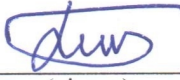


**Національний університет
Кораблебудування імені адмірала Макарова**

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

« 15 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Використання логічного контролера при модернізації
координатно-розточувального верстата Implementation of a PLC in the
Modernization of a Jig Boring Machine.

Виконав: студент групи 6371мз

Теплов Сергій Борисович

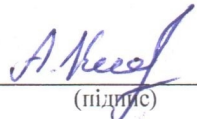
(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник асистент. каф. автоматики, к.т.н.,
Козлов А.Ю.

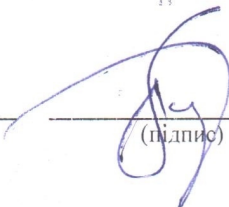
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

Рецензент доцент кафедри СЕЕС,
к.т.н., доцент Новогрецький С.М.

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



(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2025 року

АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі розглянуто питання модернізації системи керування координатно-розточувального верстата шляхом впровадження сучасного програмованого логічного контролера. Об'єктом дослідження є координатно-розточувальний верстат 2E450AФ1, оснащений штатною системою числового програмного керування «Електроніка НЦ-31», яка не повною мірою відповідає сучасним вимогам до точності, надійності та гнучкості керування.

Метою роботи є підвищення ефективності та надійності функціонування координатно-розточувального верстата за рахунок розробки та впровадження автоматизованої системи керування на базі програмованого логічного контролера *Mitsubishi Electric R08CPU* серії *MELSEC iQ-R*. У роботі проведено аналіз конструктивних і функціональних особливостей верстата, досліджено можливості штатної системи ЧПК та обґрунтовано доцільність її модернізації із застосуванням ПЛК.

У межах дослідження розроблено структурно-логічну схему магістерської роботи, обрано метод вирішення поставленої задачі, виконано аналіз функціональних можливостей програмованих логічних контролерів для верстатних систем керування. Наведено обґрунтування вибору ПЛК *Mitsubishi Electric R08CPU* та подано його основні технічні характеристики. Розглянуто процес тестування, налаштування і перевірки коректності роботи контролера.

Практична частина роботи містить розробку функціональної структури автоматизованої системи керування, побудову алгоритмів управління координатно-розточувальним верстатом 2E450AФ1 та приклади програмної реалізації. Окрему увагу приділено питанням охорони праці під час експлуатації модернізованого обладнання.

Результати роботи можуть бути використані при модернізації існуючих металорізальних верстатів, впровадженні сучасних систем автоматизації та в

навчальному процесі при підготовці фахівців у галузі автоматизованих систем керування.

Ключові слова: координатно-розточувальний верстат, автоматизована система керування, програмований логічний контролер, *Mitsubishi Electric*, *MELSEC iQ-R*, модернізація, ЧПК.

Об'єкт дослідження

Процес керування координатно-розточувальним верстатом 2E450AФ1 у системі автоматизованого управління.

Предмет дослідження

Методи, алгоритми та технічні засоби автоматизації системи керування координатно-розточувального верстата 2E450AФ1 із використанням програмованого логічного контролера *Mitsubishi Electric R08CPU* серії *MELSEC iQ-R*.

ABSTRACT

The master's thesis considers the issue of modernization of the control system of a coordinate boring machine by implementing a modern programmable logic controller. The object of the study is a coordinate boring machine 2E450AF1, equipped with a standard numerical control system "Electronics NTs-31", which does not fully meet modern requirements for accuracy, reliability and flexibility of control.

The purpose of the work is to increase the efficiency and reliability of operation coordinate boring machine by developing and implementing an automated control system based on the Mitsubishi Electric R08CPU programmable logic controller of the MELSEC iQ-R series. The work analyzes the design and functional features of the machine, investigates capabilities of the standard CNC system and the feasibility of its modernization using PLCs was substantiated.

Within the framework of the study, a structural and logical scheme of the master's thesis was developed, a method for solving the problem was selected, and an analysis of the functional capabilities of programmable logic controllers for machine tool control systems. The justification for the choice of the Mitsubishi Electric R08CPU PLC is given and its main technical characteristics are given. The process of testing, setting up and checking the correctness of the controller's operation is considered.

The practical part of the work includes the development of a functional structure automated control system, construction of control algorithms for the 2E450AF1 coordinate boring machine and examples of software implementation. Special attention is paid to issues of labor protection during the operation of the modernized equipment.

The results of the work can be used in the modernization of existing metal-cutting machines, the implementation of modern automation systems, and in the educational process when training specialists in the field of automated control systems.

Keywords: coordinate boring machine, automated control system, programmable logic controller, Mitsubishi Electric, MELSEC iQ-R, modernization, CNC.

Object of research

Control process of coordinate boring machine 2E450AΦ1 in automated control system

Subject of research

Methods, algorithms and technical means of automation of the control system of the coordinate boring machine 2E450AΦ1 using the Mitsubishi Electric R08CPU programmable logic controller of the MELSEC iQ-R series.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ.	9
1.1 Аналіз літературних джерел та технічних розробок за темою.....	9
1.2 Особливості конструкції та функціональних вузлів координатно-розточувального верстата 2E450AФ1	12
1.3 Опис штатного ЧПК верстата електроніка НЦ-31.....	29
Висновок за розділом	35
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	37
2.1 Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження.....	37
2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження.....	44
2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі дослідження.....	45
РОЗДІЛ 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КООРДИНАТНО-РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА.....	49
3.1 Аналіз функцій особливостей ПЛК для керування верстатом.....	49
3.2 Обґрунтування вибору <i>ПЛК Mitsubishi Electric R08CPU IQ-R CPU MELSEC IQ-R SERIES</i> та його технічні характеристики.....	59
3.3 Процес тестування та налаштування <i>ПЛК Mitsubishi Electric R08CPU IQ-R CPU MELSEC IQ-R SERIES</i>	72
Висновок за розділом	74
РОЗДІЛ 4 ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТОМ.....	76
4.1 Функціональна структура автоматизованої системи керування верстатом ...	76
4.2 Розробка та аналіз алгоритмів управління верстатом 2E450AФ1	82
4.3 Код програми.....	98
Висновок за розділом	107

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	108
5.1 Основні положення охорони праці.....	108
5.2 Аналіз небезпечно шкідливих для здоров'я людини факторів, характерних для робіт з координатно-розточувальним верстатом.....	110
5.3. Заходи щодо зменшення впливу шкідливих та небезпечних факторів на виробництві.	114
Висновок за розділом	118
Висновок	119
Список використаних джерел.....	120
Додаток А. Мультимедійна презентація.....	122

ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудування та металообробної промисловості супроводжується підвищенням вимог до точності, надійності й продуктивності технологічного обладнання. Важливу роль у забезпеченні цих вимог відіграє автоматизація систем керування металорізальними верстатами, зокрема координатно-розточувальними верстатами, які застосовуються для високоточної обробки деталей.

Значна частина координатно-розточувальних верстатів, що експлуатуються на підприємствах, оснащена застарілими системами числового програмного керування, які обмежують функціональні можливості обладнання та не відповідають сучасним вимогам. До таких систем належить ЧПК «Електроніка НЦ-31», встановлена на координатно-розточувальному верстаті 2E450AФ1. При збереженні задовільного технічного стану механічної частини верстата виникає необхідність модернізації саме системи керування.

Ефективним способом оновлення таких систем є використання програмованих логічних контролерів, які забезпечують гнучкість програмування, високу надійність і широкі діагностичні можливості. У даній магістерській роботі розглянуто модернізацію системи керування координатно-розточувального верстата 2E450AФ1 із застосуванням програмованого логічного контролера *Mitsubishi Electric R08CPU серії MELSEC iQ-R*.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування координатно-розточувального верстата шляхом розробки та впровадження автоматизованої системи керування на базі сучасного ПЛК. Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості їх використання під час модернізації існуючих металорізальних верстатів та в навчальному процесі з автоматизації виробництва.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТА ОПИС ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Аналіз літературних джерел і сучасних розробок за темою

Автоматизація систем керування верстатами є важливим напрямом у сучасному машинобудуванні, який дозволяє підвищити точність, продуктивність та зменшити вплив людського фактору на процес обробки матеріалів. Особливе місце в автоматизації займають координатно-розточувальні верстати, які використовуються для виконання різноманітних розточувальних і фрезерувальних операцій на металі. Автоматизація таких верстатів дозволяє значно скоротити час налаштування і змінюваності інструментів, що є важливим аспектом у процесах масового виробництва.

Сучасні тенденції в автоматизації верстатів зводяться до застосування числового програмного керування (ЧПК) і використання програмованих логічних контролерів (ПЛК), що дозволяє здійснювати точне управління робочими операціями. Технології ЧПК дають змогу автоматично налаштовувати верстат під різні типи обробки, зменшуючи час на налаштування, а також, ПЛК забезпечують ефективну інтеграцію з іншими компонентами автоматизованої виробничої лінії, що дозволяє досягти високого рівня синхронізації між різними процесами виробництва [1].

У останні роки з'явилися нові розробки в галузі автоматизації, що використовують новітні технології в області робототехніки, сенсорних систем і штучного інтелекту. Використання роботів-маніпуляторів у поєднанні з ЧПК дозволяє автоматизувати процеси, які раніше вимагали залучення оператора. Застосування сенсорних систем дає змогу здійснювати моніторинг стану інструментів та їх зношування, що дозволяє своєчасно проводити технічне обслуговування. Розробка адаптивних ПЛК-систем з підтримкою інтелектуальних

алгоритмів дозволяє автоматично підлаштовувати робочі параметри під конкретні умови обробки, знижуючи кількість дефектів у продукції.

Основними проблемами, які виникають при автоматизації координатно-розточувальних верстатів, є складність інтеграції різних елементів системи

(шпиндель, поворотний стіл), потреба у висококваліфікованих кадрах для налаштування і обслуговування таких систем.

Проте науково-технічний прогрес дозволяє вирішувати ці проблеми через розвиток мікропроцесорних технологій, зниження вартості сенсорного обладнання та вдосконалення програмного забезпечення для автоматизованих систем.

Використання новітніх технологій у поєднанні з традиційними методами обробки дозволяє не лише значно підвищити ефективність виробництва, але й забезпечити високу якість продукції, знизивши при цьому витрати на обслуговування і налаштування верстатів. У результаті, розробка та впровадження автоматизованих систем керування координатно-розточувальними верстатами є важливим напрямом для досягнення високої конкурентоспроможності підприємств в умовах сучасного виробництва.

Сучасні автоматизовані системи керування розточувальними верстатами часто інтегруються з іншими системами автоматизації виробництва, такими як системи планування виробничих процесів (*ERP*), системи моніторингу та діагностики, а також зберігання та обробка даних через інтернет речей (*IoT*). Це дозволяє забезпечити більш ефективне управління виробничими лініями, зменшити час на переналаштування обладнання та знизити рівень людських помилок.

Інтеграція ПЛК з виробничими системами, такими як *ERP*, дозволяє досягти високої гнучкості у плануванні та оптимізації виробничих процесів. Крім того, поєднання таких систем з інформаційними технологіями дозволяє отримати актуальну інформацію про стан обладнання та виконувати операції, що підвищує рівень моніторингу й управління процесом обробки [2].

Штучний інтелект (ШІ) і машинне навчання (МН) стають невід'ємною частиною сучасних автоматизованих систем. Використання цих технологій дозволяє здійснювати прогнозування зношування інструментів, визначати оптимальні параметри обробки для кожного конкретного завдання, а також адаптувати систему до змінних умов роботи. Завдяки алгоритмам МН, системи керування верстатами можуть самооптимізуватися на основі зібраних даних, покращуючи точність виконання робіт та підвищуючи ефективність виробництва.

Застосування ШІ також дозволяє автоматизувати складні процеси планування технічного обслуговування та ремонту верстатів, знижуючи витрати та час простоїв. Інтелектуальні системи здатні адаптувати робочі параметри залежно від аналізу стану інструментів, зменшуючи ризик поломок та несправностей.

Моделювання є важливим інструментом для розробки та тестування автоматизованих систем керування. За допомогою комп'ютерного моделювання можна створювати віртуальні копії верстатів, що дозволяє протестувати роботу системи без необхідності фізичного налаштування обладнання. Це значно знижує витрати на етапі розробки та дозволяє прогнозувати ефективність системи в різних умовах роботи.

Віртуальні сервіси та системи віртуальної реальності (AR) також використовуються для навчання персоналу та проведення технічного обслуговування. Віртуальні тренажери дозволяють операторам освоювати роботу з новими автоматизованими системами без ризику для обладнання або виробничого процесу.

Одним з важливих аспектів автоматизації розточувальних верстатів є технологія зміни інструментів. Високотехнологічні механізми для зміни інструментів забезпечують швидке та точне переміщення інструментів на робочий орган верстата. Останні інновації включають використання сенсорних технологій для автоматичного виявлення позиції інструменту, що дозволяє підвищити точність зміни інструментів та знизити ймовірність помилок.

Розвиток 5G технологій і технологій бездротового зв'язку дозволить створювати високошвидкісні системи передачі даних між обладнанням і комп'ютерними системами, що в свою чергу сприятиме більш ефективному управлінню та моніторингу виробничих процесів в реальному часі. Це відкриває нові можливості для інтеграції системи керування верстатами з іншими елементами цифрових виробничих ліній, такими як системи контролю якості

1.2 Особливості конструкції, та функціональних вузлів координатно-розточувального верстата 2E450AФ1

Координатно-розточувальний верстат – це прецизійне обладнання для точного позиціонування та обробки отворів, а також фрезерування та розмічувальних робіт, що використовується для дрібносерійного виробництва високоточних деталей. Основне призначення - досягнення високої точності взаємного розташування отворів, що може досягати 0,005-0,01 мм.

Верстати з горизонтально-розточувальною обробкою, використовуються для обробки великих деталей і мають горизонтальне розташування шпинделя, що дозволяє обробляти габаритні заготовки.

Плюси: Висока точність при обробці великих деталей, горизонтальна орієнтація шпинделя для зручності роботи з масивними заготовками.

Мінуси: Можуть мати вузьку спеціалізацію, що обмежує діапазон робіт, що виконуються.

Верстати з поворотними столами: Дозволяють обробляти отвори в полярній системі координат, виконувати похилі та взаємно перпендикулярні отвори.

Плюси: Широкі можливості обробки – від звичайних до похилих отворів.

Мінуси: Вимагають додаткового налаштування поворотного столу, що може збільшити час циклу.

Верстати для високоточного роточування отворів у корпусних деталях та пристроях.

Плюси: Висока точність позиціонування інструменту, можливість контролю відхилень на готову деталь.

Мінуси: Вимагають високої кваліфікації оператора, що збільшує витрати на персонал.

Загальні відомості про станок 2E450AФ1

Верстат координатно-розточуваний одностійковий з цифровою індикацією (УЦІ). Серійне виробництво координатно-розточувального верстата 2E450AФ1 почалося 1980 року. Модель 2E450AФ1 прийшла на зміну верстату 2Д450.

Одностоечні верстати: мають хрестовий стіл, призначений для переміщення заготовки у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Для забезпечення більш точної відстані між центрами отворів координатно-розточувальні верстати повинні бути встановлені в окремих приміщеннях, в яких завжди необхідно підтримувати постійну температуру $+20^{\circ}$ з відхиленням не більше ніж $\pm 1^{\circ}$.

Вимір відстані між осями отворів можна здійснити за допомогою:

- жорстких та регульованих кінцевих заходів, що застосовуються у поєднанні з індикаторними пристроями
- точних ходових гвинтів з лімбами та ноніусами
- точних масштабів у поєднанні з оптичними приладами
- індуктивних прохідних гвинтових датчиків

За першим способом вимірюють набором кінцевих заходів та штихмасом. Вони розташовуються між рухомим упором, встановленим на столі, та штифтом індикатора, встановленого на нерухомій стійці.

За другим способом вимірюють за допомогою точно виготовлених ходових гвинтів, призначених для переміщення столу та інших частин. Величину переміщення відраховують лімб з ноніусом. Для усунення помилок ходового

гвинта часто застосовують корекційні лінійки, які через важільну систему виробляють додаткове переміщення столу.

Відлік вимірювання за третім способом здійснюється за дуже точним масштабом, що спостерігається через мікроскоп. Масштабом служить дзеркальний сталевий вал з нанесеною на поверхні гвинтовою тонкою ризиком з кроком $t = 2$ мм або у вигляді плоскої дзеркальної шкали. Перевагою цього способу вимірювання є відсутність зношування дзеркального валу або дзеркальної шкали, які не використовуються для пересування столу.

Четвертий спосіб вимірювання із застосуванням індуктивних гвинтових прохідних датчиків забезпечує можливість дистанційного менш стомлюючого спостереження стрілки та шкали електроіндикатора.

Координатно-розточувальний верстат 2E450AФ1 (2E450AФ1-1) призначений для обробки отворів з точним розташуванням осей, розміри між якими задані в прямокутній системі координат чистового та напівчистового фрезерування площин, розташованих уздовж осей X і Y торцевими та кінцевими фрезами.

Поворотні столи, що поставляються зі верстатом, дозволяють проводити обробку отворів, заданих в полярній системі координат, а також взаємно перпендикулярних і розташованих під різними кутами отворів і площин.

Верстат обладнаний оптичними екранними відліковими пристроями, що дозволяють відраховувати цілу та дрібну частини координатного розміру. В умовах нормальної експлуатації верстат забезпечує точність встановлення міжцентрових відстаней у прямокутній системі координат – 0,004 мм та у полярній системі – 5 кутових секунд. Точність відстаней між осями отворів, оброблених у нормальних для координатного розточування умовах, 0,006 мм.

Встановлення осі отвору на виробі щодо осі шпинделя на необхідну координату здійснюється рухом столу або санок, переміщення яких контролюється спеціальним оптичним пристроєм.

Останнє базується на точних лінійках, що закріплюються в одному випадку на столі (рухлива лінійка), в іншому – на станині (нерухома лінійка). Лінійка столу має 1000 високоточних поділів через 1 мм, лінійка станини - 630 поділів. Штрихи поділів проектується на матовий екран із 75-кратним збільшенням. Для оцінки сотих часток одного інтервалу лінійки на поверхні екрана є шкала зі 100 поділами. Для отримання великої точності відліку на екрані є додаткова шкала, що дозволяє робити відлік до 0,001 мм.

Обертання шпинделя здійснюється від регульованого електроприводу змінного струму через триступінчасту коробку швидкостей. Подачі шпинделя здійснюються безступінчасто за допомогою фрикційного варіатора. Є механізм автоматичного вимкнення подачі шпинделя на заданій глибині.

У верстаті 2E450AФ1 передбачені ручний затискач столу, санчат і шпиндельної бабки.

Верстат має пристрій попереднього набору координат. Фрезерування можна проводити як при ручному керуванні верстатом, так і з використанням попереднього пристрою набору координат.

Конструктивні особливості верстата

- Встановлення потужнішого приводу головного руху
- Збільшення жорсткості корпусних деталей приводів столу та санок
- Застосування потужніших приводів подачі
- Розширення діапазону робочих подач та частоти обертання шпинделя
- Застосування пристрою попереднього набору координат (УПНК), що дозволяє скоротити час позиціонування столу та санок
- Виконання приводів подач з кульковою гвинтовою парою як кінцева ланка
- Привід переміщення столу та санок здійснюється від регульованих високомоментних електродвигунів постійного струму, які допускають широкий діапазон регулювання швидкості

-Відлікова система верстата – екранна оптична з точними скляними масштабами. Виносне обладнання пов'язане зі станком готової електропроводки зі штепсельними роз'ємами.

Наявність на верстаті шестишпіндельної револьверної голівки для автоматичної зміни інструменту, хрестового столу з програмним керуванням дає змогу здійснювати координатну обробку деталей типу кришок, фланців, панелей без попереднього розмічання і застосування кондукторів.



Рисунок 1.1- Кординатно-розточувальний верстат 2E450Ф1

Модель дослідження 2E450Ф1 є високоточним обладнанням і має низку конструктивних особливостей, спрямованих на забезпечення точності, жорсткості та автоматизації обробки.

Станина (База):

Жорстка чавунна конструкції, часто коробчастого типу, що забезпечує високу вібростійкість і геометричну точність, служить основою для всіх інших вузлів, забезпечуючи їхнє точне взаємне розташування.

Стійка (Колона):

Вертикальна конструкція, що несе шпиндельну бабку. Має високу жорсткість для мінімізації відхилень інструменту під час розточування. На ній розташовані прецизійні напрямні для вертикального переміщення шпиндельної бабки.

Шпиндельна Бабка:

Один із ключових вузлів, що забезпечує головний рух (обертання шпинделя) і подачу (переміщення по осі Z). Шпиндель виготовлений з високоякісної сталі, має високу точність виготовлення і встановлений на прецизійних підшипниках (наприклад, роликових або гідростатичних) для забезпечення мінімального радіального та осьового биття. Це критично для точності розточування. Має механізм плавного регулювання швидкості обертання шпинделя в широкому діапазоні, що дозволяє оптимізувати режими різання.



Рисунок 1.2 – Шпиндель координатно-розточувального верстата

Шпиндель, є ключовим компонентом, який виконує дві основні функції:

Головний рух (обертання): шпиндель забезпечує обертання різального інструменту (наприклад, розточувальної головки, свердла, фрези). Швидкість обертання може регулюватися через коробку швидкостей або привод для забезпечення оптимальних режимів різання.

Рух подачі (вертикальне переміщення): шпиндель, часто через гільзу (піноль), має можливість осьового (вертикального) переміщення відносно заготовки. Цей рух забезпечує подачу інструменту в матеріал для свердління, розточування або фрезерування на задану глибину.

Координатний стіл:

Складається з двох перпендикулярно розташованих супортів обидва вузли встановлені на жорсткій станині (нижній — рух по осі Y, верхній — по осі X). На ньому встановлюється оброблювана деталь. Стіл оснащений прецизійними напрямними для забезпечення високої точності позиціонування та плавності ходу (часто з антифрикційним покриттям, як-от фторопласт чи спеціальні сплави) або високоточні роликові напрямні (наприклад, ковзання з антифрикційним покриттям або роликовими) та точними гвинтовими парами (кулькові гвинтові пари - КГП), що забезпечують надточне позиціонування деталі. Вимірювальні системи для контролю переміщень по осях X та Y використовуються оптичні лінійки, або індуктивні перетворювачі, які забезпечують високу точність відліку координат. Хід стола забезпечує точне позиціонування заготовки, що важливо для виконання точних операцій. Револьверна головка має кілька посадочних місць для різних інструментів, що дозволяє значно зменшити час на переналаштування та підвищити ефективність виробництва. Механізм подачі забезпечує автоматичну подачу для здійснення свердління та інших операцій. Точність обробки забезпечується за рахунок високої жорсткості та стабільності конструкції верстата, що дозволяє досягати високої точності розміщення отворів [7].

На підставі (станині) 1 Верстата розміщені санки 2 хрестового столу, що має телескопічний захист направляючих. По вертикальним напрямним колони

переміщається шпіндельна бабка, на якій змонтована шестишпіндельна револьверна головка, що дозволяє здійснювати автоматичну зміну інструменту за програмою, що управляє. Для прискорення ручної заміни інструменту в револьверній головці передбачено спеціальний випресувальний пристрій.

Короткий опис координатно-розточувального верстата.

Підставою верстата служить лита станина, що спирається на фундамент однією нерегульованою опорою, розташованою під задньою частиною станини, і двома регульованими опорами, що знаходяться під передньою частиною станини.

За двома плоскими та однією середньою призматичною направляючою станини на роликах, укладених у сепараторах, переміщуються санки 2.

Стіл переміщається по плоскій і призматичній напрямних санок також на роликах.

Стіл та санки переміщуються за допомогою кулькових гвинтів, які наводяться в обертання від електродвигунів постійного струму.

На передній стінці санок змонтовані екрани поздовжнього та поперечного ходів та пульт управління. Оптичні пристрої розташовані всередині санчат, а скляні масштабні лінійки закріплені одна на станині, а інша на столі.

На станині встановлена вертикальна стійка 7 із укріпленням на ній блоком 4 напрямних. По двох вертикальних призматичних напрямних блоку переміщається шпіндельна коробка II.

На блоці напрямних зверху закріплені двоступінчаста коробка 6 швидкостей і редуктор 5 подачі гільзи і шпіндельної коробки. Коробка швидкостей та редуктор з'єднані зі шпіндельною коробкою шліцевими валами.

Електродвигун приводу шпинделя розташований на стійці ззаду і з'єднаний з коробкою швидкостей клинопасової передачею.

Електродвигун приводу подачі гільзи та переміщення шпіндельної коробки розташований поруч із коробкою швидкостей і з'єднаний з редуктором клинопасової передачею.

У середині блоку, 4 напрямні розташовані два пневмоциліндри затиску шпиндельної коробки.

У шпиндельній коробці II переміщується шпиндель 10. Переміщення шпинделя може здійснюватися за допомогою рукояток швидкого переміщення або тонким маховиком подачі вручну або механічно. У шпиндельній коробці є пристрій відключення подачі на заданій глибині.

Між вимірним штифтом індикатора і площиною лапки встановлюється набір кінцевих заходів, що відповідає заданому розміру.

При фрезеруванні площин і підрізування торців гільза шпинделя повинна бути закріплена. Для цієї мети служить хомут, що стягується гвинтом і розташований у місці виходу гільзи з корпусу коробки шпиндельної.

Врівноваження шпиндельної коробки та гільзи здійснюється двома вантажами, розташованими у стійці верстата.

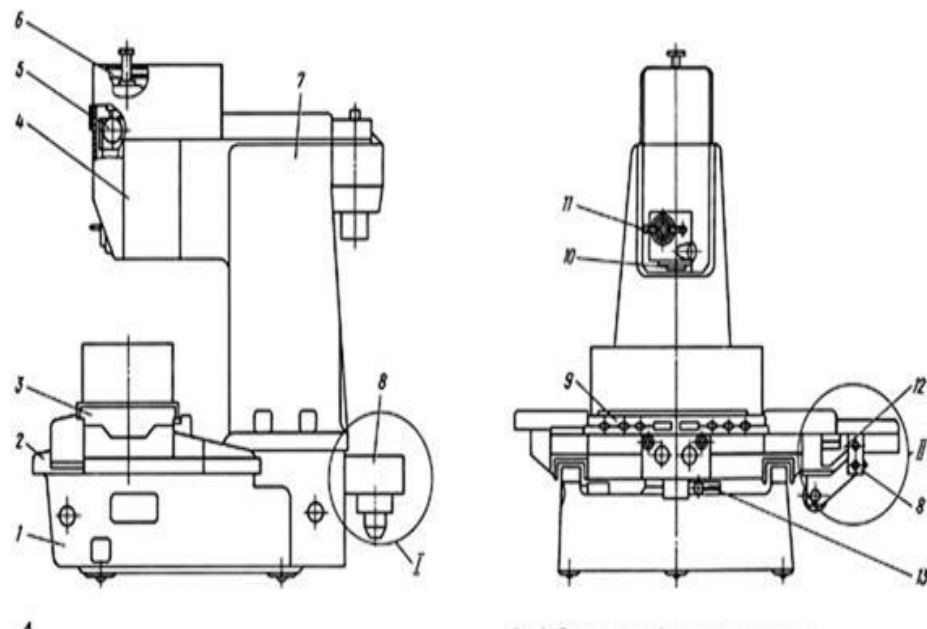


Рис 1.3 - Основні вузли координатно-розточувального верстата 2E450АФ1
Розташування основних вузлів верстата 2E450АФ1

1. Станіна – 2E450АФ1.100

2. Санки - 2Е450АФ1.110
3. Стіл - 2Е450АФ1.110
4. Блок напрямних - 2Е450АФ1.210
5. Редуктор подачі гільзи та шпиндельної коробки - 2Е450АФ1.220
6. Коробка швидкостей – 2Е450АФ1.300
7. Стійка - 2Е450АФ1.200
8. Редуктор приводу столу та санок - 2Е450АФ1.120
9. Пульти управління – 2Е450АФ1.115
10. Коробка - 2Е450АФ1.400
11. Гвинт переміщення столу – 2Е450АФ1.112
12. Гвинт переміщення санок - Шпіндель - 2Б450АФ1.411
13. Шпиндельна 2Е450АФ1.102

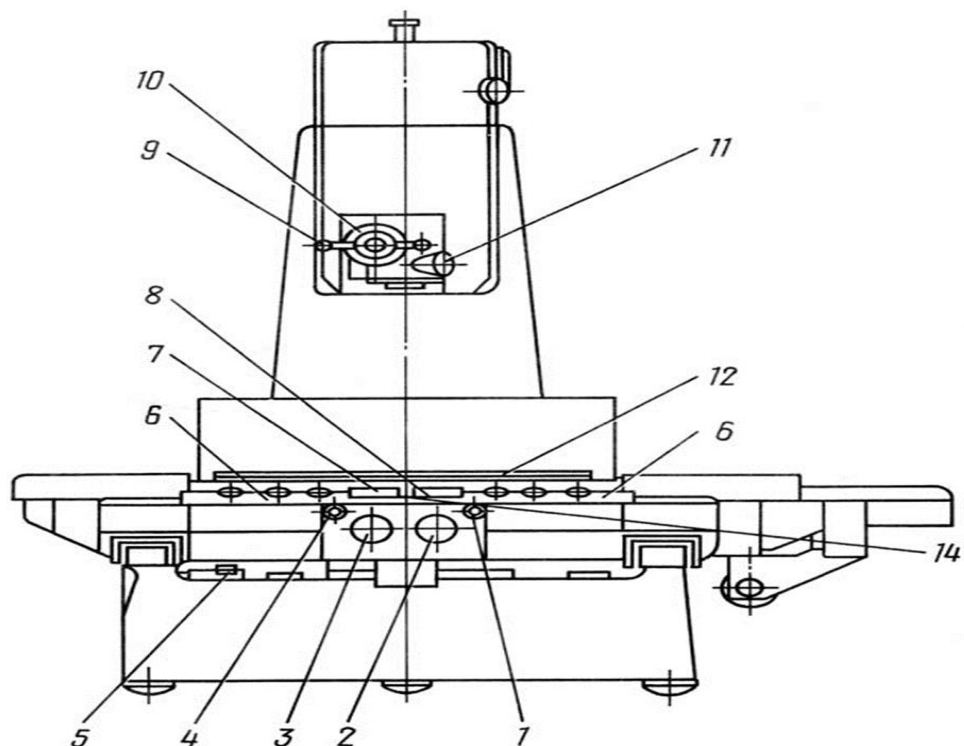


Рис.1.4 - Розташування органів управління координатно-розточувального верстата 2Е450АФ1

Перелік органів управління координатно-розточувального верстата 2Е450АФ1

1. Ручка мікрометричної шкали столу
2. Ручка приведення відліку оптичної системи до нуля
3. Ручка приведення відліку оптичної системи санок до нуля
4. Ручка мікрометричної шкали санок
5. Грубий масштаб санок
6. Пульт керування верстатом (див. мал.4)
7. Оптичний екран санок
8. Оптичний екран столу
9. Рукоятки прискореного переміщення шпинделя
10. Лімб вертикального переміщення гільзи та відключення подачі на заданій глибині
11. Маховичок тонкої подачі шпинделя
12. Грубий масштаб столу
13. Панель керування шафи (див. мал.5)
14. Маховик точного переміщення столу, санок

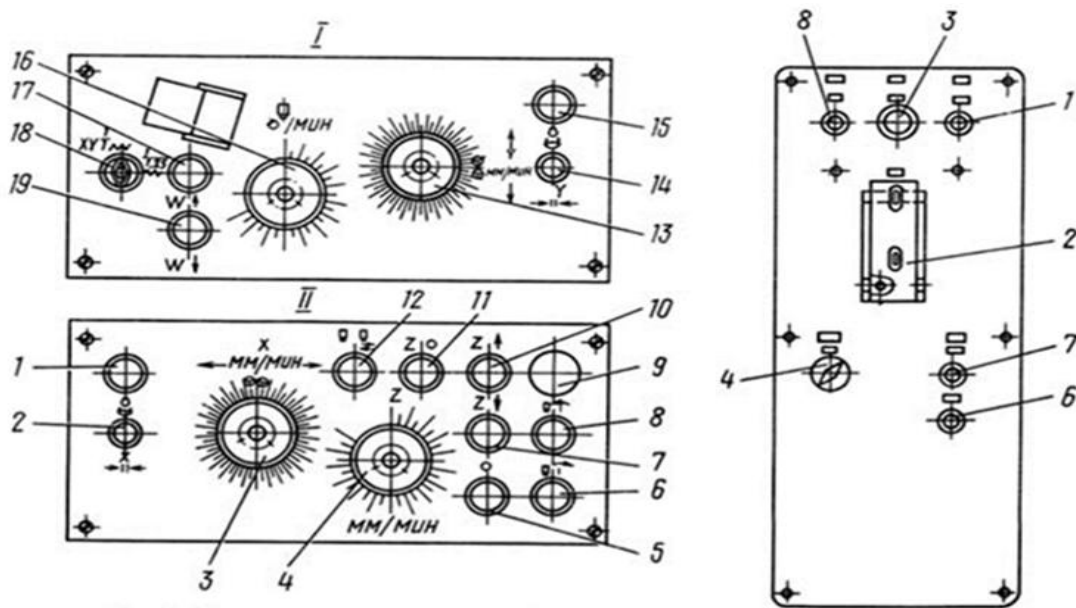


Рис. 1.5 - Пульт управління координатно-розточувальним верстатом 2E450АФ1

Перелік органів керування на пульті керування верстатом

1. Кнопка увімкнення підсвічування оптичного пристрою столу
2. Лампа, що сигналізує про затискання столу
3. Регулятор швидкості руху столу
4. Регулятор швидкості подачі гільзи
5. Кнопка "Стоп" обертання шпинделя
6. Кнопка увімкнення правого обертання шпинделя
7. Кнопка увімкнення переміщення гільзи вниз
8. Кнопка увімкнення лівого обертання шпинделя
9. Кнопка "Загальний стоп"
10. Кнопка увімкнення переміщення гільзи вгору
11. Кнопка "Стоп" переміщення гільзи
12. Кнопка зміни інструменту
13. Регулятор швидкості руху санок
14. Лампа, що сигналізує про затискання санок
15. Кнопка увімкнення підсвічування оптичного пристрою санчат
16. Регулятор числа обертів шпинделя
17. Кнопка увімкнення переміщення шпиндельної коробки вгору
18. Перемикач збільшення швидкості переміщення столу та санок
19. Кнопка увімкнення переміщення шпиндельної коробки вниз

Список органів керування на шафі керування верстатом.

1. Сигнальна лампочка "Верстат під напругою"
2. Вступний вимикач верстата
3. Лампа, що сигналізує про наявність тиску в пневмережі
4. Вимикач освітлення електрошаф.

5. Кнопка підготовки верстата

6. Лампа, що сигналізує про те, що верстат до роботи не підготовлений.

7. Лампа аварійного захисту

Перелік графічних символів, що застосовуються на координатно-розточувальному верстаті 2E450АФ1

Символи на панелі керування (кнопки, індикатори):

- Напрямок руху: Стрілки (вгору, вниз, ліворуч, праворуч) для переміщення осей X, Y, Z; символи для подачі (feed), шпинделя (spindle).
- Керування шпинделем: Символ обертання (коло з вектором), «Вперед» (Fwd), «Назад» (Rev), «Стоп» (Stop, червоний круг).
- Керування подачею: Символи «подача» (Feed), «рух» (Jog), «NC-рух» (NC-run).
- Режими роботи: «Ручний» (Manual), «Автоматичний» (Auto), «Нуль деталі» (Part Zero), «Програма» (Program).
- Індикатори: Лампочки-індикатори стану, помилок (Error), роботи (Run).

Символи G-кодів та M-кодів (на екрані ЧПК): Це програмні команди, які відображаються, коли верстат виконує цикл, але можуть мати візуальні еквіваленти чи асоціації.

- G-коди (Геометричні): G00 (швидке переміщення), G01 (лінійна інтерполяція), G02/G03 (кругова інтерполяція), G90/G91 (абсолютна/інкрементальна система координат).
- M-коди (Допоміжні): M03/M04 (увімк. шпинделя), M05 (вимк. шпинделя), M08 (увімк. СОЖ), M09 (вимк. СОЖ).

Символи на шкалах та лімбових вимикачах:

- Знаки "+/-" для осей.

- Символи одиниць вимірювання (мм, дюйми).

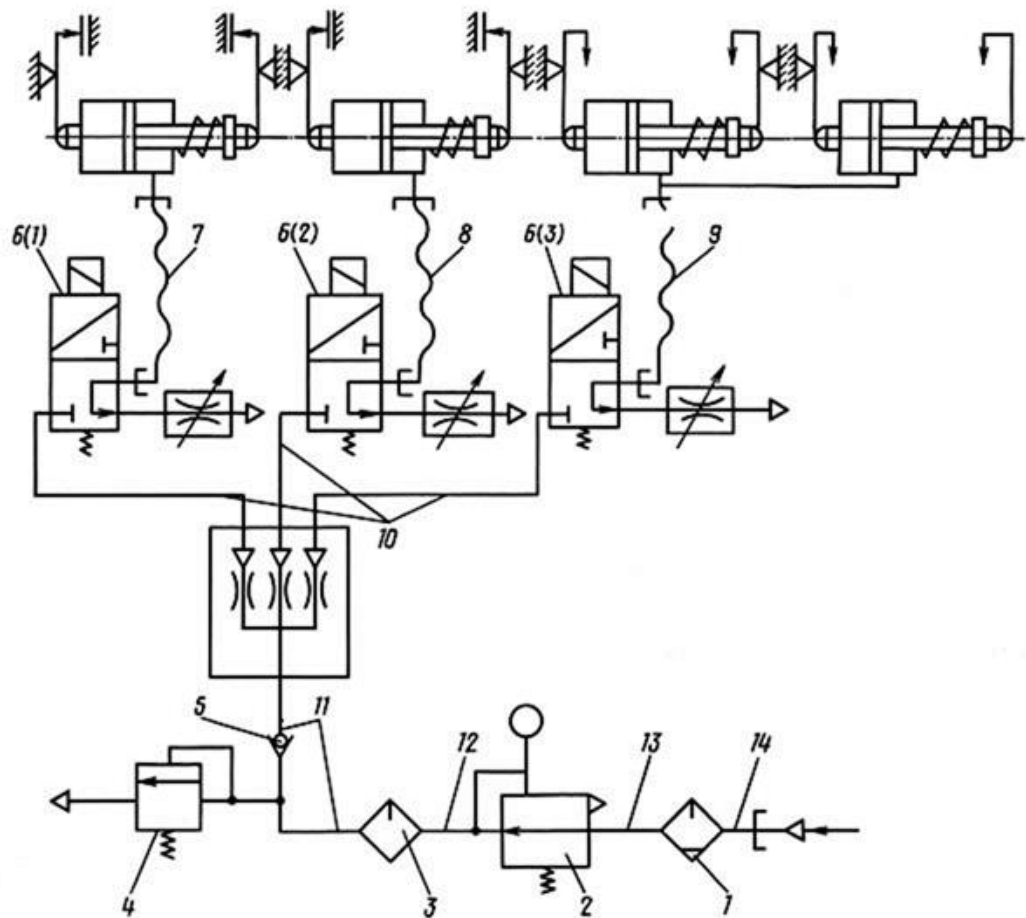


Рис. 1.6 - Пневмосистеми координатно-розточувального верстата 2Е450АФ1

Затискач столу, санок та шпіндельної коробки здійснюється зусиллям пружин через важільну систему. Для розтискання використовуються уніфіковані пневмоциліндри.

Таблиця 1.1 Технічні характеристики координатно-розточувального верстата 2Е450АФ1 .

Параметри	2E450A	2E450AФ1
Основні параметри станка		
Найбільший діаметр свердління металу 45, мм	30	30
Найбільший діаметр розточки в металі 45, мм	10..250	10..250
Відстані від краю стола до шпинделя , Нм\Нб мм	200..770	200..770
Відстань від осі шпинделя до стійки мм	710	710
Робочий стіл і солазки		
Робоча поверхня стола, мм	1120 x 630	1120 x 630
Найбільша вага заготовки для обробки, кг	600	600
Найбільше переміщення столу, мм	1000 x 630	1000 x 630
Швидкість переміщення столу і солазок, мм/мин	1,6..7000	1,6..7000
Швидкості переміщення столу і солазок	32	32
Число Т- образних пазов на столі	7	7
Вимикаючи упори столу і солазок	так	так
Шпиндель. Шпиндельна коробка		
Чистота обертання шпинделя , об/хв	10..2000	10..2000
Число швидкостей шпинделя, об/мин	24	24
Діаметр передньої опори шпинделя, мм	80	80
Найбільша вертикаль (хід) перемещення гільзи шпинделя (ручне, механічне), мм	260	260

Найбільше вертикальне переміщення шпиндельної коробки (початкове), мм	310	310
границі робочих подач шпинделя, мм/мин	1,2..1000	1,2..1000
Число робочих подач шпинделя	30	30
Внутрішній конус шпинделя	7:24	7:24
Наибольший конус робочого інструменту	Морзе 4	Морзе 4
Закріплення шпиндельної коробки на направляючих	Пневмо	Пневмо
Запобіжник перевантаження механізму подачі	так	так
Швидкість переміщення шпиндельної коробки, мм/мин	3150	3150
Показники точності верстата		
Спосіб відліку координат та розмірів по екрану	оптичний	оптичний
рострова сітка встановлення координат, мм	0,001	0,001
Точність лінійних координат перемещення столу і солазок, мм	0,006	0,006
Точність міжосевих відстаней отворів після обробки, мм	0,01	0,01
Точність геометричної форми отвору: поперечному розрізі, мм	0,004	0,004
Точність геометричної форми отвору: в будь якому розрізі, мм	0,006	0,006
Шорхуватість обробленої поверхні, мм	Ra 1.25	Ra 1.25

Точність попереднього набору координат в режимі "Грубо", мм	-	0,01
Точність попереднього набору координат в режимі "Чітко", мм	-	0,001
встановлення координат з УЦИ в режимі "Грубо" з підходом з однієї сторони, мм	-	0,08
Встановлення координат з УЦИ в режимі "Точно" з підходом з однієї сторони, мм	-	0,008
Привод		
Кількість електродвигунів на верстаті	6	6
Електродвигун приводу головного руху, кВт	7,2	7,2
Електродвигун приводу переміщення гільзи шпинделя і шпиндельної коробки, кВт	0,75	0,75
Електродвигун приводу переміщення столу та солазок, кВт	1,0	1,0
Електродвигун приводу каретки фотодатчика, кВт	0,013	0,013
Електродвигун змащування та механізм перемикання швидкостей, кВт	0,01	0,01
Електронасос охолодження Тип	0,125	0,125
Габарит верстата		
Розміри верстата (довжина x ширина x висота), мм	3600 x 3000 x 3000	3600 x 3000 x 3000
Вага верстата, кг	9200	9200

1.3 Опис штатного ЧПК верстату.

Тип та система контурно-позиційного, або позиційного керування для координатно-розточувальних верстатів головна функція — точне позиціонування осі шпинделя (осі Z) відносно заготовки в площині стола (осі X та Y). Керування осей зазвичай здійснювалося по трьох осях (X, Y, Z), але основна точність забезпечувалася по X та Y.

Точність позиціонування верстата 2E450AФ1 відноситься до класу точності А, що забезпечує високу точність установки міжцентрових відстаней (до 0,006 мм, при ручному керуванні). Система ЧПК мала підтримувати цю високу точність.

У вимірювальних системах верстата 2E450AФ1 часто використовувалися дві рівноцінні вимірювальні системи: оптична, базувалася на точних скляних масштабах і оптичних відлікових пристроях (для контролю та ручного позиціонування). Електронна (для ЧПК): використовувалися прецизійні датчики переміщення, (наприклад, індуктосини або лінійні енкодери типу ЛІР-9 у пізніх модифікаціях/модернізаціях) для зняття координат і передачі їх до системи ЧПК. Приводи для осей X та Y використовувалися прецизійні електроприводи постійного струму (наприклад, двигуни постійного струму) з високим регулюванням швидкості, що забезпечувало точне мікропереміщення. Система ЧПК мала блок індикації, що відображав поточні координати осей X, Y, Z. Система ЧПК дозволяла автоматизувати цикл обробки, виконуючи послідовність операцій (позиціонування, свердління, розточування) згідно з програмою, записаною на перфострічці або введеній вручну. Часто верстати 2E450AФ1 називають верстатами з ПЦІ (Пристрій Цифрової Індикації). ПЦІ — це не повноцінна ЧПК, це лише електронний пристрій, який цифровим способом відображає поточні координати стола та салазок, знімаючи їх із датчиків. Він не виконує програму і не керує автоматично переміщеннями стола. Оператор все одно повинен керувати переміщеннями вручну, але відлік стає точнішим і зручнішим, ніж через оптичні екрани. Завдяки використанню КГП, жорстких конструкцій та прецизійних

вимірювальних систем, верстат забезпечує дуже високу точність встановлення координат отворів (зазвичай до кількох мікрометрів).

Система Числового Програмного Керування (ЧПК): літера "Ф1" в індексі позначає наявність цифрової індикації (ЦІ) та автоматизації вибору координат (попередній набір координат), це дозволяє оператору задавати координати з високою точністю та автоматично виводити стіл у потрібну точку. Ф1 є простішою системою, ніж повноцінна контурна ЧПК (Ф2, Ф3), і призначена в першу чергу для точного позиціонування.

Верстати такого класу часто мають системи термостабілізації, або конструктивні рішення, що мінімізують вплив теплових деформацій (наприклад, системи охолодження мастила або гідравліки), оскільки навіть невеликі зміни температури можуть суттєво вплинути на мікрометрову точність.

Прецизійні датчики: для контролю переміщень по осях X та Y (і часто Z) використовуються високоточні оптичні лінійки (скляні масштаби) або індуктивні перетворювачі, ці системи забезпечують точність відліку координат до 0,001 мм або 0,005 мм. У класичних модифікаціях для точного наведення використовувалися оптичні системи, де штрихи скляних масштабів проектувалися на екран зі значним збільшенням для точного суміщення.

Пристрій попереднього набору координат (Ф1), це ключова функціональна особливість. Система дозволяє оператору заздалегідь ввести потрібні координати (X, Y), після чого автоматика здійснює швидке і точне позиціонування столу до заданої точки, значно підвищуючи швидкість і точність роботи порівняно з ручним відліком. Вузли столу, салазок та шпиндельної бабки мають жорсткі механізми ручного затискання для фіксації положення під час обробки та запобігання зміщенню.

Верстат 2E450AФ1 мав систему (ЧПК) "Електроніка НЦ-31" це одна з найпоширеніших систем, яка широко використовувалася на металорізальних верстатах із СРСР та пострадянського простору, включно з координатно-розточувальними верстатами. (Рис.1)



Рис 1.7 - Електроніка НЦ-31



Рис1.8. Електроніка НЦ-31 з ПК верстата.

Ця система була розроблена для малих і середніх верстатів і вирізнялася простотою, надійністю та простим монтажем до верстату. (рис.1.7)

Система ЧПК «Електроніка НЦ-31»

Система числового програмного керування (СЧПК) "Електроніка НЦ31" - це система контурного управління типу ЧПК. Вона призначена для оперативного управління верстатами з електроприводами, що є по двох лінійних осях, головним приводом і вимірювальними фотоімпульсними датчиками. Система дозволяє створювати мультипроцесорні конфігурації (до чотирьох процесорів), стандартний набір дозволяє використовувати два процесори, але у всіх верстатних застосуваннях використовується однопроцесорна конфігурація. На базі 4 версії програмного забезпечення НЦ-31 (прошивки 369, 370) розроблено систему ППК «МС 2109», що містить вбудований блок електроавтоматики 16 входів/32 виходу, що дозволяє керувати електроавтоматикою верстата без зовнішнього блоку електроавтоматики.

Склад ЧПК «Електроніка НЦ-31»

- Первинний блок живлення БПС-18-1-1
- Вторинний блок живлення БПС-18-1-2
- Пульт оператора ПО
- Асинхронний процесор ПРЦ
- Оперативний пристрій 3500
- Адаптер магістралі. таймери. АМТ
- Контролер електроавтоматики КЕ
- Контролер вимірювальних перетворювачів КВП
- Контролер приводів КП
- Блок сполучення з касетою зовнішньої пам'яті
- Касета зовнішньої пам'яті КЗП

Технічні характеристики ЧПК «Електроніка НЦ-31»

- Пристрій ЧПК — контурне, з програмною структурною організацією
- Система відліку - в абсолютних та відносних координатах
- Тип приводу - електричний, що стежить
- Тип датчиків - фотоімпульсні або сельсини
- Кількість осей управління – до 3
- Інтерполяція - лінійна, кругова, різьбонарізування
- Завдання розмірів – у метричній системі
- Введення програм — із клавіатури, із касети зовнішньої електронної пам'яті. Автоматичне введення із зовнішніх пристроїв по каналу ІРПС

Кількість кадрів, що запам'ятовуються, — до 5 зон із загальною кількістю кадрів 1250;

Максимальне значення переміщень по осях, що відпрацьовується системою: від +999999 дискрет до –999999 дискрет;

Найбільше завдання розмірів між двома програмованими точками - до 999 999 дискрет;

Дискретність завдання переміщень – 0.01 мм.

Завдання робочих подач: 0.01-99.99 мм/об., 1-9999 мм/хв.

Швидкість прискорених рухів: 1-15000 мм/хв.

Основні функціональні особливості "Електроніка НЦ-31" є система позиційно-контурного типу, здатна керувати верстатами з кількома осями.

Архітектура та керування, тип керування: позиційно-контурне (або комбіноване). Це означає, що система ефективно працює як для точного позиціонування (свердління, розточування отворів — ключова функція для координатно-розточувального верстата), так і для простої контурної обробки (лінійна та кругова інтерполяція).

Кількість осей: зазвичай система керувала 2–4 осями (наприклад, X, Y, Z та додаткова вісь), а для координатно-розточувального верстата основне керування

зосереджувалося на X , Y (переміщення стола та салазок) та Z (переміщення шпинделя). В системі підтримувалася лінійна та кругова інтерполяція.

Програмування та пам'ять. Мова програмування, це стандартний *ISO*-код (*G-коди та M-коди*), що забезпечувало уніфікацію програм із західними аналогами. Введення програми: основний метод введення — з перфострічки або безпосередньо з пульта керування. Пізніші модифікації могли мати інтерфейси для підключення зовнішніх пристроїв (ПК). Пам'ять: об'єм внутрішньої пам'яті був порівняно невеликим, що вимагало або поділу довгих програм на частини, або використання зовнішніх носіїв.

Технічні характеристики:

Дискретність: типова дискретність (мінімальний крок переміщення) складала 0,001 мм (1 мкм), що відповідало вимогам до точності класу А для координатно-розточувальних верстатів. Вимірювальна система працювала з прецизійними імпульсними датчиками (наприклад, фотоімпульсними перетворювачами) або індуктосинами для забезпечення точного зворотного зв'язку про положення осей. Мала вбудовані засоби діагностики, які відображалися на дисплеї (зазвичай алфавітно-цифровому) у вигляді кодів помилок.

Конструкція "Електроніка НЦ-31" зазвичай складалася з таких ключових блоків:

- Стійка керування (шафа): містила основний обчислювальний модуль (на базі мікропроцесора КР580), модулі пам'яті, комутаційні плати та блок живлення.
- Пульт оператора: невеликий алфавітно-цифровий дисплей для відображення поточних координат, номерів кадрів та повідомлень. Клавіатура: для ручного введення даних, редагування програм, керування режимами роботи (налагодження, автоматична робота) та функціями. Пристрій зчитування перфострічки.
- Приводи верстата: система НЦ-31 працювала спільно з прецизійними тиристорними або транзисторними приводами постійного струму, що

забезпечували високу точність позиціювання та широкий діапазон регулювання швидкостей подачі.

На деяких координатно-розточувальних верстатах (наприклад, модифікації 2E450AФ1 або 2E450AФ2 які використовували цю ЧПК) "Електроніка НЦ-31" забезпечувала: високу точність позиціювання, можливість автоматичного виведення осей у задані координати з точністю, що гарантується верстатом (клас А). Автоматизацію циклу обробки: виконання всієї послідовності операцій (вибір інструменту, позиціювання, свердління, розточування) без втручання оператора. Компенсацію похибок: наявність функцій корекції інструменту та компенсації люфтів у механізмах.

Висновки: "Електроніка НЦ-31" була системою середнього рівня складності та високої точності, що відповідала вимогам до керування високоточними позиційними верстатами, як-от координатно-розточувальні.

Висновки за розділом

Проведений аналіз літературних джерел та сучасних розробок у сфері автоматизації координатно-розточувальних верстатів дозволив визначити основні тенденції розвитку цієї галузі. Сучасні верстати, такі як модель 2E450AФ1, поєднують у собі традиційну механічну надійність з можливостями числового програмного керування (ЧПК) та програмованих логічних контролерів (ПЛК), що дозволяє забезпечити високий рівень продуктивності, точності та адаптивності до умов сучасного виробництва.

Аналіз показав, що значна увага приділяється впровадженню інтелектуальних систем керування, які дозволяють автоматично оптимізувати процеси обробки, адаптуючись до параметрів заготовок і змін виробничого середовища. Крім того, розвиток систем ЧПК та інтеграції верстатів у

автоматизовані виробничі лінії дозволяють досягати високої ефективності за рахунок скорочення часу на налаштування, обробку та обслуговування.

У підрозділі 1.2 детально розглянуто конструктивні особливості координатно-розточувального верстата 2E450AФ1. Ця модель є прикладом обладнання високої функціональності, здатного забезпечити багатофункціональність обробки завдяки змінним інструментам, та можливостям модернізації. Верстат має високий потенціал для адаптації до сучасних вимог шляхом впровадження новітніх технологій автоматизації.

Таким чином, результати аналізу підтверджують важливість подальшої модернізації верстатів цього типу для забезпечення їх відповідності сучасним стандартам. Успішна інтеграція новітніх рішень у конструкцію верстатів дозволить значно підвищити їх ефективність, зменшити енергоспоживання та екологічний вплив, а також забезпечити конкурентоспроможність виробничого процесу в умовах швидкозмінного ринку.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження

Метод (від грецького *methodos* – шлях до чого-небудь) – в найбільш загальному випадку означає засіб досягнення мети, спосіб дослідження явища, який визначає планомірний підхід до їх наукового пізнання та встановлення істини. Науковий метод – це спосіб пізнання явищ дійсності в їх взаємозв'язку та розвитку, спосіб досягнення поставленої мети і завдань дослідження і відповідає на запитання: «Як пізнавати?». Методика дослідження – це система правил використання методів, прийомів та способів для проведення будь-якого дослідження. Свідоме застосування науково обґрунтованих методів слід розглядати як найсуттєвішу умову отримання нових знань. Дослідник, який добре знає методи дослідження і можливості їх застосування, витрачає менше зусиль і працює успішніше, ніж той, хто у своєму дослідженні спирається лише на інтуїцію або діє за принципом «спроб і помилок». Звісно, що точні і правильні методи – не єдині компоненти, що забезпечують успішність наукового дослідження. Методи не можуть, наприклад, замінити творчу думку дослідника, його здібність аналізувати, робити висновки і передбачення. Але застосування правильних методів спрямовує хід думок дослідника, відкриває перед ним найкоротший шлях для досягнення мети і забезпечує таким чином можливість раціонально витратити енергію і час науковця. Кожний метод наукового пізнання слід розглядати як систему регулятивних принципів практичної і теоретичної діяльності людини. Методів пізнання об'єктивної дійсності відомо дуже багато. Правильний вибір методів дослідження потребує знання їх класифікації.

Розрізняють методи теоретичних та емпіричних досліджень. Такий розподіл методів завжди умовний, оскільки з розвитком пізнання один науковий метод може переходити з однієї категорії в іншу.

Методи наукових досліджень теоретичного рівня. На теоретичному рівні дослідження одним з найпоширеніших наукових методів є абстрагування 26 (таблиця 2.1). В цілому дієслово «абстрагувати» означає відокремлювати в думках одні властивості, зв'язки та відношення явища або об'єкта від інших. Відповідно зміст даного методу полягає у відверненні від неістотних ознак предмета дослідження й одночасному виділенні тих, які мають найбільший інтерес. Використання методу абстрагування на початковому етапі дослідження дає змогу превентивно вирішити наукову проблему, акцентуючи увагу на її основних аспектах.

Таблиця 2.1 – Наукові методи теоретичних досліджень

Методи	Характеристики
Абстрагування	Уявне відвернення від неістотних, другорядних ознак явища або об'єкта, зв'язків і відношень між ними та виокремлення кількох сторін, які цікавлять дослідника
Аналіз	Метод пізнання, який дає змогу гіпотетично поділити явище або об'єкт на окремі складові частини та досліджувати їх відокремлено одна від одної
Синтез	Метод, який є результатом об'єднання окремих складових частин явища або об'єкта в єдине ціле, досліджуючи загальні ознаки і властивості
Моделювання	Опосередкований метод дослідження явища або об'єкта, який ґрунтується на застосуванні моделі як засобу дослідження, коли вивчити явище або об'єкт не можливо
Аксіоматичний метод	Метод побудови наукової теорії, за яким деякі твердження приймаються без доведень, а всі інші знання виводяться з них відповідно до певних логічних правил

Ідеалізація	Гіпотетичне конструювання явища або об'єкта, яких немає в дійсності або які за суб'єктивних причин практично нездійсненні
Методи	Характеристики
Формалізація	Метод вивчення явища або об'єкта через відображення їх структури в знаковій формі за допомогою штучних мов, наприклад, математики, фізики, хімії тощо
Дедукція	Умовивід, у якому висновок про той чи той елемент множини робиться на підставі знання про загальні властивості усієї множини
Індукція	Умовивід від часткового до загального, від окремих фактів до узагальнень, коли на основі знань про частини предметів певного класу робиться висновок про клас загалом

Вибір конкретних методів дослідження диктується характером фактичного матеріалу, умовами і метою конкретного дослідження.

В науковій сфері методи аналізу і синтезу зіставляються між собою.

Якщо вивчити явище або об'єкт складно та недоцільно, використовується метод моделювання. Незважаючи на те, що даний метод пов'язаний з ризиковістю, він дає змогу ґрунтовно дослідити закономірності виникнення й існування того чи іншого явища або об'єкта, реально оцінити їх взаємозалежність. При порівнянні альтернативних моделей кращою вважають ту з них, якій відповідає мінімальне значення середнього ризику. Величина похибки відображає залежність між предметом дослідження та впливом низки екзогенних чинників.

Емпіричні методи наукових досліджень

На емпіричному рівні використовується широкий спектр методів наукового дослідження, які можна об'єднати в наступну групу (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Емпіричні методи наукових досліджень

Методи	Характеристики
Вимірювання	Визначення кількісних характеристик явища або об'єкта за допомогою спеціальних технічних пристроїв та одиниць виміру
Методи	Характеристики
Порівняння	Процес зіставлення явища або об'єкта з метою з'ясування подібності та відмінності між ними, а також знаходження загального, що може бути властивим двом чи кільком явищам або об'єктам дослідження
Спостереження	Системне, цілеспрямоване, спеціально організоване візуальне сприймання явища або об'єкта, опосередковане раціональним знанням
Експеримент	Метод вивчення явища або об'єкта, коли дослідник активно та цілеспрямовано впливає на нього для створення штучних чи використання природних умов, необхідних для виявлення його ознак і властивостей

Найскладнішою є методика експериментальних досліджень, як лабораторних, так і польових.

Натомість на теоретичному рівні використовується пізнавальна діяльність, в якій структура реального експерименту відтворюється в уяві, тобто розумовий експеримент.

Модель (лат. *modus* — міра, франц. — *modele* — зразок) — штучно створений об'єкт у вигляді схеми, креслення, логіко-математичних знакових формул, фізичної конструкції й т.п., що аналогічний (подібний) досліджуваному об'єкту, процесу відображає й відтворює в більше простому, зменшеному виді структуру, властивості, взаємозв'язки й відносини між елементами досліджуваного об'єкта, процесу, безпосереднє вивчення якого зв'язано якими-небудь труднощами, більшими витратами коштів або просто недоступно, і тим самим полегшує процес одержання інформації про предмет, що цікавить нас, явищі, процеси

Пізніше були осмислені модельні властивості креслень, малюнків, карт — реальних об'єктів штучного походження, які дозволили втілити абстракцію більш високого рівня. Тобто наступний крок заключався в визнанні того, що моделями можуть служити не тільки реальні об'єкти, а і абстрактні, ідеальні побудови, типовим прикладом яких є математичні моделі.

Коротко кажучи — Модель це системне відображення оригіналу.

Термін "модель" використовується в різних областях діяльності людини і як правило означає спрощену картину реальності або прообраз майбутнього.

У дослідженнях модель заміняє оригінал так, що її вивчення дає нові знання про об'єкт дослідження. Термін "модель" в науці являє собою штучно створену систему, яка відображає або здатна відтворити основні сторони реальної системи, яка називається оригіналом. Моделювання — це дослідження оригіналу не безпосередньо, а непрямым шляхом з допомогою штучно побудованої системи, яка називається моделлю. Моделювання включає процес побудови, вивчення та примінення моделей.

Виникає запитання: для чого необхідне моделювання, у яких випадках необхідно розробляти модель, а коли проводити пряме дослідження оригіналу? При цьому слід відмітити, що оригінал може бути недоступним для безпосереднього дослідження з причини відсутності часу і засобів, або відсутності самого оригіналу (розробка проекту, тощо). Крім того, модель завжди простіша оригіналу і дослідження на ній обходиться дешевше і потребує менше часу. Модель

дозволяє оперативно міняти умови досліду (що не завжди можливо із оригіналом), дозволяє багаторазово повторити експеримент до пізнання суті.

При цьому не передбачається повна ідентичність оригіналу оскільки в такому разі втрачаються переваги моделі і всяка суть моделювання, та і вона перестає бути моделлю, а це вже буде копія-двійник, копія-дублер. Модель повинна замінити оригінал лише в принципі, по суті.

В моделі оригінал можна уявити в чистому вигляді без сторонніх впливів і непотрібних деталей.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів. Він базується на трьох теоремах аналізу подібності.

Практично необмежені можливості з виявлення ефективного функціонування складної електромеханічної системи має метод математичного моделювання. Він ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі та натури математичному описі та використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементам. При цьому кожному з фізичних елементів натури в моделі відповідає певний еквівалент. У якості моделей використовуються електричні кола, складені з пасивних та активних елементів.

Імітаційне моделювання використовується частіше за всього при дослідженні складних електромеханічних систем та представляють собою процес формування

моделі реальної системи та проведення над нею численних експериментів з метою виявлення шляхів її створення, вдосконалення та (або) ефективного використання.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Статистичні моделі у порівнянні з аналітичними більш точні, але громіздкі та погано доступні для огляду.

При математичному моделюванні взаємозв'язки і закономірності оригіналу відображаються в математичній формі.

Моделювання починається із всестороннього вивчення об'єкту дослідження і постановки задач (проблеми). Проблема і задачі повинні бути чітко сформульовані. Далі слід знайти в реальній формі чи розробити модель оригіналу, яка б відображала чи могла відобразити основні сторони оригіналу.

По розробленій моделі проводять власне експеримент. Змінюють в певних межах вхідні параметри і досліджують вихідні. В результаті таких експериментів перевіряють модель на адекватність відображення оригіналу, отримують нові дані про оригінал, визначають числові параметри позитивних і негативних змін.

Комп'ютерна модель (або чисельна) – це комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, *Maple*, *Mathematica*, *Mathcad*, *MATLAB*,

VisSim та інші. В даній роботі використовується програма *Simulink* пакету *MATLAB*.

2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Методологія - це система базисних принципів, методів, методик, способів і засобів їх реалізації в організації та побудові науково-практичної діяльності. Вона включає в себе методи теоретичного та емпіричного пізнання і являє собою алгоритм пошуку і досягнення мети.

Основне призначення методики дослідження полягає у тому, щоб на основі відповідних принципів (вимог, умов, обмежень тощо) забезпечити успішне вирішення визначених мети і завдань наукового дослідження.

Структурно-логічна схема є однією з форм планування роботи і візуалізації процесу, яка дозволяє з одного боку описувати процедуру (алгоритм) дослідження і досягнення мети тобто сформулювати робочу гіпотезу дослідження, а з другого – установити логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів магістерської роботи.

Спочатку вибирається тема дослідження та обґрунтовується її актуальність та складається індивідуальний календарний план роботи.

Ведеться пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії.

Розробляється перший варіант теоретичної частини:

постановка мети і конкретних завдань дослідження;

визначення об'єкту й предмета дослідження;

вибір методів (методики) проведення дослідження.

Виконується опис процесу дослідження згідно з обраним методом. Моделювання процесів у електроприводі гвинтового конвеєра проводиться шляхом математичного моделювання з використанням пакету *Simulink* програми *MATLAB*.

Наводиться інтерпретація отриманих результатів дослідження.

На підставі виконаних розрахунків та отриманих характеристик проводиться узагальнення отриманих теоретичних результатів.

На заключному етапі роботи проводиться розробка заходів охорони праці, впровадження результатів магістерського дослідження у навчальний процес.

2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі дослідження

Дана магістерська робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Моделювання як метод наукового пізнання виникло в зв'язку з необхідністю вирішення завдань, які з тих чи інших причин не можуть бути вирішені безпосередньо. Вони виникають у випадках, коли об'єкт або недосяжний для дослідника, або він ще не існує і потрібно обрати оптимальний варіант його створення, або дослідження реального об'єкта вимагає багато часу та економічно не вигідне тощо. При моделюванні використовується принцип аналогії, ґрунтуючись на якому в процесі наукового дослідження висувуються гіпотези, тобто передбачення, що будуються на невеликій кількості дослідних даних, спостережень, інтуїтивних припущень, перевірка правильності яких здійснюється шляхом експерименту.

Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням, огрубленням прототипу, абстрагуванням від ряду його властивостей, ознак, сторін.

Процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему, називають моделюванням.

Моделі поділяються на такі види:

- інтуїтивні (виражені на папері);
- фізичні (макети, муляжі, що дозволяють наочно ілюструвати, саме ті процеси, які мають місце у природі. За допомогою таких моделей можна вивчати вплив окремих параметрів на певний фізичний процес);
- математичні (дозволяють кількісно досліджувати явища, які важко піддаються вивченню за допомогою фізичних моделей);
- знакові (вираженні мовою, алгоритмами, графічно, математично);
- функціональні (описують залежності між входом і виходом системи);
- структурні (описують оргструктури систем).

Послідовність робіт при моделюванні виробничої системи:

- дослідження модельованої системи і постановка задачі - вивчення літературних джерел, проведення досліджень, тощо;
- формалізація задачі - виявлення особливостей системи, виділення головного, основного. На цьому етапі визначають, які параметри системи, яку ми моделюємо необхідно відобразити в моделі;
- розробка математичної моделі задачі і її запис в структурній формі.

Розробити математичну модель задачі це означає побудувати спеціальну таблицю чи схему, у якій усі економічні, технологічні та інші виробничі умови і вимоги виражені у вигляді нерівностей і рівнянь і об'єднані цільовою функцією. Математична модель може бути подана у структурній, загальній символній чи числовій формі. Послідовність розробки моделі може бути різною, але зручніше спочатку скласти систему змінних величин, записати систему обмежень, а потім цільову функцію. В моделі виділяють змінні величини, константи і коефіцієнти.

Змінні в моделі відображають невідомі величини:

- аналіз кількісних залежностей параметрів задачі;
- збір інформації і її обробка;
- побудова числової моделі;

- вибір математичного методу вирішення задачі;
- вирішення задачі на ЕОМ;
- аналіз результатів вирішення і коригування моделі;
- вирішення задачі на ЕОМ по скоригованій моделі.

Головними рівнями дослідження та моделювання систем є мікро- та макрорівень. Мікрорівневе моделювання системи пов'язане з детальним описом кожного компонента системи, дослідженням її структури, функцій, взаємозв'язків, тощо. Практична реалізація найважливішого етапу мікромоделювання – виявлення елементів системи та взаємозв'язків між ними – пов'язана з необхідністю подолання суперечності між бажанням повного дослідження кожної з підсистем та елементів системи, реальною можливістю дослідити при цьому структуру системи загалом і принципи її функціонування.

Макрорівневе моделювання полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні лише загальної поведінки системи як єдиного цілого. У процесі дослідження реальних систем і побудови їх моделей використовуються різні методи моделювання, що залежать від характеристик об'єкта, рівня знань про нього, мети дослідження та вимог до моделі.

Аксіоматичне моделювання полягає у відповідній інтерпретації та переведенні змістовного опису системи на мову чітких математичних термінів і відношень, у процесі чого усуваються неясності, суперечності, неповнота або надлишковість, які властиві вербальному описові системи.

Емпірико-статистичне моделювання використовує широко відомий кібернетичний принцип “чорної скрині”, що не дозволяє отримати модуль структури системи, причинно-наслідкових зв'язків і механізмів її функціонування. В результаті моделювання отримують моделі типу “вхід - вихід”, які базуються на теоретичних гіпотезах про форми взаємозв'язку між входами і виходами системи.

Оптимізаційне моделювання передбачає включення у модель як взаємозв'язків між змінними та параметрами, так і критерії якості функціонування

системи. Імітаційні моделі складних систем надзвичайно поширені внаслідок своєї універсальності, можливості проведення чисельних експериментів, передбачення різноманітних змін.

За мірою повноти опису моделювання поділяють на повне, неповне та наближене. Повне моделювання передбачає побудову моделі, адекватної об'єкту дослідження у просторі та часі. Для неповного моделювання ця адекватність не зберігається. При наближеному моделюванні беруться до уваги лише найважливіші аспекти системи.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження.

Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

Розрахунок задач магістерського дослідження проводиться за допомогою електронної обчислювальної техніки за допомогою програми Mathcad. На базі складених диференціальних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задаючих параметрів.

Слід зазначити, що метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростанню продуктивності комп'ютерної техніки. Саме тому в цьому магістерському дослідженні як основа використаний метод моделювання.

РОЗДІЛ 3

АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КООРДИНАТНО-РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

3.1 Аналіз функціональних особливостей ПЛК для керування верстатом

Програмовані логічні контролери зараз є найбільш широко використовуваною технологією управління промисловими процесами. Програмований логічний контролер (ПЛК) - це комп'ютер промислового класу, який можна запрограмувати на виконання функцій управління. Програмований контролер усунув більшу частину проводки, пов'язану зі звичайними релейними схемами управління. Серед інших переваг - швидка реакція, простота програмування та встановлення, висока швидкість керування, сумісність з мережею, зручність усунення несправностей і тестування, а також висока надійність. ПЛК розрахований на різні схеми входів і виходів, розширені температурні діапазони, стійкість до електричних перешкод, вібрацій і ударів. Програми для управління та експлуатації виробничого обладнання та машин зазвичай зберігаються в акумуляторній або енергонезалежній пам'яті. ПЛК є прикладом системи реального часу, оскільки вихід системи, керованої ПЛК, залежить від вхідних умов.

Спочатку ПЛК використовувався для заміни релейної логіки, але його постійно зростаючий діапазон функцій означає, що його можна знайти в багатьох і більш складних додатках. Оскільки структура ПЛК базується на тих же принципах, що і в архітектурі комп'ютерів, він здатний не тільки виконувати завдання релейного перемикачання, але й інші завдання, такі як синхронізація, підрахунок, обчислення, порівняння та обробка аналогових сигналів.

Програмований контролер усунув більшу частину проводки, пов'язаної зі звичайними релейними схемами управління. Він невеликий і недорогий порівняно

з еквівалентними релейними системами керування процесом. Сучасні системи керування все ще включають реле, але вони рідко використовуються для логіки.

ПЛК мають багато інших переваг, зокрема:

Підвищена надійність. Після того, як програма написана і протестована, її можна легко завантажити в інші ПЛК. Оскільки вся логіка міститься в пам'яті ПЛК, немає жодного шансу зробити помилку в логічному підключенні. Програма замінює більшу частину зовнішніх проводів, які зазвичай потрібні для управління процесом. Кабельні з'єднання, хоча і потрібні для підключення польових пристроїв, є менш інтенсивними. ПЛК також пропонують надійність, пов'язану з твердотілими компонентами.

Більше можливостей у використанні. У ПЛК легше створювати і змінювати програму, ніж прокладати і перепрошивати схему. У ПЛК взаємозв'язок між входами і виходами визначається програмою користувача, а не тим, як вони з'єднані між собою. Виробники оригінального обладнання можуть забезпечити оновлення системи, просто надіславши нову програму. Кінцеві користувачі можуть змінювати програму в польових умовах, або, за бажанням, безпека може бути забезпечена апаратними засобами, такими як блокування клавіш, а також програмними паролями.

Нижча вартість. ПЛК спочатку були розроблені для заміни логіки релейного управління, і економія коштів була настільки значною, що релейне управління стає застарілим, за винятком енергетичних застосувань. Як правило, якщо в системі використовується велика кількість реле керування, встановлення ПЛК, ймовірно, буде дешевшим рішенням.

Комунікаційні можливості. ПЛК може обмінюватися даними з іншими контролерами або комп'ютерним обладнанням для виконання таких функцій, як диспетчерський контроль, збір даних, моніторинг пристроїв і параметрів процесу, а також завантаження і вивантаження програм.

Швидший час відгуку. ПЛК призначені для високошвидкісних додатків, що працюють в режимі реального часу. Програмований контролер працює в режимі

реального часу, а це означає, що подія, яка відбувається в полі, призведе до виконання операції. Машини, які обробляють тисячі предметів в секунду, і об'єкти, які проводять лише частку секунди перед датчиком, вимагають швидкого реагування ПЛК.

Легше усувати несправності. ПЛК мають функції резидентної діагностики та перевизначення, які дозволяють користувачам легко відстежувати та виправляти програмне та апаратне забезпечення. Наприклад, система керування, що складається з сотень вхідних і вихідних польових пристроїв, може бути розміщена на дуже великій виробничій площі. Таким чином, перевірка кожного пристрою на його місці зайняла б значну кількість часу. Підключивши кожен пристрій до загальної точки на модулі ПЛК, можна досить швидко перевірити його працездатність.

Типовий ПЛК можна розділити на частини. Це центральний процесор (ЦП), секція вводу/виводу (В/В), блок живлення та пристрій програмування. Термін «архітектура» може відноситися до апаратного забезпечення ПЛК, до програмного забезпечення ПЛК або до їх комбінації. Відкрита архітектура дозволяє легко підключати систему до пристроїв і програм інших виробників. Відкриті архітектури використовують готові компоненти, які відповідають затвердженим стандартам. Система із закритою архітектурою - це система, дизайн якої є власною розробкою, що ускладнює її підключення до інших систем. Більшість систем ПЛК насправді є запатентованими, тому ви повинні бути впевнені, що будь-яке загальне обладнання або програмне забезпечення, яке ви можете використовувати, сумісне з вашим конкретним ПЛК. Крім того, хоча основні концепції однакові у всіх методах програмування, можуть бути невеликі відмінності в адресації, розподілі пам'яті, пошуку та обробці даних для різних моделей. Отже, програми для ПЛК різних виробників не можуть бути взаємозамінними.

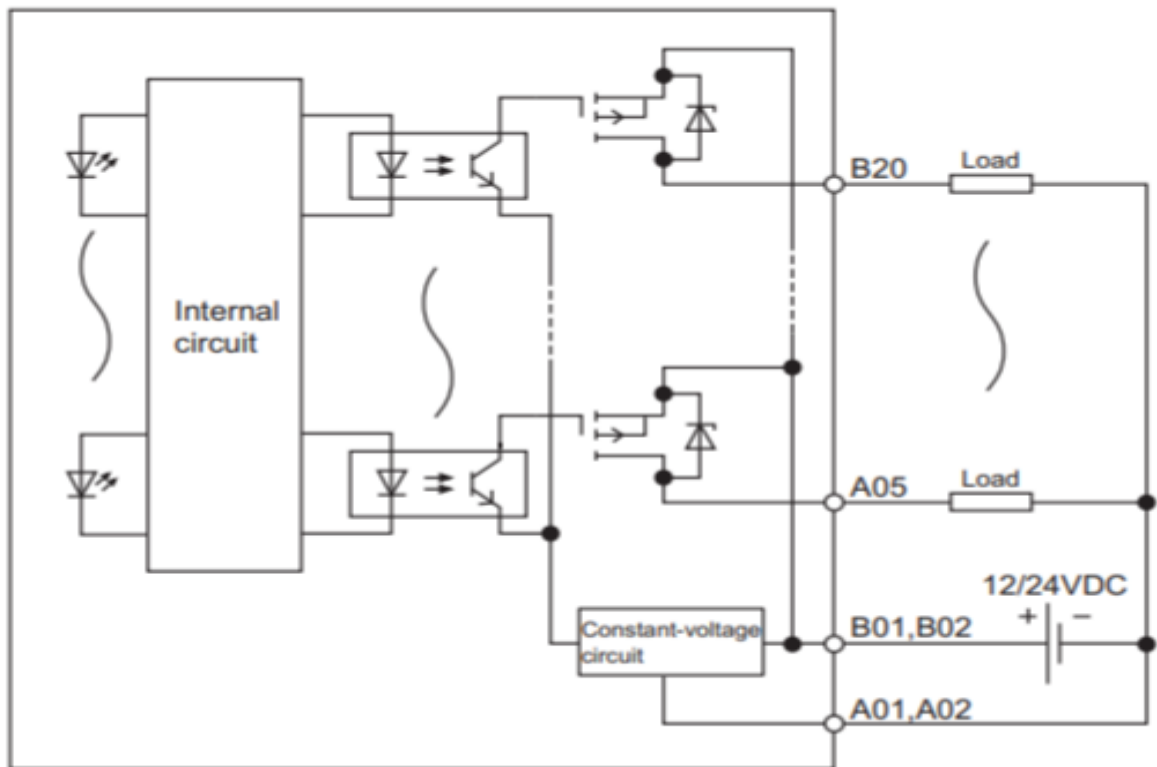


Рис.3.1 – Конфігурація вводу/виводу *Melsec-iQ-R*

Існує два способи вбудовування входів/виходів в ПЛК: фіксований та модульний. Фіксований ввід/вивід (рис. 3.1) є типовим для невеликих ПЛК, які поставляються в одному корпусі без окремих знімних блоків. Процесор і входи/виходи упаковані разом, а клеми вводу/виводу мають фіксовану кількість вбудованих з'єднань для входів і виходів. Основною перевагою такого типу упаковки є нижча вартість. Кількість доступних точок вводу/виводу варіюється і зазвичай може бути розширена шляхом придбання додаткових блоків фіксованого вводу/виводу. Недоліком фіксованого вводу/виводу є його недостатня гнучкість; ви обмежені в тому, що ви можете отримати в тих кількостях і типах, які продиктовані упаковкою. Крім того, у деяких моделях, якщо будь-яка частина пристрою виходить з ладу, доводиться замінювати весь пристрій [12].

Модульний вхід/вихід розділений на відсіки, в які можна вставляти окремі модулі. Ця функція значно розширює можливості використання ПЛК та підвищує гнучкість пристрою. Базовий модульний контролер складається зі стійки, джерела

живлення, процесорного модуля, модулів вводу/виводу та інтерфейсу оператора для програмування та моніторингу. Модулі вставляються в стійку. Коли модуль вставляється в стійку, він встановлює електричне з'єднання з серією контактів, які називаються об'єднуючою платою, розташованою в задній частині стійки. Процесор ПЛК також підключений до об'єднуючої плати і може обмінюватися даними з усіма модулями в стійці.

Блок живлення подає живлення постійного струму на інші модулі, які підключаються до стійки. У великих системах живлення пристроїв забезпечується зовнішніми джерелами змінного або постійного струму. У деяких невеликих системах мікро ПЛК блок живлення може використовуватися для живлення польових пристроїв.

Процесор (CPU) - це «мозок» ПЛК. Типовий процесор (рис. 3.2) зазвичай складається з мікропроцесора для реалізації логіки і управління зв'язком між модулями. Процесору потрібна пам'ять для зберігання інструкцій користувацької програми, числових значень і стану пристроїв вводу/виводу. Процесор контролює всю діяльність ПЛК і розроблений таким чином, щоб користувач міг ввести бажану програму в логіку релейних сходів.



Рис. 3.2. – Типовий процесорний модуль ПЛК

Програма ПЛК виконується як частина повторюваного процесу, який називається скануванням. Типове сканування ПЛК починається з того, що ЦП зчитує стан входів. Потім виконується прикладна програма. Після завершення виконання програми оновлюється стан усіх виходів. Далі ЦП виконує внутрішні діагностичні та комунікаційні завдання. Цей процес повторюється безперервно, поки ПЛК знаходиться в режимі роботи.

Система вводу/виводу утворює інтерфейс, за допомогою якого польові пристрої підключаються до контролера (рис.3.3). Метою цього інтерфейсу є формування різних сигналів, отриманих від зовнішніх польових пристроїв або надісланих на них. Пристрої вводу, такі як кнопки, кінцеві вимикачі та датчики, підключаються до входних клем. Вихідні пристрої, такі як невеликі двигуни, пускачі, електромагнітні клапани та індикаторні лампи, підключаються до вихідних клем. Для електричної ізоляції внутрішніх компонентів від входних і вихідних клем ПЛК зазвичай використовують оптичний ізолятор, який використовує світло для з'єднання ланцюгів між собою.

Зовнішні пристрої також називають «польовими» або «реальними» входами і виходами. Терміни «польові» або «реальні» використовуються для того, щоб відрізнити реальні зовнішні пристрої, які існують і повинні бути фізично підключені, від внутрішньої програми користувача, яка дублює функції реле, таймерів і лічильників. Пристрій програмування використовується для введення потрібної програми в пам'ять процесора. Програма може бути введена за допомогою релейно-сходової логіки, яка є однією з найпопулярніших мов програмування. Замість слів у мові програмування логічних сходів використовуються графічні символи, які показують передбачуваний результат. Програма мовою логічного програмування схожа на схему релейного управління.

Для програмування невеликих ПЛК іноді використовують ручні пристрої для програмування, оскільки вони недорогі і прості у використанні. Після підключення до ПЛК їх можна використовувати для введення та моніторингу програм.

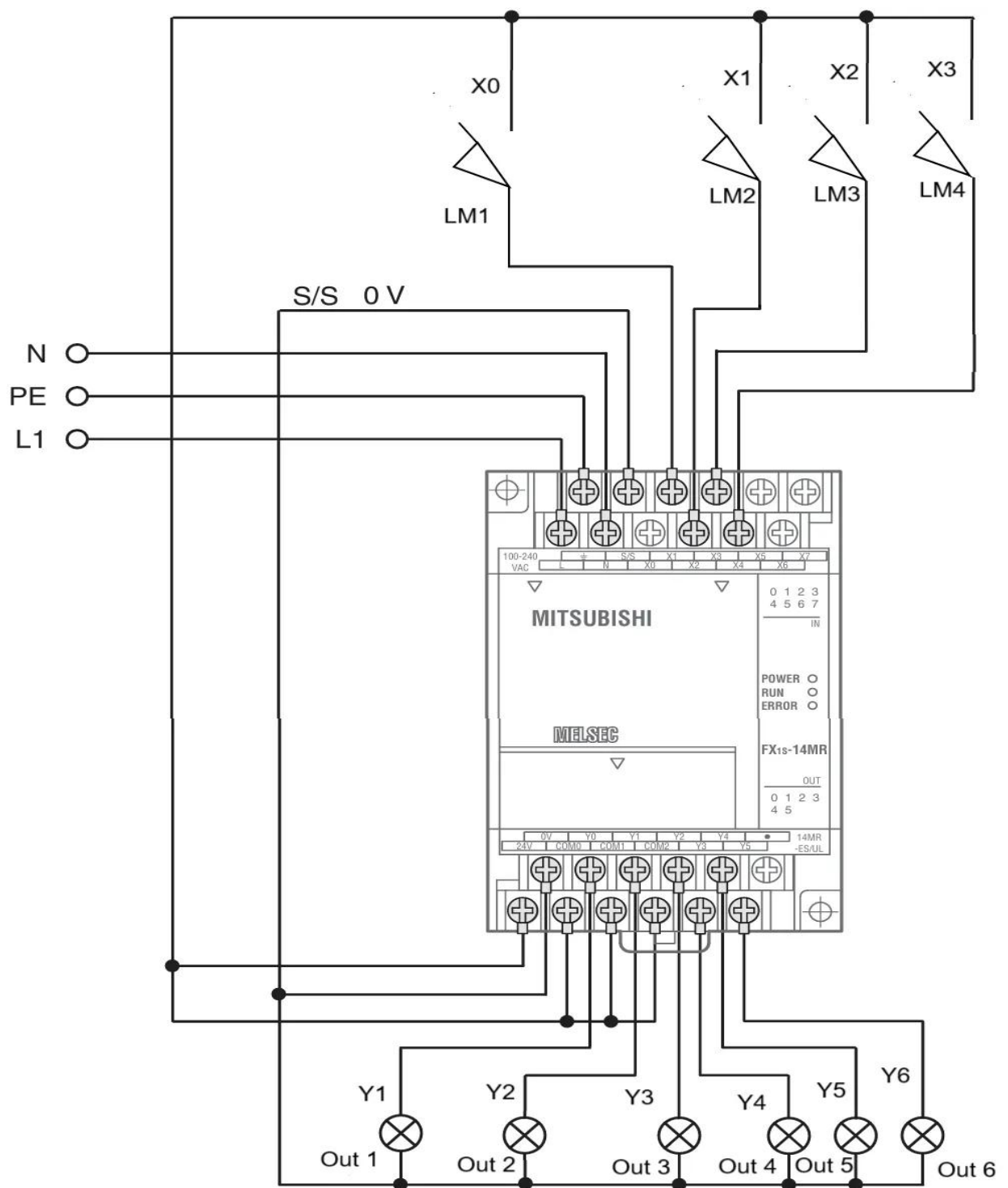


Рис.3.3 - Типові системні підключення вводу/виводу ПЛК Mitsubishi Electric.

Як компактні ручні пристрої, так і портативні комп'ютери часто використовуються на виробництві для усунення несправностей обладнання, модифікації програм і передачі програм на кілька машин.

Аналіз функціональних особливостей програмованих логічних контролерів (ПЛК) для керування координатно-розточувальним верстатом зосереджується на їхній ролі як системи нижнього рівня, що забезпечує взаємодію основної системи ЧПК (або керуючого комп'ютера) з механічними та електричними компонентами верстата. ПЛК відповідає за технологічну та допоміжну логіку, тоді як ЧПК відповідає за геометричні переміщення та точність. Основні функції ПЛК у складі координатно-розточувального верстата можна розділити на декілька ключових груп:

Керування допоміжними механізмами (Дискретна логіка), це базова функція ПЛК — виконання логічних операцій (*AND*, *OR*, *NOT*) на основі дискретних сигналів.

Керування шпинделем:

- Вмикання/вимикання обертання шпинделя (за командою ЧПК).
- Вибір напрямку обертання (пряме/зворотне).
- Контроль фактичної швидкості (через енкодер або датчик).
- Керування перемиканням діапазонів швидкостей (якщо є механічна коробка передач).

Керування інструментальним магазином та пристроєм зміни інструменту (якщо є):

- Позиціювання магазину в потрібну позицію.
- Керування захопленням та звільненням інструменту.
- Контроль кінцевих положень зміни інструменту за допомогою кінцевих вимикачів.

Керування системою охолодження та змащення:

- Вмикання/вимикання насосів мастила та охолоджувальної рідини.

- Контроль рівня рідин та тиску.

Керування затискачами:

Керування гідравлічними або пневматичними затискачами заготовки та стола.

Перевірка стану затискачів (затиснуто/відпущено) перед початком руху.

Забезпечення безпеки та моніторинг ПЛК є критично важливим для безпечної роботи верстата.

Контроль блокувань (інтерлоків):

- Блокування руху осей при відкритих захисних дверцятах.
- Блокування вмикання шпинделя під час зміни інструменту.
- Блокування зміни діапазону передач під час обертання шпинделя.

Контроль аварійних ситуацій:

- Обробка сигналу Аварійної зупинки (*E-STOP*).
- Моніторинг несправностей приводів та систем змащення.
- Обробка сигналів кінцевих вимикачів для обмеження робочої зони (*Hard Limits*).

Діагностика: Збір і передача даних про стан периферійних пристроїв на панель оператора.

Обмін даними та синхронізація з ЧПК, ПЛК служить "перекладачем" між програмним керуванням і фізичними приводами. Обробка команд від ЧПК:** Отримання команд типу М-функцій (наприклад, M03 — ввімкнути шпиндель, M08 — ввімкнути охолодження) і виконання відповідних логічних послідовностей.

Передача стану до ЧПК: надсилання сигналів про завершення операції (наприклад, "Інструмент успішно змінено", "Шпиндель досяг заданої швидкості") для продовження програми.

Синхронізація: забезпечення коректної послідовності дій між рухом осей (керованим ЧПК) і допоміжними функціями (керованими ПЛК).

Вимоги до ПЛК для координатно-розточувальних верстатів, встановлюються з огляду на специфіку верстата (висока точність і складність допоміжних вузлів), до ПЛК висуваються такі ключові вимоги:

Швидкість обробки висока. Необхідна для швидкої реакції на команди ЧПК і сигнали безпеки. Верстати високої точності вимагають мінімальних затримок.

Модульність та гнучкість, дозволяє легко додавати модулі вводу/виводу для керування великою кількістю периферії (датчики, клапани, насоси).

Кількість I/O. Значна кількість дискретних I/O для кінцевих вимикачів, реле, контакторів і сигнальних ламп.

Надійність максимальна. Робота в умовах промислового середовища (вібрація, електромагнітні перешкоди).

Комунікаційні можливості обов'язкові, наявність інтерфейсів (наприклад, *Profibus*, *Ethernet/IP*, *PROFINET*, а для швидкого та надійного зв'язку з системою ЧПК, *Siemens Sinumerik* або *Fanuc*).

Таблиця 3.1 Вимоги до ПЛК

Вимога	Пояснення для координатно-розточувального верстата
Швидкість обробки	Висока. Необхідна для швидкої реакції на команди ЧПК і сигнали безпеки. Верстати високої точності вимагають мінімальних затримок.
Модульність та гнучкість	Важлива. Дозволяє легко додавати модулі вводу/виводу для керування великою кількістю периферії (датчики, клапани, насоси).
Кількість I/O	Значна кількість дискретних I/O для кінцевих вимикачів, реле, контакторів і сигнальних ламп.
Надійність	Максимальна. Робота в умовах промислового середовища (вібрація, електромагнітні перешкоди).

Комунікаційні можливості	Обов'язкові. Наявність інтерфейсів (наприклад, <i>Profibus</i> , <i>Ethernet/IP</i> , <i>PROFINET</i>) для швидкого та надійного зв'язку з системою ЧПК (наприклад, <i>Siemens Sinumerik</i> або <i>Fanuc</i>).
-----------------------------	---

Висновки: ПЛК у координатно-розточувальному верстаті є диспетчером всіх допоміжних і безпекових функцій. Його функціональні особливості забезпечують надійність, безпеку та автоматизацію технологічних циклів, дозволяючи високоточній системі ЧПК зосередитися виключно на геометричному керуванні.

3.2 Обґрунтування вибору ПЛК та його технічні характеристики

Модульний контролер *MELSEC iQ-R series* — це серія програмованих логічних контролерів (PLC) від японського виробника *Mitsubishi Electric*, призначена для автоматизації промислових процесів. (рис. 3.4) Ця серія є наступником лінійок *Q series* та *L series* і пропонує високу продуктивність, масштабованість та інтеграцію з сучасними технологіями, такими як IoT, мережеві комунікації та високошвидкісне керування рухом. Вибір ПЛК *Mitsubishi Electric R08CPU* серії *MELSEC iQ-R* для керування допоміжною логікою координатно-розточувального верстата обґрунтовується його високою швидкодією, інтеграційними можливостями у платформу *iQ-R* та розширеною комунікацією, що є критично важливим для забезпечення синхронізованої та надійної роботи з основною системою ЧПК



Рис 3.4 – Програмований логічний контролер *Mitsubishi R08CPU*

Обґрунтування вибору ПЛК *Mitsubishi R08CPU* базується на потребах високоточного верстата:

Синхронізований контроль:

MELSEC iQ-R забезпечує синхронність ПЛК і мережевого циклу, що дозволяє уникнути затримок передачі даних і підвищити ефективність виробництва. Крім того, усі вихідні модулі синхронізовані для більш точного керування.

Контроль руху за допомогою модулів *MELSEC iQ-R*:

Модуль процесора руху інтегровано в багатопроцесорну архітектуру *MELSEC iQ-R*, доповнюючи модуль центрального процесора програмованого контролера. Для синхронного керування віссю (до 64 осей) потрібен лише один процесор руху. Швидкісний обмін даними між цими двома процесорними модулями здійснюється через буферну пам'ять з високою пропускнуою здатністю. Висока швидкість зв'язку потрібна, коли потрібно передати великі обсяги інформації, наприклад дані камери, і наявність цієї можливості спрощує програмування.

Модулі *Simple Motion MELSEC iQ-R* можна підключати до високошвидкісної сервомережі (*SSCNET III/H*) або до мережі *CC-Link IE Field*.

Системи сервоприводу та керування рухом все частіше використовуються в багатьох додатках. Багатоосьові модулі позиціонування для сервоприводів або крокових приводів, включаючи до 4 осей на модуль. 4- та 16-осьові модулі керування рухом доповнюють існуючі модулі позиціонування та утворюють ідеальну лінійку продуктів. Можуть бути реалізовані різноманітні методи керування, включаючи керування положенням, керування швидкістю, керування крутним моментом, керування кулачком і синхронне керування, які раніше були можливі лише за допомогою «справжніх» систем керування рухом. Прості модулі керування рухом дозволяють легко реалізувати складні функції керування рухом за допомогою простого налаштування параметрів і циклічного програмування.

Завдяки різноманітним модулям *Simple Motion* і модулям процесорів руху контролери *Mitsubishi Electric* оптимізовані не лише для використання з фірмовими сервоприводами. Ці модульні ПЛК можна легко адаптувати практично до сервоприводів будь-якого виробника.

Компактний розмір і легкий монтаж:

Сервосистема *MR-J4* дозволяє радикально скоротити обсяг електромонтажних робіт і місця для монтажу. Управління через шину *SSCNET III* набагато легше налаштувати, ніж за допомогою імпульсної послідовності. Трьох-осьовий підсилювач *MR-J4W3-B* зменшує потреби в просторі приблизно на 30% порівняно з *MR-J3-B*.

Мережі: швидкість і надійність *SSCNET III/H* — це високошвидкісна мережа керування рухом, розроблена компанією *Mitsubishi Electric*. Він забезпечує багато переваг для надійного та швидкого обміну даними між до 192 сервопідсилювачами та їх контролером.

Найновішою версією цієї мережі є *SSCNET III/H*, високопродуктивний продукт третього покоління. Ця мережа забезпечує повнодуплексний обмін даними зі швидкістю передачі до 150 Мбіт/с і гарантованим часом циклу шини 0,22 мс. Це

забезпечує першокласну синхронізацію до 192 осей. А використання оптоволоконних кабелів означає абсолютний захист високошвидкісного обміну даними від електромагнітних перешкод. Таким чином, користувачі *SSCNET III/H* отримують вигоду від підвищеної надійності та більшої гнучкості, оскільки волоконно-оптичні кабелі можна встановити де завгодно – навіть поблизу потужних електродвигунів.

Висока доступність на різних рівнях управління:

Резервована система *MELSEC iQ-R* забезпечує високу доступність на різних рівнях ієрархії системи керування, від візуалізації (*SCADA*) до керування мережею.

Інтегроване програмне забезпечення спрощує проектування.

Інтегрований програмний пакет *GX Works3* дозволяє програмувати кількома мовами, наприклад функціональні блок-схеми (*FBD*) для керування процесом. Інтуїтивно зрозумілі функції, які спрощують проектування систем управління процесами, включають використання загальних міток процесу (змінних), прості структури програм і легке завантаження проектів у процесорний модуль і з нього.

Використання модульних контролерів дозволяє розширювати системи в міру зростання потреб - від простих автономних рішень до складних мережових архітектур. Ця концепція дозволяє розширити та налаштувати систему в будь-який час відповідно до ваших потреб.

Багатопроцесорна архітектура:

Платформа автоматизації *MELSEC System Q* дозволяє встановити до чотирьох процесорних модулів на одному базовому блоці. Завдяки цьому можна інтегрувати процесорні модулі класичного ПЛК, керування рухом, ПК-сумісний процесорний модуль, контролер C, а також ЧПУ та *CPU* робототехніки в єдину систему.

Широкі можливості підключення:

Модульні ПЛК *Mitsubishi Electric* можуть легко спілкуватися з пристроями *Mitsubishi* або сторонніми розробниками.

Гнучкість і універсальність:

Широкий асортимент блоків живлення, ЦП, модулів введення/виведення, спеціальних функцій і модулів зв'язку робить модульні ПЛК *Mitsubishi Electric* найбільш гнучкими модульними системами автоматизації у світі.

Бронювання:

Для створення високонадійної резервної системи керування можна використовувати два модулі процесора керування процесом *MELSEC iQ-R*, кожен у поєднанні з резервним функціональним модулем.

Для модулів *MELSEC System Q* використання резервних модулів центрального процесора керування процесом *Q12/25PRH* разом зі стандартними контролерами забезпечує системи гарячого резервування з автоматичною синхронізацією даних. Цей модульний принцип дозволяє використовувати різні ступені резервування: від силових модулів і процесорів до мережевих модулів.

Модульна концепція:

Ця передова модульна концепція ПЛК від *Mitsubishi Electric* дає користувачам можливість вибрати найкращу комбінацію процесорів, комунікаційних пристроїв, спеціальних функціональних модулів і вводу/виводу. Таким чином, користувач може налаштувати індивідуальну систему для програми в потрібний час і відповідно до вимог конкретної програми.

Унікальний набір функцій:

Платформа *MELSEC System Q* дозволяє поєднувати базові та розширені процесори ПЛК, спеціалізовані контролери руху та навіть ПК (промислові ПК) в єдине рішення з до чотирьох різних типів процесорних модулів.

Концепція *MELSEC L* не потребує базового шасі та ідеально підходить для завдань керування середнього розміру. За допомогою модуля керування *Simple Motion* ви також можете керувати до 16 сервоосями.

Цей діапазон можливостей надає користувачеві широкий спектр концепцій системи керування та великий вибір принципів і мов програмування.

MELSEC iQ-R PKA забезпечує повну інтеграцію функцій керування та зв'язку в одній платформі, яка легко масштабується та може включати кілька входів/виходів або кілька тисяч каналів. Завдяки вбудованій системі безпеки, широкому спектру інтегрованих функцій і високій надійності системи управління процесом на основі цих модулів можна створити середовище автоматизації нового покоління.

Високопродуктивні процесорні модулі *PLC MELSEC iQ-R* містить широкий спектр програмованих контролерів автоматизації (PAC) для вирішення різноманітних прикладних задач. Вони розроблені з урахуванням необхідності високої продуктивності та ефективного розподілу можливостей обробки даних. Один такий процесорний модуль може виконувати всі завдання, які раніше вимагали кількох модулів, що дозволяє значно скоротити витрати на обладнання. Внутрішня шина серії *iQ-R* підтримує багатопроцесорні «Прозоре» підключення до різних пристроїв. Коли модулі *MELSEC iQ-R* підключаються до інших пристроїв через мережу *CC-Link IE*, *CC-Link IE Field* або *Ethernet*, ви можете використовувати власний протокол *SLMP (Seamless Message Protocol) Mitsubishi Electric* для моніторингу та збору даних з пристроїв будь-де в мережі та незалежно від мережевих рівнів. Наприклад, немає потреби в програмуванні зв'язку, користувачі просто вибирають протокол зв'язку та теги, щоб дозволити ПЛК та під'єднаним пристроям спілкуватися.

Зниження витрат на технічне обслуговування:

MELSEC iQ-R має багато особливостей і функцій, які допомагають зменшити витрати та роботу з технічного обслуговування. Наприклад, користувачі можуть налаштувати автоматичне збереження повідомлень про помилки та події на *SD*-карту через вбудований слот для *SD*-карти. Коли виникає помилка або конкретна подія, ПЛК може зберігати всю відповідну інформацію про процес, журнали помилок і подій, включаючи історію керування, на *SD*-карту. Аналіз цих даних допомагає скоротити час простою та технічне обслуговування.

Сумісний з *MELSEC System Q* :

MELSEC iQ-R повністю сумісний з існуючими модулями та клемними блоками *MELSEC System Q*, що полегшує оновлення. Крім того, програми, написані для *MELSEC System Q*, можна перенести безпосередньо на серію *MELSEC iQ-R* це зменшує витрати на програмування при модернізації системи.

Вбудовані функції безпеки:

Серія *MELSEC iQ-R* включає модуль процесора безпеки, який відповідає міжнародним стандартам і дозволяє підключати пристрої безпеки через мережу *CC-Link IE Field*.

Висока продуктивність і швидкість (Performance), наносекундна швидкість, час виконання базової інструкції (*LD*) становить лише 0,98 нс. Це надзвичайно висока швидкість, яка дозволяє ПЛК обробляти великі обсяги логіки та швидко реагувати на сигнали від кінцевих вимикачів, датчиків тиску або аварійних кнопок. Для верстата, де час реакції безпосередньо впливає на безпеку та точність циклу, це критичний параметр.

Швидке керування допоміжними функціями: висока швидкість гарантує, що команди М-функцій (наприклад, включення шпинделя, керування системою змащення) виконуються миттєво після їх отримання від ЧПК, мінімізуючи затримки у технологічному процесі.

Архітектура *MELSEC iQ-R (Integration)*, єдина платформа, серія *iQ-R* є інтегрованою архітектурою, яка дозволяє встановлювати поруч із *CPU* модулі керування рухом (*Motion Modules*), модулі безпеки (*Safety Modules*) та модулі процесу. Це спрощує синхронізацію та обмін даними між логікою ПЛК і точними приводами осей (*X, Y, Z*).

Системне записування (*System-wide Recording*): можливість записувати та синхронізувати дані з усієї системи (ПЛК, рух, індикація) спрощує діагностику та пошук причин несправностей, що є цінним для складного обладнання, як-от координатно-розточувальний верстат.

Розширені комунікаційні можливості (*Communication*), вбудований Ethernet та USB, наявність вбудованого порту Ethernet дозволяє високошвидкісний обмін даними з головною системою ЧПК або заводською мережею (*MES/SCADA*).

CC-Link IE Field Basic: підтримка високошвидкісної промислової мережі *CC-Link IE* забезпечує надійне та швидке підключення віддалених модулів вводу/виводу та периферійних пристроїв. Це спрощує проводку та підвищує надійність збору дискретних сигналів (наприклад, з магазину інструментів або затискачів).

Надійність та модульність (*Reliability and Modularity*), промислова надійність, ПЛК розроблений для роботи в жорстких промислових умовах (стійкість до вібрацій, широкий діапазон робочих температур).

Масштабованість: модульна конструкція дозволяє легко розширювати систему, додаючи необхідну кількість дискретних та аналогових входів/виходів (*I/O*) для керування всіма допоміжними механізмами верстата.

Технічні характеристики центрального процесорного модуля *Mitsubishi Electric R08CPU (Standard CPU MELSEC iQ-R Series)*:

Серія | *MELSEC iQ-R Series* єдина інтегрована платформа.

Модель *R08CPU (Standard CPU)* центральний процесорний модуль.

Швидкість обробки (*LD*) 0,98 нс / крок | надзвичайно висока швидкодія для логічних інструкцій.

Обсяг програмної пам'яті 80К кроків (320 КБ) достатньо для складної логіки керування допоміжними вузлами верстата.

Макс. кількість точок *I/O* 4096 локальні велика ємність для підключення датчиків, клапанів та реле.

Вбудовані комунікаційні порти *Ethernet*, *USB* для програмування, діагностики та обміну даними. |

Вбудовані мережеві протоколи *CC-Link IE Field Basic* для швидкісного промислового мережевого обміну.

Живлення 5 В DC (від системного блоку живлення) потрібне використання спеціалізованого блоку живлення iQ-R.

Тип пам'яті внутрішня RAM, підтримка SD-карти для зберігання програм та реєстрації даних.

Висновки: ПЛК R08CPU є потужним і сучасним рішенням, яке повністю відповідає вимогам до швидкості, надійності та інтеграції, необхідних для ефективного та безпечного керування допоміжними системами координатно-розточувального верстата

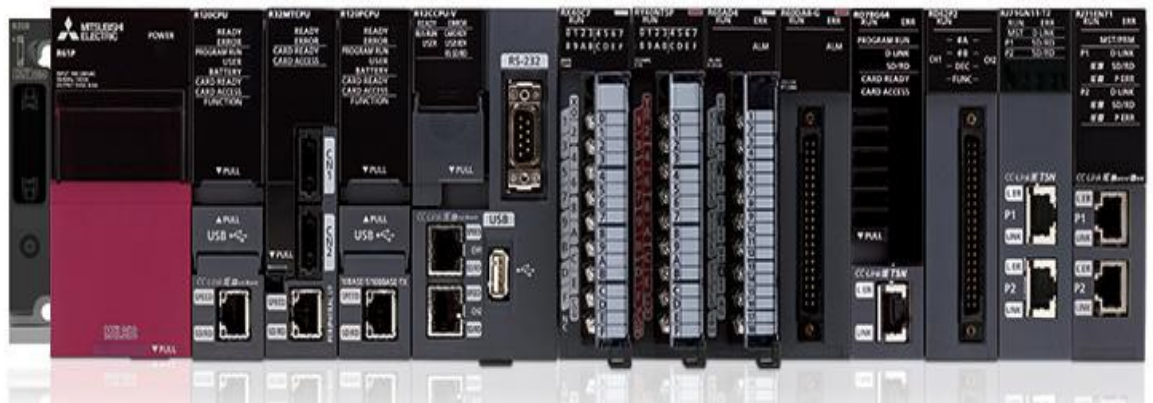


Рис 3.5 – Модуль процесора IQ-R CPU

Таблиця 3.2 Характеристика ПЛК R08CPU

Характеристика	Значення	Примітка
Серія	<i>MELSEC iQ-R Series</i>	Єдина інтегрована платформа.
Модель	<i>R08CPU (Standard CPU)</i>	Центральний процесорний модуль.
Швидкість обробки (LD)	0,98 нс / крок	Надзвичайно висока швидкодія для логічних інструкцій.

Обсяг програмної пам'яті	80К кроків (320 КБ)	Достатньо для складної логіки керування допоміжними вузлами верстата.
Обсяг вбудованої пам'яті	80К кроків (320 КБ)	Достатньо для складної логіки керування допоміжними вузлами верстата.
Макс. кількість точок I/O	4096 (локальні)	Велика ємність для підключення датчиків, клапанів та реле.
Вбудовані комунікаційні порти	<i>Ethernet, USB</i>	Для програмування, діагностики та обміну даними.
Вбудовані мережеві протоколи	<i>CC-Link IE Field Basic</i>	Для швидкісного промислового мережевого обміну.
Живлення	5 В DC (від системного блоку живлення)	Потрібне використання спеціалізованого блоку живлення <i>iQ-R</i> .
Тип пам'яті	Внутрішня RAM, підтримка <i>SD-карти</i>	Для зберігання програм та реєстрації даних.

Основні характеристики

Модульна конструкція: Контролер складається з базових шасі, на які встановлюються CPU-модулі, блоки живлення та до 12 додаткових модулів (I/O, аналогові, комунікаційні тощо). Це дозволяє легко розширювати систему залежно від потреб.

Процесори (CPU): Наприклад, R04CPU — компактний модуль для базових завдань, з високошвидкісною обробкою сигналів. Підтримує

32-бітну обробку з високою роздільною здатністю.

Аналогові модулі: Включають високочастотну конвертацію сигналів з 32-бітним цифровим виходом для точної обробки аналогових даних.

Продуктивність: Швидкість сканування до 0,2 мс, підтримка *CC-Link IE Field Network* для інтеграції з іншими пристроями.

Загальні характеристики серії iQ-R

Параметр Значення

Тип Модульний програмований логічний контролер (PLC)

Сімейство MELSEC iQ-R Series

Стандарти CE, UL, cUL, KC, RoHS, IEC 61131-2

Температура експлуатації 0...55 °C

(стандарт), -25...75 °C (опція)

Вологість 5...95 % RH (без конденсату)

Вібрація 5.3 м/с² (10–57 Гц), 49 м/с² (57–150 Гц)

Удар 147 м/с², 11 мс

Монтаж DIN-рейка (35 мм) або гвинти (M4)

Максимальна конфігурація 1 головний блок + 7 розширювальних = 64 слоти
CPU-модулі (основні моделі)

Модель Програма (steps) Швидкість LD (ns) Пам'ять (стандарт)

R00CPU 10K 31.36 1.5 МБ

R02CPU 20K 3.92 2.5 МБ

R04CPU 40K 0.98 4 МБ

R08CPU 80K 0.98 8 МБ

R16CPU 160K 0.98 16 МБ

R32CPU 320K 0.98 32 МБ

R120CPU 1200K 0.98 120 МБ

Програмне забезпечення :

- ПЗ Функції
- *GX Works3* Програмування, налагодження, НМІ інтеграція
- *iQ Works* Навігація по проєкту, спільна база
- *MELSOFT Navigator* Керування всім проєктом

Переваги :

- Швидкість: 0.98 нс (LD), скан 0.2 мс
- Масштаб: до 64 слотів, 65 536 I/O
- Мережі: *CC-Link IE TSN 1 Gbps*, *OPC UA* вбудовано
- Пам'ять: до 120 МБ + SD 32 ГБ
- *Motion*: 96 осей, 0.22 мс інтерполяція
- Безпека: SIL 3 / PL е без окремого PLC
- Надійність: -25...+75 °C, MTBF > 1 млн
- ПЗ: *GX Works3* — 1 інструмент для всього

Основні сфери використання:

Автомобілебудування 96 осей, 0.22 мс, *CC-Link IE TSN*

Металургія / важка промисловість Вібрація 5.3 м/с², MTBF >1 млн

Енергетика (підстанції, ВДЕ) Safety SIL 3, Modbus TCP, редундантність

Робототехніка *Motion* + *Ethernet/IP*, *C/C++*

Можливості які надає використання ПЛК *Mitsubishi R08CPU IQ-R CPU MELSEC IQ-R SERIES*.

Керування позиціонуванням включає інтелектуальний функціональний модуль *Mitsubishi IQ-R*, що забезпечує комплексне керування рухом по осям. Функції включають лінійну і кругову інтерполяцію, управління позиціонуванням, синхронізоване управління, супровід енкодера і електронний кулачковий диск. Аналоговий і ПІД-контроль - з двома аналоговими входами та одним аналоговим виходом у стандартному варіанті, а також з поліпшеною продуктивністю ПІД-регулятора, користувачі отримують засоби для реалізації високотехнологічних функцій за низькою ціною і без потреби в додаткових апаратних засобах. Розширене синхронне керування - програмне синхронне керування може використовуватися як альтернатива механічному управлінню, такому, як шестерня, вал, трансмісія і кулачковий диск. Крім того, керування за допомогою електронного кулачкового диска спрощується його автогенеруванням. Легко реалізується синхронне керування для кожної осі (старт/стоп); допускає синхронне і позиційне керування осями в одній програмі. Просте виявлення помилок - *IQ-R* має низку функцій пошуку помилок для прискорення налаштування системи, збільшення її експлуатаційної готовності та скорочення вимог до обслуговування. Доступні великі функції налагодження, а також поліпшені діагностичні функції. Простота обслуговування забезпечується вдосконаленою діагностикою, включно з історією помилок, апаратним монітором, SD-карткою для функцій реєстрації та трасування, автоматичним розпізнаванням системи та кількома функціями налагодження програм.

3.3 Процес тестування та налаштування ПЛК

Процес тестування та налаштування ПЛК *Mitsubishi Electric R08CPU серії MELSEC iQ-R* для керування координатно-розточувальним верстатом є багатоетапним і вимагає системного підходу. Він включає перевірку апаратного забезпечення, завантаження та налагодження програмного забезпечення, а також верифікацію роботи всіх функціональних блоків.

Тестування апаратного забезпечення (*Hardware Testing*). Цей етап забезпечує коректне функціонування всіх компонентів до завантаження програми. Перевірка живлення та монтажу. Перевірка коректності встановлення всіх модулів (*CPU*, блок живлення, модулі *I/O*, комунікаційні модулі) на об'єднувальній платі (*Backplane*). Вимірювання напруги живлення на вході блоку живлення та на виході (*5V DC* для внутрішніх шин) для підтвердження стабільності.

Візуальний контроль світлодіодних індикаторів (*LEDs*) на *CPU* та інших модулях: індикатор *RUN* повинен світитися, індикатор *ERROR* має бути вимкнений.

Тестування дискретних входів (*Inputs*): фізичне спрацювання кожного датчика, кінцевого вимикача, кнопки чи перемикача (наприклад, кінцеві вимикачі столу, кнопки пульта оператора, датчики положення інструменту). Перевірка того, що відповідний бітовий стан у пам'яті ПЛК (таблиця входів) змінюється коректно і без затримок.

Тестування дискретних виходів (*Outputs*): примусове програмне ввімкнення кожного вихідного каналу (наприклад, увімкнення контакторів шпинделя, керування клапанами змащення, сигнальні лампи). Візуальна або інструментальна перевірка спрацювання кінцевих виконавчих пристроїв. Особлива увага приділяється блокуванню виходів, пов'язаних із безпекою (наприклад, вихід на головний контактор).

Налаштування програмного забезпечення (*Software Setup*), етап налаштування контролера за допомогою інженерного програмного забезпечення *GX Works3*.

Конфігурація системи (*System Configuration*): налаштування параметрів *CPU* (модель *R08CPU*), встановлення об'єму пам'яті.

Декларація модулів: обов'язкове введення інформації про тип і місце розташування (слот) кожного встановленого модуля *I/O* та спеціального модуля (наприклад, *Motion Module*, *Communication Module*) для коректного призначення адрес. Налаштування комунікацій: конфігурація вбудованого *Ethernet-norpu* (*IP-*

адреса, маска підмережі) для зв'язку з ЧПК або з робочою станцією налагодження. Налаштування параметрів мережі *CC-Link IE Field Basic* (якщо використовується) для обміну даними з віддаленими пристроями.

Завантаження та верифікація програми: завантаження програми керуючої логіки (написаної на мовах *LD*, *ST*, *SFC*) у пам'ять *CPU*.

Переведення ПЛК у *режим RUN*.

Функціональне тестування (*Functional Verification*)

На цьому етапі перевіряється коректність роботи логіки ПЛК, особливо у взаємодії з системою ЧПК.

Тестування логіки безпеки (*Safety Interlocks*): перевірка аварійної зупинки (*E-STOP*): натискання кнопки *E-STOP* має миттєво зняти живлення з усіх приводів і заблокувати роботу верстата, незалежно від стану програми. Тестування захисних блокувань: спроба увімкнути шпиндель або рух осей при відкритих захисних дверцятах або при знятому тиску мастила. ПЛК повинен заблокувати дію і видати повідомлення про помилку.

Тестування керування шпинделем: перевірка коректності виконання M-функцій (M03, M04, M05), що надходять від ЧПК. Перевірка логіки синхронізації, ПЛК повинен подати сигнал "готовність" до ЧПК лише після того, як шпиндель фактично досягне заданої швидкості.

Тестування циклу зміни інструменту (якщо є), запуск циклу зміни інструменту (M06). Покрокове налагодження, перевірка, чи коректно ПЛК керує всіма послідовними кроками: зупинка шпинделя, позиціювання магазину, вивіз, захоплення, заміна та повернення інструменту. Контроль часу виконання кожного кроку та перевірка сигналів кінцевих вимикачів, які підтверджують успішне завершення.

Тестування діагностики та повідомлень, створення умов несправності (наприклад, імітація низького тиску мастила). Перевірка, чи коректно ПЛК формує

та передає код помилки та текстове повідомлення на інтерфейс ЧПК або панель оператора.

Налаштування аналогових сигналів (*Analog Setup*)

Калібрування аналогових входів, якщо використовуються аналогові модулі (наприклад, для моніторингу температури або тиску в системі), необхідно відкалібрувати їх, зіставляючи фізичні вимірювані величини (наприклад, 0-10 бар) із цифровим діапазоном, який зчитує ПЛК (наприклад, 0-4095).

Налаштування аналогових виходів, якщо ПЛК керує швидкістю насосів або вентиляторів через аналоговий вихід (0-10V), перевіряється, чи відповідає вихідне числове значення в програмі (наприклад, 2000) очікуваній напрузі.

Висновок до розділу

У цьому розділі були детально розглянуті ключові аспекти використання *ПЛК: Mitsubishi Electric R08CPU IQ-R CPU MELSEC IQ-R SERIES*. в системах автоматизації. Описано особливості його роботи, що включають архітектуру, принципи функціонування та переваги цього ПЛК у порівнянні з іншими моделями. Модульна конструкція, висока продуктивність, можливість розширення та підтримка широкого спектра комунікаційних інтерфейсів роблять: *Mitsubishi Electric R08CPU IQ-R CPU MELSEC IQ-R SERIES* ефективним рішенням для складних автоматизованих систем. Особлива увага приділена вибору ПЛК та його технічним характеристикам. Оскільки правильний вибір ПЛК є важливим етапом у процесі автоматизації, описано основні критерії, які впливають на вибір, такі як кількість вхідних і вихідних сигналів, швидкість обробки даних та підтримка необхідних протоколів зв'язку. ПЛК *Mitsubishi серії IQ-R* має достатньо широкі можливості для адаптації до різних технічних умов та вимог, що робить його оптимальним вибором для багатьох автоматизованих виробничих ліній.

Процес діагностики та налагодження ПЛК є важливими етапами при підключенні до мережі, тестування входів і виходів, а також використання спеціалізованих інструментів для діагностики, що дозволяють швидко і точно виявити потенційні неполадки. Таким чином, ПЛК *Mitsubishi Electric R08CPU IQ-R CPU MELSEC IQ-R SERIES* є потужним і універсальним засобом для автоматизації управлінських процесів, що забезпечує високий рівень надійності та ефективності. Правильний вибір, налаштування та діагностика цього ПЛК дозволяють досягти оптимальних результатів при автоматизації промислових процесів, що підтверджується високими характеристиками та можливістю адаптації до різних умов експлуатації.

РОЗДІЛ 4

ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТОМ

4.1 Функціональна структура автоматизованої системи керування верстатом

Функціональна структура автоматизованої системи керування координатно-розточувального верстата 2E450AФ1 (рис. 4.1) визначає взаємозв'язок між джерелами живлення, програмованим логічним контролером, датчиками, виконавчими механізмами, системами безпеки та засобами взаємодії з оператором. Метою побудови такої структури є забезпечення стабільної, точної та безпечної роботи верстата в автоматичному та напіваавтоматичному режимах після модернізації штатної системи керування.

Автоматизована система керування побудована за багаторівневим принципом і включає силовий рівень, рівень низьковольтного керування та інформаційно-інтерфейсний рівень. Центральним елементом системи є програмований логічний контролер *Mitsubishi Electric R08CPU серії MELSEC iQ-R*, який здійснює логічну обробку сигналів, керування приводами та контроль стану обладнання.

Силовий рівень системи забезпечує живлення та роботу основних виконавчих механізмів верстата. Для цього використовується блок живлення змінного струму напругою 380 В, від якого живляться електроприводи шпинделя та координатних осей X, Y, Z. Силова частина включає частотні перетворювачі, пускову апаратуру та силові контактори, які реалізують запуск, зупинку та реверс приводів відповідно до команд, що надходять від ПЛК.

Джерело постійного струму в 24 V, живить ПЛК, датчики керування, та комунікаційні модулі. Використання окремого низьковольтного джерела підвищує електробезпеку та надійність роботи системи.

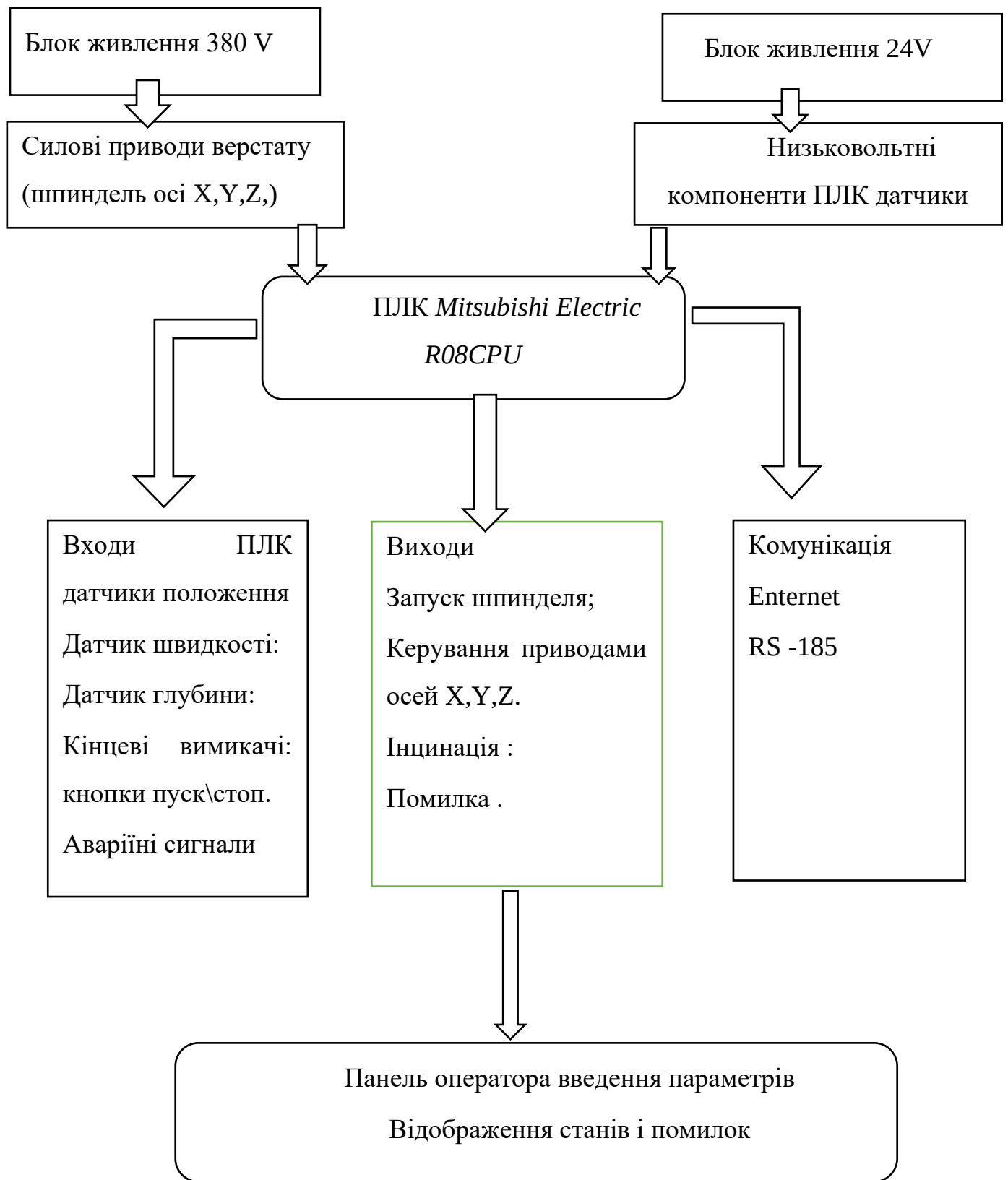


Рисунок 4.1 – Функціональна схема

Програмований логічний контролер Mitsubishi Electric R08CPU виконує функції центрального керуючого пристрою. Він приймає сигнали з дискретних і аналогових входів, обробляє їх відповідно до алгоритмів керування та формує керуючі впливи на виконавчі механізми через вихідні модулі. Контролер також забезпечує реалізацію блокувань, аварійного захисту та обміну даними з операторським інтерфейсом. Вхідні сигнали системи формуються від датчиків положення координатних осей X, Y та Z, датчиків швидкості та глибини різання, датчиків положення вузлів верстата, а також від кнопок керування «Пуск», «Стоп» і перемикачів режимів роботи. Усі ці сигнали надходять на дискретні та аналогові входи ПЛК, де використовуються для контролю стану обладнання та прийняття логічних рішень.

Вихідні сигнали контролера формуються відповідно до розроблених алгоритмів керування та передаються на силові виконавчі елементи. До них належать сигнали запуску та зупинки шпинделя, керування переміщенням по координатних осях, керування системою охолодження, а також сигнали індикації режимів роботи і аварійних станів. Такий підхід забезпечує чітку відповідність між командами оператора, логікою керування та реальною роботою верстата.

Інформаційно-інтерфейсний рівень реалізовано за допомогою панелі оператора, яка з'єднана з ПЛК через промислові канали зв'язку Ethernet або RS-485. Панель оператора забезпечує введення технологічних параметрів, вибір режимів роботи, контроль поточного стану системи та візуалізацію аварійних повідомлень. Це значно підвищує зручність експлуатації та скорочує час реагування персоналу на можливі несправності.

Особливу увагу у функціональній структурі приділено системі безпеки. Аварійні сигнали, кінцеві вимикачі та блокування мають пріоритетну обробку в ПЛК і забезпечують миттєве відключення приводів у разі виникнення небезпечних ситуацій. Це дозволяє мінімізувати ризики пошкодження обладнання та підвищити рівень безпеки обслуговуючого персоналу.

Таким чином, розроблена функціональна структура автоматизованої системи керування координатно-розточувального верстата 2E450AФ1 на базі ПЛК *Mitsubishi Electric R08CPU* є цілісною, логічно впорядкованою та відповідає сучасним вимогам до промислових систем автоматизації. Вона створює основу для реалізації ефективних алгоритмів керування, підвищує надійність роботи обладнання та забезпечує можливість подальшого розвитку і вдосконалення системи.

Побудова функціональної схеми базується на аналізі технічних характеристик верстата 2E450AФ1, його штатного ЧПК, та вимог до заміни системи керування з використанням сучасного програмованого логічного контролера. У процесі розробки враховувалися переваги *Mitsubishi Electric R08CPU IQ-R CPU MELSEC IQ-R SERIES*, зокрема його висока швидкодія, надійність, розширені комунікаційні можливості та здатність до інтеграції з HMI.

Даний підрозділ детально описує структуру функціональної схеми, принципи роботи кожного з її компонентів, а також їх взаємодію, що є основою для реалізації ефективного та надійного керування верстатом.

Функціональна схема автоматизованої системи керування покликана не лише забезпечити наочність процесів взаємодії компонентів, а й виступає ключовим інструментом для етапів проєктування, налагодження та оптимізації роботи обладнання, включаючи їх послідовність дій та синхронізацію.

Функціональна структура автоматизованої системи керування (АСК) координатно-розточувального верстата є ієрархічною і багатошаровою. Вона забезпечує точне позиціонування, керування рухом осей та контроль допоміжних технологічних процесів. Типова АСК такого верстата складається з трьох основних рівнів: керуючий, логічний (проміжний) та виконавчий.

Керуючий рівень (ЧПК – CNC)

Це "мозок" системи, що відповідає за геометричну обробку та виконання програми. Основний компонент, система числового програмного керування (ЧПК), (наприклад, Fanuc, Siemens Sinumerik або застаріла "Електроніка НЦ-31").

Функції:

Інтерпретація програми: читання та обробка програми обробки (G-коди, M-коди, T-коди).

Керування траєкторією: розрахунок траєкторії руху осей (X, Y, Z) з використанням лінійної та кругової інтерполяції.

Керування приводами: генерація точних команд (заданої швидкості та положення) для сервоприводів осей.

Компенсація похибок: введення корекцій на довжину та діаметр інструменту, компенсація люфтів, температурних деформацій.

Взаємодія з оператором: надання інтерфейсу для введення даних, відображення стану верстата, діагностичних повідомлень.

Логічний (Проміжний) Рівень (ПЛК – PLC), цей рівень відповідає за технологічну та допоміжну логіку, безпеку та взаємодію між ЧПК та фізичними компонентами. Основний компонент, програмований логічний контролер (ПЛК) (наприклад, *Mitsubishi R08CPU*).

Функції: обробка M-функцій, отримання допоміжних команд (M-кодів) від ЧПК і перетворення їх у послідовність дій для виконавчих механізмів (наприклад, M03 → увімкнути контактор шпинделя, перевірити зворотний зв'язок).

Керування допоміжними вузлами: керування системою охолодження, змащення, гідравлічними/пневматичними затискачами столу та заготовки.

Керування зміною інструменту (якщо є): керування пристроєм автоматичної зміни інструменту (АТС) та інструментальним магазином.

Логіка безпеки та блокування (Interlocks): моніторинг усіх кінцевих вимикачів, датчиків тиску та температури. Блокування небезпечних дій (наприклад, заборона руху, якщо дверцята відкриті).

Діагностика: збір і передача інформації про несправності периферії на ЧПК.

Виконавчий Рівень (Приводи та Периферія), цей рівень включає всі фізичні компоненти, які безпосередньо виконують роботу.

Система приводу осей:

Сервоприводи та Серводвигуни: отримують команди від ЧПК (через інтерфейс, керований ПЛК або безпосередньо) та забезпечують рух осей X, Y, Z.

Вимірювальні перетворювачі (Енкодери/Лінійки): встановлені на кожній осі (або на двигуні), вони забезпечують зворотний зв'язок про фактичне положення, що є критичним для точності.

Привід шпинделя:

Головний двигун (часто асинхронний з частотним перетворювачем) для обертання інструменту. Частотний перетворювач для плавного та точного регулювання швидкості обертання шпинделя.

Технологічна периферія:

Датчики та вимикачі: кінцеві вимикачі, датчики тиску, датчики температури. Виконавчі механізми: гідравлічні та пневматичні клапани, насоси системи охолодження, електромагнітні муфти.

Схема функціональної взаємодії: рівень - основний пристрій - типові вхідні сигнали – типові вихідні сигнали.

Керуючий (ЧПК) обчислювальний модуль ЧПК програма (*G/M-коди*), команди оператора. Задана швидкість/позиція осей, М-коди для ПЛК. Логічний (ПЛК) ПЛК (*Mitsubishi R08CPU*) М-коди від ЧПК, сигнали від кінцевиків /датчиків. Сигнали керування контакторами, клапанами, наявність помилок для ЧПК. Виконавчий серводвигуни, контактори, клапани керуючий сигнал від ЧПК/ПЛК. | Фактичне положення (енкодери), спрацювання (кінцевики). Ця трирівнева структура забезпечує поділ відповідальності, ЧПК - відповідає за точність, ПЛК - за безпеку та логіку, а виконавчий рівень - фізичне виконання команд.

Таблиця 4.1. Вхідні/вихідні сигнали

Рівень	Основний пристрій	Типові вхідні сигнали	Типові вихідні сигнали
1. Керуючий (ЧПК)	Обчислювальний модуль ЧПК	Програма (<i>G/M-коди</i>), Команди оператора.	Задана швидкість/позиція осей, М-коди для ПЛК.
Рівень	Основний пристрій	Типові вхідні сигнали	Типові вихідні сигнали
2. Логічний (ПЛК)	ПЛК (<i>Mitsubishi R08CPU</i>)	М-коди від ЧПК, Сигнали від кінцевиків/датчиків.	Сигнали керування контакторами, клапанами, Наявність помилки для ЧПК.
3. Виконавчий	Серводвигуни, Контактори, Клапани	Керуючий сигнал від ЧПК/ПЛК.	Фактичне положення (Енкодери), Спрацювання (Кінцевики).

4.2 Розробка та аналіз алгоритмів управління верстатом 2E450AФ1

У процесі модернізації координатно-розточувального верстата 2E450AФ1 за допомогою програмованого логічного контролера важливим етапом є створення та аналіз основного алгоритму управління. Алгоритм визначає послідовність дій

системи, взаємодію між підпрограмами та логіку переходів між ними залежно від умов, що виникають під час роботи верстата. Оскільки модернізований комплекс працює виключно в автоматичному режимі, алгоритм повинен забезпечувати повну автономність процесу — від моменту запуску до завершення обробки. Також необхідно враховувати можливі аварійні ситуації, відмови датчиків та відхилення від штатних режимів роботи.

Основний алгоритм програми (рис. 4.2) складається з низки взаємопов'язаних етапів, кожен із яких має чітку функціональність. Передусім після старту програми виконується підпрограма ініціалізації. Її завдання — підготувати систему до подальшого виконання технологічних операцій. На цьому етапі контролер здійснює скидання буферів, обнулення службових змінних, тестування внутрішніх модулів та встановлення стандартних параметрів. Крім того, проводиться початковий аналіз стану живлення, модулів вводу-виводу та зв'язку з виконавчими механізмами. У разі виявлення критичних збоїв система негайно переходить до аварійної підпрограми, тому ініціалізація є ключовим етапом, який визначає готовність системи рухатися далі. Після успішного завершення ініціалізації контролер переходить до етапу перевірки аварійних умов. Цей блок є першим логічним вузлом основного алгоритму, де приймається рішення про продовження або зупинку роботи. Контролюються такі параметри, як стан кінцевих вимикачів, справність каналів зворотного зв'язку, температурні межі приводу, тиск у пневмосистемі та інші технологічно значущі величини. Якщо хоча б один з елементів подає сигнал про помилку, алгоритм переходить до підпрограми аварійної зупинки. У цій підпрограмі відбувається вимкнення приводу, блокування рухів та активація сигналізації. Коли аварій не виявлено, програма переходить до перевірки готовності системи та датчиків. На цьому етапі контролер проводить опитування датчиків положення, нульових точок, сигналів від приводу та підсилювачів.

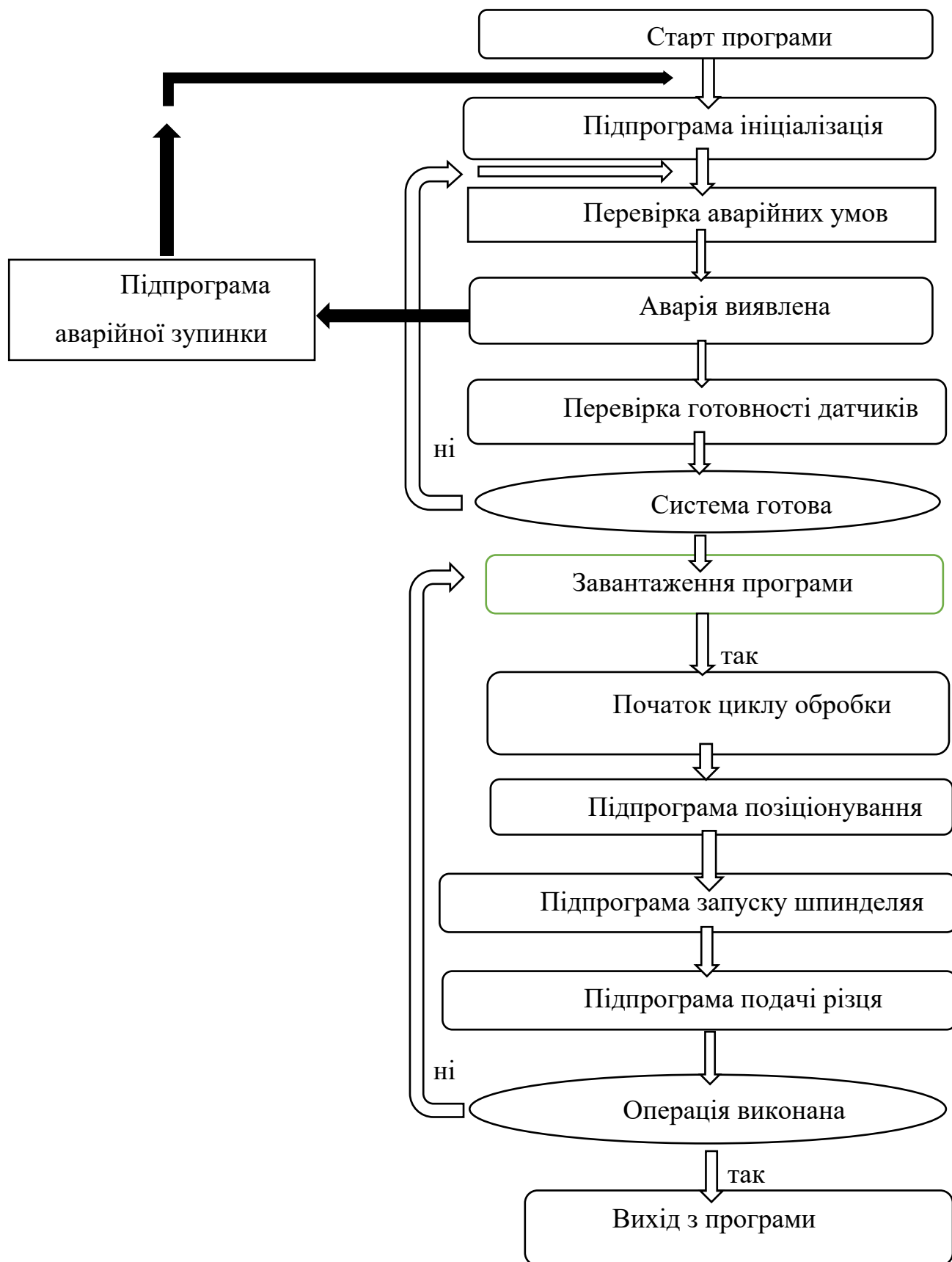


Рисунок 4.2 - Основний алгоритм програми

Метою є переконатися, що всі механізми знаходяться в очікуваному стані та готові перейти до технологічного циклу. Якщо готовність не підтверджена, програма входить у режим очікування, періодично повторюючи опитування датчиків. Така поведінка забезпечує стабільний старт без примусового втручання оператора.

Після підтвердження готовності система переходить до етапу завантаження програми обробки. Це може бути G-код або інший спеціалізований алгоритм у залежності від програмного забезпечення ЧПК, яке інтегровано з ПЛК. На цьому етапі контролер отримує послідовність команд, які формують майбутній технологічний процес: від позиціонування до різання, зміни інструменту та завершення циклу.

Запуск основного циклу обробки є ключовою фазою роботи верстата. Спочатку викликається підпрограма позиціонування, яка відповідає за переміщення робочих осей у початкову точку згідно з командою програми. Координати беруться з блоку G-коду, а контролер керує приводами за принципом замкненого контуру, використовуючи сигнали з датчиків положення. Після позиціонування активується підпрограма запуску шпинделя, яка встановлює необхідну швидкість обертання та перевіряє стан системи змашування і датчиків навантаження.

Після стабілізації роботи шпинделя виконується підпрограма подачі або різання, яка безпосередньо реалізує технологічну операцію. На цьому етапі контролер координує рух осей відповідно до траєкторії, вказаної в програмі. Підпрограма постійно контролює стан датчиків і аварійні параметри, що дозволяє при будь-яких відхиленнях перейти до безпечного зупинення верстата.

На завершальному етапі кожної технологічної операції виконується логічна перевірка: «Чи завершена поточна операція програми?». Якщо відповідь негативна, алгоритм переходить до наступного блоку G-коду і повторює цикл із відповідними підпрограмами. Якщо ж операція завершена, активується підпрограма завершення

циклу обробки, яка повертає осі у безпечне положення, зупиняє шпиндель та готує верстат до наступного запуску.

Завершення програми означає успішне проходження всього технологічного циклу. Основний алгоритм програми забезпечує послідовну, логічно обґрунтовану та безпечну роботу модернізованого верстата в автоматичному режимі. Завдяки блоковій структурі та наявності умовних переходів система здатна адаптивно реагувати на поточний стан механізмів та зовнішні фактори, гарантуючи стабільність і точність у процесі обробки.

Опис алгоритму підпрограми ініціалізації

Підпрограма ініціалізації є однією з ключових складових алгоритмічної структури автоматизованої системи керування верстатом 2E450AФ1. Вона виконується на початковому етапі роботи системи та забезпечує підготовку всіх функціональних модулів до подальшої роботи в автоматичному режимі. Основним завданням ініціалізації є гарантування того, що кожен компонент обладнання має справний стан, правильно визначені початкові параметри та готовий до приймання керуючих команд основної програми.

Алгоритм починається з етапу скидання службових змінних, буферних областей пам'яті та значень внутрішніх регістрів контролера. (рис. 4.3) Це дозволяє уникнути накопичених помилок, індикаторів аварій або некоректних станів, які могли залишитися після попереднього циклу роботи, вимкнення живлення або аварійної зупинки. Після очищення програмних структур виконується ініціалізація апаратних модулів ПЛК, включаючи цифрові та аналогові входи й виходи, комунікаційні інтерфейси та системні модулі обробки сигналів. Наступним етапом є перевірка стабільності живлення та наявності зв'язку між ПЛК і периферійними пристроями. На цьому кроці контролер визначає, чи відповідають параметри напруги нормам, заданим технічними характеристиками системи.

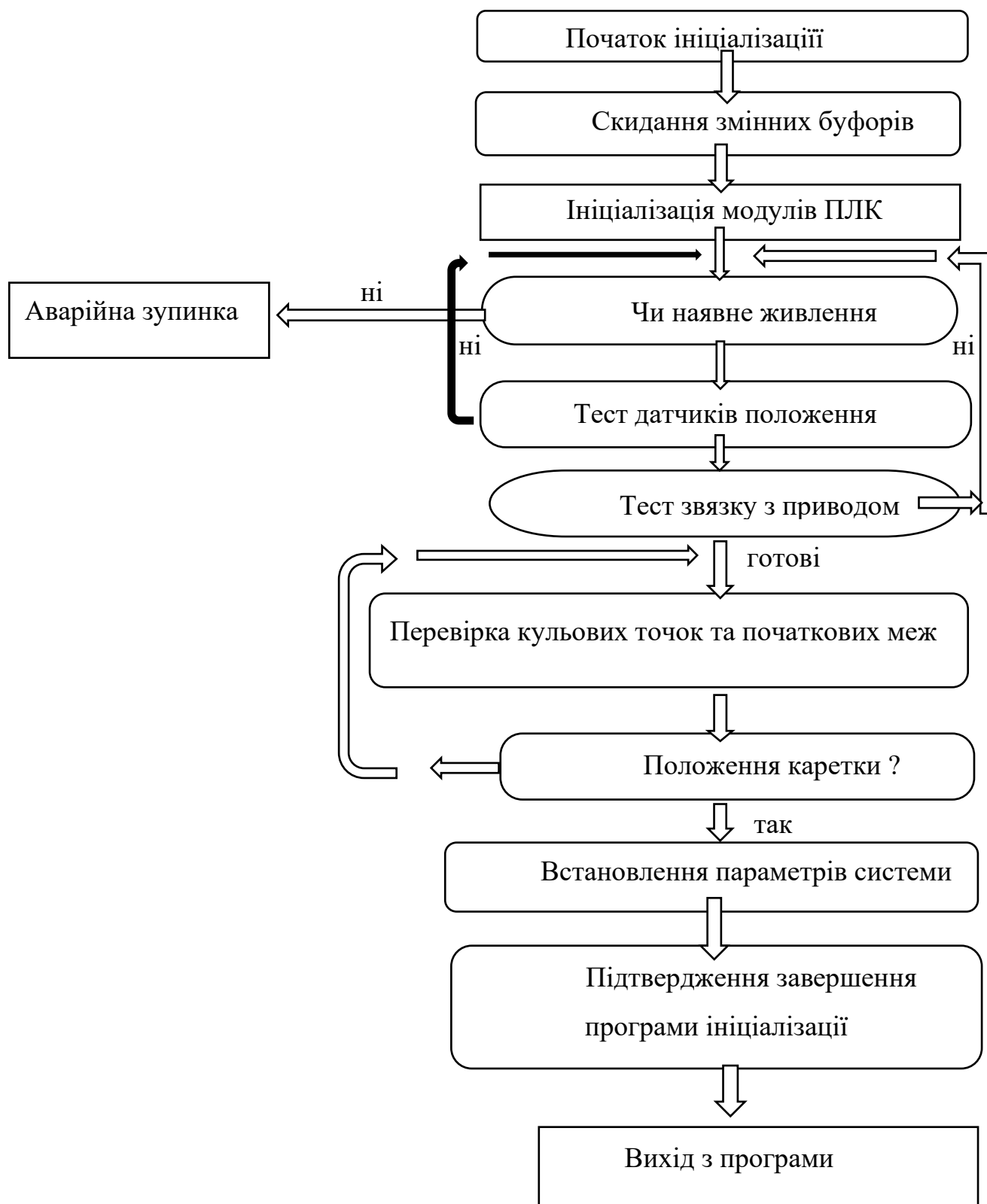


Рисунок 4.3 - Алгоритм підпрограми ініціалізації

Якщо живлення нестабільне або контролер не отримує підтвердження зв'язку від критичних компонентів, алгоритм переходить у аварійний режим, блокуючи запуск основної програми. Такий підхід запобігає роботі системи при потенційно небезпечних умовах.

Після успішної перевірки живлення система переходить до діагностики датчиків положення, кінцевих вимикачів та інших елементів, які забезпечують контроль фактичного стану механічних вузлів верстата. Якщо один із датчиків не відповідає або передає некоректні значення, ПЛК автоматично активує процедуру аварійної зупинки та повідомляє про несправність. У разі нормальної роботи датчиків підпрограма продовжує виконання.

Наступна перевірка стосується приводів, підсилювачів та частотних перетворювачів. Контролер надсилає запит «готовність до роботи» та очікує підтвердження від кожної осі та шпиндельного приводу. Якщо привід ще не готовий або знаходиться у стані блокування, алгоритм переходить у цикл очікування, доки стан не зміниться на «готово». Це забезпечує узгоджений запуск усієї системи та унеможливорює виникнення аварій через передчасне надсилання керуючих сигналів.

Після перевірки приводів виконується контроль початкового положення осей. На цьому етапі ПЛК визначає, чи перебувають осі X, Y та Z у коректному діапазоні або поблизу своїх нульових точок. Якщо фактичне положення невідоме, система автоматично формує команду на пошук нульових позицій. Ця операція є базовою для подальшої роботи автоматичного режиму, оскільки саме нульові координати виступають відправною точкою для подальших переміщень.

Після успішного визначення початкових положень виконується встановлення стандартних параметрів системи. До них належать: швидкості переміщення, технологічні ліміти, параметри прискорень, затримки включення приводів, логічні інверсії сигналів, допустимі межі аналогових значень та інші налаштування, необхідні для коректної взаємодії між ПЛК і обладнанням. На

цьому етапі формуються початкові значення для реєстрів, що використовуються основною програмою у процесі виконання технологічного циклу.

Завершальним етапом є формування сигналу про успішне завершення підпрограми ініціалізації. Контролер встановлює відповідні прапорці й переходить до подальшої роботи основного алгоритму. Завдяки цьому основна програма отримує підтвердження, що система повністю готова до виконання автоматичного режиму та всі ключові вузли працюють у штатному стані.

Таким чином, підпрограма ініціалізації виконує комплексну послідовність перевірок і налаштувань, які забезпечують безпечний та надійний запуск координатно-розточувального верстата після увімкнення. Її реалізація дозволяє гарантувати, що в процесі подальшої роботи система функціонуватиме стабільно та безпечно, а всі потенційно небезпечні стани будуть виявлені ще до початку обробки.

Алгоритм підпрограми позиціонування

Підпрограма позиціонування відповідає за точне переміщення координатних осей X, Y та Z верстата 2E450AФ1 до заданих цільових координат, які надходять від основного алгоритму або від оператора через панель керування. Структура алгоритму (рис. 4.4) побудована таким чином, щоб забезпечити перевірку команд, безпечний рух виконавчих механізмів, корекцію швидкості та контроль досягнення заданих позицій. На початковому етапі підпрограма приймає цільові координати X^* , Y^* та Z^* , які визначають положення інструмента або стола, що необхідно досягти. Прийом цих даних є ключовим, оскільки вони формують базу для наступних розрахунків траєкторії та контролю руху. Після отримання координат здійснюється перевірка їх коректності: підпрограма аналізує, чи не виходять вони за межі допустимого технологічного поля верстата. Такий контроль є обов'язковим для запобігання аварійних ситуацій, пов'язаних з можливим фізичним упором механізмів або перевантаженням вузлів.

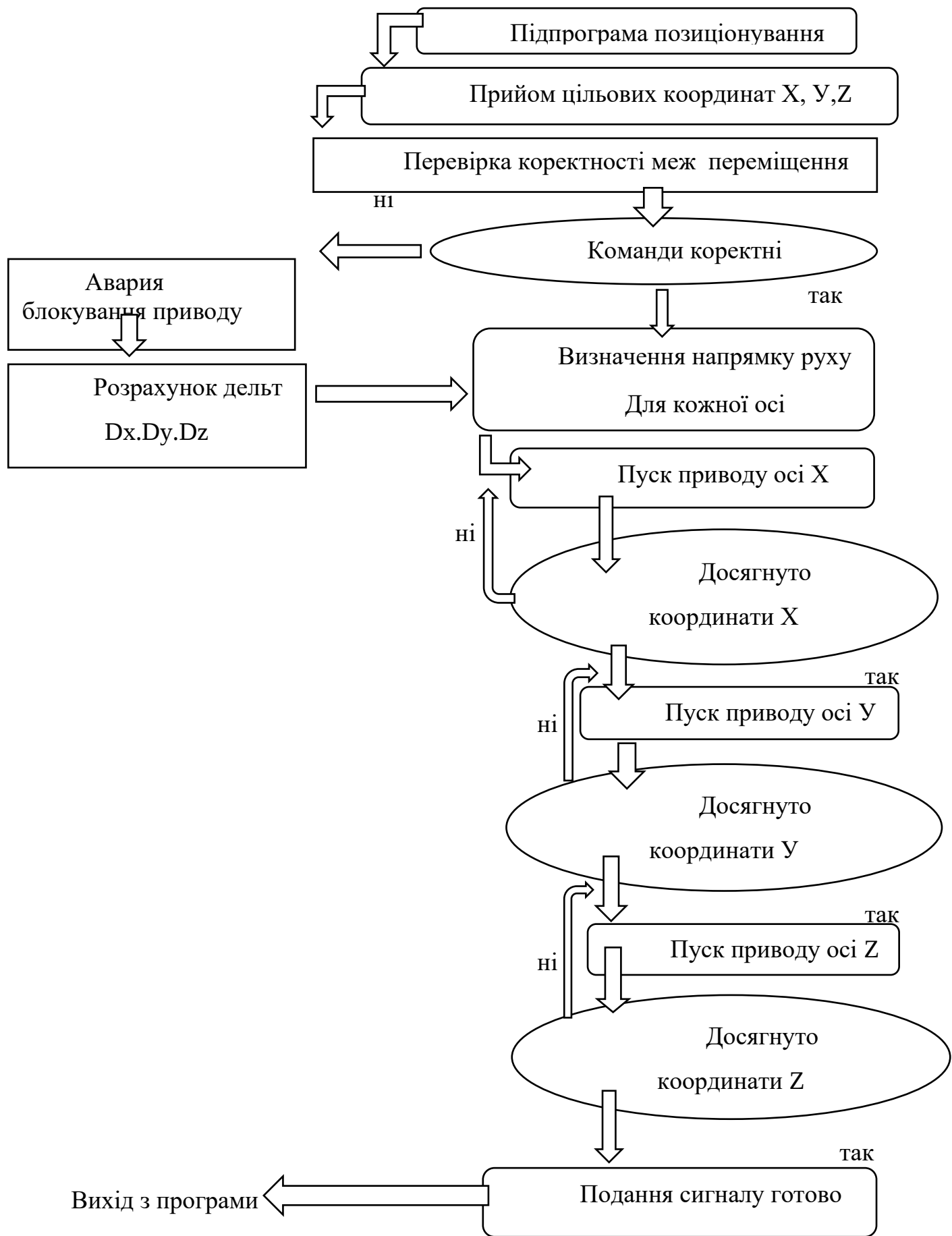


Рисунок 4.4 - Алгоритм програми позиціонування

У разі виявлення некоректних або небезпечних значень алгоритм ініціює аварійну зупинку, блокуючи подальші переміщення й передаючи у головний алгоритм сигнал про помилку. Це дозволяє зберегти обладнання та забезпечити безпечні умови роботи. Якщо ж координати відповідають нормам, алгоритм переходить до розрахунку різниць ΔX , ΔY та ΔZ між поточними й цільовими положеннями. Ці значення використовуються для визначення напрямку руху осей — чи слід переміщати їх у позитивному, чи у негативному напрямку.

Після визначення напрямку руху починається поетапне позиціонування. Спочатку активується привід осі X . Алгоритм контролює рух, опитує датчики положення та визначає, чи досягла вісь цільової координати. Якщо положення ще не досягнуто, система може здійснювати проміжну корекцію швидкості залежно від відстані до цілі або технологічних обмежень. Наприклад, на початку руху може бути використана підвищена швидкість, а ближче до кінцевої точки — знижена, щоб запобігти інерційним перевищенням та підвищити точність.

Коли координата X^* досягнута, вісь X вважається повністю позиціонованою, і підпрограма переходить до аналогічної процедури для осі Y . Принцип роботи повторюється: ініціювання руху, контроль за допомогою датчиків, корекція швидкості та зупинка після досягнення цільового положення. Такий підхід дозволяє забезпечити незалежний контроль кожної осі та уникнути конфліктів при одночасних переміщеннях.

Далі алгоритм аналогічно обробляє переміщення по осі Z , яка є критично важливою з точки зору безпеки, оскільки надмірний рух у вертикальному напрямку може призвести до зіткнення інструмента з деталлю або столом. Тому підпрограма для осі Z часто має додаткові обмеження руху, що контролюються в рамках цього ж алгоритму.

Після завершення позиціонування по всіх трьох координатах підпрограма виконує підсумкову перевірку — чи справді всі осі знаходяться в межах допуску цільових координат. Якщо хоча б одна вісь не досягла цілі або сталася нестандартна ситуація, алгоритм передає сигнал про відмову і робота не переходить до

наступного етапу. У разі успішного досягнення всіх необхідних позицій формується сигнал “Готово”, який повертається у головний алгоритм програми, дозволяючи продовжити технологічний цикл.

Таким чином, підпрограма позиціонування забезпечує точний, поетапний та безпечний рух осей верстата, реалізуючи контроль помилок, обмеження руху, логіку визначення напрямків та механізм корекції швидкості. Її робота є ключовою для стабільного виконання автоматичного режиму обробки та гарантує дотримання необхідної точності при переміщенні інструмента або заготовки.

Алгоритм підпрограми запуску шпинделя

Підпрограма запуску шпинделя є одним із ключових елементів системи автоматизованого керування координатно-розточувальним верстатом 2E450AФ1. Її основним призначенням є забезпечення коректного, безпечного та контрольованого старту головного приводу шпинделя відповідно до встановлених параметрів обробки. Алгоритм роботи підпрограми побудований таким чином, щоб перед початком обертання були перевірені всі необхідні умови, а сам процес розгону — відбувався під постійним контролем. (рис 4.5)

На початку роботи підпрограма отримує від основної програми командні параметри, серед яких визначальними є швидкість обертання шпинделя (параметр S) та напрямок обертання (CW або CCW). Перед тим як виконати фізичний запуск шпинделя, система повинна переконатися, що верстат знаходиться у правильному стані для безпечного ввімкнення приводу. Тому першим логічним етапом є перевірка умов. Підпрограма визначає, чи активовано автоматичний режим керування, адже запуск шпинделя передбачений виключно для автоматичного циклу. Далі здійснюється аналіз наявності аварійних ситуацій, що могли бути зафіксовані датчиками або модулем контролю приводу. Якщо хоча б один аварійний сигнал присутній, система негайно припиняє виконання підпрограми та повертає керування в основний алгоритм, блокуючи подальші дії.

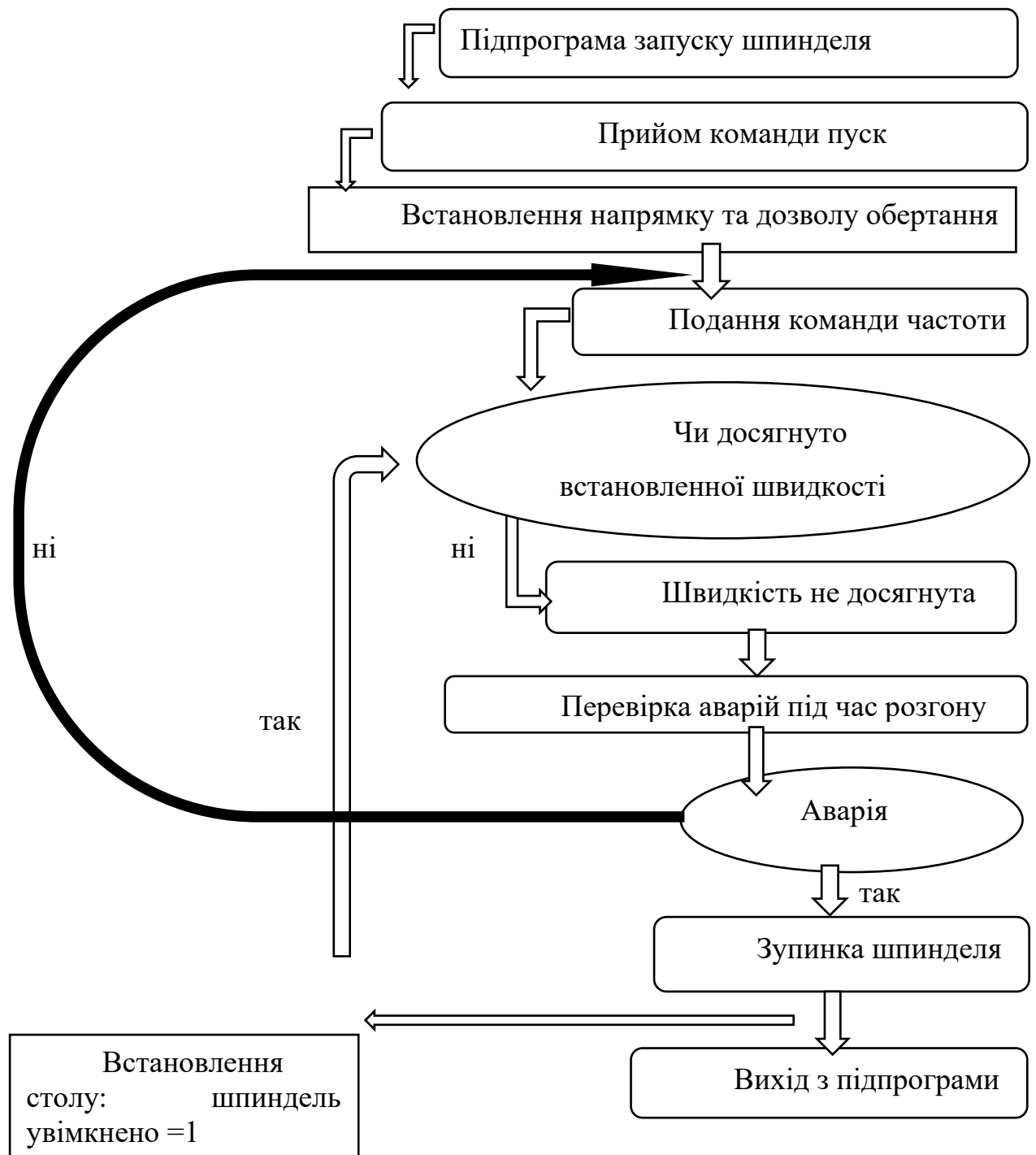


Рисунок 4.5 - Алгоритм підпрограми запуску шпинделя

Наступним етапом є перевірка технологічних параметрів безпеки. Зокрема, контролюється достатній тиск мастильно-охолоджувальної рідини, оскільки недостатнє мастило може призвести до перегріву та відмови шпиндельного вузла. Також перевіряється, чи знаходиться шпиндель у стані повної зупинки. Заборонено запускати привід, якщо шпиндель ще обертається після попередньої операції, щоб уникнути ривків та неконтрольованих навантажень.

У разі якщо всі умови виконані, підпрограма переходить до активної частини запуску. Насамперед на модуль керування частотним перетворювачем передається команда напрямку обертання. Зазвичай це цифровий сигнал, який визначає напрямок струму в обмотках приводу. Одночасно активується дозвіл на обертання — системний сигнал, який підтверджує початок роботи головного двигуна.

Після встановлення напрямку та дозволу підпрограма формує команду частоти, яка відповідає заданій швидкості обертання параметром S. Вона передається на частотний перетворювач, що забезпечує плавний розгін шпинделя до необхідного значення. Цей процес не є миттєвим, тому наступний етап алгоритму — контроль розгону.

Підпрограма постійно порівнює фактичну частоту обертів, отриману від датчика зворотного зв'язку або від частотного перетворювача, із заданою величиною. Якщо швидкість ще не досягла встановленого значення, алгоритм продовжує контроль у циклі очікування. Паралельно здійснюється контроль параметрів роботи приводу, таких як струмове навантаження, температура вузла та наявність вібрацій. Це дозволяє визначити можливі відхилення, які можуть свідчити про несправність або перевантаження.

У випадку, якщо під час розгону виникає аварійна ситуація, алгоритм негайно переходить у гілку аварійного завершення: подається команда на екстрену зупинку шпинделя, формується відповідний сигнал для основної програми та записується інформація про помилку. Це дозволяє попередити пошкодження шпиндельного вузла або заготовки.

Коли швидкість обертання досягає заданого параметра, підпрограма фіксує успішне завершення розгону. Стан системи оновлюється шляхом встановлення внутрішнього програмного прапорця «ШПИНДЕЛЬ_УВІМКНЕНО = 1», який використовується іншими підпрограмами та алгоритмами для подальших операцій (наприклад, переміщення інструмента, запуск охолодження та ін.).

Після цього підпрограма повертає керування в основну програму, сигналізуючи про готовність верстата до продовження автоматичного циклу обробки. Таким чином, розроблений алгоритм забезпечує не лише запуск шпинделя, але й комплексний контроль усіх критичних етапів, необхідних для стабільної та безпечної роботи обладнання.

Алгоритм підпрограми подачі/різання

Підпрограма подачі та різання є однією з ключових частин автоматизованої системи керування координатно-розточувальним верстатом 2E450AФ1, оскільки саме в її межах відбувається основний технологічний процес видалення матеріалу з заготовки. Алгоритм роботи підпрограми (рис. 4.6) передбачає послідовне виконання перевірок, ініціалізацію параметрів і безпосереднє переміщення виконавчих механізмів відповідно до заданої траєкторії. Це забезпечує точність позиціонування, стабільність подачі та високу якість обробки.

На початковому етапі підпрограма отримує від основної програми необхідні параметри, такі як швидкість подачі, глибина різання, тип інструмента та координати цільової точки. Ці дані визначають режим роботи інструмента й характер переміщення осей у процесі різання. Перед початком переміщення система повинна впевнитися, що всі критичні умови для запуску технологічної операції дотримані. Першою перевіркою є наявність обертання шпинделя. Різання може відбуватися лише за умови, що шпиндель працює в номінальному режимі, оскільки саме він забезпечує різальний рух інструмента. Якщо обертання не зафіксовано, підпрограма одразу припиняє виконання та повертає повідомлення про помилку до основної програми.



Рисунок 4.6 - Алгоритм підпрограми подачі/різання

Такий підхід дозволяє уникнути аварійних ситуацій, пов'язаних із контактом інструмента з матеріалом без достатньої кінематичної енергії.

Наступним етапом є перевірка системи на наявність аварійних сигналів, спрацювання кінцевих вимикачів, перевантаження приводів чи інших ситуацій, що можуть створювати ризик пошкодження обладнання або порушення технологічного процесу. Якщо система виявляє небезпечний стан, підпрограма відразу генерує команду аварійної зупинки, блокує подачу та повертає керування в основну програму, забезпечуючи таким чином захист оператора та механізмів верстата.

У разі відсутності аварійних станів система переходить до основного етапу — переміщення виконавчих механізмів відповідно до заданих координат. ПЛК ініціює рух по відповідних осях, контролюючи при цьому швидкість подачі та забезпечуючи плавність переміщення. У процесі руху відбувається постійний моніторинг поточного положення інструмента. Це необхідно для точного досягнення цільової точки та корекції траєкторії у випадку відхилень, спричинених інерційними навантаженнями або коливаннями робочого органа.

Підпрограма працює в циклічному режимі, доки координати положення інструмента не співпадуть із заданими координатами кінцевої точки. Після завершення переміщення система зупиняє подачу, фіксує завершення операції та формує повідомлення для основної програми про успішне завершення етапу різання. У разі потреби основна програма може ініціювати наступні технологічні дії, такі як зміна інструмента, відхід у безпечну точку або початок нової операції.

Таким чином, алгоритм підпрограми подачі та різання забезпечує контрольований, безпечний та точний процес обробки матеріалу на верстаті. Він враховує всі можливі відхилення в роботі приводів, перевіряє коректність стану обладнання перед виконанням операції, а також реалізує злагоджену взаємодію між основною програмою та виконавчими механізмами. Це робить його важливою складовою всієї автоматизованої системи керування та гарантує якісне виконання технологічних процесів у автоматичному режимі.

Розроблені алгоритми керування забезпечують узгоджену, безпечну та ефективну роботу координатно-розточувального верстата 2E450AФ1 у автоматичному режимі. Побудова основної програми та підпрограм ініціалізації, позиціонування, запуску шпинделя й подачі/різання дозволила сформувати цілісну логічну структуру, що охоплює всі ключові етапи технологічного процесу. Використання умовних операторів та перевірок станів обладнання гарантує надійну реакцію системи на типові та аварійні ситуації, а також забезпечує точність і стабільність переміщення виконавчих механізмів. Створена алгоритмічна модель є основою для подальшої програмної реалізації на ПЛК *Mitsubishi Electric R08CPU* і повністю відповідає вимогам до сучасних автоматизованих систем керування металорізальними верстатами.

4.3 Код програми

Даний підрозділ присвячений програмній реалізації алгоритмів керування координатно-розточувальним верстатом 2E450AФ1 на базі програмованого логічного контролера *Mitsubishi Electric R08CPU серії MELSEC iQ-R*. На основі розробленої в попередньому розділі структурно-логічної моделі було сформовано програмний код, який забезпечує автоматичну роботу верстата, включаючи ініціалізацію системи, позиціонування виконавчих механізмів, керування шпинделем та виконання операцій подачі й різання. Реалізація здійснена з використанням стандартів мов програмування, що гарантує відповідність промисловим вимогам та забезпечує зручність подальшої модифікації і супроводу програми. У цьому підрозділі подано фрагменти основних програмних модулів, що відповідають ключовим технологічним процедурам, а також наведені пояснення щодо логіки їх роботи та взаємодії між ними.

```

| // Ініціалізація системи
|----[ NO ] Power_Switch -----( SET ) Power_OK_Flag
| // Увімкнення системи
|----[ AND ] Home_Sensor_X
|----[ AND ] Home_Sensor_Y
|----[ AND ] Home_Sensor_Z -----( SET ) Sensors_OK_Flag
| // Перевірка датчиків
|----[ NO ] Sensors_OK_Flag -----( OUT ) Axis_X_Home_Motor
| // Переміщення осі X у нуль
|----[ NC ] Home_Sensor_X -----( RST ) Axis_X_Home_Motor
| // Зупинка приводу після досягнення нульової позиції
|----[ AND ] Power_OK_Flag
|----[ AND ] Sensors_OK_Flag
|----[ AND ] Turret_OK_Flag -----( SET ) System_Ready
| // Система готова
| // Завантаження заготовки
|----[ NO ] Load_Signal -----( OUT ) Conveyor_Motor
| // Увімкнення конвеєра
|----[ NC ] Position_Sensor -----( RST ) Conveyor_Motor
| // Зупинка при досягненні позиції
|----[ AND ] Position_Sensor
|----[ OR ] Manual_Load_Button -----( SET ) Material_Loaded
| // Сигнал готовності до обробки
| // Обробка заготовки (свердління)
|----[ NO ] Program_Step_Ready ----- ( SET ) Coordinate_X
| // Завантаження координат
|----[ NO ] Coordinate_X ----- ( OUT ) Axis_X_Command

```

```

| // Переміщення по осі X
|----[ NC ] X_Position_Sensor -----( RST ) Axis_X_Command

| // Зупинка приводу
|----[ NO ] Axis_X_On_Target -----( SET ) X_Target_Reached

| // Підтвердження позиції
|----[ NO ] X_Target_Reached -----( OUT ) Prepare_Z_Motion

| // Підготовка Z для подачі
|----[ NO ] Prepare_Z_Motion -----( OUT ) Axis_Z_Down_Command

| // Рух Z вниз (подача)
|----[ AND ] Axis_Z_Down_Command

|----[ AND ] Spindle_Running -----( OUT ) Feed_Motor

| // Початок подачі
|----[ NC ] Depth_Limit_Sensor ----- ( RST ) Feed_Motor

| // Зупинка при досягненні глибини
|----[ NO ] Depth_Limit_Sensor ----- ( SET ) Depth_Reached

| // Фіксація досягнення глибини
|----[ NO ] Depth_Reached ----- ( OUT ) Retract_Command

| // Повернення Z в початкову позицію
|----[ NO ] Retract_Command ----- ( OUT ) Axis_Z_Up_Command

|----[ NC ] Z_Home_Sensor -----( RST ) Axis_Z_Up_Command

| // Z повернулося в нуль
|----[ NO ] Z_Home_Sensor -----( SET ) Z_At_Home

| // Контроль інструменту під час роботи
|----[ NO ] Tool_OK -----( OUT ) Continue_Cutting

|----[ NC ] Tool_Broken -----( RST ) Continue_Cutting

| // Продолжити операцію, якщо інструмент в порядку
|----[ NO ] Continue_Cutting -----( OUT ) Next_X_Move

```

```

| // Наступний рух по X
|----[ NO ] Next_X_Move -----( OUT ) Axis_X_Command
|----[ NC ] X_Limit_Switch -----( RST ) Axis_X_Command
| // Перевірка навантаження подачі
|----[ NO ] Feed_Motor ----- ( OUT ) Feed_Current_Measure
|----[ NO ] Feed_Current_Measure
|----[ GT ] Feed_Current, Feed_Current_Limit-( SET ) Feed_Overload
| // Якщо перевантаження — зупинити подачу
|----[ NO ] Feed_Overload -----( OUT ) Stop_Feed
|----[ NO ] Stop_Feed -----( RST ) Feed_Motor
| // Виявлення поломки інструмента або перевантаження
|----[ NO ] Stop_Feed -----( OUT ) Raise_Alert
|----[ NO ] Raise_Alert -----( OUT ) Alarm_LED
|----[ NO ] Raise_Alert -----( OUT ) Alarm_Buzzer
| // Зупинка всіх приводів при аварії
|----[ NO ] Emergency_Stop -----( OUT ) Stop_All_Motors
|----[ NO ] Stop_All_Motors -----( RST ) Axis_X_Command
|----[ NO ] Stop_All_Motors -----( RST ) Axis_Y_Command
|----[ NO ] Stop_All_Motors -----( RST ) Axis_Z_Command
|----[ NO ] Stop_All_Motors -----( RST ) Spindle_Start
| // Умови безпеки перед запуском шпинделя
|----[ AND ] System_Ready
|----[ AND ] Guards_Closed
|----[ AND ] Oil_Pressure_OK -----( SET ) Spindle_Permit
|----[ NC ] Any_Fault -----( RST ) Spindle_Permit
| // Команда на запуск шпинделя
|----[ NO ] Spindle_Permit -----( OUT ) Spindle_Start

```

```

|----[ NO ] Spindle_Start -----( OUT ) Spindle_Drive_Enable
|----[ NC ] Spindle_Fault -----( RST ) Spindle_Drive_Enable
|----[ NO ] Spindle_Drive_Enable -----( SET ) Spindle_Running
| // Подача охолодження під час обробки
|----[ NO ] Spindle_Running -----( OUT ) Coolant_Pump
|----[ NC ] Coolant_Level_Low -----( RST ) Coolant_Pump
| // Подача мастила та охолоджуючої рідини
|----[ NO ] Coolant_Pump -----( OUT ) Nozzle_Valves
|----[ NO ] Nozzle_Valves -----( SET ) Coolant_On
| // Контроль температури підшипників
|----[ NO ] Spindle_Running -----( OUT ) Read_Temp_Sensor
|----[ GT ] Temp_Value, Temp_Max -----( SET ) Spindle_Overheat
|----[ NO ] Spindle_Overheat -----( OUT ) Spindle_Stop
|----[ NO ] Spindle_Stop -----( RST ) Spindle_Running
| // Повернення після аварії
|----[ NO ] Reset_Alarm_Button -----( OUT ) Clear_Alarms
|----[ NO ] Clear_Alarms -----( RST ) Alarm_LED
|----[ NO ] Clear_Alarms -----( RST ) Alarm_Buzzer
|----[ NO ] Clear_Alarms -----( RST ) Feed_Overload
| // Лог операцій
|----[ NO ] Cycle_Start -----( OUT ) Log_Start
|----[ NO ] Operation_Complete -----( OUT ) Log_End
|----[ NO ] Log_End ----- ( OUT ) Save_Log
| // Обробка завершення програми
|----[ AND ] Program_End
|----[ OR ] Operator_Stop -----( SET ) Shut_Down_Request
|----[ NO ] Shut_Down_Request -----( OUT ) Spindle_Stop

```

```

|----[ NO ] Spindle_Stop -----( RST ) Spindle_Drive_Enable
|----[ NO ] Spindle_Drive_Enable -----( RST ) Spindle_Running
|----[ NO ] Shut_Down_Request -----( OUT ) Disable_All_Power
|----[ NO ] Disable_All_Power -----( SET ) Power_Down_Flag
| // Стан готовності для наступного циклу
|----[ NO ] Cycle_Complete -----( SET ) Ready_For_Next
|----[ NO ] Ready_For_Next -----( OUT ) Release_Clamp
|----[ NO ] Release_Clamp -----( NC ) Clamp_Sensor
|----[ NC ] Clamp_Sensor -----( RST ) Release_Clamp
|----[ NO ] Release_Clamp -----( SET ) Clamp_Open
| // Повернення до початкових значень
|----[ NO ] Ready_For_Next -----( OUT ) Reset_Targets
|----[ NO ] Reset_Targets -----( RST ) X_On_Target
|----[ NO ] Reset_Targets -----( RST ) Y_On_Target
|----[ NO ] Reset_Targets -----( RST ) Z_On_Target
|----[ NO ] Reset_Targets -----( RST ) Positioning_OK
| // Моніторинг зв'язку із HMI
|----[ NO ] Comm_OK -----( OUT ) HMI_Alive
|----[ NC ] Comm_OK -----( RST ) Main_Loop_Enable
|----[ NO ] HMI_Alive -----( OUT ) Update_Display
| // Стан системи при очікуванні
|----[ NO ] Main_Loop_Enable -----( OUT ) Idle_Mode
|----[ NO ] Idle_Mode -----( SET ) Low_Power
|----[ NC ] Power_Switch -----( RST ) Low_Power
| // Режим ручного керування (сервіс)
|----[ NO ] Service_Mode_Button ----- ( SET ) Service_Mode
|----[ NO ] Service_Mode -----( OUT ) Enable_Manual_Axis

```

```

|----[ NO ] Enable_Manual_Axis -----( OUT ) Jog_Enable
|----[ NO ] Jog_Enable -----( OUT ) Manual_X_Motor
|----[ NC ] Jog_Stop -----( RST ) Manual_X_Motor
|----[ NO ] Manual_X_Move -----( OUT ) Manual_X_Motor
| // Захист від повторного старту
|----[ NO ] System_Ready -----( NC ) Restart_Lock
|----[ NO ] Restart_Lock -----( RST ) System_Ready
| // Перевірка стану сенсорів безпеки
|----[ NO ] All_Safety_OK -----( SET ) Safety_Green_LED
|----[ NC ] Any_Safety_Fail -----( RST ) Safety_Green_LED
|----[ NO ] Any_Safety_Fail -----( OUT ) Safety_Red_LED
| // Аварійний запис подій
|----[ NO ] Any_Safety_Fail -----( OUT ) Save_Error_Event
|----[ NO ] Save_Error_Event -----( OUT ) Send_Alert_Message
|----[ NO ] Send_Alert_Message -----( OUT ) Remote_Notify
| // Кінець програми
|----[ NO ] System_Idle ----- ( OUT ) Ready_Indicator
|----[ NO ] Ready_Indicator -----( OUT ) End_of_Scan
|----[ NC ] Power_Switch -----( RST ) Power_OK_Flag
|----[ NC ] Power_Switch -----( RST ) System_Ready
|----[ NO ] Power_OK_Flag -----( OUT ) Save_State
|----[ NO ] Save_State -----( OUT ) Power_Down_Sequence
|----[ NO ] Power_Down_Sequence -----( SET ) Power_Off_Flag
|----[ NO ] Power_Off_Flag -----( OUT ) System_Halted
|----[ NO ] System_Halted -----( OUT ) Lockout
|----[ NO ] System_Halted -----( OUT ) Final_Indicators
| // Кінець файлу

```

Розроблена програма керування реалізує повний цикл автоматичної роботи координатно-розточувального верстата 2E450АФ1 після його модернізації з використанням програмованого логічного контролера Mitsubishi Electric R08CPU серії MELSEC iQ-R. Структура програми побудована за принципами релейно-контактної логіки та поділена на функціонально завершені логічні блоки, що відповідають основним етапам технологічного процесу: ініціалізації системи, перевірці стану датчиків, позиціонуванню координатних осей, запуску та зупинці шпинделя, виконанню подачі інструмента і завершенню циклу обробки. Такий підхід забезпечує прозорість логіки керування, спрощує налагодження системи та підвищує її експлуатаційну надійність.

Застосування ПЛК Mitsubishi Electric R08CPU дозволило реалізувати гнучку та масштабовану систему керування, здатну адаптуватися до різних режимів роботи верстата та умов експлуатації. Використання чітко структурованих логічних умов, блокувань і сигналів стану підвищує рівень безпеки та забезпечує коректну реакцію системи на аварійні ситуації й зміну вхідних параметрів. Запропонована програмна реалізація може бути використана як основа для подальшого розширення функціональних можливостей верстата, інтеграції з операторськими панелями та системами диспетчеризації, а також у навчальному процесі під час вивчення сучасних систем автоматизованого керування металорізальним обладнанням.

У результаті виконання розробленої програми керування програмованим логічним контролером *Mitsubishi Electric R08CPU* була отримана циклограма роботи координатно-розточувального верстата 2E450АФ1. Дана циклограма відображає часову послідовність спрацювання виконавчих механізмів, рухів координатних осей та керуючих сигналів у автоматичному режимі роботи верстата відповідно до алгоритмів основної програми та підпрограм ініціалізації, позиціонування, запуску шпинделя та подачі/різання. Представлена циклограма наочно демонструє узгоджену роботу осей X, Y та Z, системи затиску,

шпиндельного приводу та допоміжних механізмів, а також підтверджує коректність логіки керування, реалізованої у програмі ПЛК.

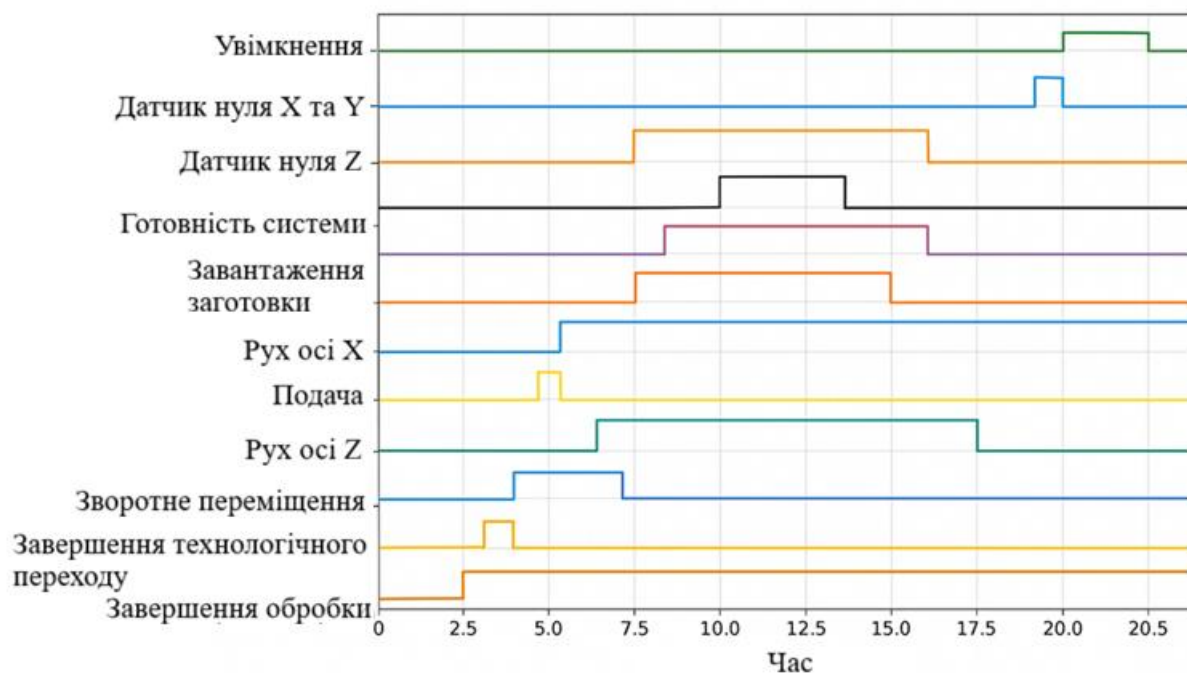


Рисунок 4.7 – Циклограма роботи верстата

У результаті розроблення та реалізації програмного коду керування на ПЛК *Mitsubishi Electric R08CPU* була отримана циклограма роботи координатно-розточувального верстата 2E450AФ1, яка наочно відображає узгоджену взаємодію всіх виконавчих механізмів, приводів осей та допоміжних систем у автоматичному режимі. Побудована циклограма підтверджує коректність закладених алгоритмів основної програми та підпрограм, забезпечує логічну послідовність операцій ініціалізації, позиціонування, запуску шпинделя, подачі та завершення обробки, а також демонструє дотримання умов безпеки й міжопераційних блокувань. Таким чином, розроблене програмне забезпечення повністю відповідає вимогам модернізації верстата, підвищує надійність його роботи та створює основу для подальшого розширення функціональних можливостей системи керування.

Висновки за розділом

У розділі 4 було розроблено та обґрунтовано впровадження автоматизованої системи керування координатно-розточувальним верстатом 2E450AФ1 на базі програмованого логічного контролера *Mitsubishi Electric R08CPU*. Сформовано функціональну структуру системи керування, яка охоплює силовий, керуючий та інформаційно-інтерфейсний рівні й забезпечує ефективну взаємодію всіх складових верстата після модернізації.

У межах розділу розроблено основний алгоритм програми та алгоритми підпрограм ініціалізації, позиціонування координатних осей, запуску шпинделя та виконання подачі і різання. На їх основі створено програмний код у форматі релейно-контактної логіки, що повністю відповідає принципам роботи промислових ПЛК і забезпечує автоматичний режим функціонування верстата з урахуванням умов безпеки та аварійних ситуацій.

Отримана циклограма роботи верстата підтверджує правильність логіки керування, чітку часову узгодженість операцій і стабільність роботи координатних осей та шпиндельного вузла. У цілому розроблені рішення забезпечують підвищення надійності, керованості та функціональних можливостей координатно-розточувального верстата, що свідчить про доцільність використання програмованого логічного контролера при його модернізації.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Основні положення та принципи охорони праці

Створення нормальних умов праці полягає в забезпеченні сприятливої обстановки на робочому місці – усуненні важких фізичних навантажень, шкідливих і небезпечних для здоров'я виробничих факторів, зниження нервової напруженості працюючих і монотонності праці.

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я й працездатності людини в процесі праці.

Покращення умов праці сприяє збереженню й зміцненню здоров'я працівників, тривалій підтримці працездатності людини на високому рівні, збільшенню й найбільш раціональному використанню фонду вільного часу працівників.

Покращення умов праці є істотним резервом для підвищення ефективності виробництва, сприяє зниженню виробничого травматизму, здобуваючи тим самим велику соціально-економічну значимість. Незадовільні умови праці працівників є одним з факторів, що сприяють зниженню продуктивності та працездатності, ріст браку. Поява нового високопродуктивного обладнання й технологічного оснащення призводять до виникнення складних проблем з охорони праці. Вирішення їх потребує від інженерно-технічних працівників значних зусиль, а також знань останніх досягнень науки й техніки.

Законодавство України про охорону праці являє собою систему взаємозв'язаних нормативних актів, що регулюють відносини у галузі реалізації державної політики щодо правових, соціально-економічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я

і працездатності людини в процесі праці. Загальними законами України, що визначають основні положення про охорону праці, є Конституція України, Кодекс законів про працю України та Закони України: "Про охорону праці", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку" "Про використання ядерної енергії та радіаційного захисту", "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення".

Спеціальними законодавчими актами є державні нормативні акти з охорони праці (ДНАОП). Це – правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов'язкових для виконання.

Вимогам нормативних актів з охорони праці мають відповідати:

умови праці на кожному робочому місці;

безпека технологічних процесів, машин, механізмів, обладнання й інших засобів виробництва;

стан засобів колективного та індивідуального захисту; – санітарно-побутові умови.

Законодавство про працю містить норми і вимоги з техніки безпеки і виробничої санітарії, норми, що регулюють робочий час і час відпочинку, звільнення та переведення на іншу роботу, норми праці щодо жінок, молоді, гігієнічні норми і правила тощо.

Основні принципи забезпечення охорони праці включають в себе основні принципи забезпечення безпеки праці, але доповнюються заходами соціального захисту.

Перший і фундаментальний принцип охорони праці – запобігання виробничого травматизму та професійної захворюваності. Всі заходи охорони праці та всіх її частин, наприклад, безпеки праці, гігієни праці, спрямовані на це. Вчасно запобігти – ось головна мета, головне завдання і основний принцип її реалізації в охороні праці.

Другий фундаментальний принцип охорони праці – готовність до захисту постраждалих. Він впливає з неможливості забезпечення абсолютної безпеки. Цей принцип відіграє виняткову роль в охороні праці. В даний час в нашій країні, як в більшості розвинених країн світу, він реалізується через систему обов'язкового соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань

5.2 Аналіз небезпечно шкідливих для здоров'я людини факторів, характерних для робіт, з координатно-розточувальним верстатом.

Наявність джерела небезпеки ще не означає того, що людині чи групі людей обов'язково повинна бути причинена якась шкода чи пошкодження. Існування джерела небезпеки свідчить передусім про існування або ж можливість утворення конкретної небезпечної ситуації, при якій буде причинена шкода. До матеріальних збитків, пошкодження, шкоди здоров'ю, смерті або іншої шкоди приводить конкретний вражаючий фактор.

Шкідливий виробничий фактор – фактор середовища і трудового процесу, що може викликати зниження працездатності, патологію (професійне захворювання), привести до порушення здоров'я нащадків.

Шкідливими можуть бути:

фізичні фактори: температура, вологість і рухливість повітря, випромінювання, що іонізують і не іонізують, шум, вібрація, недостатня

освітленість;

хімічні фактори: загазованість і запиленість повітря;

біологічні фактори: хвороботворні мікроорганізми;

фактори навантаження праці: фізичне статичне та динамічне навантаження; велика кількість стереотипних робочих рухів, велика кількість нахилів корпусу, незручна робоча поза;

фактори напруженості праці: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, монотонність і тривалість роботи.

Експлуатація електричних установок відноситься до розряду робіт, виконуваних в умовах підвищеної небезпеки. До основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів при роботі в цеху відносять:

дія виробничих вібрацій на людину;

шум на виробництві;

пил;

небезпека поразки електричним струмом;

інші.

Вібрація викликає порушення фізіологічного і функціонального стану людини. Вплив вібрації не тільки погіршує самопочуття працюючого і знижує його продуктивність праці, але часто приводить до важкого професійного захворювання – віброхвороби. Основним критерієм умов праці вібронебезпечних професій є рівень впливу вібрації. Розрізняють наступні умови праці і вібровпливу на людину: комфортні – не викликають дратівного впливу; нормальні - не знижують працездатності; вібробезпечні – не викликають несприятливого біологічного впливу; вібронебезпечні – можливі патологічні зміни в організмі і віброхвороби.

Шум негативно впливає на різні системи організму: серцево-судинну, нервову, порушує сон, увагу, збільшує роздратованість, депресію, неспокій, подразнення, може впливати на дихання і травну систему; ушкодження слухової функції з тимчасовою або постійною втратою слуху; порушення здатності передавати та сприймати звуки мовного спілкування; відволікання уваги від звичайних занять; зміни фізіологічних реакцій людини на стресові сигнали; вплив на психічне і соматичне здоров'я; дію на трудову діяльність і продуктивність праці. Дослідження свідчать про несприятливий вплив шуму на центральну нервову, серцево-судинну систему і органи травлення. Порушення стану функціонування

центральної нервової системи під впливом шуму призводить до ослаблення уваги і працездатності, особливо розумової.

Шум відноситься до шкідливих факторів виробництва як і звук, виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких і газоподібних середовищах. Шумом являються різні звуки, що заважають нормальній діяльності і викликають неприємні відчуття. Звук являє собою коливальний рух навколишнього середовища, сприйманий людським органом слуху.

У цехах допускається шум близько 100 дБ. Рівень шуму вище 140 дБ може викликати болісний ефект. Комплекс змін, що виникають в організмі під впливом шуму, розглядається медиками як "шумова хвороба".

Пил – дрібні і тверді частки, здатні якийсь час знаходитися в повітрі у зваженому стані. Утворюється при ритті комунікаційних ліній, монтажі будинків, опоряджувальних роботах, очищенні поверхонь і ін. Пил характеризується хімічним складом, розміром і формою часток, їхньою щільністю, електричними, магнітними й іншими властивостями. Ступінь подрібненості пилу називається його дисперсністю. Дисперсний склад може бути представлений у виді таблиць, математичних виразів, або графіків. Одна з основних характеристичних величин пилу – швидкість витання часток, тобто швидкість їхнього осадження під дією сили ваги в незбуреному повітрі.

У залежності від складу пилу змінюється його шкідливість; прикладом, найбільш шкідливим для людини вважається діоксид кремнію SiO_2 , що викликає таке захворювання, як силікоз. По хімічному ж складі пил підрозділяється на органічний (деревна, бавовняна ...), неорганічний (цементна, карбідна ...) і змішаний. ПДК коливається від 1 до 10 мг/м³.

Характерною для електротравматизму є порівняно велика кількість нещасних випадків з важким результатом – за даними енергонагляду з кожних 100 розслідуваних нещасних випадків від дії електричного струму 90 закінчується загибеллю потерпілих.

Основний спосіб захисту від статичної електрики – заземлення устаткування, судин і комунікацій, в яких накопичується статичний струм, використання спеціального взуття з електропровідною підошвою і інші засоби захисту.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

забезпечення недоступності струмоведучих частин;

електричний розподіл мережі;

використання подвійної ізоляції, вирівнювання потенціалу, використання захисного заземлення, захисного відключення;

застосування спеціальних електрозахисних засобів – портативних приладів і пристосувань;

організація безпечної експлуатації електроустановок.

Електрозахисні засоби поділяють на:

- Ізолюючі:

основні: гумові рукавички діелектричні, інструмент з ізолюючими рукоятками з показником напруги до 1000 В;

додаткові: калоші діелектричні, килими і ізолюючі підставки.

- Огороджувальні: щити, огороження-клітки, ізолюючі накладки і ковпаки, попереджувальні плакати, пристрої тимчасового заземлення.

Справність засобів захисту повинна перевірятися оглядом перед кожним їх застосуванням, а також періодично через 6...12 місяців

В установках з напругою до 1000 В з ізолюованою нейтраллю безпека їх обслуговування забезпечується тільки при невеликій довжині мережі й при високому рівні опору ізоляції фаз щодо землі. Остання умова може бути виконана шляхом безперервного контролю ізоляції, своєчасного й швидкого відшукування й усунення місць ушкодження кваліфікованим персоналом.

Поразка електричним струмом можлива не тільки при виконанні зазначених умов, але й при переході вищої напруги в мережу нижчої. Такий перехід може мати місце не тільки при пробі між обмотками трансформаторів, при живленні

автотрансформатора, але, наприклад, і при падінні проводів високовольтної лінії (ВЛ) 6 ÷ 10 кВ і вище на провід лінії 0,4 кВ.

Для зменшення небезпеки поразки вторинну обмотку трансформатора заземлюють, а на ВЛ виконується повторне заземлення нульового проводу. Ушкоджена ділянка мережі ВЛ відключається захистом через якийсь проміжок часу, але на час дії захисту заземлення знижує напругу вторинного кола щодо землі.

У всіх розглянутих випадках дотику, особливо в електроустановках до 1000 В, велику роль грає будь-який додатковий опір, послідовно підключений до опору тіла людини, такий як опір підлоги, взуття, захисних засобів (рукавичок, калош та інших).

5.3 Заходи щодо зменшення впливу шкідливих та небезпечних факторів на виробництві.

На основі аналізу шкідливих та небезпечних факторів, таких як: вібрації, шум, пил та електробезпека, було розроблено низку заходів, щодо їх зменшення або уникнення.

Основними заходами зниження впливу вібрацій є зниження її в джерелі виникнення та вибору технологічних процесів та робочих режимів з урахуванням частот власних коливань машин та механізмів.

Причиною низькочастотних, вібрацій, як правило, є дисбаланс роторів, що виникає внаслідок нерівномірності густини матеріалу машин, неправильного вибору допусків і посадок, урізнення коефіцієнтів об'ємного розширення або зносостійкості окремих елементів машин.

Якщо не вдається усунути вібрації в джерелі виникнення, тоді застосовують такі методи зниження вібрації:

- балансування роторів (валів);

- удосконалення ручних механізованих інструментів;

усунення надмірних люфтів та зазорів, що забезпечується періодичним оглядом машин та механізмів;

вібродемпферування, в основу якого покладено збільшення активних втрат у коливних системах;

віброгасіння;

віброізоляцію, що полягає у введенні в систему додаткових пружних елементів, які перешкоджають впливу від машини на другі елементи конструкції.

Відносно джерела збудження вібрації методи колективного захисту поділяються на методи, котрі знижують параметри вібрації впливом на джерело збудження, а також ті, котрі знижують параметри вібрації в напрямку її поширення.

Для віброізоляції стаціонарних машин використовують віброізолювальні отвори у вигляді прокладок або пружин. Однак, можлива їх комбінація. Комбінований віброізолятор поєднує пружинний віброізолятор з пружинною прокладкою. Пружинний віброізолятор пропускає високочастотні коливання, а комбінований забезпечує великий діапазон коливань, що гасяться. Пружинні елементи можуть бути металевими, полімерними, волокнистими тощо.

Персонал, який працює із вібронебезпечними процесами, повинен вдягати спеціальний одяг, спеціальне взуття.

Захист людини від шуму можна забезпечити як колективними засобами та методами, так і індивідуальними. Колективні засоби захисту діляться на засоби, що знижують шум в його джерелі, та засоби, що знижують шум на шляху його розповсюдження від джерела до об'єкту, який захищають.

Методи зниження шуму:

зниження шуму в джерелі його виникнення;

звукоізоляція;

екранування;

будівельно-акустичні заходи.

Зниження шуму в джерелі виникнення досягається за рахунок зміни конструкції або принципу дії верстата, що знижує віброактивність вузлів, випромінювання шуму поверхнями верстата та аеродинамічний шум.

При акустичній обробці приміщення шум знижується внаслідок зменшення інтенсивності відбитих хвиль.

Виходячи з гігієнічних нормативів, витікає, що знижувати потрібно не будьяку віброакустичну активність машин, а тільки ту, яка шкідливо впливає на людський організм, тобто за рівнем, вищим за гранично допустимий норматив.

Як захист від шуму і звуку варто застосовувати звукоізоляцію, звукопоглинання, спеціальні глушители аеродинамічного шуму, засоби індивідуального захисту, навушники, беруши, протишумні каски, спеціальний протишумний одяг.

Заходи щодо боротьби з пилом на цьому виробництві та її шкідливим впливом на організм людини проводяться за наступними напрямками:

раціоналізація технологічного процесу, що усуває утворення пилу;

автоматизація процесів, при яких утворюється пил;

застосування пиловитягаючої вентиляції, вентиляції загального та місцевого призначення;

регулярне прибирання приміщень;

забезпечення робочих протипиловим спецодягом, респіраторами, окулярами та іншими засобами захисту;

створення на підприємстві умов для забезпечення заходів особистої гігієни.

При впровадженні розробленого технологічного процесу механічної обробки деталі у виробництво існуватиме пилове забруднення повітря, що негативно впливає на здоров'я працівників та довговічність обладнання. Однак, використання місцевої та загально-обмінної (природної та механічної) систем вентиляції, які забезпечують високий ступінь очистки відпрацьованого повітря від шкідливих домішок за рахунок його багатоступеневого очищення у відповідних апаратах,

дозволяє досягнути істотного покращення складу повітряного середовища виробничого приміщення.

Електробезпека на виробництві забезпечується відповідною конструкцією електроустановок, застосуванням технічних способів та засобів захисту; організаційними та технічними заходами.

Конструкція електроустановок повинна відповідати умовам експлуатації, забезпечувати захист персоналу від дотику із струмоведучими і рухомими частинами та від попадання всередину обладнання сторонніх предметів і води.

Забезпечення електробезпеки від випадкового дотику до струмоведучих частин досягається такими способами та засобами: захисні огорожі; ізоляція струмоведучих частин; застосування малих напруг; електричний розподіл мережі; захисне заземлення; захисне занулення; захисне відключення; захист від небезпеки при переході напруги з вищої сторони на нижчу; компенсація струмів замикання на землю; ізолюючі захисні та охоронні засоби; організації безпечної експлуатації електроустановок.

Технічними заходами щодо забезпечення електробезпеки робіт є:

відключення ремонтного електроустаткування і вживання заходів проти випадкового його включення;

установка тимчасових огорож електродіелектричних частин і вивішування заборонних плакатів не "включати - працюють люди" або не "включати – роботи на лінії";

приєднання переносного заземлення до заземлюючої шини стаціонарного заземлюючого пристрою і перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах, які для безпеки проведення робіт підлягають короткому замиканню і заземленню;

накладення переносних заземлень на відключені струмоведучі частин електроприводу відразу після перевірки відсутності напруги або включення спеціальних заземлюючих роз'єднувачів;

огорожа робочого місця і вивішування на огорожі дозволяючого напису "Працювати тут".

Ці технічні заходи виконує допущений до роботи з числа оперативного ремонтного персоналу з кваліфікаційною групою не нижче III по дозволу особи, що віддає розпорядження на проведення робіт. При роботі з електричними колами напругою до 1000 В застосовуються наступні основні захисні засоби:

- діелектричні рукавички;
- вимірювальні оперативні штанги;
- кліщі електровимірювань;
- показчики напруги.

Висновок за розділом

У даному розділі було проведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі системи керування, а саме: частини обертових пристроїв, що рухаються, можуть привести до важких фізичних травм при дотику до них, ті, що рухаються поступально – до забитих місць і переломів. Насиченість приміщення електроустаткуванням призводить до підвищення небезпеки ураження електричним струмом. Несправності електричних пристроїв і електропроводки, неправильна експлуатація електроустаткування можуть привести до коротких замикань і виникнення пожежі. Крім цього, було розглянуто вплив шуму та вібрацій на організм людини. У зв'язку з цим, було розроблено низку заходів, щодо уникнення від впливу шкідливих та небезпечних факторів, пов'язаних з експлуатацією й налагодженням системи керування електроприводом.

ВИСНОВОК

У магістерській роботі виконано дослідження, розробку та практичну реалізацію модернізованої системи керування координатно-розточувальним верстатом 2E450АФ1 із використанням сучасного програмованого логічного контролера *Mitsubishi Electric R08CPU серії MELSEC iQ-R*. У ході роботи проаналізовано конструктивні особливості верстата та можливості штатної системи числового програмного керування «Електроніка НЦ-31», що дозволило обґрунтувати доцільність її заміни на сучасну автоматизовану систему керування.

Розроблено структурно-логічну та функціональну схеми системи керування, визначено склад технічних засобів, розроблено алгоритми основної програми та підпрограм, що забезпечують автоматичний режим роботи верстата. Створений програмний код реалізує керування координатними осями, шпинделем, подачею, системами охолодження та безпеки, а також передбачає обробку аварійних і нестандартних ситуацій. Побудована циклограма підтверджує коректність роботи алгоритмів і узгодженість усіх етапів технологічного процесу.

Отримані результати свідчать про ефективність використання програмованих логічних контролерів для модернізації існуючого металорізального обладнання. Запропоноване рішення дозволяє підвищити надійність, гнучкість та безпеку роботи координатно-розточувального верстата, а також може бути рекомендоване для практичного впровадження на підприємствах машинобудівної галузі та використання в навчальному процесі.

Список використаних джерел

1. Верстат координатно-розточувальної 2E450AФ1-1. Посібник з експлуатації 2E450AФ1-1.000.000 PE, 1978 -
2. Бернштейн-Коган В.С. Електроустаткування координатно-розточувальних та різьбошліфувальних верстатів, 1969
3. Глухів Н.М. Робота на координатно-розточувальних верстатах, 1953
4. Григор'єв С.П., Григор'єв В.С. Практика координатно-розточувальних та фрезерних робіт, 1980
5. Іпатов С.С. Координатно-розточувальні верстати в точному приладобудуванні, 1954
6. Кашепава М.Я. Сучасні координатно-розточувальні верстати, 1961
7. Кудряшов А.А. Верстати інструментального виробництва, 1968
8. Смирнов В.К. Токар-розточник. Підручник для технічних училищ, 1982
9. Тепінкічєв В.К. Металорізальні верстати, 1973
10. Зазерський Є.І., Гутнер Н.Г. Токар-розточник, 1960
11. Пономарьов В.Ф. Довідник токаря-розточника, 1969
12. Смирнов В.К. Токар-розточник. Підручник для технічних училищ, 1982
13. Богданов А.В. Розточна справа, 1960
14. Кузнєцов А. Г., Шумілов А. В. Автоматизація технологічних процесів. Київ: Техніка, 2018. 256 с.
15. Мартиненко О. В. Сучасні технології автоматизації. Львів: Видавництво ЛНУ, 2019. 320 с.
16. Tully P. Robotics and Automation in the Manufacturing Industry. London: CRC Press, 2020. 412 p.
17. Шевченко О. В. Аспекти автоматизації обробки. Черкаси: ЧНУ, 2020., 180с.

18. Борисенко, О. О. Автоматизація: проблеми та рішення / О. О. Борисенко. — Харків: Видавництво ХНУ, 2022. — 200 с.
19. Грачов, Л. М. Конструкція та налагодження верстатів з програмним керуванням та роботизованих комплексів / Л. М. Грачов. — 1986. — 122 с.
20. Іванов, Ю. М. Модульне проектування технології механічної обробки деталей на станках з ЧПУ / Ю. М. Іванов. Львів: Вища школа. ун-ті, 1982. — 108 с.
21. Petruzella, F. D. Programmable Logic Controllers / F. D. Petruzella. — 5th ed. — New York: McGraw-Hill, 2016. — 672 p.
22. CPU Module Hardware Manual. — [електронний ресурс]. — Mitsubishi Electric Corporation, [б. д.]. — Режим доступу: <https://www.mitsubishielectric.com>, вільний.
23. Bryan, L. A., Bryan, E. A. Programmable Controllers: Theory and Implementation / L. A. Bryan, E. A. Bryan. — 2nd ed. — 1997. — 1035 p. — ISBN 0944107-32-X.
24. Король, С. В. Програмовані логічні контролери / С. В. Король. — К.:

