

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «Автоматизована система керування фрезерним верстатом з ЧПУ FANUC»

Здобувача групи СУ-91

Проценка Олексія Кириловича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Олексій ПРОЦЕНКО

Керівник асистент, к.т.н., доцент Олександр ЖУРАВЛЬОВ

(підпис)

Ном.поз	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	№ екз.	Примітки
			<u>Документація загальна</u>			
			<u>Застосована</u>			
1			Завдання кафедри	2		
			<u>Новорозроблена</u>			
2		ТЗ	Технічне завдання	2		
3			Анотація	1		
4	A4	СУ-91 6.151.16 ПЗ	Пояснювальна записка	56		
			<u>Документація конструкторська</u>			
			<u>Новорозроблена</u>			
5	C2	СУ-91 6.151.16 C2	Автоматизована система керування фрезерним верстатом з ЧПУ FANUC Схема інформаційно – матеріальних потоків	1		
6	A2	СУ-91 6.151.16 A2.1	Автоматизована система керування фрезерним верстатом з ЧПУ FANUC Функціональна схема автоматизації	1		
7	A2	СУ-91 6.151.16 A2.2	Підсистема підтримки заданих параметрів верстата з ЧПУ FANUC Функціональна схема автоматизації	1		

					СУ-91.6.151.16 ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Проценко О. К.			Автоматизована система керування фрезерним верстатом з ЧПУ FANUC Відомість проекту	Лім.	Арк.	Листів
Перевір.		Журавльов О.Ю.				Т		
Реценз.						СумДУ, СУ-91		
Н. Контр.								
Затвердив.		Леонтьєв П.В.						

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Леонт'єв П.В.

_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту
Проценку Олексію Кириловичу

1. Тема проекту: Автоматизована система керування фрезерним верстатом з ЧПУ FANUC. Затверджено наказом ректора університету. №0236-VI від "14" березня 2023р.
2. Термін здавання студентом закінченого проекту "09" червня 2023 р.
3. Вихідні дані до проекту: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація електронні ресурси.
4. Зміст пояснювальної записки: Опис технологічного процесу фрезерного верстату, вибір технічних засобів автоматизації, розробка робочої програми для верстата, охорона праці.
5. Перелік графічних матеріалів: структурна схема технологічного процесу, структурна схема верстата, структурна схема робочого механізму, схема ІМП, схема ФСА, схема підтримки заданих параметрів верстата.
6. Календарний план проектування

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Розробка технічного завдання.	15.04.23 – 18.04.23
2	Розробка загальної частини, що вміщає в собі опис систем ЧПУ та опис технічного процесу роботи системи з ЧПУ.	19.04.23 – 26.04.23
3	Розробка схем автоматизації технологічного процесу.	27.04.23 – 10.05.23
4	Підбір технічних засобів автоматизації.	11.05.23 – 19.05.23
5	Розробка підсистеми підтримки робочих параметрів верстату та алгоритму її роботи, написання розділу з охорони праці.	20.05.23 – 31.05.23
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації.	01.06.23 – 09.06.23

7. Дата видачі завдання "15" березня 2023р.

Керівник проекту:

асистент, к.т.н., доцент

Олександр ЖУРАВЛЬОВ

Здобувач:

студент групи СУ- 91

Олексій ПРОЦЕНКО

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Для проекту : « Автоматизована система керування фрезерним верстатом з ЧПУ
FANUC»

Розробник:

студент групи СУ- 91

Олексій ПРОЦЕНКО

Погоджено:

асистент, к.т.н., доцент

Олександр ЖУРАВЛЬОВ

1. *Назва і галузь застосування:* Автоматизована система керування фрезерним верстатом з ЧПУ FANUC. Цей фрезерний верстат можна віднести до багатьох галузей застосування, адже його можна використовувати на підприємствах деревообробної, металообробної промисловості, а також для обробки пластику, акрилу та інших матеріалів.

2. *Підстави для проектування:* Наказ ректора Сумського державного університету №0236-VI від “14” березня 2023р.

3. *Мета і призначення проекту:* Розробити фрезерний верстат з ЧПУ для малих підприємств, розробити функціональні схеми автоматизації; підвищити рівень енергоефективності за допомогою технічних засобів автоматизації, розробити підсистему підтримки робочих параметрів верстату та алгоритму її функціонування.

4. *Джерела розроблення:*

4.1. Малінін Є.Є., кер. роботи доц. КІТАМ Разумов-Фризюк Є.А КТ 2. Розробка конструкції фрезерного верстату з програмним управлінням. ПТ 2. Розробка механіки фрезерного верстата: дипломна робота, пояснювальна записка. Харків: ХНУРЕ, Кафедра Комп'ютерно-інтегровані технології, автоматизації та мехатроніка., 2019. 77 с.

4.2. Ловыгин А.А., Теверовский Л.Д. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система/ДМК Пресс, 2018. 280 с.

4.3. Z. Mu, G. Zhang, Y. Ran, S. Zhang, and J. Li, “A Reliability Statistical Evaluation Method of CNC Machine Tools Considering the Mission and Load Profile,” IEEE. DOI: 10.1109/access.2019.2935622.

5. *Режим роботи об'єкта:* Робота нашого об'єкта буде контролювана за допомогою ЧПУ FANUC на базі контролера DDCS V3.1, який буде забезпечувати наступні можливості в роботі з фрезерним верстатом:

- 5.1. Автоматичний запуск верстату (при натисненні кнопки ПУСК);
- 5.2. Перевірку справності датчиків та виконавчих механізмів;
- 5.3. Технологічну зупинку роботи верстату (при натисненні кнопки СТОП);
- 5.4. Автоматичне керування напрямком руху шпинделя по трьом осям;
- 5.5. Автоматичне регулювання швидкістю роботи шпинделя;

6. *Умови експлуатації СК:* Живлення – 220 В змінного струму або 24 В постійного струму, розширений діапазон робочих температур від -20 до +70 С. Ступінь захисту складових частин обладнання автоматизації – не нижче IP 20.

7. *Технічні вимоги:*

- 1) взаємодія з агресивними середовищами: агресивні гази, емульсія, пилю та ін.;
- 2) сейсмічна активність до 5 балів;
- 3) довколишня температура від – 40 до +50 ° С;
- 4) атмосферний тиск 80 – 112 кПа.

8. Стадії та етапи проектування:

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Розробка технічного завдання.	15.04.23 – 18.04.23
2	Розробка загальної частини, що вміщає в собі опис систем ЧПУ та опис технічного процесу роботи системи з ЧПУ.	19.04.23 – 26.04.23
3	Розробка схем автоматизації технологічного процесу.	27.04.23 – 10.05.23
4	Підбір технічних засобів автоматизації.	11.05.23 – 19.05.23
5	Розробка підсистеми підтримки робочих параметрів верстату та алгоритму її роботи, написання розділу з охорони праці.	20.05.23 – 31.05.23
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації.	01.06.23 – 09.06.23

АНОТАЦІЯ

Проценко Олексій Кирилович. Автоматизована система керування фрезерним верстатом з ЧПУ FANUC. Дипломний проект. Сумський державний університет. Суми, 2023 р.

Дипломний проект містить 56 листів пояснювальної записки з урахуванням 33 рисунків, 12 таблиць та списку джерел який складається з 20 пунктів.

Даний дипломний проект присвячений розробці автоматизованої системи керування фрезерним верстатом з ЧПУ FANUC для малих та середніх підприємств. Розроблено технічне завдання, розглянуто технологічний процес, зображено структурні схеми верстату з ЧПУ та його елементів, побудовані схеми матеріальних та інформаційних потоків, функціональна схема автоматизації, а також розроблена підсистема підтримки робочих параметрів верстату та алгоритми її роботи. Обрано необхідні технічні засоби автоматизації для самого верстату та для підсистеми підтримки робочих параметрів верстату. Також описано приклад програми з інструкціями для ЧПУ FANUC, обраної деталі та засоби безпеки в розділі охорона праці. В роботі описані всі необхідні розділи, тому в результаті представлений комплект конструкторської документації, що задовольняє всім поставленим цілям.

Ключові слова: ЧПУ, мікроконтролер, давач, кроковий двигун, FANUC.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему:

«Автоматизована система керування фрезерним верстатом з ЧПУ FANUC»

Керівник проекту:

асистент, к.т.н., доцент

Олександр ЖУРАВЛЬОВ

Здобувач:

Студент групи СУ-91

Олексій ПРОЦЕНКО

Суми – 2023

ЗМІСТ

Вступ	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЕРСТАТІВ ЧПУ	12
1.1 Тренд використання верстатів ЧПУ	12
1.2 Історія верстатів з ЧПУ	13
1.3 Переваги та недоліки верстатів з ЧПУ	14
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФРЕЗЕРНИМ ВЕРСТАТОМ З ЧПУ FANUC...16	
2.1 Технологічний процес фрезерного верстату з ЧПУ.....	16
2.2 Структурна схема фрезерного верстату з ЧПУ	17
2.3 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків	19
2.4 Функціональна схема автоматизації.....	22
РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПУ FANUC	27
3.1 Контролер управління	27
3.2 Крокові двигуни переміщення	29
3.3 Драйвери крокових двигунів.....	33
3.4 Блок живлення.....	34
3.5 Кінцеві затвори переміщення.....	35
3.6 Шпиндель для фрези.....	36
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЗАДАНИХ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ВЕРСТАТА З ЧПУ FANUC	38
4.1 Контур контролю температури драйверів крокових двигунів.....	39
4.2 Контур контролю температури крокових двигунів	41
4.3 Контур контролю температури охолоджуючої рідини шпинделя	42
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДСИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЗАДАНИХ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ВЕРСТАТА З ЧПУ FANUC	45
5.1 Давач температури Eliwell SN 691150	45
5.2 Давач рівня охолоджуючої рідини Kronos LS-100.....	46
5.3 Осьовий вентилятор GAMEMAX GMX-WFBK Black	47
5.4 Насос мембранний Good Pumps 72Вт	48
5.5 Твердотільне реле SSR-100VA	49
5.6 Мікроконтролер STM32	50
РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПУ FANUC	52
ОХОРОНА ПРАЦІ.....	57
ВИСНОВОК.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60

					СУ-91 6.151.16.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Перевір.		Проценко О.К.			Автоматизована система керування фрезерним верстатом з ЧПУ FANUC Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркуців
		Журавльов О.Ю						
Реценз.						СумДУ, СУ-91		
Н. Контр.								
Затверд.		Леонтьєв П.В.						

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЧПУ – Числове програмне управління
ФСА – функціональна схема автоматизації
АСУ – Автоматична система управління
АСКТП – автоматизована система керування технологічним процесом
СА — система автоматизації
СУ — система управління
УА — пристрій автоматики
ПЛК – програмований логічний контролер
ТП – Технологічний процес
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач
СРУ—центральний модуль
СР—процесори зв'язку
ПО – панель оператора
МК – мікроконтролер
ПЗ – програмне забезпечення
ПК – плата керування
КД – кроковий двигун
ГП – гвинтова передача

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Використання фрезерних верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ) має значну актуальність у сучасних виробничих процесах. Числове програмне управління - це автоматизація верстатів за допомогою використання запрограмованих інструкцій. Ось кілька ключових причин, чому фрезерні верстати з ЧПУ є важливими:

Точність і акуратність. Фрезерні верстати з ЧПУ забезпечують високу точність і акуратність при обробці. Використання програмного забезпечення для автоматизованого проектування (САПР) дозволяє створювати точні проекти деталей, які можуть бути безпосередньо переведені в машинні інструкції. Це виключає людський фактор і забезпечує стабільні та точні результати.

Підвищення продуктивності. Фрезерні верстати з ЧПУ можуть значно підвищити продуктивність порівняно з ручними фрезерними верстатами. Вони можуть працювати безперервно, 24/7, з мінімальним втручанням людини. Після налаштування програми верстат може виконувати повторювані завдання швидко та ефективно, що призводить до підвищення продуктивності.[1]

Складні операції обробки. Фрезерні верстати з ЧПУ здатні виконувати складні операції обробки, які було б важко або неможливо виконати вручну. Вони можуть виконувати складні траєкторії руху інструменту, такі як 3D-контури, підрізи та візерунки з високою точністю. Це відкриває можливості для виготовлення складних та індивідуальних деталей.

Гнучкість і універсальність. На фрезерних верстатах з ЧПУ відносно легко змінювати параметри обробки або перемикатися між різними конструкціями деталей. Така гнучкість дозволяє виробникам адаптуватися до мінливих виробничих потреб, реагувати на запити клієнтів і скорочувати час простою між виробничими циклами.

Економія витрат. Хоча початкові інвестиції в фрезерні верстати з ЧПУ можуть бути вищими порівняно з ручними верстатами, в довгостроковій перспективі вони можуть призвести до економії витрат. Точність і ефективність верстатів з ЧПУ зменшують відходи матеріалу і зводять до мінімуму повторну обробку. Крім того, витрати на робочу силу можуть бути знижені, оскільки для контролю процесу обробки потрібно менше операторів.

Інтеграція з системами CAD/CAM. Фрезерні верстати з ЧПУ можна легко інтегрувати з програмним забезпеченням для автоматизованого виробництва (CAM), що дозволяє ефективно програмувати і моделювати операції обробки. Програмне забезпечення CAM може оптимізувати траєкторії руху інструменту, моделювати процеси обробки та

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виявляти потенційні помилки або зіткнення ще до початку обробки, заощаджуючи час і знижуючи ризик дорогих помилок.

Збір та аналіз даних. Фрезерні верстати з ЧПУ і вдосконаленими системами керування можуть збирати дані про різні параметри обробки, такі як знос інструменту, сили різання і температури. Ці дані можна аналізувати для оптимізації процесів обробки, збільшення терміну служби інструменту та підвищення загальної продуктивності верстата.

FANUC є відомим виробником систем ЧПК (комп'ютерного числового програмного керування) і пропонує цілий ряд автоматизованих систем керування для фрезерних верстатів. Коли мова йде про фрезерні верстати з ЧПК FANUC, вони зазвичай використовують системи керування FANUC серій 0i-MD, 0i-MF, 30i або 31i. Ці системи керування надають розширені функції та можливості для автоматизації та керування фрезерними операціями. Фрезерні верстати з ЧПК FANUC використовують мову програмування G-коду, яка є галузевим стандартом для верстатів з ЧПК. Оператори або програмісти створюють програми обробки деталей за допомогою інструкцій G-коду, які визначають траєкторії руху інструмента, параметри різання, заміну інструмента та інші операції обробки. FANUC пропонує посібники з програмування та програмні інструменти для полегшення створення й редагування програм обробки.[5]

Фрезерні верстати з ЧПК FANUC пропонує можливість керування інструментами для ефективної роботи з декількома інструментами під час обробки. Система керування забезпечує вимірювання інструменту, компенсацію зміщення інструменту, моніторинг терміну служби інструменту та керування заміною інструменту. Це забезпечує точну і послідовну обробку, оптимізуючи при цьому використання інструменту.

Системи керування ЧПК FANUC часто містять функції моделювання та перевірки. Вони дають змогу оператору віртуально моделювати процес обробки, перевіряти траєкторії руху інструмента, виявляти зіткнення та перевіряти наявність помилок програмування перед початком фактичної обробки. Це допомагає мінімізувати помилки, скоротити час налагодження та запобігти помилкам, які можуть дорого коштувати.

Метою дипломного проекту було розробити модель верстата з ЧПУ, яка була б доступною за ціною, виготовлена з наявних матеріалів і оснащена надійними та довговічними комплектуючими. Перш за все, потрібно було розробити конструкцію верстата, після чого підготувати креслення всіх деталей та розкрій для розпилювання матеріалу. Далі вибиралися недорогі, але якісні комплектуючі, що забезпечували високу точність та стабільну роботу верстата.

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В якості програмного забезпечення для точного керування верстатом з ЧПУ було обрано FANUC та проаналізовано його актуальність та ефективність в розробленій моделі верстата.

Для забезпечення надійної роботи верстата, рекомендувалося розробити підсистему, для підтримування оптимальних робочих параметрів. Перша підсистема була необхідна для захисту основних робочих органів верстата від перегріву та зменшення часу, який оператор проводить біля верстата.

Головною метою проекту було створення простого, точного, надійного та доступного за бюджетом верстата з ЧПУ FANUC, та проаналізувати його переваги над іншими.

					<i>СУ-91 6.151.16.ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЕРСТАТІВ ЧПУ

1.1 Тренд використання верстатів ЧПУ

Тенденція останніх десятиліть використовувати верстати з числовим програмним керуванням призвела до того, що станом на сьогодні велика кількість підприємств та виробництв мають у себе такі агрегати.

І це не дивно, адже верстати з числовим програмним керуванням значно переважають по характеристикам універсальні верстати, а саме:

Верстати з ЧПУ достатньо автономні, що дозволяє їм щоденно виробляти продукцію високої якості. Це зумовлено тим, що один оператор має змогу обслуговувати декілька машин одразу, оскільки його задача обмежується установкою заготовки, запуском програми, налагодженням інструменту і на завершенні процесу – зняття готової деталі, що і створює досить високий рівень автоматизації виробництва.

Також перевагою є гнучкість процесу виробництва. В залежності від деталі замінюється лише програма, а попередні програми можуть використовуватись в будь який інший час необмеженою кількістю разів.

Якісною перевагою являє собою точність та кількість виготовлення деталей. Це дозволяє створювати продукт копії якого будуть налічувати тисячі одиниць з мінімальним відхиленням один від одного.

ЧПУ дозволяє створювати складні за формою деталі, що неможливо відтворити за допомогою звичайного обладнання.

Виготовлення деталей за допомогою програми допомагає досить точно визначити терміни обробки що дозволяє більш повно задіяти обладнання. Висока ціна верстатів з ЧПУ перекривається стабільною якістю продукції та об'ємами виробництва, що досить вигідно як для малих так і великих підприємств.

Впровадження верстатів з ЧПУ тісно пов'язане з більш широкою тенденцією автоматизації та Індустрії 4.0. Верстати з ЧПУ відіграють вирішальну роль в автоматизованих виробничих процесах, інтегруючись з іншими технологіями, такими як робототехніка, штучний інтелект і аналітика даних. Ця тенденція спрямована на оптимізацію продуктивності, підвищення ефективності та створення інтелектуальних і підключених виробничих систем.[2]

Інтеграція верстатів з ЧПУ з процесами адитивного виробництва, такими як 3D-друк, набирає обертів. Гібридні верстати, які поєднують можливості субтрактивного та адитивного виробництва, дозволяють зробити виробничі процеси більш універсальними та ефективними. Верстати з ЧПУ можна використовувати для постобробки, фінішної обробки

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та прецизійної обробки надрукованих на 3D-принтері деталей, що дозволяє покращити якість поверхні та точність розмірів.

Верстати з ЧПК інтегруються з передовими технологіями для розширення їх можливостей. Наприклад, використання систем машинного зору дозволяє автоматично вирівнювати та перевіряти деталі, скорочуючи час налагодження та покращуючи контроль якості. Крім того, інтеграція підключення до Інтернету речей (IoT) дає змогу здійснювати моніторинг у режимі реального часу, профілактичне обслуговування та дистанційне керування верстатами з ЧПК, підвищуючи загальну ефективність і продуктивність.

1.2 Історія верстатів з ЧПУ

Історія верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ) налічує кілька десятиліть і зазнала значного розвитку. Нижче наведено огляд ключових віх і подій в історії верстатів з ЧПУ:

Раннє числове програмне керування. Концепція числового програмного керування, яка передувала ЧПУ, з'явилася наприкінці 1940-х - на початку 1950-х років. Військово-повітряні сили США та Массачусетський технологічний інститут (MIT) відіграли значну роль у розробці ранніх систем числового програмного керування для механічної обробки. Ці системи використовували перфоровані паперові стрічки для керування рухом верстатів.

Розвиток ЧПУ. Термін "комп'ютерне числове програмне управління" з'явився наприкінці 1950-х років, коли почалася інтеграція комп'ютерів з системами числового програмного керування. У 1960-х роках були розроблені перші справжні верстати з ЧПК, які використовували комп'ютерне управління замість перфорованих паперових стрічок. Ці верстати використовувалися переважно в аерокосмічній промисловості для виконання складних завдань з обробки.

Досягнення в технології ЧПУ: Протягом 1960-х і 1970-х років технологія ЧПУ продовжувала розвиватися. Впровадження міні-комп'ютерів і мікропроцесорів уможливило створення більш потужних і компактних систем керування. Розвиток твердотільної електроніки та впровадження цифрових дисплеїв і пристроїв введення покращили користувацький інтерфейс і можливості програмування верстатів з ЧПУ.

Інтеграція CAD/CAM. У 1970-х і 1980-х роках інтеграція систем автоматизованого проектування (CAD) і автоматизованого виробництва (CAM) з верстатами з ЧПУ набрала обертів. Ця інтеграція дозволила безпосередньо перетворювати CAD-проекти в машинні інструкції, підвищуючи точність і ефективність виробничого процесу.[3]

Багатокоординатні верстати з ЧПК: У 1980-х і 1990-х роках з'явилися верстати з ЧПУ з декількома осями (окрім традиційних трьох осей X, Y і Z). Це дозволило обробляти більш

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складні та контурні форми, такі як криволінійні поверхні та підрізи, шляхом одночасного переміщення інструменту в декількох напрямках.

Високошвидкісна обробка: Наприкінці 1990-х та на початку 2000-х років можливості високошвидкісної обробки стали більш поширеними у верстатах з ЧПУ. Досягнення в технології шпинделів, інструментальному оснащенні та алгоритмах керування дозволили пришвидшити та підвищити ефективність процесів обробки, скоротити час циклу та підвищити продуктивність.

Автоматизація та Індустрія 4.0: В останні роки основна увага приділяється автоматизації та інтеграції верстатів з ЧПУ з іншими виробничими технологіями. Верстати з ЧПУ підключаються до робототехніки, пристроїв IoT (Інтернету речей) і систем аналізу даних, що забезпечує інтелектуальні та взаємопов'язані виробничі процеси відповідно до концепції Індустрії 4.0.

1.3 Переваги та недоліки верстатів з ЧПУ

Верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ) мають численні переваги і зробили революцію в обробній промисловості. Однак, як і будь-яка технологія, вони також мають певні недоліки. Давайте розглянемо переваги та недоліки верстатів з ЧПУ:

Переваги верстатів з ЧПУ:

- Підвищена точність. Верстати з ЧПУ пропонують виняткову точність і акуратність в операціях обробки. Вони можуть послідовно відтворювати складну геометрію з жорсткими допусками, забезпечуючи високу якість готової продукції.
- Підвищена ефективність і продуктивність. Верстати з ЧПУ здатні до безперервної та автоматизованої роботи, що зменшує потребу в ручному втручанні. Це призводить до підвищення продуктивності, скорочення тривалості циклу та збільшення обсягів виробництва.
- Універсальність і гнучкість. Верстати з ЧПУ можуть виконувати широкий спектр операцій обробки, включаючи фрезерування, точіння, свердління тощо. Вони можуть обробляти різні матеріали, такі як метали, пластмаси та композити, що робить їх універсальними для різних виробничих застосувань.
- Складна та витончена обробка. Верстати з ЧПУ можуть виконувати складні траєкторії руху інструменту та складні операції обробки, такі як 3D-конструювання, багатоосьове фрезерування та одночасна обробка. Це дає змогу виготовляти деталі з високою деталізацією та за індивідуальними замовленнями.

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- Послідовність і повторюваність. Верстати з ЧПУ можуть послідовно відтворювати один і той самий процес обробки багаторазово, забезпечуючи стабільну якість і зменшуючи варіабельність між деталями. Це особливо вигідно в умовах масового виробництва.
- Зменшення людських помилок. На верстатах з ЧПУ людські помилки зведені до мінімуму, оскільки процес обробки автоматизований і контролюється запрограмованими інструкціями. Це підвищує надійність і повторюваність операцій обробки.
- Економія часу та коштів. Верстати з ЧПУ можуть скоротити час налаштування та переналагодження порівняно з ручними верстатами. Після налаштування програми верстати з ЧПУ можуть ефективно виготовляти деталі, що призводить до економії часу та коштів для виробників.

Недоліки верстатів з ЧПУ:

- Початкові інвестиції та витрати на обслуговування. Верстати з ЧПК можуть вимагати значних початкових інвестицій. Крім того, витрати на технічне обслуговування та ремонт можуть бути вищими порівняно з ручними верстатами через складність систем управління та електронних компонентів.
- Вимоги до кваліфікації. Експлуатація та програмування верстатів з ЧПК вимагає спеціальних знань і підготовки. Кваліфіковані оператори та програмісти потрібні для оптимізації можливостей верстата та усунення будь-яких проблем, які можуть виникнути.
- Обмежена адаптивність. Верстати з ЧПУ призначені для виконання конкретних завдань і не завжди можуть бути легко адаптовані до нових або нестандартних вимог до обробки. Для зміни виробничих потреб може знадобитися значне перепрограмування та переобладнання.
- Залежність від електроживлення та програмного забезпечення. Верстати з ЧПУ залежать від стабільного електроживлення та належного функціонування керуючого програмного забезпечення. Перебої в електропостачанні або збої в програмному забезпеченні можуть перервати роботу і потенційно призвести до простою і втрати виробництва.
- Складність програмування. Програмування верстатів з ЧПУ може бути складним, особливо для складних операцій. Крива навчання програмуванню та оптимізації траєкторій руху інструменту може бути крутою, що вимагає досвіду роботи з програмним забезпеченням CAD/CAM та програмуванням на G-кодi.

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Відсутність людського судження. Хоча верстати з ЧПК вирізняються точністю та автоматизацією, їм бракує людського судження та креативності. Певні завдання, які вимагають ручного втручання, прийняття рішень або художньої витонченості, можуть краще підходити для процесів ручної обробки.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФРЕЗЕРНИМ ВЕРСТАТОМ З ЧПУ FANUC

2.1 Технологічний процес фрезерного верстату з ЧПУ

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арж.
						12
<i>Змін.</i>	<i>Арж.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Розглянемо структурну схему технологічного процесу фрезерного верстату з ЧПУ представлену на рис.2.1.

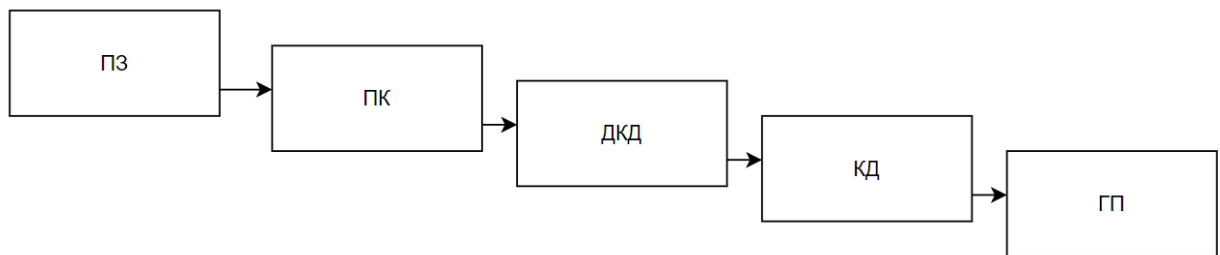


Рисунок 2.1 - Структурна схема технологічного процесу фрезерного верстату з ЧПУ

На першому етапі роботи фрезерного станка розробляється керуюча програма в обраному середовищі програмування, яка вміщає в себе основні інструкції для функціонування системи та завантажується ця програма в ПЗ, тобто обране програмне забезпечення. Далі на другому етапі після натискання кнопки «Start» інструкції у вигляді сигнали надходять до ПК, в нашому випадку плати керування, ці інструкції складаються з інформації про переміщення осей на певну відстань, це функція «Step», яка задає кількість кроків для переміщення, також передається інформація «Dir», яка включає напрямок обертання двигуна. На третьому етапі сигнали від плати керування передаються на ДКД, або драйвери крокових двигунів які є посередниками, а також підсилювачами сигналу, який далі відправляється до крокових двигунів. Кроковий двигун в свою чергу починає обертатися в потрібну сторону зважаючи на кількість кроків. Обертаючись, двигун приводить в дію ГП – гвинтову передачу, яка перетворює обертальні дії в послідовні тобто поступальні, таким чином відбувається рух шпинделів стосовно осей верстата. Кожна із трьох осей може працювати одночасно з іншими осями, в результаті ми отримуємо переміщення які і оброблюють нашу деталь в залежності від запрограмованих інструкцій.

2.2 Структурна схема фрезерного верстату з ЧПУ

На рис.2.2. представлена загальна структурна схема верстату з ЧПУ. Аналізуючи схему можна виділити наступну інформацію. Модель готової деталі, або МГД одночасно потрапляє до ССП, або система стабілізації програми, та до СТП, або системи технологічної підготовки. ССП в свою чергу представляє собою САМ програму в середовищі якої створюється та перевіряється керуюча програма.

СТП забезпечує систему даними про режими роботи, в нашому випадку фрезерування, робочий інструмент, матеріал для обробки. За допомогою цих даних розробляється керуюча програма (КП), вона за своїм змістом є набором команд для керування виконуючими органами верстата.

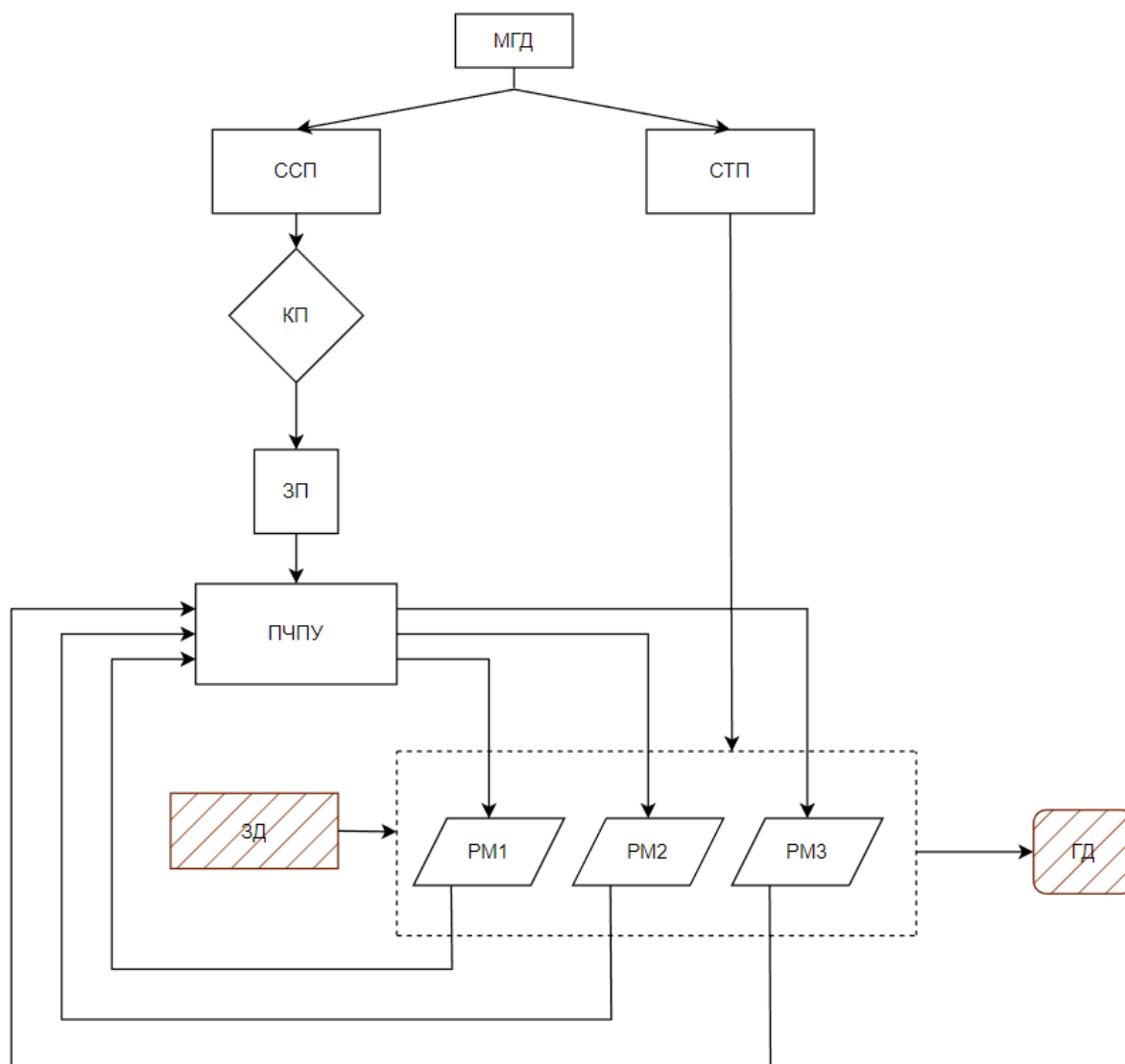


Рисунок 2.2 - загальна структурна схема верстату з ЧПУ

Наступним кроком оператор встановлює ЗД – заготовку деталі в задане положення, а також фрези згідно з СТП та документації до обладнання. Зчитувальний пристрій (ЗП) виконує функцію зчитування інформації, що міститься в керуючій програмі. Він є програмним забезпеченням, яке здатне прочитати та інтерпретувати G-код у керуючій програмі (КП) і передати його на пристрій керування числовим програмуванням (ПЧПУ). ПЧПУ відправляє керуючі команди до робочих механізмів (РМ) верстата, які здійснюють основні рухи обробки над ЗД. Після вдалої роботи системи ми отримаємо ГД, або готову деталь.[4]

В свою чергу кожен РМ, або робочий механізм має свою структурну схему представлену на рис.2.3.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

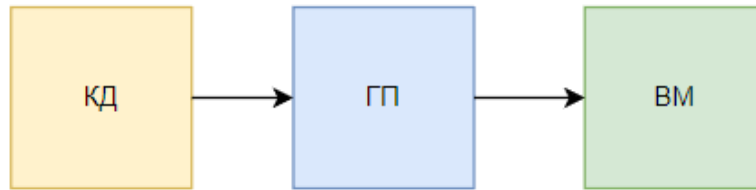


Рисунок 2.3 - Структурна схема робочого механізму

Кожен із трьох робочих механізмів включає наявність:

- КД, або крокового двигуна який є рушійною силою робочого механізму
- ГП, або гвинтової передачі що служить для передачі обертowego руху в послідовний, або поступальний рух який необхідний для ВМ
- ВМ, або виконавчий механізм, яким може бути фреза, лазер та інші механізми, що переміщуються та обробляють деталь в залежності від завдання

2.3 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків

Проаналізувавши технологічний процес та структурну схему фрезерного верстату ЧПУ можна розробити схему матеріальних та інформаційних потоків. В першу чергу для створення схеми верстата з ЧПУ треба визначитися з конструкцією верстата. Верстати з ЧПУ бувають таких основних типів з рухомим порталом або рухомим столом. Конструкція верстата з рухомим столом більш габаритна і більш витратна в плані проектування, але має трохи більшу точність і більшу зносостійкість механіки верстата в порівнянні з порталною. В свою чергу верстат з рухомим порталом трохи поступається в точності але мають менші габаритні розміри, простішу конструкцію і в результаті меншу собівартість.

Для даного проекту було обрано верстат з рухомим порталом, цьому сприяли такі основні фактори: менші габарити при однаковій робочій поверхні та менша собівартість.

Головними характеристиками об'єкта є техніко-економічні показники та показники якості кінцевого матеріалу. На дані показники, в фрезерних станках ЧПУ впливають:

- електрична енергія, що використовується для живлення електрообладнання;
- витратні матеріали;
- фрези;
- матеріали виконання верстату.

На якісні показники впливають:

- швидкість роботи крокових двигунів;

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арж.
Змін.	Арж.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- підтримка оптимальної температури системи;
- підтримка синхронізації драйверів;
- алгоритми підтримки нормального робочого стану.

Підтримка швидкості роботи крокових двигунів залежить від швидкодії системи, обраної плати керування та довжини кабелів, підтримка оптимальної температури залежить від вентиляторів та радіаторів в підсистемі охолодження фрезерних верстаків.

Підтримка синхронізації напряму залежить від програмного забезпечення та справності кожного технічного засобу, а також від правил конфігурування та підбору датчиків та виконавчих механізмів цілої системи. Алгоритми підтримки нормального робочого стану також дуже важливі для оптимального використання системи та контролю від небажаних помилок, або захисту від перегрівання, захисту від виходу з ладу деталей верстату.

Контроль за даними параметрами забезпечить витрату електричних та заготівельних ресурсів на певному рівні, при правильному налаштуванні алгоритмів роботи можна добитися оптимальної кількості витрат електроенергії та економії часу роботи системи. Це ілюструє схема матеріальних та інформаційних потоків подана на рис. 2.4. та кресленням СУ-91 6.151.16.C2.

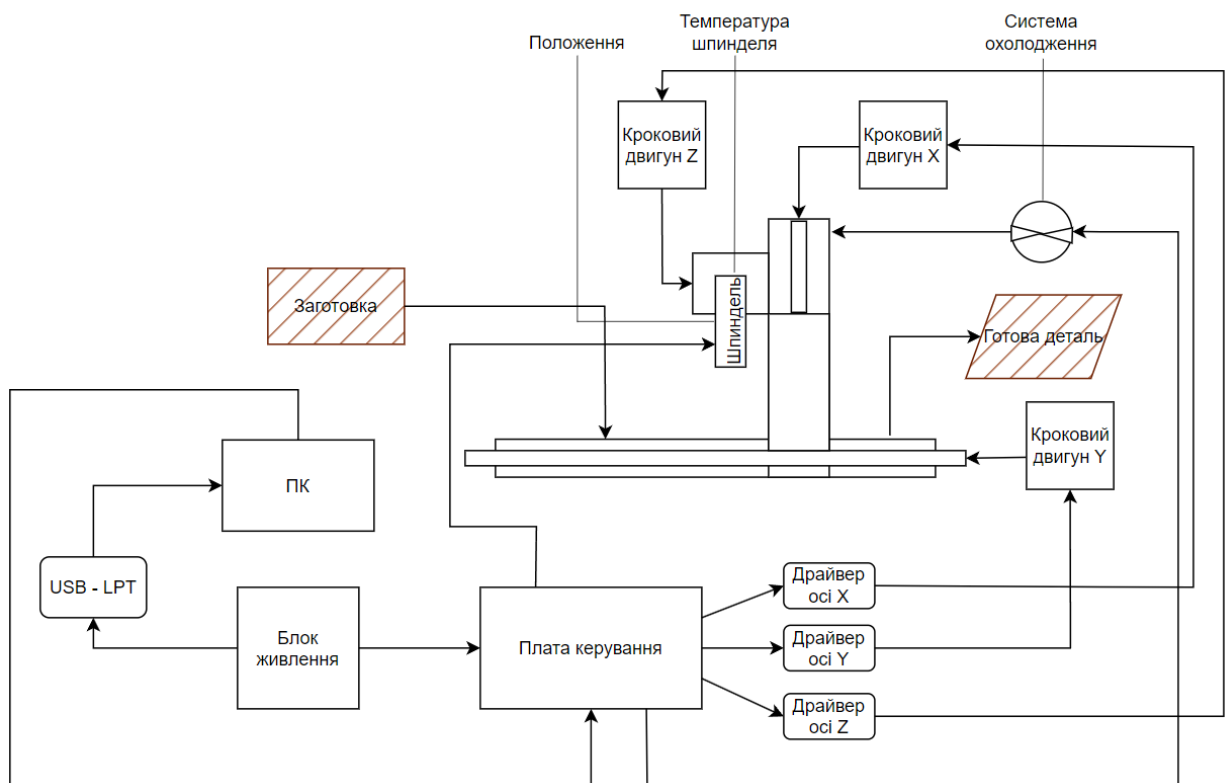


Рисунок 2.4 - Схема матеріальних та інформаційних потоків верстата з ЧПУ

Автоматизована система керування верстатів ЧПУ повинна контролювати різні аспекти роботи верстату, забезпечуючи його ефективну та точну роботу. Основні функції, які вона повинна виконувати, включають:

- Керування рухами верстату. Система повинна контролювати рухи верстату в трьох основних вимірах - X, Y, Z. Вона приймає вхідні команди з програми керування та забезпечує переміщення верстату у відповідності з цими командами.
- Виконання оброблювальних операцій. Система керування повинна здійснювати виконання оброблювальних операцій на верстаті, таких як фрезерування. Вона відповідає за вибір необхідних інструментів, швидкостей обертання, глибини різання та інших параметрів обробки.
- Управління інструментами та аксесуарами. Система керування повинна керувати зміною та позиціонуванням інструментів та аксесуарів на верстаті. Вона має забезпечувати автоматичну зміну інструментів, регулювання їх положення та налаштування.
- Контроль точності та якості. Система керування повинна здійснювати контроль точності виконання оброблювальних операцій і вимог якості продукції. Вона має враховувати допуски та технологічні вимоги, а також забезпечувати компенсацію будь-яких відхилень.
- Керування комунікацією та обміном даними. Система керування повинна бути здатна обмінюватися даними з програмою керування верстатом, приймати програми обробки, передавати стан верстату та отримувати звіти про виконані операції.
- Моніторинг та діагностика. Система керування повинна відслідковувати стан верстату, виявляти помилки, діагностувати проблеми та надавати інформацію про стан системи оператору або сервісному персоналу.
- Безпека. Система повинна забезпечувати безпеку оператора та верстату. Вона має контролювати роботу екстреного зупину, виявляти небезпечні ситуації, надавати захисні функції та обмеження, дотримуватись стандартів безпеки.

Також в розробленій системі керування є підсистема контролю температури шпинделя яка враховує покази температури та охолоджує шпиндель для більш ефективного використання верстату в промисловості.

					<i>СУ-91 6.151.16.ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Функціональна схема автоматизації

На основі схеми матеріальних та інформаційних потоків була розроблена функціональна схема автоматизації фрезерного верстату з ЧПУ яка представлена на рис.3.1. та кресленням в СУ-91 6.151.16.A2.1

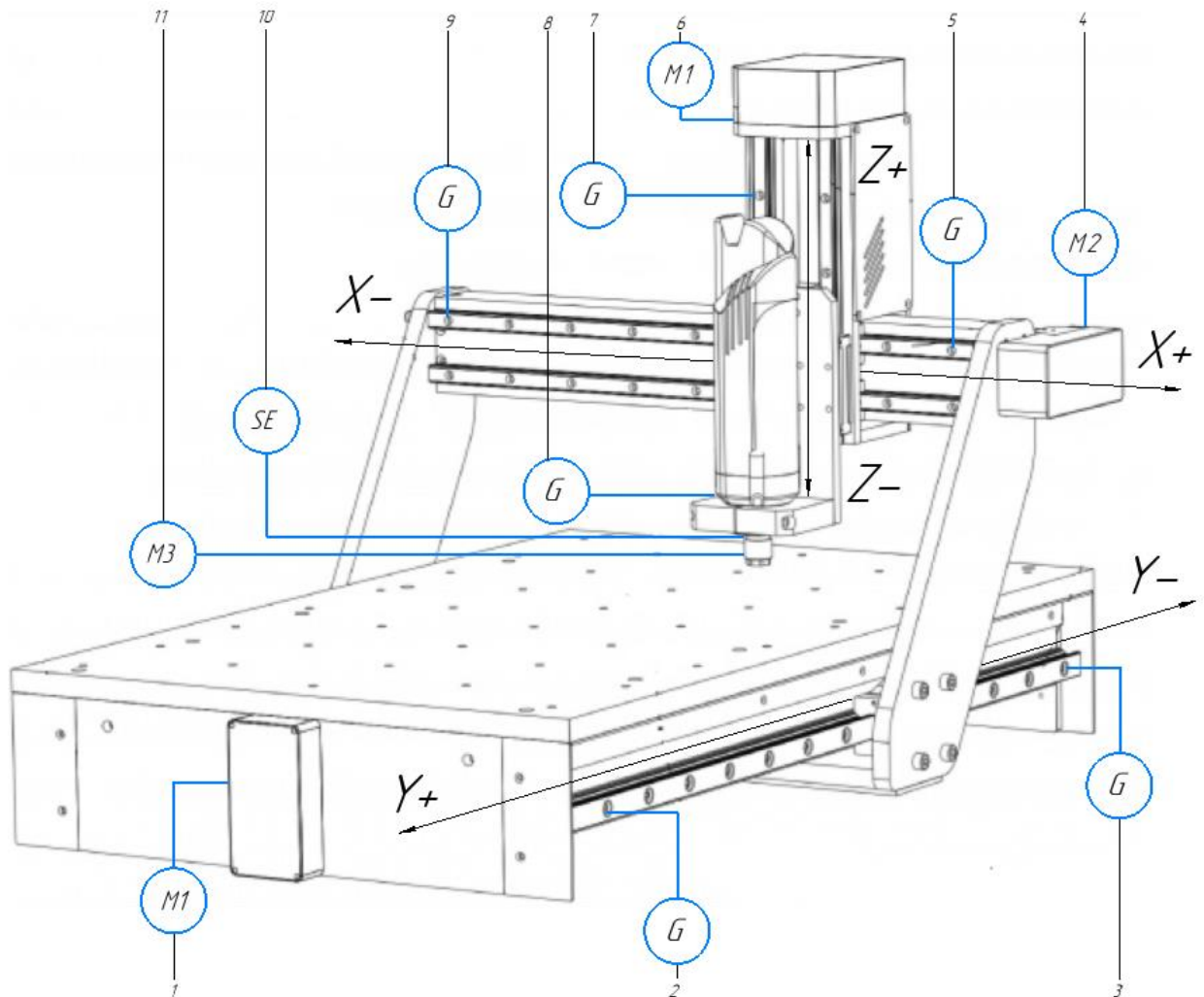


Рисунок 2.5 – Функціональна схема фрезерного верстату з ЧПУ

Оскільки ми використовуємо фрезерний верстат портального типу як основу, він має рухомий портал. Рухомий портал складається з конструкції, на якій розміщені вісь X і вісь Z. Щоб забезпечити рух по осях X і Z, необхідно використати сталеві направляючі, тримачі для направляючих, підшипники, гвинтову передачу для переміщення, крокові двигуни і шпиндель. Ця конструкція має значну вагу, тому для осі Y використані відповідні направляючі та лінійні підшипники. [6]

З Функціональної схеми автоматизації можна виділити такі складові:

- Три крокових двигуни відповідають за переміщення осей. M1 для осі Y, та такий самий M1 кроковий двигун для запуску осі Z, також кроковий двигун M2 для

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-91 6.151.16.ПЗ

Арк.

17

переміщення по осі X. Комп'ютер передає ШІМ сигнал на драйвери крокових двигунів для керування ними, і посилений сигнал потім надсилається до самого двигуна. Цей сигнал містить інформацію про швидкість обертання двигуна, напрямок руху та кількість кроків, які повинні бути зроблені.

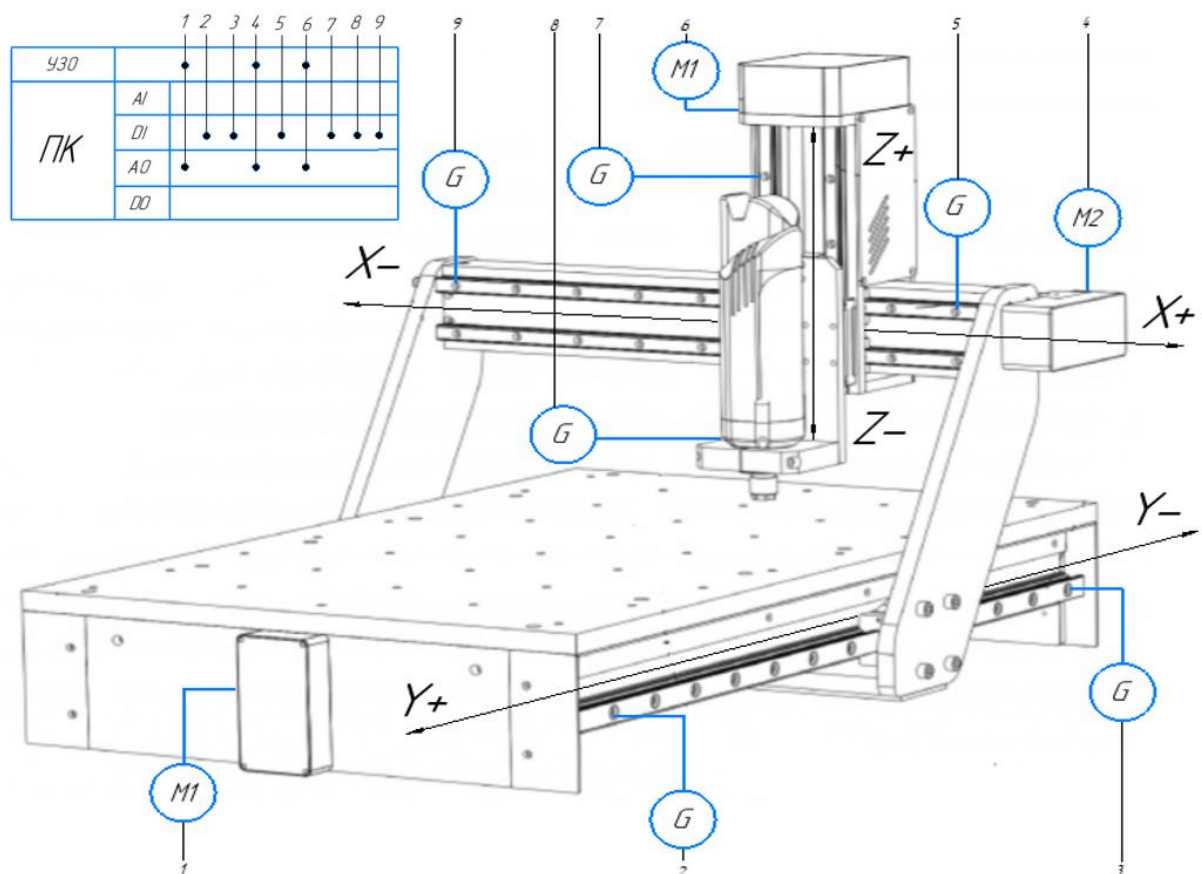
- Шпиндель, який також керується комп'ютером, зокрема його швидкість обертання разом зі фрезою.
- Кожна з осей має граничні затвори. Ці затвори необхідні для захисту механізмів верстата від пошкоджень. Кожна ось має два кінцевих затвори, які обмежують рух осі верстата під час наближення до крайнього положення відносно кожної з осей для запобігання виходу з ладу обладнання.

Розглянувши складові функціональної схеми автоматизації можна дійти висновку, що вона включає все 2 контури управління:

- контур керування осьовим переміщенням;
- контур керування обертами фрези.

2.4.1 Контур керування осьовим переміщенням

Контур керування осьовим переміщенням є основним в концепції фрезерних верстатів з ЧПУ, саме завдяки ньому синхронізуються всі 3 осі і здійснюється переміщення, даний контур проілюстровано на рис.2.6.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-91 6.151.16.ПЗ

Арк.

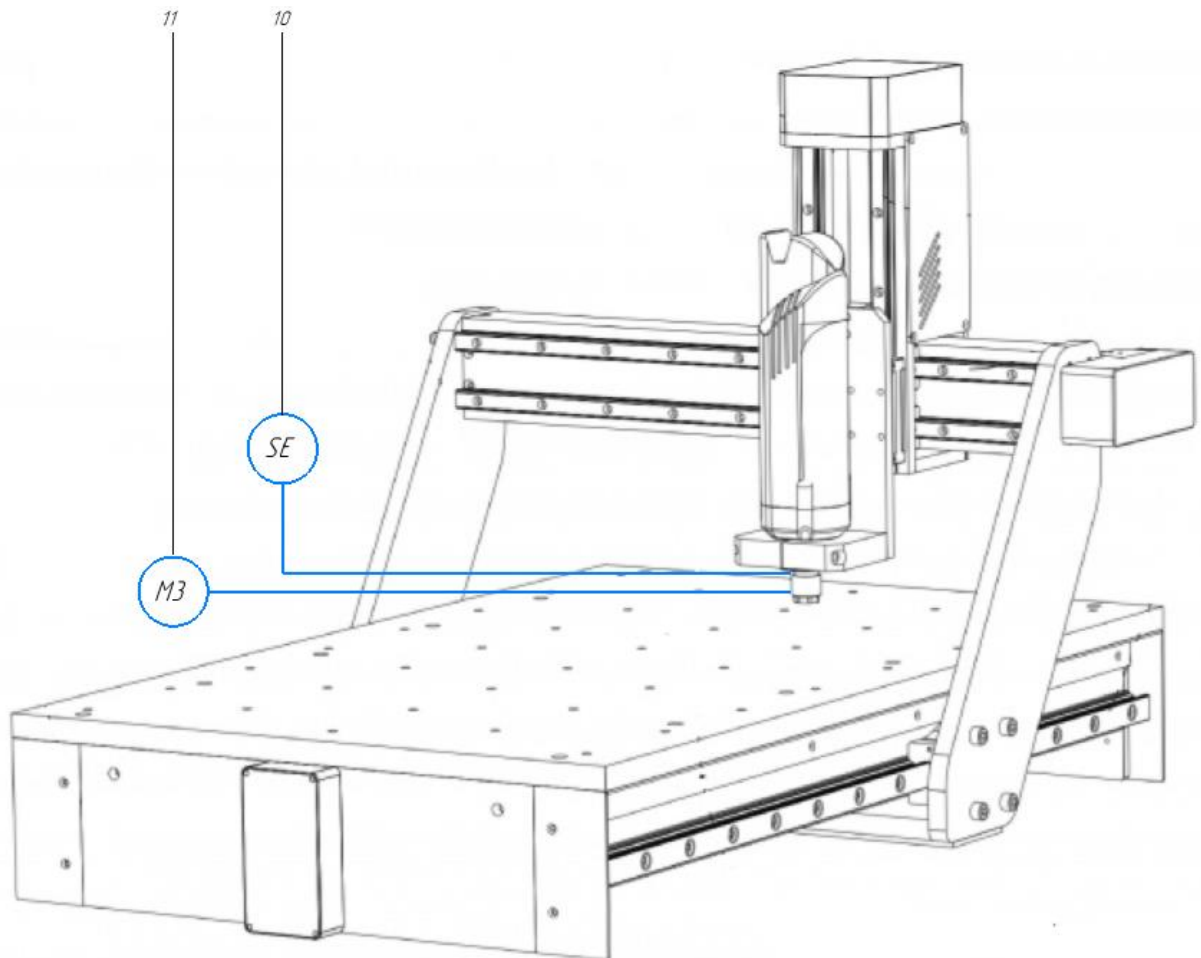
18

Рисунок 2.6 - Контур керування осьовим переміщенням

Функція даного контуру полягає в тому, щоб задовольняти потрібне переміщення шпинделя. ПК опитує енкодери та граничні затвори G при необхідності ПК подає керуючий сигнал на драйвери крокових двигунів, які в свою чергу на крокові двигуни M1 та M2 для зміни положення фрези відносно кожної осі.

2.4.1 Контур керування обертами фрези

Контур керування обертами фрези виконує функцію підтримки потрібної швидкості обертання фрези для правильної обробки деталей, даний контур проілюстровано на рис.2.7



		10	11
УЗ0		•	
ПК	AI		
	DI		•
	AO	•	
	DO		

Рисунок 2.7 - Контур керування обертами фрези

ПК опитує давач швидкості та при необхідності змінює керуючий сигнал на двигун, при не співпадінні заданої швидкості та фактичної виникає помилка та вимкнення верстату.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

За результатами проведеного аналізу розроблених контурів регулювання, складаємо таблицю вхідних сигналів див. табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Таблиця вхідних сигналів системи.

№ п/п	Сигнал	Діапазон вимірювань	Кількість точок	Тип сигналу
1	Положення по осі X	1000 імпульсів +/- на оберт	2	7~16 мА
2	Положення по осі Y	1000 імпульсів +/- на оберт	2	7~16 мА
3	Положення по осі Z	1000 імпульсів +/- на оберт	2	7~16 мА
4	Швидкість обертання	0-1000 об/хв	1	4 – 20 мА

По таблиці вхідних сигналів, а також опираючись на функціональну схему автоматизації складемо таблицю вихідних сигналів див. табл. 2.2

Таблиця 2.2 - Таблиця вихідних сигналів системи.

№ п/п	Сигнал	Діапазон вимірювань	Тип сигналу
1	Швидкість обертання двигуна «1»	0-2000 об/хв	4 – 20 мА
2	Швидкість обертання двигуна «2»	0-2000 об/хв	4 – 20 мА
3	Швидкість обертання двигуна «3»	0-2000 об/хв	4 – 20 мА
4	Швидкість обертання двигуна «4»	0-2000 об/хв	4 – 20 мА
5	Швидкість обертання двигуна «5»	0-1000 об/хв	4 – 20 мА

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Висновки до розділу

В даному розділі було розглянуто технологічний процес фрезерування завдяки фрезерному верстату з ЧПУ, виділено його основні складові, розроблено структурну схему верстату з ЧПУ де виділено елементи які входять в його склад, на основі структурної схеми було розроблено схему матеріальних та інформаційних потоків з якої було виділено основні завдання на розробку автоматизованої системи керування та основні задачі які повинна покривати розроблена система автоматизації. Також було розроблено функціональну схему автоматизації роботи фрезерного верстату з ЧПУ, яка включає основні складові функціонування, які потрібно підібрати для реалізації фрезерного верстату з ЧПУ FANUC.

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПУ FANUC

Після розглядання структурних схем, розробки схеми інформаційних та матеріальних потоків, а також аналізу функціональної схеми автоматизації фрезерного верстату з ЧПУ FANUC виділено основні фактори для підбору технічних засобів автоматизації. Необхідно врахувати наступні фактори:

- в першу чергу потужність крокових двигунів, їх габарити та економічні показники;
- вхідна напруга та вихідний струм драйверів крокових двигунів, наявність різних режимів функціонування для забезпечення максимальної точності;
- синхронізація плати керування з драйверами крокових двигунів;
- номінальна потужність блоку живлення.

Апаратне забезпечення обладнанням розробленої системи повинно включати в себе:

- крокові двигуни переміщення;
- драйвери крокових двигунів;
- корпус контролера;
- контролер управління;
- блок живлення;
- кінцеві затвори;
- шпиндель.

3.1 Контролер управління

В якості контролеру керування було обрано DDCS V3.1 який повністю забезпечує потреби дипломного проекту. DDCS V3.1 - це контролер, призначений для керування кроковими та серводвигунами з високою точністю. Він працює по чотирьох осях, що перевищує наші потреби, але є запасом на майбутнє, головне при виборі було те, що він підтримує FANUC. Система підтримує ряд G-кодів як стандартних так і особливих і використовує архітектуру керування ARM + FPGA. Пристрій має передню панель оснащену 17-ма кнопками для керування всіма необхідними операціями. DDCS V3.1 може працювати незалежно від ПК, але має інтерфейси підключення для завантаження програм з ПК. Він працює на базі операційної системи Linux. Цей універсальний контролер підходить для різних застосувань, включаючи токарні, свердлильні, фрезерні верстати, промислові роботи, лінійні модулі тощо. Контролер DDCS V3.1 проілюстровано на рис.3.1.

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд контролеру DDCS V3.1

Відмінні характеристики DDCS V3.1:

- Управління з мінімальним відхиленням від заданої точності
- 5-дюймовий TFT-дисплей
- 16 оптичних входів з цифровою ізоляцією
- 3 оптичних виходи з цифровою ізоляцією
- Аналогове керування шпинделем 0-10 В (може бути модифіковано на ШІМ-вихід)
- Підтримка USB-накопичувачів для введення G-кодів без обмежень на розмір файлів
- Сумісність з MPG (маховичок)
- Сумісність із системами FANUC
- Підтримка індуктивних датчиків NPN
- Підтримка м'якої інтерполяції
- Можливість роботи як з дюймовими, так і з метричними одиницями
- Підключення клавіатури USB
- Збереження даних навіть у разі втрати живлення
- Швидке призначення завдань для робочої позиції
- Інтерфейс доступний українською мовою. [7]

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики контролеру DDCCS V3.1 наведено в табл.3.1

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики контролеру DDCCS V3.1

Виробник	Digital Dream Automation Technology Co., Ltd.
Модель	DDCCS V3.1
Електроживлення	24 V DC (мінімальний струм 0.5 A)
Процесор	ARM9
Кількість входів	16
Кількість виходів	3
Максимальна частота імпульсів	500 кГц
Основний алгоритм керування	FPGA
Період контролю кожного місяця перебування	4 мс
Кількість вбудованої пам'яті	1 Гб
Тип під'єднаних датчиків	NPN
Екран	5 дюймів TFT, роздільна здатність 480*272
Кількість кнопок керування	17
Внутрішня операційна система	ґрунтується на Linux
Габаритні розміри	191x128x37 мм
Вага	750 г

3.2 Крокові двигуни переміщення

Кроковий двигун - це тип електродвигуна, який перетворює електричні імпульси в точні механічні рухи. Він призначений для руху дискретними кроками або інкрементами, звідси і назва "кроковий" двигун. Двигун складається з ротора, який є рухомою частиною, і статора, який містить котушки, що генерують магнітні поля. Крокові двигуни широко використовуються в додатках, що вимагають точного позиціонування, таких як робототехніка, 3D-принтери, верстати з ЧПУ та системи автоматизації. Вони забезпечують високу точність і повторюваність, що дозволяє точно контролювати рух.

Двигун працює на основі принципу електромагнетизму, де взаємодія між магнітними полями, що генеруються котушками і постійними магнітами на роторі, змушує ротор рухатися. Рух ротора визначається послідовністю і часом електричних імпульсів, що подаються на котушки.

										Арк.
										24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

СУ-91 6.151.16.ПЗ

Кроковими двигунами можна керувати за допомогою різних методів, включаючи повний крок, напівкрок і мікрокрок, які визначають розмір і роздільну здатність кожного кроку, зробленого двигуном.

Для дипломного проекту в якості крокових двигунів для переміщення по осі X та Z було обрано модель NEMA43.

Точна назва обраного крокового двигуна NEMA43 110BYGH3100-5003A-19 (110HS100), загальний вигляд даного крокового двигуна представлена на рис.3.2.

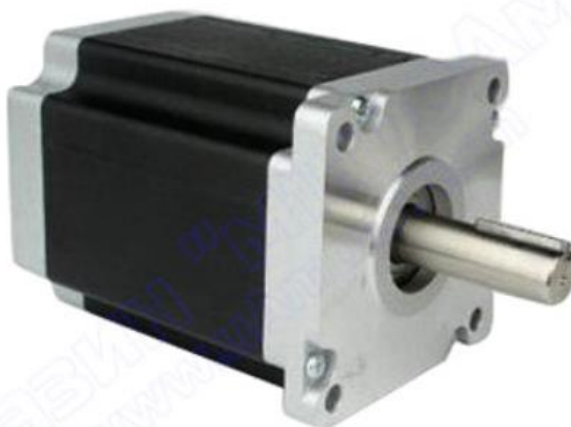


Рисунок 3.2 - Загальний вигляд крокового двигуна NEMA43 110BYGH3100-5003A-19 (110HS100)

Технічні характеристики крокового двигуна NEMA43 110BYGH3100-5003A-19 (110HS100) наведено в табл.3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики крокового двигуна NEMA43 110BYGH3100-5003A-19 (110HS100)[8]

Інерція ротора	5500 г·см ²
Електричний опір	1 Ом
Крок	1.2 °
Момент	13 Н·м
Номінальний струм	4 А
Форма	NEMA43 (110x110 мм)
Вид з'єднання валу	шпоночне
Діаметр валу	19 мм
Параметри шпонки	7 мм
Вид	трифазний, гібридний
Виробник	SIHONG®
Висота	100 мм

Так як вісь Y знаходиться під більшим навантаженням чим інші осі, для неї потрібно було обрати потужніший кроковий двигун, адже саме по осі Y рухається портал з віссю X та віссю Z. Тому було обрано кроковий двигун NEMA43 110BYGH3150-5003A-19 (110HS150). Даний кроковий двигун проілюстровано на рис.3.3.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд крокового двигуна NEMA43 110BYGH3150-5003A-19 (110HS150)

Технічні характеристики крокового двигуна NEMA43 110BYGH3150-5003A-19 (110HS150) наведено в табл.3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики крокового двигуна NEMA43 110BYGH3150-5003A-19 (110HS150)

Інерція ротора	11000 г·см ²
Електричний опір	1.4 Ом
Крок	1.2 °
Момент	22 Н·м
Номінальний струм	5 А
Форма	NEMA43 (110x110 мм)
Вид з'єднання валу	шпоночне
Діаметр валу	19 мм
Параметри шпонки	6 мм
Вид	трифазний, гібридний
Виробник	SIHONG®
Висота	150 мм

Переваги крокових двигунів:

Точне позиціонування. Крокові двигуни забезпечують високоточне керування позиціонуванням, що робить їх придатними для застосувань, які вимагають точного керування рухом.

Високий крутний момент на низьких швидкостях. Крокові двигуни забезпечують високий крутний момент навіть на низьких швидкостях, що робить їх придатними для застосувань, які вимагають високого утримуючого моменту або коли необхідна робота на низьких швидкостях.

Керування в розімкнутому контурі. Крокові двигуни працюють в розімкнутій системі керування, що означає, що вони не потребують пристроїв зворотного зв'язку, таких як енкодери, що знижує складність і вартість системи.

Простота в управлінні. Кроковими двигунами можна легко керувати за допомогою простих імпульсних сигналів і сигналів напрямку, що робить їх відносно простими в інтерфейсі з мікроконтролерами або іншими системами управління.

Висока надійність. Крокові двигуни міцні та надійні завдяки своїй простій конструкції та відсутності щіток або комутаторів, що забезпечує довший термін служби порівняно з іншими типами двигунів.

Недоліки крокових двигунів:

Обмежена високошвидкісна продуктивність. Крокові двигуни мають обмеження у високошвидкісному застосуванні через властивий їм покроковий рух, що може призвести до зниження продуктивності та погіршення крутного моменту на високих швидкостях.

Резонанс і вібрація. Крокові двигуни можуть мати проблеми з резонансом і вібрацією, особливо при роботі на певних швидкостях або при неправильній техніці приводу, що призводить до зниження загальної продуктивності і збільшення шуму.

Енергоспоживання. Крокові двигуни можуть безперервно споживати енергію, навіть коли вони знаходяться в статичному положенні або утримують крутний момент, що може призвести до більш високого енергоспоживання в порівнянні з іншими типами двигунів.

Тепловиділення. Крокові двигуни можуть виділяти тепло під час роботи, особливо при роботі на високих швидкостях або з великими навантаженнями, що зумовлює необхідність належного охолодження або заходів з відведення тепла.

Комплексне керування для плавного руху. Досягнення плавного руху і точного керування кроковими двигунами часто вимагає більш досконалих методів керування, таких як мікрокрокування, що збільшує складність системи і може вимагати більш складної керуючої електроніки.

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Драйвери крокових двигунів

В якості драйверів для крокових двигунів обрано 3 драйвери моделі DM556D.

Цифровий драйвер крокового двигуна DM556D використовує передові технології керування для цифрових сигнальних процесорів, що дозволило створити сучасний дизайн. Висока продуктивність досягається завдяки використанню потужної 32-розрядної технології керування процесором. Цей цифровий драйвер демонструє стабільні характеристики, працює з мінімальним рівнем шуму, вібрації та температурних коливань і пропонує 16 режимів роботи з мікрокроком. Він може досягати максимальної частоти 51200 імпульсів на оберт (1/256) для крокового двигуна з кутом повороту 1,8°.

Драйвер використовує технологію придушення резонансу, що ефективно зменшує вібрації та покращує загальну продуктивність крокових двигунів. Крім того, він демонструє низький рівень підвищення температури, що ще більше підвищує продуктивність крокового двигуна. Драйвер має функцію самоналаштування в режимі онлайн, що дозволяє автоматично регулювати параметри без необхідності ручного налаштування, тим самим забезпечуючи оптимальну продуктивність для різних двигунів.

Напруга живлення варіюється від 24В до 50В, що робить його придатним для керування двигунами з максимальним робочим струмом до 5,6А (конфігурується від 2,1А до 5,6А). Драйвер DM556D знаходить широке застосування в обладнанні, яке вимагає низького рівня вібрації і шуму, наприклад, в автоматизованому маркувальному, пакувальному, топографічному обладнанні, а також в різних компонентах верстатів з ЧПУ.[9]

Загальний вигляд драйвера для крокового двигуна DM556D представлено на рис.3.4.



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд драйвера для крокового двигуна DM556D

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики драйвера для крокового двигуна DM556D наведено в табл.3.3.

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики драйвера для крокового двигуна DM556D

Напруги живлення	24-50V
Частота	200 кГц
Робочий струм	від 2,1 до 5,6 А
Мікрокрок	16 режимів роботи, максимум 51200 імпульсів на оберт (1/256)
Захист від перевантаження по струму і напрузі	Так
Розміри	118x76x34 мм
Вага	300 г
Оптично ізольовані вхідні/вихідні сигнали	Так

3.4 Блок живлення

В якості основного блоку живлення використовується блок живлення середньої потужності LEDTEX 24v, загальний вигляд якого представлено на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 - Загальний вигляд блоку живлення LEDTEX 24v

Блок живлення 24V 25A призначений для підключення світлодіодних стрічок, ламп, моніторів, ноутбуків, камер відеоспостереження і ЖК-телевізорів. Блок живлення (адаптер) 24V 25A має стабілізовану вихідну напругу 24V постійного струму. Цей блок живлення має захисний перфорований корпус тип "S", який забезпечує відмінне активне охолодження.

Блок живлення має відмінну стабільність вихідної напруги, має захист від короткого замикання і захист від перевантаження.

Технічні характеристики блоку живлення LEDTEX 24v наведено в табл.3.4.

Таблиця 3.4 - Технічні характеристики блоку живлення LEDTEX 24v

Тип індикації	Світлодіодна
Тип блоку живлення	Імпульсний
Тип стабілізації	По напруженню
Вихідний струм, не більше	25 А
Мінімальна вхідна напруга	170 В
Максимальна вхідна напруга	265 В
Вихідна напруга	24 В
Вихідна потужність	600 Вт
Довжина	240 мм
Ширина	125 мм
Висота	65 мм
Вага	1,32 кг

3.5 Кінцеві затвори переміщення

В якості кінцевих затворів переміщення було обрано V-153-1C25 з важелем 50мм, вони прості по конструкції та використанні. Механічний кінцевий вимикач в системі з ЧПУ (комп'ютеризованого числового керування) є пристроєм, який використовується для визначення механічних меж руху у машині. Він встановлюється на рухомих вісях або на робочих інструментах і вмикається або вимикається при досягненні певної позиції.

Коли кінцевий вимикач активується, він генерує сигнал, який передається до системи ЧПУ. Ця інформація використовується для зупинки або зміни напрямку руху вісі або інструменту, щоб уникнути перевищення механічних обмежень або зіткнень.

Механічні кінцеві вимикачі можуть бути розташовані на кожній вісі машини або на конкретних робочих інструментах. Вони зазвичай мають металевий датчик або рухомий контакт, який активується при досягненні крайніх положень руху. Після активації вимикач передає сигнал до системи ЧПУ, яка приймає відповідні дії для контролю руху.

Механічні кінцеві вимикачі в системі з ЧПУ важливі для забезпечення безпеки та точності роботи машини. Вони дозволяють уникнути перевищення меж руху, ушкодження обладнання або виробничих помилок. Крім того, вони виконують роль обмежувача руху, дозволяючи системі ЧПУ контролювати і точно позиціонувати вісі або інструменти в межах визначених параметрів. Загальний вигляд кінцевих затворів проілюстровано на рис.3.6

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд V-153-1C25 з важелем 50мм

Технічні характеристики кінцевих затворів V-153-1C25 з важелем 50мм наведено в табл.3.5.

Таблиця 3.5 - Технічні характеристики кінцевих затворів V-153-1C25 з важелем 50мм

Вид спрацьовування	натискання
Тип контактів	SPDT (1NO+1NC)
Комутована напруга та струм	5A/250V (VAC), 0.3A/250V (VDC)
Механічна зносостійкість	50 000 циклів
Габаритні розміри	27x16x10 мм
Довжина важіля	+51 мм
Робоча температура	-30°C ~ +85°C

3.6 Шпиндель для фрези

Шпиндель є надзвичайно важливою складовою фрезерного верстата з ЧПУ і виконує ключову роль у забезпеченні ефективної та точної обробки матеріалів. В якості шпинделя для даного проекту було обрано Шпиндель SQD80-1.5LB-24K 1.5кВт по декільком причинам, по перше 1,5 кВт достатньо для роботи з твердою деревиною та листовим металом, а також потужність в 1,5 кВт є хорошим показником для фрезерного верстату який будуть використовувати кожен день, тобто на виробництві, також приємно ціна, адже різниця між 800 Вт шпинделем та 1,5 кВт є незначною, але останній є набагато кращим для використання та більш функціональним. Загальний вигляд шпинделю SQD80-1.5LB-24K 1.5кВт представлено на рис.3.7.

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7 - Загальний вигляд шпинделю SQD80-1.5LB-24K 1.5кВт

Технічні характеристики шпинделю SQD80-1.5LB-24K 1.5кВт наведено в табл.3.6.

Таблиця 3.6 - Технічні характеристики шпинделю SQD80-1.5LB-24K 1.5кВт[10]

Гайка	ER11
Діаметр	80мм
Кількість обертів	24000 об/хв
Напруга	380В
Потужність	1,5кВт
Радіальне биття	2мкм
Струм	5А
Цанга	ER11 6мм
Частота	400 Гц
Вага	4,5кг
Виробник	ZHEN YU
Країна походження	Китай

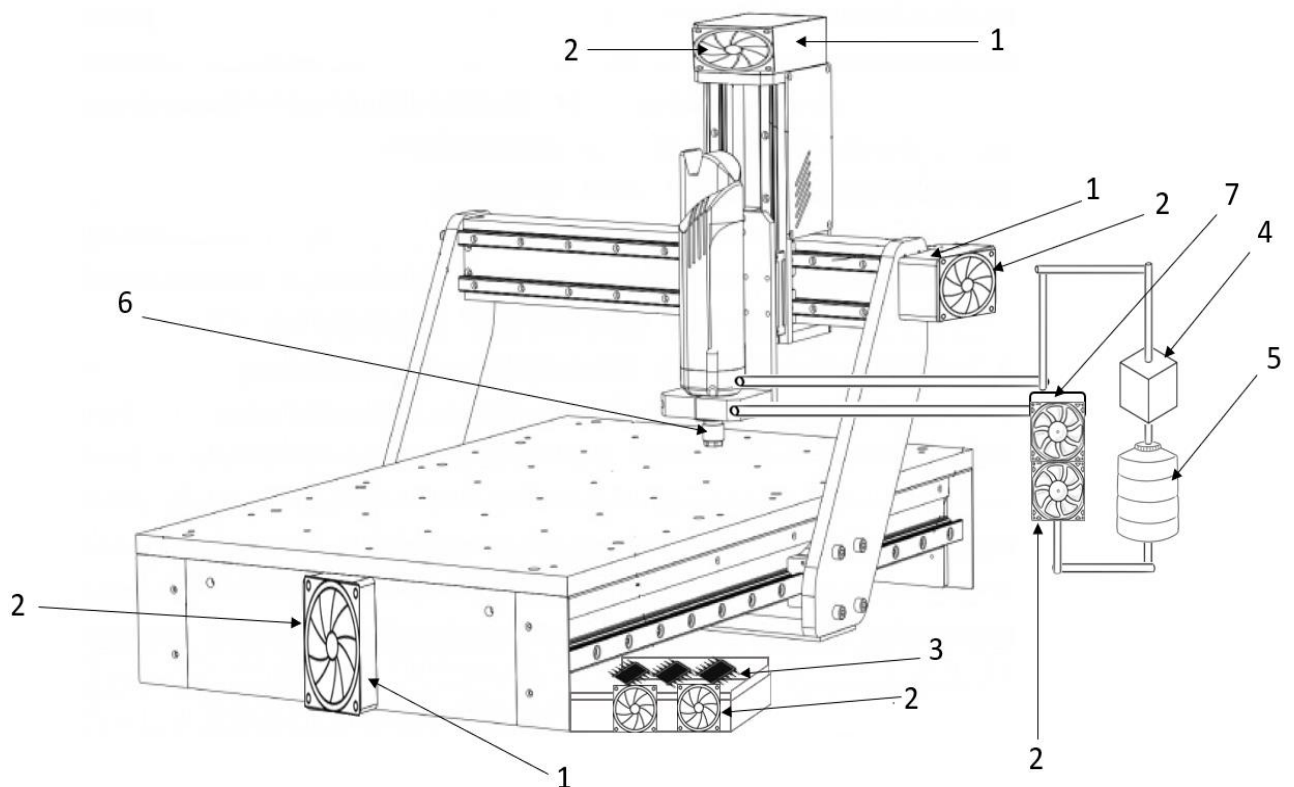
3.7 Висновки до розділу

В даному розділі підібрано основні апаратні частини розробленої системи, обрано контролер DDCS V3.1, підібрано крокові двигуни різної потужності, але однакової точності для кожної осі та драйвери до них, обрано кінцеві затвори та блок живлення для основних елементів, а також основний шпиндель який і буде виконувати роботу по фрезеруванню обраних заготовок деталей

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЗАДАНИХ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ВЕРСТАТА З ЧПУ FANUC

Як відомо кожен двигун під час роботи нагрівається, виділяючи тепло, а при досягненні критичної точки навіть можуть виходити з ладу, так само під дією високої температури можуть вийти з ладу крокові двигуни які були обрані в нашому дипломному проекті, а також драйвери крокових двигунів через які проходить не малий струм, що також призводить до нагрівання. Також основним місцем де можуть виникнути нестабільності це шпиндель, він може дуже нагрітись від матеріалу який обробляє, а також він є місцем виникнення основних вібрацій, які також негативно впливають на стійкість системи в цілому, всі ці місця без додаткових маніпуляцій є слабкими місцями системи, які без додаткового захисту знижують кількість циклів експлуатації обладнання, а також частіше затримують оператора, який повинен часто перевіряти параметри системи, щоб не пропустити момент після якого вся система може вийти з ладу. Тому для запобігання проблем зі системою необхідно розробити:

- Підтримку температури усіх крокових двигунів на заданому рівні та зробити захист від їх перегріву;
- Охолодження шпинделю рідиною з підтримкою заданої температури охолоджуючої рідини та її рівня;
- Забезпечення температури драйверів крокових двигунів на заданому рівні та зробити захист від їх перегріву[11]



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-91 6.151.16.ПЗ

Арк.

33

Рисунок 4.1 – Верстат з ЧПУ з підсистемою підтримки заданих робочих параметрів: 1 – крокові двигуни осей, 2 – охолоджуючі осьові вентилятори, 3 – драйвери крокових двигунів, 4 – насос рідини, 5 – резервуар розширення рідини, 6 – шпindelь, 7 – радіатор. Дана підсистема розроблена для підвищення часу експлуатації обраного обладнання, для полегшення роботи оператора, а також для енергоефективного використання верстату в процесі фрезерування деталі. Для того, щоб система працювала правильно потрібно підтримувати задані в підсистему параметри представлені на рис.4.2.

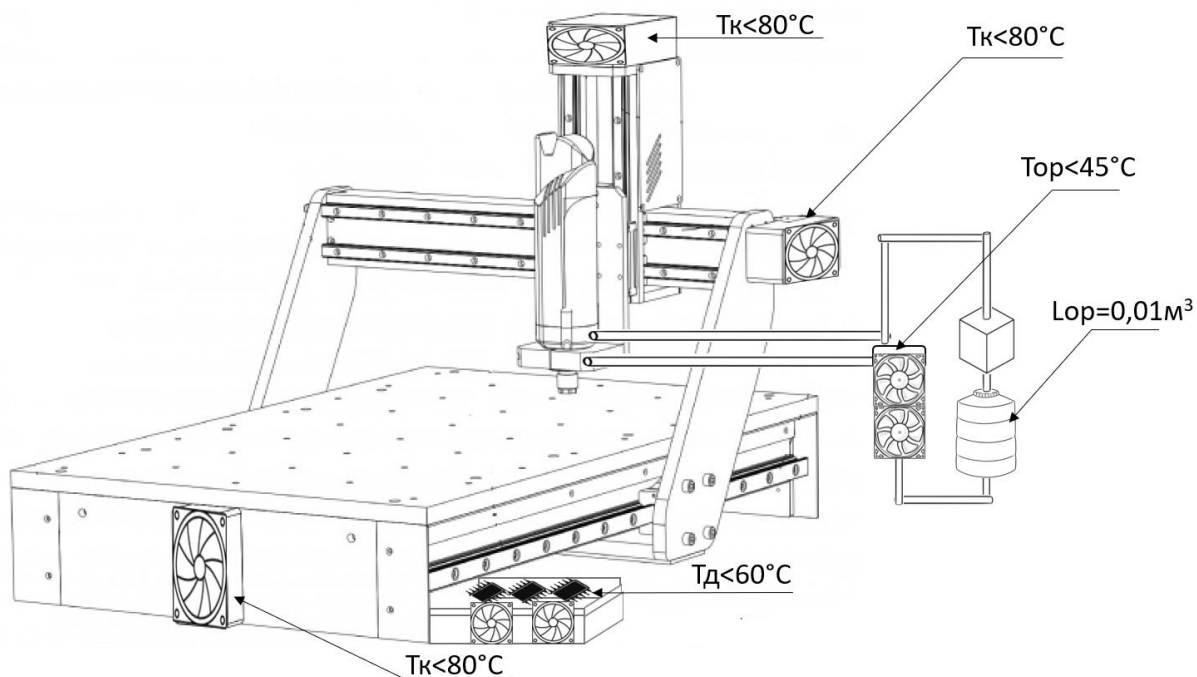


Рисунок 4.2 – Задані параметри підсистеми

Згідно з рис.4.2. розроблена підсистема повинна виконувати наступні функції:

- 1) Утримання температури крокових двигунів T_k менше $80\text{ }^\circ\text{C}$.
- 2) Утримання температури драйверів T_d менше $60\text{ }^\circ\text{C}$
- 3) Утримання температури охолоджувальної рідини T_{op} менше $45\text{ }^\circ\text{C}$
- 4) Підтримка рівня охолоджувальної рідини в резервуарі L_{op} дорівнює $0,01\text{ м}^3$

На базі даних функцій було розроблено 3 контури управління технологічними параметрами.

4.1 Контур контролю температури драйверів крокових двигунів

Драйвери крокових двигунів мають властивість нагріватися, адже через них проходить електричний струм, тому було розроблено алгоритм функціонування контуру контролю температури драйверів крокових двигунів, в самому контурі використовується 3 датчі температури, а також 3 осьові вентилятори, для кожного драйверу по датчу температури

						СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			34

та осьовому вентилятору. Алгоритм управління контуром контролю температури драйверів крокових двигунів представлена на рис.4.3.

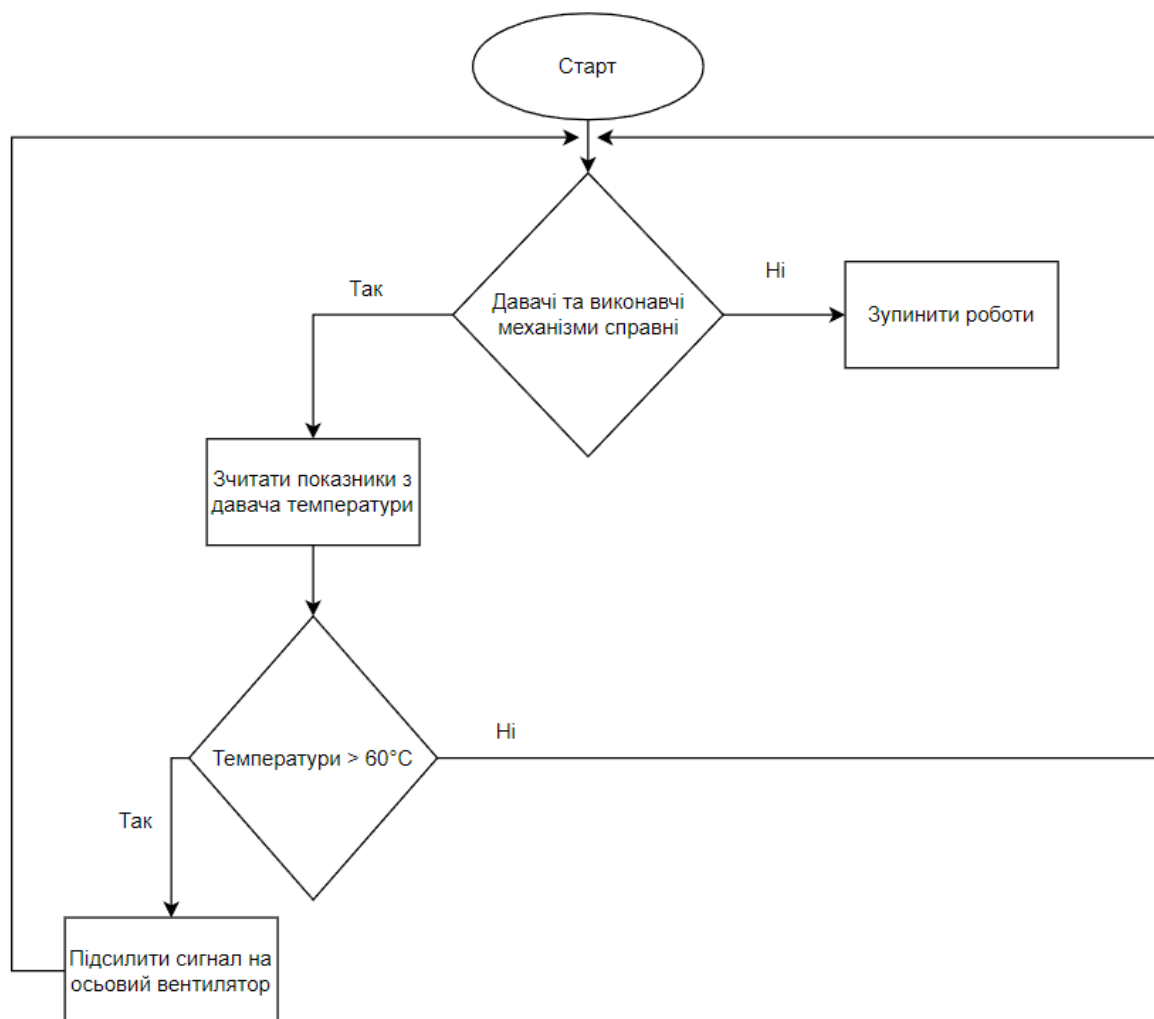


Рисунок 4.3 – Алгоритм управління контуром контролю температури драйверів крокових двигунів

Важливість алгоритмів управління при автоматизації верстату з ЧПУ полягає в їх здатності забезпечити точність, ефективність та безпеку процесу обробки. Алгоритми управління враховують безпекові аспекти при роботі з верстатом з ЧПУ. Вони дозволяють задати межі руху та швидкості, щоб уникнути колізій та небезпечних ситуацій. Це забезпечує безпеку оператора та тривалий термін служби обладнання.

Добре пропрацьовані алгоритми дають можливість легко змінювати і адаптувати процеси обробки для різних виробничих потреб і виконувати складні операції з високою точністю. Алгоритми управління можуть включати функції моніторингу та діагностики, що дозволяють контролювати стан верстата, виявляти проблеми та надавати звіти про його роботу. Це допомагає забезпечити надійну та ефективну роботу обладнання. На базі

алгоритму управління було розроблено функціональну схему автоматизації контуру контролю температури драйверів крокових двигунів, представлену на рис.4.4.

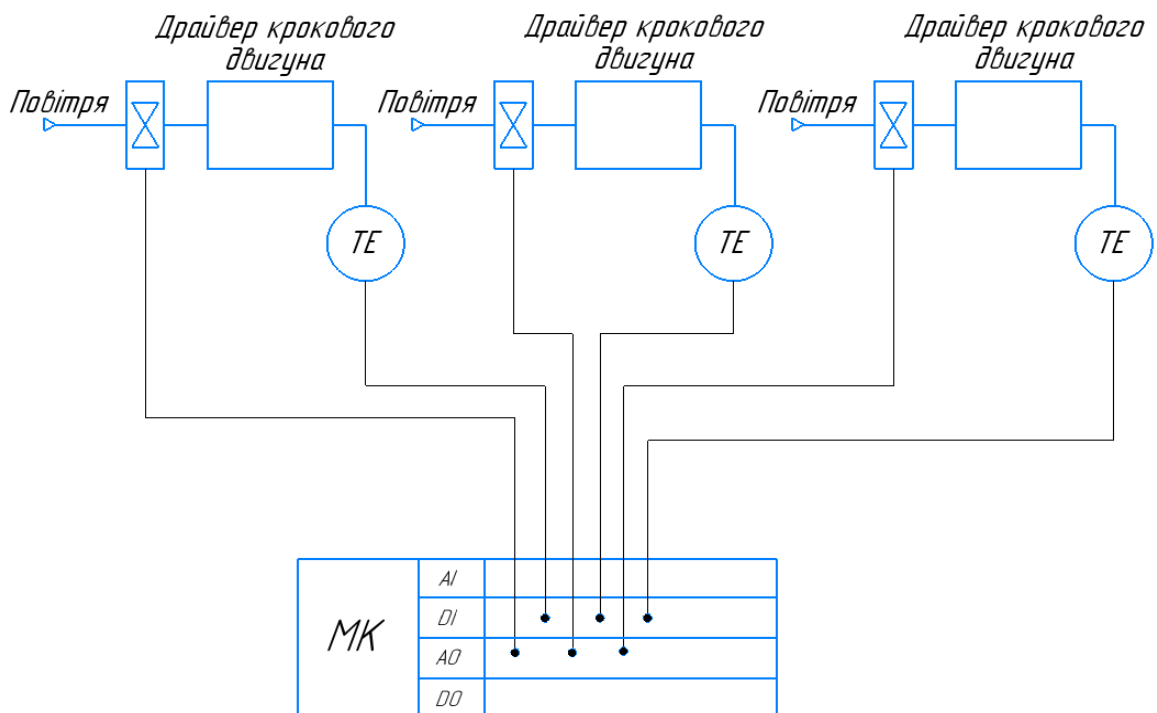


Рисунок 4.4 – Контур контролю температури драйверів крокових двигунів

4.2 Контур контролю температури крокових двигунів

В даному контурі, як і в попередньому використовується три датчі температури та три осьових вентилятори, щоб кожен кроковий двигун був захищений від різкого підвищення температури. Алгоритм управління контуру представлено на рис.4.5.

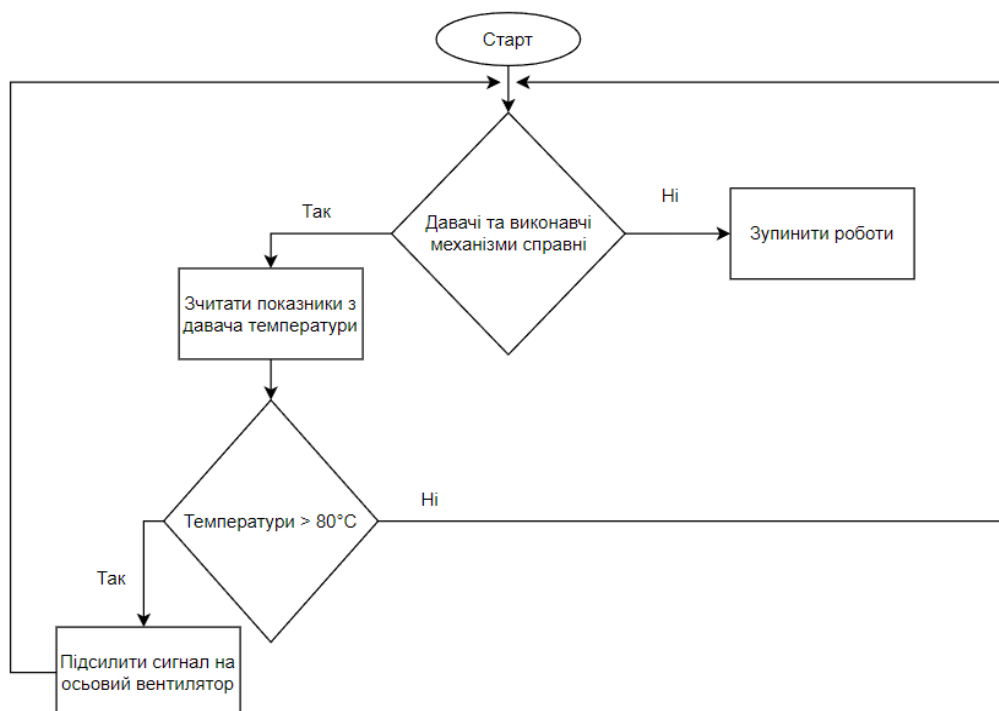


Рисунок 4.5 - Алгоритм управління контуру контролю температури крокових двигунів

На базі алгоритму управління контуру контролю температури крокових двигунів було розроблено функціональну схему автоматизації контуру контролю температури крокових двигунів проілюстровану на рис.4.6.

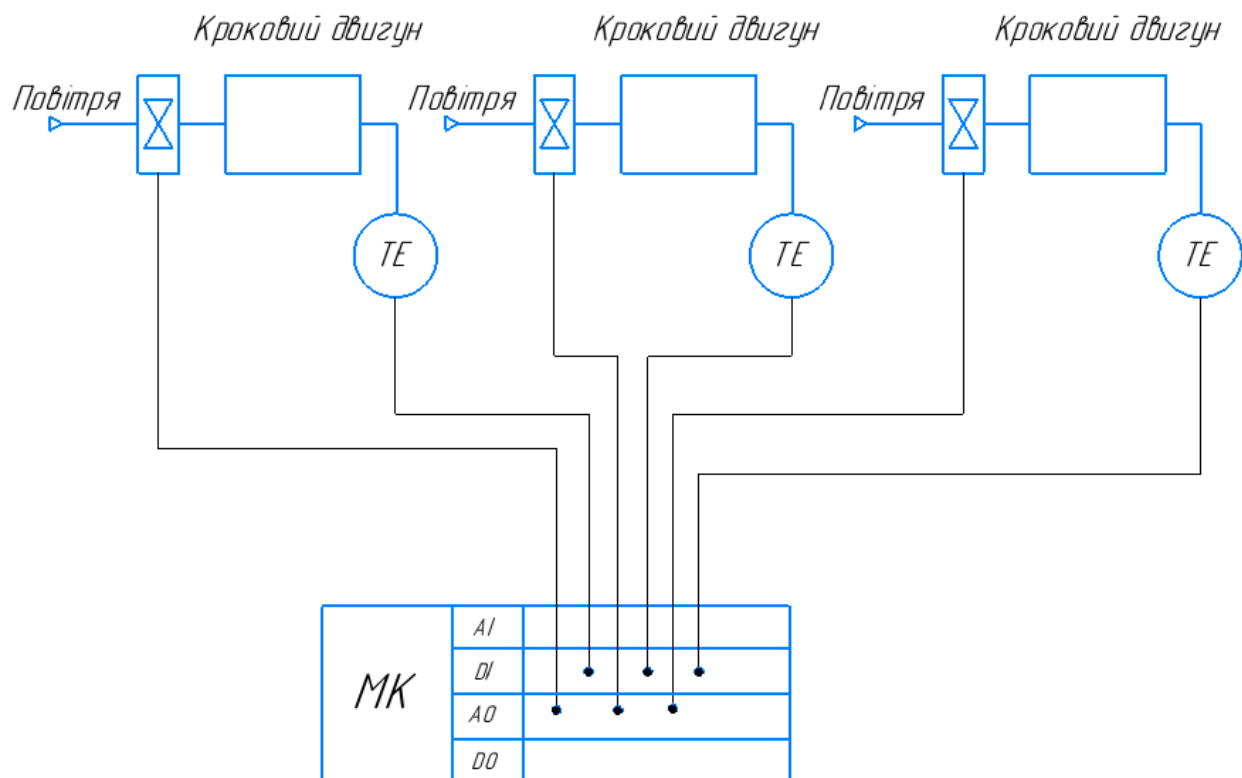


Рисунок 4.6 - Контур контролю температури крокових двигунів

4.3 Контур контролю температури охолоджуючої рідини шпинделя

Контур контролю температури охолоджуючої рідини шпинделя розроблений для запобігання перегріву шпинделя в процесі виконання ним фрезерування деталі, адже саме шпиндель знаходиться в зоні ризику через швидкість обертання та контакт з матеріалом. Особливо при роботі з важкими завданнями та тривалим використанням, ефективне охолодження шпинделя стає необхідним. Збереження оптимальної температури допомагає уникнути деформації деталей та забезпечити стабільність обробки.

Водяні системи зазвичай ефективніші, тому така система була обрана, оскільки вода має вищу теплопровідність, але вимагає відповідного джерела води і системи охолодження. В даній роботі обрано шпиндель з потужність 1,5 кВт, що змушує розробити контур контролю за ним. Для підтримки температури необхідно встановити датчик температури, два осьових вентилятори, насос для перекачки охолоджуючої рідини та датчик рівня охолоджуючої рідини. Розроблений контур працює за алгоритмом представленим на рис.4.7.

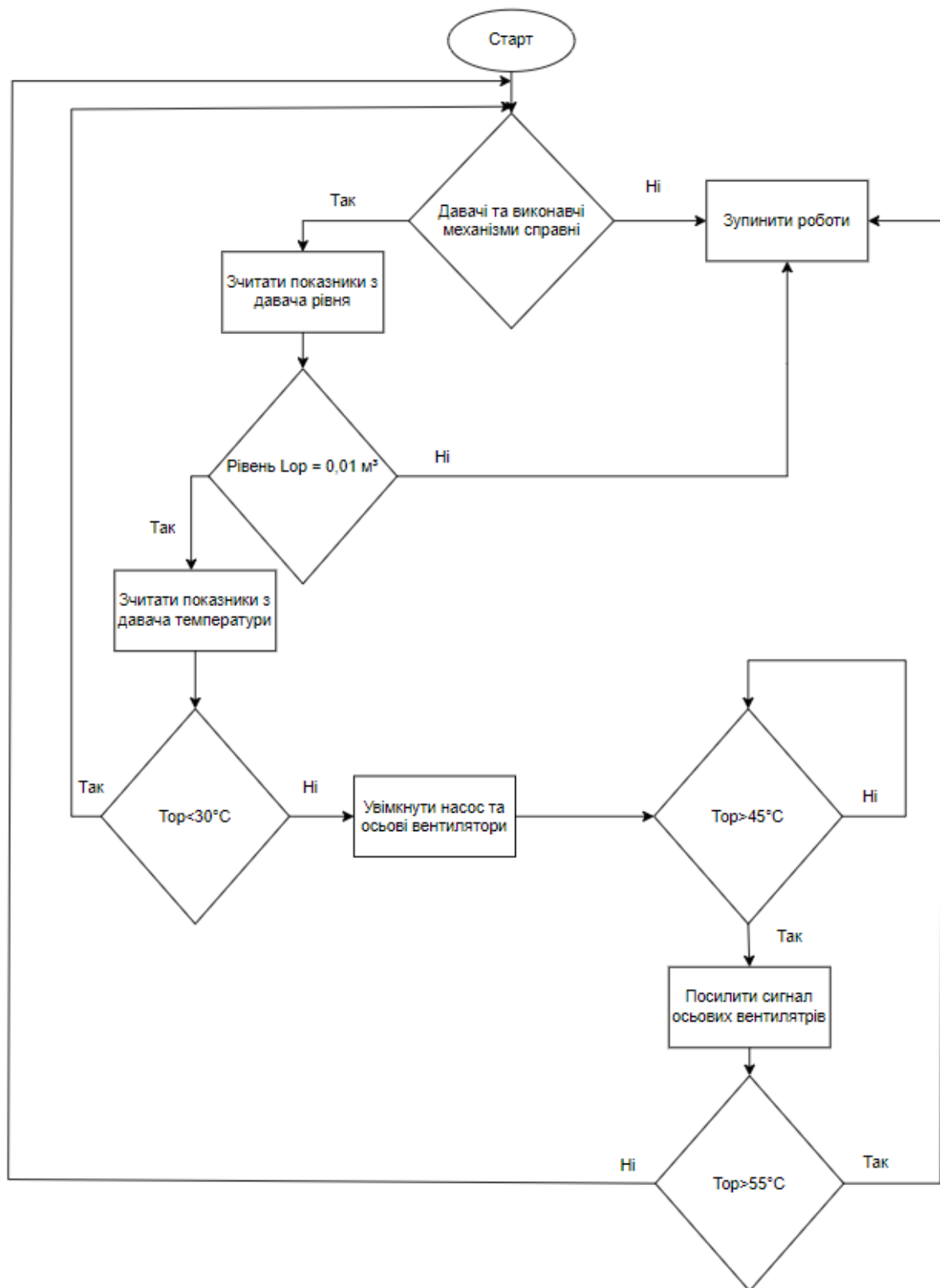


Рисунок 4.7 – Алгоритм контуру контролю температури охолоджуючої рідини шпинделя

На базі алгоритму контуру контролю температури охолоджуючої рідини шпинделя було розроблено функціональну схему контуру, представлену на рис.4.8.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

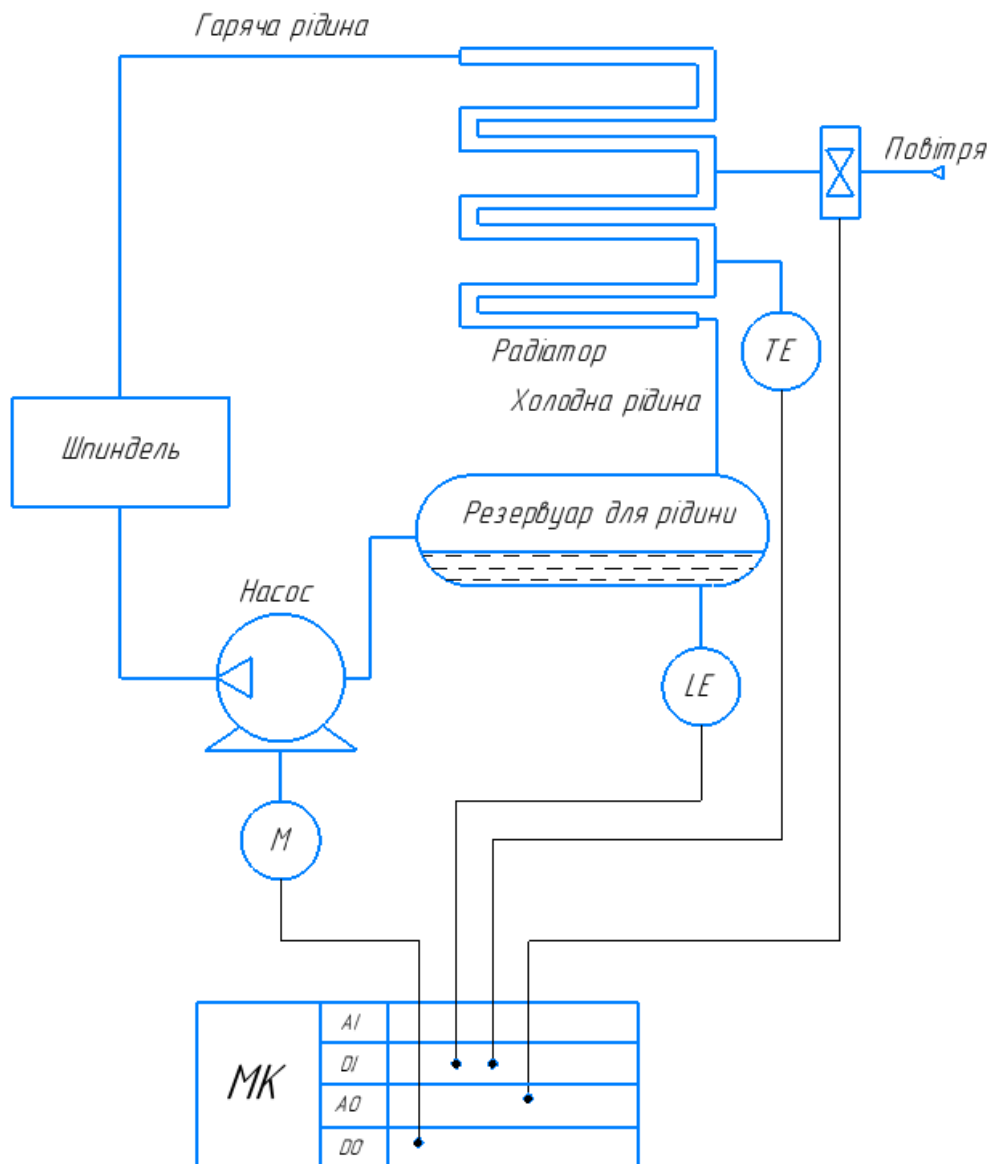


Рисунок 4.8 - Контур контролю температури охолоджуючої рідини шпинделя

На основі алгоритмів функціонування було розроблено загальну схему автоматизації СУ-91 6.151.16.A2, наведену в додатку А. Дана підсистема підтримки заданих робочих параметрів верстату з ЧПУ FANUC функціонуватиме незалежно від основної системи керування верстатом, тому для неї обрано окремий мікроконтролер в котрому буде програма для зчитування даних з давачів та керування виконавчими механізмами по їх показам.

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДСИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЗАДАНИХ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ВЕРСТАТА З ЧПУ FANUC

5.1 Давач температури Eliwell SN 691150

За основу було взято промисловий давач температури Eliwell SN 691150. Eliwell SN691150 є продуктом італійської компанії Eliwell, яка спеціалізується на виробництві промислових електронних пристроїв для управління і контролю параметрів в різних галузях. Eliwell SN691150 є давачем температури, розробленим для промислового застосування.

Цей давач має компактний литий дизайн, що дозволяє легко налаштовувати і контролювати температурні умови в промислових процесах. Eliwell SN691150 має широкий діапазон робочих температур $-50...+110\text{ }^{\circ}\text{C}$, що дозволяє йому використовуватись у різних промислових середовищах. Він може бути програмований для різних режимів роботи, включаючи регуляцію температури з точністю до декількох десятих градусів $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$.

Одним із ключових особливостей Eliwell SN691150 є його надійність зі ступенем захисту IP67 і стабільність роботи. Він забезпечує точні вимірювання і контроль температури, що є важливим для багатьох процесів, де необхідна стабільна температурна регуляція.

Крім того, Eliwell SN691150 має уніфікований сигнал, що дозволяє йому інтегруватись з іншими промисловими пристроями і системами автоматизації.

Загалом, Eliwell SN691150 є надійним і ефективним давачем температури для промислових застосувань. Він допомагає забезпечити точну і стабільну регуляцію температури в промислових процесах, що є важливим фактором для досягнення оптимальних результатів виробництва. Загальний вигляд давача представлено на рис.5.1.



Рисунок 5.1 - Загальний вигляд давача Eliwell SN691150

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

5.2 Давач рівня охолоджуючої рідини Kronos LS-100

Для вимірювання рівня рідини в даному проекті було обрано давач рівня рідини поплавковий Kronos LS-100. На ринку автоматизації і контролю рівня рідин і газів популярним вибором є поплавковий датчик рівня Kronos LS-100. Цей датчик є високоякісним пристроєм, розробленим компанією Kronos з урахуванням потреб сучасних промислових систем.

Поплавковий датчик рівня Kronos LS-100 має надійну і просту у використанні конструкцію. Він складається з плавника, який плаває на поверхні рідини, і електронної частини, що забезпечує вимірювання рівня. Коли рівень рідини досягає певного порогу, плавник пересувається і спрацьовує електронна система, яка може генерувати сигнали або виконувати визначені дії.

Один з головних переваг поплавкових датчиків рівня полягає в їхній надійності і стійкості. Kronos LS-100 виготовлений з високоякісних матеріалів, що робить його стійким до агресивних середовищ і корозії. Він може працювати в широкому діапазоні температур і тисків, що дозволяє його використовувати в різних умовах. Вони можуть бути налаштовані для спрацювання на певному рівні і генерувати сигнали для подальшого контролю або керування системами.[12]

Поплавкові датчики рівня Kronos LS-100 широко використовуються в різних галузях промисловості, таких як хімічна, нафтова і газова, водопостачання і каналізація, фармацевтика, харчова промисловість та багато інших. Вони дозволяють забезпечити безпеку, ефективність і контроль в робочих процесах, а також уникнути переливу або втрати рідини. Загальний вигляд давача рідини Kronos LS-100 представлено на рис.5.2.



Рисунок 5.2 – Загальний вигляд давача рівня рідини Kronos LS-100

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Технічні характеристики давачі рівня рідини Kronos LS-100 наведено в табл.5.1.

Таблиця 5.1 - Технічні характеристики давачі рівня рідини Kronos LS-100

Робоча напруга	12 ~ 220 В
Робоча температура	0 ~ 120 °С
Робочий струм	0,5 - 1А
Матеріал	нержавіюча сталь
Довжина кабелю	30 см
Довжина	10 см
Колір	сріблястий

5.3 Осьовий вентилятор GAMEMAX GMX-WFBK Black

Вентилятор GMX-WFBK Black має діаметр 120 мм і забезпечує потужний потік повітря для ефективного охолодження компонентів системи. Він оснащений потужним двигуном і оптимізованою конструкцією лопаток, що забезпечує високу продуктивність і низький рівень шуму.

Цей вентилятор має можливість регулювання обертів швидкості для оптимального балансу між охолодженням і шумом. Можна налаштувати його швидкість відповідно до потреб системи, забезпечуючи ефективне охолодження при мінімальному рівні шуму.

GAMEMAX GMX-WFBK Black вентилятор легко встановлюється і має стандартний роз'єм для підключення до материнської плати або контролера вентиляторів. Він також має довгу робочу тривалість і високу надійність, що робить його відмінним вибором для тривалого і надійного охолодження системи. Загальний вигляд осьового вентилятору GAMEMAX GMX-WFBK Black проілюстровано на рис.5.3.



Рисунок 5.3 - Загальний вигляд осьового вентилятору GAMEMAX GMX-WFBK Black

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Технічні характеристики осьового вентилятору GAMEMAX GMX-WFBK Black наведено в табл.5.2.

Таблиця 5.2 - Технічні характеристики осьового вентилятору GAMEMAX GMX-WFBK Black

Діаметр	120 мм
Підключення	3 pin + Molex
Тип підшипника	Гідродинамічний підшипник
Підсвічування	Без підсвічування
Швидкість обертання	1100 обертів/хв
Рівень шуму	23.4 дБ
Ресурс	30 000 годин
Напруга	12 В

5.4 Насос мембранний Good Pumps 72Вт

Цей високотисковий насос має компактний розмір і легко монтується, що дозволяє його зручно використовувати в різних умовах. Він також є енергоефективним, забезпечуючи ефективну роботу при використанні невеликої кількості енергії. Завдяки своїй мембранній конструкції, цей насос може ефективно перекачувати воду з високим тиском до 130 PSI (фунтів на квадратний дюйм). Загальний вигляд мембранного насосу Good Pumps 72Вт наведено на рис.5.4.



Рисунок 5.4 - Загальний вигляд мембранного насосу Good Pumps 72Вт

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Технічні характеристики мембранного насосу Good Pumps 72Вт наведено в табл.5.3.

Таблиця 5.3 - Технічні характеристики мембранного насосу Good Pumps 72Вт

Продуктивність	6 л/хв
Робоча напруга	9-14.4 В (номінальна – 12 В)
Робочий струм	до 6 А
Потужність	72 Вт
Робочий тиск	до 130 psi / 0.9 МПа
Робоча температура	0-100 °С
Робоче рН	5-8
Вага	0.6 кг

5.5 Твердотільне реле SSR-100VA

Це реле працює на напрузі перемінного струму (VR-AC) і має максимальну потужність 100 вольт-ампер (VA) та струм 100 ампер (A). Однофазне твердотільне реле використовує технологію твердотільних компонентів, таких як триаки або транзистори, для керування електричним навантаженням. Це забезпечує швидке та надійне перемикання струму без шуму і зносу, що характерні для механічних реле.

SSR-100VA 100A VR-AC реле має високу надійність і довгий термін служби, оскільки воно не має рухомих частин, які можуть зноситися або вимагати обслуговування. Воно також працює з високою ефективністю, мінімізуючи втрати енергії і перетворюючи більшість електричної потужності на корисну роботу.

Це твердотільне реле має компактний розмір і легко монтується, що робить його зручним для використання в різних електричних системах. Воно також має вбудовані захисні функції, такі як захист від перевантаження і короткого замикання, що забезпечує безпеку і надійність роботи системи. Загальний вигляд твердотільного реле SSR-100VA 100A проілюстровано на рис.5.5.



Рисунок 5.5 - Загальний вигляд твердотільного реле SSR-100VA 100A

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

5.6 Мікроконтролер STM32

Мікроконтролери STM32 є популярними серіями мікроконтролерів, розробленими компанією STMicroelectronics. Вони базуються на архітектурі ARM Cortex-M і надають широкий спектр можливостей. Мікроконтролер STM32F103C8T6, також відомий як "Blue Pill", є одним із членів сімейства STM32 і має наступні характеристики:

1. Ядро. Він має ARM Cortex-M3 ядро, яке працює на тактовій частоті до 72 МГц. Це дозволяє забезпечити швидку та ефективну обробку даних.
2. Пам'ять. STM32F103C8T6 оснащений 64 кілобайтами флеш-пам'яті для програмного коду, що забезпечує достатній обсяг для виконання складних завдань. Він також має 20 кілобайт оперативної пам'яті (RAM) для збереження даних під час роботи.
3. Входи-виходи. Цей мікроконтролер має 37 загального призначення входів-виходів (GPIO), які можуть використовуватися для підключення зовнішніх пристроїв, сенсорів та інших компонентів.
4. Комунікаційні інтерфейси. STM32F103C8T6 підтримує різні комунікаційні інтерфейси, такі як UART, SPI і I2C. Це дозволяє легко зв'язуватися з іншими пристроями та обмінюватися даними.
5. Аналого-цифровий перетворювач (ADC). Мікроконтролер має 10-бітний ADC з 12 каналами, що дозволяє зчитувати аналогові сигнали з сенсорів і перетворювати їх на цифровий формат для обробки.
6. Таймери. STM32F103C8T6 має різні апаратні таймери, які можуть використовуватися для вимірювання часу, генерації сигналів PWM та інших задач.
7. Інтерфейси підключення. Мікроконтролер має USB і USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter) інтерфейси для забезпечення зв'язку з комп'ютерами, іншими пристроями та периферійними пристроями.
8. Живлення. STM32F103C8T6 працює з напругою живлення від 2,0 до 3,6 вольт, що робить його сумісним з різними джерелами живлення.
9. Розміри і монтаж. Він має компактний форм-фактор і може бути легко змонтований на платі, що робить його зручним для використання в різних проектах.[13]

Зважаючи на дані характеристики STM32F103C8T6 є чудовим вибором для реалізації розробленої підсистеми. Загальний вигляд мікроконтролеру STM32F103C8T6 проілюстровано на рис.5.6.

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

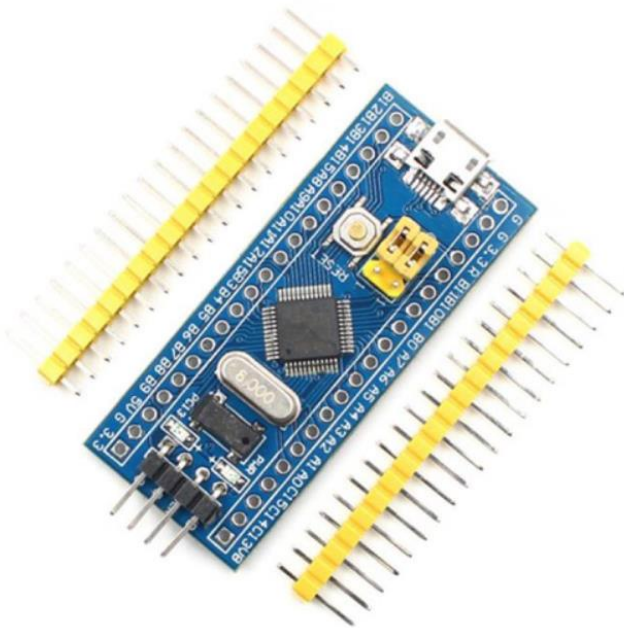


Рисунок 5.6 - Загальний вигляд мікроконтролеру STM32F103C8T6

5.7 Висновки до розділу

В даному розділі було підібрано датчики та виконавчі механізми для підсистеми підтримки заданих робочих параметрів верстата з ЧПУ FANUC, а також обрано мікроконтролер STM32F103C8T6, який буде керувати даною незалежною підсистемою.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-91 6.151.16.ПЗ

Арк.

46

РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПУ FANUC

Для написання робочої програми фрезерування на верстаті з ЧПУ FANUC було обрано CIMCO Edit 8.10.07. CIMCO Edit 8.10.07 є потужним програмним забезпеченням, розробленим для операторів фрезерних верстатів з ЧПУ. Воно забезпечує широкий набір функцій та можливостей для ефективного програмування, редагування та керування обробкою на верстатах з ЧПУ. Програма має зручний та простий у використанні інтерфейс, що дозволяє оператору легко орієнтуватися та працювати з нею без зайвих зусиль. CIMCO Edit дозволяє оператору легко редагувати програми обробки. Він має розширений редактор, який підтримує підсвічування синтаксису, автодоповнення та відступи, що полегшують процес внесення змін у програму. Оператор може переглядати та симулювати програми обробки безпосередньо у CIMCO Edit. Це дозволяє виявити можливі проблеми та помилки до їх виконання на верстаті, що допомагає уникнути відкритих виробничих збоїв.[14]

Програма надає оператору різноманітні інструменти для перевірки програми обробки, включаючи перевірку на виявлення колізій, перевірку довжини траєкторії та перевірку послідовності операцій. CIMCO Edit дозволяє оператору взаємодіяти з верстатом з ЧПУ, надаючи можливість завантажувати та вивантажувати програми обробки, керувати процесом виконання та моніторити стан верстата. Програма підтримує широкий спектр форматів файлів програм обробки, що дозволяє оператору працювати з файлами з різних джерел та верстатів. CIMCO Edit надає можливість налаштування інструментів редагування та відображення, що дозволяє оператору адаптувати програму до своїх потреб та вподобань.

Загальний вигляд програми CIMCO Edit 8.10.07 зображено на рис.6.1.

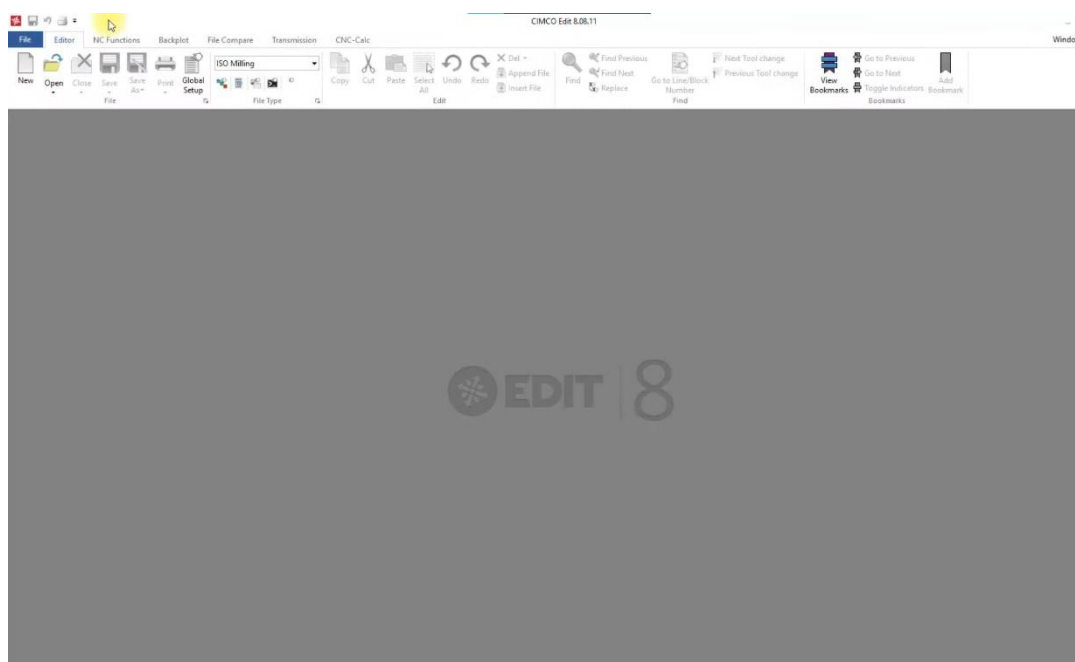


Рисунок 6.1 - Загальний вигляд програми CIMCO Edit 8.10.07

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для початку було обрано модель майбутньої деталі для фрезерування, щоб продемонструвати більшість основних можливостей розробленого верстату з ЧПУ FANUC в якості кінцевої деталі було обрано деталь представлену на рис.6.2.

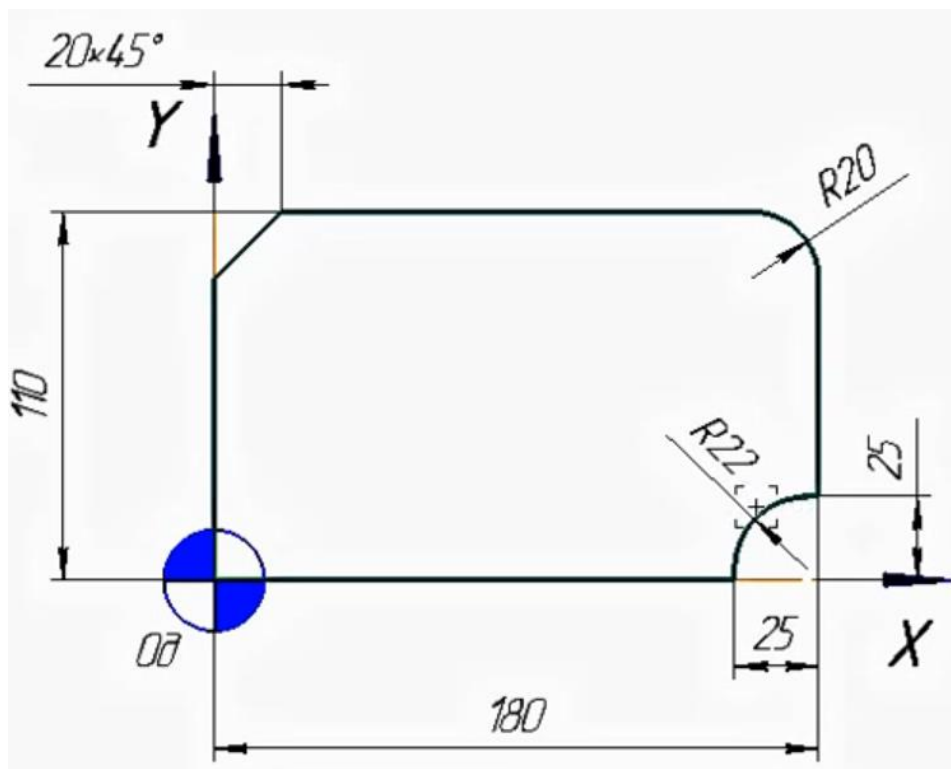


Рисунок 6.2 – Загальний вигляд кінцевої деталі програми

Інструкція для FANUC виглядає так. Обробку ми будемо проводити в абсолютній системі координат для того щоб нам видно одразу було що ми обробляємо. Вдало обираємо 0 на куті, так нам одразу видно всі координати. Змінили інструмент, увімкнули оберти виїхали в точку x -20, у також -20, опустилися на глибину і вийшли x0 нашої деталі. Наступний кадр рахуємо у 90 тобто 110 -20 фаска, у 90, далі x = 20 у = 110. Наступний кадр x 160 тобто 180 мінус 20 виходить 160 тут у нас іде обробка кругової інтерполяції за годинниковою значить кінцева точка у нас по осі x 180 по осі у 90 тобто 110-20 = 90 і центр кола у нас по осі x буде 160, 180 мінус 20 і початкова точка кола 160 -160 дорівнює нулю J -20 значить центр в запасі, у нас дорівнює 90 а початкова точка по осі на 110. 90 - 110 у підсумку виходить мінус двадцять.

Далі йдемо, увімкнули лінійну інтерполяцію у нас по лінії йде обробка J1 у = 25 далі x = 177 180 мінус 25, 155 плюс 22 радіус 177 обробляє кругова інтерполяція проти годинникової стрілки ось у нас рух проти годинникової стрілки J 3 проти годинникової стрілки x 155 значить 180 мінус 25 буде 155, у3 на 4 25 мінус 22 буде три і 0 дорівнює так як у нас збігається центр кола і початкова точка по осі x вони збігаються або J мінус 22

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

значить 3 мінус 25 виходить мінус 22 тобто центр кола посіяли у нас дорівнює трьом а початкова точка посіяти на 25 3 мінус 25 = -22. Останній кадр J1 Y0

В якості назви для програми було обрано 00001 (DET). Код написаний в програмній мові G-код (також відомий як ISO 6983). G-код є стандартним мовним інтерфейсом для програмування верстатів з ЧПУ, включаючи верстати від компанії FANUC. G-код представляє собою послідовність команд, що вказують верстату, як виконувати певні операції обробки. Кожна команда G-коду має свою унікальну функцію і впливає на різні аспекти роботи верстата, такі як переміщення, обертання шпинделя, включення охолодження. Цілісний код для FANUC представлено нижче:

```
%  
00001 ( DET )  
N5 G0 G91 G28 Z0  
N10 G28 X0 Y0  
N15 M6 T1 ( FREZA-020 )  
N20 G0 G17 G54 G90 S8000 M3  
N25 X-20. Y-20.  
N30 G43 Z15. H1  
N35 Z5.  
N40 G1 Z-12 F300 M8  
N45 G41 X0 D1 F100  
N50 Y90.  
N55 X20. Y110.  
N60 X160.  
N65 G2 X180. Y900. I0 J-20.  
N70 G1 Y25.  
N75 X177.  
N80 G3 X155. Y3. I0 J-22.  
N82 G1 Y0  
N85 X-3.  
N90 G40 Y-20.  
N95 G0 Z50 M9  
N100 G0 G91 G28 Z0 M5  
N105 G28 X0 Y0  
N110 M30  
%
```

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Вигляд програми в середовищі CIMCO Edit 8.10.07 представлено на рис.6.3.

```

N5 G0 G91 G28 Z0
N10 G28 X0 Y0
N15 M6 T1 ( FREZA-D20 )
N20 G0 G17 G54 G90 S8000 M3
N25 X-20. Y-20.
N30 G43 Z15. H1
N35 Z5.
N40 G1 Z-12. F300 M8
N45 G41 X0 D1 F1000
N50 Y90.
N55 X20. Y110.
N60 X160.
N65 G2 X180. Y90. I0 J-20.
N70 G1 Y25.
N75 X177.
N80 G3 X155. Y3. I0 J-22.
N82 G1 Y0
N85 X-3.
N90 G40 Y-20.
N95 G0 Z50. M9
N100 G0 G91 G28 Z0 M5
N105 G28 X0 Y0
N110 M30
    
```

Рисунок 6.3 – Вигляд програми в середовищі CIMCO Edit 8.10.07

В даному середовищі також є можливість провести симуляцію написаного коду для перевірки перед надсиланням програми до виконання на верстаті, тому було збережено програми та відкрито в симуляторі для перевірки траєкторії руху шпинделя під час робочого процесу. Процес виконання програми в симуляторі наведено на рис.6.4. та рис.6.5.

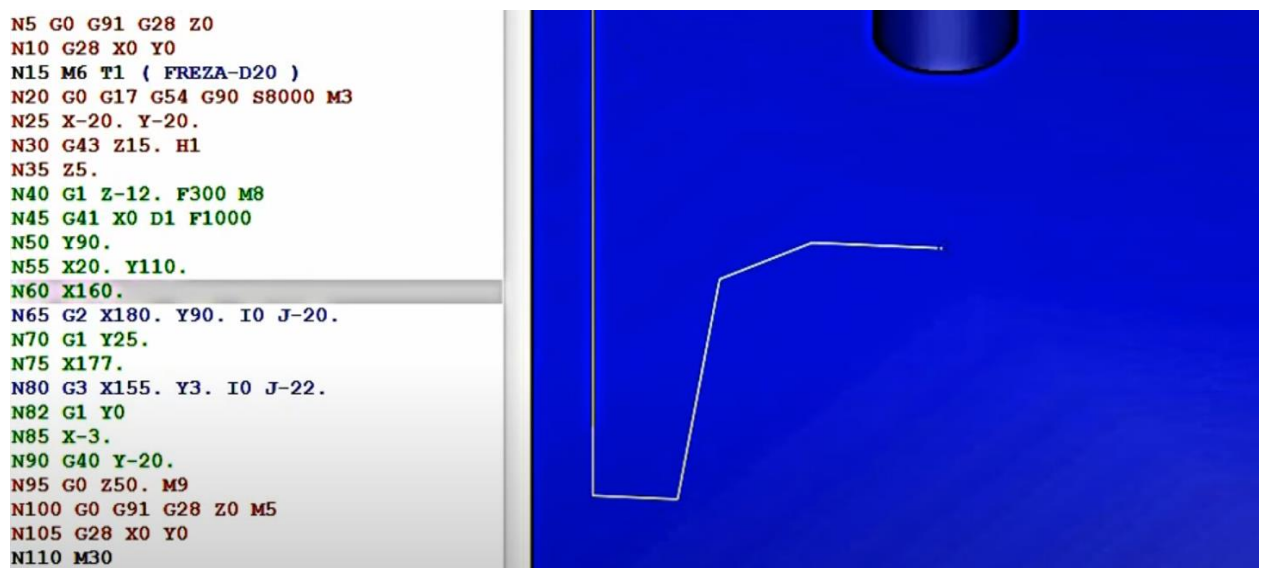


Рисунок 6.4 – Симуляція програми написаної в середовищі CIMCO Edit 8.10.07

Як видно з рис.6.4. сірим кольором відмічено той код який виконується в даний момент, тобто програма виконується покроково, кадр за кадром.

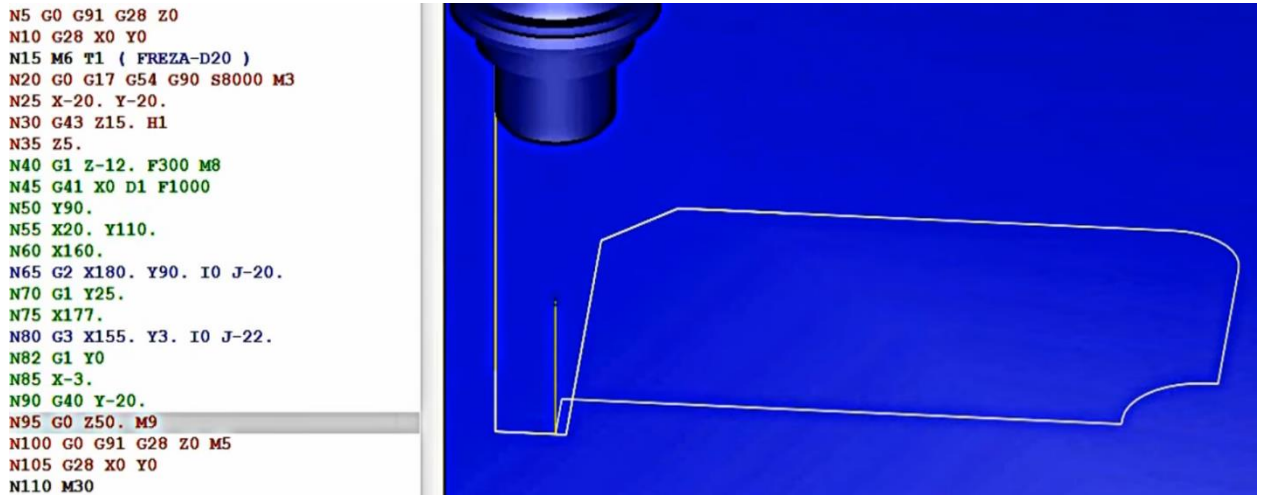


Рисунок 6.5 – Кінцевий етап симуляції програми в середовищі SIMCO Edit 8.10.07

Як видно з рис.6.5. написана програма відпрацьовує необхідну роботу над деталлю, а інструмент повертається в початкове положення. Всі виміри збережено і програма готова до виконання реальної роботи на фрезерному верстаті з ЧПУ FANUC.

ОХОРОНА ПРАЦІ

Безпека праці є надзвичайно важливою при роботі з фрезерним верстатом з ЧПУ.

Ось деякі ключові міркування щодо забезпечення безпечного робочого середовища:

- Навчання. Оператори повинні пройти всебічне навчання з безпечної експлуатації фрезерних верстатів з ЧПУ. Вони повинні бути знайомі з елементами керування верстатом, процедурами аварійної зупинки та протоколами безпеки.
- Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Оператори повинні носити відповідні ЗІЗ, такі як захисні окуляри, засоби захисту органів слуху та захисний одяг, щоб захиститися від потенційних небезпек, таких як летюча стружка, пил і шум.[15]
- Захист верстата: Фрезерні верстати з ЧПУ повинні бути обладнані належним захистом для запобігання доступу до рухомих частин під час роботи. Сюди входять дверцята, що блокуються, захисні екрани та бар'єри, що захищають операторів від обертових фрез і рухомих компонентів.
- Закріплення інструменту та заготовки. Належне закріплення заготовки та інструменту має важливе значення для запобігання нещасним випадкам, спричиненим викидом заготовки або поломкою інструменту. Оператори повинні дотримуватися рекомендованих процедур закріплення та фіксації заготовок та інструментів.
- Видалення пилу та стружки. Під час роботи фрезерні верстати з ЧПУ утворюють пил і стружку, які можуть становити небезпеку для органів дихання, а також створювати ризик посковзнутися або спіткнутися. Впровадження ефективних систем пиловидалення та регулярне прибирання робочої зони може мінімізувати ці ризики.
- Процедури аварійної зупинки та вимкнення. Оператори повинні бути ознайомлені з розташуванням і роботою кнопки аварійної зупинки. Необхідно розробити та довести до відома працівників чіткі процедури вимкнення машини в разі виникнення аварійних ситуацій або несправностей.[16]
- Технічне обслуговування та перевірка. Регулярне технічне обслуговування та огляд фрезерного верстата з ЧПУ мають вирішальне значення для забезпечення його безпечної роботи. Сюди входить перевірка на наявність ослаблених або пошкоджених компонентів, перевірка точності роботи захисних функцій і оперативне вирішення будь-яких проблем.
- Пожежна безпека. Фрезерні верстати з ЧПУ передбачають операції різання, які генерують тепло та іскри. Впровадження заходів пожежної безпеки, таких як

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

належне зберігання та поводження з легкозаймистими матеріалами, наявність вогнегасника та підтримка чистоти робочого простору, є вкрай важливим.

- Ергономіка. Ергономічне проектування робочого місця може допомогти запобігти повторюваним травмам від перенапруження та підвищити комфорт оператора. Слід враховувати такі фактори, як правильне сидіння, регульовані робочі місця та ергономічне поводження з інструментами.[17]
- Оцінка ризиків. Проведення ретельної оцінки ризиків, характерних для фрезерного верстата з ЧПК і його робочого середовища, може допомогти виявити потенційні небезпеки і впровадити відповідні заходи контролю.

Надаючи пріоритет безпеці праці та дотримуючись найкращих практик, оператори можуть мінімізувати ризик нещасних випадків, травм і небезпеки для здоров'я, пов'язаних з фрезерними верстатами з ЧПУ.

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У даному дипломному проєкті був розроблений фрезерний верстат з ЧПУ FANUC, призначений для виготовлення малих та середніх виробів. Цей верстат може обробляти різні матеріали, такі як дерево, пластмаса, акрил, алюміній, листовий метал та інші. Він ідеально підходить для невеликих підприємств малого та середнього бізнесу які потребують основного у випадку малих підприємств та додаткового обладнання в середніх та великих.

При розробці верстату були враховані загальні принципи побудови верстатів з ЧПУ, і були обрані ключові контури керування відповідної моделі. Були розроблені структурна схема, схема матеріальних та інформаційних потоків та функціональна схеми автоматизації верстату.

Також були обрані комплектуючі для механічної та електронної частини фрезерного верстату. Розроблена підсистема підтримки заданих робочих параметрів даної моделі верстату з ЧПУ, яка гарантує безвідмовну та надійну роботу верстату під час виготовлення виробів за рахунок підтримки температури робочих органів. Ця підсистема включає контури керування для підтримки температури крокових двигунів на заданому рівні, підтримки температури драйверів крокових двигунів на задному рівні, підтримки оптимальної температури охолоджуючої рідини та контролю її рівня. Алгоритм функціонування елементів підсистеми був реалізований за допомогою мікропроцесорного модуля STM32F103C8T6.

Для написання робочої команди було обране програмне забезпечення CIMCO Edit 8.10.07. Було написано програму фрезерування деталі з різними елементами в CIMCO Edit 8.10.07.

У розділі охорони праці запропоновано ряд заходів, спрямованих на запобігання впливу цих шкідливих факторів на оператора.

Таким чином, проєкт включає розробку фрезерного верстату з ЧПУ FANUC, його автоматизацію, вибір необхідних комплектуючих, розробку підсистеми підтримки робочих параметрів, встановлення програмного забезпечення та заходи з охорони праці. Цей проєкт відповідає потребам невеликих підприємств малого та середнього бізнесу.

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Малінін Є.Є., кер. роботи доц. КІТАМ Разумов-Фризюк Є.А КТ 2. Розробка конструкції фрезерного верстату з програмним управлінням. ПТ 2. Розробка механіки фрезерного верстата: дипломна робота, пояснювальна записка. Харків: ХНУРЕ, Кафедра Комп'ютерно-інтегровані технології, автоматизації та мехатроніка. , 2019. 77 с.
2. Ковальов В.А. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського., 2020. 7-21 с.
3. Малінін Є.Є. Автоматизація процесу фрезерування для верстатів з ЧПК: атестаційна робота, пояснювальна записка. Харків: ХНУРЕ, Кафедра Комп'ютерно-інтегровані технології, автоматизації та мехатроніка. , 2020. 33-35 с.
4. Ловыгин А.А., Теверовский Л.Д. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система/ДМК Пресс, 2018. 280 с.
5. Бабіченко А.К., В.І. Тошинський, В.С. Михайлов Промислові засоби автоматизації : Навч. посібник. Харків: НТУ "ХПІ", 2021 р.
6. Sigit Widiyanto. Rancang Bangun Training Kit CNC Mill 3 Axis Sebagai Materi Praktek CADCAM Di STT Duta Bangsa. Jurnal Sains & Teknologi (JUS TEKNO),2017 63 с.
7. Sandri. CNC (Computer Numerical Control) Engraver. Planet Elektrik. Bengkulu Triwardani, Dinda Hesti dkk. Analisis Overall EquipmentEffectiveness (OEE) dalam Meminimalisasi Six Big Losses Pada MesinProduksi Dual Filters,2017. 51 с.
8. Z. Mu, G. Zhang, Y. Ran, S. Zhang, and J. Li, “A Reliability Statistical Evaluation Method of CNC Machine ToolsConsidering the Mission and Load Profile,” IEEE. DOI: 10.1109/access.2019.2935622.
9. R. Wdowik, M. Magdziak, R. M. C.Ratnayake, and C. Borsellino,“Application of Process Parameters in Planning and TechnologicalDocumentation: CNC Machine Tools and CMMs Programming Perspective,” Procedia CIRP , vol. 78, pp. 43 – 48. DOI: 10.1016/j.procir.2018.09.054.
10. FANUC Серія 0i-МОДЕЛЬ D FANUC Серія 0i Mate-МОДЕЛЬ D: веб-сайт. URL: <https://stankomach.com/netcat files/94/62/h bb08d8107de479d055cc1f15562e6872> (дата звернення: 01.06.2023)
11. Числове програмне управління - основні характеристики: веб-сайт. URL: <http://sitelab-15.dss-bi.com.ua/index.php/statti/4-chyslove-prohramne-upravlinniaosnovni> -kharakterystyky (дата звернення: 01.06.2023)

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

12. Система числового програмного керування фрезерно-гравірувальним верстатом Левковський О.В. 2018 р. Дипломний проєкт: веб-сайт. URL:https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/download/123456789/68387/1/Levkovskyi_bak_rob.pdf (дата звернення: 01.06.2023)
13. Система ЧПУ FANUC призначення: веб-сайт. URL: <https://cam-program.ru/cnc/cnc-fanuc> (дата звернення: 01.06.2023)
14. Автономний контролер ddcс v3.1, 4 осі керування: веб-сайт. URL: <https://cnc.prom.ua/ua/p1060933404-avtonomnyi-kontroller-ddcs.html> (дата звернення: 01.06.2023)
15. Кроковий двигун NEMA43 110BYGH3150-5003A-19 (110HS150): веб-сайт. URL: <https://uamper.com/трёхфазный-гибридный-шаговый-двигатель-110BYGH3150-5003A-19> (дата звернення: 01.06.2023)
16. Цифровий драйвер крокового двигуна dm556d 5,6 а веб-сайт. URL: <https://cnc.prom.ua/ua/p445157486-tsifrovoj-drajver-shagovogo.html> (дата звернення: 01.06.2023)
17. Шпиндель SQD80-1.5LB-24K 1.5кВт: веб-сайт. URL:<https://uamper.com/Шпиндель-SQD80-1,5-квт-водяное-охлаждение-с-гайкой-er11-380в?search=Шпиндель&page=2> (дата звернення: 01.06.2023)
18. Датчик рівня рідини поплавцевий Kronos LS-100, нержавка сталь, магнітний сенсор, довжина 100 мм, 12-220 В 1 А: веб-сайт. URL: <https://tehbezpeka.ua/ua/p1685600491-datchik-urovnya-zhidkosti.html> (дата звернення: 01.06.2023)
19. Отладочная плата STM32F103C8T6: веб-сайт. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/stm32f103c8t6-board> (дата звернення: 01.06.2023)
20. CIMCO Edit 8 Releases: веб-сайт. URL: <https://www.cimco.com/software/cimco-edit/overview> (дата звернення 03.06.2023)

					СУ-91 6.151.16.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		