильних ринкових можливостей	50%	2 роки
<i>3</i>	Стратегія проведення презентацій для закордонних інвесторів	80%	1 рік

Висновки: на основі SWOT- аналізу проекту було розроблено альтернативи ринкової поведінки стартап-проекту на ринок з огляду на потенційні проекти конкурентів. Як альтернативою було обрано проведення презентацій для закордонних інвесторів.

5.6 Розроблення ринкової стратегії проекту

Першим кроком розроблення ринкової стратегії передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 5.14)

Таблиця 5.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Малі підприємці	Середня	Високий	Середня	Низька
2	Середні підприємства	Мала	Високий	Середня	Низька
3	Ювелірні та сувенірні майстерні	Висока	Високий	Середня	Низька

При аналізі цільових груп потенційних споживачів обираємо - ювелірні та сувенірні майстерні. Відповідно до обраного сегменту визначаємо стратегію охоплення ринку – стратегія спеціалізації (таблиця 5.15).

Таблиця 5.15 Визначення базової стратегії розвитку

№	Базова стратегія розвитку	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи
1	Стратегія спеціалізації	Концептований маркетинг	Концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити увесь ринок. Задоволення потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти. Стратегія вразлива, через орієнтованість на один сегмент, але ефективна для невеликих підприємств.

Наступним етапом є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 5.16).

Таблиця 5.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№</i>	<i>Чи є проект “першопрхідцем” на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки</i>
<i>1</i>	<i>Ні</i>	<i>Забирати існуючих та шукати інноваційні способи завоювання нових споживачів</i>	<i>Ні</i>	<i>Стратегія наслідування лідеру</i>

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (табл. 5.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 5.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16) розробляється стратегія позиціонування (табл. 5.17), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати проект [29].

Таблиця 5.17 Визначення стратегії позиціонування

<i>№</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту</i>
<i>1</i>	<i>Зменшення браку при виконанні складної графіки, контурування та оздоблення ювелірної і сувенірної продукції</i>	<i>Стратегія спеціалізації</i>	<i>Висока якість, надійність і точність продукції. Строки і умови гарантії, умови платежів та постачань товару, система знижок. Участь у вдосконаленні та модернізації.</i>	<i>Підвищення точності позиціонування систем верстат. Зменшення браку. Підвищення якості обробленої продукції</i>
<i>2</i>	<i>Окупності конструкції крокових двигунів</i>			

5.7 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (таблиця 5.18).

Таблиця 5.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Конструкція крокового двигуна, яка дозволить компенсувати брак виробів шляхом підвищення точності позиціонування систем верстата та компенсувати похибки звичайних крокових двигунів, які під дією високих навантажень пропускають кроки	Підвищення точності позиціонування систем верстат. Зменшення браку. Підвищення якості обробленої продукції.	Впровадження програмованої електронної схеми із автоматичним регулюванням параметрів заданих у керуючій програмі, таких як швидкість різання та координати положення механізмів верстата.

Надалі розроблено трирівневу маркетингову модель товару (таблиця 5.19).

Таблиця 5.19 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові	
1. Товар за задумом	Конструкція крокового двигуна, яка дозволить компенсувати брак виробів шляхом підвищення точності позиціонування систем верстата та компенсувати похибки звичайних крокових двигунів	
2. Товар у реальному виконанні	Властивості	Значення
	1. Точність позиціонування	1. 0,02 мкм
	2. Кутове переміщення	2. 0,9°/шаг (400 шаг/об).
	3. Час розгону	3. до 1000 об/хв за 0,2 с
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування	
Пакування: гофрокоробка і пінопласт		
Марка: "Punctuality"		

Продовження таблиці 5.19

3. Товар із підкріпленням	До продажу: потребує ознайомлення з роботою товару
	Після продажу: підтримка клієнтів
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: шляхом створення патенту та комерційної таємниці	

Наступним кроком є визначення цінових меж (табл. 5. 20). Аналіз проведений експертним методом.

Таблиця 5.20 Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	50\$	70-150\$	від 3000\$	100-120\$

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 5.21).

Таблиця 5.21 Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Споживачі купують продукт у спеціалізованих точках продажу	Встановити контакти із дистриб'юторами. Забезпечити повнотою товару.	Залучення сторонніх посередників і продаж власними силами	Через сайти виробника, посередників або в точках продажу

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5.22).

Таблиця 5.22 Концепція маркетингових комунікацій

<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
Клієнти дізнаються про продукти компанії через соціальні мережі, реклами в інтернет-ресурсах, по рекомендаціям, комунікації із дистриб'юторами	Соціальні мережі, глобальна мережа інтернет, реклама, брошури	Довіра до бренду, якість та надійність.	Експериментальна інформація про продукт. Можливості.	Привернення уваги клієнтів правдивими свідченнями про продукт, а також відгуками клієнтів

5.8 Висновок

Виконавши загальний аналіз ідеї стартап-проекту, можна зробити висновок, що ідея розробки нової конструкції крокового двигуна актуальна, попит на продукцію є. Конкуренція на ринку України відсутня, що дозволяє легко ввійти на український ринок. Цільова аудиторія це ювелірні та сувенірні майстерні. В якості альтернативи потрібно проводити зустрічі із іноземними інвесторами для залучення нових коштів на український ринок. Перевагою запропонованого проекту є те, що проект повністю відповідає потребам споживачів, таких як покращення якості готової продукції, зменшення браку на готовий вибір із одночасним покращенням технічних характеристик верстата. Оскільки цільова аудиторія дізнається про продукт із мережі інтернет, соціальних мереж, від дистриб'юторів, було вирішено, використовувати сайт і рекламні брошури для розповсюдження інформації про продукт. Розвиток стартап-проекту буде залежати від рівня економіки в країні та розвитку точного машинобудування.

ВИСНОВКИ

У роботі виконано загальний аналіз тенденцій верстатобудування у світі, а саме виготовлення вертикально-фрезерних та вертикальних обробних центрів, основні допоміжні елементи верстатів, які полегшують оброблення, інструмент та їх технологічні можливості. Найголовнішими тенденціями, які мають визначне місце у розвитку верстатного обладнання є комплексне багато осьове оброблення, сполучення різних способів різання, високошвидкісне оброблення, використання одночасно міцних і надлегких станин, сучасні конструкції шпинделів, та багато-інструментальні головки, які дозволяють комбінувати інструмент для оброблення.

Покладаючись на службове призначення верстата та враховуючи його технологічні можливості, було спроектовано тривимірну модель вертикально-фрезерного верстата, його додаткове технологічне оснащення, на основі цього було розроблено конструкторську документацію у вигляді складального креслення та специфікації.

Відповідно до розроблених технологічних схем складання вертикально-фрезерного верстата та оснащення, розроблено технологічний процес складання верстата і його додаткових елементів, розроблено технологічну документацію у вигляді технологічних схем складання та маршрутної карти складання.

Відповідно до вихідних даних, а саме деталей які потребують оброблення було виконано чисельне моделювання та досліджено технологічну систему “верстат-пристрій-інструмент-деталь” на напружено-деформований стан та вібрації. Виконано статичний структурний аналіз, модальний аналіз та гармонічний аналіз систем верстата в цілому.

У системі верста – пристрій – інструмент – деталь (ВПД) при виконанні оброблення виникають вібрації, які є основною проблемою зменшення жорсткості конструкції верстата. Було визначено максимальні та мінімальні значення деформації, визначено максимальні значення при яких верстат руйнується, а також визначено власні частоти коливання.

У результаті дослідження було описано методику, яка є орієнтиром та на яку потрібно спиратися в разі отримання негативних результатів оброблення. Дана методика досліджень стану верстата може мати місце при проектуванні,

виготовленні та експлуатації нових металорізальних верстатів, адже вона дозволяє виявляти дефекти, які іншими методами виявляються складно або не виявляються взагалі. Але потрібно усвідомлювати, що без експериментальної перевірки, результати чисельного моделювання навряд чи можна сприймати за належне. Основне джерело помилки в роботі програми, ймовірно, це спрощення конструкції верстата, тобто спрощення підшипників, гвинтів, направляючих валів та більшості елементів конструкції. Усі умови контакту мають просте злиття вузлів. Без цих спрощень числове моделювання не могло бути проведено.

Результати науково-дослідної роботи «Геометричне моделювання процесу складання вертикально-фрезерного верстата» впроваджено у навчальний процес Сумського державного університету в рамках науково-дослідної теми, при проведенні практичних робіт з дисципліни Металообробне обладнання.

Конкурсна робота «Геометричне моделювання процесу складання вертикально-фрезерного верстата», зайнято 2-е місце у II етапі Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт «Прикладна геометрія, інженерна графіка та технічна естетика», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»), 2021-04-26.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпусь В. Є. Ефективне використання верстатів з ЧПК у авіаційному агрегатобудуванні / В. Є. Карпусь, В. О. Границя. – Харків: ДП ХМЗ "ФЭД", 2009. – 228 с.
2. STEFAN M. Machine Tool Market Trends and Challenges [Електронний ресурс] / MIKSCH STEFAN – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arcweb.com/industry-best-practices/machine-tool-market-trends-challenges>.
3. Precision machine tools [Електронний ресурс] // Sharp Industries Inc.. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.roscoprecisionmachinery.com/pdf/Milling-Machines-Catalog.pdf>.
4. Toyota - VERTICAL MACHINING CENTERS [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.toyoda.com/machines/vertical-machining-centers>.
5. WELE - General catalogue [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.newtech.cz/files/produkty/wele/WELE-General-catalogue-2013.pdf>.
6. ОСНОВНЫЕ МИРОВЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nordwesttool.ru/statyi/156-2/>.
7. SHENYANG MACHINE TOOL - General catalogue [Електронний ресурс] // SHENYANG MACHINE TOOL Co.. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://mipe.in/downloads/Metal%20Cutting%20Machine/SMTCL%20General%20Catalogue.pdf>.
8. VERTICAL MACHINING CENTERS - HAAS [Електронний ресурс] // Haas Automation Inc.. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.emex.co.nz/assets/Uploads/Haas-CNC-Verticals.pdf>.
9. HAAS CNC GUIDE 2021 [Електронний ресурс] // HAAS CNC MACHINE TOOLS. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.haas.co.uk/wp-content/uploads/2021/06/Haas-CNC-Guide-2021-Issue-7-hi-res.pdf>.
10. Comprehensive product catalogue [Електронний ресурс] // JYOTI CNC AUTOMATION LTD.. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://jyoti.co.in/wp-content/themes/tf_child/images/General_Catalogue.pdf.
11. Горизонтальные обрабатывающие центры. // HAAS AUTOMATION EUROPE. – 2007.
12. Вертикально-фрезерные обрабатывающие центры. // HAAS AUTOMATION EUROPE. – 2007.
13. Многоцелевые станки с ЧПУ. // Haas Automation Inc.. – 2014.

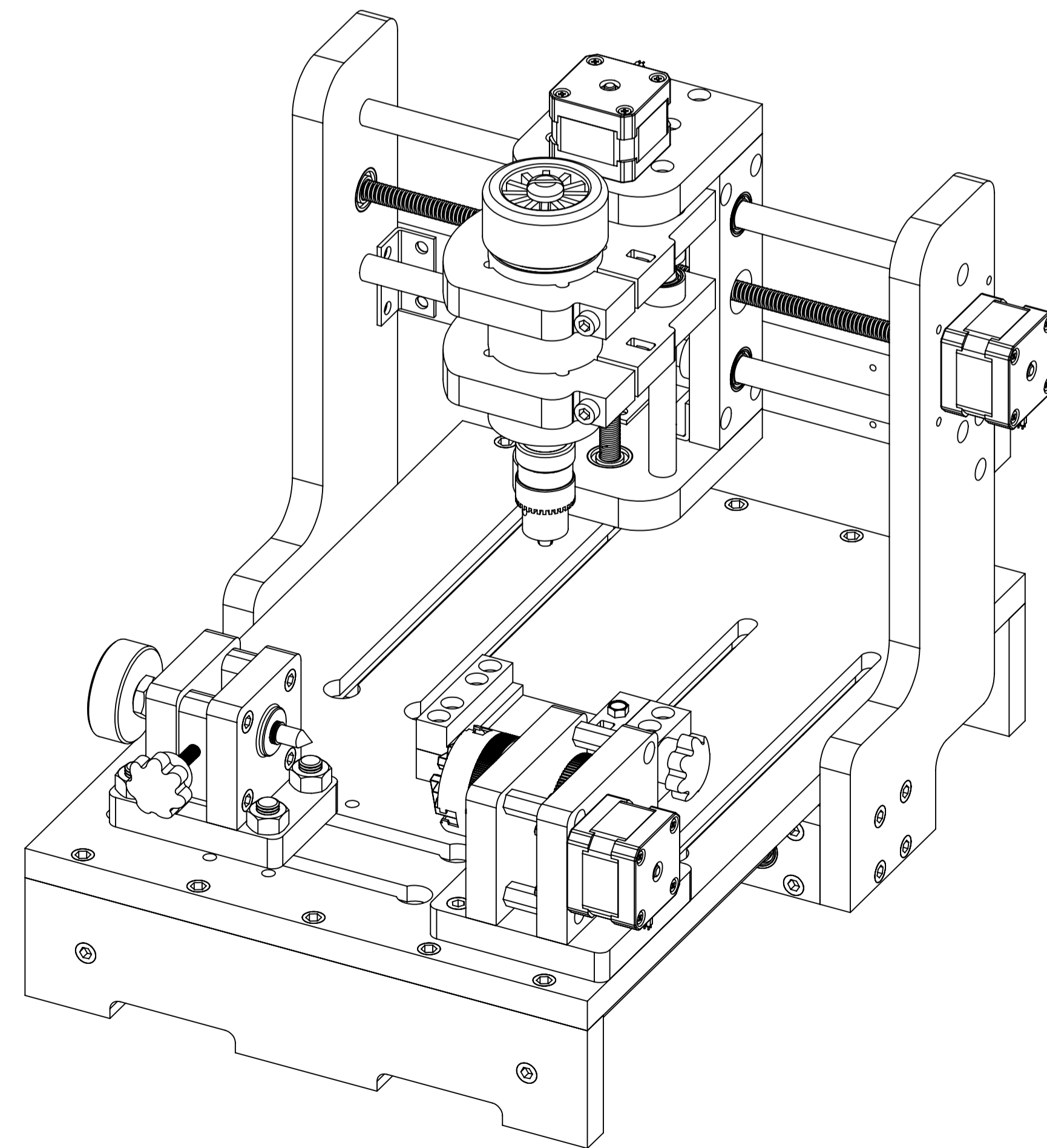
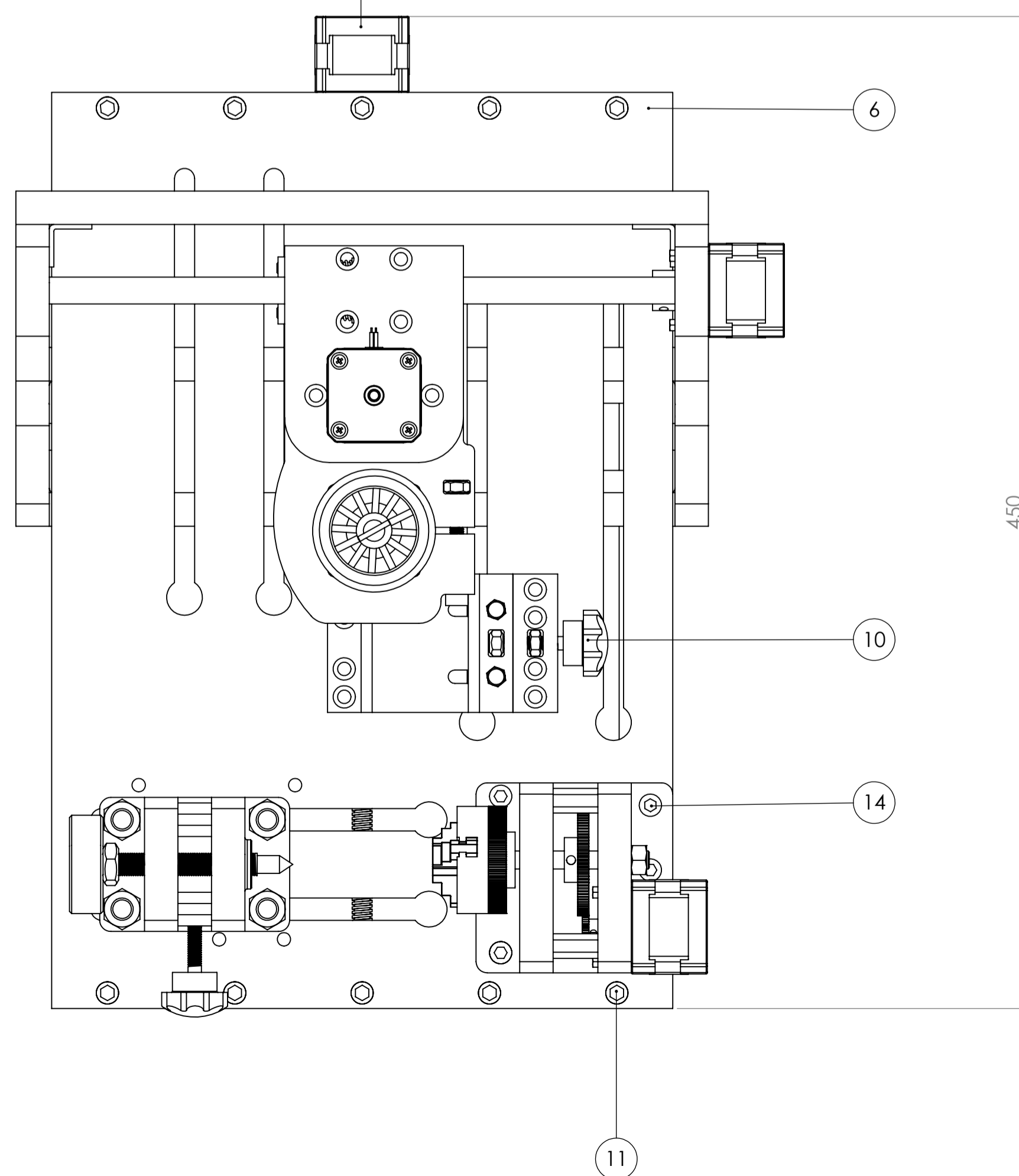
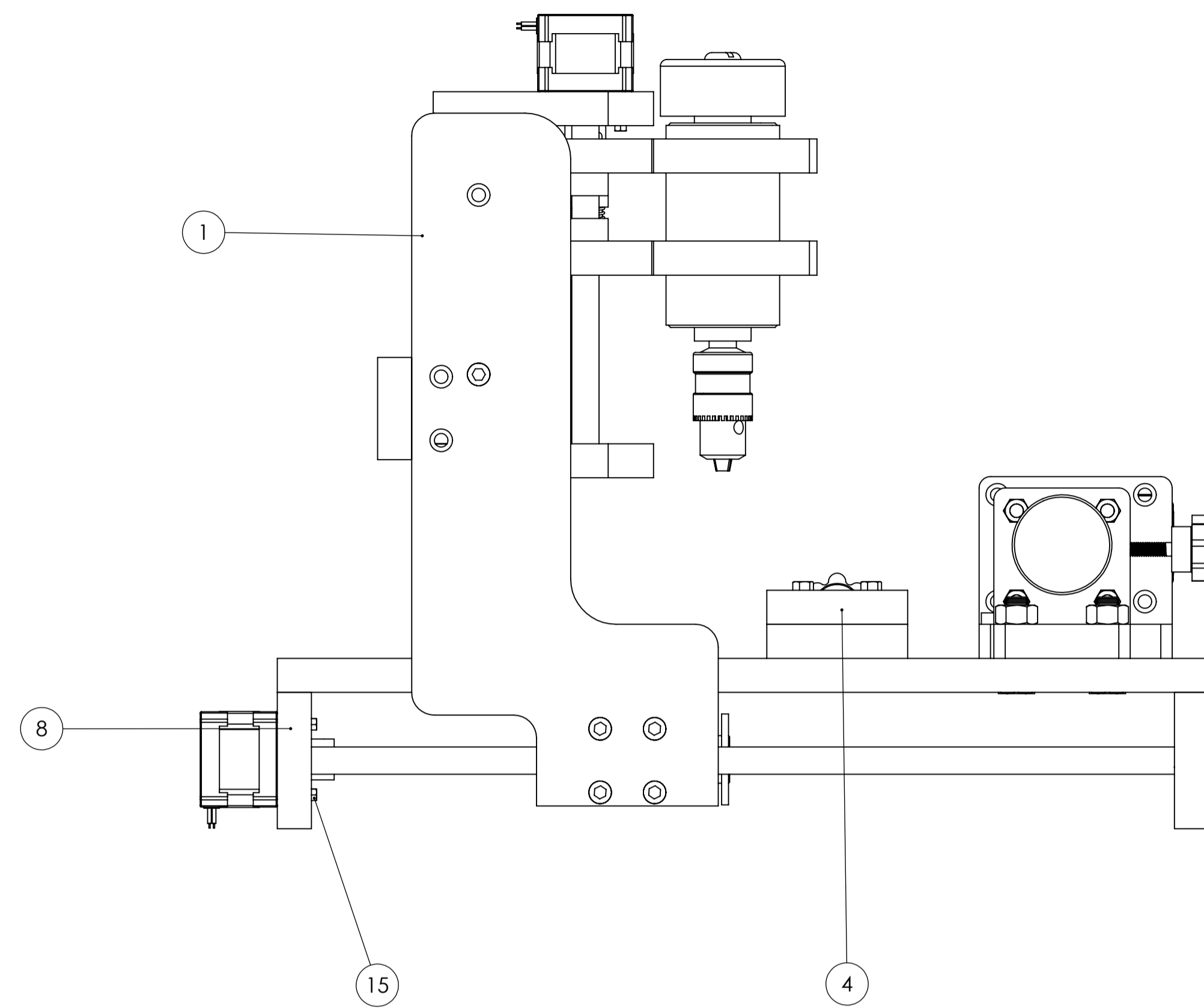
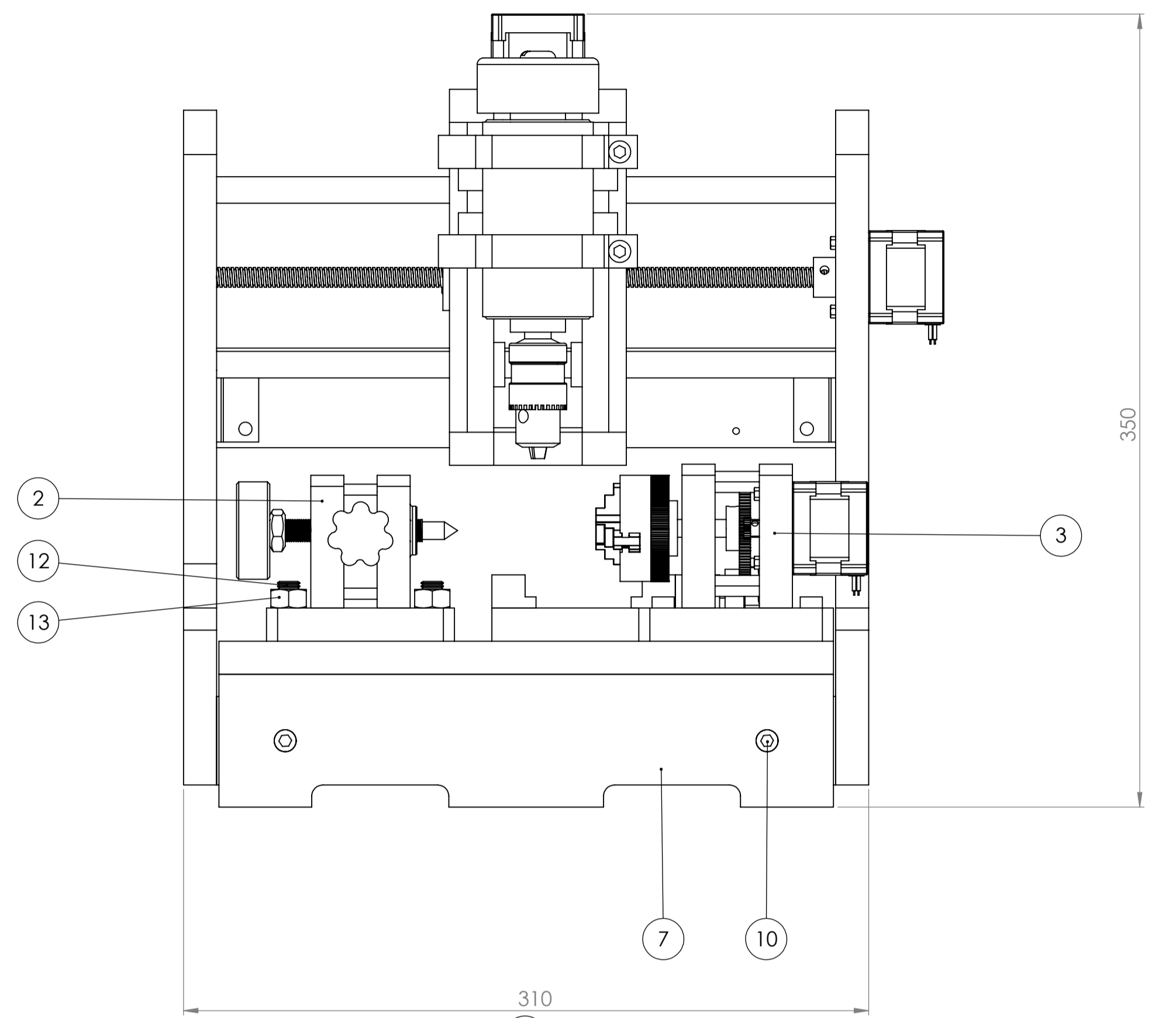
14. Беспроводная интуитивная система измерения щупом [Электронный ресурс] // HAAS – Режим доступа до ресурсу: <https://www.haascnc.com/ru/productivity/probe-system/wips-r.html>.
15. Системы ЧПУ от Haas обеспечивают полный контроль [Электронный ресурс] // CAD/CAM/CAE Observer #3 (95). – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.cadcamcae.lv/N95/83-86.pdf>.
16. Ronan Y. CNC Milling Materials: What Are They & Which Should You Choose for Your Application? [Электронный ресурс] / Y. Ronan – Режим доступа до ресурсу: <https://www.3erp.com/blog/cnc-milling-materials-choose-application/>
17. CNC Machining Material Selection Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.americanmicroinc.com/cnc-machining-material-guide.html>.
18. Julia Konrad Marketing & Public Relations Composites United e.V. Contact details Fibre composites in mechanical engineering [Электронный ресурс] // composites-united.com – Режим доступа до ресурсу: <https://composites-united.com/en/branche/mechanical-engineering/>.
19. A quick comparison of CNC machine tools [Электронный ресурс] // 3erp.com. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.3erp.com/blog/a-quick-comparison-of-cnc-machine-tools/>.
20. Marti D. Top 8 Milling Tools for New CNC Machinists [Электронный ресурс] / Deans Marti. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/top-8-milling-tools-new-cnc-machinists/>.
21. SANDVIK COROMAT [Электронный ресурс] // www.sandvik.coromant.com. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages/technologies.aspx#inveio>.
22. Guhring UK additively manufactures H13 tool steel milling cutter with Markforged technology [Электронный ресурс] // www.tctmagazine.com. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/guhring-uk-additively-manufactures-h13-tool-steel-milling-cutter-markforged/>.
23. Carbide and cermet grades for biocompatible tools in the medical industry from CERATIZIT [Электронный ресурс] // www.ceratizit.com. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.ceratizit.com/int/en/media/news---press-releases/2019/-12-17-2019-carbide-and-cermet-grades-for-biocompatible-tools-in.html>.
24. Металлорежущий инструмент KORLOY: Каталог. – Днепропетровск: ДИТЦ “Контакт”, 2003. – 448 с.
25. Патрон сверлильный [Электронный ресурс] // mekkain.ru – Режим доступа до ресурсу: <https://mekkain.ru/library/patron-sverlilnyij.html>.

26. ШПИНДЕЛЬ ДЛЯ ЧПУ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТИПЫ ШПИНДЕЛЕЙ [Электронный ресурс] // steepline.ru. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://steepline.ru/infopage/46/kakoj-vybrat-shpindel-dlya-chpu.html>.
27. Станочные тиски [Электронный ресурс] // www.metobr-expo.ru – Режим доступа до ресурсу: <https://www.metobr-expo.ru/ru/ui/17163/>.
28. Н.И.Волков, В.П.Миловзоров. Электромашинные устройства автоматики: Учеб. для вузов по спец. "Автоматика и телемеханика".- 2-е изд.- М.:Высш.шк., 1986.
29. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
30. Maia N. M. M., Silva J. M. M. Theoretical and Experimental Modal Analysis. 1 Edition, Mechanical Engineering Research Studies, Wiley Press, 1997.
31. Mahboubkhah M., Nategh M. J., Esmaeilzadeh Khadem S. Vibration analysis of machine tools' hexapod table. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 38, 2008, p. 1236-1243.
32. Pakzad S., Rajab A. K. S., Mahboubkhah M., Ettefagh M. M., Masoudi O. Modal analysis of the surface grinding machine structure through FEM and experimental test. Advanced Material Research, Vol. 566, 2012, p. 353-356.
33. Pedrammehr S., Farrokhi H., Rajab A. K. S., Pakzad S., Mahboubkhah M., Ettefagh M. M. Modal analysis of the milling machine structure through FEM and experimental test. Advanced Material Research, Vol. 383, Issue 390, 2012, p. 6717-6721.
34. Mahboubkhah M., Nategh M. J., Esmaeilzadeh Khadem S. Vibration analysis of machine tools' hexapod table. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 38, 2008, p. 1236-1243.
35. Pakzad S., Rajab A. K. S., Mahboubkhah M., Ettefagh M. M., Masoudi O. Modal analysis of the surface grinding machine structure through FEM and experimental test. Advanced Material Research, Vol. 566, 2012, p. 353-356.
36. Pedrammehr S., Farrokhi H., Rajab A. K. S., Pakzad S., Mahboubkhah M., Ettefagh M. M. Modal analysis of the milling machine structure through FEM and experimental test. Advanced Material Research, Vol. 383, Issue 390, 2012, p. 6717-6721.
37. Modal analysis of the vertical moving table of 4-DOF parallel machine tool by FEM and experimental test [Электронный ресурс] / Mehran Mahboubkhah, Sajjad Pakzad, Ali Ghane Arasi, Mir Mohammad Ettefagh. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.jvejournal.com/article/18394>.
38. Modal Analysis of the Milling Machine Structure through FEM and Experimental Test [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа до

- ресурсы: https://www.researchgate.net/publication/272057889_Modal_Analysis_of_the_Milling_Machine_Structure_through_FEM_and_Experimental_Test.
39. BASAVARAJ. DESIGN, STATIC, AND MODAL ANALYSIS OF HIGH SPEED MOTORIZED MILLING SPINDLE [Электронный ресурс] / BASAVARAJ, Dr. S. SUBRAHMANYA SWAMY. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.irjet.net/archives/V5/i8/IRJET-V5I8138.pdf>.
40. A. Max. DYNAMIC ANALYSIS OF CNC MILLING MACHINE FRAME [Электронный ресурс] / A. Max, M. Huneek, L. Řehounek. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: https://www.engmech.cz/improc/2016/091bo_p_dyn.pdf.
41. ФРЕЗЕРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ [Электронный ресурс] / Александров В.Д., Белашова И.С, Калачев Ю.Н., Кудряшов Б.А. // МОСКВА МАДИ. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel17M600.pdf>.

ДОДАТОК А

Складальне креслення вертикально-фрезерного верстата



Технічна характеристика:

1. Габаритні розміри верстата 450x310x350 мм.
2. Максимальний робочий хід $X=200$ мм, $Y=300$ мм, $Z=80$ мм
3. Найбільший діаметр оброблюваної заготовки 50 мм.
4. Точність позиціонування 0,03 мм.
5. Потужність приводу 300 Вт.

Технічні вимоги:

1. Всі зовнішні та внутрішні необроблені поверхні деталей верстата повинні бути захищені лакокрасочним покриттям.
2. Головки гвинтів і гайки, при експлуатації, не повинні фарбуватися.
3. Оброблені зовнішні поверхні деталей не повинні мати помітних слідів ручної зачистки їх шкуркою або шліфувальним кругом.
4. Плоскі головки гвинтів, не повинні виступати над зовнішньою поверхнею виробу.
5. Підшипники перед встановленням змастити маслом Циатім 201.
6. Ходові втулки та зубчаті колеса змастити маслом Літол-24.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Вертикально-фрезерний верстат	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Прогов. Д.О.					20	1:2
Пров.		Воронцов Б.С.				Лист 1	Листов 1	
Т. контр.						НТУУ "КПІ", МТ-01м		
Н. контр.								
Утв.								

ДОДАТОК Б

Специфікація до складального креслення

вертикально-фрезерного верстата

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.
				<u>Документація</u>		
A1				Складальне креслення	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Рухомий модуль	1	
		2		Центр	1	
		3		Шпиндельний вузол	1	
		4		Лещата верстатні	1	
		5		Двигун	4	
				<u>Деталі</u>		
		6		Нижня основа	1	
		7		Передня стійка	1	
		8		Задня стійка	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		9		Підшипник ГОСТ 8338-75	1	
		10		Болт М6х25 ГОСТ 7805-70	4	
		11		Гвинт М6х24 ГОСТ 17475-80	10	
		12		Болт М10х35 ГОСТ 7798-70	4	
		13		Гайка М10х1,5 ГОСТ 5915-70	4	

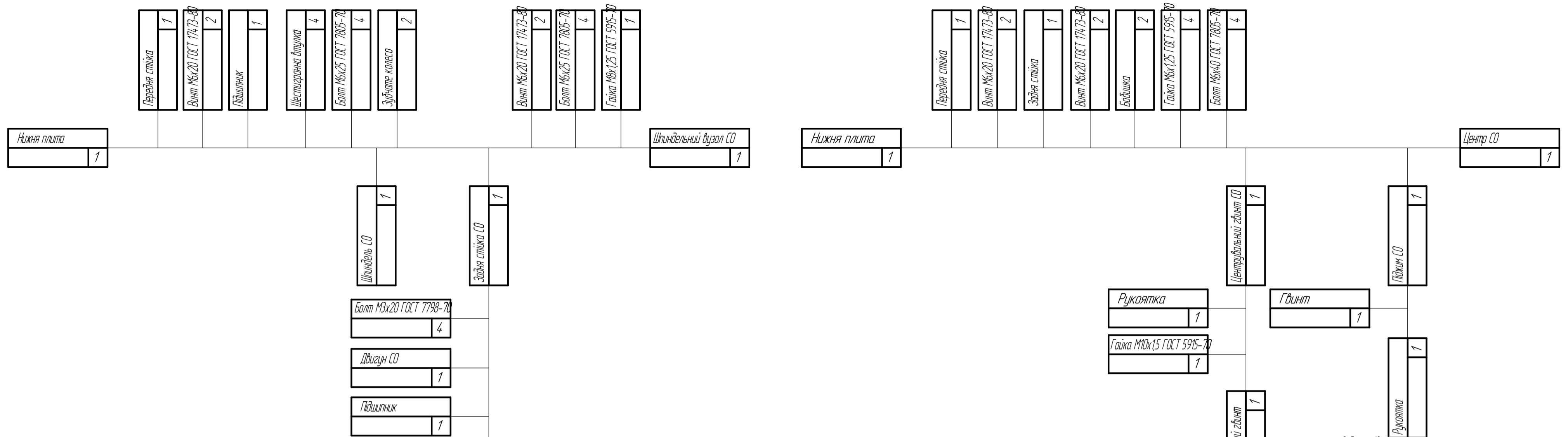
Взм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
Разраб.		Пірогов Д.О.			Лист	Лист	Листов
Пров.		Воронцов Б.С.				1	2
Н.контр.					НТУУ "КПІ", МТ-01мп		
Утв.							
Вертикально-фрезерний верстат							

ДОДАТОК Г

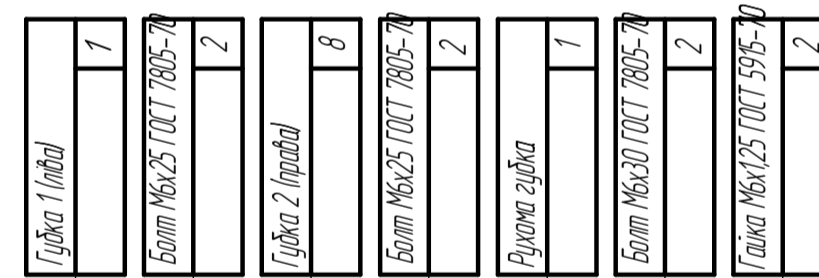
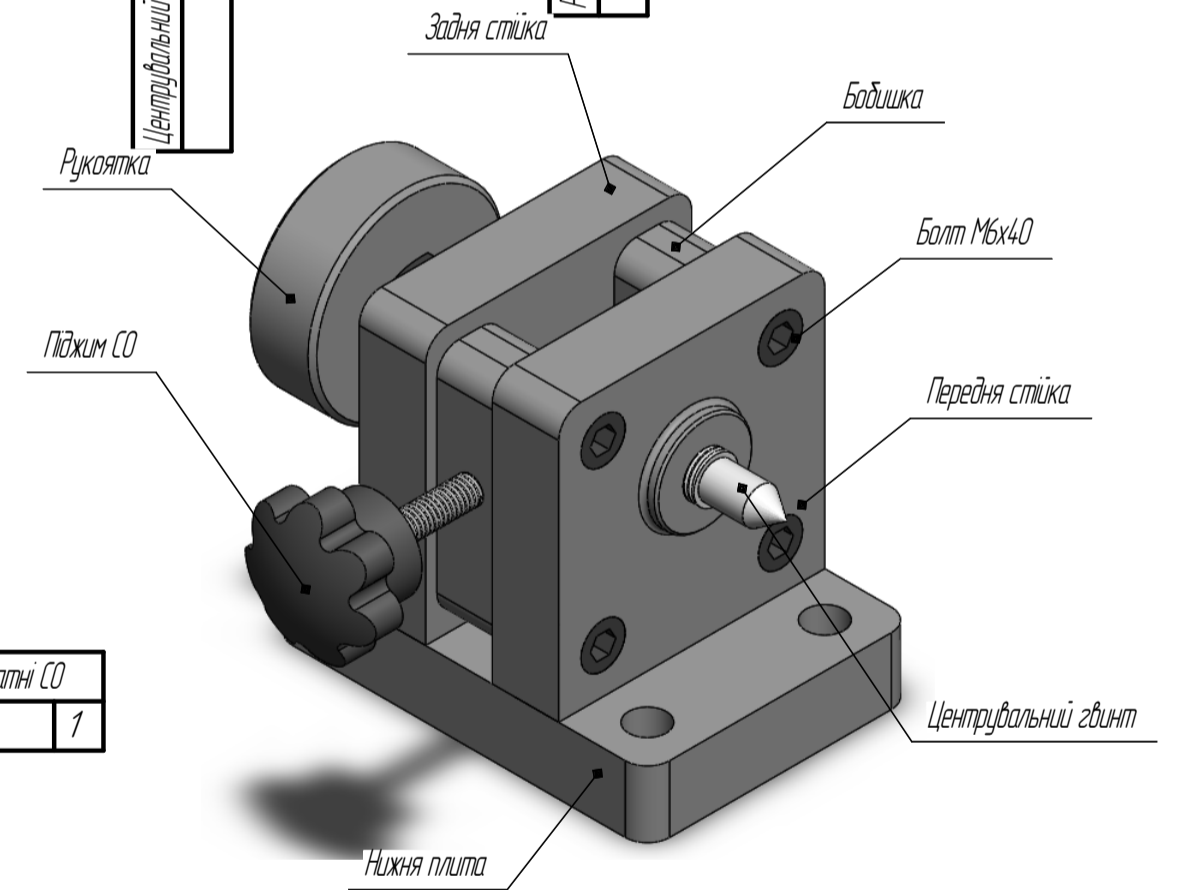
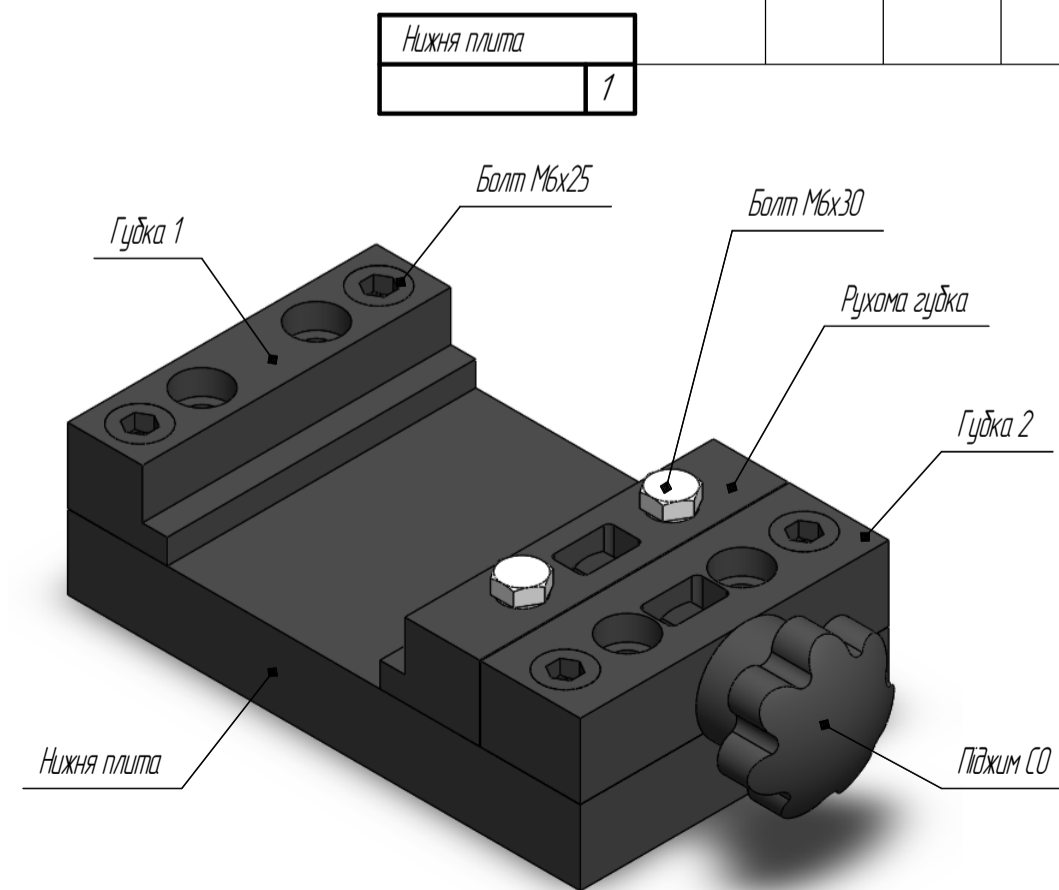
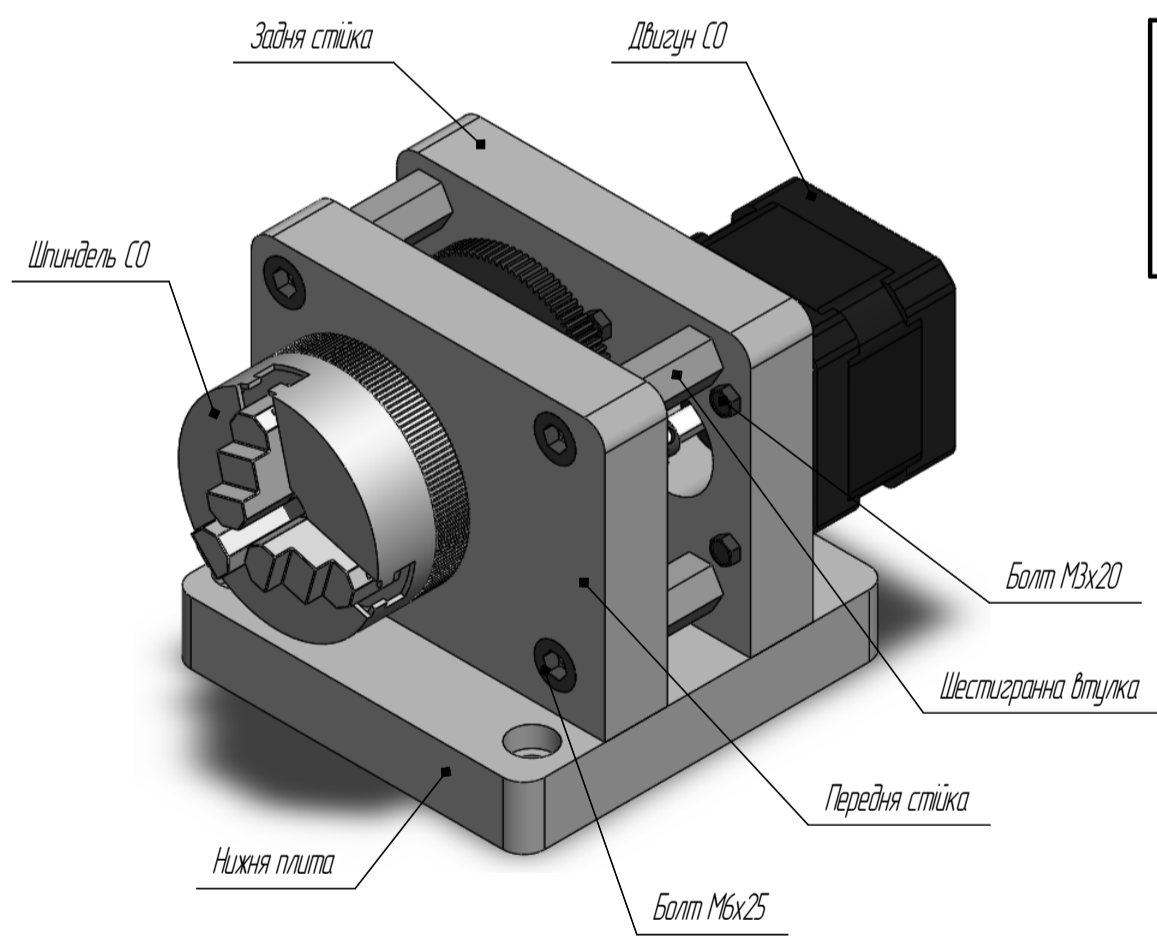
Технологічна схема складання елементів технологічного оснащення

Шпиндельний вузол

Центр



Лещата верстатні



Ізм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Технологічна схема складання елементів технологічного оснащення	Лист	Маса	Масштаб
Разроб.	Прошов Д.О.	Варанца Б.С.				Лист	Листов	1:1
Проб.								
Т.контр.								
Н.контр.								
Утв.								

Спроб. №
 Перв. примен.
 Підп. і дата
 Інв. № дідл.
 Інв. № дідл.
 Взам. инв. №
 Підп. і дата
 Інв. № подл.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор СумДУ

(ініціали)

Сергій ЛЕОНОВ

(підпис)

" 11 "

(ім'я, прізвище)

2021 р.

АКТ

впровадження результатів науково-дослідної роботи
«Геометричне моделювання процесу складання вертикально-фрезерного верстата»
у навчальний процес

що виконувалась у рамках теми: «Підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін» (ДР № 0116U000933), де студент Пірогов Дмитро Олександрович у період з 01 лютого 2020 р. по 31 травня 2020 р. та студент Беседін Максим Євгенович у період з 01 вересня 2020 р. по 31 грудня 2020 р., були виконавцями окремих етапів

вдосконалено технологію складання вертикально-фрезерного верстата

(назва результату НДР, що впроваджується)

Керівник теми _____

Залога В.О.

(прізвище, ініціали)

Комісія в складі:

Голова комісії	завідувач кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти», д.т.н, проф. Іванов В.О.
Члени комісії	доцент кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» к.т.н., доц. Євтухов А.В.
	старший викладач кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» к.т.н., Колесник В.О.

встановила впровадження в навчальний процес результатів досліджень та місце їх використання: при проведенні практичних робіт з дисципліни «Металообробне обладнання» відредаговано та доповнено розділ «Методи складання».

" 11 " січня 2021 р.

Голова комісії

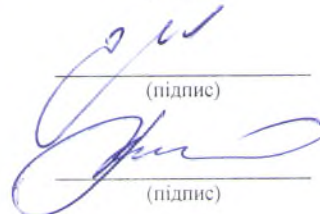


(підпис)

Віталій ІВАНОВ

(ім'я, прізвище)

Члени комісії



(підпис)

Артем ЄВТУХОВ

(ім'я, прізвище)

Віталій КОЛЕСНИК

(ім'я, прізвище)



ДИПЛОМ

**Нагороджується
дипломом II ступеня
ПІРОГОВ Дмитро Олександрович,**

*студент 1 курсу Механіко-машинобудівного інституту
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,
учасник II туру Всеукраїнського конкурсу
студентських наукових робіт 2020/2021 навчального року
зі спеціалізацій «Прикладна геометрія,
інженерна графіка та технічна естетика»
за роботу «Геометричне моделювання процесу складання
вертикально-фрезерного верстата»
(науковий керівник – д.т.н., професор ВОРОНЦОВ Б.С.)*

Проректор з наукової роботи
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
голова галузевої конкурсної комісії



Андрій МАРЧЕНКО

Харків
НТУ «ХПІ»
2021 р.