

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Оптимізація параметрів точності портального трьохкоординатного фрезерного
ЧПК верстата
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи КІТПВМ 21-1

Брадул А. А.

(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютерно-
інтегровані технологічні процеси і
виробництва

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Разумов-Фризюк Є.А.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАМ _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва _____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ _____
(підпис)

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Брадул Анастасії Андріївні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Оптимізація параметрів точності портального трьохкоординатного фрезерного ЧПК верстата _____

Затверджена наказом по університету від 17. 11. 2022 р. № 1464 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 22. 12. 2022р. _____

3. Вихідні дані до роботи напруга 220 В, робоча область 370 мм × 350 мм × ×100 мм, потужність шпинделя 800 Вт, максимальний діаметр фрези 8мм. _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ _____

4.2 Аналіз літературних джерел _____

4.3 Аналіз технології фрезерної обробки _____

4.4 Розробка конструкції фрезерного верстата _____

4.5 Розробка електричної частини _____

4.6 Розробка програмного забезпечення _____

4.7 Симуляція механічних впливів на роботу верстата _____

4.9 Висновки _____

4.10 Додатки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt).

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз ТЗ	01.09.2022 р	виконано
2	Проведення аналізу фрезерної технології	05.09.2022 р	виконано
3	Проведення аналізу параметрів, які впливають на точність фрезерної обробки	15.09.2022 р	виконано
4	Практична реалізація на основі проведених аналізів	10.10.2022 р	виконано
5	Підведення висновків роботи	15.11.2022 р	виконано
6	Подання роботи на перевірку Інтернет сервісом Unichек	10.12.2022 р	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	15.12.2022 р	виконано
8	Подання роботи на рецензію	17.12.2022 р	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	20.12.2022 р	виконано
10	Подання атестаційної роботи в ЕК	22.12.2022	виконано

Дата видачі завдання 01.09.2022 р.

Студент  Брадул А.А.

(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Разумов-Фризюк Є.А.

(підпис)

(посада, прізвище, ініціал)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 с., 5 табл., 49 рис., 1 дод., 34 джерел.

ЧПК, ВЕРСТАТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ФРЕЗЕРУВАННЯ,
ОПТИМІЗАЦІЯ.

Об'єкт дослідження – портальні багатофункціональні фрезерні верстати з ЧПК.

Предмет дослідження – аналіз жорсткості конструкції фрезерного верстата.

Мета кваліфікаційної роботи – оптимізація фрезерного верстата з ЧПК за параметром жорсткості конструкції.

У кваліфікаційній роботі було проаналізовано фрезерну технологію обробки та область дослідження. Розроблена 3D модель верстата з робочою областю 370 мм × 350 мм × 100 мм. Проведений аналіз і вибір механічних та електронних комплектуючих для ЧПК верстата таких як: крокові двигуни, драйвери крокових двигунів, кінцеві вимикачі, плата керування, шпиндель та інвертор. Також проаналізовані параметри, які впливають на точність фрезерної обробки. Була проведена симуляція механічних впливів на фрезерний верстат у програмі Fusion 360. Розглянуто питання охорони праці щодо освітленості робочого приміщення.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено трьохкоординатний фрезерний портальний верстат з рухомим столом.

ABSTRACT

Explanatory note: 80 pages, 5 tables, 49 pictures, 1 application, 34 sources.

CNC, MACHINE, AUTOMATION, MILLING, OPTIMIZATION.

The object of the research is portal multifunctional milling machines with CNC.

The subject of research is analysis of rigidity of the design of the milling machine.

The purpose of the qualification work optimization of a milling machine with CNC according to the structure stiffness parameter.

In the qualification work, the milling processing technology and the research area were analyzed. A 3D model of the machine with a working area of $370 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ was developed. Conducted analysis and selection of mechanical and electronic components for CNC machine tools such as: stepper motors, stepper motor drivers, limit switches, control board, spindle and inverter. The parameters that affect the accuracy of milling are also analyzed. The simulation of mechanical effects on the milling machine was carried out in the Fusion 360 program. The issue of occupational health and safety regarding the lighting of the working room was considered.

In the course of the qualification work, a three-coordinate milling portal machine with a moving table was developed.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	8
Вступ.....	9
1 Аналіз області дослідження	11
1.1 Актуальність, переваги та недоліки використання верстатів з ЧПК..	11
1.2 Принцип роботи верстата з ЧПК.....	12
1.3 Аналіз технічного завдання	15
1.4 Висновки до 1 розділу	16
2 Розробка конструкції портального фрезерного верстата.....	17
2.1 Механічна частина верстата	17
2.1.1 Вибір кінематики	17
2.1.2 Розробка механічної частини верстата	19
2.1.3 Збірка механічної частини	28
2.2 Розробка електронної частини фрезерного верстата	35
2.2.1 Розробка блок-схеми.....	35
2.2.2 Вибір крокових двигунів.....	36
2.2.3 Вибір драйверів крокових двигунів	40
2.2.4 Вибір плати керування	42
2.2.5 Вибір шпинделя та системи охолодження	43
2.2.6 Вибір кінцевих вимикачів	47
2.2.7 Вибір частотного перетворювача	48
2.2.8 Вибір блоку живлення	50
2.3 Збірка електронної частини фрезера.....	52
2.4 Висновки до 2 розділу	57
3 Аналіз параметрів, які впливають на точність фрезерної обробки	58
3.1 Аналіз параметрів	58
3.2 Висновки до 3 розділу	64
4 Симуляція механічних впливів на фрезерний верстат.....	65

4.1 Симуляція механічних впливів.....	65
4.2 Висновки до 4 розділу	74
5 Налаштування програмного забезпечення	75
5.1 Налаштування програмного забезпечення	75
5.2. Розрахунок матеріальних витрат	78
5.3. Розрахунок освітлення у приміщенні	82
5.4 Висновки до 5 розділу	86
Висновки	87
Перелік джерел посилання	89
Додаток А Демонстраційний матеріал.....	94

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БЖ – блок живлення;

ДКД – драйвер крокового двигуна;

КД – кроковий двигун;

КП – керуюча програма;

ПК – персональний комп'ютер;

САПР – система автоматизованого проєктування і розрахунку;

ЧПК – числове програмне керування;

ШВП – шарико-гвинтова передача;

CAD – Computer Assisted Design;

CAM – Computer Aided Manufacturing.

ВСТУП

В даний час важко собі уявити виробництво без фрезерних верстатів з ЧПК. Числове програмне керування (ЧПК) – комп'ютеризована система керування, яка зчитує командні інструкції спеціалізованої мови програмування (наприклад, G-код) і керує двигунами для обробки різних матеріалів.

Програмне керування отримало значного розмаху в ряді провідних галузей машинобудування, деревообробній промисловості, а також в комп'ютерній промисловості. Існує велика кількість підприємств, на яких працюють верстати з ЧПК, що виконують велику кількість операції (токарних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних та ін.).

Найочевиднішим перевагою ЧПК, особливо у виробництві, є автоматизація, яка привела до можливості масового виробництва складних оброблених деталей.

Точність є однією з основних характеристик верстата, яка в кінцевому підсумку впливає на вироблену деталь. Якщо точність фрезерного верстату з ЧПК замала, то в результаті можуть з'являтися дефекти. Це безпосередньо вплине на виготовлену деталь, що позначиться в економічному плані підприємства. Отже, можна дійти висновку, що підвищення точності фрезерного верстата з ЧПК дозволить знизити ризик у прояві дефектів на виробленій деталі, що суттєво зменшить витрати на матеріалі [1].

Завданням кваліфікаційної роботи є розроблення моделі верстата з ЧПК з надійними та довговічними комплектуючими і в цей же час з доступним бюджетом та проведення оптимізації параметрів точності фрезерної обробки.

Об'єкт дослідження – портальні багатофункціональні фрезерні верстати з ЧПК.

Предмет дослідження – аналіз жорсткості конструкції фрезерного верстата.

Мета кваліфікаційної роботи – оптимізація фрезерного верстата з ЧПК за параметром жорсткості конструкції.

Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити наступні завдання:

- аналіз літературних джерел;
- аналіз технології фрезерної обробки;
- розробка конструкції фрезерного верстата;
- розробка електричної частини;
- розробка програмного забезпечення;
- симуляція механічних впливів на роботу верстата;
- налаштування програмного забезпечення;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно [2,3].

1 АНАЛІЗ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Актуальність, переваги та недоліки використання верстатів з ЧПК

Верстат з числовим програмним керуванням – це верстат, який керується автоматично за допомогою комп'ютера (він знаходиться всередині верстата) і програмою обробки (що управляє програмами), розробленою на основі робочого креслення деталі. Верстати з ЧПК здатні виконувати найрізноманітніші технологічні операції механічної, електрофізичної та інших видів обробки і не поступаються за цією ознакою універсальним і широкоуніверсальним верстатам з ручним керуванням. При виконанні технологічних операцій виконавчі (робочі) органи цих верстатів управляються електронікою, а не робочі – верстатником.

Переваги верстатів з ЧПК. Очевидною перевагою від використання верстатів з ЧПК є більш високий рівень автоматизації виробництва. Випадки втручання оператора верстата в процес виготовлення деталі зведені до мінімуму. Верстати з ЧПК можуть працювати практично автономно, без перерв, випускаючи продукцію з незмінно високою якістю. При цьому головною турботою верстатника – оператора є підготовчозаклучні операції: установка і зняття деталі, налагодження інструменту тощо. В результаті один працівник може обслуговувати одночасно кілька верстатів.

Другою перевагою є виробнича гнучкість. Це означає, що для обробки різних деталей потрібно всього лише замінити програму. А вже перевірена і відпрацьована програма може бути використана в будь-який момент і скільки завгодно раз.

Третьою перевагою є висока точність і повторюваність обробки. За однією і тією ж програмою можна виготовити з необхідною якістю тисячі практично ідентичних деталей. Числове програмне керування також дозволяє обробляти такі деталі, які неможливо виготовити на звичайному обладнанні.

Це деталі зі складною просторовою формою, наприклад штампи і прес-форми. Варто відзначити, що сама методика роботи за програмою дозволяє більш точно прогнозувати час обробки деякої партії деталей і відповідно більш повно завантажувати обладнання. Верстати з ЧПК коштують досить дорого і вимагають великих витрат на установку і обслуговування, ніж звичайні верстати. Проте їх висока продуктивність легко може перекрити всі витрати при грамотному використанні і відповідних обсягах виробництва. Також до переваг можна віднести:

- відсутність впливу людського фактору, отже підвищення стабільності показників якості продукції;
- можливість заміни шпинделя на лазер;
- наявність великої кількості змінних інструментів для обробки матеріалу.

Недоліки:

- висока вартість обладнання для створення верстата;
- при проектуванні виробів виникає необхідність врахування їх габаритів відносно розмірів верстата з ЧПК;
- обробка різних поверхонь проходить послідовно;
- при обробці деяких складних деталей потрібна додаткова обробка [4].

1.2 Принцип роботи верстата з ЧПК

Сучасні верстати з ЧПК повністю автоматизовані. Все, що їм потрібно, це цифрові файли з інструкціями траєкторій різання та інструментів.

Процеси проектування або обробки вимагають безлічі інструментів виготовлення певної деталі. Оператори можуть створювати бібліотеки цифрових інструментів, які взаємодіють із фізичною машиною.

Процес обробки з ЧПК починається з проектування деталей у програмі САПР. 3D-модель визначає необхідні розміри та властивості кінцевої деталі.

Деякі з цих програм поставляються в пакетах CAD-CAM, тому процес може продовжуватися в тих же програмах. В іншому випадку моделі CAD завантажуються у спеціальне програмне забезпечення CAM. Якщо і CAD, і CAM відносяться до того самого сімейства продуктів, переклад файлів не потрібно. В іншому випадку, файли САПР необхідно імпортувати.

Програмне забезпечення CAM (автоматизоване виробництво) готує модель всього виробничого процесу. По-перше, він перевіряє модель на наявність помилок. Потім створює програму ЧПК виготовлення фізичної деталі. Програма, по суті, є набором координат, який направляє ріжучу головку в процесі виробництва.

Третій крок – вибір правильних параметрів. До них відносяться швидкість різання, напруга, число обертів за хвилину і т.д. Конфігурація залежить від геометрії деталі, а також від наявного обладнання та інструментів.

Зрештою, програмне забезпечення визначає вкладення. Вкладення означає орієнтацію та розміщення деталей щодо вихідного матеріалу. Ціль полягає в тому, щоб максимально використовувати матеріал. Вся ця інформація потім перекладається в коди, зрозумілі обладнанню, – M і G.

Вісьовими переміщеннями верстата з ЧПК керує комп'ютер, який читає керуючу програму (КП) і видає команди відповідним двигунам. Двигуни змушують переміщатися виконавчі органи верстата – робочий стіл або колону зі шпинделем. В результаті відбувається механічна обробка деталі. Датчики, встановлені на напрямних, посилають інформацію про фактичну позиції виконавчого органу назад в комп'ютер. Це називається зворотним зв'язком. Як тільки до комп'ютера доходить сигнал про те що виконавчий орган верстата знаходиться в необхідній позиції, він виконує наступне переміщення. Такий процес триває, поки читання керуючої програми не підійде до кінця. За своєю конструкцією і зовнішнім виглядом верстата з ЧПК схожі на звичайні універсальні верстати. Єдина зовнішня відмінність цих двох типів верстатів

полягає в наявності у верстата з ЧПК пристрою числового програмного керування (ПЧПК), який часто називають стійкою ЧПК [5].

Прямокутна система координат є найпоширенішою системою координат для верстатів з ЧПК. Вона містить дві осі координат (двовірна система) – для визначення положення точок на площині, або три осі (тривимірна система) – для визначення положення точок в просторі. Для прямокутної системи координат характерні наступні ознаки:

- координатні осі розташовуються взаємно перпендикулярно;
- координатні осі мають загальну точку перетину (початок відріку координат);
- координатні осі мають однаковий геометричний масштаб. У прямокутній системі координат на площині положення всіх крапок, що лежать на даній площині, описується двома координатами.

На рис. 1.1 зображена така система координат з осями координат X і Y . Можливі і інші комбінації осей, залежно від компоновки верстата. Відстань до осі Y визначається як координата X , а відстань до осі X як координата Y . Значення координат точок на площині можуть мати як додатні, так і від'ємні значення.

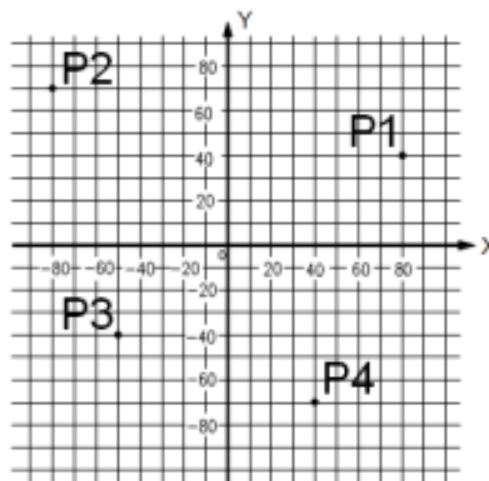


Рисунок 1.1– Прямокутна система координат

За допомогою просторової прямокутної системи координат описується положення будь-яких точок в геометричному просторі. Для визначення положення будь-якої точки в просторі необхідно знати її координати за трьома осями – X , Y і Z (рис. 1.2). Як і у випадку з плоскою системою координат, значення координат точок в просторі можуть мати як додатні, так і від’ємні значення. Дана система координат дозволяє описувати всі точки робочого простору верстата незалежно від розташування заготовки і застосовується у фрезерних, свердлувальних і розточувальних верстатах з ЧПК [6].

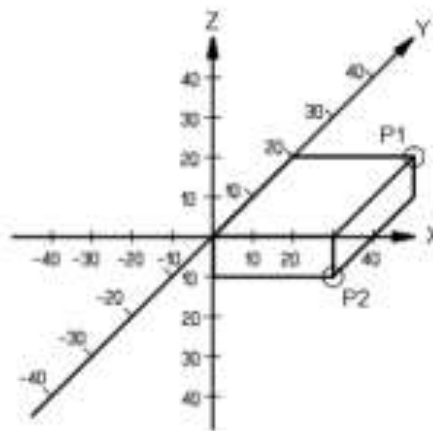


Рисунок 1.2 – Просторова прямокутна система координат

1.3 Аналіз технічного завдання

Перед проектуванням фрезерного верстата був розглянутий принцип роботи і сформоване технічне завдання:

- робоча напруга: 220 В;
- робоча область: 370 мм × 350 мм × 100 мм;
- потужність шпинделя: 800 Вт;
- максимальний діаметр фрези: 8 мм.

Кліматичні умови дотриманні згідно ГОСТ УХЛ 4.2, тобто для помірного і холодного клімату (+ 40 °С / - 60 °С) у закритому приміщенні з вентиляцією і опаленням. Робоча температура від 10 °С до 35 °С. Середньорічне значення вологості у нормі 60 % при 20 °С.

1.4 Висновки до 1 розділу

У розділі аналіз області дослідження виявили актуальність, переваги та недоліки використання ЧПК верстатів. Розглянули принцип роботи ЧПК та сформували технічне завдання для трьохкоординатного портального верстата з робочою областю $370 \text{ мм} \times 350 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПОРТАЛЬНОГО ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

2.1 Механічна частина верстата

2.1.1 Вибір кінематики

Для початку розробки механіки потрібно обрати тип конструкції верстата.

Кінематична схема верстата з комп'ютерним керуванням складається з декількох кінематичних ланцюгів, кожна з яких включає в себе кінематичні пари і ланки. Термін кінематичне ланка визначає деталь верстата, пов'язана з іншими вузлами пристрою. Кінематичними ланками прийнято вважати:

- зубчасті колеса верстата;
- ходові гвинти;
- шків та ін.

Рухи в верстатах з ЧПК поділяються на два типи:

- основні;
- допоміжні.

Так і кінематичні типи, призначені для реалізації цих рухів, носять назву основних і допоміжних. До основних відносять руху різання і подачі. Головний рух може бути обертального типу або зворотно – поступальним. Рух подачі також буває, в залежності від мети, прямолінійним або обертальним [7].

Портальний фрезерний верстат має суттєві конструктивні особливості. Основним вузлом верстата є П-подібна конструкція з двох колон, між якими фіксується поперечна горизонтальна балка, на якій кріпиться шпиндельний вузол. По ній і переміщується шпиндельна голова, із закріпленням у ній різальним інструментом. Причому напрямком її руху може бути як вертикальне, так і горизонтальне переміщення, а поворот і нахил кутової фрезерної голови може бути здійснений в 3-х, 4-х і навіть у 5-ти координатах.

Кількість шпиндельних вузлів на одному фрезерному порталі по металу може досягати трьох: один при цьому розміщуватиметься на направляючій балці, а два інших – на опорних.

Важливою відмінністю порталних фрезерних верстатів з ЧПК є поздовжній напрямок руху робочого столу із закріпленою на ньому заготовкою. В даному випадку робочий стіл переміщується тільки в одному напрямку, тоді як конструкція стандартних фрезерних верстатів з ЧПК передбачає трьохкоординатне хрестоподібне переміщення. Це обмеження викликано істотною масою оброблюваних деталей: підняти і перевернути таку заготовку в мінімальний проміжок часу неможливо, тим більше, якщо її довжина досягає декількох і більше метрів.

Портальний фрезерний верстат з ЧПК з рухомим столом (рис. 2.1) зазвичай збираються на єдиному загальному нерухомій станині, яка є базою для розміщення всіх інших частин. Вертикальні колони жорстко кріпляться до основи верстата. Стіл переміщається по напрямних, які можуть бути двох типів: напрямні кочення для кращої динаміки верстата та напрямні ковзання для збільшеної жорсткості верстата.

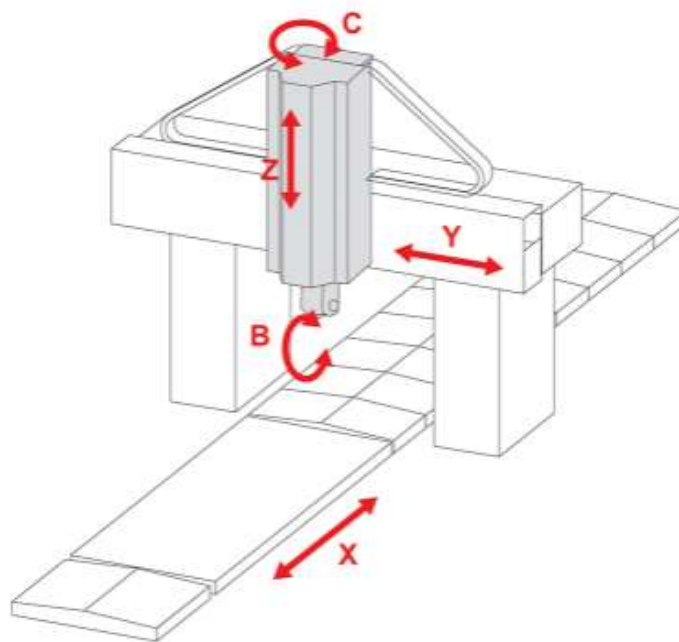


Рисунок 2.1 – Портальний фрезерний верстат з ЧПК з рухомим столом

Для здійснення операцій глибокого свердління, жорсткого різьбонарізання або фрезерування зі значним зніманням матеріалу, шпиндель верстата повинен передбачати можливість подачі СОЖ через шпиндель і інструмент, під високим тиском для своєчасного відведення стружки, що утворюється, з зони обробки.

Верстати з рухомим столом досить компактні і трохи виступають за габаритні розміри робочих вузлів. Так само верстати з рухомим столом, як правило, не мають спеціальних вимог по фундаменту і встановлюються на звичайну промислову підлогу за допомогою спеціальних башмаків, що вирівнюють, рівномірно розподіляють навантаження на велику площу [8].

Для даного проєкту було обрано верстат з рухомим столом, оскільки він має більшу точність та зносостійкість.

2.1.2 Розробка механічної частини верстата

Розробка моделі верстата проводилась в середовищі Rhinoceros 3D. Станина верстата складається з конструкційного алюмінієвого профілю та листового алюмінію. Для проєкту був обраний профіль 30 мм × 60 мм та 30 мм × 150 мм та алюміній 10 мм для вісі Z. 15 мм для передньої та задньої частини вісі Y, 16 мм і 10 мм для стійок порталу та 18 мм – стіл.

Станина, яка зображена на рисунку 2.2 пов'язує всі вузли верстата між собою. Вона приймає на себе все навантаження і в зв'язку з цим її компоненти мають бути надійними і міцними. Додатково алюмінієвий профіль був притертий до повірочної плити. Профіля між собою поєднуються за допомогою гвинтів M5. Алюмінієвий лист з'єднується з профілем гвинтами M8. Для закріплення ребер жорсткості та стійок порталу використовуються гвинти M5.

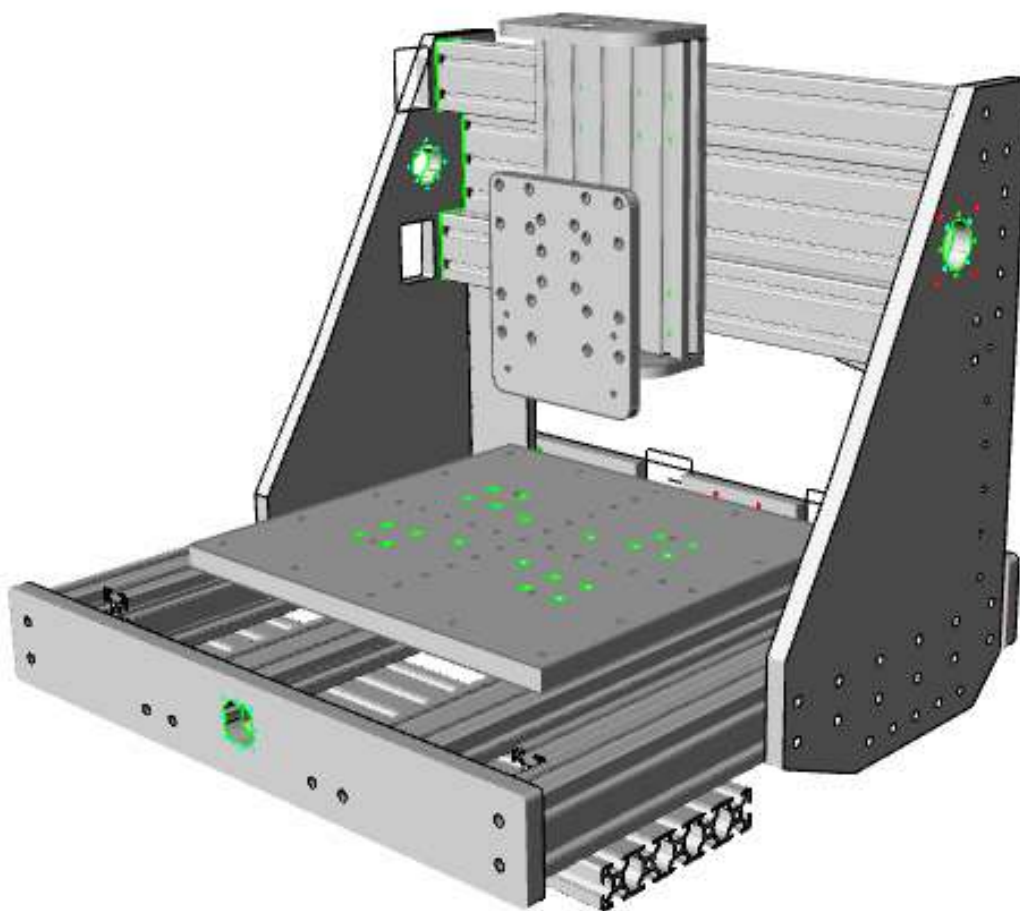


Рисунок 2.2 – Станина верстата

Лінійні направляючі використовуються для направлення рухомих частин верстата по прямолінійній траєкторії з максимальною точністю і мінімальним тертям.

Всі рухомі вузли у верстатах з ЧПК для забезпечення високої точності виконуваних робіт рухаються напрямними. Тому точність і швидкість обробки матеріалів, довговічність всього обладнання в цілому, потужність верстатів, великою мірою залежать від того, які використовуються лінійні напрямні.

З конструктивної точки зору всі лінійні напрямні можна розділити на ті, що використовують сили ковзання та сили кочення. Обидві ці технології на практиці втілені в двох видах напрямних для верстата.

Круглі напрямні. це більш проста конструкція, але забезпечує менші навантаження. У процесі роботи та підвищення навантаження сильно підвищується нагрівання в результаті тертя, внаслідок чого зменшується ресурс усієї опорно-напрямної групи. Підшипники круглих напрямних зазвичай не мають своєї системи внутрішньої мастила. Для забезпечення стабільної роботи використання таких виробів на верстатах високої потужності не доцільно. Круглі напрямні для ЧПК систем краще встановлювати в місцях не надто активних переміщень або на верстатах малої категорії, змащуючи механізми вручну.

Є два види круглих напрямних, а саме вал без опори (рис. 2.3, а) та вал з опорою (рис. 2.3, б).. Головна відмінність яких полягає в їх способі встановлення та конструкції. Вал без опори встановлюється за допомогою декількох видів кінцевих опор, через що вал може провисати в центрі. Це негативно впливає на жорсткість конструкції. Вал на опорі має отвори для кріплення на відстані 150 мм відносно один одного за всією довжиною. Кількість отворів за бажанням можна збільшити, через що інтервал між ними стане менше і це позитивно впливатиме на жорсткість конструкції.



Рисунок 2.3 – Види лінійних напрямних

Рейкові або прямокутні напрямні конструктивно досконаліші. За наявності власного пильовика, що захищає підшипники, ніпелі, сальники, а

також через можливість підключення системи подачі мастильних матеріалів, такі напрямні більш надійні та універсальні. Під час роботи спостерігаються і відсутність великих похибок. Щоправда, вартість таких напрямних вища.

Рейковий тип напрямних вважається кращим, оскільки здатний справлятися з підвищеними навантаженнями швидкісних промислових автоматичних верстатів. Принцип роботи фрезерного верстата з такими напрямними наступний: напрямні кріпляться на станину, а на каретки, в які укладені кульки або ролики для забезпечення кочення, закріплюються рухомі частини верстата. Рух уздовж столу по вісі Y створює портал із кареткою шпинделя. Для перпендикулярного руху по вісі X здійснюється кареткою шпинделя, яка пересувається порталом. Коли необхідний рух по вісі Z, то пересувається сам шпиндель траєкторією дії напрямних. Таким чином забезпечується висока точність і швидкість фрезерування в будь-якому напрямку.

Для вирішення складних завдань з обробки високоміцних металів та натурального каменю з планованою площею робочого поля понад 0,7 квадратних метрів. Єдиним вірним варіантом буде вибрати профільні рейкові напрямні [9].

Оскільки в планах кваліфікаційної роботи – обробка м'якіших матеріалів на невеликому робочому полі верстата 370 мм × 350 мм × 100 мм, то з таким завданням легко впораються циліндричні вали.

Був обраний сталевий шліфований вал SBR16 діаметром 16 мм прикріплений до поздовжньої алюмінієвої опори. Два вали довжиною 515 мм для вісі X, два довжиною 237 мм для вісі Z, та два довжиною 528 мм для вісі Y. Так як вал по всій довжині прикріплений до алюмінієвої опори, яка в свою чергу кріпиться до конструкції верстата, це виключає прогин напрямної по всій її довжині. А це, у свою чергу, позитивно відображається на точності позиціонування. Поверхня валу має велику твердість, що дозволяє інтенсивно та тривалий час використовувати ці напрямні на устаткуванні промислового призначення.

Лінійні підшипникові блоки застосовуються в системах лінійного переміщення для точності руху на верстаті. Завдяки своїй конструкції підшипниковий блок знижує тертя, переносить навантаження і збільшує швидкість руху.

Корпус лінійного підшипникового блоку забезпечує легкий монтаж підшипника і надійне, прицизійне кріплення до рухомого елемента верстата. Матеріал корпусу виконаний з легкого сплаву алюмінію. Для валу SBR16 було обрано дванадцять лінійних підшипників SBR16UU.

Механічна передача виконує передачу, а також і уповільнення, якщо того вимагають умови, механічного руху, що йде від двигуна до виконавчих частина фрезерного верстата. При цьому здійснюється зміна показника і напрямку швидкості, можливий також і процес переходу обертального руху в поступальний.

Для процесу перетворення руху з одного виду в інший на фрезерних верстатах використовується тип передачі гвинт-гайка (також відома як кулько-гвинтова пара) або зубчасто-рейковий механізм (передача типу рейка-шестерня).

Механізм передачі «рейка-шестерня» розроблений для того, щоб обертальний рух переходив у зворотньо-поступальний тип.

Серед переваг зубчастого вигляду передачі можна виділити:

- передавальне число є постійним (прослизання виключено);
- високий показник коефіцієнта корисної дії;
- надійність і практичність (від 5 до 9 років, що становить приблизно 30 000 годин);
- робота з різними показниками швидкостей (до 150 м/с), а також функціонування з високою потужністю (до декількох тисяч кВт).

Але при роботі такого механізму виділяють і кілька істотних недоліків:

- якщо швидкості занадто високі, обладнання починає працювати досить шумно;

– змінити показник передавального числа у безступінчастому режимі неможливо;

– точність виготовлення і монтаж має бути досить високими;

– при неточному виготовленні і неправильному складанні передач можуть виникати вібрації, що заважають точній обробці [10].

Гвинт-гайка перетворює обертальний рух в поступальний, основною перевагою такого механізму є його простота в монтажі, а також можливість здійснення гранично точних і повільних переміщень.

Передачі гвинт гайка ділять на передачі ковзання та кочення. У передачах кочення між витками гайки та гвинта розміщують тіла кочення кульки, а у передачах ковзання використовують властивості різьблення.

Кулько-гвинтові передачі мають малі втрати потужності на тертя кочення, що дозволяють отримувати більший ККД механізму. Передачі забезпечують високу точність і рівномірність руху. Причому характерний малий знос робочих гвинтових поверхонь ходового гвинта і гайки, що підтримує стабільність геометричних параметрів в процесі експлуатації.

Для роботи фрезерного верстата з числовим програмним керуванням великих габаритів найбільш підходящим варіантом стане зубчаста рейка зі сталі. Вона встановлюється на робочі столи з розмірами від 1,5 квадратних метра. Наприклад, якщо розміри робочої поверхні складають $1,2 \text{ м}^2 \times 1,2 \text{ м}^2$, то від використання передачі типу «гвинт-гайка» краще відразу відмовитися – гвинт провисає. Також знайти іншу систему варто і в тому випадку, де потрібна висока швидкість роботи і холосте переміщення [11].

Зазвичай великі верстати, які не припускають високої точності обробки деталі, показник становить від 0,2 мм до 0,3 мм. Цього достатньо, тому рейкова система, враховуючи її точність не до десятків мікрон, відмінно підходить.

Для верстатів, які використовуються як навчальні, підходить механізм «гайка-гвинт» ковзання.

Для верстатів з числовим програмним керуванням середніх розмірів, краще за все звернути увагу на кулько-гвинтову пару. В основному верстати з

таким механізмом дуже широко застосовуються для виготовлення сувенірної продукції, для штампів і печаток, декорування деревини різбленням, обробки рамок для дзеркал або картин.

Дуже важливо забезпечити надійний захист механічних передач, розміщених у верстаті з числовим програмним керуванням, від забруднень будь-якого виду. Якщо в процесі обробки на гвинт потрапляє стружка або інший механічний відхід, то це загрожує зниженням точності і якості подальшої роботи. Цей неприємний момент в підсумку веде і до передчасного зносу кульково-гвинтової пари. Для даного верстата механізм передачі закривається шторками, які прикріплені до столу – так досягається гранично максимальний захист від виробничого сміття [12].

Вибираючи тип передачі для верстата враховувались як технічні показники, так і особливості тих деталей, які потрібно буде обробляти, допустиму швидкість і необхідну точність.

Для механізму переміщення вісей X,Y та Z була обрана ШВП SFU1204-3 діаметром 12 мм і довжиною 300 мм для вісі Z та 600 мм для вісей X,Y; кроком 4 мм на один оберт гвинта та класом точності C7. Для підвищення точності переміщення за системою координат ШВП була модифікована додатковою гайкою та створенням переднатягу між ними. Для зручного кріплення гайок ШВП було використаного DSG12H-24.

В якості опор для ШВП було обрано три здвоєних радіальних кулькових кінцевих опор гвинта FK10 діаметром 10 мм та три радіальних кулькових опор гвинта FF10 діаметром 8 мм.

Для з'єднання ШВП з двигуном було використано три кулачкових муфти JC20L25-8-8. Кулачкова муфта – муфта з'єднання валів, складається з двох підлог муфт, на торцях яких (у місці з'єднання) зроблені кулачки. Між кулачками встановлюється еластичний елемент – вставка, що надає виробу компенсуючих властивостей.

В зв'язку з тим, що зараз відсутній у продажі потрібний алюмінієвий профіль, який використовується для кріплення двигуна до рами верстата, була

розроблена конструкція, яка подібна до такого профіля. Шляхом поєднання декількох деталей з листового матеріалу була виставлена потрібна відстань в 60 мм між рамою верстата та кроковим двигуном (рис. 2.4).

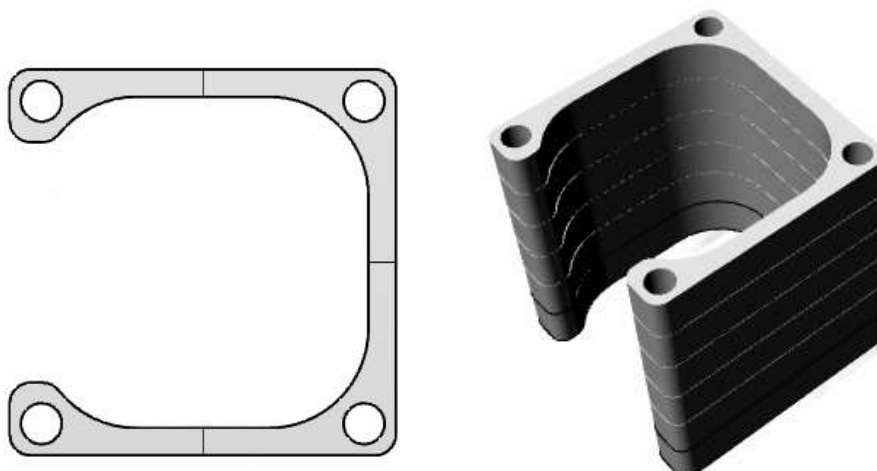


Рисунок 2.4 – Кріплення двигуна до рами верстата

Кріплення шпинделя зображено на рисунку 2.5. Отвори для фіксації до плити вісі Z робляться діаметром на декілька міліметрів більше відносно гвинта кріплення. Завдяки чому з'являється можливість регулювати положення хомута. Це дає можливість в подальшому встановити шпиндель перпендикулярно поверхні столу.



Рисунок 2.5 – Кріплення

Для зручності технічного обслуговування та можливості подальшої модифікації верстата і встановлення ШВП 1605 були розроблені та виготовлені сталеві пластини, які зображені на рисунку 2.6.

Пластина 1 встановлюється між плитою шпинделя та кріпленням гайки DSG12H-24. Деталі 4, 5 та 6 фіксують вісь Z та кріплення гайки ШВП по вісі X. Пластини 3, 7, 8 та 9 розташовуються між столом верстата та кріплення гайки по вісі Y.

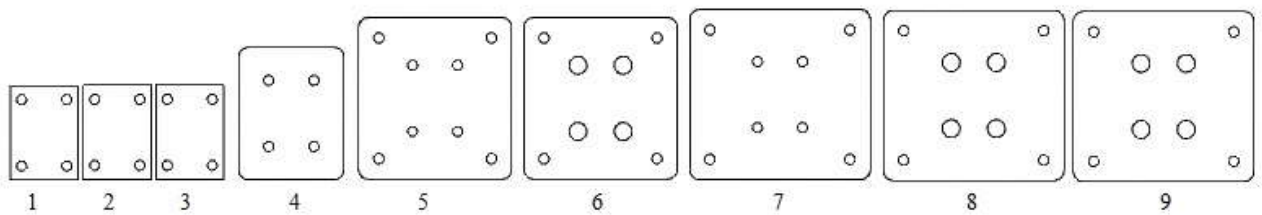


Рисунок 2.6 – Сталеві пластини

На рисунку 2.7 зображена змодельована станина та механіка верстата.

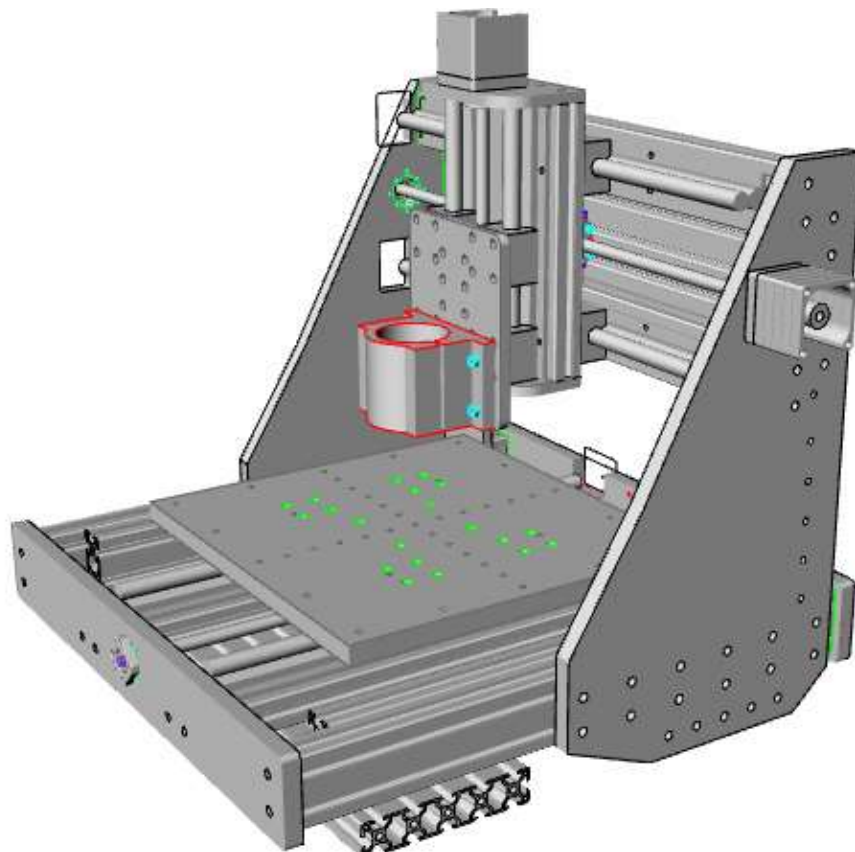


Рисунок 2.7 – Станина та механіка верстата

2.1.2 Збірка механічної частини

В першу чергу був замовлений увесь необхідний матеріал за кресленнями на фірмі, яка займається фрезерною обробкою. А саме: стійки та ребра жорсткості порталу (рис. 2.8), передня та задня пластини верстата (рис. 2.9) та елементи конструкції вісі Z (рис. 2.10).



Рисунок 2.8 – Фрезерування стійок порталу



Рисунок 2.9 – Фрезерування передньої пластини верстата



Рисунок 2.10 – Фрезерування пластин для вісі Z

Додаткової обробки також потребував конструкційний алюмінієвий профіль. Для того щоб зібрати геометрично правильну раму верстата профіль був відрізаний рівно під кутом 90° (рис. 2.11). Також за допомогою свердлильного верстата на торцях профілю зробили отвори для кріплення.

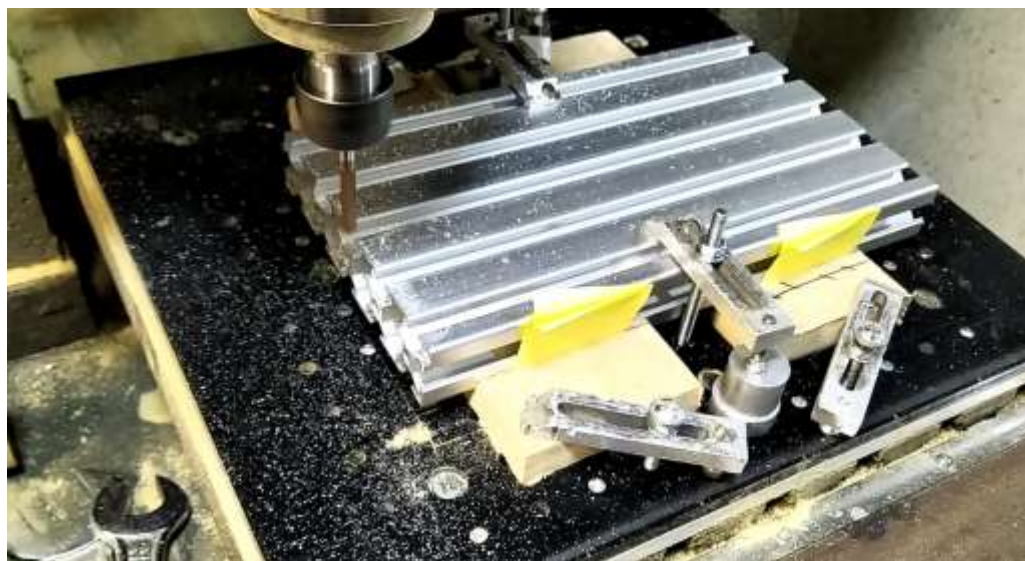


Рисунок 2.11 – Торцювання профілю

Стіл для верстата виконаний з листового алюмінію $369 \text{ мм} \times 365 \text{ мм}$ товщиною 18 мм. На ньому хрестоподібним чином розташовані отвори в яких нарізане різблення М6, що дозволяє притиснути заготовку будь-якого розміру (рис. 2.12).

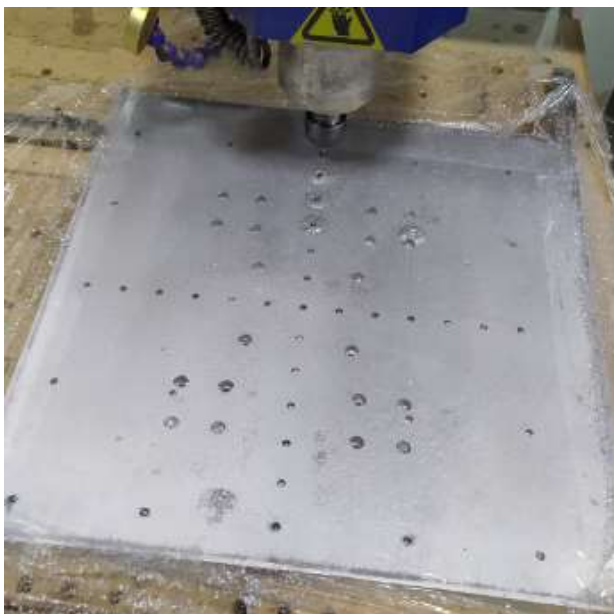


Рисунок 2.12 – Фрезерування отворів

На першому етапі був зібраний портал верстата (рис. 2.13). Конструкція скріплюється за допомогою гвинтів М8. Для з'єднання профілю зі стійками порталу в торцевих отворах профілю зроблено різблення М8. На профілі вісі Х були розміщені закладні Т-гайки М5 для лінійних направляючих.



Рисунок 2.13 – Портал верстата

На наступному етапі до стійок порталу було додано ребра жорсткості, які фіксуються гвинтами М5 в торець до стійок порталу та гвинтами М8 з закладними гайками до конструкційного профілю тридцятої серії. Також було закріплено алюмінієвий профіль вісі Y до порталу за допомогою гвинтів М8 та М5 (рис. 2.14). Для збільшення площі контакту профілів один до одного був доданий ще один профіль. Що в подальшому позитивно буде впливати на жорсткість при переміщеннях за віссю X.



Рисунок 2.14 – Черговий етап збірки

На заключному етапі збірки станини було встановлено передню та задню пластини, які закріплюються за допомогою гвинтів М8. Зібрана станина верстата зображена на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 – Станина верстата

На рисунку 2.16 зображений етап збірки вісі Z. Пластини до яких кріпиться ШВП з'єднані з верстатним профілем за допомогою гвинтів М8. Опора FK10 закріплюється гвинтом М4, а FF10 гвинтами М3. За допомогою шести гвинтів М4 та чотирьох М5 було встановлене кріплення гайки DSG12Н-24. Направляючі зафіксовані закладними гайками М5. Для кріплення лінійних підшипників використані гвинти М5.

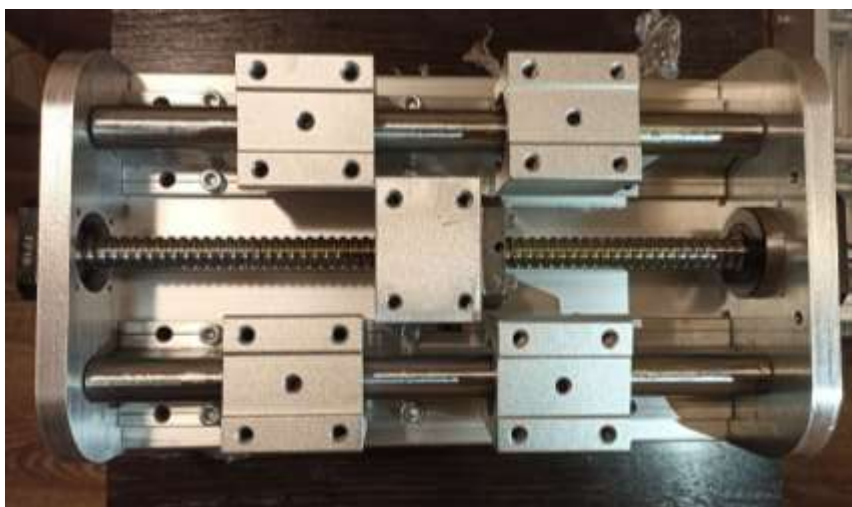


Рисунок 2.16 – Етап збірки вісі Z

Лінійні направляючі та ШВП були виставлені паралельно одна одній за допомогою електронного штангенциркулю, ІЧ індикатору, повірочного кутка та лінійки по трьом координатам. Це є важливим етапом збірки, так як від цього залежить точність фрезерного верстата та впливатиме на його довговічність. Якщо паралельність не буде досягнута, то це сприятиме швидшій появі нерівномірної виробітки на валових направляючих від лінійних підшипників. А паралельність ШВП відносно валів буде забезпечувати рівномірне зусилля за всією довжиною переміщення за координатами. Це також впливає на термін служби кулько-гвинтової передачі.

Коли всі комплектуючі механіки були встановлені на станину виставляються перпендикуляри. На даному етапі за допомогою ІЧ індикатору виставляється перпендикулярність вісі Z до вісі X та вісі X до вісі Y. Це забезпечує правильну геометрію. Вдалося налаштувати геометрію в рамках від 0,01 мм до 0,04 мм.

З торця конструкційний алюмінієвий профіль був наповнений ізоляційним матеріалом, що забезпечить зменшення шуму під час роботи.

На рисунку 2.17 зображено фінальний етап збірки механічної частини верстата.

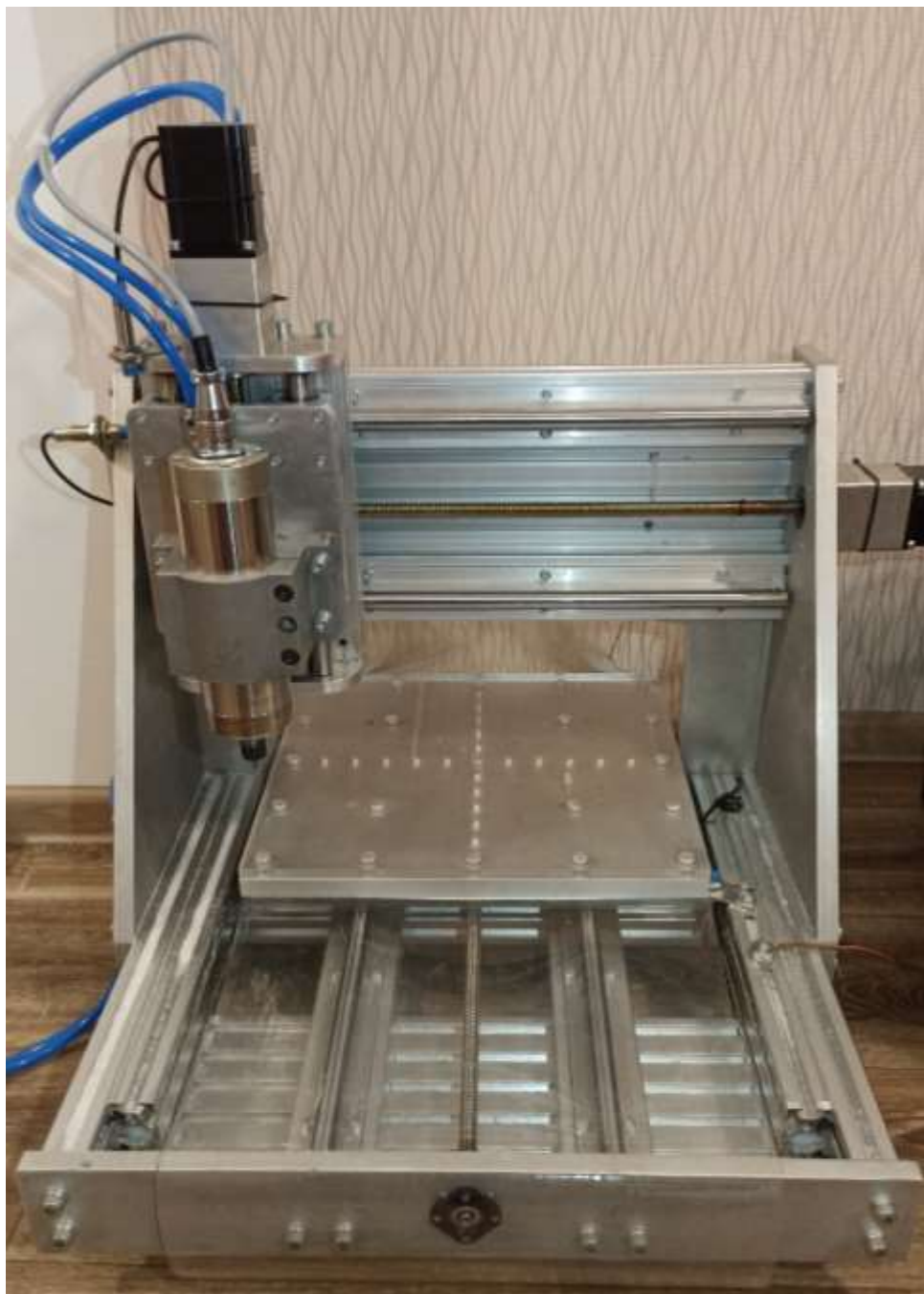


Рисунок 2.17 – Фінальний етап збірки

2.2 Розробка електронної частини фрезерного верстата

2.2.1 Розробка блок-схеми

Для того щоб наглядно зобразити принцип роботи трьохкоординатного фрезерного верстата на рисунку 2.18 зображена структурна схема на якій визначені основні функціональні частини. Завдяки структурній схемі верстата на етапі проектування можна виявити помилки при розподіленні вимог до вузлів.



Рисунок 2.18 – Структурна схема

В якості пристрою для введення даних використовується персональний комп'ютер. За його допомогою вводяться початкові данні для виготовлення деталей. Блоком керування, який надає керуючі сигнали є плата керування. КД дають змогу переміщувати інструмент по робочому полю.

Кроковий двигун використовується в якості виконавчого пристрою для організації переміщення інструменту. Драйвер КД потрібен для керування обертанням ротора КД і відповідно до сигналів керування і електронним чином ділить фізичний крок двигуна на більш дрібні дискретні.

Шпиндель це один з основних частин фрезерного верстата з ЧПК. Завдяки передбачуваному вузлу шпинделя для встановлення цанг є можливість кріплення ріжучого інструмента. Частотний перетворювач, або інвертор – пристрій, що служить для перетворення одно-або трифазної напруги в побутовій або промисловій електромережі на напругу з високою частотою (до 400 Гц і вище) для живлення електричного шпинделя. Задача інвертора: підвищення ступеня гнучкості керування шпинделем (зміна оборотів на ходу), забезпечення сталості напруги живлення шпинделя, зниження пускового струму, плавний пуск та плавне гальмування.

Кінцевий вимикач це перемикач, який спрацьовує при досягненні механічною частиною пристрою певного положення. Використовується для керування верстатом та для блокування роботи механізму в разі виникнення помилки.

Джерелом живлення є змінний струм 220 В, що живить інвертор та ПК. БЖ 12 В живить плату керування та кінцеві вимикачі, а БЖ 36 В в свою чергу – драйвера.

Для створення пристрою необхідні наступні ключові елементи:

- блок живлення 12 В;
- блок живлення 36 В;
- плата керування;
- три крокових двигуна;
- три драйвера крокових двигунів;
- три кінцевих вимикача;
- частотний перетворювач;
- шпиндель.

2.2.2 Вибір крокових двигунів

Електромотор, який перетворює посилаючі на обмотки статора імпульси електричного струму в дискретне обертання ротора і пов'язаного з ним робочого механізму, називається кроковим двигуном. Сьогодні такі пристрої

широко використовуються в багатьох галузях – від периферійної комп'ютерної техніки (принтерів, сканерів, плотерів) до промислового обладнання з ЧПК. Керування кроковими електродвигунами здійснюється спеціальними електронними пристроями, які запрограмовані на виконання конкретних операцій.

В основу роботи крокового двигуна покладено принцип взаємодії магнітних полів, що передбачає взаємне притягання різнойменних полюсів. Найбільш важлива конструктивна особливість крокового двигуна це явно виражені магнітні полюси. На статорі їх роль грають сердечники обмоток. Ротор виглядає як зубчасте колесо: виступи на його поверхні – це тяж полюси (постійних магнітів). Завдяки такій конструкції кроковий двигун здатний здійснювати дискретні кутові переміщення з зупинкою в певному положенні. Пов'язаний з ним через передачу вузол верстата здатний здійснювати лінійне переміщення.

Керуючий сигнал для крокового двигуна являє собою послідовність імпульсів. Їх кількість кратна числу кроків, які здійснює ротор. Система керування верстата знає, скільки імпульсів було послано на двигун, і може порахувати поточний стан виконавчого механізму.

У порівнянні з іншими видами електричних моторів, двигун кроковий має ряд переваг, головні з яких:

- можливість задавати потрібний кут повороту валу двигуна, подаючи в обмотки статора певну кількість імпульсів без участі складних механізмів контролю і керування;
- висока точність величини кроку (3 % - 5 %) і швидкості обертання без пристроїв зворотного зв'язку;
- швидкий старт, зупинка і зміна напрямку переміщення ротора;
- можливість при низьких швидкостях обертання приєднувати навантаження безпосередньо до валу електромотора без редуктора;
- висока надійність пристрою, завдяки відсутності колекторних щіток, термін його експлуатації обмежує лише довговічність підшипникового вузла;

- можливість фіксувати положення ротора струмом утримання;
- більш низька ціна крокової двигуна в порівнянні з сервоприводом (в кілька разів).

Крокові двигуни призначені для використання на середніх та малих фрезерних верстатах та фрезерних верстатах з ЧПК, токарних верстатах, граверах, різцях, плазморізах та багатьох інших.

Крокові двигуни з ЧПК бувають в основному у двох різних формах: однополярний двигун та біполярний двигун. Біполярна серія двигунів використовує повну котушку, що в свою чергу дає великий крутний момент на низьких швидкостях; однак, чим вища якість індуктивності, пропонована кроковими двигунами з ЧПК, тим швидше падає крутний момент. Інші біполярні двигуни пропонуються, наприклад, біполярні паралельні двигуни, які також використовують повну котушку.

Однополюсні та біполярні крокові двигуни з напів котушкою не дають великого крутного моменту на низьких швидкостях, оскільки використовується менше оборотів; однак через низьку якість індуктивності, яку пропонують крокові двигуни з ЧПК, крутний момент витримується на більш високих швидкостях.

Як і у випадку з будь-яким іншим двигуном з ЧПК, якість, надійність та сумісність двигуна залежатимуть від марки, що купується. Різні виробники пропонують різні установки, різні варіанти та різні конфігурації між своїми верстатами з ЧПК та кроковими двигунами з ЧПК, які призначені для роботи один з одним [13].

При використанні у співвідношенні з належними розмірами верстатів з ЧПК та належним типом верстатів з ЧПК ці крокові двигуни можуть бути всім необхідним для досягнення бажаних ефектів на верстатах такого розміру.

Для керування віссю X, Y та Z було обрано три крокових двигуна NEMA23 57BYGH276-3004A-8 (57HS13), які зображені на рисунку 2.19.



Рисунок 2.19 – Кроковий двигун NEMA23 57BYGH276-3004A-8 (57HS13)

Кроковий двигун NEMA23 57BYGH276-3004A-8 (57HS13), має такі характеристики:

- електричний опір: 1,2 Ом;
- інерція ротора: 460 г·см²;
- крок: 1,8°;
- момент: 2 Н·м;
- номінальний струм: 3 А;
- форма: нема23 (58,2 мм × 58,2 мм);
- вид з'єднання валу: лиска;
- діаметр валу: 8 мм;
- вид: біполярний, двофазний;
- висота: 76 мм [14].

Таблиця 2.1 – Кроковий двигун NEMA23 57BYGH276-3004A-8 (57HS13)

Модель	Кут кроку(°)	Висота двигуна(мм)	Сила струму (А)	Опір (Ом)
57BYGH276- 3004A-8	1,8	76	3	1,2

Продовження таблиці 2.1

Індуктивність (мГн)	Утримуючий момент (Н·м)	Інерція Ротора (г·см ²)	Кількість контактів (шт)	Вага (г)
3	2	460	4	620

2.2.3 Вибір драйверів крокових двигунів

Драйвер крокового двигуна – це привід, який може перетворювати електричний імпульсний сигнал у кутове зміщення. Коли драйвер крокового двигуна отримує електричний імпульсний сигнал, він буде приводити кроковий двигун в обертання з фіксованим кутовим зміщенням відповідно до встановленого раніше напрямку. Його обертання здійснюється поетапно відповідно до фіксованого кута. Так можна контролювати кутове зміщення, контролюючи кількість відправлених імпульсів, таким чином, щоб досягти мети точного позиціонування; в той самий час, також можна контролювати швидкість і прискорення обертання крокового двигуна, контролюючи частоту імпульсного сигналу, таким чином, щоб досягти мети регулювання швидкості та позиціонування [15].

Оскільки за технічними вимогами даний пристрій повинен працювати плавно та впевнено, необхідно використання високоточного цифрового драйверу. Під такі вимоги підходить драйвер DM556.

DM556 – цифровий драйвер, заснований на вдосконаленого алгоритму керування. Драйвер крокового двигуна має повноцінний цифровий сигнальний процесор, який забезпечує широкий набір функцій керування, налаштувань і контролю. Пристрій володіє стабільними робочими характеристиками, технологією плавного руху. Двигуни з драйвером можуть працювати з набагато меншими шумом більш низьким нагріванням порівняно з іншими драйверами. DM556 може автоматично згенерувати оптимальні параметри для різних моторів і тим самим забезпечить високу продуктивність.

Підходить для крокових двигунів від 17 до 34 типорозміру NEMA.

Особливості:

- висока продуктивність;
- низька вібрація і мінімальний шум;
- функція придушення резонансу – забезпечує оптимальний крутний момент;
- при холостому ході відбувається автоматичне зниження струму;
- підходить для 2-фазних і 4-фазних двигунів, з струмом фази до 5,6 А;
- підтримка режимів PUL/DIR і CW/CCW;
- захист від перегріву, перевантаження по струму;
- мікрокрок (15 режимів роботи, максимум 25600 імпульсів на оберт).

Технічні характеристики драйверу DM556:

- частота: 200000 Гц;
- напруга: 20 В – 50 В;
- вага: 270 г;
- опір ізоляції: >500 МОм;
- вихідний струм: 1,4 А – 5,6 А;
- робоча температура: від 0 °С до + 50 °С;
- розміри: 118 мм × 76,5 мм × 34,5 мм [16].

На рисунку 2.20 зображена схема підключення драйвера крокового двигуна.

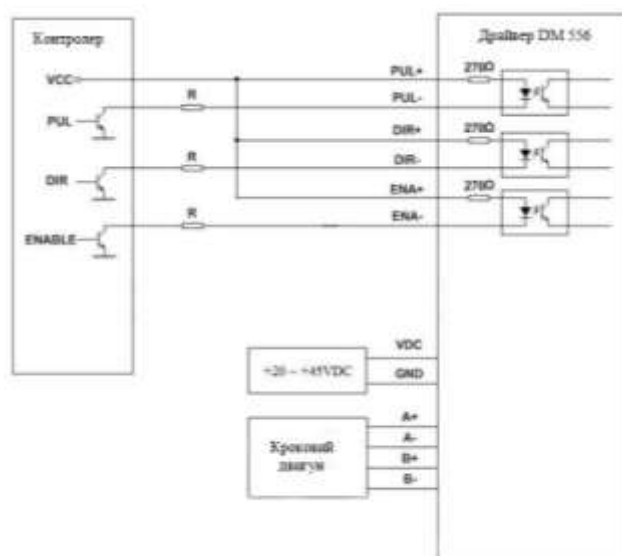


Рисунок 2.20 – Схема підключення драйвера DM556

2.2.4 Вибір плати керування

У якості плати керування верстатом з ЧПК була використана плата Mach3 USB ST-USB STB4100 на 4 координати (рис. 2.21). Контролер розроблений спеціально для використання в якості керуючого пристрою у системах верстатів з ЧПК. Живиться пристрій від блоку живлення з напругою 12 В – 24 В. Для керування роботою контролера необхідно Mach3. Для монтажу пристрою по кутах плати є 4 отвори $d = 3,5$ мм. Такий контролер широко застосовується на верстатах з ЧПК, 3D принтерах. Плата використовується як сполучна ланка між комп'ютером і трьома ДКД.

Особливості і характеристики:

- напруга живлення: 12 В – 24 В;
- частота сигналу STEP (макс) до 100 КГц;
- 4 входи для підключення датчиків, кінцевих вимикачів і т. п.;
- 4 виходи для підключення насосів і т. п.;
- наявність світлового індикатора, що вказує стан з'єднань на платі;
- USB порт для підключення до комп'ютера;
- канал для керування швидкістю 0 В – 10 В (в залежності від поставки цей вихід може працювати не стабільно, тому наша компанія не рекомендує використовувати цей вихід для керування швидкістю шпинделя);
- підтримка всіх версій програмного забезпечення Mach3;
- розміри плати: 8,5 см × 8,1 см × 1,4 см;
- вага плати: 150 грам [17].



Рисунок 2.21 – Mach3 USB ST-USB STB4100

Ця плата було обрана, оскільки підходить для проєкту за своїми характеристиками та має USB порт завдяки чому її можна під'єднати до будь-якого ПК, так як плати з LPT портом потребують встановлення плати розширення на материнську плату.

2.2.5 Вибір шпинделя та системи охолодження

Шпиндель – основна складова верстата, вал або вісь, яка служить для передачі обертального руху (крутного моменту), закріпленої в ньому деталі або інструменту. Шпиндель є генератором енергії, яка виробляється у великих кількостях при механічній обробці деталей та заготовок. Тому для того, щоб уникнути перегріву, їх постачають спеціальними системами охолодження.

Розроблено такі типи охолодження шпинделів:

- рідина система охолодження;
- система повітряного охолодження.

Повітряне охолодження – найпростіший тип систем, що оберігає шпиндель від перегріву. І в той же час ця система є достатньо надійною.

Виділяють два типи повітряного охолодження:

- вентилявання;
- охолодження стисненим повітрям, яке подається за допомогою компресора.

Конструкція вентиляційної повітряної системи охолодження шпинделя дуже проста, прямокутної форми, виготовлена з легкосплавних матеріалів. Повітряні канали, що проходять усередині корпусу, забезпечують подачу стисненого повітря до шпинделя. Сама система охолодження має примусовий характер, завдяки встановленій крильчатці на валу шпинделя. Вона і здійснює подачу та циркуляцію повітря каналами до місця призначення.

Переваги повітряного охолодження:

- корпус повітряної системи охолодження має досить високу міцність та низьку вібрацію;
- простота конструкції та демократична вартість;

- структура системи охолодження автономна. Для приведення її в дію достатньо підвести лише кабель живлення;

- легкість та швидкість установки системи.

Недоліки повітряного охолодження:

- низька ефективність, яка обумовлюється тим, що потужність і швидкість охолодження безпосередньо залежить від кількості обертів шпинделем. Тому є ризик перегріву на низьких обертах;

- підвищений рівень шуму, оскільки застосування при безшумному процесі обробки (гравірування, нарізування воску) є недоцільним;

- сильний повітряний потік, спрямований у зону обробки деталі. Внаслідок чого відбувається роздування стружки, окалини, пилу в різні боки;

- масивність конструкції.

Особливості роботи зі шпинделем повітряного охолодження

Вивчивши всі переваги і основні недоліки повітряної системи охолодження, можна дійти невтішного висновку у тому, що її застосування доцільно при високих потужностях шпинделя на високих оборотах. Тому необхідно уникати роботи на низьких оборотах, шпиндель може вийти з ладу через перегрівання. Не слід застосовувати вентиляційне повітряне охолодження в приміщеннях із забрудненим повітрям, великим скупченням стружки, тирси, пилу. А в процесі обробки необхідно застосування потужної системи видалення стружки або тирси.

Система рідинного охолодження.

Шпиндель з рідинним охолодженням є складнішим за своєю конструкцією, але й незамінним на виробництві. Його застосування є обґрунтованим та ефективним у таких випадках:

- процес обробки на високих оборотах та потужностях;

- використання у приміщеннях з високою температурою повітря;

- повітря довкілля містить шкідливі речовини, має високу вологість, загазованість чи запиленість.

Для процесу відведення-підведення рідини в корпусі шпинделя розташовані спеціальні штуцери, які з'єднані між собою із насосом, шлангами та баком. За допомогою спеціального насоса охолодна рідина подається з бака до шпинделя, відбувається процес охолодження, після чого рідина надходить назад у бак. Таким чином, відбувається безперервна циркуляція рідини, що охолоджує, в системі.

Переваги рідинного охолодження:

- невисока вартість порівняно із системою охолодження повітрям;
- компактність розмірів шпинделя;
- безшумність роботи, відсутність сильної вібрації;
- кріплення системи за допомогою хомута дозволяє легко регулювати висоту шпинделя, що важливо при роботі з довгими фрезами.

Недоліки рідинного охолодження:

- додаткове навісне обладнання (насос, трубки, вентилятор). Всі ці складові вимагають додаткового часу на кріплення та встановлення, що збільшує трудомісткість;
- небезпека виникнення корозії, поява якої може вивести з ладу шпиндель;
- використання додаткового обладнання для охолодження (чилера);
- у чиллер не можна лити тосол чи антифриз, рекомендується використовувати дистильовану воду.

Особливості роботи зі шпинделем рідинного охолодження

Для того, щоб система охолодження служила довгий час, необхідно дотримуватися рекомендацій щодо її правильної експлуатації. Необхідно, щоб рідинна система разом із насосом включалися одночасно зі шпинделем. Така схема включення дозволить застерегти шпиндель від перегріву. Найпростіше, що потрібно, стежити за тим, щоб шлагги або трубки охолодження не перегиналися для забезпечення безперервної подачі рідини та охолодження.

У обробці металів різанням зазвичай використовуються шпинделі рідинного охолодження. Це пов'язано з тим, що для обробки міцних

матеріалів, таких як сталь, потрібні потужніші типи шпинделів, які при обробці на великих обертах здатні дуже нагріватися. Рідинне охолодження шпинделя широко застосовується на верстатах з ЧПК (фрезерних, координатно-розточувальних, свердлильних та інших) [18].

Для даного проекту був обраний високошвидкісний, високоточний шпиндель для ЧПУ верстатів 0,8 кВт з водяним охолодженням GDZ-65-800A 65X195. Шпиндель 0,8 кВт з рідинним охолодженням, призначений для високопродуктивного свердління, фрезерування, гравіювання. Застосовується на порталних фрезерних верстатах, деревообробних центрах, однак може використовуватися і в інших областях. Установка інструменту здійснюється ручним способом, за допомогою цангового затиску, що дозволяє використовувати шпиндель у верстатах різної складності для обробки матеріалів. Процес охолодження шпинделя здійснюється за рахунок циркуляції охолоджуючої рідини, що тим самим дозволяє досягти оптимального температурного режиму радіально-упорних підшипників і забезпечити тривалий термін експлуатації. Для керування роботою двигуном шпинделя необхідно використовувати перетворювач частоти. Підключення шпинделя до перетворювача частоти здійснюється за допомогою роз'єму.

Технічні характеристики:

- частота: 400 Гц;
- робоча напруга: 220 В;
- швидкість обертання: 24000 об./хв.;
- биття: 0,01 мм;
- цанговий патрон: ER11;
- підшипники: 2X7002C P4 DT, 2X7000C P4
- струм: 5 А;
- потужність: 0,8 кВт [19].

2.2.6 Вибір кінцевих вимикачів

Вимикачі-кінцевики – електротехнічні пристрої, призначені для розмикання та замикання робочого кола. Монтують їх на рухомі механізми для обмеження їхнього переміщення в заданих межах. Функції, які виконують ці пристрої, ідентичні стандартному вимикачу.

Кінцевий вимикач є важливим, а в деяких виробничих ситуаціях є необхідним елементом будь-якого ЧПК верстата. Використовуються як помічники при обнуленні та налаштуванні координатної системи верстата, а також як аварійні обмежувачі по координатних вісях.

Існує безліч різноманітних датчиків за принципом впливу: механічні, індукційні, оптичні, електромагнітні, ультразвукові. Найпопулярнішими датчиками для верстатів ЧПК є механічні та індукційні датчики, значно рідше використовуються оптичні. Механічні та індукційні датчики мають невисоку вартість, простоту монтажу та налаштування, достатньої для більшості завдань точністю. Перевагою індуктивних (і оптичних) датчиків є повна відсутність рухомих частин конструкції датчика та вони відрізняються високою якістю і надійністю. При правильній експлуатації, без механічних впливів такі датчики можна назвати «вічними». Але в той же час більшості індуктивних датчиків потрібні додаткові джерела живлення для забезпечення роботи у своєму складі спеціальної електричної схеми [20].

Для даного ЧПК верстата були обрані індуктивні датчик HURON LJ12A3-4-Z/AX NPN NC закриті, які спрацьовують на відстані 4 мм від сталі, алюмінію, міді, бронзи, свинцю і т. д. (рис. 2.22).



Рисунок 2.22 – Індуктивний датчик HURON LJ12A3-4-Z/AX NPN NC закритий

2.2.7 Вибір частотного перетворювача

Частотний перетворювач або інвертор – це електронний прилад, що дозволяє використовувати змінний струм мережі для підключення та генерації частоти, необхідної для керування електродвигуном.

У сфері конструювання ЧПК – верстатів, частотні перетворювачі застосовується для живлення шпинделя, з метою керування його швидкістю обертання з високою точністю, що необхідно для виконання різноманітних фрезерувальних робіт. Так як в електромережах використовується стандартна частота в 50 Гц (для побутових 220 В та промислових 380 В мереж), без застосування інвертора управляти таким електродвигуном неможливо. Залежно від типу інвертора для ЧПК частота може бути перетворена від 0,5 Гц до 1000 Гц, що дозволяє регулювати швидкість обертання шпинделя. За рахунок зміни частоти напруги живлення, інвертор дозволить змінити швидкість і напрямок руху шпинделя в потрібний бік. Це, звичайно, передбачає більш тривалий термін служби верстата.

Також, інвертор повинен забезпечити сталість електричних налаштувань "на виході" незалежно від швидкості зміни навантаження на сам шпиндель. При покупці інвертора необхідно звертати увагу на діапазон частоти і потужності. Шпиндель повинен підходити під обрані характеристики. Неправильний вибір інвертора, з потужністю менше необхідної для шпинделя призведе до неправильної роботи верстата з ЧПК. Знизиться продуктивність верстата.

За типом керування інвертори поділяються на:

- векторні;
- скалярні.

Більш поширеним є векторний тип, але й коштують частотні перетворювачі з таким керуванням дорожче ніж зі скалярним. Векторне керування засноване на представленні параметрів фізичних величин у вигляді математичного вектору. Шляхом відповідної обробки цього вектору досягається поділ каналів, що регулюють величину вектору струму, як

наслідок, зміна швидкості обертання ротора електродвигуна. Саме векторний тип дозволяє керувати більш точно, уникаючи або по максимуму знижуючи статичну помилку.

Скалярний, або частотне керування побудоване за принципом широтно-імпульсної модуляції. Постійна напруга, що отримується від некерованого випрямляча, перетворюється за допомогою керуючих імпульсів в трифазну напругу потрібної частоти і амплітуди яка живить асинхронний електродвигун. Це найпростіший спосіб частотного регулювання швидкості двигуна, що забезпечує м'який пуск, динамічне гальмування та економічну роботу приводу. Зазвичай перетворювачі частоти, побудовані за таким принципом, застосовуються для керування роботою різних вентиляторів, насосів, компресорів та інших подібних механізмів, де не потрібно точного регулювання швидкості і високої динаміки

У свою чергу, скалярний режим лише підтримує безперервний взаємозв'язок між вихідним напругою і частотою. Тому, приміром, для вентиляторів другого буде цілком достатньо [21].

Оскільки для шпинделя ЧПК верстата потрібне точне керування був обраний векторний інвертор.

Інвертор (VFD) HY01D523B, 1.5 KW 7A 220-250V на японських мікросхемах Mitsubishi (рис. 2.23)

Особливості:

- режим керування SPWM (синусоїдальна імпульсна модуляція ШІМ);
- наявність запобіжника;
- наявність захисту від перевантаження та короткого замикання;
- можливість реалізувати PLC функціональність;
- RS485 комунікаційний порт MODBUS;
- можливість збільшення моменту 0,5 Гц -150%, можливість працювати на низькій швидкості;
- авто регулювання напруги (AVR), для підтримання у шпинделі постійного моменту.

Основні характеристики:

- вхідна напруга: $220\text{ В} \pm 15\%$;
- вихідна напруга: $208\text{ В} - 240\text{ В}$;
- вхідна частота: $48\text{ Гц} - 63\text{ Гц}$;
- вихідна частота: від 0 Н до 400 Н ;
- вхід фаз: 1 або 3;
- вихід фаз: 3 фази;
- струм: 7 А ;
- вага: $1,837\text{ кг}$;
- потужність: 1500 Вт [22].



Рисунок 2.23 – Інвертор (VFD) HY01D523B

2.2.8 Вибір блоку живлення

В якості основного блоку живлення для ДКД був обраний імпульсний блок живлення S-500-36 (рис. 2.24). Імпульсний блок живлення – це стабілізатор напруги, в якому регулювальний елемент працює в ключовому режимі, тобто більшу частину часу знаходиться або в режимі відсічення – коли його опір максимально великий, або в режимі насичення – коли його опір максимально малий. В даному проєкті використовується саме імпульсний

блок живлення на 36 В. На відміну від лінійних блоків живлення імпульсні мають ряд переваг:

- вхідний конденсатор конденсатор здатен запасати значну енергію при відносно невеликій ємності;
- розсіювання на ключі потужність є незначною;
- вихідний трансформатор та вихідні фільтри працюють на високій частоті, тому їх розміри можуть бути незначними.

Як наслідок, імпульсні стабілізатори напруги мають високий ККД при невеликих розмірах, вазі і вартості.



Рисунок 2.24 – Блок живлення S-500-36

Характеристики S-500-36:

- вихідна напруга: 36 В;
- вихідна потужність: 500 Вт
- струм: 14 А;
- вхідна напруга вибирається перемикачем;
- захист: коротке замикання / перевантаження / перенапруги;
- примусове повітряне охолодження вбудованим вентилятором DC;
- ШІМ-керування;
- робоча температура: $-10^{\circ}\text{C} + 50^{\circ}\text{C}$;
- габаритні розміри: 238 мм $\times$ 124 мм $\times$ 65 мм;
- вага: 1,35 кг [23].

Для плати керування можна використовувати блок живлення від 12 В до 24 В тому був обраний Імпульсний блок живлення S-25-12 (рис. 2.25).

Характеристики S-25-12:

- вихідна напруга: 12 В;
- вихідна потужність: 25 Вт;
- струм: 2,1 А;
- вхідна напруга вибирається перемикачем;
- захист: коротке замикання / перевантаження / перенапруги;
- ШІМ-керування;
- робоча температура: -10 °C +50 °C;
- габаритні розміри: 98 мм × 97 мм × 35 мм;
- вага: 0,3 кг [24].



Рисунок 2.25. – Блок живлення S-25-12

2.3 Збірка електронної частини фрезера

Після збірки всіх механічних і вибору електронних компонентів необхідно з'єднати між собою все апаратне забезпечення.

На ПК Для інтерфейсної плати Mach3 USB ST-USB STB4100 встановили програму для налаштування і керування MACH3. Плата під'єднується та отримує керуючі сигнали за допомогою USB кабелю. Як зовнішнє джерело живлення для плати використовується БЖ S-25-12. Блок живлення забезпечує більш стабільну роботу плати. На платі керування передбачено підключення максимально розповсюджених елементів

електроніки, які використовуються для верстатів фрезерної групи з ЧПК, таких як: датчики домашнього положення, датчики лімітів, датчик аварійної зупинки верстата, датчик довжини інструменту, а також керування частотним перетворювачем, керування ДКД, та роз'єми для підключення виносного пульта керування, який дозволяє локально керувати верстатом без ПК (рис. 2.26).

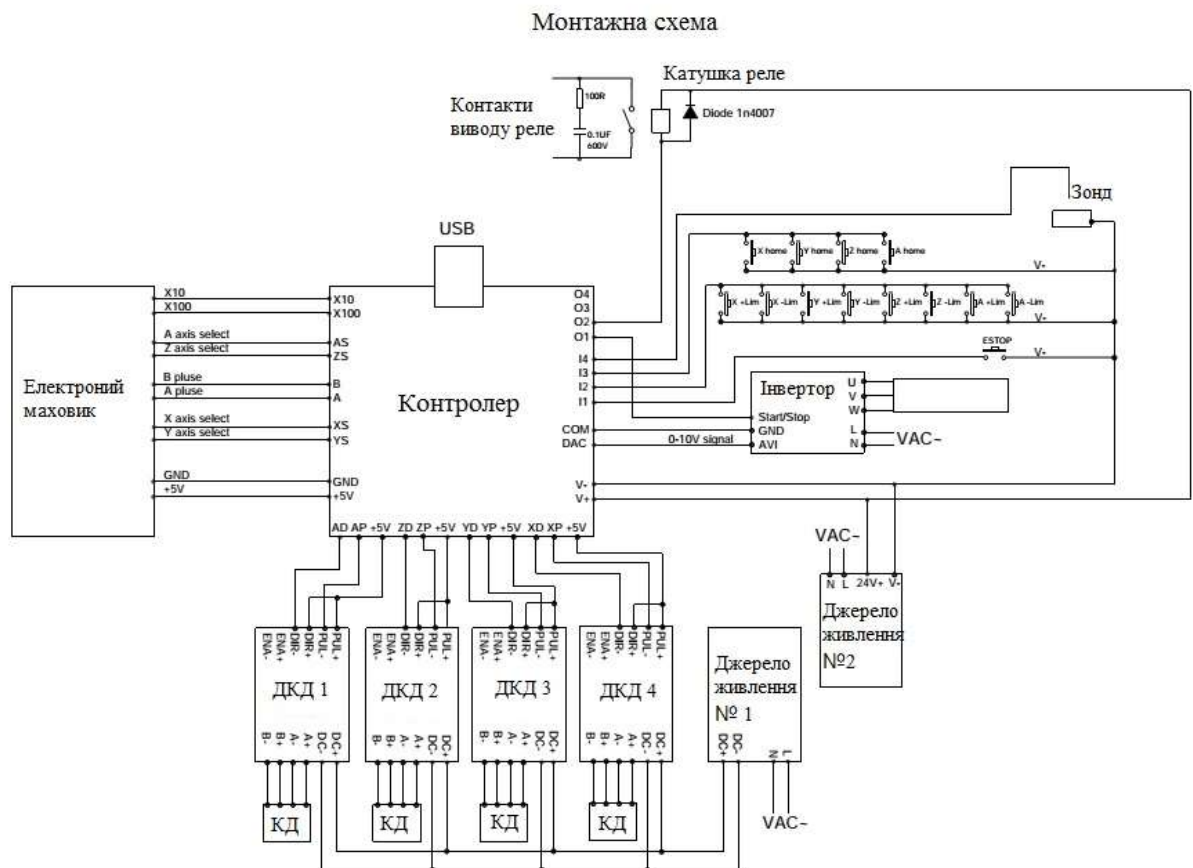


Рисунок 2.26 – Монтажна схема плати керування STB4100

Кроковий двигун, підключається за допомогою чотирьох виводів, має в собі дві обмотки. Кожна з фазних обмоток містить пару виводів для ідентифікації кожного виводу використовувався тестер (мультиметр).

Підключили обмотки А та В до драйверу крокового двигуна.

Для роботи КД необхідно налаштувати ДКД за допомогою перемикачів, які розташовані на корпусі. Вони дозволяють виставити потрібний параметр ділення кроку більший ніж стандартний, який 200 кроків на один оберт

крокового двигуна. На цій же панелі розташовані тумблери, які налаштовують необхідну напругу для КД.

Мікрокрок – режим керування кроковим двигуном, під яким розуміють режим поділу кроку. Мікрокроковий режим відрізняється від простого режиму, повнокрокового керування двигуном тим, що в кожен момент часу обмотки крокового двигуна живляться неповним струмом, а якимись його рівнями, що змінюються за законом SIN в одній фазі і COS в другій. Такий принцип дозволяє фіксувати вал в проміжних положеннях між цілими кроками. Кількість таких положень задається налаштуваннями драйвера. Скажімо, режим мікро кроку 1:16 означає, що з кожним поданим імпульсом STEP драйвер буде переміщати вал приблизно на 1/16 повного кроку, і для повного оберту валу потрібно подати в 16 разів більше імпульсів, ніж для режиму повного кроку [25].

У таблиці 2.2 та 2.3 приведені коди струму фази та налаштування мікрокроку DM556 [26].

Таблиця 2.2 – Коди налаштування струму фази

Peak	SW1	SW2	SW3
1.4A	on	on	on
2.1A	off	on	on
2.7A	on	off	on
3.2A	off	off	on
3.8A	on	on	off
4.3A	off	on	off
4.9A	on	off	off
5.6A	off	off	off

Таблиця 2.3 – Коди налаштування мікрокроку

Pulse/rev	SW5	SW6	SW7	SW8
400	off	on	on	on
800	on	off	on	on
1600	off	off	on	on

Продовження таблиці 2.3

Pulse/rev	SW5	SW6	SW7	SW8
3200	on	on	off	On
6400	off	on	off	on
12800	on	off	off	on
25600	off	off	off	on
1000	on	on	on	off
2000	off	on	on	off
4000	on	off	on	off
5000	off	off	on	off
8000	on	on	off	off
10000	off	on	off	off
20000	on	off	off	off
25000	off	off	off	off

Для даного проєкту був обраний мікрокрок Pulse/rev = 800.

Блок живлення S-500-36 під'єднується до драйверів крокових двигунів.

Для роботи шпинделю 800 Вт потрібно провести попередні налаштування частотного перетворювача.

Параметри налаштування:

- pd001 = 0 – джерело команд запуску;
- pd002 = 1 – керування робочої частоти з панелі ЧП (2 для MACH3) ;
- pd003 = 400 Гц – основна частота;
- pd004 = 400 Гц – базова частота;
- pd005 = 400 Гц – максимальна робоча частота;
- pd008 = 220 В – мінімальна напруга;
- pd009 = 15 – проміжна напруга;
- pd010 = 8 – мінімальна напруга;
- pd072 = 400 – вища аналогова частота;
- pd141 = 220 В – номінальна напруга двигуна;
- pd142 = 5 А – номінальний струм двигуна;
- pd144 = 3000 – номінальна революція двигуна.

При зміні параметру `pd002` всередині частотного перетворювача потрібно переставити перемиčku VI/VR. Після цього ЧП буде сприймати сигнали з плати керування, які змінюють частоту.

Під'єднана кнопка аварійної зупинки E-STOP з двома парами контактів.

В нормальному стані пара контактів №1 перебувати в розімкнутому стані, №2 – замкнутому. При натисканні: №1 – замкнений стан, №2 – розімкнений стан.

Індуктивні датчики отримують живлення від БЖ S-25-12, а сигнальні проводи під'єднуються до пінів плати.

Зібрана електронна частина зображена на рисунку 2.27.



Рисунок 2.27 – Зібрана електронна частина верстата

2.4 Висновки до другого розділу

У розділі розробка конструкції портального фрезерного верстата на першому етапі була обрана кінематика, обґрунтовано складові конструкції, змодельована та зібрана механічна частина. На другому етапі була розроблена та зібрана електронна частини фрезерного верстата. Описано вибір комплектуючих, а саме: крокові двигуни NEMA23 57BYGH276-3004A-8 (57HS13), цифрові драйвери крокових двигунів DM556, плата керування Mach3 USB ST-USB STB4100, шпиндель з водяним охолодженням GDZ-65-800A 65X195, індуктивні кінцеві вимикачі HURON LJ12A3-4-Z/AX NPN NC, векторний частотний перетворювач (VFD) HY01D523B та імпульсні блоки живлення для драйверів крокових двигунів та датчиків S-500-36, а для плати керування S-25-12. На заключному етапі було описано основні моменти підключення та налаштування електроніки.

3 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ

3.1 Аналіз параметрів

Точність – основна характеристика верстата з ЧПК. Цей параметр залежить від великої кількості факторів, у тому числі – ймовірного люфту напрямних та передач, неточності напрямних осей, порушення їх перпендикулярного розташування та ін. На характеристику також впливають якість станини та її жорсткість.

Залежно від того, наскільки високою є ця характеристика, верстати з ЧПК діляться на чотири групи:

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

Залежно від класу точності, присвоєного верстату, різняться і якість обробки деталей. Верстати з підвищеною точністю забезпечують точність обробки виробів у межах 0,6 відхилень, які отримують на верстатах з нормальною точністю. У верстатів з високою точністю цей параметр дорівнює 0,4, а верстати особливо високої точності дозволяють обробляти деталі з точністю в межах до 0,25 відхилень. Особливо точні та верстати з високою точністю створюються в результаті застосування спеціальних конструктивних рішень.

При перевірці норм точності верстатів встановлюють точність геометричних форм та відносного положення опорних поверхонь, що базують заготовку та інструмент, точність рухів по напрямних робочих органів верстата, точність розташування вісей обертання та траєкторій переміщень робочих органів верстата, що несуть заготівлю та інструмент, щодо один

одного та щодо базуючих поверхонь, точність оброблених поверхонь зразка, шорсткість оброблених поверхонь зразка [27].

Биття інструменту – це схильність інструменту до розгойдування під час обертання. Щоразу, коли інструмент обертається навколо вісі, яка є його центром, це і є биття. Сили, що діють під час різання матеріалу, повинні бути в точному балансі, якщо ні, то результати будуть не ідеальні.

В основі ефективних процесів фрезерування лежить баланс. Коли інструмент зношується, його продуктивність різко знижується. Основна причина полягає в тому, що биття створює нерівномірні навантаження на інструмент. У міру того, як інструмент зношується, навантаження стружки (кількість матеріалу, що ріже інструмент) на інструмент постійно змінюється. Це призводить до нерівномірних ріжучих зусиль і нерівномірного зношування інструменту. Надмірне биття призведе до більшого зносу інструменту, більшого сколювання кромки і більшої кількості проблем загалом.

Інструмент завжди має бути поєднаний із віссю шпинделя. На точність обертання інструменту впливає багато змінних.

Стан цанги. Цанга відповідає за центрування інструменту щодо шпинделя. Зношеність або забруднення цанги може спричинити биття. Одне це, ймовірно, є найбільшим джерелом проблем, пов'язаних із биттям. Цанга зношується і потребує періодичного обслуговування та заміни.

Якість інструменту. На ринку є інструменти низької якості, які не відповідають стандартам, які висуваються до інструментів вищого класу. В результаті виходить інструмент, який може швидко вичерпати себе. Здатність витримувати жорсткі допуски на обробку – найважливіша частина створення якісного інструменту. У дешевших інструментах спочатку може бути биття.

Стан шпинделя. На жаль, шпинделі та підшипники зношуються і сам шпиндель починає биття. Якщо шпиндель виходить із ладу, інструмент теж.

Стратегія фрезерування також може спричиняти биття. Стратегія фрезерування повідомляє верстату, як керувати інструментом. Вона програмує швидкість шпинделя, швидкість подачі, глибину різання та інші

аспекти процесу фрезерування. Якщо стратегія не розроблена оптимально, це може призвести до відхилення інструменту (биття) і, як наслідок, поганої роботи.

Незалежно від того, чим це спричинено, биття знижує точність фрезерування, не зважаючи на те, чи буде воно поступовим, або виявить себе в невідповідний момент [28].

Жорсткість верстата одна із найважливіших технологічних чинників, які визначають точність механічної обробки, так як при недостатній жорсткості швидкість обробки буде низькою і, як наслідок, зменшиться продуктивність, а в процесі роботи верстат вібруватиме, що може призвести, наприклад, до поломки інструменту і скоротить термін служби самого верстата.

Жорсткість не залишається постійною і змінюється при різному розташуванні його елементів і залежить не тільки від термінів, а й від умов експлуатації верстата – кількості та в'язкості мастила, теплоти тертя та різання. Надійні системи охолодження, як шпинделя верстата, так і безпосередньо фрези, допомагають підтримувати постійний тепловий режим і забезпечувати збереження високих показників точності навіть при тривалій напруженій обробці.

Жорсткість залежить від власних деформацій несучих вузлів (шпиндельний вузол, супорт) та контактної жорсткості стиків. Чим більше стиків тим менша жорсткість. Безпосередньо також впливає конструкція верстата та якість її складання. Наприклад вібрації можуть виникати від того, що підшипники неправильно відрегульовані або недостатньо затягнуті напрямні супорта. Ці дефекти усуваються шляхом регулювання верстата [29].

Люфт ШГП – це відстань на яку можна змістити гвинт та гайку один щодо одного без взаємного обертання. Люфт буває вісьовим і радіальним, але важливий для розгляду тільки вісьовий – оскільки саме вісьові переміщення негативно впливають на точність та повторюваність верстата. Люфт виявляє свої негативні властивості насамперед при зміні напрямку руху – доки верстат рухається в одному напрямку, проміжок між гайкою та гвинтом постійно

вибраний за рахунок сил тертя і не вносить похибки. У разі використання звичайної гайки, без вибірки люфту, гвинт може повернутися на досить великий кут без торкання гайки, це означає втрату заданої позиції. Причому зазор у передачі збільшуватиметься в міру зносу – саме з цієї причини більшість гайок, що використовуються в ЧПК, мають механізми вибірки люфту. Радіальний люфт зазвичай ніяк не проявляє себе при русі, але теж є небажаним.

Так, скажімо, подвійна гайка ШГП дозволяє створити натяг, повернувши 2 частини гайки один щодо одного і зафіксувавши їх у такому натягнутому положенні за допомогою шайби-прокладки: кульки однієї половини тиснуть на поверхню в одному напрямку, кульки іншої – у протилежному. Натяг регулюється за допомогою підбору прокладки товщини [30].

Направляючі та підшипники в значній мірі можуть впливати на точність верстата. Наприклад валові направляючі без опори кріпляться тільки на двох точках на кінцях, що призводить до того, що направляючі встановлені незалежно від робочої поверхні столу. Такий вид направляючих спричиняє провисання вісі, що погіршує точність. З таким видом напрямних використовуються шарикові втулки та лінійні підшипники ковзання.

Лінійні підшипники кочення мають порівняно великі люфти порівняно з каретками рейкових напрямних та менші навантажувальні характеристики. Бюджетні лінійні підшипники багатьма виробниками виготовляються найчастіше з дуже суттєвим люфтом.

Втулки ковзання використовують тертя ковзання та виготовляються з бронзи, латуні, та інших матеріалів. При належному дотриманні допусків бронзовий підшипник ковзання не поступається підшипнику кочення в точності та вантажопідйомності.

В цей час вал на опорі служать для підтримки прямої по всій довжині, що запобігає її прогину під впливом навантаження або власної ваги при великій довжині і масі каретки, що рухається. Циліндричні рейки кріпляться безпосередньо на верстат. Отвори з різьбленням в опорі виконані спеціально

для зручного кріплення та забезпечують надійну фіксацію направляючої на станині. Циліндричні рейки мають загальні недоліки з полірованими валами – високий люфт у втулок, недовговічність. Однак циліндричні рейки вже не провисають по довжині і мають велику вантажопідйомність. На відміну від лінійних підшипників на вали, каретки на циліндричні рейки реагують на різноспрямовані навантаження по-різному. Це тому, що кулькові втулки на вал – замкнуті по контуру, а каретки на рейки – немає. Цей ефект може призвести, наприклад, до того, що невеликий верстат з важким шпинделем на циліндричних рейках може показати точність гіршу, ніж аналогічна конструкція на валах.

Профільні рейкові напрямні використовуються там, де потрібна висока точність. Також як і циліндричні, профільні рейки кріпляться безпосередньо на станину верстата. У профільних рейках зроблені спеціальні доріжки кочення, в результаті навантаження на каретку розподіляється по робочій поверхні доріжок кочення рівномірно – профіль торкання кулька-рейка вже не одна точка, а дуга. Профільні рейки відрізняються високою точністю та прямолінійністю, високою вантажопідйомністю, високою зносостійкістю, низьким люфтом або повною його відсутністю.

Досягти високих показників точності та високої швидкості роботи фрезерного верстата з числовим програмним керуванням неможливо без використання вузлів тертя високої якості (підшипники, лінійні напрямні інструментального порталу, гвинтові пари та інше) [31].

За рахунок G-Code також можна корегувати точність обробки на ЧПК верстаті. G-Code – це система команд, що сприймаються верстатами з програмним керуванням. Була створена ще на зорі 60-х років асоціацією EIA (Electronic Industries Alliance), але до готового до використання формату (RS274D) її доопрацювали тільки в 1980-му році. Пізніше, на черговому засіданні профільного комітету, її затвердили як стандарт ISO 6983-1:1982. З того часу і по сьогодні широко використовується, як самостійно, так і в ролі

базової підмножини для створення подібних мов, постійно вдосконалюється і розширюється.

G61 – точна перевірка зупинки. Корисна для підвищення точності програм G-коду. Це змушує машину чекати, поки різак закінчить і точно стане на місце, перш ніж продовжити. Він часто запускає планувальник траєкторій в контролері, щоб він був більш уважним до того, щоб рухи точно відповідали меті. Іншими словами, G61 – це керування прискоренням подачі.

Навіщо це потрібно і чому елемент керування не завжди працює у режимі перевірки точної зупинки? Під час типової контурної операції напрямок руху різання змінюється досить часто. При контурній обробці це означає, що для програмування гострого кута деталі рух інструменту вісі X в одному кадрі повинен змінитися на рух вісі Y в наступному кадрі. Щоб перейти від одного ріжучого руху до іншого, система керування повинна спочатку зупинити рух по вісі X, а потім почати рух по вісі Y. Оскільки неможливо миттєво запустити повну швидкість подачі без прискорення, а також неможливо зупинити подачу без уповільнення, можлива помилка різання. Ця помилка може призвести до різання гострих кутів на контурі деталі з небажаним перерегулюванням, особливо при дуже високих швидкостях подачі або дуже вузьких кутах.

Різкі маневри на високій швидкості можуть перевищити можливості машини прискорення, змушуючи її відставати і починати спроби наздогнати за допомогою контуру зворотного зв'язку сервоприводу. Перевірка точної зупинки просто змушує машину закрити помилку (відстань від заданого до фактичного положення) до нуля перед продовженням. Недоліком є те, що це може уповільнити роботу програми без поважних причин. Наприклад, при чорновій обробці необов'язково, щоб верстат був точно намічений. Роль чистового проходу полягає у усуненні неточностей чорнового проходу..

Коли ви вказується G61, це точна перевірка зупинки відбувається в кінці кожного руху, яке робить машина.

Команда G64 використовується для вказівки верстата дотримуватись заданої швидкості. Навіть якщо це вимагатиме недотримання точних координат, що вказуються в програмі [32].

Електронні компоненти мають значний вплив на точність роботи верстата. Наприклад крокові двигуни, які приводять до руху осі верстату, можуть пропускати кроки, що збиває точність позиціонування робочого органу. В цей же час використання ДКД з енкодером, які побудовані на цифровому принципі та мають високу реакцію гарантують плавність пересування, зменшують нагрів мотору та підтримують момент та швидкість обертання сприяє відсутності затримок в роботі при збереженні максимальної швидкодії.

Точність ЧПК верстата – це основний показник, що має важливе значення при виготовленні обладнання. Однак для оцінки якості його перспективної роботи необхідно враховувати всі вимоги, яким він повинен відповідати з точки зору бюджету, приміщення, де обладнання буде встановлено, використовуваного у виробництві матеріалу та особливостей технології його обробки.

3.2 Висновки до 3 розділу

У розділі аналіз параметрів, які впливають на точність фрезерної обробки розглянули, що таке точність фрезерного верстата та проаналізували такі параметри як: биття інструменту, жорсткість верстата, люфт ШВП, механічні комплектуючі, команди G-Code G61 ТА G64, а також електронні компоненти.

4 СИМУЛЯЦІЯ МЕХАНІЧНИХ ВПЛИВІВ НА ФРЕЗЕРНИЙ ВЕРСТАТ

4.1 Симуляція механічних впливів

Так як верстат портальний з рухомим столом то вісь X не рухається по вісі Y , відповідно це означає, що Y має незначні навантаження (рис. 4.1).

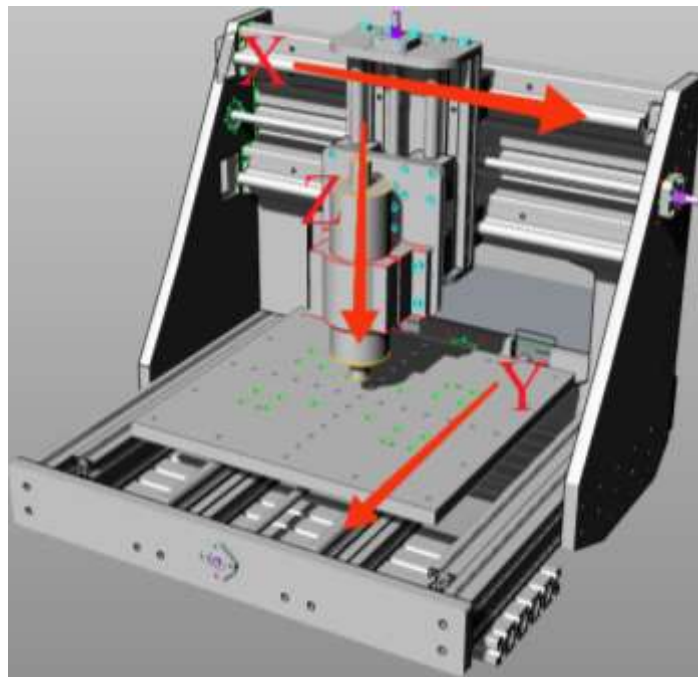


Рисунок 4.1 – Умовне позначення координат верстата

На вісі Y знаходиться тільки стіл на якому безпосередньо закріплюються заготовки. Шпиндель та вісь Z , вагою приблизно 9,7 кг, знаходяться на вісі X . Виходячи з цього ми можемо зробити висновок, що на вісь X надходить найбільше навантаження ніж на інші вісі. При переміщеннях в системі координат необхідно забезпечити в даному випадку точний контроль вісі X . Саме при її гальмуванні та розгону для зміни напрямку різку ми маємо враховувати, що ріжучий інструмент повинен як можна більш точно виконати поворот та швидко продовжити роботу. Вісь X зупиняється, а вісь Y починає свій рух практично миттєво, всі ці операції мають енергію, яку стримують

стійки порталу. Це завжди є актуальною проблемою жорсткості порталних фрезерів з рухомим столом, прикладна рисунку 4.2 є найбільш вдалою візуалізацією недостатньої жорсткості стійок порталу верстату.

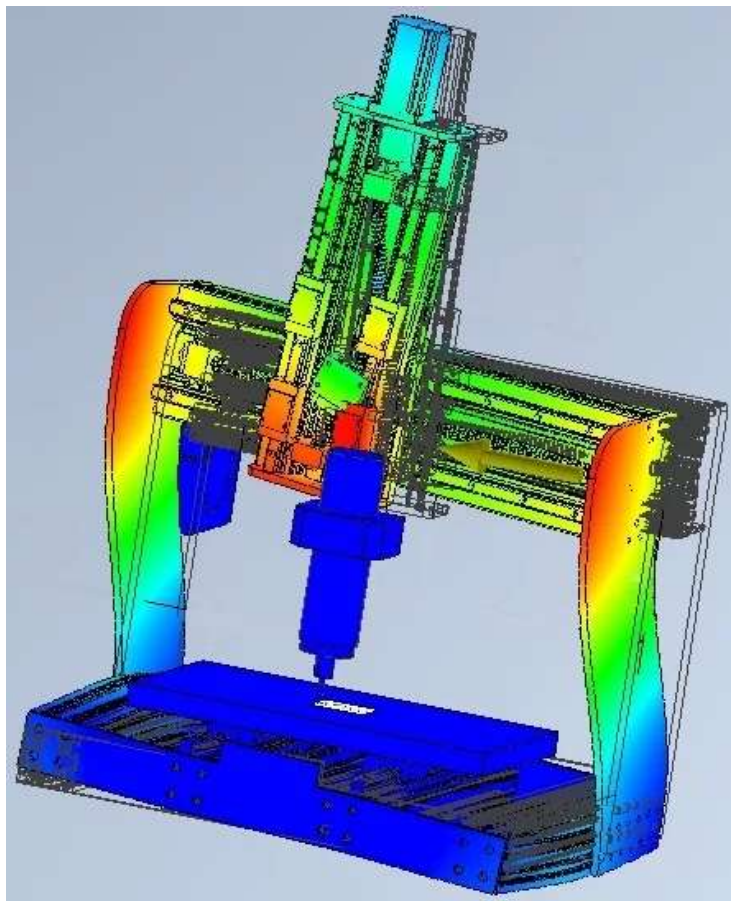


Рисунок 4.2 – Візуалізація недостатньої жорсткості стійок порталу верстату

В такому випадку якщо вісь Y має у навантаженні лише плиту стола на відміну від вісі X , яка на собі утримує свою механічну частину та вісь Z з шпинделем який в свою чергу навантажується при фрезеруванні. Робимо висновок, що потрібно збільшувати жорсткість стійок порталу, так як вони приймають на себе це навантаження при роботі.

Розглянемо декілька можливих конструкцій стійки порталу та визначимо їх відхилення в Fusion360 при навантаженні в 20 кг. Жорстке закріплення буде здійснено в пазі, який створений знизу стійки для фіксації до профілю 30 мм x 150 мм (рис. 4.3).

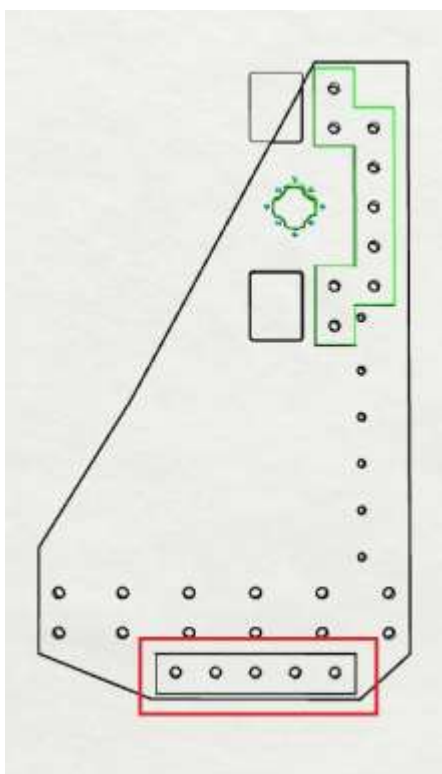


Рисунок 4.3 – Паз фіксації для симуляції

Навантаження в 20 кг будуть накладатись в паз до якого закріплена балка порталу, профілі 30 мм х 60 мм та 30 мм х 150мм (рис. 4.4).

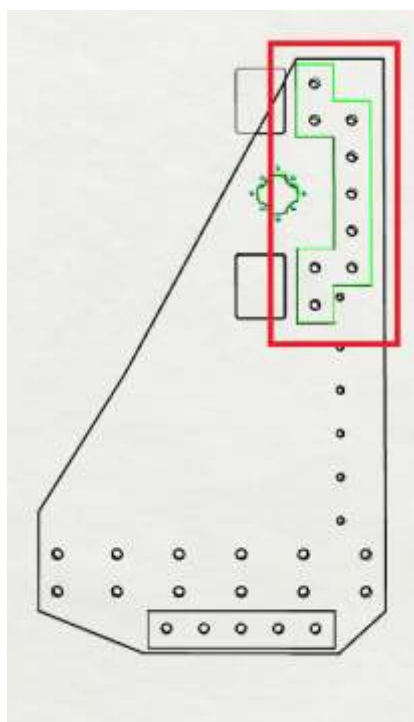


Рисунок 4.4 – Паз до якого буде застосоване навантаження

Це дасть схематичну картину відхилень, яку можна оптимізувати конструкційно та підвищити жорсткість станини, тим самим уникнувши дефектів обробки матеріалів та зламу ріжучого інструменту.

Перша форма дозволяє задовольнити основні вимоги до конструкції станини, а саме закріпитись всіма необхідними елементами та виставити всі в необхідні положення конструкційно. Варіант №1 зображено на рисунку 4.5.

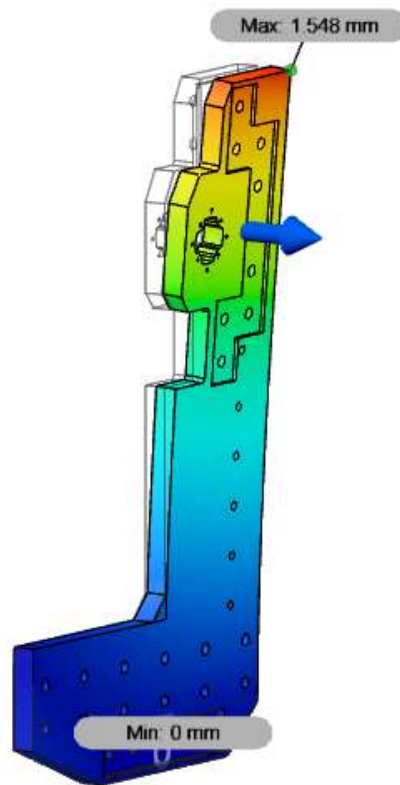


Рисунок 4.5 – Перший варіант стійки порталу

При симуляції навантаження на дане конструкційне рішення ми маємо відхилення в 1,5 мм, це навантаження лише на одну стійку порталу, але навіть враховуючи що вони працюють в парі, такої жорсткості все одно буде недостатньо.

В такому випадку створюємо наступну 3D модель та випробовуємо її на жорсткість за цим принципом. Черговим кроком в створенні цієї деталі буде збільшення кількості тіла моделі, а саме її нарощення і створення трикутної

форми, це повинно надати жорсткості при роботі верстата. Варіант №2 зображено на рисунку 4.6.

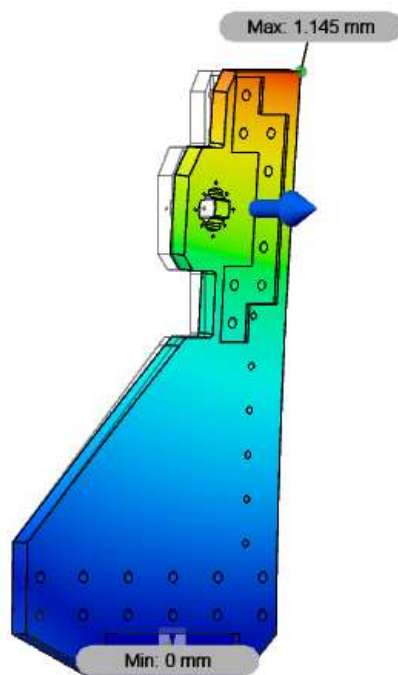


Рисунок 4.6 – Другий варіант стійки порталу

Можемо бачити позитивні зміни в жорсткості, але вони в більшості знаходяться нижче ніж конструкційний паз для вводу та виводу лінійних підшипників з направляючого валу вісі X (рис. 4.7).

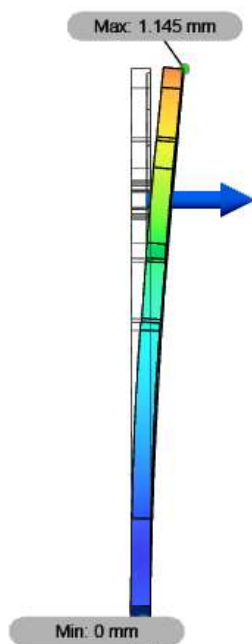


Рисунок 4.7 – Другий варіант стійки порталу

Даний варіант має перевагу, при симуляції тих самих навантажень відхилення менше на 0,403 мм, але потрібно змінювати форму, враховуючи технологічний паз для підшипників.

Надалі додаємо пряме з'єднання верхньої частини стійки з нижньою (рис. 4.8).

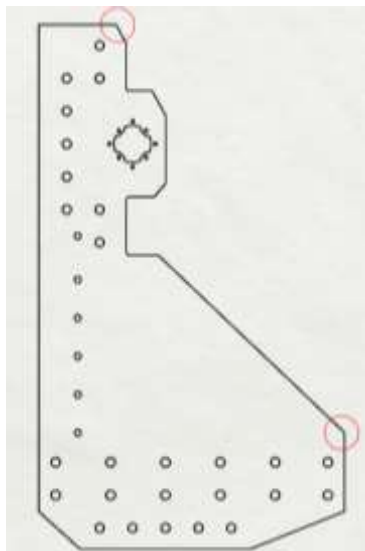


Рисунок 4.8 – Пряме з'єднання верхньої частини стійки з нижньою

Це надасть максимальну жорсткість в даному випадку, подальші нарощення не буде компенсувати достатньо жорсткість за витрачені кошти на матеріал. Варіант №3 зображений на рисунку 4.9.

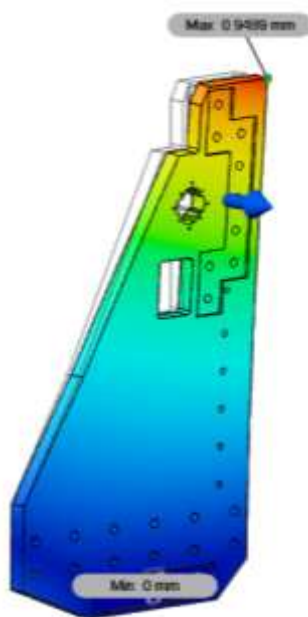


Рисунок 4.9 – Третій варіант стійки порталу

В цьому варіанті ми маємо максимальну жорсткість саме цієї деталі, різниця відхилення при навантаженні від початкової форми деталі становить 0,5991, що приблизно дорівнює 0,6 мм, різниця від другого варіанту становить 0,1961 що приблизно дорівнює 0,2 мм.

Надалі маємо можливість додати конструкційні ребра жорсткості на стійки порталу, саме такі як в верстатах фірм «Сокол» або «Ястреб» зображений на рисунку 4.10.



Рисунок 4.10 – Приклад ребер жорсткості на верстаті «Ястреб»

Це конструкційне рішення є більш доцільним ніж подальше нарощення тіла стійки, оскільки матеріалу витратиметься менше, але за рахунок того що пластина повернута торцем до стійки вона додаватиме значного покращення.

Моделюємо пластину товщиною 10 мм, висотою 400 мм та шириною 25 мм (рис. 4.11).

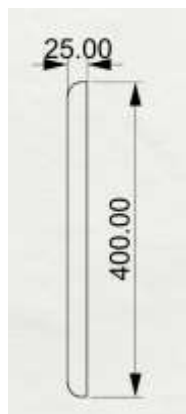


Рисунок 4.11 – Креслення прототипу ребра жорсткості

Додаємо ребро жорсткості до проєкту та розраховуємо за тим самим принципом (рис. 4.12).

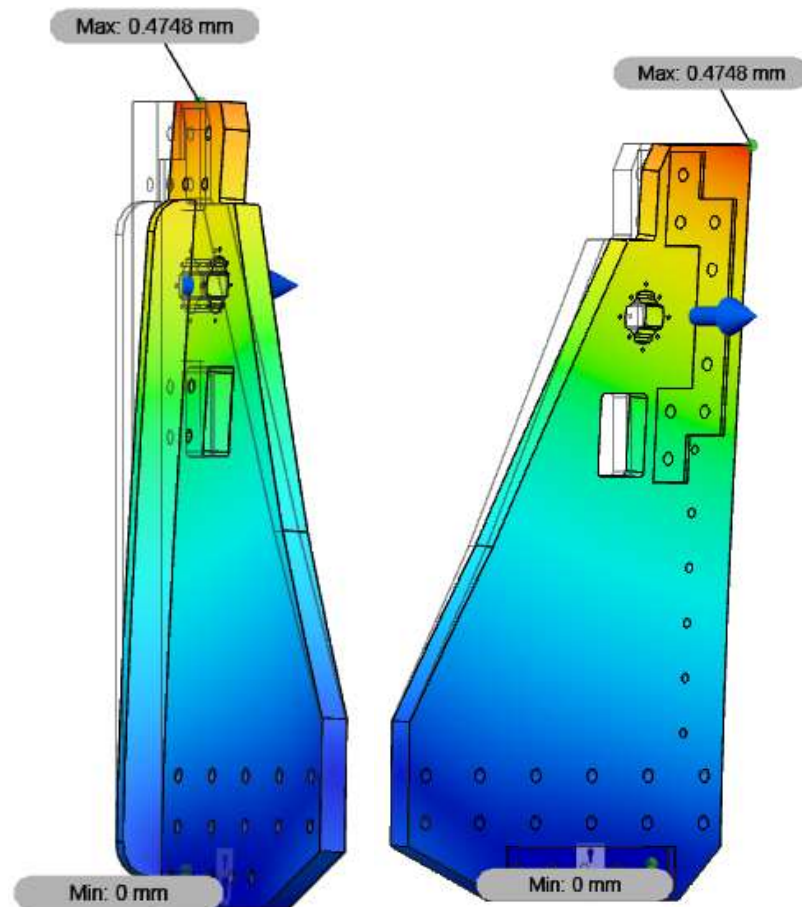


Рисунок 4.12 – Симуляція з ребрами жорсткості

З ребрами жорсткості маємо відхилення вже в 0,4748 мм, в порівнянні з найпершим варіантом різниця становить 1,0732 мм. Це є більш задовільним значенням, про те ціна виготовлення майже не впливатиме на форму ребра. Тобто ми маємо можливість видозмінювати ребро, без значних змін у вартості виготовлення.

Надалі було розроблено конструкційне рішення ребра жорсткості. По-перше воно було переміщене в середину станини, що не вплинуло на габаритні розміри верстату. З'явилась можливість не тільки закріплення в торець до стійки порталу, а ще й зафіксувати його до алюмінієвого профілю 30 мм х 150 мм знизу, та до профілю балки порталу 30 мм х 60 мм зверху (рис. 4.13).

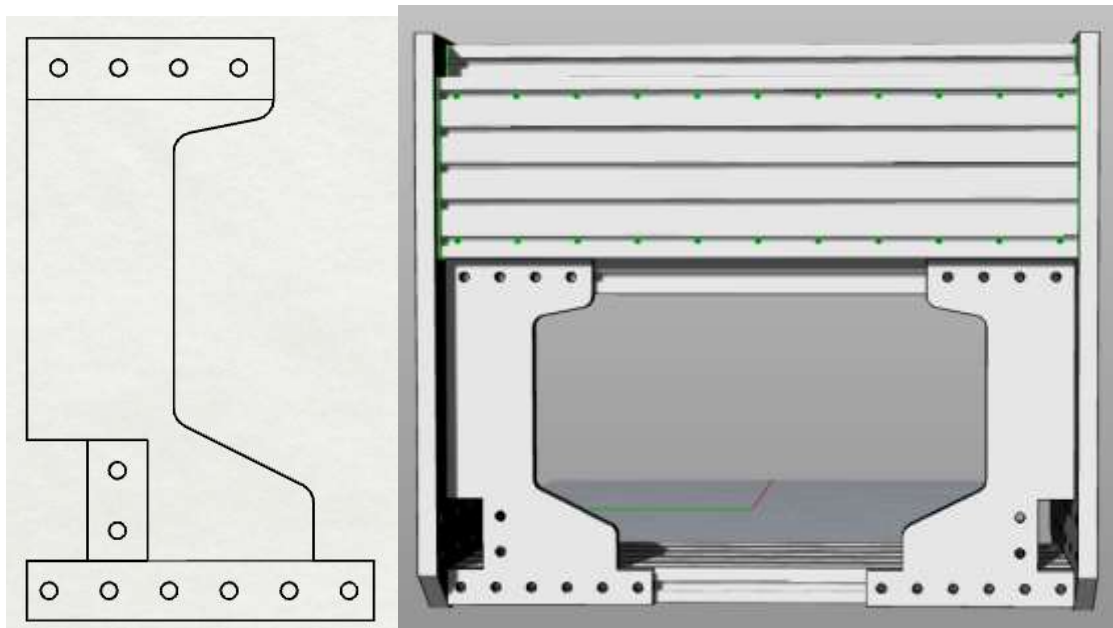


Рисунок 4.13 – Розроблене конструкційне рішення ребра жорсткості

Розраховуємо жорсткість стійки portalу з ребром, використовуючи додаткове закріплення ребра знизу, де він з'єднується з профілем 30 мм х х 150 мм (рис. 4.14).

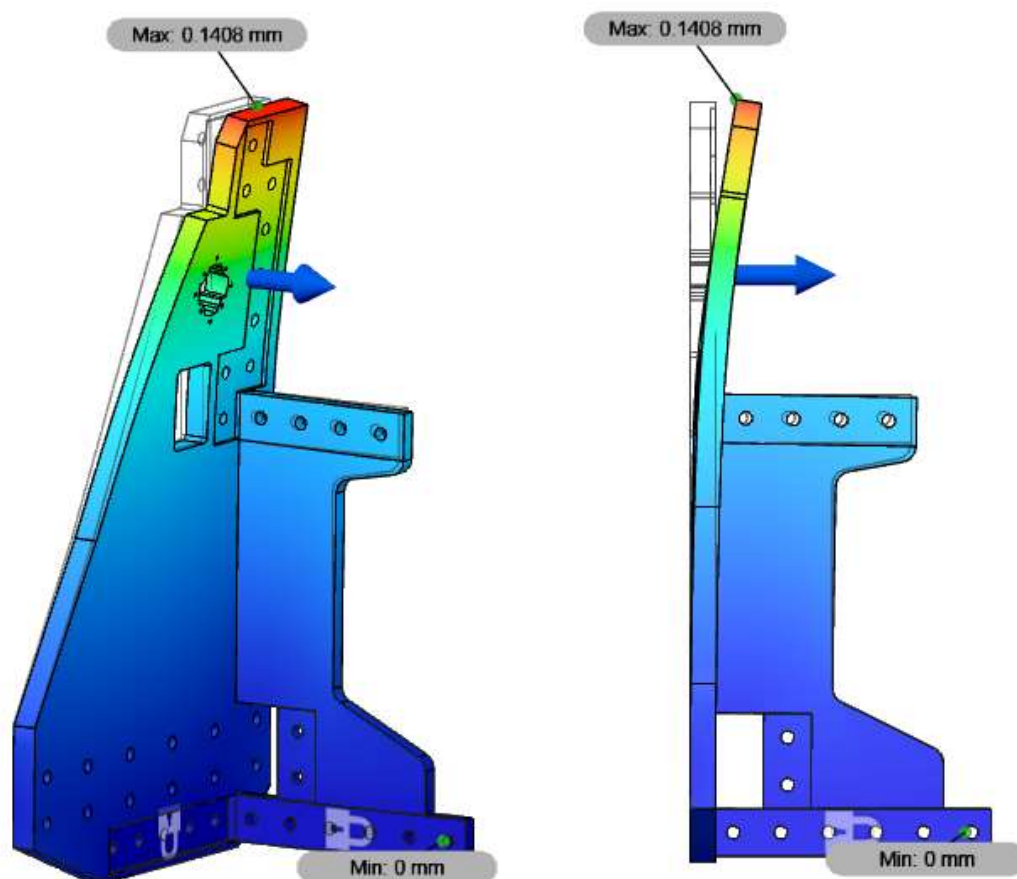


Рисунок 4.14 – Симуляція стійок portalу з ребром, яке закріплено знизу

На даному етапі розробки ми маємо конструкцію, яка є найбільш задовільною, відхилення становлять 0,1408 мм при навантаженні у 20 кг. Таким чином максимально зменшуємо коливання при гальмуванні та розгону вісі X.

4.2 Висновки до 4 розділу

У розділі симуляція механічних впливів на фрезерний верстат було проведено механічні навантаження на стійки порталу у програмі Fusion360. Розглянули декілька можливих конструкцій стійки порталу та визначили їх відхилення при навантаженні в 20 кг. У першому варіанті стійки отримали відхилення в 1,5 мм, у другому варіанті отримали відхилення на 0,403 мм менше, але конструкція потребувала доопрацювання. Фінальний варіант має різницю відхилення при навантаженні від початкової форми деталі 0,5991, що приблизно дорівнює 0,6 мм. Змоделювали два варіанти ребра жорсткості для стійок порталу та після симуляції обрали більш доцільний варіант.

5 НАЛАШТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ MACH3

5.1 Налаштування програмного забезпечення

Mach3 – комплекс програмного забезпечення, що використовується для ефективного керування верстатом з ЧПК, підвищення його продуктивності без втрати точності обробки заготовок. Програма дуже гнучка та універсальна, дозволяє керувати такими видами обробного обладнання для деревини, металу чи інших матеріалів, як токарні, фрезерні, лазерні, ріжучі та ін.

Впровадження на підприємстві комплексу Mach3 для програмування роботи металорізального або деревообробного обладнання із системою числового програмного керування дає такі переваги:

- висока надійність та ефективність, що підтверджуються багаторічною успішною експлуатацією на виробництвах;
- швидке освоєння програмування, що скорочує термін застосування ПЗ;
- повна універсальність, що дозволяє використовувати Mach3 на всіх типах устаткування;
- максимальна гнучкість та великий перелік інструментів, додаткових можливостей для врахування особливостей конкретного обладнання.

Використання Mach3, як показує практика, сприяє збільшенню продуктивності роботи, підвищенню рівня завантаження металорізального обладнання та зниженню кількості браку [33].

При налаштуванні Mach3 в першу чергу встановлюються конфігурації вісей, а саме X, Y, Z та вихід шпинделю (рис. 5.1).

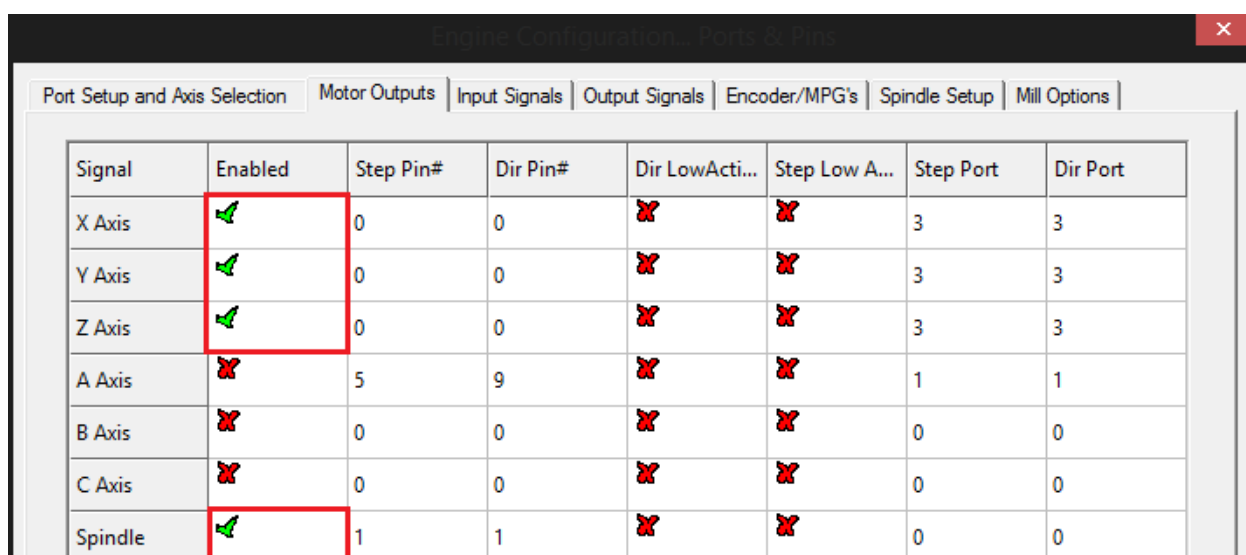


Рисунок 5.1 – Конфігурація вісей X, Y, Z та шпинделю

Наступним кроком проводиться налаштування двигуна. Розраховується значення Steps per для верстата (рис. 5.2).

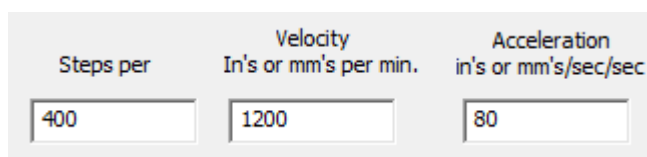


Рисунок 5.2 – Вікно для встановлення значення Steps per

Steps per – задає кількість імпульсів STEP, які потрібно сформувати для переміщення інструменту на 1 мм. Цей параметр залежить не тільки від механіки, а й від виставленого на драйвері режиму розподілу кроку.

Velocity – задає гранично допустиму швидкість переміщення по вісі, виражену в мм/хв.

Acceleration – задає максимальне прискорення по вісі мм/с².

На верстаті встановлена ШВП з кроком 4 мм / об, кроковий двигун 200 кроків / об, а драйвер налаштований на мікрокрок 1/8. Steps per розраховуємо за виразом (5.1)

$$\text{Steps per} = (\text{крок} / \text{об КД} \cdot \text{мікрокрок ДКД}) / \text{крок ШВП}, \quad (5.1)$$

$$\text{Steps per} = (200 \cdot 8) / 4 = 400 \text{ кроків / мм.}$$

Таким чином один крок КД переміщує ріжучий інструмент на 0,025 мм.

Опираючись на характеристики КД, налаштувань драйверів та підсумкових розрахунків необхідно також приділяти увагу графіку в розділі Motor tuning. Цей графік наглядно показує розгін та гальмування КД, якщо він буде вертикальним – є вірогідність, що КД будуть працювати не коректно, так як момент утримання не справлятиметься з таким швидким розгінном та гальмуванням, що призведе до пропуску кроків (рис. 5.3).

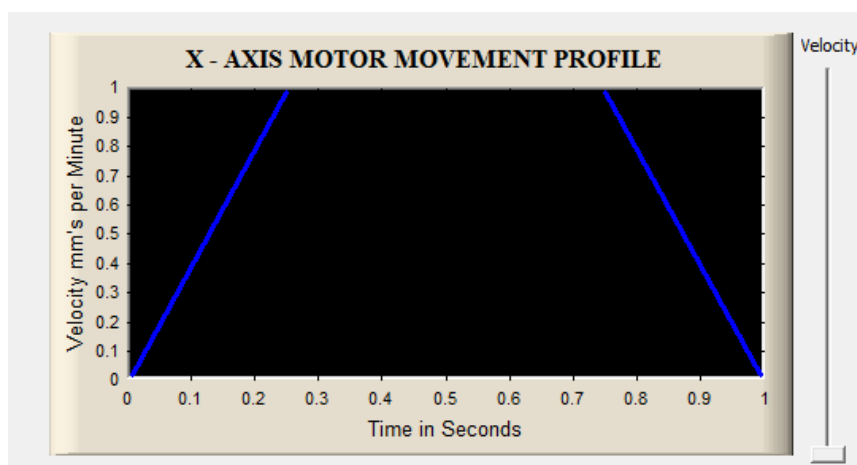


Рисунок 5.3 – Графік розгину та гальмування КД

Надалі для того, щоб уникнути механічних пошкоджень за допомогою індуктивних датчиків, що розміщені на станині верстата, ми маємо можливість визначати точку Home. Точка Home за координато. X знаходиться в самому лівому положенні, точка Home координати Y знаходиться в самому задньому положенні столу, а точка Home координати Z знаходиться в найвищому положенні (рис. 5.4). Протилежні сторони координати ми обмежуємо програмно в Mach3.

Entries are in setup units.

Axis	Reversed	Soft Max	Soft Min	Slow Zone	Home Off.	Home N...	Auto Zero	Speed %
X		368.00	-1.00	1.00	0.0000			50
Y		355.00	-1.00	1.00	0.0000			50
Z		1.00	-99.90	1.00	0.0000			50
A		100.00	-100.00	1.00	0.0000			20
B		100.00	-100.00	1.00	0.0000			20
C		100.00	-100.00	1.00	0.0000			20

G28 home location coordinates

X	0	A	0
Y	0	B	0
Z	0	C	0

OK

Рисунок 5.4 – Обмеження робочого поля

Наступним етапом є ініціалізація кінцевих вимикачів X Home, Y Home та Z Home (рис. 5.5).

Port Setup and Axis Selection | Motor Outputs | Input Signals | Output Signals | Encoder/MPG's | Spindle Setup | Mill Options

Signal	Enabled	Port #	Pin Number	Active Low	Emulated	HotKey
X ++		3	2			0
X --		3	2			0
X Home		3	3			0
Y ++		3	2			0
Y --		3	2			0
Y Home		3	3			0
Z ++		3	2			0
Z --		3	2			0
Z Home		3	3			0

Рисунок 5.5 – Ініціалізація кінцевих вимикачів

5.2 Розрахунок матеріальних витрат

Комплектуючі, використані під час побудови трьохкоординатного портального фрезерного верстата ЧПК з рухомим столом, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Перелік комплектуючих

Назва	Кількість, шт	Ціна шт.,грн	Ціна заг.,грн
Крокові двигуни та драйвери крокових двигунів			
NEMA23 57BYGH276-3004A-8 (57HS13)	3	619	1858
DM556	3	912	2736
Плата керування			
Mach3 STB4100	1	1180	1180
Блоки живлення			
S-500-36	1	1110	1110
S-25-12	1	277	277
Частотний перетворювач			
(VFD) HY01D523B	1	5131	5131
Шпиндель			
GDZ-65-800A 65X195	1	4908	4908
Персональний комп'ютер			
Win7 x 64	1	1800	1800
Роздріб			
Штекери 4 піна	4	40	160
Екранований кабель для шпинделя, 1,5 м	1	300	300
Кнопка Вкл/Викл	1	70	70
Кабельканал 1 м	1	100	100
Кнопка Е-Стоп	1	130	130
Вилка	1	30	30
Кабель живлення 3 жили, 1 м перетином 1 мм	1	20	20

Продовження таблиці 5.1

Назва	Кількість, шт	Ціна шт.,грн	Ціна заг.,грн
Опора FK10 з гайкою	3	344	1032
Опора FF10 зі стопорним кільцем	3	203	609
Стопорна гайка RN10	1	31	31
Лінійний підшипник 16 мм	4	92	368
Хомут шпинделя	1	650	650
Плита вісі Z	1	850	850
Алюмінієвий лист 15 мм, 590 мм x 80 мм x 16мм	1	1200	1200
Алюмінієвий лист 16 мм, 16 мм x 720 мм x 300 мм	1	2770	2770
Алюмінієвий лист для столу 18 мм x 400 мм x 420 мм	1	3524	3524
Лінійний підшипник 16 мм	8	70	560
Кулачкова муфта	3	169	507
Гвинт М5, 70 мм	12	15,5	186
Гвинт М8, 40 мм	108	9,5	1026
Гвинт М6, 15 мм	4	4	16
Гвинт М5, 10 мм – 30 мм	242	5	1210
Гвинт М4, 16 мм	36	3,4	122,4
Гвинт М3, 18 мм	12	2,2	26,4
Гвинт М6, 16 мм	21	4,2	88,2
Шайба М3	12	0,09	1,08
Шайба М4	36	0,16	5,76
Шайба М5	254	0,2	50,8
Шайба М6	25	0,4	10
Шайба М8	108	0,8	86,4

Продовження таблиці 5.1

Назва	Кількість, шт	Ціна шт.,грн	Ціна заг.,грн
Гровер М3	12	0,1	1,2
Гровер М4	36	0,12	4,32
Гровер М5	254	0,21	53,34
Гровер М6	25	0,36	9
Гровер М8	108	0,47	50,6
Разом			47 590

Додаткові роботи, які були проведені для збірки верстата представлені у таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Додаткові роботи

Вид роботи	Вартість роботи, грн
Фрезерування профілю 30 мм х 150 мм для вісі Z	350
Фрезерування стійок порталу	1050
Розкрій стійок порталу + профіль	350
Розкрій проставок під вісі X та Y	415
Фрезерування столу	800
Ребра жорсткості матеріал + робота	800
Кріплення для двигунів матеріал + робота	1050
Шайби в опори ШВП	50
Доставка та комісія	2182
Разом	7047

Загальна собівартість трьохкоординатного портального фрезерного верстата з ЧПК складає 54 637 грн.

5.3 Розрахунок освітлення у приміщенні

Розміри приміщення, в якому встановлюється верстат:

$$A = 7,5 \text{ м}, B = 6,5 \text{ м}, H = 5,8 \text{ м}.$$

Для освітлення приміщення застосовуємо люмінесцентні лампи ЛДЦ-40, які встановлюються в світильники типу ЛВО013. Він розрахований на установку 4-х ламп.

В першу чергу визначається кількість рядів світильників, які будуть встановлюватись. Кількість рядів приборів для освітлення у приміщенні N_p визначається виразом (5.2)

$$N_p = B / (H - h_p) \cdot [L / h] = 6,1 / 1,88 = 3 \text{ шт}, \quad (5.2)$$

де B – ширина приміщення, м;

H – висота приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні = 0,8 м;

$[L / h]$ – числове значення коефіцієнта світильника 0,4.

Далі визначається, яка максимально припустима відстань між рядами світильників $L_{\max}$, за виразом (5.3)

$$L_{\max} = B / N_p = 6,5 / 3 = 2,1 \text{ м}, \quad (5.3)$$

де B – ширина приміщення, м;

N_p – кількість рядів приборів освітлення у приміщенні, шт.

Висота на якій підвішуються світильники над робочою поверхнею h , визначається виразом (5.4)

$$h = L_{\max} / [L / h] = 2 / 0,4 = 5 \text{ м}, \quad (5.4)$$

де $L_{\max}$ – максимально припустима відстань між рядами світильників, м;

$[L / h]$ – числове значення коефіцієнта світильника 0,4.

Висота звисання світильника від стелі h_3 за формулою (5.4)

$$h_3 = H - h_p - h = 5,8 - 0,8 - 0 = 5 \text{ м}, \quad (5.5)$$

де H – висота приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні, м;

h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні $N_{\text{св}}$ за виразом (5.6)

$$N_{\text{св}} = A \cdot B / L_{\max}^2 = 48,7 / 4 = 12 \text{ шт}, \quad (5.6)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

$L_{\max}$ – максимально припустима відстань між рядами світильників, м.

Визначили кількість рядів світильників у приміщенні N_p за виразом (5.7)

$$N_p = B / L_{\max} = 6,5 / 2 = 3. \quad (5.7)$$

Розрахували кількість ламп у приміщенні $N_{\text{л}}$ за виразом (5.8)

$$N_{\text{л}} = N_{\text{св}} \cdot n = 48 \text{ шт}, \quad (5.8)$$

де n – кількість ламп у світильнику

$N_{\text{св}}$ – умовна загальна кількість світильників у приміщенні.

Визначили фактичну кількість світильників. Розрахували електричне освітлення методом коефіцієнта використання.

Кількість світильників ЛВО01 беремо $n = 12$ од.

Відстань між центрами світильників в ряду визначаємо за виразом (5.9)

$$L_A = A / (N_{св} / N_p) = 6,5 / 3,25 = 2 \text{ м.} \quad (5.9)$$

Розраховуємо відстань від стін за виразом (5.10)

$$l_A = L_A / 2 = 1 \text{ м.} \quad (5.10)$$

Розташування світильників у приміщенні показано на рисунку 5.6.

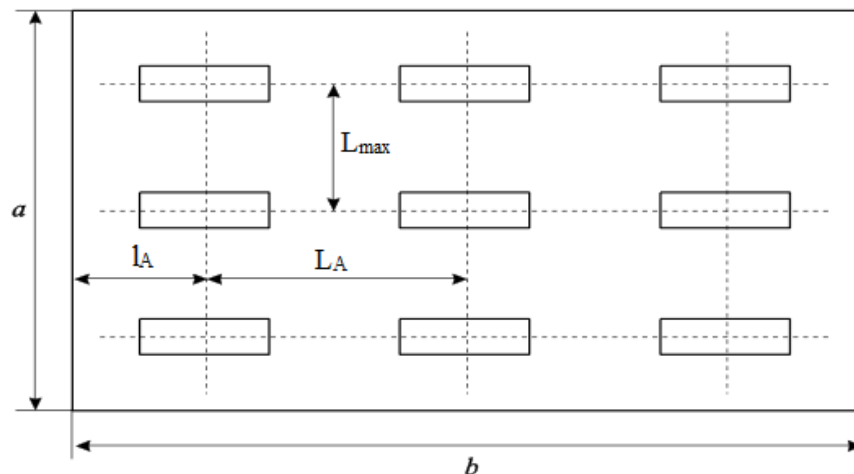


Рисунок 5.6 – Схема розташування світильників у приміщенні

Визначимо значення індексу приміщення i , що характеризує співвідношення розмірів освітлювального приміщення і висоти розміщення світильників за виразом (5.11)

$$i = (A \cdot B) / h \cdot (A+B) = 48,75 / 81,2 = 0,6, \quad (5.11)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

Визначимо коефіцієнти відображення стіни і стелі і та коефіцієнти відбиття від робочої поверхні від її стану. Для приміщення в якому встановлюється вимірювальна система можна прийняти:

$$PC = 50\%, RP = 70\%, PP = 30\%.$$

З урахуванням отриманих значень, η – коефіцієнт використання світлового потоку: $\eta = 0,43$.

Визначимо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному приміщенні Φ_{Σ} за виразом (5.12)

$$\Phi_{\Sigma} = E_H \cdot A \cdot B \cdot k_z \cdot z / \eta = 715 \cdot 7,5 \cdot 6,5 \cdot 1,6 = 55\,770 \text{ лк}, \quad (5.12)$$

де E_H – рівень нормованого загального освітлення = 715 лк;

A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

k_z – коефіцієнт запасу = 1,6;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості = 1,1;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Розрахували світловий потік умовного джерела світла $\Phi_{\text{л}}$ за виразом (5.13)

$$\Phi_{\text{л}} = \Phi_{\Sigma} / N_{\text{л}} = 55\,770 / 4 = 13\,942 \text{ лм}, \quad (5.13)$$

де Φ_{Σ} – сумарний світловий потік освітлювальної установки, лм;

$N_{\text{л}}$ – загальна кількість ламп у світильнику.

З наведених вище розрахунків маємо можливість зробити висновок, що загальна освітленість створювана люмінесцентними лампами ЛДЦ-40 в

виробничому приміщенні є достатньою для роботи обслуговуючого обладнання [34].

5.4 Висновки до 5 розділу

У розділі налаштування програмного забезпечення Mach3 було розглянуто переваги використання Mach3 для керування ЧПК верстатом та проведені основні налаштування перед початком роботи. Такі як: конфігурація вісей та шпинделю, обмеження робочого поля та ініціалізація кінцевих вимикачів. також була складена таблиця в якій вказано усі комплектуючі, матеріали та додаткові роботи і підрахована загальна сума коштів, які були витрачені на виготовлення ЧПК верстата, а саме 54 637 грн. У підрозділі охорони праці розраховали необхідну кількість освітлення для робочого приміщення.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було розроблено та зібрано трьохкоординатний портальний фрезерний верстат з ЧПК.

У розділі аналіз області дослідження виявили актуальність, переваги та недоліки використання ЧПК верстатів. Розглянули принцип роботи ЧПК та сформулювали технічне завдання для трьохкоординатного портального верстата з робочою областю 370 мм × 350 мм × 100 мм.

У розділі розробка конструкції портального фрезерного верстата на першому етапі була обрана кінематика, обґрунтовано складові конструкції, змодельована та зібрана механічна частина. На другому етапі була розроблена та зібрана електронна частини фрезерного верстата. Описано вибір комплектуючих, а саме: крокові двигуни NEMA23 57BYGH276-3004A-8 (57HS13), цифрові драйвери крокових двигунів DM556, плата керування Mach3 USB ST-USB STB4100, шпиндель з водяним охолодженням GDZ-65-800A 65X195, індуктивні кінцеві вимикачі HURON LJ12A3-4-Z/AX NPN NC, векторний частотний перетворювач (VFD) HY01D523B та імпульсні блоки живлення для драйверів крокових двигунів та датчиків S-500-36, а для плати керування S-25-12. На заключному етапі було описано основні моменти підключення та налаштування електроніки.

У розділі аналіз параметрів, які впливають на точність фрезерної обробки розглянули, що таке точність фрезерного верстата та проаналізували такі параметри як: биття інструменту, жорсткість верстата, люфт ШВП, механічні комплектуючі, команди G-Code G61 ТА G64, а також електронні компоненти.

У розділі симуляція механічних впливів на фрезерний верстат було проведено механічні навантаження на стійки порталу у програмі Fusion360. Розглянули декілька можливих конструкцій стійки порталу та визначили їх

відхилення при навантаженні в 20 кг. У першому варіанті стійки отримали відхилення в 1,5 мм, у другому варіанті отримали відхилення на 0,403 мм менше, але конструкція потребувала доопрацювання. Фінальний варіант має різницю відхилення при навантаженні від початкової форми деталі 0,5991, що приблизно дорівнює 0,6 мм. Змоделювали два варіанти ребра жорсткості для стійок порталу та після симуляції обрали більш доцільний варіант.

У розділі налаштування програмного забезпечення Mach3 було розглянуто переваги використання Mach3 для керування ЧПК верстатом та проведені основні налаштування перед початком роботи. Такі як: конфігурація вісей та шпинделю, обмеження робочого поля та ініціалізація кінцевих вимикачів. також була складена таблиця в якій вказано усі комплектуючі, матеріали та додаткові роботи і підрахована загальна сума коштів, які були витрачені на виготовлення ЧПК верстата, а саме 54 637 грн. У підрозділі охорони праці розраховали необхідну кількість освітлення для робочого приміщення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Волошин Д. Є. Підвищення точності фрезерного верстата з чпк на етапі розробки / Д. Є. Волошин, науковий керівник – проф. Євсєєв В. В. // Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті: матеріали 25-го Міжнар. молодіжн. форуму, 20-22 квітня 2021 р. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – Т. 2. – С. 53–54.
2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.
3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.
4. Переваги та недоліки верстатів з ЧПК [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://um.co.ua/11/11-8/11-88721.html>/дата використання [07.09.2022].
5. Принцип роботи верстата з ЧПК [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://fractory.com/what-is-cnc-machining/> дата використання [10.09.2022].
6. Системи координат верстатів з ЧПК [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uadoc.zavantag.com/text/1019/index-1.html?page=2/> дата використання [12.09.2022].
7. Кінематичні типи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://um.co.ua/2/2-15/2-153485.html>/ дата використання [20.09.2022].

8. Брадул А.А. Аналіз кінематик фрезерних верстатів з ЧПК / А. А. Брадул // Діджиталізація науки як виклик сьогодення: матеріали II Міжнародної студентської наукової конференції (Т.2), м.Одеса, 17 грудня, 2021 рік / ГО «Молодіжна наукова ліга». — Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2021. — с. 21-24

9. Направляючі для верстата [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://unitech.com.ua/blog/kak-vibrat-napravljajushhie-dlja-chpu-stanka/> дата використання [25.09.2022].

10. Зубчасто-рейковий механізм [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://mirstankov.com/uk/zubchasto-rejkovij-mexanizm-abo-kulko-gvintovi-para/> дата використання [28.09.2022].

11. Передача гвинт-гайка ковзання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/156992/mod_resource/content/1/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F_5.%D0%97%D0%9F%2B%D0%A7%D0%9F%2B%D0%A0%D0%9F%2B%D0%93%D0%9F.pdf/ дата використання [28.09.2022].

12. Передача гвинт-гайка кочення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://wikipage.com.ua/1x8e96.html/> дата використання [28.09.2022].

13. Принцип роботи крокового двигуна [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://dobri-porady.pp.ua/9111-krokoviy-dvigun-princip-roboti-shema-opis-harakteristiki.html> / дата використання [02.10.2022].

14. Кроковий двигун NEMA23 57BYGH276-3004A-8 (57HS13) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uamper.com/%D0%B4%D0%B2%D1%83%D1%85%D1%84%D0%B0%D0%B7%D0%BD%D1%8B%D0%B9%D0%B1%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9%D1%88%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C-57BYGH262-3004A-08-01/> / дата використання [04.10.2022].

15. Драйвер крокового двигуна [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.robostore.com.ua/ua/detali-i-komplektuyushie-dlya-robototekhniki/drajvera-motorov-i-shagovyh-dvigateljev/> дата використання [04.10.2022].

16. Драйвер DM556 двигуна [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cnc.prom.ua/ua/p865450706-tsifrovoj-drajver-dm556.html/> дата використання [06.10.2022].

17. Плата керування Mach3 USB ST-USB STB4100 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cnc.prom.ua/ua/p530947827-chpu-kontroller-mach3.html/> дата використання [08.10.2022].

18. Системи охолодження [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.spindles.com.ua/sistemy-okhlazhdeniya/> дата використання [10.10.2022].

19. Шпиндель GDZ-65-800A 65X195 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cnc.prom.ua/ua/p802436097-shpindel-dlya-chpu.html/> дата використання [10.10.2022].

20. Кінцеві вимикачі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tukles.biz.ua/kincevij-vimikach-vidi-zastosuvannja-konstrukcija/> дата використання [15.10.2022].

21. Частотні перетворювачі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://prk.com.ua/ua/a473092-preobrazovateli-chastoty-vidy.html/> дата використання [18.10.2022].

22. Інвертор (VFD) HY01D523B [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cnc.prom.ua/ua/p5079997-invertor-vfd-hy01d523b.html/> дата використання [18.10.2022].

23. Блок живлення S-500-36 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cnc.prom.ua/ua/p25422762-impulsnyj-blok-pitaniya.html/> дата використання [22.10.2022].

24. Блок живлення S-25-12 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cnc.prom.ua/ua/p535040186-impulsnyj-blok-pitaniya.html/> дата використання [22.10.2022].

25. Мікрокрок [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.motioncontroltips.com/faq-what-is-microstepping/> дата використання [25.10.2022].

26. Налаштування мікрокроку DM556 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cnc.prom.ua/ua/p692678124-tsifrovoj-drajver-dm556.html/> дата використання [27.10.2022].

27. Точність ЧПК верстата DM556 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://yijinsolution.com/what-is-the-accuracy-of-a-cnc-machine/> дата використання [02.11.2022].

28. Биття інструменту [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://yijinsolution.com/what-is-the-accuracy-of-a-cnc-machine/> дата використання [04.11.2022].

29. Жорсткість верстата [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cnclathing.com/guide/what-causes-poor-rigidity-of-machining-center-how-to-fix/> дата використання [08.11.2022].

30. Люфт ШВП [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.machinedesign.com/motors-drives/article/21832485/ballscrew-basics-debunking-the-myths/> дата використання [10.11.2022].

31. Напрямні для верстатів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://unitech.com.ua/ua/blog/kak-vibrat-napravljajushhie-dlja-chpu-stanka/> дата використання [11.11.2022].

32. G-Code [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://mkr-novo2.ru/uk/firmware/g-b-m-kody-opisanie-g-i-m-kodov-dlya-programmirovaniya-chpu-cnc-stankov-razber-m.html/> дата використання [13.11.2022].

33. Mach3 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ntma.com.ua/mach3.html/> дата використання [25.11.2022].

34. Освітлення в приміщенні: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://zp.edu.ua/sites/default/files/konf/zavdannya_na_kr_oop_praktyka.pdf дата використання [29.11.2022].