

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

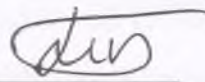
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

І. С. Білюк

« 20 » 12 2024 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

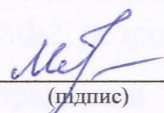
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизація системи керування свердлильного верстату
з револьверною головкою

Виконав: студент групи 6371мз

Мамедов Руслан Алімович

(прізвище, ім'я, по батькові)

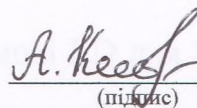


(підпис)

Керівник

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

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

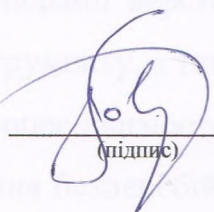


(підпис)

Рецензент

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

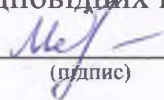
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

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

Студент



(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена автоматизації системи керування свердильним верстатом 2P135Ф2 з револьверною головкою. Основною метою роботи є розробка та впровадження автоматизованої системи керування, яка базується на використанні програмованого логічного контролера (ПЛК) Mitsubishi FX5U-32M.

Об'єкт дослідження – свердильний верстат 2P135Ф2 з револьверною головкою, який використовується в металообробній промисловості для виконання різноманітних свердильних та обробних операцій на деталях.

Предмет дослідження – автоматизація системи керування свердильним верстатом 2P135Ф2, зокрема розробка та впровадження програмованого логічного контролера Mitsubishi FX5U-32M для ефективного керування процесами верстата, включаючи управління обертанням шпинделя, подачею інструменту, зміною положення револьверної головки та іншими технологічними параметрами.

Ключові слова: автоматизація, свердильний верстат, револьверна головка, синхронізація приводів, система автоматичного керування

В роботі розглядаються технічні характеристики верстата 2P135Ф2, розробка функціональної схеми системи керування, а також алгоритми управління для забезпечення точності та ефективності обробки.

Особливу увагу приділено розробці програмного коду на мові LD для ПЛК Mitsubishi FX5U-32M, який дозволяє автоматизувати основні операції верстата, зокрема керування швидкістю обертання шпинделя, подачею інструменту, а також управління зміною положення револьверної головки. Описано процес діагностики та налагодження системи, що є важливим етапом для забезпечення безперебійної та надійної роботи верстата.

Результати роботи показують, що впровадження автоматизованої системи керування на основі ПЛК дозволяє підвищити точність обробки деталей та покращити керованість технологічними параметрами, що забезпечує ефективну і стабільну роботу обладнання в умовах серійного виробництва.

ABSTRACTS.

The master's thesis is devoted to the automation of the control system of the 2P135F2 drilling machine with a turret head. The main purpose of the work is to develop and implement an automated control system based on the use of a Mitsubishi FX5U-32M programmable logic controller (PLC).

The object of research is a 2P135F2 drilling machine with a turret head, which is used in the metalworking industry to perform various drilling and machining operations on parts.

The subject of the study is the automation of the control system of the 2P135F2 drilling machine, in particular, the development and implementation of the Mitsubishi FX5U-32M programmable logic controller for efficient control of machine processes, including control of spindle rotation, tool feed, change of the turret position and other technological parameters.

Keywords: automation, drilling machine, turret, synchronization of drives, automatic control system

The paper discusses the technical characteristics of the 2P135F2 machine, the development of a functional diagram of the control system, and control algorithms to ensure the accuracy and efficiency of machining.

Particular attention is paid to the development of LD program code for Mitsubishi FX5U-32M PLC, which allows automating the main operations of the machine, including controlling the spindle speed, tool feed, and controlling the change in the position of the turret. The article describes the process of diagnostics and debugging of the system, which is an important stage for ensuring uninterrupted and reliable operation of the machine.

The results show that the introduction of an automated control system based on PLC allows to increase the accuracy of machining parts and improve the controllability of technological parameters, which ensures efficient and stable operation of the equipment in mass production.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТА ОПИС ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	7
1.1 Аналіз літературних джерел і сучасних розробок за темою.....	7
1.2 Конструкційні особливості свердлильного верстату з револьверною головкою 2Р135Ф2.....	16
1.3 Опис штатного ЧПК верстату.....	28
Висновки за розділом 1.....	37
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОЛІДЖЕННЯ.....	39
2.1 Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження.....	39
2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження.....	45
2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі дослідження.....	46
РОЗДІЛ 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	51
3.1 Особливості роботи ПЛК.....	51
3.2 Вибір ПЛК та його технічні характеристики.....	58
3.3 Процес діагностики та налагодження ПЛК Mitsubishi FX5U-32M.....	69
Висновок до розділу 3.....	72
РОЗДІЛ 4 ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	73
4.1 Функціональна схема системи автоматичного керування.....	73
4.2 Алгоритми управління свердлильним верстатом 2Р135Ф2.....	77
4.3 Код програми.....	82
Висновок до розділу 4.....	97
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	99
5.1 Основні положення та принципи охорони праці.....	99
5.2 Аналіз небезпечних шкідливих для здоров'я людини факторів, характерних для робіт, пов'язаних з налагодженням і обслуговуванням системи керування свердлильного верстату з револьверною головкою.....	101
5.3. Розрахунок захисного заземлення системи керування свердлильного верстату з револьверною головкою.....	105

5.4. Розробка заходів щодо зменшення впливу шкідливих та небезпечних факторів, пов'язаних з експлуатацією й налагодженням електроприводу свердлильного верстату з револьверною головкою.....	108
Висновок за розділом 5.....	112
Висновок.....	113
Список використаних джерел.....	115
Додаток А. Мультимедійна презентація.....	117

ВСТУП

Сучасна промисловість вимагає впровадження новітніх технологій для забезпечення високої ефективності та точності виробничих процесів. Одним із ключових елементів для досягнення цих цілей є автоматизація систем управління, яка дозволяє значно підвищити продуктивність, знизити вплив людського фактору та покращити якість виготовлених виробів. Свердлильні верстати з револьверною головкою займають важливе місце в металообробній галузі, оскільки вони забезпечують високу швидкість і точність обробки різноманітних деталей.

Метою даної магістерської роботи є розробка та впровадження автоматизованої системи керування свердлильним верстатом 2P135Ф2 з револьверною головкою. Для досягнення цієї мети використано програмоване логічне керування (ПЛК), зокрема модель Mitsubishi FX5U-32M, яка дозволяє реалізувати необхідні алгоритми управління та забезпечити гнучкість і точність роботи верстата.

Завдання роботи: вивчити особливості свердлильного верстату 2P135Ф2 та револьверної головки, обґрунтувати використання ПЛК Mitsubishi FX5U-2M для автоматизації, створити основний алгоритм роботи програми та функціональну схему автоматизованої системи, написати програму для ПЛК та провести її тестування і оцінити її продуктивність та точність.

Впровадження автоматизованої системи керування повинно дозволити підвищити точність обробки, знизити час налаштування обладнання та покращити контроль за технологічними параметрами, що в кінцевому результаті сприятиме підвищенню ефективності виробничих процесів.

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 свердлильні верстати з револьверною головкою, які використовуються для виконання різноманітних свердлильних 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, витрачений на налаштування. В той же час, ПЛК забезпечують ефективну інтеграцію з іншими компонентами автоматизованої виробничої лінії, що дозволяє досягти високого рівня синхронізації між різними процесами [1].

Револьверна головка (рис.1.1) є важливою частиною свердлильних верстатів, оскільки дозволяє автоматично змінювати інструменти, зменшуючи тим самим час на переналагодження верстату. Високоточні механізми для зміни інструментів є невід'ємною частиною сучасних систем автоматизації, і для їх ефективного управління розроблено численні алгоритми, що враховують механічні та електричні характеристики верстата.

Однією з основних проблем є синхронізація роботи револьверної головки з іншими компонентами системи автоматизації, зокрема з ПЛК.

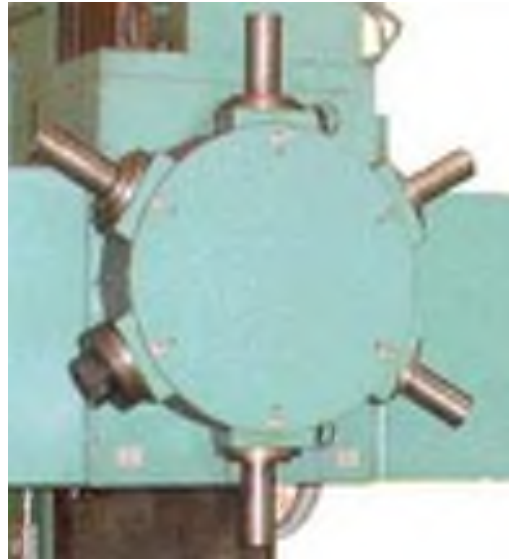


Рисунок 1.1 – Револьверна головка свердлильного верстату

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 свердлильних верстатів з револьверною головою, є складність інтеграції різних елементів системи, висока вартість обладнання та 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 свердильними верстатами з револьверною головкою є важливим напрямом для досягнення високої конкурентоспроможності підприємств в умовах сучасного виробництва.

Сучасні автоматизовані системи керування свердильними верстатами з револьверною головкою 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 доповненої 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 свердлильних верстатів з револьверною головкою 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.

Автоматизовані механізми зміни інструментів також включають алгоритми для зменшення часу, необхідного на зміну інструментів, що дозволяє підвищити продуктивність верстатів і знизити витрати на обслуговування. Деякі новітні технології інтегрують мульти-інструментальні револьверні головки, що дозволяє одночасно виконувати кілька різних операцій без необхідності в додаткових налаштуваннях [3].

Незважаючи на значні досягнення в автоматизації верстатів, існують певні проблеми та обмеження, пов'язані з їх впровадженням. Однією з основних проблем є високі витрати на розробку та впровадження автоматизованих систем. Такі системи потребують великих інвестицій у обладнання, програмне забезпечення та

навчання персоналу. Крім того, існує проблема інтеграції нових технологій з вже наявними виробничими системами, що вимагає значних зусиль з боку інженерів та технічних спеціалістів.

Іншою проблемою є необхідність постійного оновлення програмного забезпечення та підтримки системи, що може бути складним завданням для підприємств з обмеженими ресурсами. Водночас, технології автоматизації потребують висококваліфікованого персоналу для налаштування та обслуговування, що також є викликом для багатьох підприємств.

Впровадження автоматизованих систем керування свердлильними верстатами з револьверною головкою дозволяє значно підвищити ефективність виробничих процесів. Одним з основних чинників, що визначає вигоди від автоматизації, є скорочення часу налаштування верстатів і зміни інструментів. Традиційні методи потребують значного часу на переналагодження верстатів під нові операції, що не тільки знижує продуктивність, але й призводить до високих витрат на експлуатацію обладнання. Автоматизація цих процесів забезпечує швидке налаштування, значно скорочуючи час циклу і дозволяючи збільшити обсяги виробництва.

Підвищення точності обробки, яке забезпечується автоматизованими системами, є ще одним важливим аспектом. Завдяки автоматичному контролю за параметрами обробки, такими як швидкість обертання інструменту, подача та точність позиціонування, вдається знизити рівень бракованої продукції, що особливо важливо для складних деталей з високими вимогами до точності.

Автоматизація також дозволяє зменшити вплив людського фактору на процеси обробки, що сприяє стабільності якості продукції. Відсутність помилок оператора та точне виконання програмованих операцій забезпечують високий рівень відтворюваності виробничих процесів.

Зростання уваги до енергетичної ефективності в сучасному виробництві також знайшло своє відображення в автоматизації верстатів. Сучасні автоматизовані системи керування дозволяють значно знизити енергоспоживання шляхом оптимізації робочих параметрів верстатів, що сприяє зменшенню

споживаної потужності. Крім того, використання енергоефективних приводних механізмів, таких як сервоприводи, дає можливість досягти високої енергетичної ефективності в процесі автоматизованої обробки [4].

Додатково, програмні засоби для контролю та моніторингу енергоспоживання дозволяють відстежувати енергетичні витрати в реальному часі, що дозволяє впроваджувати заходи для подальшої економії енергії. Використання таких систем дозволяє не тільки знизити витрати на енергію, але й забезпечити сталість виробничого процесу, що є важливим чинником в умовах зростаючих вимог до енергетичної ефективності підприємств.

Безпека є важливою складовою частиною розробки і впровадження автоматизованих систем керування свердлильними верстатами. Системи безпеки повинні включати різноманітні засоби для попередження аварійних ситуацій, таких як перевантаження, перегрів, пошкодження інструментів або інші неполадки. Сучасні автоматизовані системи керування оснащені високоточними датчиками, які забезпечують постійний моніторинг стану обладнання та автоматичне відключення верстата в разі виникнення надзвичайних ситуацій. Це дозволяє запобігти серйозним поломкам і знизити ризик нещасних випадків на виробництві.

Також важливою є надійність програмного забезпечення, яке відповідає за контроль та управління усіма процесами верстата. Для забезпечення надійності системи часто застосовуються багаторівневі алгоритми резервування та автоматичного відновлення роботи у випадку збоїв, що дозволяє уникнути тривалих зупинок виробництва і забезпечити безперервний робочий процес.

Прогнозується, що в майбутньому автоматизація верстатів з револьверною головою стане ще більш інтегрованою і розвинутою, завдяки зростанню використання цифрових технологій. Однією з перспектив є інтеграція верстатів з високотехнологічними роботизованими системами, які дозволяють автоматично здійснювати не тільки обробку, але й завантаження/розвантаження заготовок, що суттєво зменшує потребу у людській праці на етапах підготовки до обробки та після її завершення.

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 продукції або системи прогнозування технічного обслуговування.

Іншою перспективою є розвиток адаптивних систем управління, здатних до самооптимізації в реальному часі, завдяки використанню технологій штучного інтелекту та машинного навчання. Це дозволить створювати системи, які не тільки виконують програми обробки, але й можуть прогнозувати зміни умов роботи, автоматично коригувати параметри обробки та оптимізувати роботу верстатів.

Останніми роками значно зросла роль віртуалізації та симуляційних технологій у розробці та вдосконаленні автоматизованих систем керування верстатами, включаючи свердлильні верстати з револьверною головкою. Моделювання процесів обробки і симуляція роботи систем дозволяють значно покращити ефективність проектування, зменшити час на тестування та знизити витрати на розробку. За допомогою віртуальних моделей можна створювати цифрові близнюки (*digital twins*) верстатів і оцінювати їх роботу в різних сценаріях без необхідності фізичного втручання.

Технології віртуалізації використовуються для моделювання не лише механічних і електричних аспектів роботи верстатів, а й для тестування програмного забезпечення системи керування. Це дозволяє виявити можливі недоліки у алгоритмах управління, зробити корективи до початку виробничих випробувань і запобігти можливим зупинкам виробничого процесу. Системи симуляцій, зокрема на основі віртуальних середовищ для тестування ЧПК і ПЛК, дозволяють оперативно перевірити різні варіанти налаштувань і оптимізувати роботу верстатів у реальних умовах [5].

Також, застосування технологій віртуальної реальності (VR) та доповненої реальності (AR) може стати важливим елементом навчання операторів та

технічного персоналу. Використання таких інструментів дозволяє створювати тренажери для навчання роботі з автоматизованими системами, що знижує ризик помилок на етапі експлуатації та ремонту верстатів.

Іншим важливим аспектом є розвиток технологій обробки даних, який має значний вплив на автоматизацію виробничих процесів. В умовах сучасного виробництва створюються великі обсяги даних, що генеруються за рахунок числового програмного керування (ЧПК), датчиків, камер моніторингу, а також процесів, пов'язаних з управлінням і обслуговуванням верстатів. Для ефективного використання цих даних з'являються нові підходи до збору, зберігання, аналізу та прогнозування стану обладнання.

Системи обробки даних на основі великих даних (*big data*) і аналітики в реальному часі дозволяють здійснювати моніторинг стану верстатів, а також прогнозувати можливі відмови чи збої в роботі верстатів. Це дає змогу операторам та інженерам своєчасно реагувати на зміни в роботі системи, запобігати поломкам та зменшити час простоїв.

Впровадження технологій для аналізу великих даних також дозволяє оптимізувати робочі процеси, мінімізувати витрати на матеріали, а також на персонал. Використання таких систем у поєднанні з ПЛК дозволяє створювати адаптивні автоматизовані системи, які можуть самостійно підлаштовувати параметри обробки, враховуючи зовнішні умови, та мінімізувати відхилення від оптимальних значень.

Однією з найперспективніших напрямків у розвитку автоматизації свердлильних верстатів з револьверною головкою є інтеграція роботизованих систем для виконання додаткових операцій на виробництві, таких як завантаження/розвантаження деталей, переміщення заготовок, складування готових виробів, а також виконання інструментальних операцій у поєднанні з верстатами [6].

Роботизовані маніпулятори, що працюють у тісній взаємодії з автоматизованими свердлильними верстатами, дозволяють не тільки знизити вплив людського фактору, але й забезпечити високу продуктивність та точність у

виконанні завдань. Системи роботизованих маніпуляторів можуть використовувати інтелектуальні алгоритми для адаптації до різних умов роботи, а також здатні до інтеграції з іншими автоматизованими процесами.

Системи з роботизованими маніпуляторами також можуть забезпечити високу гнучкість виробництва, оскільки вони здатні швидко адаптуватися до змін у виробничих вимогах і налаштуваннях верстатів. Ці системи також можуть забезпечити більшу безпеку для персоналу, оскільки роботизовані маніпулятори працюють у межах обмежених ділянок виробничих ліній, знижуючи ризик травм.

Подальші удосконалення в технологіях ПЛК і ЧПК мають велике значення для розвитку автоматизованих систем керування верстатами. Новітні ПЛК системи стають дедалі потужнішими і здатні обробляти великий обсяг даних в реальному часі, що дозволяє здійснювати складне програмне управління і адаптацію параметрів без необхідності фізичного втручання оператора. Сучасні ПЛК мають можливість здійснювати інтеграцію з іншими елементами автоматизації, такими як датчики, пристрої моніторингу та інші системи, забезпечуючи ефективне управління всіма аспектами виробничого процесу.

Числове програмне керування, в свою чергу, також стало більш гнучким та інтегрованим із сучасними технологіями. Системи ЧПК можуть адаптуватися до складних і нестандартних умов виробництва, змінюючи алгоритми в залежності від характеристик заготовок та інструментів. Крім того, новітні системи ЧПК можуть бути поєднані з технологіями штучного інтелекту для автоматичного визначення оптимальних параметрів обробки [7].

Одним із ключових аспектів, що визначають успіх впровадження автоматизованих систем керування свердлильними верстатами, є стандартизація та сертифікація. Впровадження єдиних стандартів допомагає забезпечити сумісність обладнання, програмного забезпечення та інших компонентів автоматизованої системи, що в свою чергу підвищує ефективність виробництва та зменшує витрати на налаштування і інтеграцію різних систем.

Стандарти також забезпечують єдність у визначенні технічних характеристик, що важливо для підтримки безперервного розвитку технологій

автоматизації. Стандартизація сприяє уніфікації навчальних програм для технічного персоналу, що, в свою чергу, забезпечує кращу підготовку кадрів для роботи з новими технологіями автоматизації.

Автоматизація свердлильних верстатів з револьверною головкою не тільки змінює самі виробничі процеси, а й має значний вплив на організацію праці. З одного боку, автоматизація дозволяє значно зменшити потребу в фізичній праці, знизивши навантаження на працівників і забезпечивши більш безпечні умови праці. Це дозволяє скоротити ризик виробничих травм і знизити залежність від людського фактору в критичних етапах виробничого процесу.

1.2 Конструкційні особливості свердлильного верстату з револьверною головкою 2P135Ф2

Свердлильний верстат 2P135Ф2 (рис. 1.2) є одним із представників ряду універсальних свердлильних верстатів, призначених для виконання різноманітних свердлильних, розточувальних та нарізувальних операцій на металевих заготовках (табл. 1.1). Це обладнання використовується в умовах серійного та масового виробництва для обробки деталей з різних матеріалів, таких як сталі, алюмінієві сплави та чавун. Верстат відзначається високою продуктивністю, надійністю та універсальністю, що робить його актуальним для широкого кола застосувань у машинобудуванні, авіаційній та автомобільній промисловості.

Клас точності верстата - Н за ГОСТ 8-77. Категорія якості - вища. Наявність на верстаті шестишпindelної 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.

Верстат має великі діапазони частоти обертання шпинделя і подач, які повністю забезпечують вибір нормативних режимів різання під час обробки різних конструкційних матеріалів.

Таблиця 1.1 Габаритні параметри верстату 2Р135Ф2

Габарити верстата без виносного обладнання	1800*2170*2700 мм
Габарити верстата з виносним обладнанням	3500*2450*2700 мм
Габарити електрошафи	1700*1350*450 мм

Свердлильний верстат 2Р135Ф2 має сталеву конструкцію, яка забезпечує високу міцність і стабільність під час роботи. Він оснащений револьверною головкою, яка дозволяє швидко і ефективно змінювати інструменти, що значно знижує час налаштування та підвищує універсальність верстата.



Рисунок 1.2 – Свердлильний верстат з револьверною головкою 2Р135Ф2

Револьверна головка може мати кілька посадочних місць для інструментів, таких як свердла, розточувальні інструменти або фрези, що дозволяє виконувати різні операції без необхідності заміни інструментів вручну (табл. 1.2).

Таблиця 1.2. Основні технічні характеристики верстата 2P135Ф2

Найбільший діаметр свердління	45мм
Найбільший діаметр різблення, що нарізається	M24
Найбільший діаметр фрези	100мм
Найбільша глибина фрезерування	2мм
Найбільша ширина фрезерування	60мм
Відстань від торця шпинделя до робочої поверхні столу	40-600мм
Найбільший хід супорта	560мм
Швидкість швидкого переміщення супорта	4мм/хв
Кількість подач супорта	18
Подача супорта	10-500мм/хв
Робоча поверхня столу (довжина*ширина)	400*710мм
Число пазів столу	3
Швидкість швидкого переміщення столу і салазок	7м/хв
Швидкість переміщення столу і салазок під час фрезерування	0,22м/хв
Мінімальна швидкість переміщення столу	0,05м/хв
Точність позиціонування столу і салазок на довжині ходу	0,05мм
Найбільше зусилля подачі під час фрезерування	1500 Н
Максимальний крутний момент на шпинделі	200 Н*м

Кількість швидкостей шпинделя	12
Частота обертання шпинделя	45-2000 об/хв
Виліт шпинделя від направляючих колони	450 мм

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 шпиндельна бабка, на якій змонтована шестишпиндельна револьверна головка, що дозволяє здійснювати автоматичну зміну інструменту за програмою, що управляє. Для прискорення ручної заміни інструменту в револьверній головці передбачено спеціальний випресувальний пристрій. Керувати верстатом можна з підвісного пульта.

Таблиця 1.3. Характеристики приводів свердлильного верстата 2Р135Ф2

Електродвигун приводу головного руху АОЛ2-51-6/4	
Потужність	3,7 кВт
Частота обертання	1000-1500 об/хв
Електродвигун приводу переміщення супорта ПБСТ-23	
Потужність	1,3 кВт
Частота обертання	1500 об/хв
Електродвигун приводу повороту револьверної головки 4А71В4	

Потужність	0,75 кВт
Частота обертання	1500 об/хв
Електродвигун приводу переміщення салазок і столу 4A80A4	
Потужність	1,1 кВт
Частота обертання	1370 об/хв
Електродвигун приводу насоса охолодження X14-22M	
Потужність	0,125 кВт
Частота обертання	2800 об/хв
Продуктивність	22 л/хв

Основним робочим елементом свердлильного верстата є шпиндель, який обертається на високих обертах і передає обертальний момент на інструмент, рухається він за допомогою електроприводу (табл. 1.3). Завдяки механізму подачі, інструмент переміщається по осі до оброблюваної деталі, здійснюючи свердління. Водночас револьверна головка дозволяє швидко змінювати інструменти для виконання різних операцій. Для забезпечення точності позиціонування та автоматизації процесу на верстаті можуть бути встановлені системи контролю та датчики, що дозволяють здійснювати регулювання параметрів роботи (рис. 1.3).

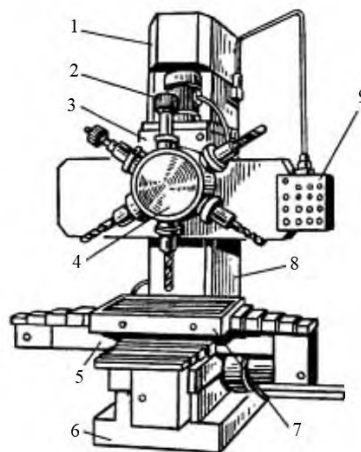


Рисунок 1.3 – Розташування основних частин свердлильного верстату 2P135Ф2 (1 – редуктор подачі; 2 – коробка швидкостей; 3 – шпиндельна бабка; 4 – револьверна головка; 5 – салазки столу; 6 – станина; 7 – хрестовий стіл; 8 – колона; 9 – підвісний пульт керування)

Допоміжні рухи включають прискорене переміщення супорта, обертання револьверної головки, а також точні й прискорені рухи столу та санок для їхнього позиціонування.

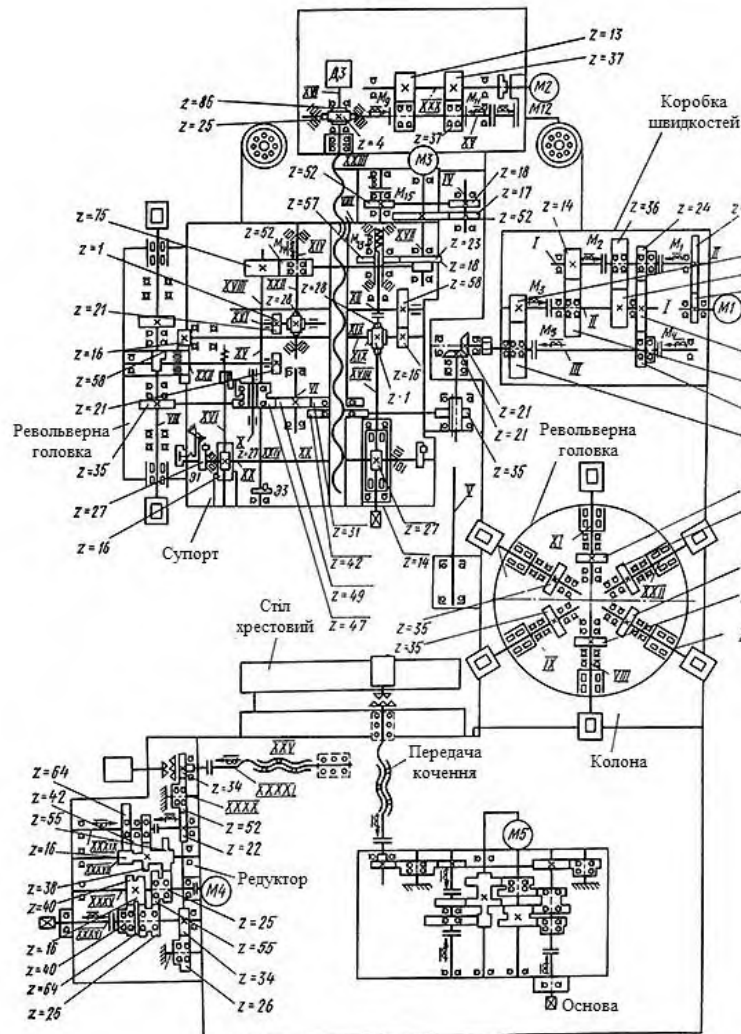


Рисунок 1.4 - Кінематична схема свердильного верстата 2Р135Ф2

Кінематична схема верстату (рис. 1.4) складається з незалежних кінематичних ланцюгів: приводу головного руху асинхронний двигун М1 який має дві швидкості, приводу подачі хрестового столу має два редуктори один з яких здійснює рух столу по салазкам (вісь X), а другий – рух салазок по станині (вісь Y), приводу супорта з револьверною головкою має електродвигун М2 постійного струму, повороту револьверної головки включає в себе електродвигун М3, випресовування інструменту зі шпинделів за допомогою електродвигуна М3.

Електродвигун коробки передач через клиновий ремінь приводить в рух шестеренчатий насос. Масло, що подається насосом, надходить у розподільну камеру, де воно розподіляється для змащування рухомих частин трансмісії та зчеплень. Контролюється рівень масла.

Масло розбризкується через шестерні для змащування редукторів подачі супорта. Маслоіндикатори служать для візуального контролю рівня масла.

Для змащування направляючої та гвинтових пар використовується лубрикатор. Пластичне мастило використовується для змащування шпинделів револьверів.

Є насос для охолоджуючої рідини. Для охолодження інструменту в зоні різання передбачений індивідуальний привід. Подача охолоджуючої рідини в автоматичному циклі починається при русі супорта вниз і припиняється, коли він повертається в початкове положення, але відповідний перемикач повинен бути включений на панелі управління.

Свердлильний верстат 2Р135Ф2 застосовується в різних галузях машинобудування та промисловості, де необхідна висока точність обробки деталей. Він використовується для свердління отворів різних діаметрів, нарізання різьб, а також для виконання розточувальних та фрезерувальних операцій. Завдяки своїй універсальності, верстат часто використовується на підприємствах, що займаються серійним та малосерійним виробництвом, а також у ремонтних майстернях [8].

Свердильний верстат 2P135Ф2 має низку переваг, серед яких:

- Висока продуктивність завдяки наявності револьверної головки, що дозволяє швидко змінювати інструменти.

- Універсальність — можливість виконання різних видів обробки заготовок без потреби заміни верстата або інструмента.

- Точність — висока стабільність конструкції забезпечує точність обробки, що є критично важливим для виробництва складних деталей.

- Автоматизація процесів — можливість інтеграції з системами числового програмного керування для забезпечення автоматичного виконання операцій.

Таким чином, свердильний верстат 2P135Ф2 є важливим елементом для сучасних виробничих ліній, що вимагають високої точності та ефективності в обробці деталей.

Свердильний верстат 2P135Ф2 є важливою частиною багатьох виробничих процесів, і його технічні можливості дозволяють не лише виконувати стандартні операції, але й здійснювати складні обробні операції завдяки використанню різних інструментів. Враховуючи високий рівень автоматизації, а також наявність револьверної головки, цей верстат є оптимальним для виробництва серійних деталей з високими вимогами до точності та швидкості.

Системи керування на верстаті 2P135Ф2 можуть бути різними за рівнем автоматизації залежно від вимог підприємства. Для підвищення ефективності використання верстатів з револьверною головкою, все більше підприємств інтегрують їх із сучасними програмованими логічними контролерами (ПЛК) та системами ЧПК, що дозволяє знижувати людську помилку, підвищувати точність обробки та здійснювати моніторинг стану обладнання в режимі реального часу.

Верстат 2P135Ф2 може бути оснащений різними системами автоматичного керування, що дозволяє значно підвищити ефективність виробничих процесів. Система числового програмного керування (ЧПК) дозволяє програмувати рухи шпинделя та подачу інструмента, що дає змогу виконувати складні обробні операції з високою точністю. Для забезпечення стабільної роботи та мінімізації впливу людського фактора на якість обробки можуть бути використані

програмовані логічні контролери (ПЛК), що забезпечують автоматичне регулювання технологічних параметрів, таких як швидкість обертання шпинделя, подача інструмента та інші.

Інтеграція ЧПК дозволяє автоматизувати процес програмування верстатів, задаючи параметри обробки, що значно скорочує час налаштування верстата і дозволяє виконувати складні обробні операції без необхідності постійних переналаштувань. Крім того, використання ПЛК дозволяє автоматично налаштовувати швидкість обертання шпинделя, подачу інструмента, а також здійснювати контроль за робочими параметрами. В результаті цього процеси обробки можуть бути значно прискорені, що підвищує загальну продуктивність.

Використання програмованих логічних контролерів (ПЛК) в системах керування верстатами з револьверною головкою дозволяє:

- знизити людський фактор. Всі операції контролюються автоматично, що зменшує можливість помилок.
- збільшити швидкість налаштування верстата, завдяки використанню програмованих режимів обробки.
- покращити точність виконуваних операцій, що критично важливо при обробці складних геометричних форм.
- забезпечити контроль за процесом через моніторинг в реальному часі та автоматичне коригування параметрів роботи.

Системи ЧПК дозволяють вводити числові команди для точного управління рухами інструменту, що робить обробку більш стабільною та передбачуваною.

Сучасні розробки в області автоматизації та інтелектуальних систем дозволяють розглядати верстат 2P135Ф2 як основу для впровадження нових технологій, таких як роботизація та штучний інтелект, що забезпечить ще більшу автономність верстата. Перспективи розвитку включають інтеграцію з роботизованими системами, автоматичне переналаштування на різні види обробки за допомогою сенсорних технологій, а також використання даних для поліпшення процесів обробки через машинне навчання.

Таким чином, свердлильний верстат 2P135Ф2 є надійним і універсальним обладнанням, здатним до адаптації в умовах швидко змінюваних вимог сучасних виробничих ліній. Інтеграція з передовими технологіями автоматизації і роботизації дозволяє значно підвищити продуктивність і точність обробки, а також забезпечити високу гнучкість і економічність виробничих процесів.

Завдяки високій надійності конструкції та наявності автоматизованих систем діагностики, технічне обслуговування верстатів 2P135Ф2 є відносно простим. Відсутність необхідності постійної зміни інструментів вручну і можливість автоматичного контролю роботи механізмів значно знижують вимоги до робочого персоналу.

У разі необхідності ремонту, верстат має зручну конструкцію для доступу до основних вузлів. Крім того, завдяки автоматизованим системам можна завчасно виявити проблему і вжити необхідних заходів для її усунення, що допомагає уникнути серйозних поломок і простою обладнання.

Однією з основних переваг свердлильного верстата 2P135Ф2 є його здатність підвищувати ефективність виробничих процесів завдяки високому рівню автоматизації та універсальності. Верстат здатний виконувати різноманітні операції, такі як свердління, розточування, фрезерування, нарізання різьб, що значно скорочує необхідність в декількох типах обладнання для виконання різних операцій. Це дозволяє знизити витрати на підтримку різних видів верстатів і підвищити ефективність використання робочого простору [9].

Завдяки інтеграції з системами автоматичного управління, таким як програмовані логічні контролери (ПЛК) та числове програмне керування (ЧПК), процеси обробки можуть бути настроєні так, щоб максимально використовувати ресурси верстата, що скорочує час циклів обробки і знижує витрати енергії. Це є важливим аспектом для підприємств, що прагнуть досягти максимального рівня економії без втрати якості обробки.

Системи автоматизації також сприяють підвищенню безпеки на виробництві, оскільки значно знижують необхідність у прямій участі оператора у виконанні небезпечних або складних операцій. Всі процеси керуються автоматично або на

основі введених програм, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактору, особливо в умовах, де необхідно працювати з важкими або небезпечними матеріалами.

Важливим аспектом є також ергономіка роботи на верстаті 2P135Ф2. Завдяки високому рівню автоматизації, оператору не потрібно здійснювати ручні операції зі зміною інструментів, що значно знижує фізичне навантаження та покращує умови праці. Оператори можуть більш ефективно взаємодіяти з верстатом, зменшуючи кількість помилок і підвищуючи точність обробки заготовок.

Свердлильний верстат 2P135Ф2 продовжує еволюціонувати завдяки новим технологіям, що застосовуються в машинобудуванні та автоматизації. Серед інновацій, які можуть бути впроваджені в майбутньому, можна виділити:

— Використання сенсорних технологій: завдяки інтелектуальним датчикам можна контролювати параметри обробки в реальному часі, коригуючи швидкість обертання шпинделя, подачу інструмента, або зміну інструментів у відповідь на зміни в характеристиках матеріалу або зміни робочих умов. Це дозволяє ще більше підвищити точність та знизити витрати на обробку.

— Інтеграція з технологіями Інтернету речей (IoT): забезпечення взаємодії верстатів між собою та з іншими елементами автоматизованої системи може дозволити створювати більш гнучкі та інтегровані виробничі процеси, де дані зберігаються в хмарних платформах для подальшого аналізу та прогнозування.

— Інтелектуальне управління з використанням штучного інтелекту (ШІ): системи штучного інтелекту можуть бути впроваджені для оптимізації обробки в реальному часі, на основі аналізу даних з процесу обробки та прогнозування оптимальних параметрів роботи. Це може значно знизити необхідність у ручному налаштуванні та підвищити продуктивність.

— Використання роботизованих систем: для автоматизації обробки великих обсягів однакових деталей або складних операцій можна впроваджувати роботизовані маніпулятори для автоматичної подачі заготовок, заміни інструментів або збору готових деталей. Така система може значно знизити витрати часу на переміщення матеріалів і зменшити необхідність у фізичній праці.

Впровадження таких інновацій в роботу свердлильних верстатів, як 2P135Ф2, має значний потенціал для підвищення ефективності виробництва в цілому. Зокрема, можливість автоматизувати налаштування та обробку, використовуючи технології ПЛК, ЧПК, а також інші засоби автоматизації, дозволяє знизити витрати на обробку деталей, підвищити точність та зменшити кількість браку.

Для підприємств, що займаються серійним та масовим виробництвом, такі можливості забезпечують конкурентні переваги, зокрема в аспектах швидкості виконання замовлень, здатності швидко реагувати на зміни в вимогах до деталей та можливості впровадження інноваційних технологій в виробничі процеси [10].

Завдяки високому рівню універсальності, верстат 2P135Ф2 залишається актуальним вибором для багатьох підприємств, і, з огляду на тенденції до автоматизації та цифровізації, може стати основою для реалізації більш складних і точних обробних операцій в умовах сучасних виробничих ліній.

Сучасні технології обробки вимагають від верстатів підвищену здатність працювати з новими, більш складними матеріалами, такими як титанові сплави, високолеговані сталі та композитні матеріали. Модернізація верстатів для обробки таких матеріалів включає використання більш потужних моторів, а також встановлення інструментів, покритих спеціальними матеріалами, які знижують знос і підвищують ефективність роботи.

Для цього можуть бути застосовані новітні покриття для інструментів, такі як титанові або алмазні покриття, що дозволяють зменшити тертя та підвищити тривалість експлуатації інструментів при роботі з агресивними матеріалами. Це дозволяє забезпечити стабільність роботи верстата і знизити кількість замін інструментів, що також зменшує час на налаштування та простої виробничої лінії.

Враховуючи сучасні екологічні норми та вимоги до енергозбереження, верстат 2P135Ф2 може бути модернізований з урахуванням вимог щодо зниження енергоспоживання та мінімізації шкідливих викидів. Це включає встановлення енергозберігаючих приводів, використання рециркуляції охолоджуючих рідин для зниження витрат енергії та мінімізації впливу на навколишнє середовище. Окрім цього, сучасні технології фільтрації повітря та охолоджуючих рідин дозволяють

знизити рівень шкідливих викидів, що є важливим аспектом для підтримки екологічної безпеки підприємства.

Свердлильний верстат 2P135Ф2 є важливим елементом сучасного виробництва завдяки своїй універсальності, здатності інтегруватися в автоматизовані системи та високому рівню точності. Подальша модернізація та впровадження новітніх технологій дозволяють розширити його можливості і зробити обробку ще ефективнішою та економічнішою. Інтеграція таких систем, як ПЛК, ЧПК, роботизація, а також застосування новітніх матеріалів і покриттів забезпечать високий рівень конкуренції та дозволять верстату 2P135Ф2 залишатися актуальним інструментом в умовах постійних змін у вимогах виробництва.

1.3 Опис штатного ЧПК верстату

Числове програмне керування "Координата С70-3" є однією з популярних систем автоматизації для металообробних верстатів середнього класу, включаючи свердлильні, токарні та фрезерні установки (табл. 1.4). Ця система була розроблена для забезпечення простого, але надійного керування стандартними технологічними процесами, такими як свердління, нарізання різьби та зенкерування.

Система складається з таких ключових компонентів:

1. Блок керування

Основний модуль, що включає процесор, оперативну пам'ять та модулі інтерфейсу. Цей блок відповідає за обробку програм G-кодів, керування виконавчими механізмами, обробку сигналів від датчиків і забезпечення зворотного зв'язку.

- центральний процесор: 32-бітний контролер середньої потужності;
- оперативна пам'ять: до 256 КБ для обробки поточних програм;
- енергонезалежна пам'ять: до 1 МБ для зберігання програм користувача та параметрів;

2. Панель оператора

Інтерфейс для взаємодії користувача із системою ЧПК. Включає:

- клавіатуру для введення команд і налаштувань;
- монохромний дисплей (роздільна здатність 128x64 пікселів), на якому відображаються параметри обробки, стан верстата та повідомлення про помилки;
- світлодіодні індикатори для сигналізації роботи системи та аварійних ситуацій.

3. Інтерфейс вводу/виводу

Забезпечує підключення до:

- датчиків положення (інкрементальних енкодерів).
- керуючих приводів для подачі та обертання шпинделя.
- додаткових периферійних пристроїв, таких як системи охолодження чи змащування.

4. Живлення

Живлення системи здійснюється від мережі змінного струму 220 В із вбудованим стабілізатором. Передбачено захист від короткого замикання та стрибків напруги.

Таблиця 1.4 Технічні характеристики ЧПК «Координата С70-3»

Кількість керованих осей	від 1 до 3
Тип управління	імпульсно-фазове або аналогове
Максимальна швидкість переміщення	до 20 м/хв (залежить від приводу)
Робоча точність	$\pm 0,01$ мм
Підтримувані програми	стандартні G-коди (ISO 6983)
Час обробки одного рядка програми	до 2 мс
Діапазон робочих температур	від 0°C до +40°C

Система числового програмного керування (ЧПК) "Координата С70-3" забезпечує автоматичне виконання технологічних операцій на свердлильному

верстаті 2P135Ф2. Взаємодія між ЧПК і верстатом здійснюється через виконавчі механізми, сенсори та панель оператора.

Загальна структура роботи ЧПК з верстатом:

1. Завантаження програми обробки

Програма обробки вводиться у ЧПК за допомогою панелі керування або зовнішніх носіїв даних. Програма містить G-коди, які визначають траєкторію руху інструмента, швидкість обертання шпинделя, подачу та інші параметри.

2. Ініціалізація системи

Перед початком роботи оператор виконує:

- налаштування нульової точки заготовки;
- перевірку стану приводу обертання шпинделя, подачі та автоматичної револьверної головки;
- підготовку охолоджувальної системи та системи змащування.

3. Передача команд до виконавчих механізмів ЧПК обробляє введені команди програми та надсилає відповідні сигнали на:

- приводи подачі: забезпечують переміщення столу та інструмента в координатах X, Y, Z згідно із заданими параметрами;
- привід шпинделя: регулює швидкість обертання інструмента для відповідної технологічної операції;
- револьверну головку: обертання револьверної головки для вибору потрібного інструмента.

4. Робочий цикл обробки

Протягом виконання програми ЧПК координує послідовність операцій:

- переміщення інструмента до потрібної точки обробки;
- початок обертання шпинделя;
- подача інструмента до заготовки з урахуванням швидкості та глибини свердління;
- виконання циклів, наприклад, свердління, зенкерування чи нарізання різьби;
- автоматична зміна інструмента після завершення поточної операції.

5. Зворотний зв'язок із системою

Для забезпечення точності роботи система використовує дані з датчиків:

- енкодери: відстежують точне положення робочих осей;
- датчики кінцевих положень: контролюють межі переміщення інструмента та столу;
- системи контролю стану інструмента: дозволяють виявити пошкодження або знос.

На основі цих даних ЧПК коригує роботу виконавчих механізмів у режимі реального часу.

6. Завершення програми

Після виконання програми обробки ЧПК подає команду на зупинку обертання шпинделя, повернення інструмента в початкову позицію та підготовку верстата до наступної операції.

Керування ЧПК «Координата С70-3» відбувається за допомогою пульта (рис.1.5), за допомогою нього задаються основні режими роботи верстату 2Р135Ф2 [11].

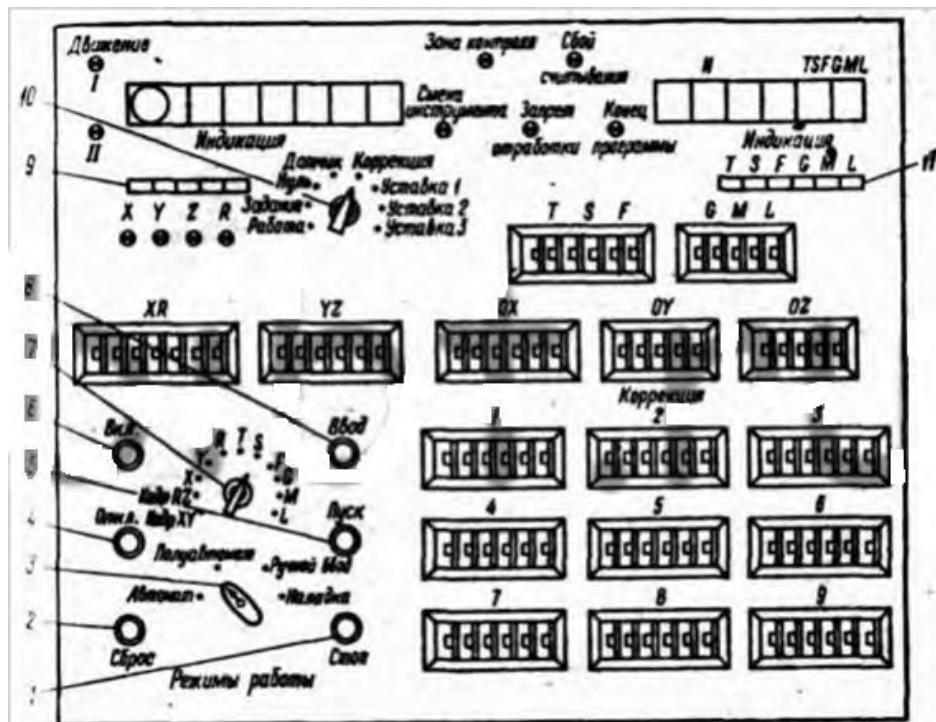


Рисунок 1.5 – Пульт оператора установки ЧПК «Координата С70-3»

Основні процеси в роботі ЧПК з верстатом:

1. Свердління

- вибір інструмента з револьверної головки;
- переміщення шпинделя до точки початку свердління;
- виконання свердління із заданою глибиною;
- автоматичний підйом інструмента після завершення свердління.

2. Нарізання різьби:

- синхронізація обертання шпинделя та подачі для забезпечення точності різьби;
- виконання обробки за заданими параметрами, такими як глибина та крок різьби.

3. Зенкерування:

- плавне позиціонування інструменту для забезпечення рівномірного зенкерування;
- контроль обертання шпинделя для досягнення необхідної якості обробки поверхні.

Програма, яка виконується на верстаті 2P135Ф2 із ЧПК "Координата С70-3", зазвичай містить стандартні G-коди для керування рухами осей, обертанням шпинделя, виконання технологічних операцій і допоміжних функцій.

Основні G-коди, які можуть використовуватись у програмі:

G00 — Швидкий переміщення в точку.

- використовується для переміщення інструмента між робочими позиціями на максимальній швидкості;

- наприклад: G00 X10 Y20 Z5 — переміщення інструмента в точку з координатами $X=10$, $Y=20$, $Z=5$.

G01 — Лінійна інтерполяція.

- забезпечує лінійне переміщення з заданою швидкістю подачі.

- наприклад: G01 X50 F100 — переміщення інструмента по осі X на 50 мм зі швидкістю подачі 100 мм/хв.

G02 — Кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою.

- використовується для кругових рухів інструмента.
- наприклад: *G02 X30 Y30 I10 J0* — дуговий рух до точки $X=30$, $Y=30$ з центром дуги в точці $I=10$, $J=0$.

G03 — Кругова інтерполяція проти годинникової стрілки.

- використовується аналогічно до G02, але з протилежним напрямком обертання.

G17, G18, G19 — Вибір робочої площини.

- G17 — XY-площина.
- G18 — XZ-площина.
- G19 — YZ-площина.

Коди для виконання технологічних операцій:

G81 — Простий цикл свердління.

- виконує свердління з заданою глибиною.

G82 — Цикл свердління з паузою в нижній точці.

- використовується для свердління, де потрібна зупинка на дні отвору.

G83 — Цикл свердління із поступовим виходом (циклічне свердління).

- використовується для глибокого свердління з проміжними виходами для очищення стружки.

G84 — Цикл нарізання різьби.

Коди налаштування параметрів обертання та подачі:

G90 — Абсолютні координати.

- всі позиції задаються відносно початку координат (нулевої точки).

G91 — Інкрементальні координати.

- позиції задаються відносно поточного положення інструмента.

G94 — Швидкість подачі в мм/хв.

- наприклад: *G94 F150* — подача 150 мм/хв.

G95 — Швидкість подачі в мм/оберт.

- задає подачу, синхронізовану з обертанням шпинделя

Коди управління обертанням шпинделя:

M03 — Запуск шпинделя за годинниковою стрілкою.

- наприклад: *M03 S1000* — шпиндель обертається з частотою 1000 об/хв.

M04 — Запуск шпинделя проти годинникової стрілки.

- аналогічно *M03*, але зворотний напрямок.

M05 — Зупинка шпинделя.

Взаємодія *G* – кодів у програмі включає в себе: ініціалізацію (вибір площини, системи координат, швидкостей шпинделя і подачі), технологічну частину з описом циклів обробки, завершення програми зупинкою шпинделя і поверненням інструмента в початкову позицію.

Недоліки використання стандартних *G*-кодів і програм для ЧПК, таких як "Координата *C70-3*", виникають через обмеження самої технології, структури програмування, а також недосконалості апаратного забезпечення. Ось основні проблеми:

1. Трудомісткість програмування

- написання програм вручну є складним і займає багато часу, особливо для складних геометричних форм або багатоступінчастих операцій.

- відсутність інтуїтивного графічного інтерфейсу ускладнює розробку та перевірку програми.

2. Обмежена зрозумілість

- *G*-коди погано читаються, особливо якщо програма довга. Це ускладнює діагностику помилок і зміну параметрів безпосередньо на верстаті.

3. Складність у параметризації

- стандартні *G*-коди не підтримують повноцінного параметричного програмування, що обмежує автоматизацію. Наприклад, для зміни розмірів отворів або кількості повторів потрібно переписувати велику частину програми.

4. Відсутність зворотного зв'язку

- *G*-коди не мають вбудованих можливостей для інтеграції з датчиками або системами моніторингу. Зворотний зв'язок можливий лише через зовнішнє програмування.

Недоліки апаратури ЧПК «Координата С70-3»: Застаріле апаратне забезпечення: процесор і пам'ять не дозволяють швидко виконувати великі програми. Низька точність виконання: відсутність сучасних алгоритмів компенсації похибок, наприклад, термічних деформацій. Ненадійність: механічні перемикачі, які контролюють обмежувачі, можуть зношуватись, викликаючи збої в роботі.

Також у даного ЧПК існують деякі технологічні обмеження: Недостатня автоматизація: G-коди лише виконують послідовність команд без можливості самостійного коригування параметрів залежно від реальних умов. Висока ймовірність людських помилок: оператор може некоректно задати координати, швидкості або умови обробки. Відсутність оптимізації маршруту інструмента: ускладнюється ефективність виробництва через надмірні холості рухи.

Перехід на програмований логічний контролер (ПЛК) може вирішити більшість цих проблем:

- гнучкість у програмуванні: ПЛК дозволяють використовувати графічні інтерфейси та блокові діаграми, що значно спрощує розробку програм.
- інтеграція з сенсорами та системами контролю: ПЛК можуть відслідковувати температуру, вібрацію та інші параметри в режимі реального часу.
- підтримка сучасних протоколів зв'язку: дозволяє інтегрувати верстат із системами управління підприємством (*SCADA, ERP*).
- можливість оновлення: програмне забезпечення ПЛК можна легко оновлювати для виконання нових завдань без фізичної модернізації обладнання.

Заміна ЧПК "Координата С70-3" на програмований логічний контролер (ПЛК) доцільно через кілька ключових причин, що стосуються технічної, функціональної та економічної ефективності:

1. Гнучкість налаштувань і розширення функціональності. ЧПК "Координата С70-3" має фіксований набір функцій, який не дозволяє гнучко змінювати алгоритми керування чи додавати нові модулі без значного втручання в апаратну частину. Натомість ПЛК пропонують:

- легке програмування користувацьких алгоритмів через інтуїтивно зрозумілі середовища розробки (наприклад, *TIA Portal* для *Siemens* або *CODESYS*).

- підтримку стандартизованих мов програмування *IEC 61131-3*, таких як *Ladder Diagram (LD)* або *Function Block Diagram (FBD)*.

- можливість додавання функціональних модулів для роботи з роботами, сенсорами або іншими периферійними пристроями.

2. Підтримка сучасних технологій зв'язку та інтеграції. ПЛК мають інтегровані комунікаційні інтерфейси, які дозволяють підключати обладнання до локальних мереж або Інтернету. Це відкриває нові можливості:

- віддалений моніторинг і управління через *IoT*-платформи.

- інтеграція з *MES*- та *ERP*-системами для управління виробничими процесами.

- підключення до сучасних промислових мереж (*EtherNet/IP*, *ProfiNet*, *Modbus*).

3. Вища продуктивність і швидкість обробки даних. Сучасні ПЛК мають більш потужні обчислювальні можливості, ніж ЧПК "Координата С70-3". Це дозволяє:

- збільшити швидкість реакції системи на зміну параметрів.

- забезпечити точніше управління складними технологічними операціями.

- використовувати вдосконалені алгоритми керування, такі як адаптивне управління або прогнозування.

4. Довговічність і підтримка:

- ЧПК "Координата С70-3" має обмежений термін служби, а її компоненти можуть бути зняті з виробництва, що ускладнює обслуговування.

- ПЛК виробляються провідними світовими компаніями, такими як *Siemens*, *Schneider Electric*, *Allen-Bradley*, і мають довготривалу підтримку та можливість оновлення.

5. Енергозбереження та оптимізація витрат. Завдяки інтегрованим функціям моніторингу енергоспоживання, ПЛК дозволяють:

- оптимізувати роботу приводів та інших виконавчих механізмів.

- зменшити енергоспоживання під час простою або роботи на низькому навантаженні.

Таким чином заміна ЧПК "Координата С70-3" на ПЛК є вигідним рішенням для підвищення ефективності роботи свердлильного верстата 2Р135Ф2. Використання ПЛК дозволить інтегрувати верстат у сучасні автоматизовані системи, покращити його продуктивність, зменшити енергоспоживання та забезпечити відповідність вимогам сучасного виробництва. Такий підхід сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства в умовах стрімкого розвитку технологій та вимог до якості продукції.

Висновки за розділом 1

Проведений аналіз літературних джерел та сучасних розробок у сфері автоматизації свердлильних верстатів дозволив визначити основні тенденції розвитку цієї галузі. Сучасні свердлильні верстати, такі як модель 2Р135Ф2, 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 інтеграція свердлильних 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 свердлильного верстата з револьверною головкою 2Р135Ф2. Ця модель є прикладом обладнання високої функціональності, здатного забезпечити багатофункціональність обробки завдяки змінним інструментам, револьверній

головці 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 витрачати 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 непрямим 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 висуваються 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 мікромодельювання – 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

3.1 Особливості роботи ПЛК

Програмовані логічні контролери (рис.3.1) 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.



Рисунок 3.1 – Програмовані логічні контролери

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.

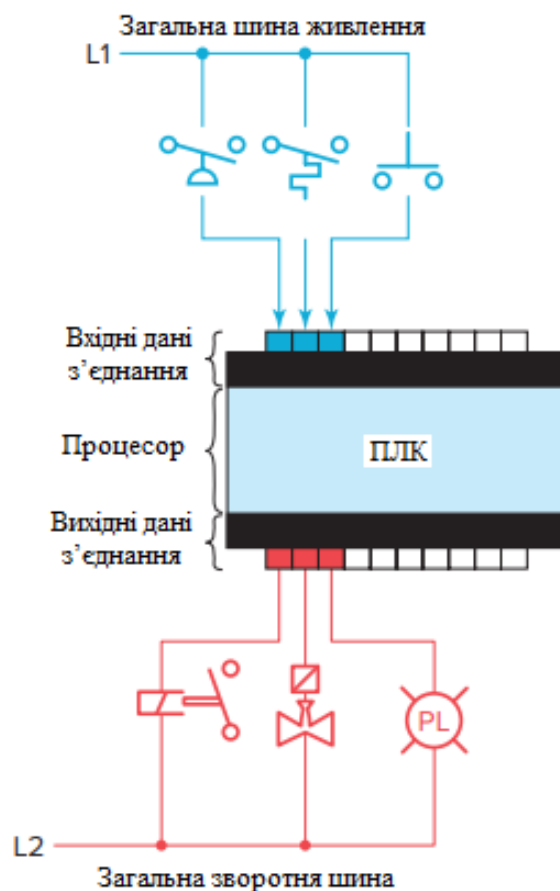


Рисунок 3.2 – Конфігурація вводу/виводу

Існує два способи вбудовування входів/виходів в ПЛК: фіксований та модульний. Фіксований ввід/вивід (рис. 3.2) 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 польових 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. 3.3) 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.



Рисунок 3.3 – Типові процесорні модулі 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.3.4). 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.

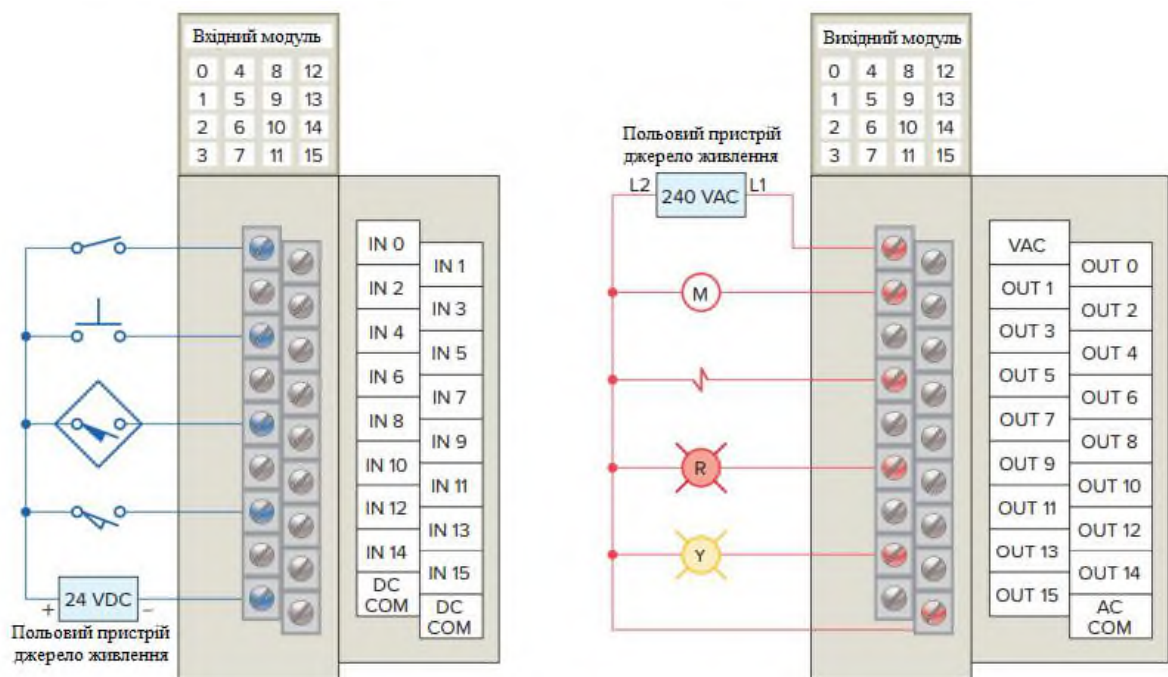


Рисунок 3.4 - Типові системні підключення вводу/виводу ПЛК

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. 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.

3.2 Вибір ПЛК та його технічні характеристики

Для автоматизації системи керування свердлильного верстата з револьверною головкою 2P135Ф2 обрано *Mitsubishi FX5U-32M* (рис. 3.5). Даний ПЛК має достатню кількість входів/виходів для підключення кінцевих датчиків, реле та виконавчих механізмів, а його швидкодія забезпечує точну синхронізацію роботи приводів револьверної головки та шпинделя. Інтегрований *Ethernet* дозволяє підключати верстат до *SCADA*-систем для віддаленого моніторингу. *RS-485* забезпечує сумісність із існуючим обладнанням (Табл. 3.1). *Mitsubishi FX5U-32M* має перевірену репутацію у промислових додатках, забезпечуючи стабільну роботу в складних умовах. Підтримка розширюваних модулів дозволяє легко додавати нові функції без необхідності заміни обладнання.

Переваги *Mitsubishi FX5U-32M*

- швидка обробка сигналів: забезпечує високу точність управління;
- інтеграція з сервоприводами: підтримка функцій інтерполяції для високоточних процесів;
- енергоефективність: низьке енергоспоживання порівняно з аналогами;
- гнучкість конфігурації: можливість інтеграції в різні системи автоматизації;
- широка підтримка: доступність документації, технічної підтримки та запасних частин.

Вибір *Mitsubishi FX5U* обґрунтований його відповідністю технічним і функціональним вимогам проекту. Цей ПЛК забезпечить надійне та точне керування свердлильним верстатом з револьверною головкою, а також дозволить адаптувати систему до майбутніх завдань.

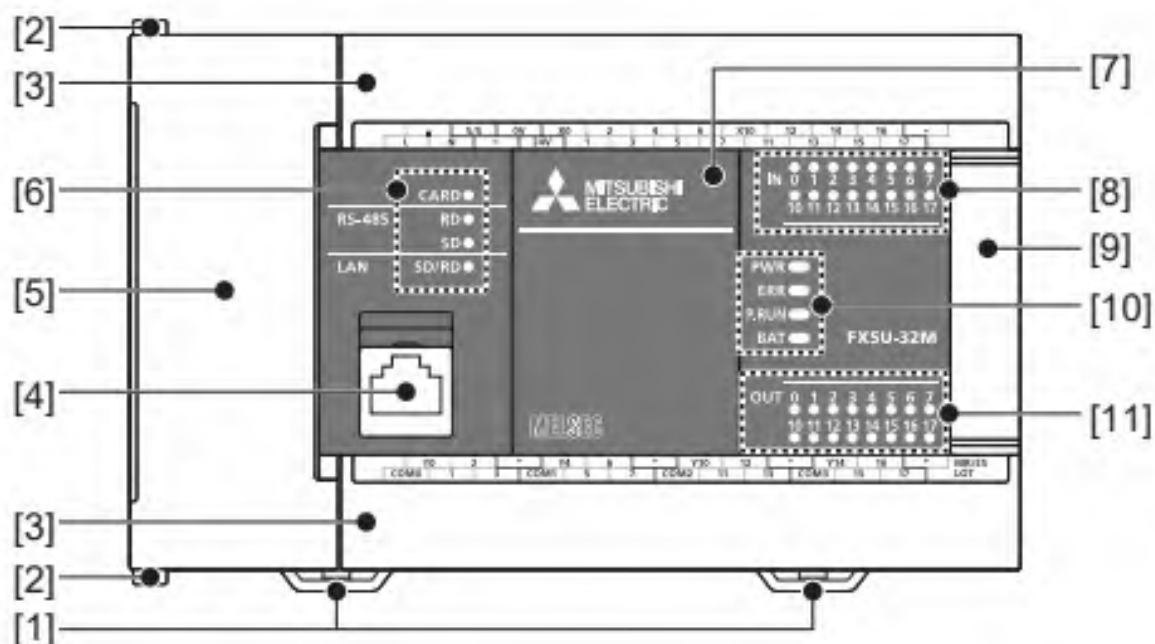


Рисунок 3.5 – Модуль процесора *FX5U-32M*

Таблиця 3.1 Компоненти модуля процесора

№	Найменування	Опис
[1]	Фіксатор для <i>DIN</i> -рейки	Фіксатор для встановлення модуля процесора на рейку типу <i>DIN46277</i> (шириною 35 мм).
[2]	Фіксатори для адаптера розширення	Фіксатори для кріплення адаптера розширення.
[3]	Кришка клемної колодки	Кришка для захисту клемної колодки. Відкривається для приєднання проводки. Під час роботи (увімкнення)

№	Найменування	Опис
		обладнання кришки повинні бути закриті.
[4]	Роз'єм вбудованого інтерфейсу <i>Ethernet</i>	Роз'єм для підключення пристроїв з інтерфейсом <i>Ethernet</i> .
[5]	Верхня кришка	Кришка для захисту слота карти пам'яті <i>SD</i>, перемикача <i>RUN/STOP/RESET</i> тощо. Під цією кришкою знаходиться клемна колодка інтерфейсу <i>RS485</i>, клемна колодка вбудованих аналогових входів/виходів, перемикач <i>RUN/STOP/RESET</i>, слот карти пам'яті <i>SD</i> тощо.
[6]	Світлодіод карти пам'яті (<i>CARD</i>) Індикатор прийому (<i>RD</i>) Світлодіод передачі (<i>SD</i>) Світлодіод передавання-приймання (<i>SD/RD</i>)	(<i>CARD</i>): Показує можливість використання карти пам'яті <i>SD</i>. Горить: карта може використовуватися або її витягувати не можна.

№	Найменування	Опис
		Блимає: підготовка до роботи Не горить: карта не вставлена або її можна витягти. (RD) Горить під час приймання модулем процесора даних через вбудований інтерфейс RS485. (SD) Горить під час передавання модулем процесора даних через вбудований інтерфейс RS485. (SD/RD) Горить під час передавання або приймання модулем процесора даних через вбудований інтерфейс Ethernet.
[7]	Кришка роз'єму плати розширення	Кришка для захисту роз'єму плати розширення, батареї. Батарея під цією кришкою має бути під'єднана.
[8]	Світлодіодна індикація входів	Горить у ввімкненому стані входів.

№	Найменування	Опис
[9]	Кришка роз'єму розширення	Кришка для захисту роз'єму розширення. Кабель модуля розширення має бути під'єднаний до роз'єму під цією кришкою.
[10]	Індикатор живлення (<i>PWR</i>) Світлодіод індикації помилки (<i>ERR</i>) Світлодіод індикації роботи програми (<i>P.RUN</i>) Світлодіодний індикатор заряду акумулятора (<i>BAT</i>)	(<i>PWR</i>) Показує подачу живлення на модуль процесора. Горить: живлення подається Не горить: живлення не подається або апаратна несправність. (<i>ERR</i>) Показує стан збою модуля процесора. Горить: помилка або апаратна несправність. Блімає: стандартна заводська установка, помилка або виконання скидання Не горить: штатний режим роботи. (<i>P.RUN</i>) Показує стан виконання програми. Горить: штатний режим роботи Блімає: пауза Не горить: виконання програми зупинено або

№	Найменування	Опис
		сталася помилка, що викликала зупинку. (BAT) Показує стан батареї. Блимає: несправність батареї Не горить: штатний режим роботи.
[11]	Світлодіодна індикація виходів	Горить у ввімкненому стані виходів.

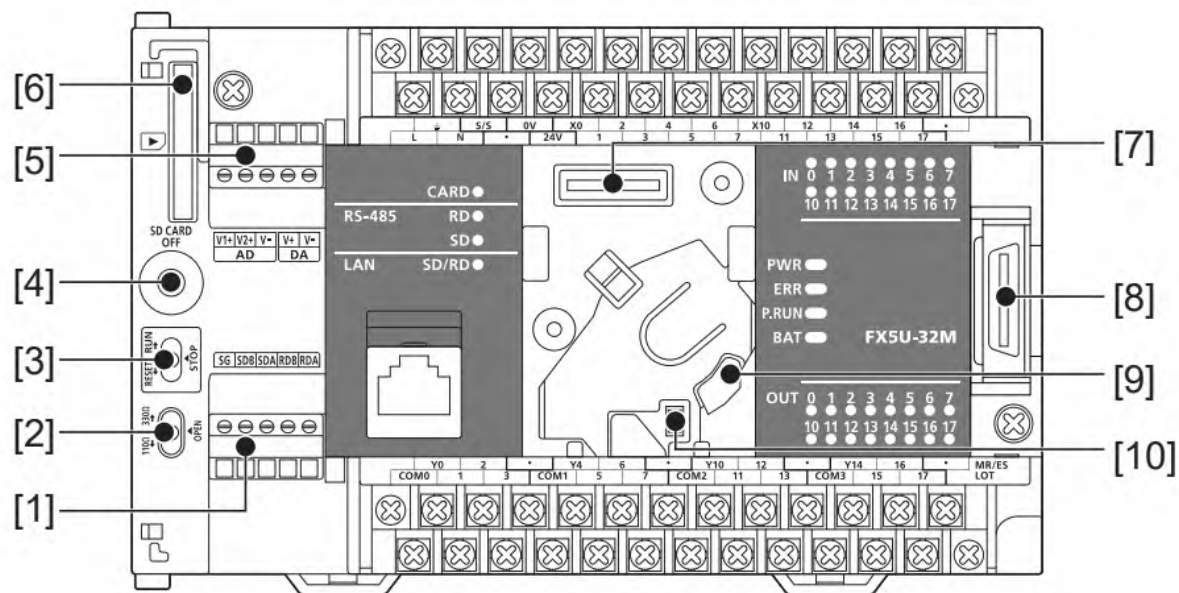


Рисунок 3.6 – Вид ПЛК з відкритою кришкою

Таблиця 3.2. Внутрішні компоненти модуля процесора

№	Найменування	Опис
1	Вбудована клемна колодка для зв'язку RS-485	Клемна колодка для підключення пристроїв з інтерфейсом RS485

№	Найменування	Опис
2	Перемикач резисторів терміналу <i>RS-485</i>	Призначений для перемикання кінцевого резистора вбудованого інтерфейсу <i>RS485</i> .
3	Перемикач <i>RUN/STOP/RESET</i>	Призначений для перемикання стану модуля процесора. <i>RUN</i> : виконання програми <i>STOP</i> : зупинка виконання програми <i>RESET</i> : встановлення модуля у вихідний стан (для цього утримувати перемикач у позиції <i>RESET</i> протягом однієї секунди)
4	Перемикач відключення карти пам'яті <i>SD</i>	Призначений для переривання доступу до карти пам'яті <i>SD</i> перед її витяганням.
5	Вбудована клемна колодка аналогового вводу/виводу	Клемна колодка для вбудованих аналогових входів і виходів.
6	Найменування терміналів.	Вказують на функціональну клему заземлення.

№	Найменування	Опис
7	Роз'єм для карти пам'яті SD	Роз'єм для встановлення карти пам'яті SD.
8	Гвинти	Використовуються для кріплення клемної колодки
9	Роз'єм плати розширення	Використовується для підключення плати розширення
10	Роз'єм для подовження	Використовується для підключення кабелю модуля розширення.
11	Тримач для батареї	Використовується для встановлення додаткової батареї
12	Роз'єм для підключення акумулятора	Використовується для підключення додаткової батареї.

Можливості які надає використання ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M*: Керування позиціонуванням - *FX5U-32M* (рис. 3.6) включає інтелектуальний функціональний модуль *Mitsubishi Electric Simple Motion*, що забезпечує комплексне керування рухом до 4 осей (Табл. 3.2). 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 [13]. 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 - *FX5U-32M* 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.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M*.

Найменування характеристик	Дані характеристики				
Експлуатація в навколишньому середовищі, температура.	-20 до 55 ⁰ С, не замерзає				
Вологість в робочому середовищі	Від 5 до 95% відносної вологості, без конденсації.				
Вологість при зберіганні	Від 5 до 95% відносної вологості, без конденсації				
Стійкість до вібрації		Частота (Гц)	Прискорення (м/с ²)	Амплітуда (мм)	Рахунок зачистки

Найменування характеристики	Дані характеристики				
	Не встановлено на DIN-рейку	від 5 до 8,4	-	1,75	по 10 разів у кожній у напрямках X, Y, Z напрямках (80 хв в кожному напрямку)
		від 8,4 до 150	4,9	-	
	Встановлено на DIN-рейку	від 5 до 8,4	-	3,5	
		від 8,4 до 150	9,8	-	
Ударна стійкість	Прискорення 147 м/с2, час дії: 11 мс, 3 рази напівсинусоїдальним імпульсом у кожному напрямку X, Y та Z				
Шумостійкість	Частотою шуму від 30 до 100 Гц				
Витримування напруги	1,5кВ змінного струму протягом 1 хвилини або 500В змінного струму протягом 1 хвилини				
Заземлення	Заземлення класу D (опір заземлення: 100 Ом або менше)				
Категорія перенапруги	II або менше				
Ступінь забруднення	2 або менше				
Система керування	Робота в режимі повтору збереженої програми				
Система управління входами/виходами	Прямий доступ забезпечується шляхом зазначення входів/виходів для прямого доступу [DX, DY]				
и					

Найменування характеристик	Дані характеристики
Мова програмування	Релейно-контактні схеми (<i>LD</i>), структурований текст (<i>ST</i>), схеми функціональних блоків і релейно-контактні схеми (<i>FBD/LD</i>)
Постійний час циклу	0.2-2000 мс (встановлюється з кроком 0,1 мс)
Переривання стандартного циклу	1-60000 мс (встановлюється з кроком 1 мс)
Тип переривання	Внутрішній таймер, переривання входу, високошвидкісне зіставлення
Час обробки команд	34 нс
Пам'ять для операндів і міток	120 КБ
Пам'ять для даних/ стандартне ПЗУ	5 МБ

Якщо в системі є обладнання, технічні характеристики якого нижчі ніж вищезгадані значення вібростійкості, специфікація вібростійкості вібростійкості всієї системи відповідає нижчій специфікації. Критерій ударної стійкості приводиться в стандарті IEC61131-2. При використанні в низькотемпературному середовищі, необхідно використовувати кондиціонер в середовищі без різких перепадів температури (Табл. 3.3). У разі різких перепадів температури через відкривання/закривання панелі керування або з інших причин може утворитися конденсат, що може призвести до пожежі, поломки або несправності.

3.3 Процес діагностики та налагодження ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M*

Процес діагностики та налагодження ПЛК є критично важливим етапом, що забезпечує коректну роботу автоматизованої системи керування. ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M*, завдяки своїй багатофункціональності та сучасному програмному забезпеченню, надає зручні інструменти для діагностики та налагодження.

Загальні принципи діагностики ПЛК, діагностика включає перевірку як апаратної, так і програмної складових. Основні етапи діагностики:

- Перевірка апаратної частини: перевірка підключень живлення, сигналів датчиків, комунікаційних інтерфейсів та стану виконавчих механізмів.
- Діагностика сигналів: перевірка надходження коректних сигналів від датчиків на входи ПЛК, а також контроль вихідних сигналів до приводів.
- Перевірка логіки програми: аналіз роботи програми в режимі емуляції або реального виконання для виявлення логічних помилок.
- Моніторинг стану: використання інструментів моніторингу для аналізу стану ПЛК у реальному часі [14].

Інструментами для діагностики ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* виступають програмні та апаратні засоби:

Програмне забезпечення *GX Works3* включає в себе:

- Моніторинг роботи: у реальному часі дозволяє спостерігати за змінними, перевіряти стан вхідних та вихідних сигналів.
- Емуляція програми: дозволяє перевірити роботу програми без підключення до обладнання.
- Функція відладки: дозволяє аналізувати роботу логіки програми, зупиняти виконання коду в ключових точках та перевіряти стан системи.

Інтерфейс НМІ: Панель оператора забезпечує можливість діагностики та налагодження безпосередньо з обладнання. З її допомогою оператор може контролювати вхідні та вихідні сигнали, змінювати параметри роботи та отримувати повідомлення про помилки.

Інтегровані індикатори: На корпусі ПЛК розташовані світлодіодні індикатори, які сигналізують про стан живлення, роботу процесора, наявність помилок або збоїв у системі.

Основні етапи налагодження ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* :

Попередня перевірка:

- Перевірка правильності підключення кабелів, живлення та компонентів системи.
- Завантаження програми у ПЛК через *GX Works3* та перевірка її коректного функціонування.

Тестування окремих модулів:

- Перевірка роботи вхідних і вихідних сигналів.
- Тестування окремих приводів та датчиків у ручному режимі.

Аналіз логіки роботи:

- Виконання програми в режимі емуляції для перевірки відповідності логіки роботи заданим алгоритмам.
- Використання функцій моніторингу для виявлення помилок у реальному часі.

Внесення коригувань: У разі виявлення помилок або недоліків, програма допрацьовується, після чого повторно завантажується до ПЛК.

ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* оснащений системою автоматичного виявлення помилок, яка дозволяє швидко ідентифікувати причину збоїв. Інформація про помилки відображається у вигляді кодів на панелі НМІ або в програмному забезпеченні *GX Works3*. Додатково ПЛК підтримує функцію журналу подій, де зберігаються дані про всі виниклі проблеми.

Переваги діагностики та налагодження з *Mitsubishi FX5U-32M*

- Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс програмного забезпечення.
- Можливість роботи у реальному часі для оперативного вирішення проблем.
- Вбудовані функції моніторингу та автоматичного визначення помилок.
- Висока надійність апаратного забезпечення, що мінімізує кількість збоїв.

Процес діагностики та налагодження є обов'язковим етапом при впровадженні ПЛК в автоматизовану систему, що забезпечує її стабільну роботу та підвищує ефективність обладнання.

Після завершення етапів діагностики та налагодження, для забезпечення стабільної роботи ПЛК та автоматизованої системи в цілому, необхідно врахувати кілька ключових аспектів. Одним з цих аспектів є регулярне технічне обслуговування, до якого входить: перевірка фізичного стану підключень, проводів і компонентів, тестування програмного забезпечення на відповідність поточним умовам роботи. Наступним аспектом є: оновлення програмного забезпечення, у разі появи нових функцій або виявлення помилок, необхідно своєчасно оновлювати прошивку ПЛК і робочу програму. Моніторинг продуктивності є одним з ключових аспектів, важливо здійснювати постійний контроль параметрів роботи системи за допомогою інструментів моніторингу, доступних у GX Works3 або через HMI. До аспекту аварійного планування входить: визначення потенційних ризиків і шляхів їх усунення та встановлення механізмів аварійної зупинки верстата для мінімізації шкоди у разі непередбачених ситуацій [15].

Під час тривалої експлуатації система керування може піддаватися змінам через зношення компонентів, зміну умов виробництва або оновлення технічних вимог. *Mitsubishi FX5U-32M* завдяки своїй адаптивності дозволяє легко інтегрувати нові функції, модернізувати існуючу програму і підлаштовуватися під нові виклики. Для цього необхідно: регулярно проводити повторну діагностику обладнання, актуалізувати алгоритми управління відповідно до змін у виробничих процесах, використовувати функцію збереження даних для відстеження стану обладнання та його налаштувань.

Діагностика та налагодження ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* є фундаментальним етапом у створенні автоматизованої системи керування. Застосування сучасних інструментів діагностики, вбудованих функцій моніторингу та зручного програмного забезпечення дозволяє досягти високої ефективності роботи системи, її надійності та безпечної експлуатації. Завдяки своїй функціональності та

гнучкості, ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* забезпечує довговічну і стабільну роботу верстата 2P135Ф2 в умовах сучасного виробництва.

Висновок до розділу 3

У цьому розділі були детально розглянуті ключові аспекти використання ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* 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 FX5U-32M* 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 FX5U-32M* 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 цього ПЛК також було розглянуто. Описано, як правильно виконувати налаштування програмного забезпечення та обладнання для досягнення стабільної роботи системи. Зазначено, що важливими етапами є перевірка підключення 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 FX5U-32M* 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

4.1 Функціональна схема системи автоматичного керування

В сучасних умовах автоматизації виробничих процесів ключову роль відіграє розробка функціональних схем керування, які забезпечують узгоджену взаємодію всіх елементів системи. У цьому підрозділі розглядається функціональна схема автоматизованої системи керування свердлильним верстатом з револьверною головкою 2P135Ф2, створена на основі ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M*.

Схема відображає всі основні елементи системи, включаючи джерела живлення, датчики, виконавчі механізми, приводи, а також пристрої інтерфейсу оператора. Особлива увага приділена логічному зв'язку між компонентами, що дозволяє забезпечити синхронізовану роботу верстата, оптимізацію його функціональних можливостей і високий рівень автоматизації.

Побудова функціональної схеми базується на аналізі технічних характеристик верстата 2P135Ф2, його штатного ЧПК, та вимог до заміни системи керування з використанням сучасного програмованого логічного контролера. У процесі розробки враховувалися переваги ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M*, зокрема його висока швидкодія, надійність, розширені комунікаційні можливості та здатність до інтеграції з НМІ.

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. Враховуючи складність та багатофункціональність свердлильного верстата 2P135Ф2, схема побудована таким чином, щоб відобразити логіку роботи всіх елементів, включаючи їх послідовність дій та синхронізацію.

Основними компонентами представленої схеми є:

- Датчики стану: вони відслідковують положення осей, обертання шпинделя, положення револьверної головки, температурний режим та інші критичні параметри роботи верстата.
- Приводи: відповідають за переміщення осей X, Y, Z, обертання шпинделя та револьверної головки, що дозволяє виконувати точну механічну обробку.
- Система керування: ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* виконує обробку сигналів від датчиків та генерує керуючі команди для виконавчих механізмів.
- Інтерфейс оператора (HMI): забезпечує зручну взаємодію з оператором, дозволяючи задавати параметри роботи, контролювати стан системи та оперативно вносити зміни.

Перевагою такої побудови є можливість чіткої інтеграції всіх елементів, їх модульність та легкість у подальшому обслуговуванні або модернізації. У ході аналізу функціональної схеми розглядаються ключові аспекти роботи системи, включаючи логіку прийняття рішень ПЛК, алгоритми керування приводами, механізми захисту та аварійного вимкнення.

Завдяки використанню сучасного ПЛК система здатна обробляти великий обсяг даних у реальному часі, швидко адаптуватися до змін у процесах та забезпечувати точне дотримання заданих технологічних параметрів. У підрозділі представлена деталізація ролі кожного компонента в загальній схемі роботи автоматизованої системи, що дозволяє глибше зрозуміти її архітектуру та функціональність.



Рисунок 4.1 – Функціональна схема автоматизованої системи керування

Структурна схема підключення ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* до свердлильного верстата 2P135Ф2 (рис. 4.1.) відображає послідовність і принципи взаємодії між основними компонентами системи керування. У центрі схеми знаходиться ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M*, який забезпечує обробку сигналів і управління всім процесом.

Система отримує вхідні сигнали від різних датчиків, встановлених на верстаті. Це можуть бути датчики положення осей, швидкості обертання шпинделя, температури, крутного моменту та інших параметрів, що є критичними для роботи обладнання. Ці дані надходять до входів ПЛК для аналізу та прийняття рішень у реальному часі.

ПЛК формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів. До них відносяться приводи осей *X*, *Y*, *Z*, привід револьверної головки, а також привід обертання шпинделя. Ці сигнали спрямовуються до відповідних елементів через вихідні канали ПЛК. Завдяки цьому забезпечується точність та синхронність роботи механізмів, необхідна для виконання складних технологічних операцій.

Для взаємодії оператора з системою використовується панель оператора (НМІ), яка підключена до ПЛК. Вона дозволяє налаштовувати параметри роботи верстата, контролювати стан системи та отримувати повідомлення про помилки або аварійні ситуації.

Живлення системи забезпечується через блок живлення, який подає енергію на ПЛК, датчики, приводи та інші компоненти. Для захисту системи від перевантажень і аварійних ситуацій передбачено автоматичні вимикачі, реле захисту та інші елементи електрозахисту.

Комунікаційні модулі ПЛК забезпечують обмін даними між контролером і зовнішніми пристроями, включаючи інші верстати, системи моніторингу та управління, а також з'єднання з локальною мережею підприємства. Завдяки цьому система може інтегруватися в загальну інфраструктуру автоматизації виробництва.

Така структурна схема забезпечує узгоджену роботу всіх елементів системи, високу точність виконання операцій та гнучкість у керуванні процесами.

4.2 Алгоритми управління свердлильним верстатом 2P135Ф2

Алгоритми управління свердлильним верстатом з револьверною головкою є критично важливими для забезпечення автоматизації обробки, точності виконання завдань та оптимізації виробничих процесів. Вони визначають послідовність дій, які виконуються контролером для управління приводами, інструментами, системами охолодження та іншими елементами верстата. У цьому підрозділі представлено основні типи алгоритмів, їх структуру, а також конкретні приклади алгоритмів управління для свердлильних верстатів.

Основний алгоритм програми представлений на рис. 4.2, в даному алгоритмі описуються основні етапи роботи свердлильного верстату 2P135Ф2. Перший етап це ініціалізація системи (рис. 4.3), на цьому етапі встановлюються початкові значення для всіх змінних і таймерів, відбувається перевірка системи безпеки та відбувається ініціалізація інтерфейсу користувача для вибору режиму роботи.

Наступним етапом відбувається перевірка стану приводу, перевіряється готовність основного приводу шпинделя та стан допоміжних приводів револьверної головки, подачі та охолодження, якщо повна готовність то відбувається синхронізація всіх осей.

Далі відбувається вибір режиму роботи, або режим автоматичної роботи в якому зчитуються параметри програми (швидкість, глибина свердління, кількість змін інструментів) та зчитування вхідних даних від оператора, або режим ручного керування, в цьому режимі надається можливість оператору керувати приводами та механізмами.

Проведення етапу свердління (рис. 4.4) відбувається таким чином, запускається шпиндель на встановленій швидкості, також відбувається запуск системи охолодження та подача свердла до заданої глибини, для її встановлення використовуються сигнали від кінцевих датчиків для визначення глибини свердління, після досягнення потрібної глибини відбувається зупинка подачі свердла та повернення у вихідне положення.

Наступним етапом є управління револьверною головкою (рис 4.5), відбувається процес повороту револьверної головки до позиції нового інструменту, для цього використовуються сенсори для підтвердження правильного положення, якщо положення правильне то револьверна головка блокується.



Рисунок 4.2 – Основний алгоритм програми

Синхронізація приводів відбувається шляхом синхронізації всіх осей для забезпечення плавності роботи та є необхідність контролю швидкості та позиції через енкодери і зворотні зв'язки.



Рисунок 4.3 – Алгоритм підпрограми ініціалізації системи

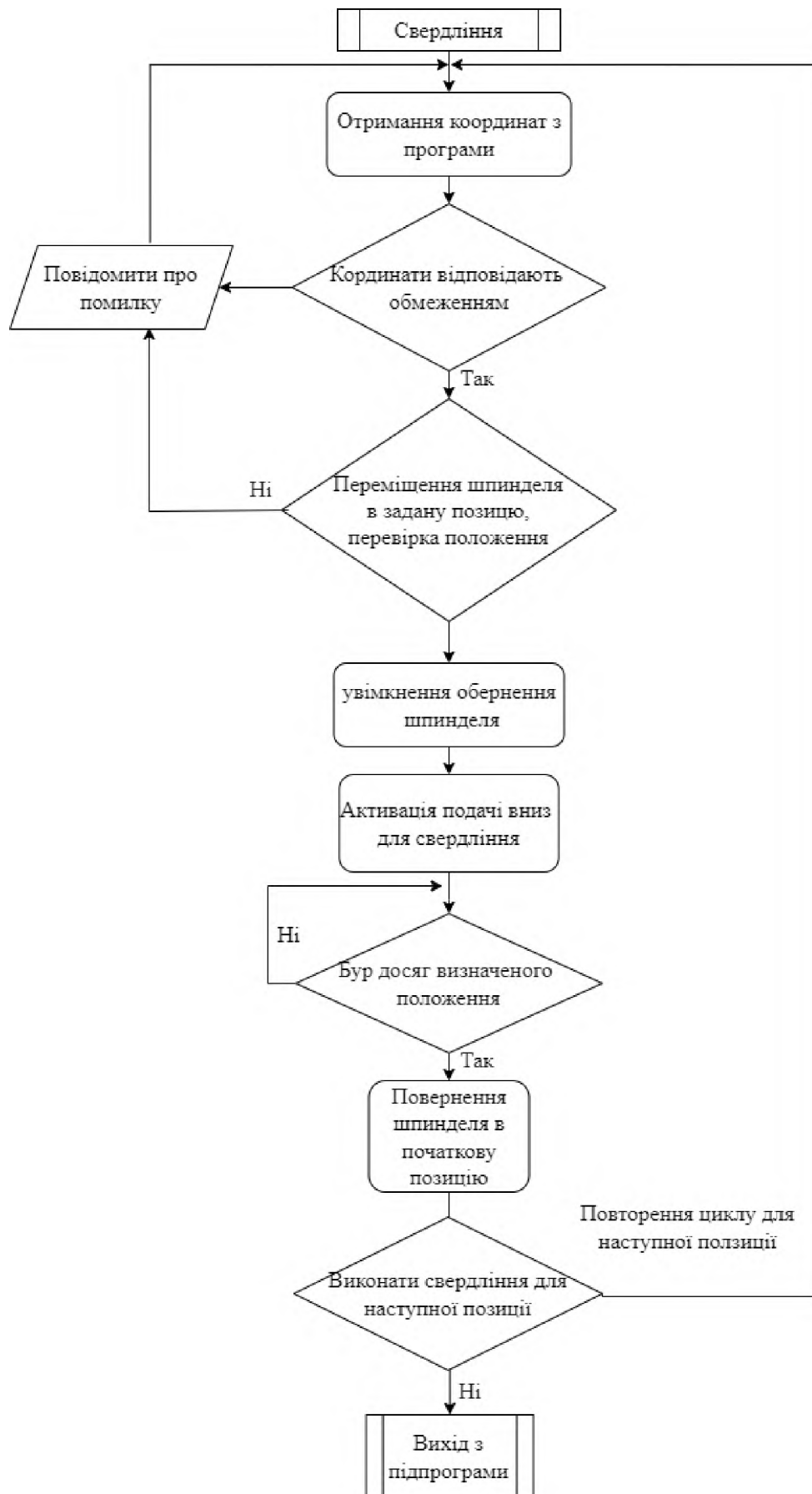


Рисунок 4.4 – Алгоритм підпрограми свердління.

В етапі перевірки аварійних умов постійно відбувається моніторинг стану аварійних кнопок та перегріву приводів. При виявленні аварії необхідно зупинити шпиндель і всі приводи, вивести повідомлення про аварію та дочекатися втручання оператора для відновлення роботи.



Рисунок 4.5 – Алгоритм підпрограми управління револьверною головкою

Після завершення свердління на етапі завершення циклу, відбувається зупинка шпинделя, перевіряється чи є ще операції в черзі та револьверна головка повертається у вихідне положення. При виході програми після завершення всіх операцій виводиться повідомлення про завершення роботи, верстат встановлюється у початковий стан (ініціалізація) та відбувається очікування нового запуску програми та вказівок оператора.

4.3 Код програми

Автоматизація виробничих процесів вимагає розробки ефективного програмного забезпечення, яке забезпечує точне виконання технологічних операцій і синхронізацію роботи всіх компонентів обладнання. У цьому підрозділі представлений код програми, написаний мовою релейно-контактної логіки (*Ladder Diagram, LD*), призначений для управління свердильним верстатом з револьверною головкою 2P135Ф2 за допомогою ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M*.

Програма забезпечує обробку сигналів від датчиків, контроль стану привідних механізмів, синхронізацію рухів осей, обертання шпинделя та револьверної головки. Особливу увагу приділено забезпеченню надійності роботи системи, її адаптивності до змін у технологічних умовах, а також простоті обслуговування та діагностики.

Розроблений код структурований за основними функціональними процесами, такими як запуск і зупинка верстата, управління револьверною головкою, контроль обробки деталей та обробка аварійних ситуацій. Коментарі до кожного блоку програми допомагають зрозуміти принципи її роботи, що полегшує подальше впровадження, налаштування і оптимізацію.

Підрозділ спрямований на демонстрацію практичного застосування програмного забезпечення в рамках автоматизованої системи керування, а також на забезпечення наочності підходів до розробки таких програм у виробничих умовах.

```
| // 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 -----( SET ) Material_Loaded
| // Сигнал готовності до обробки
|
| // Обробка заготовки(свердління)
|----[ NO ] Program_Step_Ready -----( SET ) Coordinate_X
| // Завантаження координат
|----[ NO ] Position_Ready -----( OUT ) Axis_X_Motor
| // Переміщення по осі X
|----[ NC ] X_Position_Sensor -----( RST ) Axis_X_Motor
| // Зупинка приводу
|----[ NO ] Spindle_Start -----( OUT ) Spindle_Motor
| // Увімкнення шпинделя
|----[ NO ] Feed_Start -----( OUT ) Feed_Motor
| // Початок подачі вниз
|----[ NC ] Depth_Sensor -----( RST ) Feed_Motor
| // Зупинка при досягненні глибини
|----[ NO ] Feed_Return -----( OUT ) Axis_Z_Motor
| // Повернення шпинделя в нуль
|----[ NC ] Home_Sensor_Z -----( RST ) Axis_Z_Motor

```

```

| // Зупинка приводу
      | // Зміна інструмента
|----[ NO ] Tool_Change_Request -----( SET ) Change_Flag
| // Запит на зміну інструмента
|----[ NO ] Change_Flag -----( RST ) Spindle_Motor
| // Зупинка шпинделя
|----[ NO ] Change_Flag -----( OUT ) Turret_Rotate_Motor
| // Поворот револьверної головки
|----[ NC ] Tool_Position_Sensor -----( RST ) Turret_Rotate_Motor
| // Зупинка при досягненні позиції
|----[ AND ] Tool_Position_Sensor -----( SET ) Turret_Locked
| // Блокування револьверної головки
|----[ NO ] Turret_Locked -----( OUT ) Spindle_Motor
| // Увімкнення шпинделя
      | // Розвантаження готової деталі
|----[ NO ] Cycle_End_Signal -----( SET ) Ready_To_Unload
| // Сигнал готовності до розвантаження
|----[ NO ] Ready_To_Unload -----( OUT ) Unload_Motor
| // Увімкнення приводу розвантаження
|----[ NC ] Position_Sensor_Unload -----( RST ) Unload_Motor
| // Зупинка приводу
|----[ NO ] Position_Sensor_Unload -----( SET ) Unload_Complete
| // Сигнал завершення розвантаження
      | // Синхронізація процесів
|----[ SET ] Process_1_Complete -----( NO ) Start_Process_2
| // Запуск наступного процесу
|----[ SET ] Process_2_Complete -----( NO ) Start_Process_3
|----[ SET ] Process_6_Complete -----( OUT ) Cycle_End_Signal
| // Завершення циклу
      | // Додатковий контроль та захист: Помилки та аварії

```

```

|----[ NC ] Emergency_Stop -----( RST ) All_Motors
| // Аварійна зупинка всіх приводів
|----[ NC ] Emergency_Stop -----( SET ) Error_Signal
| // Сигнал помилки
|----[ NO ] Error_Reset -----( RST ) Error_Signal
| // Скидання помилки
| // Інтеграція датчиків обробки матеріалів
|----[ NO ] Material_Loaded -----( OUT ) Process_Ready_Lamp
| // Індикатор готовності матеріалу
|----[ NO ] Material_Loaded -----( SET ) Start_Process_3
| // Запуск процесу свердління
| // Відображення стану системи на HMI
|----[ NO ] System_Ready -----( OUT ) HMI_Ready_Indicator
| // Індикатор готовності системи
|----[ NO ] Error_Signal -----( OUT ) HMI_Error_Message
| // Повідомлення про помилку
|----[ NO ] Unload_Complete -----( OUT ) HMI_Process_Complete
| // Інформація про завершення процесу
| // Оптимізація роботи револьверної головки
|----[ NO ] Change_Flag -----( OUT ) Turret_Lock_Motor
| // Блокування револьверної головки
|----[ NO ] Tool_Position_Sensor -----( SET ) Turret_Lock_Complete
| // Сигнал завершення блокування
|----[ NC ] Tool_Position_Sensor -----( RST ) Turret_Rotate_Motor
| // Зупинка обертання при досягненні позиції
| // Контроль завершення циклу
|----[ NO ] Process_6_Complete -----( OUT ) Cycle_End_Lamp
| // Індикація завершення циклу
|----[ NO ] Cycle_End_Signal -----( SET ) Ready_For_New_Cycle
| // Система готова до нового циклу

```

```

| // Синхронізація між процесами через внутрішні регістри
|----[ NO ] Process_Ready -----( SET ) M1
| // Сигнал готовності процесу 1
|----[ M1 ] Start_Process_2 -----( SET ) M2
| // Передача сигналу готовності до процесу 2
|----[ M2 ] Start_Process_3 -----( SET ) M3
| // Передача сигналу готовності до процесу 3
|----[ M3 ] Start_Process_4 -----( SET ) M4
| // Передача сигналу готовності до процесу 4
|----[ M4 ] Start_Process_5 -----( SET ) M5
| // Передача сигналу готовності до процесу 5
|----[ M5 ] Start_Process_6 -----( SET ) Cycle_End_Signal
| // Завершення циклу

| // Діагностика та перевірка системи перед запуском
|----[ NO ] Power_OK_Flag -----( AND ) Sensors_OK_Flag
|----[ AND ] Turret_OK_Flag -----( SET ) Diagnostics_OK
| // Перевірка готовності всіх систем
|----[ NC ] Diagnostics_OK -----( OUT ) HMI_Error_Message
| // Виведення помилки на HMI
|----[ NO ] Diagnostics_OK -----( SET ) System_Ready
| // Система готова до роботи

| // Управління приводною системою
| // Оси X, Y, Z
|----[ NO ] Start_Process_3 -----( OUT ) Axis_X_Motor
| // Рух осі X до координати
|----[ NC ] X_Position_Sensor -----( RST ) Axis_X_Motor
| // Зупинка осі X
|----[ NO ] Start_Process_3 -----( OUT ) Axis_Y_Motor
| // Рух осі Y до координати
|----[ NC ] Y_Position_Sensor -----( RST ) Axis_Y_Motor

```

```

| // Зупинка осі Y
|----[ NO ] Start_Process_3 -----( OUT ) Axis_Z_Motor
| // Рух осі Z до координати
|----[ NC ] Z_Position_Sensor -----( RST ) Axis_Z_Motor
| // Зупинка осі Z
| // Шпиндель
|----[ NO ] Drilling_Start -----( OUT ) Spindle_Motor
| // Запуск шпинделя
|----[ NC ] Depth_Sensor -----( RST ) Spindle_Motor
| // Зупинка після досягнення глибини
|----[ NO ] Spindle_Motor -----( NO ) Overload_Sensor
| // Захист від перевантаження
|----[ NC ] Overload_Sensor -----( RST ) Spindle_Motor
| // Зупинка при перевантаженні
| // Інтеграція турелі для зміни інструментів
|----[ NO ] Tool_Change_Request -----( OUT ) Turret_Rotate_Motor
| // Обертання револьверної головки
|----[ NC ] Tool_Position_Sensor -----( RST ) Turret_Rotate_Motor
| // Зупинка при досягненні потрібного інструмента
|----[ NO ] Tool_Position_Sensor -----( SET ) Turret_Lock_Flag
| // Фіксація головки
|----[ NO ] Turret_Lock_Flag -----( OUT ) Spindle_Motor
| // Відновлення роботи шпинделя
| // Синхронізація та завершення циклу
|----[ NO ] Cycle_Complete -----( SET ) Ready_For_New_Cycle
| // Сигнал готовності до нового циклу
|----[ NO ] Ready_For_New_Cycle -----( OUT ) HMI_Process_Complete
| // Виведення повідомлення на HMI
|----[ NO ] Ready_For_New_Cycle -----( OUT ) Cycle_Complete_Lamp
| // Візуальна індикація завершення

```

```

| // Функції енергозбереження
| // Вимкнення двигунів під час простою
|----[ NO ] Idle_Timer_Elapsed -----( OUT ) Motor_Sleep_Mode
| // Перехід у режим очікування
|----[ NC ] Start_Process_1 -----( RST ) Motor_Sleep_Mode
| // Вихід із режиму очікування при запуску
|----[ NO ] Motor_Sleep_Mode -----( RST ) All_Motors
| // Вимкнення всіх двигунів у режимі очікування
| // Відновлення роботи
|----[ NO ] Resume_Button -----( RST ) Motor_Sleep_Mode
| // Вихід із режиму сну через HMI
|----[ NO ] Motor_Sleep_Mode -----( OUT ) HMI_Sleep_Indicator
| // Індикація на HMI про режим очікування
| // Контроль температури приводів
| // Датчики температури
|----[ NO ] Temp_Sensor_X -----( NO ) Temp_Limit_X
| // Контроль температури осі X
|----[ NC ] Temp_Limit_X -----( RST ) Axis_X_Motor
| // Вимкнення приводу осі X при перегріві
|----[ NO ] Temp_Sensor_Y -----( NO ) Temp_Limit_Y
| // Контроль температури осі Y
|----[ NC ] Temp_Limit_Y -----( RST ) Axis_Y_Motor
| // Вимкнення приводу осі Y при перегріві
| // Сигнали безпеки
| // Інтеграція світлових сигналів
|----[ NO ] Error_Signal -----( OUT ) Red_Light
| // Червоне світло при помилці
|----[ NO ] Cycle_Running -----( OUT ) Yellow_Light
| // Жовте світло під час роботи
|----[ NO ] System_Ready -----( OUT ) Green_Light

```

```

| // Зелене світло при готовності
| // Аварійна зупинка
|----[ NC ] Emergency_Stop_Button -----( RST ) All_Motors
| // Зупинка всіх двигунів
|----[ NC ] Emergency_Stop_Button -----( SET ) HMI_Emergency_Message | //
Повідомлення на HMI
    | // Оптимізація управління шпинделем
|----[ NO ] RPM_Control_Signal -----( OUT ) Spindle_Motor_RPM
| // Регулювання оборотів шпинделя
|----[ NO ] Overload_Sensor -----( OUT ) Spindle_Overload_Warning
| // Попередження про перевантаження
|----[ NC ] Overload_Sensor -----( RST ) Spindle_Motor
| // Зупинка шпинделя при перевантаженні
| // Вибір режиму роботи шпинделя
|----[ NO ] HMI_Speed_Mode_1 -----( SET ) Spindle_Mode_1
| // Режим швидкої обробки
|----[ NO ] HMI_Speed_Mode_2 -----( SET ) Spindle_Mode_2
| // Режим точного оброблення
    | // Завершення обробки та сигналізація
| // Автоматичне завершення
|----[ NO ] Cycle_End_Signal -----( SET ) HMI_Cycle_Complete
| // Відображення завершення на HMI
|----[ NO ] Cycle_End_Signal -----( OUT ) End_Buzzer
| // Звуковий сигнал завершення
|----[ NO ] Cycle_End_Signal -----( OUT ) End_Light
| // Світловий сигнал завершення
| // Підготовка до нового циклу
|----[ NO ] Ready_For_New_Cycle -----( SET ) System_Reset
| // Скидання системи для нового циклу
|----[ NO ] System_Reset -----( OUT ) Reset_Indicator

```

```
| // Індикація скидання
| // Обробка датчиків для точного позиціонування
| // Контроль переміщення осей (з датчиками точного позиціонування)
|----[ NO ] Move_X_Start -----( OUT ) Axis_X_Motor
| // Рух осі X
|----[ NC ] X_Limit_Sensor -----( RST ) Axis_X_Motor
| // Зупинка при досягненні ліміту
|----[ NO ] X_Position_Sensor -----( SET ) Position_Reached_X
| // Позиція X досягнута
|----[ NO ] Move_Y_Start -----( OUT ) Axis_Y_Motor
| // Рух осі Y
|----[ NC ] Y_Limit_Sensor -----( RST ) Axis_Y_Motor
| // Зупинка при досягненні ліміту
|----[ NO ] Y_Position_Sensor -----( SET ) Position_Reached_Y
| // Позиція Y досягнута
|----[ NO ] Move_Z_Start -----( OUT ) Axis_Z_Motor
| // Рух осі Z
|----[ NC ] Z_Limit_Sensor -----( RST ) Axis_Z_Motor
| // Зупинка при досягненні ліміту
|----[ NO ] Z_Position_Sensor -----( SET ) Position_Reached_Z
| // Позиція Z досягнута
| // Логіка обробки помилок
| // Загальні помилки
|----[ NO ] Overload_Sensor -----( SET ) Error_Flag
| // Виявлено перевантаження
|----[ NO ] Position_Error_Sensor -----( SET ) Error_Flag
| // Помилка позиціонування
|----[ NO ] Error_Flag -----( OUT ) HMI_Error_Message
| // Повідомлення про помилку на HMI
|----[ NO ] Error_Flag -----( OUT ) Red_Light
```

```

| // Світлова індикація помилки
|----[ NO ] Error_Flag -----( RST ) All_Motors
| // Зупинка всіх двигунів
| // Відновлення після помилки
|----[ NO ] Reset_Button -----( RST ) Error_Flag
| // Скидання помилок
|----[ NO ] Reset_Button -----( OUT ) HMI_Reset_Indicator
| // Індикація скидання на HMI
| // Управління револьверною головкою (послідовність інструментів)
| // Зміна інструмента
|----[ NO ] Tool_Change_Command -----( OUT ) Turret_Rotate_Motor
| // Обертання револьверної головки
|----[ NO ] Tool_Position_Sensor -----( RST ) Turret_Rotate_Motor
| // Зупинка при досягненні потрібного інструмента
|----[ NO ] Tool_Position_Sensor -----( SET ) Tool_Ready_Flag
| // Інструмент готовий до роботи
| // Повернення до початкового положення
|----[ NO ] Tool_Return_Command -----( OUT ) Turret_Reset_Motor
| // Повернення головки до початкового положення
|----[ NO ] Turret_Home_Sensor -----( RST ) Turret_Reset_Motor
| // Зупинка при досягненні базової позиції
| //Послідовність обробки (циклічна робота)
| //Підготовка
|----[ NO ] Start_Button -----( SET ) Start_Process_1
| // Початок роботи
|----[ NO ] Start_Process_1 -----( OUT ) Axis_X_Motor
| // Рух осі X до стартової позиції
|----[ NO ] Position_Reached_X -----( SET ) Next_Process
| // Переход до наступного процесу
| //Цикл обробки

```

```

|----[ NO ] Next_Process -----( OUT ) Spindle_Motor
| // Запуск шпинделя
|----[ NO ] Depth_Sensor -----( SET ) Drilling_Complete
| // Завершення свердління
|----[ NO ] Drilling_Complete -----( OUT ) Turret_Rotate_Motor
| // Зміна інструмента
|----[ NO ] Tool_Ready_Flag -----( SET ) Next_Process
| // Перехід до наступного кроку
| // Розширене управління револьверною головкою
| // Перевірка готовності револьверної головки
|----[ NO ] Turret_Home_Sensor -----( OUT ) HMI_Turret_Home_Status
| // Відображення на HMI про готовність головки
|----[ NO ] Tool_Change_Command -----( OUT ) HMI_Turret_Rotate_Status
| // Відображення на HMI про зміну інструмента
|----[ NO ] Turret_Error_Sensor -----( OUT ) HMI_Turret_Error
| // Повідомлення про помилку головки
| // Логіка аварійного скидання револьверної головки
|----[ NO ] Turret_Error_Sensor -----( SET ) Error_Flag
| // Активувати помилку системи
|----[ NO ] Reset_Turret_Command -----( OUT ) Turret_Reset_Motor
| // Скидання револьверної головки
|----[ NO ] Turret_Home_Sensor -----( RST ) Turret_Reset_Motor
| // Зупинка скидання при досягненні базової позиції
| // Контроль шпинделя для різних операцій
| // Логіка зміни оборотів шпинделя
|----[ NO ] HMI_RPM_Set_Command -----( OUT ) Spindle_RPM_Control    | //
Установка оборотів через HMI
|----[ NO ] RPM_Sensor -----( OUT ) HMI_Spindle_Speed
| // Відображення поточних оборотів
|----[ NO ] Spindle_Overload_Sensor -----( SET ) Spindle_Overload_Flag

```

```

| // Перевантаження шпинделя
|----[ NO ] Spindle_Overload_Flag -----( RST ) Spindle_Motor
| // Зупинка шпинделя при перевантаженні
| // Управління шпинделем для свердління
|----[ NO ] Drilling_Start_Command -----( OUT ) Spindle_Motor
| // Запуск шпинделя
|----[ NO ] Depth_Sensor -----( SET ) Drilling_Complete
| // Завершення свердління
|----[ NO ] Drilling_Complete -----( RST ) Spindle_Motor
| // Зупинка шпинделя після завершення
| // Розширена система безпеки
| // Контроль доступу до зони роботи
|----[ NO ] Safety_Door_Open_Sensor -----( RST ) All_Motors | // Зупинка
всіх моторів при відкритті дверей
|----[ NO ] Safety_Door_Closed_Sensor -----( SET ) HMI_Safety_Door_Status | //
Відображення статусу дверей на HMI
| // Система аварійного вимкнення
|----[ NC ] Emergency_Stop_Button -----( RST ) All_Motors | // Аварійне
вимкнення всіх двигунів
|----[ NC ] Emergency_Stop_Button -----( SET ) HMI_Emergency_Status | //
Відображення аварійного статусу на HMI
|----[ NO ] Reset_Emergency_Command -----( RST ) HMI_Emergency_Status | //
Скидання аварійного статусу через HMI
| // Автоматичне завершення роботи
| // Завершення операцій
|----[ NO ] Cycle_Complete -----( SET ) End_Sequence_Flag
| // Флаг завершення циклу
|----[ NO ] End_Sequence_Flag -----( OUT ) HMI_Cycle_Complete
| // Відображення завершення циклу на HMI
|----[ NO ] End_Sequence_Flag -----( OUT ) End_Buzzer

```

```

| // Звуковий сигнал завершення
|----[ NO ] End_Sequence_Flag -----( OUT ) End_Light
| // Світлова індикація завершення
| // Скидання системи
|----[ NO ] Reset_Command -----( RST ) End_Sequence_Flag
| // Скидання флагу завершення
|----[ NO ] Reset_Command -----( SET ) System_Reset
| // Скидання всіх станів для нового циклу
|----[ NO ] System_Reset -----( OUT ) HMI_Reset_Status
| // Індикація скидання на HMI
| // Синхронізація приводів
| // Синхронізація осей для складальних операцій
|----[ NO ] Sync_Command -----( SET ) Start_Sync_Flag      | // Старт
синхронізації
|----[ NO ] Start_Sync_Flag -----( OUT ) Axis_X_Motor      | //
Увімкнення осі X
|----[ NO ] Start_Sync_Flag -----( OUT ) Axis_Y_Motor      | //
Увімкнення осі Y
|----[ NO ] Position_Reached_X -----( AND ) Position_Reached_Y
| // Очікування завершення руху обох осей
|---( SET ) Sync_Complete_Flag
| // Завершення синхронізації
| // Синхронізація шпинделя та револьверної головки
|----[ NO ] Tool_Change_Command -----( OUT ) Turret_Rotate_Motor
| // Запуск обертання револьверної головки
|----[ NO ] Turret_Ready_Sensor -----( AND ) Spindle_RPM_Sensor
| // Перевірка готовності головки та шпинделя
---( SET ) Tool_Sync_Complete
| // Синхронізація завершена
| // Логіка циклічної роботи

```

```

| // Автоматичний запуск обробки
|----[ NO ] Auto_Start_Button -----( SET ) Auto_Mode
| // Увімкнення автоматичного режиму
|----[ NO ] Auto_Mode -----( OUT ) Start_Cycle_Command
| // Запуск циклу
|----[ NO ] Start_Cycle_Command -----( OUT ) Spindle_Motor
| // Увімкнення шпинделя
|----[ NO ] Start_Cycle_Command -----( OUT ) Coolant_Pump
| // Увімкнення системи охолодження
|----[ NO ] Drilling_Complete -----( OUT ) Turret_Rotate_Motor
| // Зміна інструмента після завершення свердління
|----[ NO ] Tool_Sync_Complete -----( SET ) Next_Process
| // Перехід до наступного процесу
| // Автоматичне завершення циклу
|----[ NO ] Cycle_Complete -----( RST ) Auto_Mode
| // Вимкнення автоматичного режиму
|----[ NO ] Cycle_Complete -----( OUT ) End_Buzzer
| // Звуковий сигнал завершення
|----[ NO ] Cycle_Complete -----( OUT ) End_Light
| // Світлова індикація завершення
| // Ручний режим управління
| // Перехід до ручного режиму
|----[ NO ] Manual_Mode_Button -----( SET ) Manual_Mode
| // Увімкнення ручного режиму
|----[ NO ] Manual_Mode -----( OUT ) HMI_Manual_Mode_Status
| // Індикація ручного режиму на HMI
|----[ NO ] Manual_Move_X_Command -----( OUT ) Axis_X_Motor
| // Ручний рух осі X
|----[ NO ] Manual_Move_Y_Command -----( OUT ) Axis_Y_Motor
| // Ручний рух осі Y

```

```

|----[ NO ] Manual_Move_Z_Command -----( OUT ) Axis_Z_Motor
| // Ручний рух осі Z
| // Вихід з ручного режиму
|----[ NO ] Auto_Mode_Button -----( RST ) Manual_Mode
| // Повернення до автоматичного режиму
|----[ NO ] Manual_Mode -----( RST ) All_Motors
| // Зупинка моторів після виходу з ручного режиму

```

Розроблений код програми на мові Ladder Diagram для управління свердильним верстатом 2P135Ф2 на основі ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* є важливим кроком у реалізації автоматизованої системи керування. Програма забезпечує повний цикл роботи верстата. Результат роботи програми зображений на Рис. 4.6.

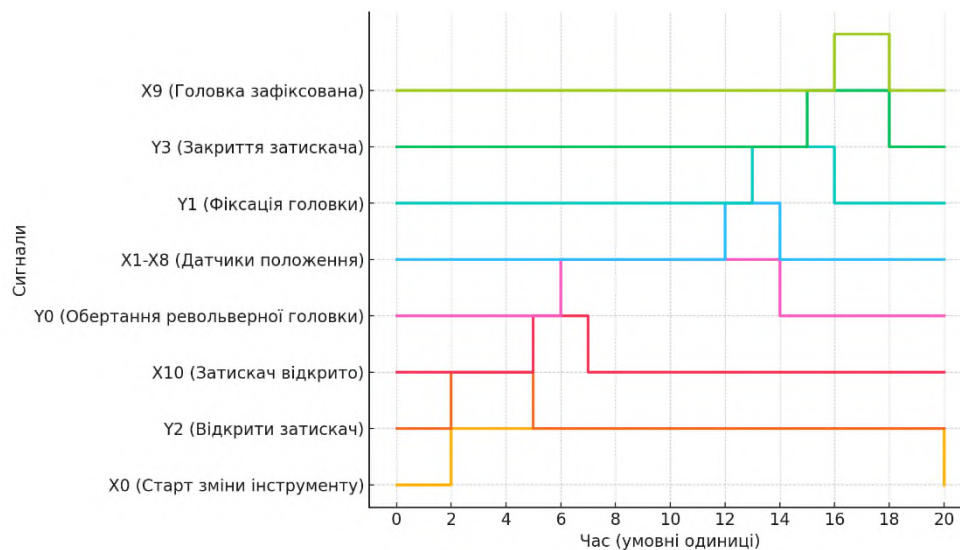


Рисунок 4.6 – Циклограма роботи свердильного верстату 2P135Ф2 з револьверною головкою

Представлений код враховує специфіку роботи обладнання, його технічні характеристики та вимоги до безпеки. Завдяки модульності й зрозумілій структурі програми, вона може бути легко адаптована для впровадження додаткових функцій або модернізації обладнання в майбутньому.

Цей підрозділ підкреслює важливість програмного забезпечення як невід'ємної частини автоматизованих систем. Саме якість і надійність програми визначають ефективність і стабільність роботи обладнання, сприяючи підвищенню продуктивності та забезпеченню високої точності технологічних процесів.

Висновок до розділу 4

У цьому розділі розглянуто ключові етапи впровадження автоматизованої системи керування свердильним верстатом 2P135Ф2, починаючи з функціональної схеми системи та закінчуючи розробкою алгоритмів управління і програмним кодом. Важливою складовою є використання ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* для реалізації управління верстатом, що забезпечує високу точність та надійність роботи системи.

Функціональна схема системи автоматичного керування стала основою для чіткої організації роботи верстата. Вона дозволила визначити взаємодію всіх компонентів системи, зокрема ПЛК, датчиків, приводів та інших елементів, що забезпечують безперебійну та точну роботу верстата. Чітка структура схеми допомогла оптимізувати процес автоматизації, знижуючи ймовірність помилок при налагодженні та експлуатації.

Алгоритми управління, розроблені для свердильного верстата 2P135Ф2, стали основою для ефективного управління основними параметрами верстата, такими як швидкість обертання шпинделя, подача інструменту, зміна напрямку руху та інші критичні операції. Розроблені алгоритми дозволяють оптимізувати роботу верстата, забезпечити точність обробки та підвищити ефективність виробничого процесу.

Код програми, написаний на мові *LD* (Логічні діаграми), є важливою частиною впровадження системи. Використання мови *LD* для програмування ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* забезпечує інтуїтивно зрозумілий і ефективний спосіб реалізації логіки керування. Програма дозволяє легко налаштовувати та змінювати

параметри управління, а також знижує ймовірність виникнення помилок під час виконання програмних завдань.

В результаті впровадження цієї автоматизованої системи керування, було досягнуто значних переваг, таких як підвищення точності обробки деталей, скорочення часу на налаштування та зменшення впливу людського фактору. Використання ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* та програмування на мові *LD* дозволяє забезпечити стабільну та надійну роботу верстата в різних умовах експлуатації. Крім того, автоматизація процесів дозволяє знизити енергетичні витрати та підвищити ефективність виробничих ліній.

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 небезпечних шкідливих для здоров'я людини факторів, характерних для робіт, пов'язаних з налагодженням і обслуговуванням системи керування свердлильного верстату з револьверною головкою

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 вібронезбезпечних 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; вібронезбезпечні – 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 нормальної 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:

1. Ізольюючі:

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

- додаткові: калоші діелектричні, килими і ізольюючі підставки.

2. Огороджувальні: щити, огороження-клітки, ізольюючі 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 ізольованою 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) $6 \div 10$ 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 Розрахунок захисного заземлення системи керування свердлильного верстату з револьверною головкою

За вимогами щодо будови електроустановок на напругу устаткування меншу ніж 1000 В, опір захисного заземлення повинен бути не більше 4 Ом.

Як штучне заземлення застосовуємо сталеві труби діаметром $d=60$ мм і довжиною $l_m=6$ м. Для зв'язку вертикальних електродів і як самостійний горизонтальний електрод, використовуємо смугову сталь перетином 4х40 мм.

Визначаємо опір розтікання струму одиничного вертикального заземлювача:

$$R_{B1} = \frac{\rho}{2\pi l_m} \left(\ln \frac{2l_m}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_m}{4t - l_m} \right), \quad (4.1)$$

де t – глибина занурення труби, м; ρ – розрахунковий питомий опір ґрунту.

Питомий опір ґрунту визначаємо за формулою:

$$\rho = \rho_B \cdot \psi, \quad (4.2)$$

де ρ_B – питомий опір ґрунту, Ом·м; $\psi=1,3$ – коефіцієнт сезонності.

Питомий опір ґрунту, $\rho_B=400$.

Підставляючи відомі величини у формулу (4.2), одержимо:

$$\rho = 400 \cdot 1,3 = 520 (\text{Ом} \cdot \text{м}).$$

Визначимо глибину занурення труби, яка дорівнює відстані від землі до середини труби:

$$t = 0,5 \cdot l_m + t_0, \quad (4.3)$$

де t_0 – відстань від поверхні землі до верхнього кінця заземлювача, приймаємо $t_0 = 1,5$ м.

$$t = 0,5 \cdot 6 + 1,5 = 4,5 \text{ м.}$$

Підставляючи відомі величини у формулу (4.1), одержимо:

$$R_{B1} = \frac{520}{2 \cdot 3,14 \cdot 6} \left(\ln \frac{2 \cdot 6}{0,06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 4,5 + 6}{4 \cdot 4,5 - 6} \right) = 77,9 \text{ Ом.}$$

Визначимо кількість заземлень по формулі:

$$n = \frac{R_{B1}}{\eta \cdot R_3}, \quad (4.4)$$

де R_3 – найбільший допустимий опір заземлюючого пристрою, Ом; η – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів без урахування впливу сполученої смуги, $\eta = 1$ (електроди розміщені по контуру). Тоді

$$n = \frac{77,9}{1 \cdot 4} = 19,5.$$

Приймаємо $n=20$ шт.

$$R_{B\Phi} = \frac{R_{B1}}{n \cdot \eta_\Phi} = \frac{77,9}{20 \cdot 0,7} = 5,56 \text{ Ом.} \quad (4.5)$$

Визначимо опір розтіканню струму горизонтальної смуги:

$$R_{1\Gamma} = \frac{\rho}{2\pi l_1} \cdot \ln \frac{2l_1^2}{b \cdot t_1} \quad (4.6)$$

де t_1 – глибина занурення смуги, м; b – ширина смуги, м; l_1 – довжина смуги, м.

Визначається як:

$$l_1 = 1,05 \cdot a \cdot n; \quad (4.7)$$

де a – відстань між вертикальними заземленнями, м:

$$a = 2 \cdot 6 = 12 \text{ м.}$$

Підставляючи отримані величини у формулу (4.7), одержимо:

$$l_1 = 1,5 \cdot 12 \cdot 20 = 252 \text{ м.}$$

Підставляючи відомі величини у формулу (4.6), одержимо:

$$R_{1\Gamma} = \frac{520}{2 \cdot 3,14 \cdot 252} \cdot \ln \frac{2 \cdot 252^2}{0,04 \cdot 1,5} = 4,7 \text{ Ом;}$$

$$R_{1\Gamma} = \frac{R_{1\Gamma}}{\eta_{\Gamma}} = \frac{4,7}{0,56} = 8,5 \text{ Ом.}$$

Визначимо опір розтіканню струму заземлюючого пристрою:

$$R_3 = \frac{R_{b\Phi} \cdot R_{\Gamma}}{R_{b\Phi} + R_{\Gamma}}. \quad (4.8)$$

Підставляючи відомі величини у формулу (4.8), одержимо:

$$R_3 = \frac{5,56 \cdot 8,5}{5,56 + 8,5} = 3,36 \text{ Ом.}$$

R_3 не перевищує допустимого опору захисного заземлення: $3,36 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$.

5.4 Розробка заходів щодо зменшення впливу шкідливих та небезпечних факторів, пов'язаних з експлуатацією й налагодженням електроприводу свердлильного верстату з револьверною головкою

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 будь-яку 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 струмоведучих 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 5

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. Було розраховано захисне заземлення системи керування свердлильного верстату з револьверною головкою. 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 результаті виконання магістерської роботи була успішно розроблена та впроваджена автоматизована система керування для свердлильного верстату 2P135Ф2 з револьверною головкою, використовуючи програмований логічний контролер (ПЛК) *Mitsubishi FX5U-32M*. Це рішення дозволяє ефективно автоматизувати управління верстатом, забезпечуючи високу точність обробки, зниження витрат часу на налаштування та покращення стабільності виробничих процесів. Автоматизація є важливим кроком до підвищення конкурентоспроможності підприємств в умовах сучасного виробництва.

У роботі була розглянута функціональна схема системи автоматичного керування, яка забезпечує чітке взаємодію всіх компонентів системи, таких як ПЛК, датчики, приводи та виконавчі механізми. Створення цієї схеми дозволило визначити необхідні інтерфейси, алгоритми управління та забезпечити оптимальну організацію процесу обробки. Це дозволяє досягти високої гнучкості та ефективності в роботі верстата, легко адаптуючи систему до змін в умовах виробництва.

Розроблені алгоритми управління свердлильним верстатом 2P135Ф2 є основою для реалізації точних і ефективних операцій, таких як регулювання швидкості обертання шпинделя, контроль за подачею інструменту, а також зміна положення револьверної головки. Завдяки цим алгоритмам, система автоматичного керування здатна забезпечити безперервну і стабільну роботу верстата з високою точністю, що є критично важливим для досягнення високої якості виготовлених деталей.

Розроблений програмний код на мові *LD* для ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* забезпечує простоту та зручність налаштування системи, а також легкість внесення змін до програми в разі потреби. Використання цієї мови програмування дає змогу реалізувати складні логічні операції та алгоритми, забезпечуючи при цьому прозорість та зрозумілість коду, що спрощує процес налагодження та обслуговування.

Процес діагностики та налагодження системи показав високу ефективність ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M*, що дозволяє швидко виявляти проблеми та здійснювати корекцію налаштувань, забезпечуючи безперебійну роботу автоматизованої системи. Важливою перевагою є також наявність інструментів для віддаленого моніторингу та контролю, що значно полегшує процес експлуатації та обслуговування системи.

Впровадження автоматизованої системи керування дозволило значно підвищити точність обробки деталей, скоротити час налаштування верстата, знизити витрати на енергоресурси та підвищити продуктивність. Це також сприяло зменшенню впливу людського фактора на результат роботи, що є важливим аспектом для досягнення високої якості продукції. Завдяки автоматизації, зменшено ризик помилок при виконанні операцій, а система стала більш стабільною і надійною.

У підсумку, результати роботи підтверджують, що використання ПЛК *Mitsubishi FX5U-32M* для автоматизації свердлильного верстату 2P135Ф2 є доцільним і ефективним рішенням для сучасного виробництва. Впровадження цієї системи дозволяє досягти високої ефективності, точності та надійності роботи обладнання, що позитивно впливає на загальну продуктивність і економічні показники підприємства. Дослідження демонструє важливість застосування сучасних технологій автоматизації для забезпечення високої конкурентоспроможності та покращення якості продукції на всіх етапах виробничого процесу.

Список використаних джерел

1. Кузнєцов А. Г., Шумілов А. В. Автоматизація технологічних процесів. Київ: Техніка, 2018. 256 с.
2. Мартиненко О. В. Сучасні технології автоматизації. Львів: Видавництво ЛНУ, 2019. 320 с.
3. Tully P. Robotics and Automation in the Manufacturing Industry. London: CRC Press, 2020. 412 p.
4. Шевченко О. В. Аспекти автоматизації обробки. Черкаси: ЧНУ, 2020., 180с.
5. Борисенко, О. О. Автоматизація: проблеми та рішення / О. О. Борисенко. — Харків: Видавництво ХНУ, 2022. — 200 с.
6. Грачов, Л. М. Конструкція та налагодження верстатів з програмним керуванням та роботизованих комплексів / Л. М. Грачов. — 1986. — 122 с.
7. Панов, Ф. С. Робота на верстатах з ЧПУ / Ф. С. Панов. — 1984. — 163 с
8. Верстат вертикально-свердильний з числовим програмним керуванням 2P135Ф2-1. Посібник з експлуатації 2P135Ф2-1.00.000 PE. — 1983.
9. Лоскутов Б. В. Свердильні та розточувальні верстати. Київ: Машинобудування, 1981. 350 с.
10. Тепінкічієв, В. К. Металорізальні верстати / В. К. Тепінкічієв. — 1973.
11. Іванов, Ю. М. Модульне проектування технології механічної обробки деталей на станках з ЧПУ / Ю. М. Іванов. — Львів: Вища школа, Вид-во при Львів. ун-ті, 1982. — 108 с.
12. Petruzella, F. D. Programmable Logic Controllers / F. D. Petruzella. — 5th ed. — New York: McGraw-Hill, 2016. — 672 p.
13. MELSEC iQ-F FX5U CPU Module Hardware Manual. — [електронний ресурс]. — Mitsubishi Electric Corporation, [б. д.]. — Режим доступу: <https://www.mitsubishielectric.com>, вільний.

14. Bryan, L. A., Bryan, E. A. Programmable Controllers: Theory and Implementation / L. A. Bryan, E. A. Bryan. — 2nd ed. — 1997. — 1035 p. — ISBN 0-944107-32-X.

15. Король, С. В. Програмовані логічні контролери / С. В. Король. — К.: НухТ, 2003. — 320 с.

Кваліфікаційна робота для здобуття
ступеню магістр на тему:

**«Автоматизація системи керування
свердлильного верстату з револьверною
головкою»**

Виконав: студент групи 6371мз
Мамедов Руслан Алімович
Керівник: к.т.н., Козлов А.Ю.

ДОДАТОК А
МУЛЬТИМЕДІЙНА ПРЕЗЕНТАЦІЯ

Мета: розробка та впровадження автоматизованої системи керування свердильним верстатом 2P135Ф2 з revolverною головкою.

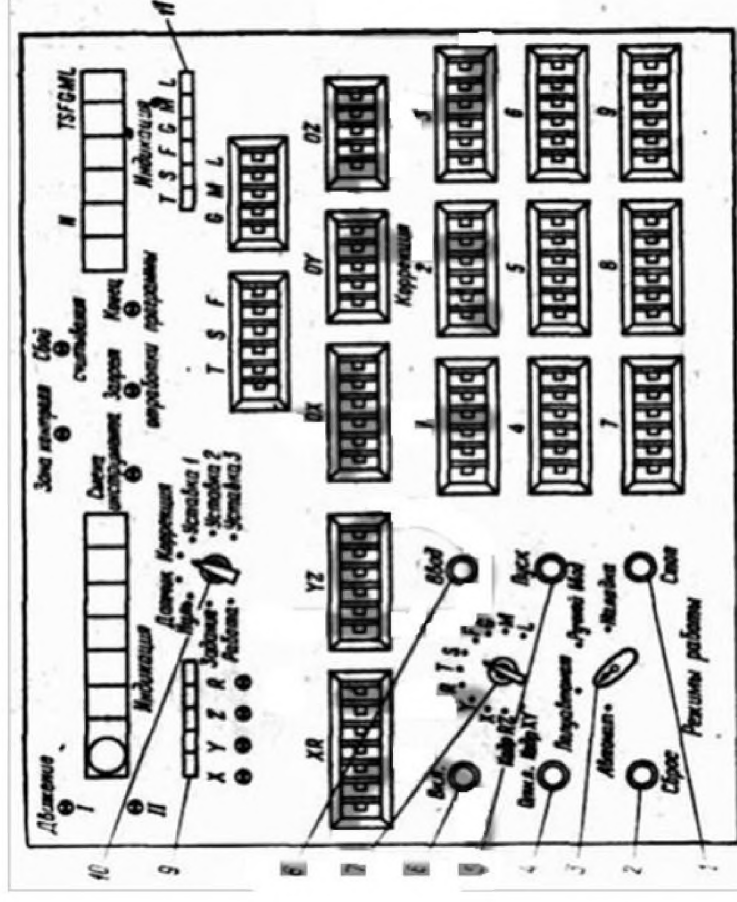
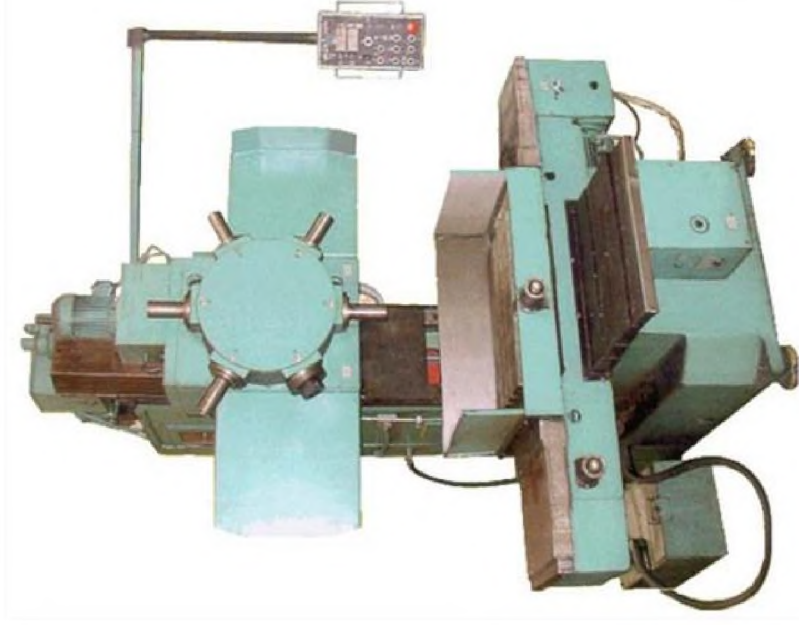
Об’єкт дослідження: свердильний верстат 2P135Ф2 з revolverною головкою, який використовується в металообробній промисловості для виконання різноманітних свердильних та обробних операцій на деталях.

Предмет дослідження: автоматизація системи керування свердильним верстатом 2P135Ф2, зокрема розробка та впровадження програмованого логічного контролера Mitsubishi FX5U-32M для ефективного керування процесами верстата, включаючи управління обертанням шпинделя, подачею інструменту, зміною положення revolverної головки та іншими технологічними параметрами.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

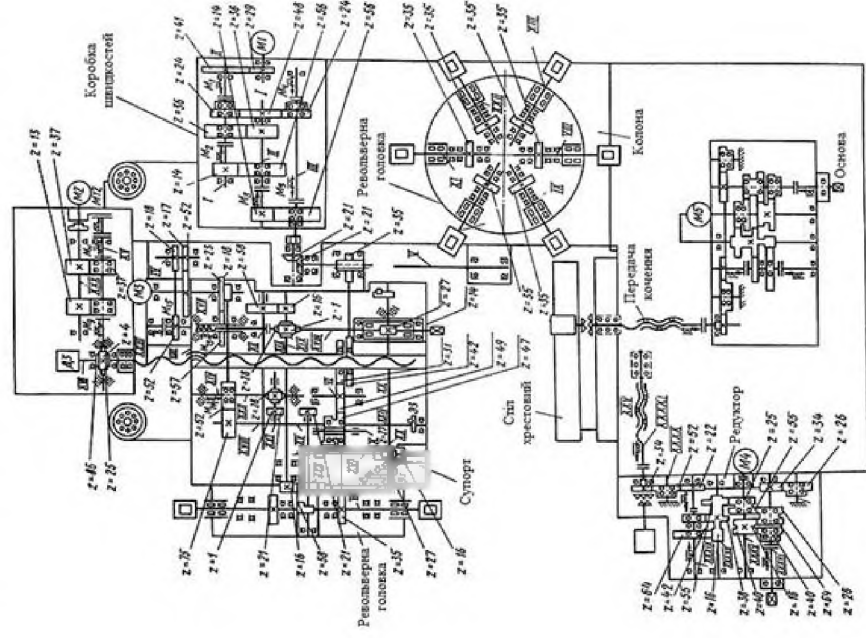
- вивчення особливостей свердильного верстата 2P135Ф2 та револьверної головки.
- обґрунтування використання ПЛК Mitsubishi FX5U-32M для автоматизації.
- створення алгоритмів роботи та функціональної схеми автоматизованої системи.
- написання програми для ПЛК та проведення її тестування.
- проведення тестування системи та оцінення її продуктивності та точності.

Свердлильный верстат 2Р135Ф2 з ЧПУ «Координата С70-3»



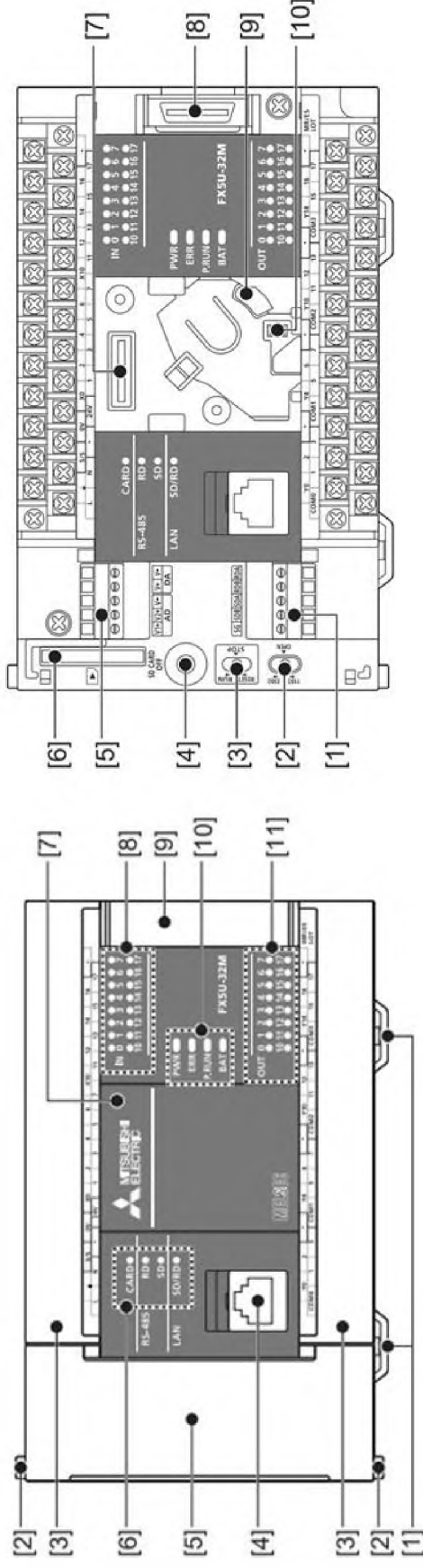
Слайд 4. Свердильный верстат 2Р135Ф2 з ЧПУ «Координата С70-3»

Кінематична схема свердильного верстату 2Р135Ф2



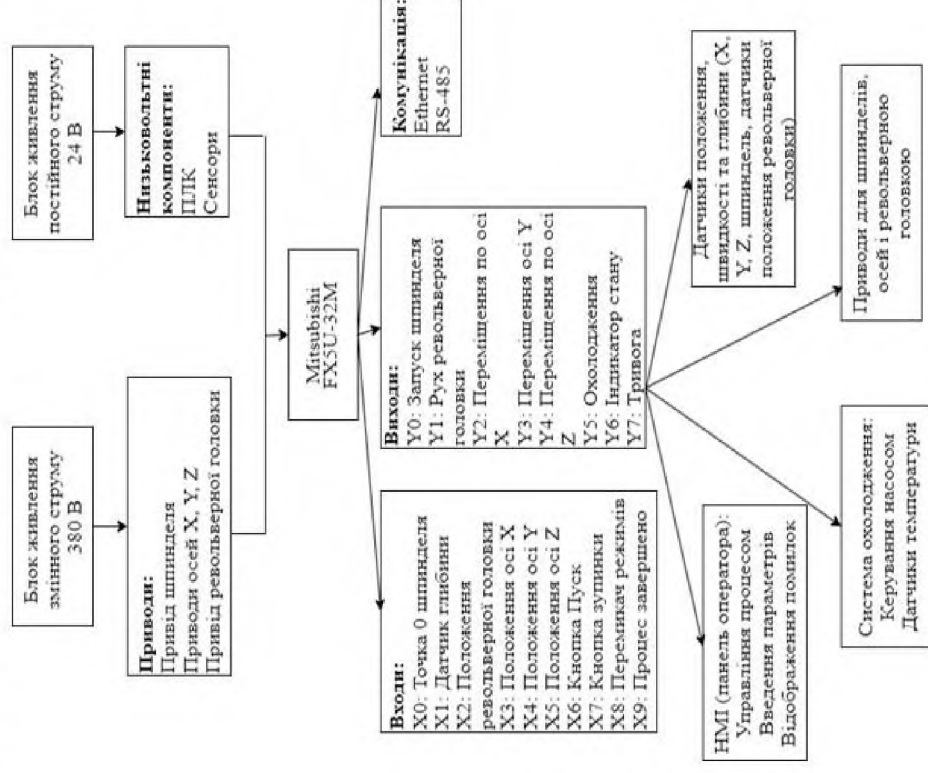
Слайд 5. Кінематична схема свердильного верстату 2Р135Ф2

Програмовано логічний контролер



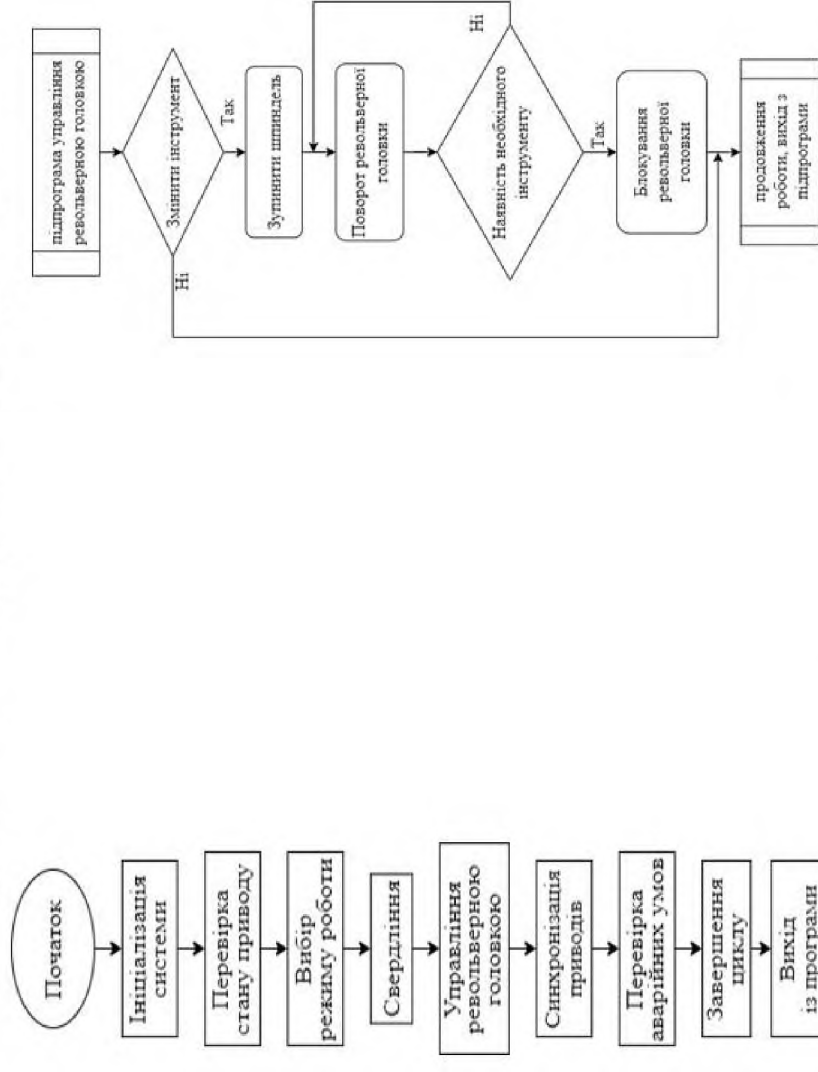
Слайд 6. Програмовано логічний контролер

Функціональна схема автоматизованої системи керування



Слайд 7. Функціональна схема автоматизованої системи керування

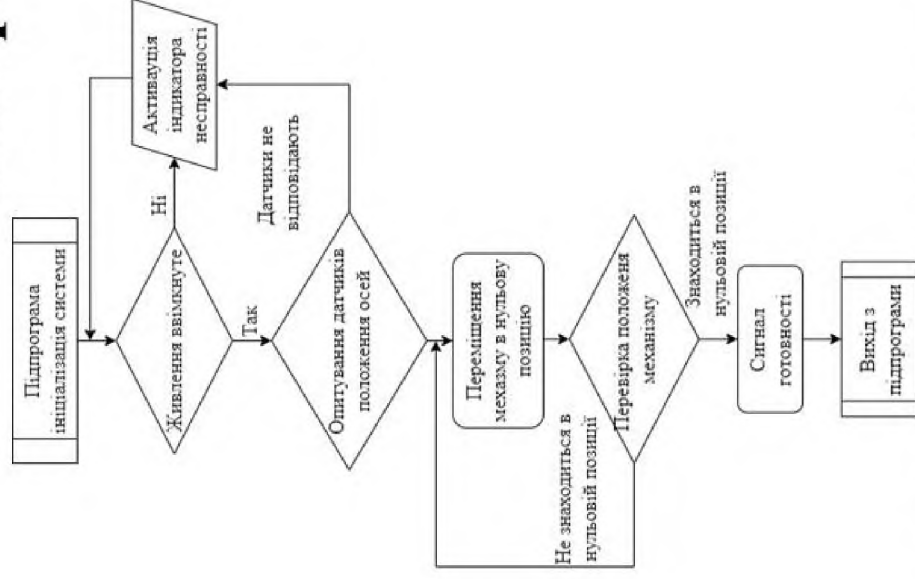
Алгоритми керуючої програми



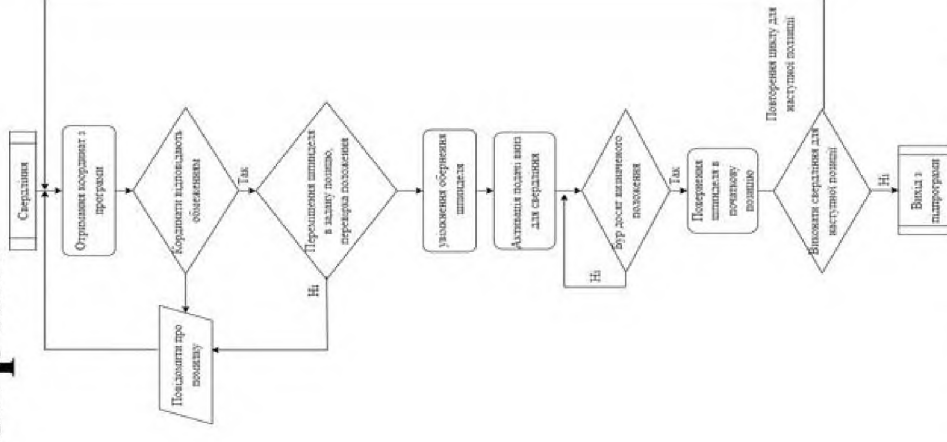
Основний алгоритм програми

Алгоритм підпрограми управління
револьверною головкою

Алгоритми підпрограми

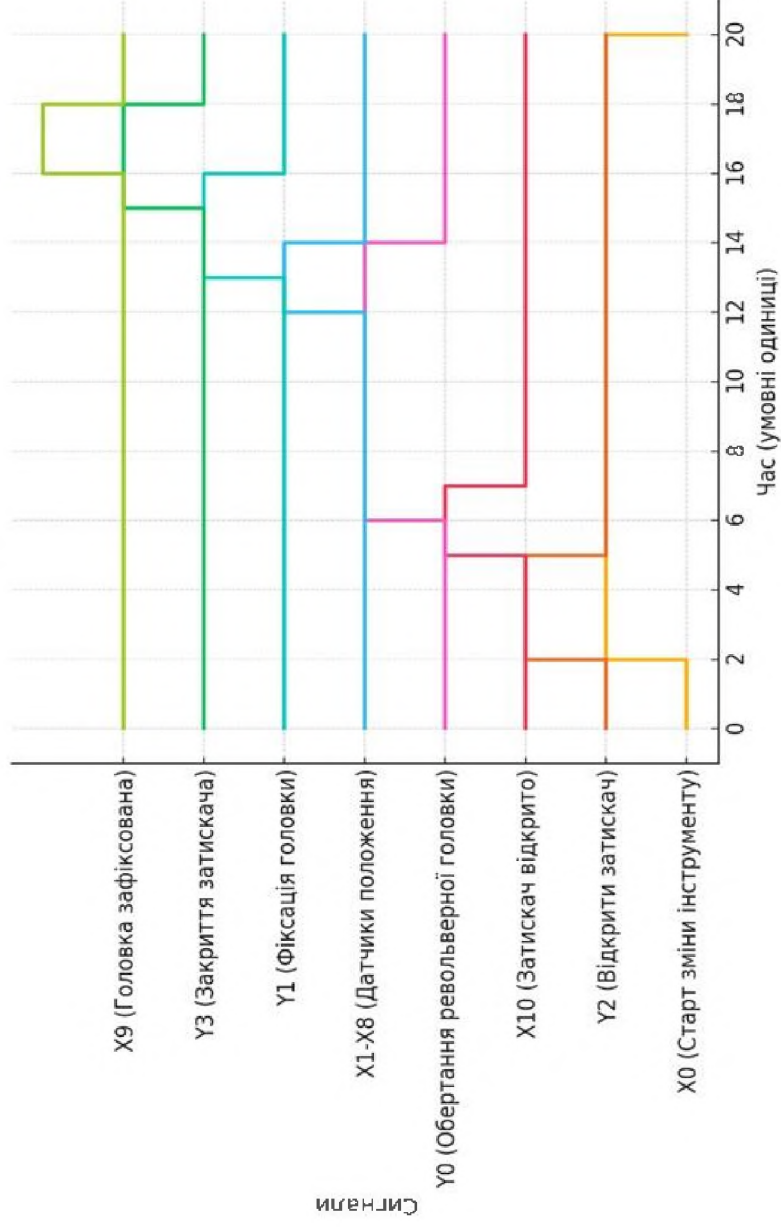


Алгоритм підпрограми ініціалізації системи



Алгоритм підпрограми сверління

Циклограма роботи свердильного верстату 2Р135Ф2 з револьверною головкою



Слайд 10. Циклограма роботи свердильного верстату 2Р135Ф2 з револьверною головкою

Висновки:

- розроблено та впроваджено автоматизовану систему керування свердильного верстата 2P135Ф2 із використанням ПЛК Mitsubishi FX5U-32M, що забезпечило високу точність обробки та стабільність процесів.
- розроблено функціональну схему та алгоритми управління, які оптимізують взаємодію між ПЛК, датчиками, приводами та виконавчими механізмами.
- написано програмний код на мові LD, який гарантує простоту налаштування та легкість у внесенні змін для адаптації до виробничих потреб.
- проведено тестування системи, що підтвердило її здатність забезпечувати безперервну та стабільну роботу верстата з мінімальним впливом людського фактора.