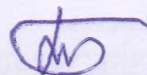


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

« 16 » 06 2025 р.

КЛАСИФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня бакалавра

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

освітня програма Електромеханіка та електроенергетика
(назва освітньої програми)

на тему: Модернізація системи керування токарного верстата з ЧПК за
допомогою ПЛК

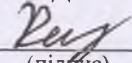
Виконав: студент IV курсу, групи 4371
Рудський Роман Русланович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник асистент каф. автоматики, к.т.н., Козлов А.Ю.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль доц. каф. автоматики, к.т.н., Васильєв О.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

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

Студент 
(підпис)

м. Миколаїв – 2025 р.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра _____ автоматики _____

Освітній ступінь _____ бакалавр _____

Галузь знань _____ 14 «Електрична інженерія» _____

(шифр і назва)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, к.т.н.

доцент

І.С. Білюк

«7» 02 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ**

гр.4371 Рудському Роману Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація системи керування токарного верстата з ЧПК за допомогою ПЛК»

керівник роботи Козлов Андрій Юрійович, PhD.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «23» квітня 2025 року
№ УЧ-343

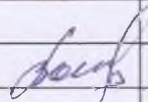
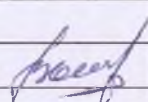
2. Строк подання студентом роботи 13 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи літературні матеріали з тематики автоматизованих виробничих процесів, технічні параметри токарних верстатів, літературні матеріали з характеристиками ПЛК, програмне забезпечення для автоматичного керування, методики розроблення алгоритмів програмування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Характеристика верстатів з ЧПК та обґрунтування вибору моделі токарного верстату, 2. Автоматизовані рішення для системи керування, 3. Впровадження автоматизованої системи, 4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1 Титульний аркуш. 2 Патронно-центровий верстат 6Б16Ф3 з ЧПК Н22-1М. 3 Програмований логічний контролер Siemens S7-1200. 4 Функціональна схема системи автоматичного керування. 5 Основний алгоритм програми. 6 Алгоритми підпрограми. 7. Алгоритми підпрограми. 8. Циклограма роботи патронно-центрового верстату 16Б16Ф3. 9. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

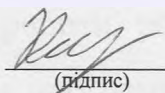
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васильєв О.Г., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 7 лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

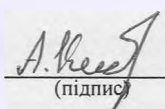
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика токарних верстатів з ЧПК	22.04.25	
2	Вибір токарного верстату	05.05.25	
3	Вибір ПЛК та процес налагодження та діагностики	14.05.25	
4	Створення алгоритмів програми та написання коду програми	22.05.25	
5	Охорона праці при роботі з токарними верстатами	09.06.25	

Студент


(підпис)

Рудський Р.Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Козлов А.Ю.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Мета роботи – метою дипломної роботи є розробка та впровадження модернізованої системи керування токарного патронно-центрового верстату з числовим програмним керуванням (ЧПК) типу 16Б16Ф3 з використанням програмованого логічного контролера Siemens S7-1200, з метою підвищення надійності, точності, гнучкості та ефективності керування технологічним процесом обробки деталей.

Об'єкт дослідження – токарний патронно-центровий верстат з числовим програмним керуванням типу 16Б16Ф3 як складова частина автоматизованого технологічного процесу.

Предмет дослідження – структура, принципи побудови та програмна реалізація модернізованої системи керування верстатом з ЧПК на базі програмованого логічного контролера Siemens S7-1200.

Ключові слова – токарний верстат; ЧПК; програмований логічний контролер; Siemens S7-1200; система автоматичного керування; модернізація; алгоритм керування; функціональна схема; автоматизація; обробка металів.

Сучасні умови виробництва вимагають високого рівня автоматизації, точності та надійності при обробці деталей на металообробному обладнанні. Багато підприємств продовжують експлуатувати токарні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), які морально та технічно застаріли, особливо у частині системи керування. Це призводить до зниження продуктивності, збільшення кількості відмов та ускладнення обслуговування обладнання.

Одним із ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є модернізація систем керування за допомогою сучасних програмованих логічних контролерів (ПЛК), таких як Siemens S7-1200. Використання ПЛК дозволяє спростити структуру керування, покращити надійність роботи, розширити функціональні можливості та забезпечити легкість оновлення програмного забезпечення.

Актуальність теми також зумовлена необхідністю інтеграції старого парку обладнання у сучасні автоматизовані виробничі системи з можливістю дистанційного моніторингу, збору даних та швидкої адаптації до змін у

виробничих процесах. Тому розробка та впровадження нової системи керування на базі ПЛК є важливим та своєчасним завданням, що сприяє розвитку технологій у галузі машинобудування та автоматизації.

ABSTRACT

Objective of the Work – The aim of this diploma project is the development and implementation of a modernized control system for the 16B16F3 type CNC (Computer Numerical Control) chuck-and-center lathe, utilizing a Siemens S7-1200 programmable logic controller (PLC). The goal is to improve the reliability, accuracy, flexibility, and efficiency of controlling the machining process.

Object of Study – The 16B16F3 type CNC chuck-and-center lathe as a component of an automated technological process.

Subject of Study – The structure, principles of design, and software implementation of the modernized CNC machine control system based on the Siemens S7-1200 programmable logic controller.

Keywords – lathe; CNC; programmable logic controller; Siemens S7-1200; automatic control system; modernization; control algorithm; functional diagram; automation; metal machining.

Modern production conditions require a high level of automation, precision, and reliability in the machining of parts on metalworking equipment. Many enterprises continue to operate CNC lathes that are morally and technically outdated, particularly in terms of their control systems. This leads to reduced productivity, an increased number of failures, and greater difficulty in equipment maintenance.

One of the effective ways to address this issue is to modernize control systems using modern programmable logic controllers (PLCs), such as the Siemens S7-1200. The use of PLCs enables simplification of the control structure, improved reliability, expanded functionality, and easier software updates.

The relevance of this topic is also driven by the necessity to integrate the aging equipment fleet into modern automated production systems, enabling remote monitoring, data collection, and quick adaptation to changes in production processes. Therefore, the development and implementation of a new PLC-based control system is a crucial and timely task that contributes to the advancement of technologies in mechanical engineering and automation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ТОКАРНІ ВЕРСТАТИ З ЧПК ТА ВИБІР МОДЕЛІ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	10
1.1. Аналіз літературних джерел	10
1.2. Конструктивні особливості токарного патронно-центрового верстата 16Б16Ф3 з ЧПК	12
1.3 Опис штатного ЧПК верстату	19
Висновки за розділом 1	25
РОЗДІЛ 2 АВТОМАТИЗОВАНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ...	26
2.1. Загальна інформація про роботу ПЛК	26
2.2. ПЛК <i>Siemens S7 1200</i> та його технічні характеристики.....	32
2.3 Процес діагностики та налагодження ПЛК <i>Siemens S7-1200</i>	38
Висновки за розділом 2	41
РОЗДІЛ 3 ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ	43
3.1. Функціональна схема системи автоматичного керування	43
3.2. Алгоритми управління патронно-центровим верстатом 16Б16Ф3.....	45
3.3. Код програми.....	57
Висновки за розділом 3	68
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	70
4.1. Основні положення охорони праці	70
4.2. Безпека праці під час виконання робіт на патронно-центрових верстатах	73
4.3. Безпека праці при обслуговуванні верстатів з ЧПК (ПЛК) і гнучких виробничих модулів (ГВМ)	77
4.4. Розрахунок нормування праці робітників багатOVERстатників.....	81
Висновки за розділом 4	83

ВИСНОВОК.....	85
Список використаних джерел	86
Додаток А. Мультимедійна презентація.....	87

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промисловості особливого значення набуває підвищення ефективності виробничих процесів за рахунок впровадження автоматизованих систем керування. Значна частина металообробного обладнання, що використовується на підприємствах, морально застаріла, особливо в частині системи числового програмного керування (ЧПК). Незважаючи на те, що механічна частина таких верстатів часто залишається працездатною, їх електроніка та система керування не відповідають сучасним вимогам щодо точності, гнучкості та надійності.

Одним із перспективних напрямів модернізації є заміна застарілих систем ЧПК на сучасні програмовані логічні контролери (ПЛК), які забезпечують розширені функціональні можливості, зручність налаштування, простоту обслуговування та високу надійність.

У цій роботі розглядається модернізація токарного патронно-центрового верстату 16Б16Ф3, який широко застосовується у промисловості для виконання токарних операцій. Запропоновано реалізацію нової системи керування на базі програмованого логічного контролера Siemens S7-1200, що дозволяє підвищити точність обробки, стабільність роботи обладнання, зменшити час обслуговування та розширити можливості автоматизації.

Актуальність обраної теми зумовлена необхідністю продовження експлуатаційного ресурсу верстатів, зниження витрат на закупівлю нового обладнання та забезпечення відповідності сучасним вимогам до автоматизованого виробництва. Дана дипломна робота спрямована на розробку ефективного технічного рішення з модернізації системи керування, що ґрунтується на сучасних підходах та засобах автоматизації.

РОЗДІЛ 1

ТОКАРНІ ВЕРСТАТИ З ЧПК ТА ВИБІР МОДЕЛІ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Аналіз літературних джерел

До токарних верстатів з програмним управлінням крім специфічних вимог, що пред'являються тільки до цих верстатів (управління форма творчими рухами), пред'являються також вимоги точності різних передач і максимальної автоматизації допоміжних рухів. Цими вимогами і зумовлені конструктивні особливості механізмів верстатів і застосування різних вузлів для установки і зміни ріжучого інструменту, що конструктивно відрізняються від вузлів того ж призначення у звичайних токарних верстатів [1].

Числове програмне керування ЧПК (КЧПК) дозволяють задати програму роботи верстата. В вигляді ряду чисел і букв, якими кодують технологічні команди та команди на переміщення робочих органів. Програма роботи верстата може бути записана в різних програмоносіях.

На перфострічках кожна технологічна команда або числова інформація кодується певною комбінацією отворів в одному або кількох рядках програмоносія. Для зчитування такої інформації зазвичай використовуються пристрої для зчитування з фотоелементами. Світло попадає через отвір на фотоелемент, внаслідок чого на його виході з'являється імпульс струму. Висока швидкодія фотоелектричного зчитувального пристрою дозволяє зчитувати інформацію під час руху програмоносія зі швидкістю до 1000 рядків на секунду.

Для подачі команди на зчитування в певний момент, коли місце пробивання отворів, що кодують, знаходиться над відповідними фотоелементами, служить синхронізуюча доріжка, в якій отвір пробивається в кожному рядку. Прочитані рядки одного кадру програми, що управляє, заносяться в запам'ятовуючий пристрій УЧПУ: команди, записані в кадрі, розшифровуються і виконуються робочими органами верстата. Відпрацьовуючи

керуючі команди одного кадру за іншим, верстат без участі робітника здійснює обробку заготовлі за програмою.

Пристрої ЧПК на базі мікроЕОМ дозволяють вводити програму та коригувати її, використовуючи клавіатуру на пульті керування верстатом. У пам'яті ЕОМ може зберігатися кілька програм, що полегшує переналагодження верстата.

Таким чином, верстат з ЧПК працює за напіваавтоматичним циклом. Після того як верстат налаштований на обробку заданої деталі, робітник тільки встановлює заготовки і знімає зі верстата оброблені деталі, а також спостерігає за роботою верстата, отриманням розмірів із заданою точністю і в разі необхідності підналаштовує інструмент за допомогою відповідного коректора [2].

Використання ЧПК у токарних верстатах пов'язані з високою вартістю обладнання та його обслуговування, складністю налаштування й потребою у кваліфікованих кадрах. Верстати з ЧПК чутливі до електронних збоїв, потребують точного програмування, а їх обслуговування може викликати труднощі при відсутності досвідченого персоналу.

Технологія ПЛК є сучасною системою керування, має широке застосування в електричному управлінні верстатами і сприяла розвитку верстатів з ЧПК. На сьогоднішній день технологія ПЛК головним чином використовується для електричного управління верстатами з ЧПК і має два способи реалізації: незалежний та вбудований. Незалежне застосування ПЛК широко розповсюджене, і вихідні дані технології ПЛК можуть допомогти користувачам. Воно забезпечує кращу продуктивність, а вибір найкращої вихідної технології ПЛК може гарантувати якісне електричне керування верстатами з ЧПК.

Вбудована технологія ПЛК поєднує ПЛК та NC-технологію, що дозволяє передавати сигнали, підтримувати швидкий обмін даними через внутрішню шину та покращувати масштабованість даних. Крім того, технологію ПЛК та NC можна використовувати окремо або через спільний доступ до ЦПІ для підвищення безпеки управління. Основною метою управління технологією є

досягнення ефективного керування процесом шляхом обміну цифровою інформацією та сучасного застосування технології.

Таким чином, застосування технології ПЛК в числовому керуванні верстатами дозволяє, використовуючи функцію обміну даними обладнання, завершити обмін даними між верстатами числового керування, числовими обробними машинами та ПЛК-системами для підвищення продуктивності та забезпечення максимально точного контролю електричного обладнання верстатів з ЧПК. Крім того, процес обміну даними не обмежується двома або більше вузлами, а також враховує характеристики обміну даними між ЧПК-обробкою та верстатами з ЧПК.

Застосування ПЛК може підвищити рівень автоматичного керування верстатами та реалізувати ефективний контроль кожної ланки у виробничому процесі верстатів з ЧПК, наприклад програму старт-стоп, автоматичну заміну ріжучих інструментів у процесі виробництва, автоматичну діагностику та лікування різних несправностей у виробничому процесі, що можна реалізувати за допомогою технології ПЛК [3].

1.2. Конструктивні особливості токарного патронно-центрового верстата 16Б16Ф3 з ЧПК

Патронно-центровий верстат 16Б16Ф3 (рис. 1.2) служить для механічної обробки поверхонь обертання. Він може бути використаний і для нарізування циліндричних і конічних різьблень, а також архімедових спіралей. Спроекований на базі токарно-центрового верстата мод. 16Б16П з урахуванням стикування його із системою ЧПК.

Клас точності верстата – Н за ГОСТ 8-77.

Несуча частина з поперечними U-подібними ребрами жорсткості встановлена на порожнисту основу. Супорт рухається по двох загартованих напрямках в станині, а ще дві направляючі використовуються для переміщення задньої бабки. Привід руху утворюється з асинхронного двигуна А02-52-8/4 (табл. 1.1) і автоматичної коробки швидкостей АКП 209-6,3 (табл. 1.2)

Враховуючи конструкцію шпинделя (рис.1.1), встановлений у передній бабці, привод забезпечує 17 різних рівнів частоти обертання шпинделя. Автоматичне перемикання частоти обертання шпинделя може бути досягнуто в двох діапазонах шляхом безпосереднього перемикання шпинделя або шляхом визначення її через пошук [4].

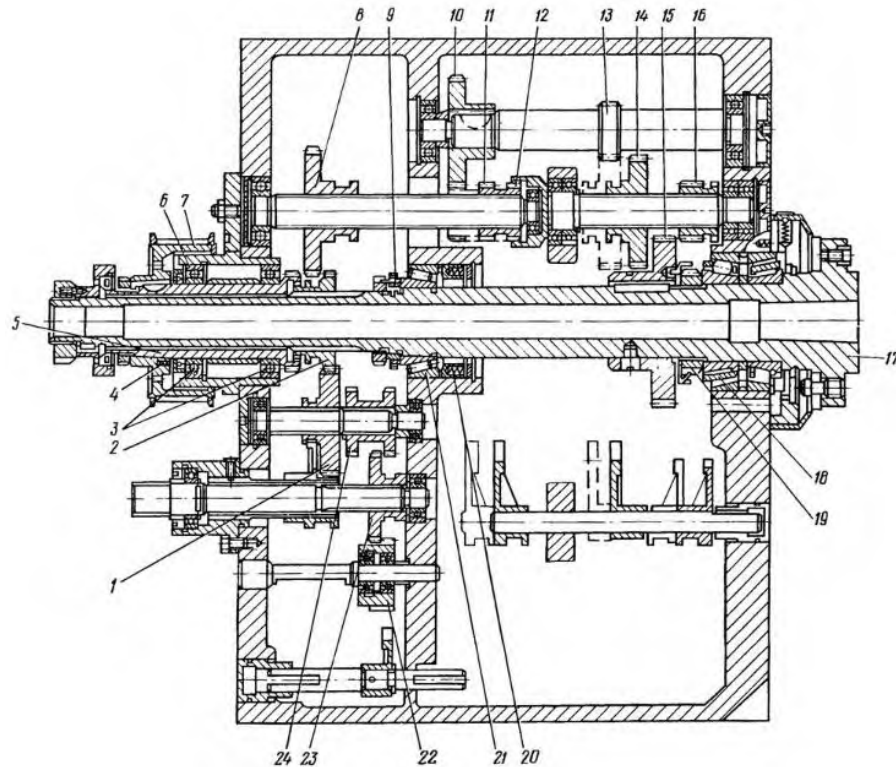


Рисунок 1.1 – шпиндельна бабка

Конструкція передньої бабки починає рух від коробки передач через зубчастий ремінь та ненавантажений приймальний шків 7 з ущільненням 4.

Шків 7 встановлений на конусі муфти-шестерні 5, яка обертається на двох радіально-упорних підшипниках 3, розташованих у корпусі 6.

Компенсація осьового люфту в підшипниках здійснюється пружиною 4.

Шпиндель верстата отримує 12 швидкостей обертання безпосередньо від приймального шківа через муфту-шестерню 5; 12 швидкостей із передаточним відношенням 1:4 через зубчасті колеса 5, 8, 16, 15; 12 швидкостей із передаточним відношенням 1:16 через зубчасті колеса 5, 8, 11, 10, 13, 14, 16, 15.

Включення передаточних груп, зубчастої муфти-шестерні 12 або відключення шпинделя для поділу на заходи при нарізанні різьби здійснюється рукояткою 9 через механізм важелів, під керуванням кулачків.

Надійна фіксація осі рукоятки 9 від провороту у робочому положенні забезпечується пружинним кулькою, розташованою у стакані на задній стінці рами шпиндельної бабки.

Шпиндель 17 верстата обертається на двох конічних роликотідшипниках 18 і 21.

Компенсація радіального зазору в підшипниках здійснюється пружинами 20.

Шпиндель верстата, що має фланцевий передній кінець, виготовлений відповідно до ГОСТ 12593-72, забезпечує швидку зміну планшайби та її надійне кріплення [5].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики електродвигуна А02-52-8/4

Параметр	Значення
Модель	А02-52-8/4
Потужність, кВт	5,5
Тип електродвигуна	Асинхронний, змінного струму
Частота обертання на валу, об/хв	750
Напруга, В	380
Номінальний струм, А	13,68
Кількість фаз	3
ККД, %	85
Кратність пускового моменту, M_p/M_n	1
Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	0,72
Кратність макс. моменту, M_{max}/M_n	1,7
Обертовий момент, Н*м	70,03
Тип ротора	Короткозамкнений

Станок обладнений датчиком обробки різьби, який встановлюється на лівій частині торця передній бабки.

Чотириваріантний різцетримач зібраний на поперечній повзушці, в передній її частині. У автоматичному машинному циклі роботи верстата він

керується програмою і забезпечує послідовний вихід з послідовною передачею кожного з чотирьох механізмів у вихідний робочій стан. Обертання та затискач різцетримача реалізується гідроциліндром, встановленим до поперечної повзушки. Механізми монтуються в обладненні блоки, у яких установча базова поверхня [4].

Електрогідравлічний кроковий механізм подач, укомплектований кульковими гвинтовими парами. Привод поздовжніх переміщень має у наявності понижувальну зубчасту передачу, а люфт у зачепленні виключається за принципом приближення осей шестерень.

Вприводі поперечних переміщень як понижувальна передача використовується черв'ячна пара з колесом розрізання для зменшення люфту зачеплення.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики автоматичної коробки передач АКП 209-6,3

Параметр	Значення
Момент на вихідному валу, Н*м	138
Частота обертання на валу, об/хв	1600
Межі частот обертання, об/хв	400...2500
Кількість прямих передач на валу	9
Кількість зворотних передач	нема
Направлення обертання вхідного вала	любє
Коефіцієнт частот обертання	1,26
Потужність електродвигуна, кВт	7,1
Час розгону, с	2,5
Час гальмування, с	2,0
Напруга ланцюгів живлення муфт, В	24
Тип насоса мастила	С12-43
Маса АКП, кг	140

На подовженій поперечній повзушці встановлюється чотирьохпозиційна різцева головка переднього розташування, яка має гідравлічний привод для повороту та затиску.

Гайка за принципом кулькової пари поздовжніх переміщень встановлюється в кронштейні-фартуху, який кріпиться з переду каретки. Гвинт має захист щитком та оболонкою з гофри.

Здвоєний насос, що надає обертання першому валу автоматичної коробки передач, здійснює централізоване змащування АКП, привода поздовжніх подач, шпиндельної бабки, кулькових пар кочення та напрямних супорта.

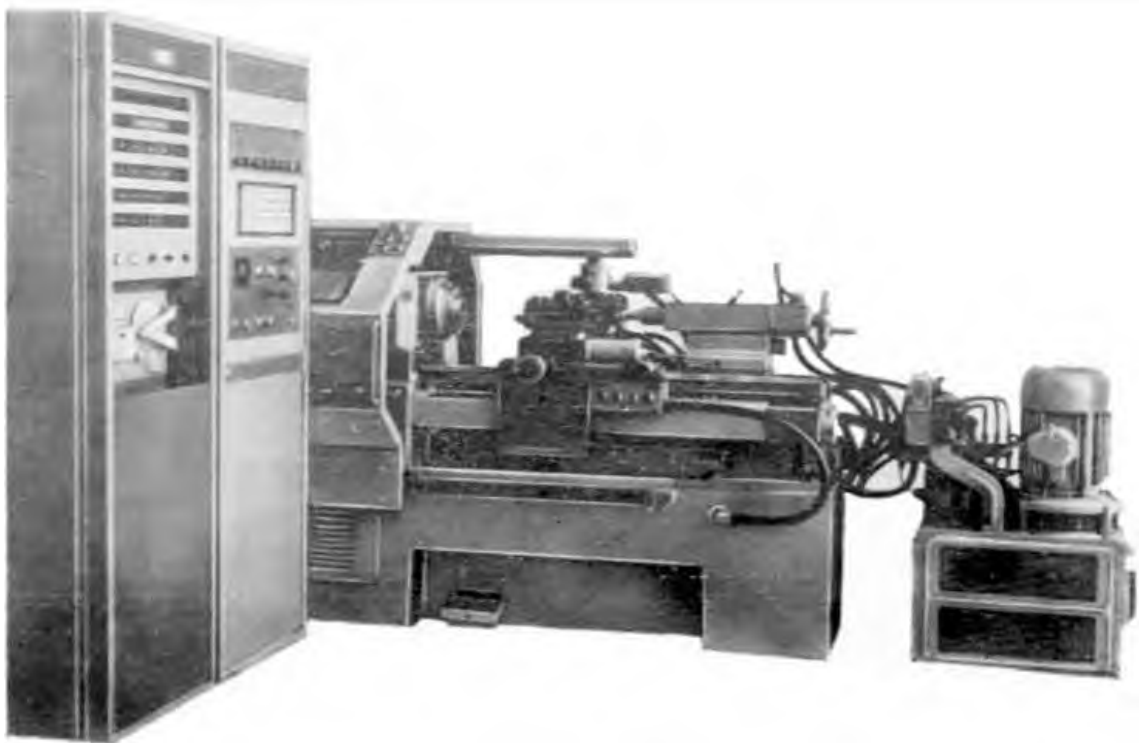


Рисунок 1.2 – Патронно-центровий верстат 16Б16Ф3 з ЧПК Н22-1М

Верстат оснащений гідрифікованою задньою бабкою (рис. 1.3) з ручним крановим золотником, а за окрему плату може бути укомплектований гідроциліндром затиску деталі з ножним керуванням.

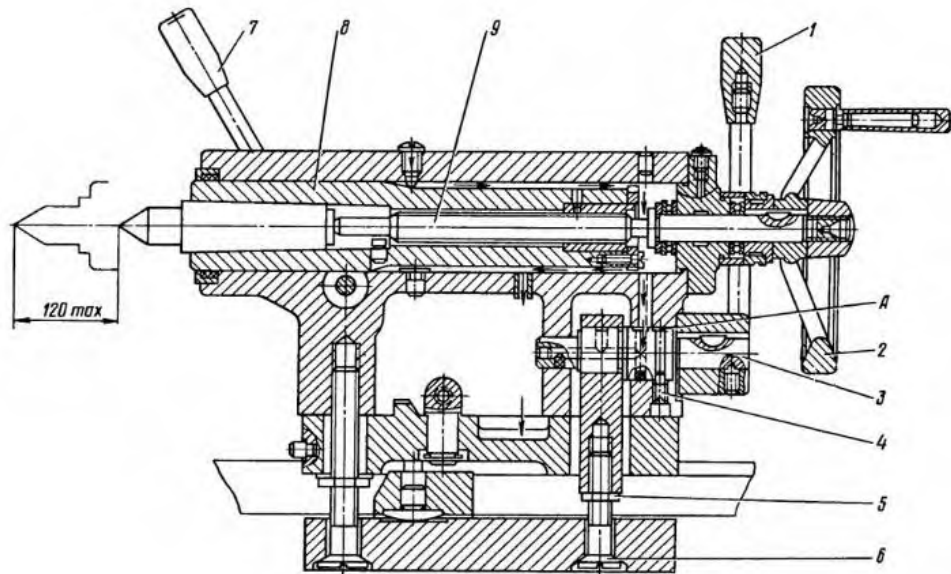


Рисунок 1.3 – Задня бабка

Бабка встановлюється до несучої частини через систему важельну систему та ексцентрик рукояткою 1.

За необхідності поперечне зміщення корпусу здійснюється гвинтами 10, 12 у віджатому положенні затиску рукоятки І.

Контроль правильного положення корпусу задньої бабки проводиться грубо за пригашеними при складанні місцями та точно за оправкою, затиснутою в центрах верстата.

При цьому відхилення осі обертання шпинделя та осі отвору пінолі в горизонтальній площині не повинно перевищувати 0,01 мм.

Плоский кінець гвинта 4 ковзає у фіксуючому пазу ексцентрика 3. Щоб викрутити гвинт 4 для демонтажу ексцентрика 3, необхідно сумістити цековку А з гвинтом 4.

Затиск пінолі 8 здійснюється рукояткою 7 [5].

Охолоджувальна рідина з резервуара, розташованого в правій частині тумби, подається до швидкозмінних блоків різцетримача у робочій позиції.

Робоче місце захищене від стружки та охолоджувальної рідини пристроєм із прозорим екраном.

Освітлення – люмінесцентне.

Конструкція верстата дозволяє проводити обробку зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання деталей при їх установці як в центрах, так і в патроні. Межі

застосування верстата 16Б16Ф3 при патронній та центровій обробці практично рівнозначні (табл. 1.3) Застосування тільки чотирьох інструментів, які монтуються в передній резцеутримувач, трохи зменшує можливості механічної обробки верстата. Верстат має ЧПК типу ЕМ-907; який використовує код ІСО-7біт на восьмидорожній перфострічці [4].

Таблиця 1.3 – Основі технічні характеристики верстату 16Б16Ф3

Параметр	Значення
Найбільший діаметр виробу, що обробляється, мм:	
над станиною	320
над супортом	160
Найбільша довжина виробу, що обробляється, мм	710
Висота різця, що встановлюється у різцетримачі, мм	25
Найбільший хід каретки, мм	700
Перехідний кінець шпинделя по ГОСТ 12593-72	6К
Кількість швидкостей шпинделя	17
Частота обертання шпинделя, об/хв	45-1800
Частота обертання шпинделя (керована за програмою), об/хв	45-560; 140-1800
Переміщення супорту на один імпульс, мм:	
продольна	0,01
поперечна	0,005
Подача супорта, мм/хв:	
продольна	1-1200
поперечна	1-600
Прискорена подача супорта, мм/хв:	
продольна	4800
поперечна	2400
Крок нарізання різьблення, мм	0,2-10
Живильна електромережа, струм	Змінний, трифазний

Напруга, В	380
Частота струму, Гц	50
Тип автомата на введенні	АК63-3М
Номинальний струм розчіплювачів вступного автомата, А	63
Електродвигун головного руху	А02-52-8/4
потужність, кВт	5,5
частота обертання	750
Габарити верстата, мм	3285×3140×1860
Маса верстата, кг	2250

1.3 Опис штатного ЧПК верстату

Н22-1М, є одним з перших СЧПК третього покоління, яка побудована на інтегральних схемах типу «Логіка 2». Вона призначена для найбільш масових токарних, фрезерних та свердлильних верстатів зі зміною інструменту (табл. 1.4) При видачі технічного завдання та розробки СЧПК особлива увага приділяється зниженню габаритних розмірів і вартості СЧПК і у зв'язку з цим розумному обмеженню технологічних можливостей.

Н22-1М призначена для оснащення токарних верстатів зі зміною інструмента. Передбачена можливість введення програми в приростах і абсолютних координатах [6].

Режими роботи верстата задаються перемикачем на пульті оператора ЧПУ (рис. 1.4). Основні положення:

- «Автомат» – робота за програмою з перфоленти.
- «Пошук кадру» – автоматичний пошук потрібного кадру.
- «Прискорене відпрацювання» – виконання програми на максимальній подачі.
- «Перевірка стрічки» – аналіз програми без її виконання на верстаті.
- «Ручне введення» – ручне введення одного кадру.

- «Ручне управління» – переміщення по координатах вручну.
- «Повернення в „0”» – встановлення органів верстата в нульову точку.
- «Скидання» – початкова установка пристрою.

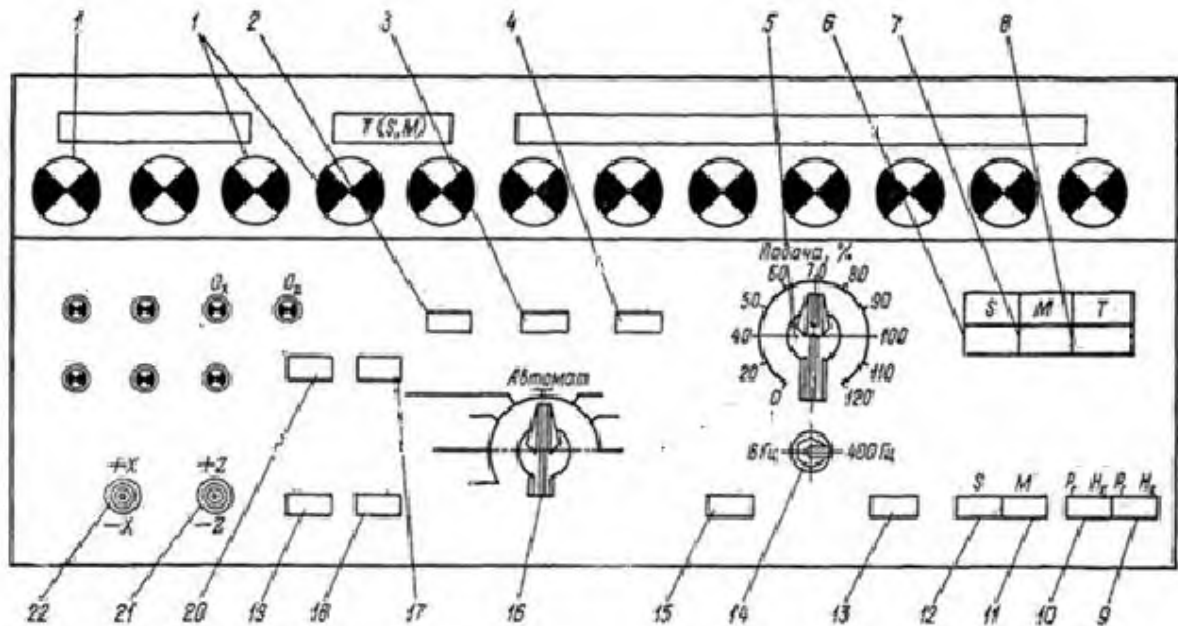


Рисунок 1.4 – Пульт оператора ЧПК Н22-1М токарного верстата 16Б16Ф3

Таблиця 1.4 – Позначення та призначення пульта оператора ЧПК Н22-1М

№	Позначення на пульта оператора ЧПК
1	Цифровий індикатор
2	кнопка «Перепустка кадру»
3	кнопка «Технологічна зупинка»
4	кнопка «Кінець кадру»
5	перемикач «Подання»
6	табло «Збій введення»
7	табло «Збій ЧПК»
8	табло «Збій верстата»
9	регістр накопичення “ P_rH_z ”
10	регістр накопичення “ P_rH_x ”
11,12	кнопки «перевірки кодів частоти обертання та допоміжних функцій»
13	кнопка «Стоп подачі»
14	тумблер величини переміщення

15	кнопка «Пуск»
16	перемикач «Автомат»
17	кнопка «Логіка»
18	кнопка «Шаг»
19	кнопка «Швидкий хід»
20	кнопка «Привод»
21	Тумблер “+Z”/“-Z”
22	Тумблер “+X”/“-X”

Живлення КЧПК вмикається кнопкою «Увімк.-вимк. мережу», після чого встановлюється режим роботи. При ввімкненні живлення пристрій автоматично переходить у вихідний стан, а за потреби — через режим «Скидання» (кнопки 17 «Логіка» і 20 «Привід»).

У режимі «Ручне управління» рух органів верстата задається з пульта оператора або верстата, напрямок — тумблерами 21 і 22. Швидкість переміщення визначається тумблером 14 (6–400 Гц) і кнопкою 19 «Швидкий хід». Переміщення на один крок задається кнопкою 18 «Крок» при активній кнопці 13 «Стоп подачі».

Режим «Ручне введення» дозволяє поадресне введення програми без перфострічки. На пульті корекції обирається адреса (наприклад, G), вводиться значення і підтверджується кнопкою «Введення», а потім — «Пуск» на пульті оператора. Вся програма вводиться покадрово.

Введення зміщеного нуля виконується в три кроки:

- а) введення $G27 \rightarrow$ «Введення» $\rightarrow$ «Пуск»;
- б) введення $G58$ і перевірка індикаторів зміщення Ox та Oz ;
- в) введення нульових координат по X і Z та швидкості за адресою $F \rightarrow$ «Пуск».

Для роботи з перфострічкою перемикач режимів ставиться в положення «Автомат». Є два підрежими: безперервне зчитування до кінця програми або

покадрове зчитування з відпрацюванням. Для запуску — активується ФСУ-2, вставляється перфострічка, виконується скидання, потім — «Автомат» і «Пуск».

Корекція зміщення та подачі здійснюється через пульт корекції та перемикач 5 «Подача, %» (0–120%).

Під час роботи можна призупинити програму кнопкою «Технологічна зупинка», пропустити кадр кнопкою 2 або покадрово керувати виконанням за допомогою кнопки 4 «Кінець кадру» та кнопки «Пуск».

Для пошуку потрібного кадру перемикач ставиться в режим «Пошук кадру». Перфострічка встановлюється на початок або будь-яке місце. На пульті корекції вводиться номер кадру, після чого натискається «Пуск». Пристрій автоматично зчитує стрічку до заданого кадру, не виконуючи переміщень, лише виводячи інформацію на індикатори.

Для перевірки програми без обробки заготовки використовується режим «Прискор. відпрацювання» — усі переміщення виконуються на максимальній подачі.

При сигналі «Збій УВ» вмикається режим «Перевірка стрічки» → натискається «Пуск» → зупинка пристрою і сигналізація збоєм (ЧПУ або введення).

Для повернення в нульову точку активується режим «Повернення в "0"», далі — тумблер у «+X» або «+Z» і подається команда руху. При досягненні "0" спалахує відповідна лампа.

У режимі «Ручне керування» всі інші режими з пульта оператора блокуються, крім «Скидання». Кнопками 11 і 12 перевіряються коди обертів шпинделя та допоміжні функції.

Корекція положення інструменту (рис. 1.5) компенсує похибки обробки та установлення. Після пробної обробки деталь вимірюється, а відхилення перераховуються в імпульси: для осі Z — через 0,01 мм, для X — через 0,005 мм (діаметральне відхилення ділиться навпіл).

Наприклад: $-0,20$ мм по Z = 20 імпульсів; $+0,32$ мм по Ø = 32 імпульси. Значення вводяться на пульті корекції через декадні перемикачі з урахуванням знаку, напрямку осі та номера коректора. Діапазон корекції: від -9999 до $+9999$.

Корекція може бути одноосева або парна, а програма має містити команду з адресою L, де старший розряд — тип корекції (1 – X, 2 – Z, 3 – X+Z), молодший — номер коректора (1–9), а в старшому тип корекції, який кодується цифрами 1, 2 або 3 (цифра 1 відповідає одиночній корекції по осі X; 2 – одиночній корекції по осі Z; 3 - парної корекції по осях X та Z). Наприклад, якщо у програмі записані команди L13, L29, L37, то вони означають наступне: L13 - корект по осі X, номер коректора - 3; L29 - корекція по осі Z, номер коректора - 9; L37 - парна корекція, номер коректора - 7.

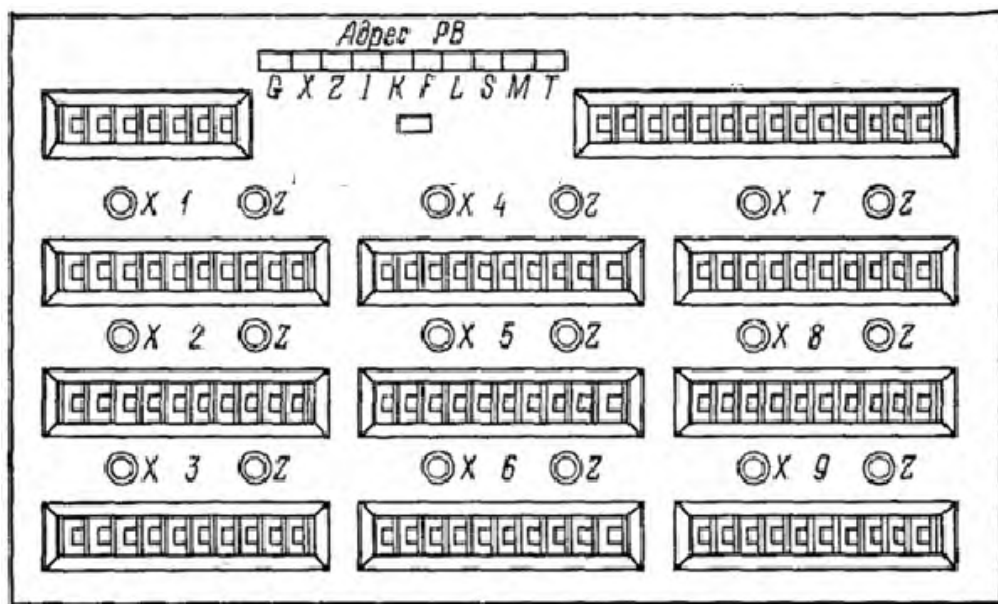


Рисунок 1.5 – Пульт корекції ЧПУ H22-1М токарного станка 16Б16Ф3

Величини корекції з перемикачів алгебраїчно додаються до координат кадру з командою L. Корекція можлива лише при лінійній інтерполяції (G01, G10, G11). Для скасування використовується функція G40. У відносній системі координат корекція вводиться зі зворотними знаками, в абсолютній — блокується.

Порядок введення: встановити режим «Ручне введення», вибрати адресу (X або Z), задати значення з потрібним знаком на декадних перемикачах, натиснути «Введення» на пульті корекції та «Пуск» на пульті оператора. Активність коректора підтверджується сигналом лампочки.

На теперішній час система числового програмного керування H22-1М вважається морально і технічно застарілою, хоча ще використовується на деяких

підприємствах та в освітніх установах. Вона має низку суттєвих недоліків, які обмежують її ефективність у сучасному виробництві. Зокрема, її продуктивність і швидкодія є низькими через застарілу процесорну базу, що не дозволяє обробляти великі обсяги даних або виконувати точні складні траєкторії. Функціональні можливості обмежені: підтримуються лише базові типи інтерполяції, а складна логіка, 3D-обробка чи адаптивне керування — недоступні.

Програмування системи складне й незручне: введення команд здійснюється вручну або з перфострічки, що підвищує ризик помилок та ускладнює корекцію. Інтерфейс користувача примітивний — без графічного дисплея та з мінімальною індикацією, що ускладнює налагодження й роботу. Також система чутлива до збоїв: часто виникають зупинки через несправності у зчитуванні стрічки або помилки в структурі кадру, а можливості самодіагностики дуже обмежені.

Окремо варто зазначити застарілу елементну базу — система побудована на реле, лампах і мікросхемах минулих поколінь, що ускладнює обслуговування і ремонт, а також створює проблеми з пошуком запчастин. Корекція положення інструменту здійснюється вручну через декадні перемикачі, що не дозволяє швидко вносити зміни до програми. Нарешті, ергономіка та безпека експлуатації не відповідають сучасним вимогам: система не має засобів автоматичного захисту та гнучкої адаптації до змін у виробничому процесі.

Таблиця 1.5 – Характеристика числового програмного управління ЧПК Н22-1М

Значення	Параметр
Тип	Н22-1М
Число керованих координат, всього/тимчасово	2/2
Роздільна здатність системи за координатами, мм:	
поздовжній	0,05
поперечної	0,001
Найбільше програмоване переміщення, імпульс	999,999
Система відліку	у приростах

Тип різьбонарізного датчика	ІГР
Кодування	ІСО

Висновки за розділом 1

У результаті аналізу літературних джерел було встановлено, що токарні верстати, які використовують числове програмне керуванням (ЧПК) мають принципові відмінності у конструкції та функціонуванні порівняно зі звичайними верстатами. Основними перевагами є автоматизація основних і допоміжних рухів, точність, можливість програмного налаштування та використання сучасних систем введення й контролю.

Особливу увагу в сучасних верстатах приділяють застосуванню програмованих логічних контролерів (ПЛК), які значно підвищують гнучкість, точність та ефективність керування, а також забезпечують високий рівень діагностики та безпеки процесу обробки.

Детально розглянуто конструкцію токарного верстата 16Б16Ф3, який є патронно-центровим і оснащений числовим керуванням типу Н22-1М. Верстат має сучасну на момент розробки систему кінематичних ланцюгів, приводи з автоматичним перемиканням швидкостей, гідравлічні системи управління інструментом, що дозволяють виконувати широкий спектр оброблюваних операцій.

Система ЧПК Н22-1М, на якій працює верстат, є прикладом третього покоління радянських керуючих пристроїв, побудованих на логічних інтегральних схемах. Попри свої історичні переваги, на сучасному етапі вона має ряд суттєвих обмежень: низька продуктивність, складність програмування, відсутність підтримки сучасних функцій (наприклад, адаптивного керування чи 3D-інтерполяції), примітивний інтерфейс користувача, а також відсутність цифрових систем діагностики.

РОЗДІЛ 2

АВТОМАТИЗОВАНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1. Загальна інформація про роботу ПЛК

Більшість споживчих товарів, від продуктів харчування до мобільних телефонів, виробляються на виробничому об'єкті, відправляються через канал дистрибуції та доставляються до роздрібного продавця або безпосередньо до ваших дверей за допомогою автоматизації. Процес виключення людського фактору з цього процесу не є новою концепцією. Машини здатні виробляти більше, мають вищий рівень допуску та вищий рівень якості виконання, коли йдеться про повторне виробництво. Таким чином, існує постійне прагнення автоматизувати кожен етап виробничого процесу.

У кожному сегменті автоматизації використовуються різні системи. Однак вони мають багато спільних цілей: висока надійність, висока повторюваність, а також простота розгортання та обслуговування. Виходячи з цих принципів та попиту виробничого сегмента, у минулому столітті були створені програмовані логічні контролери (ПЛК) [9].

Програмовані логічні контролери (рис. 2.4) часто визначаються як мініатюрні промислові комп'ютери, які містять апаратне та програмне забезпечення, що використовується для виконання функцій керування. Точніше, використовуються ПЛК для автоматизації промислових електромеханічних процесів, таких як управління машинами на заводі конвеєрів, атракціонів або харчової промисловості. Вони призначені для багаторазового розташування цифрові та аналогові входи та виходи з розширеними температурними діапазонами, стійкість до електричних перешкод і стійкість до вібрації і ударів. ПЛК складається з двох основних секцій: центрального процесора (ЦП) і системи інтерфейсу введення/виведення (В/В) [7].

Зазвичай система ПЛК (рис. 2.1) має основні функціональні компоненти процесора блок пам'яті, блок живлення, розділ інтерфейсу вводу/виводу, комунікаційний інтерфейс і пристрій програмування.

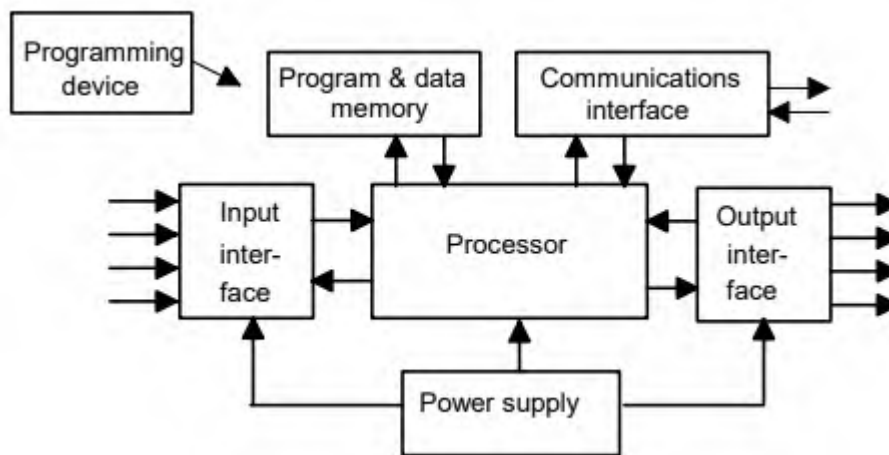


Рисунок 2.1 – Система ПЛК

Блок процесора або центральний процесор (ЦП) є блоком, що містить мікропроцесор, який інтерпретує вхідні сигнали та виконує керуючі дії відповідно до програми, збереженої в його пам'яті, повідомляючи рішення у вигляді керованих сигналів на виходи.

Блок живлення необхідний для перетворення мережі змінного струму до низької постійної напруги (5 В), яка необхідна для процесора і схем в модулях інтерфейсу введення та виведення.

Пристрій програмування використовується для введення необхідної програми у пам'ять процесора. Програма розроблюється у цьому пристрої а потім передається в блок пам'яті ПЛК.

Блок пам'яті – це місце, де зберігається програма, для якої потрібно використовувати керуючі дії, які будуть здійснюватися мікропроцесором, дані які надходять з входів та дані що перетворюються на виході для виведення.

Секції введення та виведення - це місце, де процесор приймає інформацію із зовнішніх пристроїв і передає інформацію на інші пристрої. Таким чином, вхідні сигнали можуть бути від перемикачів, (рис.2.2а) з автоматичним свердлом або іншими датчиками наприклад, фотоелементи, як у механізмі лічильника (рис 2.2б), датчики температури або датчики потоку тощо. Вихідні сигнали можуть подаватися для котушок стартера двигуна, електромагнітних клапанів тощо. Пристрої введення та виведення можна класифікувати за типом сигналів, які є дискретними, цифровими або аналоговими (рис.2.2). Пристрої, що подають дискретні або цифрові сигнали, це ті, де сигнали вимкнені або увімкнені. Таким

чином, перемикач - це пристрій, що забезпечує а дискретний сигнал, який показує наявність напруги, або її відсутність. Цифрові пристрої можна вважати по суті дискретними пристроями, які передають послідовність сигналів включення-вимкнення. Аналогові пристрої видають сигнали, розмір яких є пропорційним розміру змінної, що контролюється. Наприклад, датчик температури може давати напругу, пропорційну температурі.

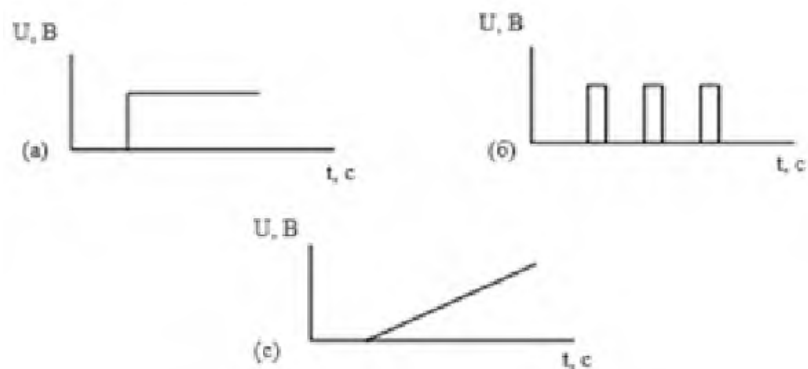


Рисунок 2.2 – Сигнали: (а) дискретний; (б) цифровий; (с) аналоговий

Інтерфейс зв'язку використовується для отримання та передачі даних у мережах зв'язку від або до інших віддалених ПЛК (рис. 2.3). Це стосується таких дій, як перевірка пристрою, даних отримання, синхронізація між програмами користувача та управління підключенням [11].

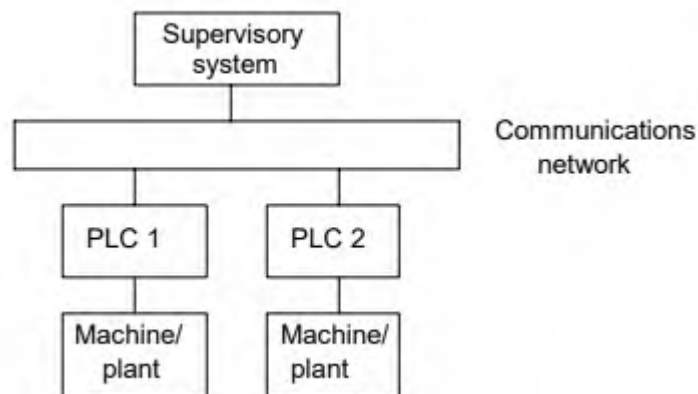


Рисунок 2.3 – Базова комунікаційна модель

ПЛК починалися як заміна провідним релейним системам керування. Сьогодні ПЛК – це контролер вибору для переважної більшості автоматизованих процесів. ПЛК тепер мають менші корпуси та швидші центральні процесори, мережі та різні Інтернет-технології [8].



Рисунок 2.4 – Програмний логістичний контролер

Типові ПЛК мають широкий спектр модулів введення/виведення, доступних для розміщення всіх типів датчиків і пристроїв виведення. Наприклад, модулі дискретного введення можна використовувати для виявлення присутності об'єкта або події з такими пристроями, як датчики наближення або фотоелектричні датчики, кінцеві вимикачі та кнопки. Дискретні модулі виводу можуть керувати навантаженнями «ON/OFF», такими як двигуни, освітлення та електромагнітні клапани. Аналоговий вхід модулі можуть приймати сигнали від контрольно-вимірювального обладнання процесу, такі як потік, тиск, температура та рівень передавачі. Ці модулі можуть інтерпретувати сигнал і представляти значення в діапазоні, визначеному електричними характеристиками пристроїв. Аналогові виходи керуватимуть навантаженнями, які потребують змінного керування сигналу, наприклад панельні вимірювачі, частотні приводи або аналогові проточні клапани. Багато ПЛК також пропонують спеціалізовані модулі, такі як високошвидкісний вхід/вивід або керування рухом, а також послідовний зв'язок або зв'язок *Ethernet* [7].

Таким чином, програмований логічний контролер є основним цифровим комп'ютером, призначеним для використання в керуванні машиною. Замість звичайного ПК, цей пристрій створений спеціально для використання у промисловому середовищі і оснащений спеціальним інтерфейсом введення/виведення та особливою мовою програмування. Загальна аббревіатура, яка використовується у промисловості для керування цими пристроями застосовується як «програмовані контролери» (ПК), можуть заплутати, оскільки це також аббревіатура від «персональний комп'ютер». З цієї причини виробники

називають свій «програмований контролер» не ПК а ПЛК, що означає «програмований логічний контролер».

Програмовані контролери пропонують кілька переваг над звичайним типом релейного керування. Реле повинні бути закріплені для виконання певних де яких функцій. Проводка реле змінюється чи модифікується, коли системні вимоги стають іншими. У крайніх випадках, наприклад в авто промисловості довелося замінити повністю панелі керування перемонтувати старі панелі, які були економічно недоцільні з кожною зміною моделі. Програмовані контролери значно зменшили потребу у фізичній проводці, яка була необхідна для традиційних систем керування на основі реле (рис. 2.5). ПЛК має компактні розміри, меншу ціну, особливо якщо порівнювати з традиційними системи на основі реле. Хоча на поточний час реле досі використовується, їхнє застосування у сучасних системах стає все меншим [8].



Рисунок 2.5 – Релейна панель керування

Найбільшою перевагою автоматизації за допомогою програмованого логічного контролера є можливість повторювати або змінити та відтворити операцію або процес під час збору та передачі важливої інформації. Ті, хто приймає рішення про покупку програми програмованого контролера, можуть

бути дуже різними потреби. Вартість, потужність, швидкість і зв'язок – це лише деякі з багатьох міркувань при виборі правильного ПЛК для роботи [7].

ПЛК – це мозок машини; проте не існує одного єдиного типу ПЛК. Насправді існують дві основні категорії ПЛК, які відомі як модульні та стаціонарні ПЛК. Під час проектування системи важливо розуміти різницю між цими двома типами, щоб можна було вибрати правильний для проекту. Нижче наведено загальний огляд двох типів ПЛК:

Фіксовані ПЛК: Фіксовані ПЛК – це ті, в які вже інтегровані порти введення/виведення. Ці ПЛК зазвичай дешевші, ніж модульні ПЛК, але зазвичай не розширюються. Це означає, що інженер має справу з будь-якими портами введення/виведення, що постачаються з пристроєм. Як правило, ці ПЛК чудово підходять для автономних або невеликих проектів, які ніколи не потребуватимуть оновлення. Прикладом використання фіксованого ПЛК може бути щось на зразок автоматичного відкривача дверей. Для такого застосування, ймовірно, ніколи не виникне потреби розширювати систему, і знадобиться лише кілька портів введення/виведення. У цьому випадку фіксований ПЛК буде оптимальним, оскільки він буде дешевшим.

Модульні ПЛК: Модульні ПЛК дорожчі, але гнучкіші. Модульні ПЛК дуже поширені у великих проектах автоматизації завдяки своїй гнучкості та більшим можливостям пам'яті. Через постійно мінливий характер промислових процесів, модульні ПЛК дуже часто можна побачити на заводах. Загалом, початкова вартість модульних ПЛК буде вищою, але вони запропонують більше можливостей розширення в майбутньому.

Модульні ПЛК можна вважати складнішими, ніж стаціонарні ПЛК. Проектування системи потребує більш детального обмірковування, оскільки модульні ПЛК не є інтегрованими одиницями. Тому, щоб повністю зрозуміти модульні ПЛК, необхідно дослідити модулі, з яких вони складаються [10].

Термін «мова програмування ПЛК» відноситься до способів, за допомогою якого користувач передає інформацію ПЛК. Стандарт ІЕС 61131 (рис. 2.6) був створений для стандартизації багатьох мов, пов'язаних з програмуванням ПЛК, визначивши наступні п'ять стандартних мов:

Ladder Diagram (LD) — графічне зображення процесу із ланками логіки, подібно до логічних схем релейних сходів, які були замінені ПЛК.

Function Block Diagram (FBD) — графічне зображення потоку процесу з використанням простих і складних з'єднувальних блоків.

Sequential Function Chart (SFC) — графічне зображення взаємопов'язаних кроків, дії і переходів.

Instruction List (IL) — низькорівнева, текстова мова, яка використовує мнемонічні інструкції.

Structured Text (ST) — текстова мова високого рівня, зокрема *BASIC*, *C* або *PASCAL*, розроблена для застосування в промисловому контролі.

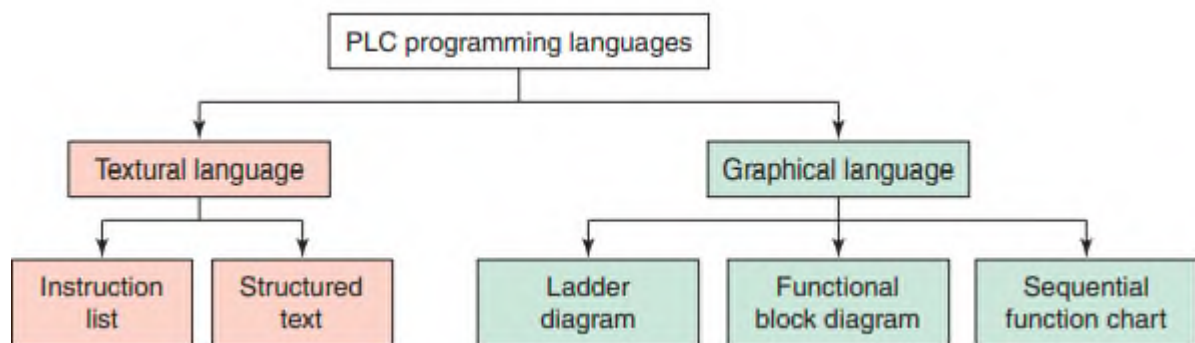


Рисунок 2.6 – Стандартні мови IEC 61131, пов'язані з програмуванням ПЛК

Ladder Diagram є найбільш поширеною ПЛК мовою і призначена для імітації логіки реле. Ця мова по суті, символічний набір інструкцій, що використовуються для створення програм контролера. Символи цієї інструкцій впорядковані для отримання бажаної логіки керування, яку потрібно ввести в пам'ять ПЛК. Оскільки набір інструкцій складається з символічних схематичних контактів, мова сходової діаграми також згадують як контактну символіку [8].

2.2. ПЛК *Siemens S7 1200* та його технічні характеристики

ПЛК S7-1200 (рис. 2.7) є унікальним пристроєм, який може забезпечити достатню гнучкість завдяки своїй потужності, що дозволяє керувати широким спектром пристроїв (табл. 2.1), щоб задовольняти процесу автоматизації.

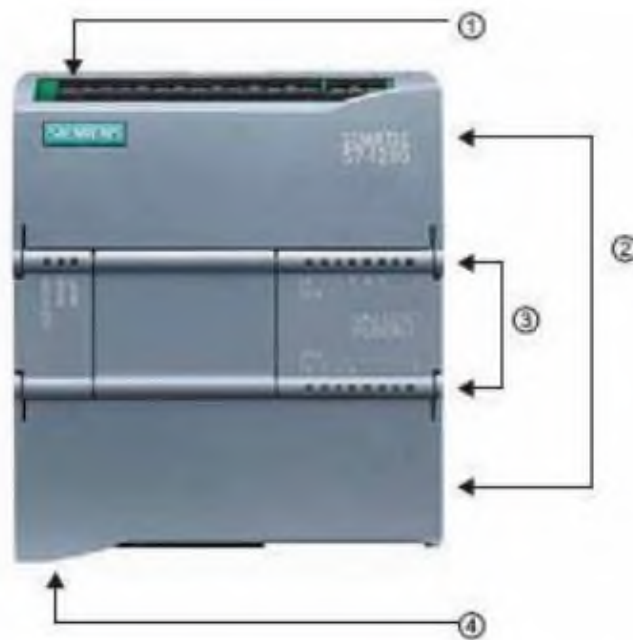
ПЛК доволі потужний завдяки центральному процесору (ЦП), який об'єднує компактний корпус мікропроцесора, вмонтований блок живлення, та

вхідні і вихідні інтерфейси. Після програмування ЦП реалізує логіку, як необхідна для автоматизації управління пристроями у певному застосунку. ЦП в реальному часі відстежує вході сигнали та змінює вихідні сигнали згідно за алгоритмом користувача. Програма може містити булеві та логічні операції, розрахунок, реагування часу, комплексні дії та зв'язок для співдії з іншими приладами.

ЦП та деякі керуючі програми мають захист, завдяки деяким функціям безпеки:

- ЦП оснащений системою парольного захисту, що дозволяє налаштовувати доступ до кожного ЦП згідно до вимог.
- Доступна можливість приховування коду всередині визначеного блоку, через систему захисту «ноу-хау».

Обмін даними виконується через порт *PROFINET*, який має при собі ЦП. Для обміну даними через мережі *RS232* чи *RS485* має в наявності комунікаційний модуль.



1 – живильний роз'єм; 2 – модуль клемного з'єднання, до якого приєднується користувач; 3 – Індикатори стану вбудованих портів введення/виведення; 4 – порт *PROFINET*

Рисунок 2.7 – Програмний логістичний контролер S7-1200

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ПЛК S7-1200

Характеристика	ЦП 1211С	ЦП 1212С	ЦП 1214С
Фізичні розміри (мм)	90x100x75		110x100x75
Пам'ять користувача:			
Робоча пам'ять	25 Кбайт		50 Кбайт
Завантажувальна пам'ять	1 Мбайт		2 Мбайта
Пам'ять що зберігається	2 Кбайта		2 Кбайта
Локально вбудовані порти введення/виведення:			
цифрові	6 вх./4 вих.	8 вх./6 вих.	14 вх./10 вих.
аналогові	2 входа	2 входа	2 входа
Величина образу процесу	1024 байта входів (I) и 1024 байта виходів (Q)		
Бітова пам'ять (M)	4096 байт		8192 байта
Додаткові сигнальні модулі	нема	2	8
Сигнальна плата	1		
Комунікаційні модулі	3 (лівостороннє розширення)		
Лічильники швидкості:	3	4	6
однофазний	3 на 100 кГц	3 на 100 кГц 1 на 30 кГц	3 на 100 кГц 3 на 30 кГц
зрушення фаз на 90°	3 на 80 кГц	3 на 80 кГц 1 на 20 кГц	3 на 80 кГц 3 на 20 кГц
Імпульсні виходи	2		
Карта пам'яті	Носій даних <i>Simatik</i> (не обов'язково)		
Тривалість збереження часу для годинника реального часу	Тип. 10 днів/6 днів мінімум при 40 градусах С.		
<i>PROFINET</i>	1 мережевий порт Ethernet		
Продуктивність обчислень	18 мкс/команду		

Швидкість виконання булевих операцій	0,1 мкс/команду
---	-----------------

Центральний процесор ПЛК S7-1200 може бути розширений за допомогою сигнальної плати та сигнального модуля (табл. 2.2). Для підтримки іншого протоколу зв'язку встановлюється додатковий комунікаційний модуль.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики модуля ПЛК S7-1200

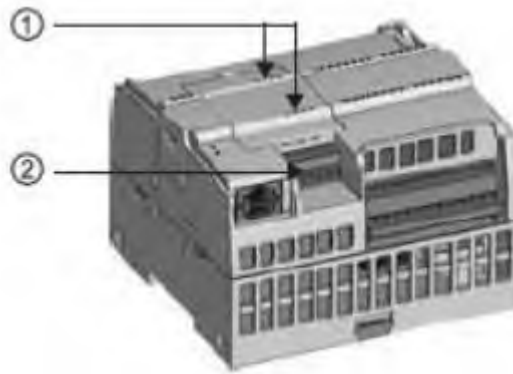
Модуль		Тільки введення	Тільки виведення	Комбінація введення та виведення
Сигнальний модуль (SM)	цифровий	8 портів введення постійного струму	8 портів виведення постійного струму 8 портів релейного виведення	8 портів введення постійного струму / 8 портів виведення постійного струму 8 портів введення постійного струму / 8 портів релейного виведення
		16 портів введення постійного струму	16 портів виведення постійного струму 16 портів релейного виведення	16 портів введення постійного струму / 16 портів виведення постійного струму 16 портів введення постійного струму / 16 портів релейного виведення

	аналоговий	4 аналогових портів введення 8 аналогових портів введення входів	2 аналогових порти виведення 4 аналогових портів виведення	4 аналогових портів введення/ 2 аналогових портів виведення
Сигнальна плата (SB)	цифровий	-	-	2 порти введення в постійного струму/ 2 порти виведення постійного струму
	аналогова	-	1 аналоговий порт виведення	-
Модулі комунікації (CM): RS485. RS232.				

Сигнальна плата (рис. 2.8) (SB) слугує для розширення функціональних можливостей ЦП методом додавання додаткових портів виведення/введення. Можливість встановлення SB з аналоговими чи цифровими каналами виведення/введення. SB фізично можна під'єднати до передньої частини центрального процесора.

SB має 4 цифрові порти введення/виведення (2 порти введення постійного струму та 2 порти виведення постійного струму).

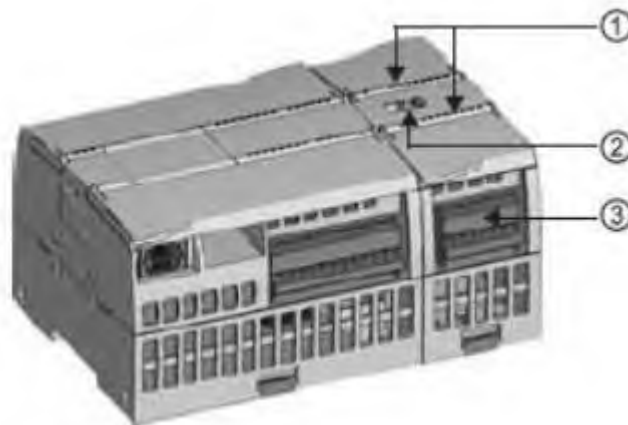
SB має в наявності 1 аналоговий порт виведення.



1 – індикатори стану на *SB*; 2 – модуль клемного з'єднання для підключення користувача

Рисунок 2.8 – Сигнальна плата ПЛК S7-1200

Для розширення функціональних можливостей ЦП використовують сигнальні модулі. Використання центральним процесором сигнального модулю дозволяє розширити функціональні можливості ПЛК (рис. 2.9). Підключення сигнального модулю виконується у правій частині центрального процесора.



1 – індикатори стану каналів введення/виведення сигнальних модулів; 2 – з'єднувач шини; 3 – модуль клемного з'єднання до можливого підключення користувача

Рисунок 2.9 – Сигнальний модуль ПЛК S7-1200

Функціональність системи ПЛК S7-1200 може бути розширена додаванням комунікаційних модулів (рис. 2.10) *RS232* та *RS485*.

Підтримка ЦП складає лише 3 комунікаційні модулі.

Кожен комунікаційний модуль підключається до лівої частини центрального процесора [12].



1 – індикатори стану модуля комунікації; 2 – комунікаційний роз'єм

Рисунок 2.10 – Комунікаційний модуль ПЛК S7-1200

STEP 7 Basic забезпечує інтегроване середовище розробки для проектування, редагування та тестування логіки керування додатком. Програмне забезпечення містить інструменти для конфігурації адміністрування всіх пристроїв у проекті, таких як ПЛК та пристроїв інтерфейсу користувача. Для зручності та ефективності в розробці керуючої програми для програми *STEP 7 Basic* має у розпорядженні лише дві програмні мови (*FBD* та *LAD*), а також забезпечує інструментальними засобами для створення та конфігурування пристроїв інтерфейсу користувача у проекті [13].

2.3 Процес діагностики та налагодження ПЛК *Siemens S7-1200*

У сучасних автоматизованих системах керування верстатами з ЧПК програмований логічний контролер (ПЛК) відіграє ключову роль. Від якості розробленої програми, її правильного налаштування та налагодження залежить як ефективність усього виробничого процесу, так і безпека експлуатації обладнання. У процесі модернізації токарного верстата 16Б16Ф3 за допомогою ПЛК *Siemens S7-1200* одним із важливих етапів стало проведення повного циклу діагностики та налагодження системи керування. Це дозволило забезпечити надійність роботи та відповідність програмної логіки вимогам технологічного процесу.

Перш ніж розпочати процес діагностики ПЛК, було проведено ряд підготовчих заходів. По-перше, здійснено повний огляд схеми підключення апаратних компонентів: модулів введення/виведення, мережевих інтерфейсів, живлення та периферійних пристроїв. Для цього використовувалася документація на ПЛК Siemens S7-1200 та принципова електрична схема верстата, розроблена у процесі модернізації.

Особлива увага приділялася правильності підключення кінцевих вимикачів, енкодерів, системи охолодження, головного приводу шпинделя та сервоприводів подач по осях X та Z. Крім того, було перевірено узгодженість сигналів управління з панелі оператора HMI, а також коректність зв'язку між ПЛК та частотним перетворювачем для керування шпинделем.

Після завершення перевірки апаратної частини розпочався етап підготовки програмної логіки до тестування. Для цього було використано програмне середовище TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal), що є офіційним інтегрованим середовищем розробки для контролерів Siemens серії S7-1200.

За допомогою функцій онлайн-моніторингу у TIA Portal було активовано режим перегляду змінних у реальному часі. Це дозволило простежити виконання основного алгоритму програми та роботу підпрограм.

На першому етапі було перевірено обробку сигналів з HMI: запуск циклу обробки за допомогою кнопки «ПУСК», зупинка процесу, активація режиму «ПАУЗА», скидання аварійних станів. Усі ці дії були протестовані в реальному режимі роботи ПЛК, при цьому через панель моніторингу у TIA Portal відслідковувалися стан системних змінних.

Особливу увагу приділено перевірці керування шпинделем. У режимі налагодження було проконтрольовано коректність формування сигналу на запуск частотного перетворювача, встановлення частоти обертання відповідно до заданого параметра з HMI, а також обробку сигналів про аварії (перегрів, перевантаження).

Також детально тестувалася логіка керування подачею по осях X та Z. Для цього використовувалася ручна та автоматична зміна цільових координат, після чого контролювалося переміщення інструменту. Було перевірено коректність

обробки сигналів з кінцевих вимикачів, відсутність блокувань руху у межах допустимих координат та зупинку руху у разі досягнення цільового положення.

Надзвичайно важливою частиною налагодження була перевірка роботи алгоритмів безпеки. Для цього за допомогою введення тестових аварійних сигналів було змодельовано різні сценарії: перевищення температури шпинделя, збій у роботі сервоприводів, спрацювання апаратної кнопки аварійної зупинки.

Під час випробувань контролер коректно реагував на аварійні ситуації: миттєво зупиняв шпиндель і подачу, переходив у стан аварії з індикацією на НМІ, блокував можливість подальшого запуску до усунення несправності та підтвердження скидання аварії оператором.

Особливо ефективним виявилось використання циклограми роботи, яка була попередньо сформована на основі розробленого програмного коду. За допомогою циклограми можна було чітко відстежити, на якому етапі відбувається спрацювання тієї чи іншої ділянки програми, що значно спростило діагностику.

Окремим етапом діагностики стало налагодження взаємодії ПЛК з панеллю оператора НМІ. Через ПК забезпечувалася передача основних параметрів обробки (частота обертання шпинделя, цільові координати, режими роботи), а також виведення станів системи.

- Було перевірено правильність відображення на ПК наступної інформації:
- стан циклу обробки (ПУСК, ПАУЗА, СТОП);
- стан аварійних режимів;
- поточні координати інструменту по осях X і Z;
- частота обертання шпинделя;
- лічильник оброблених деталей;
- журнал подій.

Усі змінні, передбачені програмою, коректно оновлювалися у реальному часі, що підтвердило правильність налаштування обміну даними між ПЛК та ПК.

Методика тестування передбачала поетапне проходження програми з поступовим додаванням нових функцій та перевіркою їх коректності. Після завершення базової перевірки основного циклу здійснювалася діагностика

кожної окремої підпрограми, що дозволило локалізувати можливі помилки та оптимізувати логіку управління.

У ході проведеного процесу налагодження було сформульовано ряд рекомендацій для оптимізації подальшої роботи:

Під час розробки програми бажано передбачати широкі можливості для онлайн-моніторингу — це значно спрощує діагностику.

Важливо реалізувати механізми захисту від нештатних ситуацій на всіх рівнях системи.

Рекомендується використовувати циклограми як інструмент верифікації роботи складних алгоритмів.

Збереження журналу подій у ПЛК допомагає швидко аналізувати хід процесу у разі виникнення проблем.

Проведений процес діагностики та налагодження ПЛК Siemens S7-1200 у складі модернізованої системи керування токарного верстата 16Б16Ф3 підтвердив коректність функціонування усіх апаратних і програмних компонентів. Ретельне тестування дозволило виявити і усунути незначні помилки, а також оптимізувати логіку управління, що забезпечує високу надійність, ефективність та безпеку експлуатації обладнання.

Висновки за розділом 2

Даний розділ дипломної роботи зосереджується на методології та інструментах дослідження в галузі автоматизованого управління, з особливим акцентом на програмованих логічних контролерах (ПЛК), зокрема моделі Siemens S7-1200.

Перша частина розділу знайомить з ПЛК як ключовим елементом сучасних систем автоматизації, розглядаючи їхню структуру, принципи роботи та функціональні можливості. Детально описуються основні компоненти ПЛК, такі як центральний процесор, модулі введення/виведення, блок живлення, пам'ять, пристрої програмування та комунікаційні інтерфейси. Також пояснюються типи сигналів, які обробляються ПЛК, та стандартні мови програмування, визначені стандартом IEC 61131, з акцентом на мову сходових діаграм (Ladder Diagram).

Друга частина розділу присвячена детальному аналізу технічних характеристик ПЛК Siemens S7-1200, який є універсальним та потужним рішенням для широкого спектру задач автоматизації. Представлено порівняння різних моделей центральних процесорів, а також можливості розширення функціональності за допомогою сигнальних модулів, сигнальних плат та комунікаційних модулів. Підкреслюються переваги S7-1200, такі як висока продуктивність, підтримка мережевих протоколів, захист програмного коду, компактність та масштабованість.

У заключній частині розділу описується практичний досвід діагностики та налагодження ПЛК Siemens S7-1200, інтегрованого в модернізовану систему управління токарного верстата 16Б16Ф3. Описано процес, що включає перевірку апаратного забезпечення, розробку та тестування програмної логіки в середовищі TIA Portal, перевірку взаємодії з HMI, тестування роботи приводів, системи охолодження, системи безпеки та зв'язку з частотним перетворювачем. Особлива увага приділяється онлайн-моніторингу, аналізу циклограм та реалізації механізмів аварійного реагування.

РОЗДІЛ 3

ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Функціональна схема системи автоматичного керування

У межах модернізації системи керування токарного верстата 16Б16Ф3 була розроблена функціональна схема (рис 3.1), яка забезпечує повну автоматизацію обробки деталей із застосуванням сучасного програмованого логічного контролера *Siemens S7-1200*. Основна ідея цієї схеми полягає в тому, щоб централізувати керування усіма вузлами верстата, включаючи виконавчі механізми, системи безпеки, індикації, змащення та охолодження, а також забезпечити обробку зворотних сигналів від сенсорних елементів для реалізації точного, надійного та безпечного керування.

Взаємодія з оператором здійснюється через операторську панель (ПК), яка дозволяє задавати режими роботи, параметри обробки та спостерігати за станом системи в реальному часі. З операторської панелі сигнали надходять до ПЛК, який виконує логічну обробку інформації відповідно до закладеної програми. Контролер приймає сигнали від датчиків положення, обертів, температури, навантаження, а також від системи безпеки, що дозволяє йому приймати оперативні рішення щодо запуску або зупинки виконавчих пристроїв, переміщення по координатах, а також вмикання допоміжних систем.

Приводи головного руху та подачі керуються ПЛК згідно з технологічними параметрами обробки. Основний шпиндель отримує сигнал на запуск, зміну частоти обертів та зупинку, тоді як подачі по координатах *X* та *Z* реалізують переміщення інструменту за заданими траєкторіями. Всі ці команди формуються автоматично, виходячи з логіки програми, яку реалізовано в середовищі програмування контролера.

Особливу увагу приділено контролю навантаження. Через токові датчики система відслідковує струм, споживаний електроприводами. У разі виявлення перевантаження система автоматично зупиняє роботу або переводить її в безпечний режим, попереджаючи можливі пошкодження обладнання або деталі.

Для діагностики стану верстата реалізовано блок індикації, який повідомляє про поточний режим роботи, виникнення аварій або помилок. Інформація дублюється як на ПК, так і через світлодіодну сигналізацію.

Окремим блоком у схемі виступає система змащення та охолодження. Вона включається за сигналами ПЛК автоматично в момент обробки або з певною періодичністю, заданою в параметрах програми. Подавання мастильних матеріалів і охолоджуючої рідини відбувається синхронно з роботою приводу головного руху та подач.

Для збирання статистики та покращення контролю якості у функціональну схему додано лічильники готових виробів, енкодери або тахогенератори, які дозволяють визначати швидкість обертання шпинделя та кількість оброблених деталей. Ці дані можуть відображатися на екрані панелі оператора або передаватися до зовнішніх інформаційних систем.

Функціональна схема також передбачає комунікаційний модуль, який забезпечує обмін даними між контролером і зовнішніми системами, такими як *SCADA*, *ERP* або бази даних підприємства. Зв'язок здійснюється через інтерфейси *Ethernet* або *Modbus*, що дає змогу реалізовувати дистанційне керування, моніторинг, а також передавати технологічну інформацію в загальну мережу виробництва.

Усі ці компоненти інтегровані в єдину систему автоматизованого керування, яка забезпечує ефективне функціонування токарного верстата, високий рівень безпеки, адаптивність до змін виробничих умов і можливість подальшої інтеграції в автоматизовані виробничі комплекси.

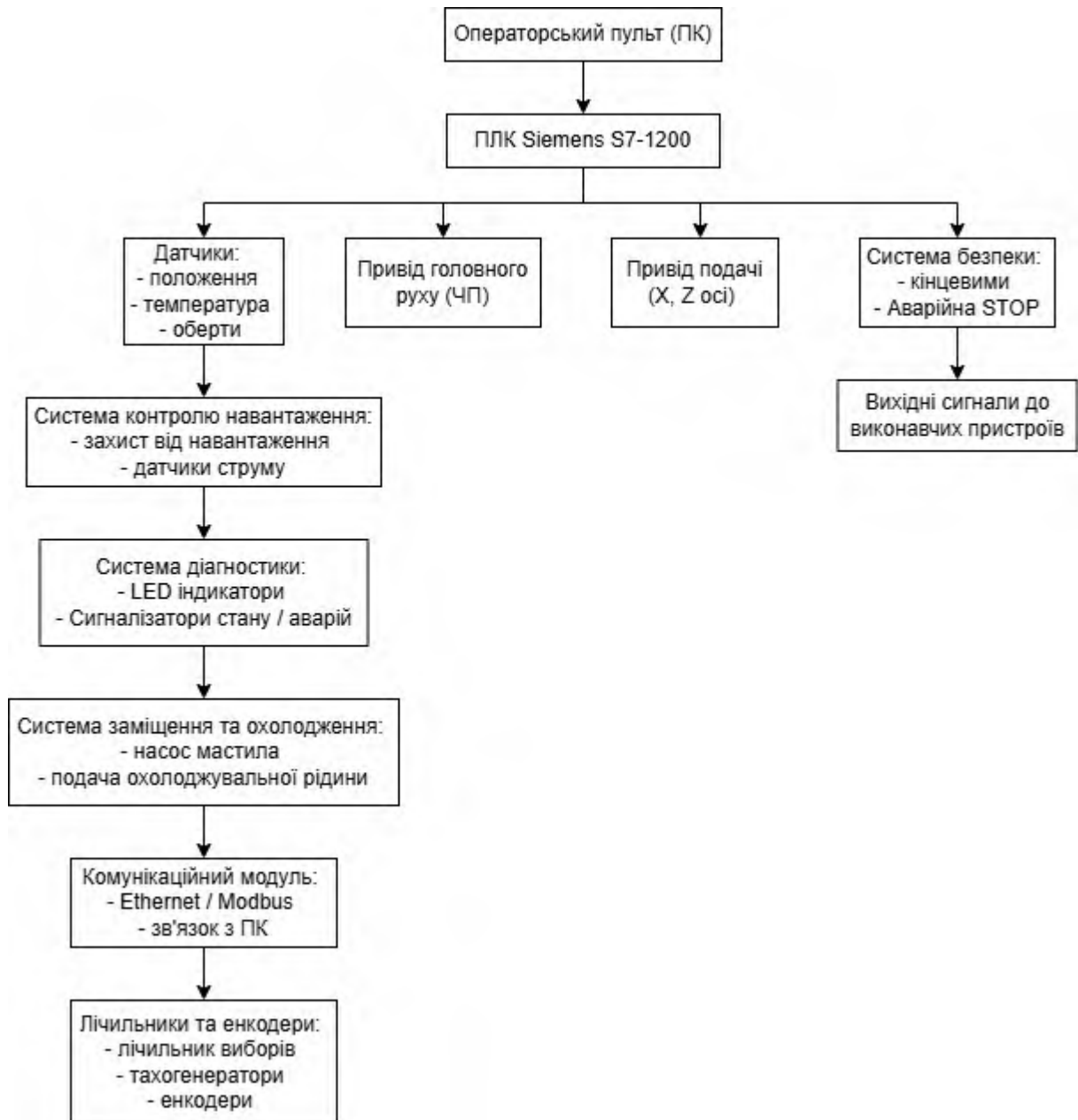


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи автоматичного керування

3.2. Алгоритми управління патронно-центровим верстатом 16Б16ФЗ

Основний алгоритм роботи автоматизованої системи керування (рис 3.2) побудований за принципом циклічного виконання етапів обробки, що відповідають типовим технологічним процесам на токарному верстаті. Програмований логічний контролер виконує безперервний моніторинг стану обладнання, приймає сигнали від оператора через панель ПК, аналізує дані з датчиків і формує відповідні керуючі сигнали до виконавчих механізмів.

Після вмикання системи контролер переходить у режим ініціалізації, в якому перевіряється справність основних вузлів: датчиків, приводів, зв'язок з

панеллю оператора, відсутність аварійних сигналів. У випадку успішного проходження всіх перевірок система переходить у режим готовності до роботи та очікує команди запуску від оператора.

Після отримання команди "ПУСК" з ПК, система ще раз перевіряє стан вузлів, і якщо всі умови безпеки дотримані — здійснюється послідовний запуск обладнання. Спочатку вмикається головний привід шпинделя, після чого активується система змащення та охолодження. Далі подаються сигнали на приводи подачі по осях X та Z , які починають рух інструменту згідно з заданою траєкторією. Координати, швидкість переміщення, напрям руху та інші параметри визначаються на основі вхідних даних, що задаються в програмі або через ПК.

Протягом усієї обробки контролер безперервно моніторить критичні параметри: струм споживання приводів (для виявлення перевантажень), сигнали з кінцевих вимикачів, температуру, стан мастила та рівень охолоджувальної рідини. У разі виявлення несправності або перевищення допустимих значень система негайно переходить в режим аварійної зупинки: вимикаються всі виконавчі механізми, фіксується код помилки, на панелі ПК з'являється повідомлення для оператора.

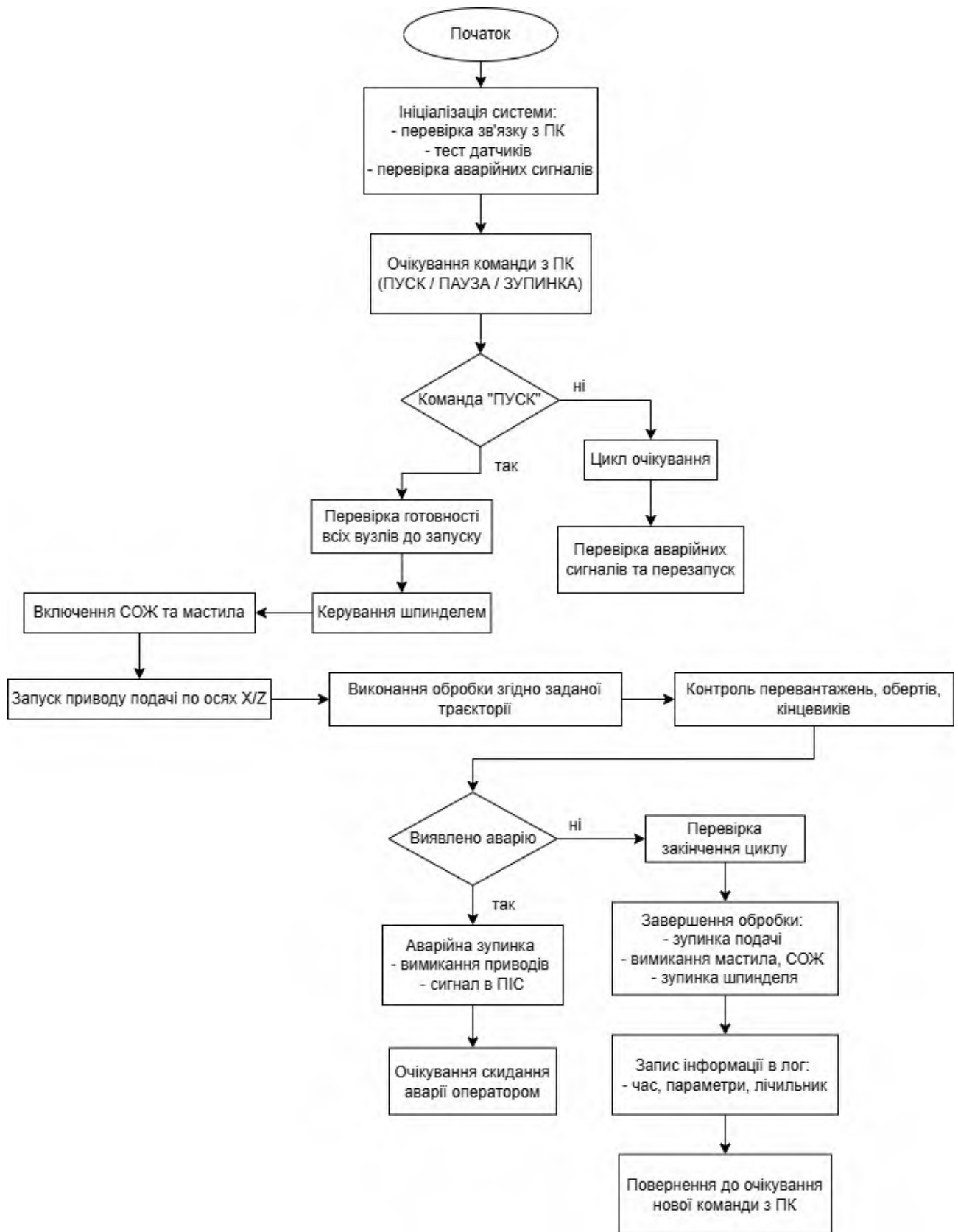


Рисунок 3.2 – Основний алгоритм програми

Після завершення обробки деталі або досягнення кінця заданого циклу система виконує планову зупинку: вимикається подача, зупиняється головний привід, відключається система охолодження та змащення. Після цього дані про

виконаний цикл (кількість деталей, час обробки, технічні параметри) записуються у внутрішній журнал ПЛК або передаються в зовнішню систему обліку.

У разі аварії система переходить у режим очікування втручання оператора. Після натискання кнопки "СКИДКА АВАРІЇ" система повертається до режиму очікування запуску, але лише за умови, що всі аварійні сигнали були усунені.

Таким чином, основний алгоритм забезпечує автоматичне, безпечне, надійне та контрольоване виконання усіх етапів обробки деталей на токарному верстаті, дозволяючи реалізувати точне керування і зменшити ймовірність людської помилки. Структурований підхід до побудови алгоритму дозволяє розширювати його функціональність у майбутньому, наприклад, шляхом додавання нових підпрограм або підключення до промислової мережі для інтеграції у систему *MES/SCADA*.

Підпрограма обробки сигналів з панелі оператора ПК (рис. 3.3) є ключовим елементом взаємодії користувача з програмованим логічним контролером (ПЛК) у складі системи керування токарним верстатом з ЧПК. Її основне призначення — зчитування керуючих команд та параметрів, заданих оператором, а також передача цих даних у внутрішню логіку контролера для подальшої обробки.

На початку виконання підпрограма виконує зчитування стану кнопок, розташованих на ПК. Йдеться про основні керуючі елементи, такі як кнопка запуску ("ПУСК"), зупинки ("СТОП"), тимчасового призупинення роботи ("ПАУЗА") та скидання аварії ("СКИДКА АВАРІЇ"). Кожна з цих кнопок має відповідне призначення та викликає логічну реакцію ПЛК відповідно до поточного стану обладнання.

У випадку натискання кнопки "ПУСК" система перевіряє наявність дозволу на запуск: відсутність аварійних ситуацій, справність датчиків, а також коректність параметрів. Якщо всі умови дотримані, ПЛК активує відповідні прапори в програмі, що дозволяє перейти до основного циклу виконання технологічної програми. Це означає, що система переходить у робочий режим і розпочинається послідовна обробка деталі.

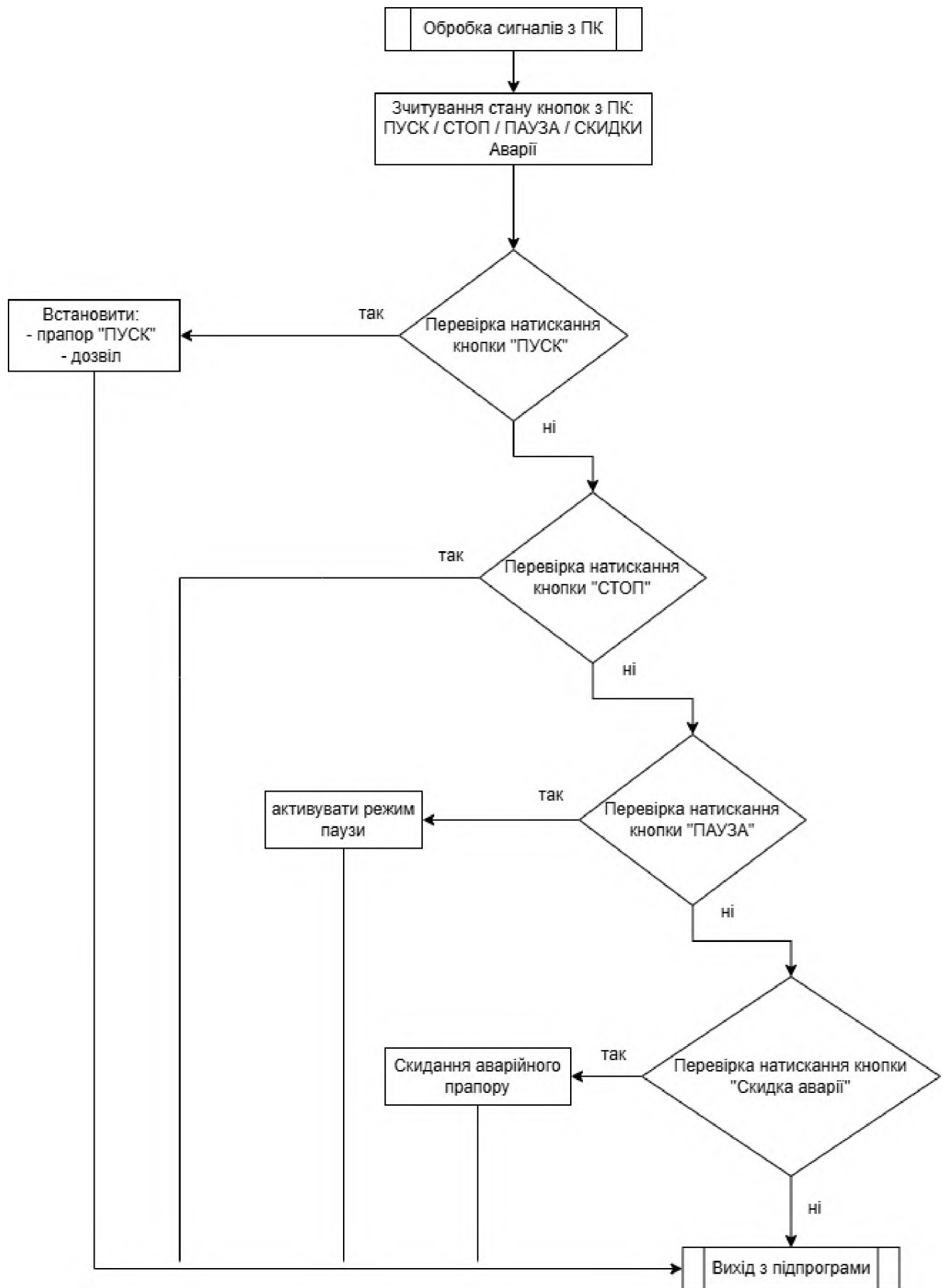


Рисунок 3.3 – Алгоритм обробки сигналів з ПК

Коли оператор натискає кнопку "СТОП", контролер негайно припиняє керуючі сигнали до всіх виконавчих механізмів, переводить систему у безпечний стан та повертається у режим очікування. Усі логічні прапори, пов'язані з активною обробкою, скидаються. Такий підхід дозволяє зупинити процес у будь-який момент без ризику для обладнання або оператора.

Натискання кнопки "ПАУЗА" дозволяє тимчасово призупинити виконання основного циклу без повної зупинки обладнання. У цьому режимі ПЛК зберігає поточний стан системи, координати інструменту, стан приводів та шпинделя. Після повторного натискання кнопки "ПУСК" або окремої команди "ПРОДОВЖИТИ", процес поновлюється з того моменту, на якому він був перерваний.

У разі виникнення аварійної ситуації (перевантаження, обрив сигналу з датчика, порушення безпеки тощо) система блокує всі подальші дії до моменту усунення проблеми. Після ліквідації несправності оператор повинен підтвердити це натисканням кнопки "СКИДКА АВАРІЇ". Лише після цього система дозволяє повторний запуск або перехід у готовність.

Окрім керуючих сигналів, підпрограма також виконує зчитування параметрів, які задаються через ПК: частоти обертання шпинделя, вибору режиму обробки (наприклад, чорнова або чистова), координат початку та кінця обробки, швидкості подачі тощо. Усі ці дані зчитуються ПЛК і записуються у відповідні змінні, де зберігаються до моменту використання у відповідних підпрограмах або основному циклі.

Таким чином, підпрограма забезпечує ефективне, безпечне та гнучке управління процесом обробки, надаючи оператору повний контроль над усіма ключовими параметрами роботи токарного верстата з ЧПК. Вона є необхідною ланкою між людиною та автоматизованою системою керування, що дозволяє значно підвищити точність, безпеку та адаптивність усього виробничого процесу.

Підпрограма керування шпинделем (рис.3.4) є критично важливим компонентом системи автоматичного керування токарним верстатом з числовим програмним керуванням. Її основна мета — забезпечити контроль за запуском,

зупинкою, регулюванням обертів шпинделя та моніторингом стану приводу для запобігання аварійним ситуаціям.

Принцип дії підпрограми базується на обробці вхідних сигналів та параметрів, які надходять від панелі оператора (ПК) або інших частин системи керування. На початку роботи програма перевіряє, чи встановлений логічний сигнал «ПУСК», що означає команду на запуск шпинделя. Якщо сигнал активний, керуючий вихід контролера подає команду на включення головного приводу — зазвичай це сигнал на частотний перетворювач або магнітний пускач, який відповідає за подачу живлення на електродвигун шпинделя.

Після запуску приводу підпрограма переходить до етапу встановлення частоти обертання шпинделя. Параметр частоти, заданий користувачем через ПК (наприклад, у вигляді числового значення в Гц або об/хв), передається до приводу або частотника за допомогою аналогового виходу або цифрового інтерфейсу (наприклад, Modbus або Profinet). Частотний перетворювач обробляє цей сигнал і відповідно регулює швидкість обертання шпинделя.

Одночасно в підпрограмі реалізовано постійний моніторинг стану приводу на наявність перевантаження або перегріву. Це може реалізовуватись шляхом зчитування сигналів з температурних реле, термоконтактів у двигуні або через відповідні статусні сигнали з частотника. Якщо виявлено перевищення допустимого струму або температури, підпрограма негайно вимикає шпиндель, скидає сигнал керування та активує сигнал тривоги, наприклад, встановлює логічний прапор аварії, виводить повідомлення на ПК або переводить всю систему в безпечний стан.

Крім запуску, підпрограма також реагує на команду "СТОП", яка подається вручну з ПК або автоматично у межах технологічного циклу. При виявленні сигналу зупинки, ПЛК вимикає вихід керування головним приводом, обнуляє параметри частоти та повертає систему у режим очікування наступної команди.

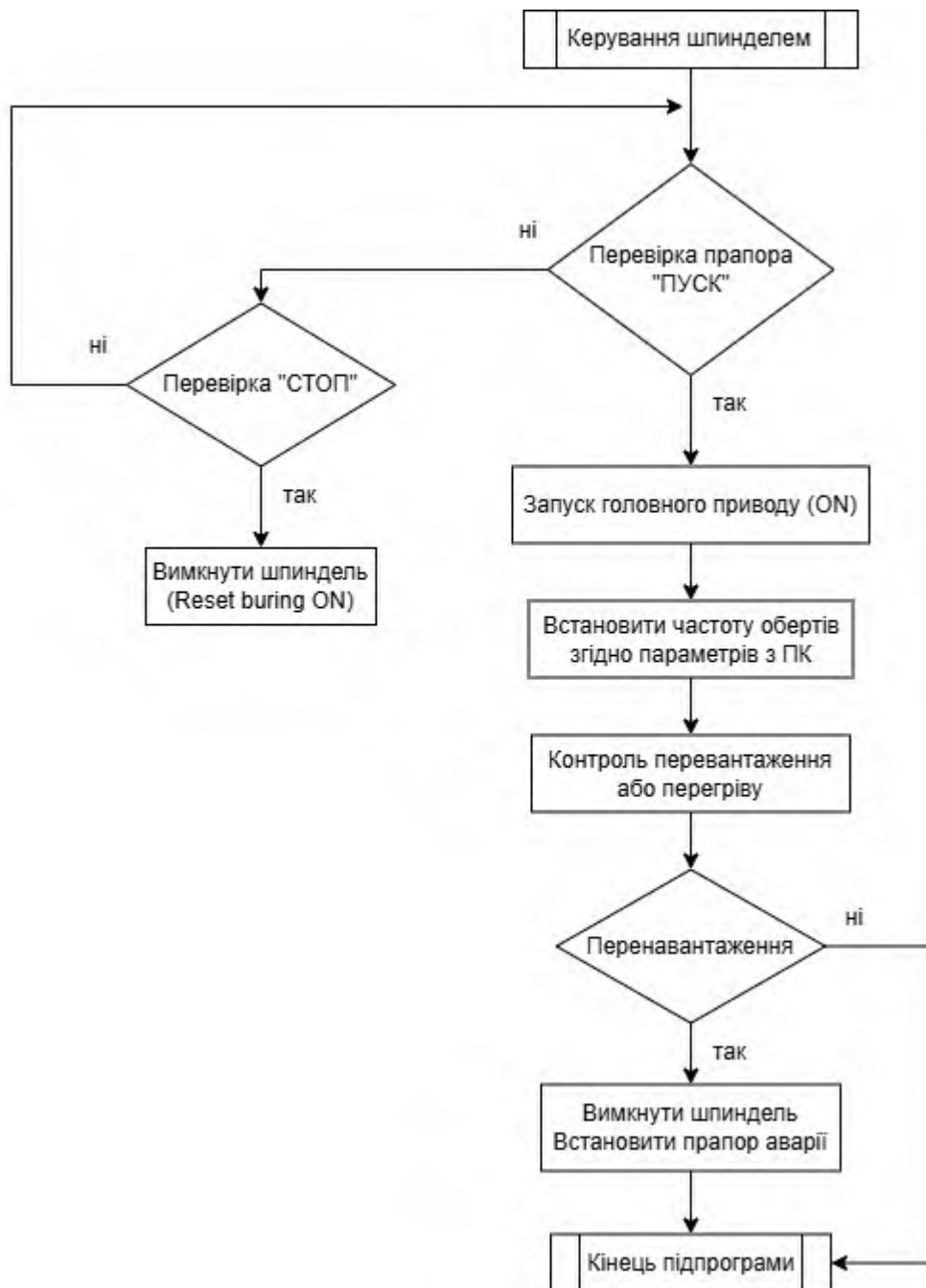


Рисунок 3.4 – Алгоритм керування шпинделем

Завдяки такій структурі підпрограма забезпечує повний та безпечний цикл роботи головного шпинделя: від запуску та обертів до контролю справності та аварійного зупинення. Це не лише підвищує надійність і стабільність системи керування, а й забезпечує гнучке та ефективне налаштування режимів обробки відповідно до вимог конкретної технологічної операції.

Підпрограма керування подачею в осях X і Z (рис.3.5) виконує ключову функцію у системі автоматичного керування токарного верстата з ЧПК. Вона відповідає за переміщення виконавчих органів верстата — інструментального

супорта або револьверної головки — у відповідності до заданих координат і швидкості, з постійним контролем поточного положення, кінцевих вимикачів та безпеки виконання руху.

На початковому етапі роботи підпрограма зчитує вхідні параметри від оператора, які задаються через панель ПК. Це, насамперед, цільові координати переміщення по осях X і Z , а також відповідна швидкість руху. Ці параметри зберігаються у змінних контролера та слугують основою для подальших обчислень.

Далі виконується перевірка прапора дозволу руху — зазвичай, це сигнал або змінна, яка активується при натисканні кнопки "ПУСК" або під час виконання певної програми. Якщо дозвіл є, система переходить до наступного кроку — обчислення напрямку переміщення, тобто визначення, чи слід подавати інструмент у позитивному чи негативному напрямку по кожній з осей.

Важливою частиною алгоритму є контроль кінцевих вимикачів, які обмежують межі переміщення по кожній осі. Якщо виявлено, що будь-яка вісь досягла свого мінімального або максимального положення (наприклад, спрацював датчик X_{max} або Z_{min}), система зупиняє рух, встановлює аварійний стан і не дозволяє подальше переміщення — це виконується для запобігання пошкодженню механіки верстата або виходу за безпечні межі.

Якщо всі перевірки пройдено успішно, керуюча програма передає команду на електроприводи подачі, вказуючи напрямок та швидкість. Це може бути реалізовано або за допомогою аналогового виходу (у разі використання аналогових сервоприводів), або через цифровий інтерфейс (наприклад, командна шина для крокових або серводвигунів).

Після запуску приводу підпрограма контролює зворотний зв'язок від енкодерів або лінійних датчиків положення, порівнюючи поточні координати з цільовими. Коли координата досягає заданого значення, привід зупиняється, сигнал подачі вимикається, і система переходить у стан очікування наступної команди.

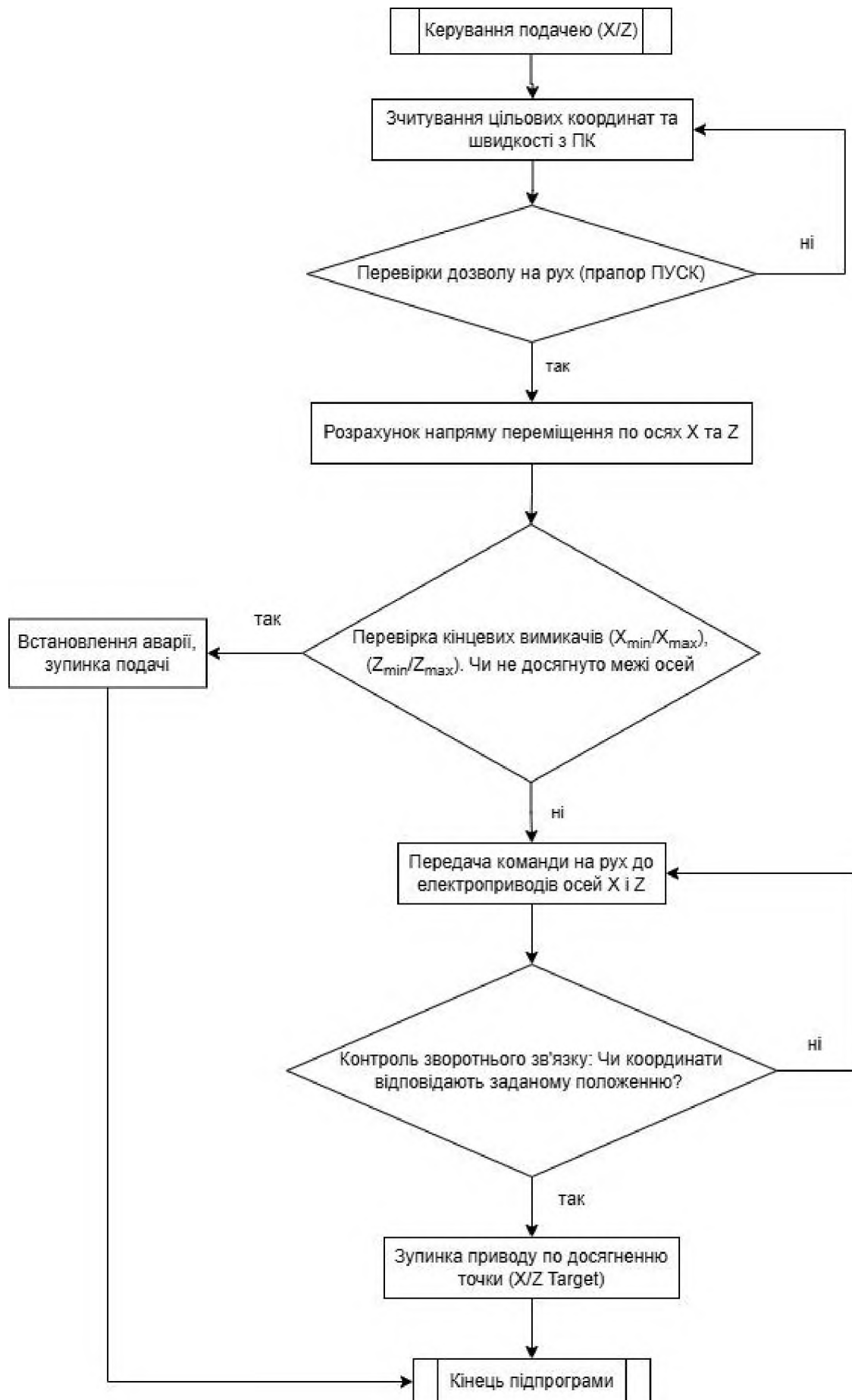


Рисунок 3.5 – Алгоритм підпрограми керування подачею (X/Z)

Такий підхід забезпечує точне позиціонування інструмента, ефективну реалізацію різних обробних операцій (точіння, підрізання, нарізання канавок тощо) та безпечну взаємодію користувача з автоматизованою системою. У разі виявлення порушень (наприклад, спрацювання кінцевика, відсутність дозволу на рух або збій позиціонування), підпрограма дозволяє миттєво зупинити процес, інформуючи оператора про характер помилки через ПК.

Завдяки цій підпрограмі забезпечується надійне автоматизоване управління просторовим положенням інструмента, що є основою для реалізації програмної обробки деталей на токарному верстаті з ЧПК.

Підпрограма лічильника деталей (рис. 3.6) реалізує контроль кількості оброблених за зміну або за період деталей на токарному верстаті з числовим програмним керуванням. Основним завданням є автоматичне збільшення значення лічильника після завершення кожного циклу обробки та забезпечення збереження цього значення навіть після вимкнення живлення верстата. Додатково передбачено можливість ручного скидання значення через панель оператора (ПК).

Підпрограма працює циклічно або викликається за подією (наприклад, після завершення основного технологічного циклу). На початку кожного виконання програма перевіряє стан сигналу, який вказує на завершення обробки деталі. Такий сигнал може надходити від кінцевого датчика, логічного маркера в програмі ЧПК або безпосередньо від користувача через ПК.

Якщо сигнал "деталь оброблено" активний, значення лічильника збільшується на одиницю. Після цього нове значення обов'язково зберігається у постійну (енергонезалежну) пам'ять ПЛК. Це дозволяє зберегти дані навіть у випадку аварійного відключення електроживлення. Для ПЛК *Siemens S7-1200* зазвичай для цього використовуються змінні з атрибутом *Retain*, які автоматично не втрачають значення після перезавантаження.



Рисунок 3.6 – Алгоритм підпрограми лічильника деталей

Окрім підрахунку, підпрограма також передбачає функцію скидання лічильника. Коли оператор на панелі ПК натискає кнопку "Скинути лічильник", формується відповідний сигнал. Підпрограма реагує на нього, обнуляє значення лічильника та одразу ж оновлює відповідний запис у постійній пам'яті. Це забезпечує коректну ініціалізацію системи після зміни партії деталей або початку нової зміни.

Таким чином, підпрограма лічильника деталей виконує одразу кілька важливих функцій:

- забезпечує точний підрахунок продукції в автоматичному режимі;
- захищає дані від втрати;

- дозволяє оператору керувати обнуленням лічильника.

Цей модуль тісно взаємодіє з ПК та основним програмним циклом, надаючи оператору зручний засіб моніторингу ефективності виробничого процесу.

3.3. Код програми

В даному підрозділі представлено детальний опис програмного забезпечення для реалізації автоматизованої системи керування токарним верстатом з числовим програмним керуванням на базі ПЛК *Siemens S7-1200*. Програма розроблена мовою релейно-контактної логіки (*Ladder Diagram, LD*), що є стандартом для промислового програмування відповідно до ІЕС 61131-3.

Програмний код складається з основного алгоритму, який виконує циклічне управління, а також підпрограм, які відповідають за окремі функціональні блоки системи: обробку НМІ-команд, керування шпинделем, подачею по осях *X* і *Z*, ведення журналу подій, підрахунок деталей та моніторинг аварій.

```
| // ==== Основна програма: Ініціалізація, НМІ-керування, запуск/зупинка  
=====
```

```
    | // --- Стан машини: СТОП за замовчуванням  
|----[ NOT ] Машина_Працює -----( S ) Стан_СТОП  
| // --- Кнопка ПУСК з НМІ  
|----[ ] НМІ_ПУСК -----[ R_TRIG ] ПУСК_ТРИГЕР  
|----[ ] ПУСК_ТРИГЕР.Q -----( S ) Стан_ПУСК  
| // --- Кнопка СТОП з НМІ  
|----[ ] НМІ_СТОП -----[ R_TRIG ] СТОП_ТРИГЕР  
|----[ ] СТОП_ТРИГЕР.Q -----( R ) Стан_ПУСК  
| // --- Кнопка ПАУЗА  
|----[ ] НМІ_ПАУЗА -----[ R_TRIG ] ПАУЗА_ТРИГЕР  
|----[ ] ПАУЗА_ТРИГЕР.Q -----( S ) Стан_ПАУЗА  
    | // --- Скидання аварії
```

```

|----[ ] HMI_СКИДКА_АВАРІЇ -----[ R_TRIG ]
СКИДКА_АВАРІЇ_ТРИГ
|----[ ] СКИДКА_АВАРІЇ_ТРИГ.Q -----( R ) АВАРІЙНИЙ_СТАН
| // --- Якщо є аварія — зупинити ПУСК
|----[ ] АВАРІЙНИЙ_СТАН -----( R ) Стан_ПУСК
| // --- Машина працює лише якщо є ПУСК і нема АВАРІЇ
|----[ ] Стан_ПУСК
| [ NOT ] АВАРІЙНИЙ_СТАН -----( ) Машина_Працює
| // --- Ініціалізація параметрів з HMI
|----[ ] Машина_Працює -----( MOVE ) HMI_Частота ->
Швидкість_Шпинделя
|----[ ] Машина_Працює -----( MOVE ) HMI_Режим ->
Поточний_Режим
|----[ ] Машина_Працює -----( MOVE ) HMI_X -> Ціль_X
|----[ ] Машина_Працює -----( MOVE ) HMI_Z -> Ціль_Z
| // ==== Підпрограма керування шпинделем ====
| // --- Умова запуску шпинделя
|----[ ] Машина_Працює
| [ NOT ] Аварія_Шпинделя -----( S ) Шпиндель_Запуск
|----[ NOT ] Машина_Працює -----( R ) Шпиндель_Запуск
|----[ ] Аварія_Шпинделя -----( R ) Шпиндель_Запуск
| // --- Команда на вихід
|----[ ] Шпиндель_Запуск -----( ) Вихід_Шпиндель_ON
| // --- Зміна частоти обертання
|----[ ] Шпиндель_Запуск -----( MOVE ) Швидкість_Шпинделя ->
Частотник_Вхід
| // --- Контроль перегріву шпинделя
|----[ ] Датчик_Перегріву_Шпинделя -----( S ) Аварія_Шпинделя
| // ==== Підпрограма керування подачею по X ====
|----[ ] Машина_Працює
| [ NOT ] Кінцевик_X_Правий

```

```

| [ < ] Поточна_Коорд_X < Ціль_X -----() Рух_Вправо_X
|----[ ] Машина_Працює
| [ NOT ] Кінцевик_X_Лівий
| [ > ] Поточна_Коорд_X > Ціль_X -----() Рух_Вліво_X
| // ===== Подача по Z =====
|----[ ] Машина_Працює
| [ NOT ] Кінцевик_Z_Передній
| [ < ] Поточна_Коорд_Z < Ціль_Z -----() Рух_Вперед_Z
|----[ ] Машина_Працює
| [ NOT ] Кінцевик_Z_Задній
| [ > ] Поточна_Коорд_Z > Ціль_Z -----() Рух_Назад_Z
| // ===== Підпрограма логування подій =====
| // --- Логування ПУСК
|----[ R_TRIG ] ПУСК_ТРИГЕР -----() Записати_ПУСК_Час
| // --- Логування СТОП
|----[ R_TRIG ] СТОП_ТРИГЕР -----() Записати_СТОП_Час
| // --- Логування аварії
|----[ R_TRIG ] АВАРІЙНИЙ_СТАН -----() Записати_АВАРІЯ
| // ===== Лічильник деталей =====
| // --- Обробка завершена
|----[ R_TRIG ] Сигнал_Обробка_Завершена -----( STU ) Лічильник_Деталей
| // --- Збереження значення
|----[ ] Лічильник_Деталей.DONE -----( MOVE ) Лічильник_Деталей.CV -
> Збережено_В_Память
| // --- Обнулення з HMI
|----[ ] HMI_Скидання_Лічильника -----( R ) Лічильник_Деталей
| // ===== Таймер бездіяльності (пауза > 2 хвилини) =====
|----[ ] Стан_ПАУЗА -----( TON ) Таймер_Пауза
| PT := T#2m
| // --- Якщо пауза триває довше 2 хв — логування
|----[ ] Таймер_Пауза.Q -----() Записати_Пауза_Тривала

```

```

| // ===== Відображення станів на HMI =====
|----[ ] Машина_Працює -----( MOVE ) 1 -> HMI_Стан_Машини
|----[ NOT ] Машина_Працює -----( MOVE ) 0 -> HMI_Стан_Машини
|----[ ] Стан_ПАУЗА -----( MOVE ) 1 -> HMI_Пауза
|----[ NOT ] Стан_ПАУЗА -----( MOVE ) 0 -> HMI_Пауза
|----[ ] АВАРІЙНИЙ_СТАН -----( MOVE ) 1 -> HMI_Аварія
|----[ NOT ] АВАРІЙНИЙ_СТАН -----( MOVE ) 0 -> HMI_Аварія
|----[ ] Стан_ПУСК -----( MOVE ) 1 -> HMI_Пуск
|----[ NOT ] Стан_ПУСК -----( MOVE ) 0 -> HMI_Пуск
|----[ ] Лічильник_Деталей.CV -----( MOVE ) ->
HMI_Кількість_Деталей

| // ===== Обробка сигналу завершення обробки =====
|----[ ] Датчик_Кінцевий_Обробка
| [ R_TRIG ] -----( ) Сигнал_Обробка_Завершена
| // ===== Захист: зупинка при довгому русі подачі =====
| // --- Таймер контролю руху
|----[ ] Рух_Вправо_X OR Рух_Вліво_X
| OR Рух_Вперед_Z OR Рух_Назад_Z -----( TON ) Таймер_Руху
| PT := T#1m
|----[ ] Таймер_Руху.Q -----( S ) АВАРІЯ_Зависання_Подачі
|----[ ] АВАРІЯ_Зависання_Подачі -----( S ) АВАРІЙНИЙ_СТАН
|----[ ] АВАРІЯ_Зависання_Подачі
| [ ] HMI_СКИДКА_АВАРІЇ -----( R ) АВАРІЯ_Зависання_Подачі
| // ===== Додаткові стани відображення на HMI =====
|----[ ] АВАРІЯ_Зависання_Подачі -----( MOVE ) 1 -> HMI_Аварія_Подачі
|----[ NOT ] АВАРІЯ_Зависання_Подачі -----( MOVE ) 0 ->
HMI_Аварія_Подачі
|----[ ] Перевищено_Темп_Шпинделя -----[ R_TRIG ] -> Аварія_Шпинделя
| // ===== Захист шпинделя: затримка перезапуску після перегріву =====
|----[ ] Перевищено_Темп_Шпинделя -----[ TON ] Таймер_Охолодження
|
PT := T#5m

```

```

|----[ ] Таймер_Охолодження.Q -----( R ) Аварія_Шпинделя
      | // ==== Керування лампою стану машини ====
|----[ ] Машина_Працює -----( ) Лампа_Зелена
|----[ ] АВАРІЙНИЙ_СТАН -----( ) Лампа_Червона
|----[ ] Стан_ПАУЗА -----( ) Лампа_Жовта
|----[ NOT ] Машина_Працює -----( R ) Лампа_Зелена
|----[ NOT ] АВАРІЙНИЙ_СТАН -----( R ) Лампа_Червона
|----[ NOT ] Стан_ПАУЗА -----( R ) Лампа_Жовта
      | // ==== Зберігання часу запуску/зупинки ====
|----[ R_TRIG ] ПУСК_ТРИГЕР -----( ) Отримати_Час(->
Час_Старту)
|----[ R_TRIG ] СТОП_ТРИГЕР -----( ) Отримати_Час(->
Час_Зупинки)
      | // ==== Обнулення всіх станів при перезавантаженні контролера ====
|----[ ] Системний_Рестарт -----( R ) Стан_ПУСК
|----[ ] Системний_Рестарт -----( R ) Стан_ПАУЗА
|----[ ] Системний_Рестарт -----( R ) АВАРІЙНИЙ_СТАН
|----[ ] Системний_Рестарт -----( R ) Лампа_Зелена
|----[ ] Системний_Рестарт -----( R ) Лампа_Жовта
|----[ ] Системний_Рестарт -----( R ) Лампа_Червона
      | // ==== Додаткове логування змін станів ====
|----[ R_TRIG ] Стан_ПУСК -----( ) Додати_Журнал("Пуск
системи")
|----[ R_TRIG ] Стан_ПАУЗА -----( ) Додати_Журнал("Пауза")
|----[ R_TRIG ] АВАРІЙНИЙ_СТАН -----( ) Додати_Журнал("Аварія")
      | // ==== Підрахунок деталей та межі ====
|----[ ] Лічильник_Деталей.CV >= Максимум_Деталей
|----( S ) Перевищено_Квоту
|----[ ] Перевищено_Квоту -----( R ) Стан_ПУСК
|----[ ] Перевищено_Квоту -----( S ) Стан_ПАУЗА

```

|----[] Перевищено_Квоту -----(MOVE) 1 ->

НМІ_Квота_Досягнута

|----[NOT] Перевищено_Квоту -----(MOVE) 0 ->

НМІ_Квота_Досягнута

| // ===== Антидребезг для кнопок НМІ =====

|----[] НМІ_ПУСК -----[R_TRIG] ПУСК_ТРИГЕР

|----[] НМІ_СТОП -----[R_TRIG] СТОП_ТРИГЕР

|----[] НМІ_ПАУЗА -----[R_TRIG] ПАУЗА_ТРИГЕР

|----[] НМІ_СКИДКА_АВАРІЇ -----[R_TRIG]

СКИДКА_АВАРІЇ_ТРИГЕР

| // ===== Підпрограма керування частотником (Шпиндель) =====

|----[] ШПИНДЕЛЬ_ВКЛ -----() Вихід_Частотник_СТАРТ

|----[NOT] ШПИНДЕЛЬ_ВКЛ -----(R) Вихід_Частотник_СТАРТ

|----[] Частота_Шпинделя <> 0 -----(MOVE) Частота_Шпинделя -

> Вихід_Частотник_Значення

|----[] Перевищено_Температуру_Шпинделя -----(S) АВАРІЯ_ШПИНДЕЛЬ

|----[] Датчик_Перегріву -----(S) АВАРІЯ_ШПИНДЕЛЬ

|----[] АВАРІЯ_ШПИНДЕЛЬ -----(R) Вихід_Частотник_СТАРТ

| // ===== Зв'язок з сервоприводами X/Z =====

|----[] КОМАНДА_РУХ_X_ВПРАВО -----() Сигнал_СервоX -> Вправо

|----[] КОМАНДА_РУХ_X_ВЛІВО -----() Сигнал_СервоX -> Вліво

|----[] КОМАНДА_РУХ_Z_ВПЕРЕД -----() Сигнал_СервоZ -> Вперед

|----[] КОМАНДА_РУХ_Z_НАЗАД -----() Сигнал_СервоZ -> Назад

| // ===== Зворотний зв'язок: позиції/координати =====

|----[] Отримати_Координату_X -----(MOVE) ->

НМІ_Координата_X

|----[] Отримати_Координату_Z -----(MOVE) ->

НМІ_Координата_Z

| // ===== Обробка помилок сервоприводів =====

|----[] СЕРВО_ПОМИЛКА_X -----(S) АВАРІЯ_СЕРВО_X

|----[] СЕРВО_ПОМИЛКА_Z -----(S) АВАРІЯ_СЕРВО_Z

```

|----[ ] АВАРІЯ_СЕРВО_X OR АВАРІЯ_СЕРВО_Z -----( S ) АВАРІЙНИЙ_СТАН
|----[ ] АВАРІЯ_СЕРВО_X -----( MOVE ) 1 ->
HMI_Аварія_Серво_X
|----[ ] АВАРІЯ_СЕРВО_Z -----( MOVE ) 1 ->
HMI_Аварія_Серво_Z

| // ===== Логування аварій =====
|----[ R_TRIG ] АВАРІЯ_ШПИНДЕЛЬ -----( ) Додати_Журнал("Аварія:
Шпиндель")
|----[ R_TRIG ] АВАРІЯ_СЕРВО_X -----( ) Додати_Журнал("Аварія:
Серво X")
|----[ R_TRIG ] АВАРІЯ_СЕРВО_Z -----( ) Додати_Журнал("Аварія:
Серво Z")

| // ===== Обробка сигналів стопів (апаратні STOP) =====
|----[ ] КНОПКА_СТОП_ПАНЕЛЬ -----( R ) Усі_Виходи_OFF
|----[ ] АВАРІЙНИЙ_СТАН -----( R ) Усі_Виходи_OFF
|----[ ] Усі_Виходи_OFF -----( R ) Вихід_Частотник_СТАРТ
|----[ ] Усі_Виходи_OFF -----( R ) Сигнал_СервоX
|----[ ] Усі_Виходи_OFF -----( R ) Сигнал_СервоZ

| // ===== Повернення у вихідне положення =====
|----[ ] СТОП_ТРИГЕР
| [ ] Автомат_Працював
| [ ] NOT АВАРІЙНИЙ_СТАН -----( )
Команда_Повернути_XZ_В_Нуль

| // ===== Завершення циклу обробки =====
|----[ ] Сигнал_Обробка_Завершена -----( INC ) Лічильник_Деталей
| // ===== Скидання даних по кнопці "Обнулити лічильник" =====
|----[ ] HMI_Обнулити_Лічильник -----( R ) Лічильник_Деталей

| // ===== Збереження лічильника в EEPROM =====
|----[ F_TRIG ] Лічильник_Деталей.Зміна -----( ) EEPROM_Запис(-> Лічильник )

| // ===== Завантаження лічильника при старті =====

```

|----[] Системний_Рестарт -----() EEPROM_Читання(->
Лічильник)

| // ===== Аварійна команда на відключення всього =====

|----[] HMI_СТОП

| OR КНОПКА_СТОП_ПАНЕЛЬ

| OR АВАРІЙНИЙ_СТАН -----()

Виконати_Безпечне_Відключення

| // ===== Формування журналу подій =====

|----[R_TRIG] СТАРТ_ОБРОБКИ -----() Додати_Журнал("Старт
обробки деталі")

|----[R_TRIG] СТОП_ТРИГЕР -----() Додати_Журнал("Зупинка
процесу")

|----[R_TRIG] ПАУЗА_ТРИГЕР -----() Додати_Журнал("Пауза
процесу")

|----[R_TRIG] СКИДКА_АВАРІЇ_ТРИГЕР -----()

Додати_Журнал("Скидання аварій")

| // ===== Створення запису про завершення обробки =====

|----[] Сигнал_Обробка_Завершена -----() Додати_Журнал("Обробка
завершена")

| // ===== Реєстрація часу подій (використання системного таймера)

=====

|----[R_TRIG] Додати_Журнал -----() Журнал_Час :=

Системний_Час

|----[R_TRIG] Додати_Журнал -----() Журнал_Подія :=

Вхідна_Подія

| // ===== Передача журналу на HMI або в зовнішній пристрій =====

|----[] HMI_Запрос_Журналу -----() Передати_Журнал_На_HMI

| // ===== Контроль живлення та енергозбереження =====

|----[] НЕАКТИВНІСТЬ > 10 хв -----() Перейти_В_Стан_Очікування

|----[] Стан_Очікування -----() Вимкнути_Подачі_I_Шпиндель

|----[] HMI_АКТИВАЦІЯ -----(R) Стан_Очікування

```

| // ===== Автоматичне відновлення після помилок =====
|----[ ] HMI_СКИДКА_АВАРІЇ
| [ ] НЕ активний СТОП -----( R ) АВАРІЯ_ШПИНДЕЛЬ
| [ ] НЕ активний СТОП -----( R ) АВАРІЯ_СЕРВО_X
| [ ] НЕ активний СТОП -----( R ) АВАРІЯ_СЕРВО_Z
|----[ ] HMI_СКИДКА_АВАРІЇ -----( R ) АВАРІЙНИЙ_СТАН
| // ===== Вивід статусів на HMI =====
|----[ ] АВАРІЙНИЙ_СТАН -----( MOVE ) 1 ->
HMI_Аварійний_Стан
|----[ ] Стан_Очікування -----( MOVE ) 1 -> HMI_Очікування
|----[ ] УПРАВЛІННЯ_АКТИВНЕ -----( MOVE ) 1 ->
HMI_Управління
| // ===== Підтримка модульної діагностики =====
|----[ ] HMI_Запрос_Діагностики -----( ) Передати_Стан_Модулів
|----[ ] NOT Стан_МодульX -----( MOVE ) 1 ->
HMI_Помилка_МодульX
|----[ ] NOT Стан_МодульZ -----( MOVE ) 1 ->
HMI_Помилка_МодульZ
| // ===== Формування звіту про завершення циклу =====
|----[ ] Сигнал_Обробка_Завершена -----( ) Створити_Звіт(
Деталь_ID, Час_Початку, Час_Кінця, Режим )
| // ===== Передача даних в базу або SCADA =====
|----[ ] SCADA_АКТИВНА
| [ ] Сигнал_Обробка_Завершена -----( ) Передати_Звіт_У_SCADA
| // ===== Обнулення аварій за умови готовності =====
|----[ ] Усі_Умови_Нормальні
| [ ] HMI_СКИДКА_АВАРІЇ -----( R ) ВСІ_АВАРІЇ_СБРОШЕНІ
| // ===== Затримка перед запуском після аварії =====
|----[ ] ВСІ_АВАРІЇ_СБРОШЕНІ
| [ TON ] t#2s -----( ) Готовність_До_Рестарту
|----[ ] Готовність_До_Рестарту

```

```

| [ ] ПУСК_ТРИГЕР -----( ) Відновити_Цикл_Обробки
| // ==== Перезапуск після аварії ====
|----[ ] ВСІ_АВАРІЇ_СБРОШЕНІ
| [ ] ПУСК_ТРИГЕР -----( )
ДОЗВІЛ_РОБОТИ_ПІСЛЯ_АВАРІЇ
| // ==== Підключення кінцевих вимикачів X і Z ====
|----[ ] Кінцевик_X_Мін -----( ) Стан_X_Мін := 1
|----[ ] Кінцевик_X_Макс -----( ) Стан_X_Макс := 1
|----[ ] Кінцевик_Z_Мін -----( ) Стан_Z_Мін := 1
|----[ ] Кінцевик_Z_Макс -----( ) Стан_Z_Макс := 1
| // ==== Заборона руху при досягненні кінцевиків ====
|----[ ] Кінцевик_X_Макс -----( R ) Дозвіл_Руху_X_+
|----[ ] Кінцевик_X_Мін -----( R ) Дозвіл_Руху_X_-
|----[ ] Кінцевик_Z_Макс -----( R ) Дозвіл_Руху_Z_+
|----[ ] Кінцевик_Z_Мін -----( R ) Дозвіл_Руху_Z_-
| // ==== Підключення координат візуалізації ====
|----[ ] Оновлення_Координат -----( MOVE ) Позиція_X -> HMI_X
|----[ ] Оновлення_Координат -----( MOVE ) Позиція_Z -> HMI_Z
| // ==== Відображення стану лічильника деталей ====
|----[ ] HMI_Запрос_Лічильника -----( MOVE ) Лічильник_Деталей ->
HMI_Лічильник
| // ==== Обнулення лічильника з HMI ====
|----[ R_TRIG ] HMI_Скидання_Лічильника -----( ) Лічильник_Деталей := 0
| // ==== Збільшення лічильника після завершення обробки ====
|----[ R_TRIG ] Сигнал_Обробка_Завершена -----( ADD ) Лічильник_Деталей
+1 -> Лічильник_Деталей
| // ==== Відображення активного режиму ====
|----[ ] Режим_Авто -----( MOVE ) 1 -> HMI_Режим_Авто
|----[ ] Режим_Ручний -----( MOVE ) 1 -> HMI_Режим_Ручний
| // ==== Загальний стан системи на HMI ====
|----[ ] Готовність_До_Роботи -----( MOVE ) 1 -> HMI_Готовність

```

```

|----[ ] Аварійний_Стан -----( MOVE ) 1 -> HMI_Аварія
|----[ ] Цикл_Активний -----( MOVE ) 1 -> HMI_Цикл
| // ===== Відображення частоти обертання шпинделя =====
|----[ ] Оновлення_Частоти -----( MOVE ) Частота ->
HMI_Частота
| // ===== Завершення циклу обробки =====
|----[ ] Логічний_Кінець_Циклу -----( ) Оновити_Лічильник_Циклів
|----[ ] Оновити_Лічильник_Циклів ----- ( ADD ) Лічильник_Циклів +1 ->
Лічильник_Циклів
| // ===== Режим самотесту після запуску =====
|----[ R_TRIG ] ПЕРШИЙ_ЗАПУСК -----( ) Самотест_Успішно
|----[ ] НЕ Самотест_Успішно -----( ) СТАН_АВАРІЇ := 1
| // ===== Завершення циклу програми (еквівалент END) =====
|----[ ] Програма_Запущена -----( ) Цикл_Виконано := TRUE

```

Основна логіка передбачає запуск обробки через натискання кнопки «ПУСК» на ПК. Після цього відбувається послідовна активація головного приводу шпинделя, включення системи охолодження та ініціація подачі інструменту по осі X. Далі, після досягнення проміжної координати, починається переміщення по осі Z. Завершення обробки фіксується сигналом «КІНЕЦЬ ЦИКЛУ», після чого активується підрахунок завершених деталей і можливість запуску нового циклу.

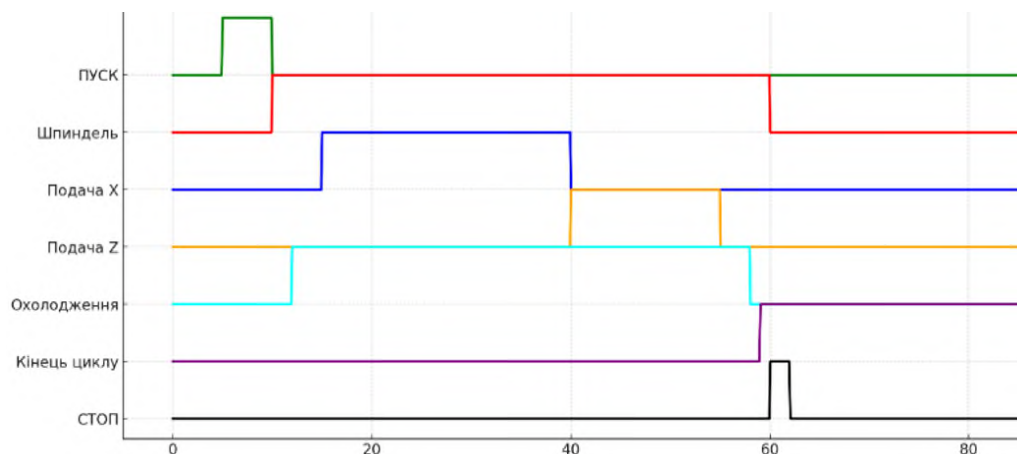


Рисунок 3.7 – Циклограма роботи патронно–центрового верстату 16Б16Ф3

Розроблена циклограма роботи системи візуально підтверджує правильність роботи логіки. Графік демонструє часову послідовність активації кожного з компонентів системи: з моменту натискання «ПУСК» відбувається запуск шпинделя, охолодження, подача по X , потім Z , завершення процесу та зупинка. Затримки між етапами програмно реалізуються через вбудовані таймери, що дозволяє досягти стабільного і координованого керування.

Особливу увагу приділено обробці аварійних ситуацій. У випадку перевантаження, перегріву або втрати сигналу з кінцевих вимикачів, програма негайно зупиняє усі процеси, активує аварійну індикацію на ПК і очікує на скидання сигналу аварії.

Програма реалізована на 753 рядках коду, що охоплюють усі аспекти роботи системи: від взаємодії з користувачем до контролю координат, швидкості подачі та безпеки. Застосування мов релейної логіки забезпечує наочність, простоту в обслуговуванні та модифікації системи.

Таким чином, розроблений код повністю реалізує функціональну схему керування, забезпечує високий рівень автоматизації та відповідає сучасним вимогам до ефективного керування верстатами з ЧПК.

Висновки за розділом 3

У даному розділі було детально розроблено та описано програмне забезпечення для системи автоматичного керування токарного верстата з ЧПК на базі ПЛК *Siemens S7-1200*. Застосовуючи мову релейно-контактної логіки (*Ladder Diagram*), вдалося реалізувати повний цикл роботи верстата, починаючи від ініціалізації процесу через ПК, до завершення обробки, логування подій та підрахунку готових деталей.

Структура програми була розбита на логічно ізольовані підпрограми, що дозволяє забезпечити модульність, простоту тестування, гнучкість при модернізації та зручність обслуговування системи. Описані алгоритми функціонують у відповідності до розробленої функціональної схеми, а побудована циклограма підтверджує правильну та послідовну роботу всіх елементів керування.

Код передбачає обробку аварійних ситуацій, контроль параметрів обробки та взаємодію з оператором через панель ПК. Завдяки цьому досягається високий рівень безпеки, автоматизації та надійності в експлуатації токарного верстата.

Отже, створений програмний продукт повністю відповідає технічним вимогам та забезпечує ефективне функціонування модернізованої системи керування.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Основні положення охорони праці

Охорона праці є напрямком, що охоплює ряд заходів, спрямованих на забезпечення здоров'я та безпеки працівників під час виконання їхніх професійних обов'язків. Вимоги та рекомендації в цій області закріплені законодавчими актами, які містять різноманітні нормативні документи. При цьому охорона праці на підприємствах здійснюється безперервно, незалежно від специфіки діяльності та особливостей робочих процесів.

Охорона праці та техніка безпеки є важливими для всіх працюючих, незалежно від місця роботи: чи то офіс, магазин, завод, чи будь-яке інше підприємство. Дотримання відповідних законів є обов'язковою умовою для відкриття будь-якої нової компанії. Нехтування цими правилами може призвести до адміністративних або навіть кримінальних покарань для відповідальних осіб.

Охорона праці в сучасному розумінні спрямована на:

Забезпечення безпеки та збереження здоров'я працівників під час виконання ними трудових обов'язків.

Врегулювання взаємодії між державними установами, підприємствами та працівниками у сфері охорони праці.

Визначення та впровадження чітких процедур організації заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці.

Охорона праці охоплює широкий спектр навчальних програм, що охоплюють різноманітні теми та галузі. Серед найважливіших і найчастіше висвітлюваних аспектів у цій сфері виділяються:

- забезпечення пожежної безпеки;
- забезпечення електробезпеки;
- заходи цивільного захисту.

Пожежна безпека передбачає реалізацію комплексу заходів, метою яких є мінімізація ймовірності виникнення пожежі. Це дозволяє уникнути матеріальних втрат, а також захистити здоров'я та життя працівників і відвідувачів організації.

Відповідальність за організацію пожежної безпеки на об'єктах господарювання лежить на власниках та керівниках компанії. Насамперед вони повинні:

- організовувати процес забезпечення пожежної безпеки;
- затверджувати інструкції та укази, які сприяють підвищенню рівня пожежної безпеки;
- здійснювати організацію проведення інструктажів та навчання, що стосуються цього питання;
- забезпечити відповідність підприємства законодавчим вимогам щодо пожежної безпеки;
- утримувати у справному стані засоби протипожежного захисту;
- впроваджувати системи автоматичного гасіння вогнищ займання;
- інформувати уповноважені державні органи про тимчасову несправність тих чи інших засобів протипожежного захисту тощо.

Протипожежний режим на підприємстві – це комплекс правил і заходів, спрямованих на мінімізацію небезпеки для життя та здоров'я працівників у разі пожежі. Він охоплює широкий спектр питань, зокрема:

Евакуація: визначення кількості та облаштування шляхів евакуації, враховуючи розміри приміщень та кількість людей, які в них перебувають.

Куріння: встановлення спеціально відведених місць для куріння.

Відкритий вогонь: регламентація використання відкритого вогню.

Електроприлади: правила безпечної експлуатації нагрівальних приладів, таких як чайники та мікрохвильові печі.

Пожежонебезпечні роботи: організація та проведення робіт, пов'язаних з підвищеним ризиком виникнення пожежі.

Інженерні системи: порядок увімкнення та вимкнення інженерних комунікацій, наприклад, вентиляції, у разі пожежі.

Протипожежне обладнання: правила використання та обслуговування засобів пожежогасіння та пожежної сигналізації.

Пожежна охорона: організація та діяльність добровільної пожежної охорони на підприємстві.

Електробезпека – це комплексний підхід, що включає в себе різноманітні дії та інструменти, спрямовані на максимальне убезпечення працівників та відвідувачів від ураження електричним струмом, впливу електромагнітних полів та інших небезпек, пов'язаних з електрикою.

Особливо важливо приділяти увагу електробезпеці при роботі з потужним електрообладнанням, оскільки це значно підвищує ризик нещасних випадків. Тому необхідно чітко знати та дотримуватися основних правил та рекомендацій з електробезпеки.

Керівник підприємства або офісу несе повну відповідальність за забезпечення безпечних умов праці в електротехнічній сфері. Його ключові завдання включають:

- визначення відповідальної особи, яка буде контролювати технічний стан та безпечну експлуатацію електрообладнання;
- створення та затвердження детальних інструкцій, що регламентують безпечне виконання робіт з електрикою;
- організацію систематичної перевірки знань працівників з правил електробезпеки;
- постійне вдосконалення організації робочого процесу з метою мінімізації ризиків, пов'язаних з електрикою;

Електротравма є ключовою проблемою електробезпеки, що виникає внаслідок шкідливого впливу електричного струму на людський організм. До основних причин електротравм належать:

- роботи з електрообладнанням під напругою;
- недостатня кваліфікація працівників;
- ігнорування правил безпеки при роботі з електроустановками;
- помилкова подача напруги на обладнання, де працюють люди;
- проблеми з електропроводкою (низька якість, пошкодження ізоляції, ненадійні з'єднання);
- відсутність належного попередження про електричну небезпеку.

З метою недопущення подібних інцидентів, існують чіткі правила, навчання та система перевірок, які забезпечуються державними органами, що мають відповідні повноваження.

Забезпечення цивільного захисту на підприємстві – це комплекс заходів, спрямованих на гарантування безпеки працівників, майна та безперервності діяльності у випадку надзвичайних ситуацій, таких як стихійні лиха, техногенні аварії або воєнні дії. Ці заходи базуються на законодавстві України, включаючи Конституцію, Кодекс цивільного захисту та інші нормативні акти. Система цивільного захисту функціонує в різних режимах, залежно від рівня загрози: від звичайного режиму до режиму надзвичайного стану.

4.2. Безпека праці під час виконання робіт на патронно-центрових верстатах

Щоб уникнути травм під час роботи на патронно-центрових верстатах, потрібно дотримуватися наступних правил:

Перед початком робіт.

Ретельно ознайомитися з інструкцією з техніки безпеки, що надається підприємством для вашої професії.

Пройти інструктаж у майстра з техніки безпеки щодо конкретних завдань на день.

Перед початком роботи необхідно впорядкувати свій зовнішній вигляд: застібнути гудзики на рукавах, заправити комбінезон і сховати волосся під головний убір (рис. 4.1). Недбале ставлення до спеціального одягу може стати причиною серйозних травм, якщо елементи одягу потраплять у зону дії рухомих частин верстата.

Слід переконаватися у справності верстата: перевірити наявність захисних кожухів на зубчастих передачах і приводних пасах, а також належне розташування місцевого освітлення, яке не повинно засліплювати. Необхідно протестувати верстат на холостому ході, впевнитися у справності кнопок «Пуск» і «Стоп», органів керування, гальм, систем змащення й охолодження, а

також підіймальних і вантажних пристроїв. Особливу увагу слід звернути на надійність заземлення електродвигуна, шафи з електрообладнанням та станини.

Робоче місце має бути впорядкованим: слід прибрати зайві предмети з верстата та зони навколо нього, зручно розмістити тару для заготовок і готових деталей, перевірити справність дерев'яної решітки. У разі виявлення несправності у верстаті або його електрообладнанні, необхідно негайно повідомити майстра або чергового слюсаря (електрика) і не приступати до роботи до усунення проблеми.

Під час встановлення або знімання заготовок масою понад 20 кг обов'язково слід користуватися підйомними механізмами, надійно закріплювати заготовку стропами й лише після її фіксації знімати підвіс. Для знімання чи встановлення важкого патрона необхідно використовувати спеціальні пристрої.

Під час заточування заборонено підводити інструмент до торцевої частини плоского круга, залишати великий зазор між підручником і кругом чи сильно притискати інструмент. Обов'язковим є використання захисного щитка або окулярів.

Отримавши інструмент з комори, слід перевірити його справність: відсутність забоїв на конусних хвостовиках, тріщин на твердосплавних пластинах, відколів або пошкоджень різальних кромek, а також надійність кріплення ріжучих елементів.

Категорично заборонено знімати чи відкривати захисні огорожі й запобіжні пристрої, знімати щитки з електрообладнання, відкривати дверцята електрошафи або торкатися до клем.

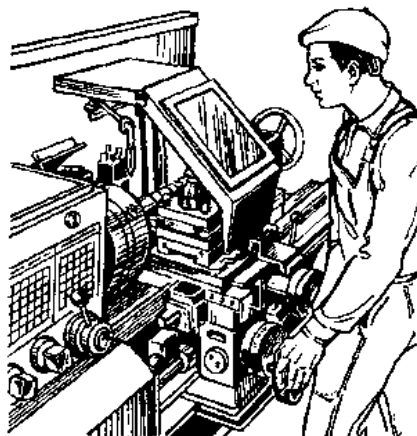


Рисунок 4.1 – Безпечна робота токаря з використанням захисного екрану

Під час роботи та після завершення зміни слід дотримуватися правил безпеки. Очі необхідно захищати від стружки за допомогою захисного екрана (рис. 4.1), спеціальних окулярів (рис.4.2, а) або захисного щитка (рис. 4.2, б). Патрон верстата повинен бути прикритий запобіжним щитком.



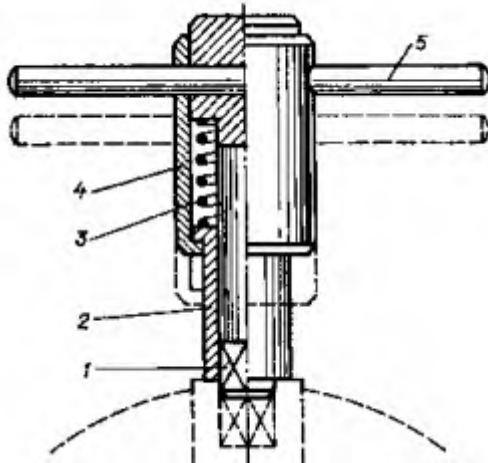
а – захисні окуляри, б) – захисний щіток

Рисунок 4.2 – Персональні засоби захисту очей

Слід уважно стежити за тим, щоб охолоджувальна рідина або мастило не потрапляли на дерев'яну решітку чи підлогу в зоні робочого місця. У разі витікання мастила з картерів верстата необхідно негайно викликати слюсаря. Категорично забороняється спиратися на верстат під час його роботи.

Працюючи із жорстким заднім центром, важливо вчасно заповнювати центрові отвори заготовок мастилом і періодично перевіряти, чи не ослаб задній центр — для цього потрібно підтягувати маховичок задньої бабки. Не дозволяється розсовувати кулачки патрона настільки, щоб вони виходили за межі корпусу. Якщо задній центр не використовується, можна закріплювати лише короткі заготовки; довгі — обов'язково слід підтримувати задньою бабкою.

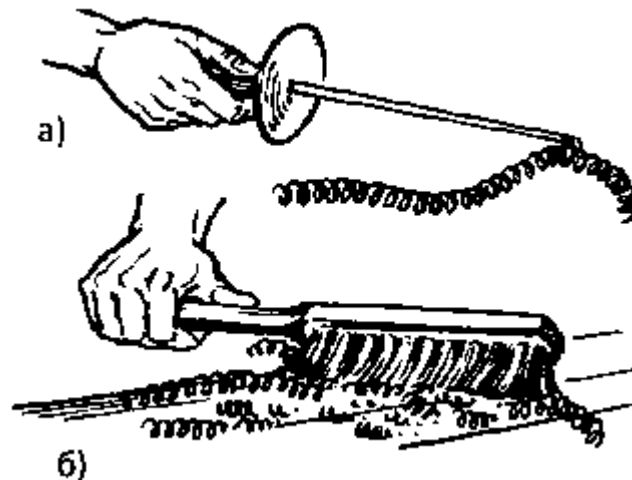
Заготовки, що підлягають обробці, мають бути надійно закріплені — у патроні, центрах або на оправці. Не можна подовжувати рукоятку ключа при затисканні заготовок у патроні; слід користуватися самовідкидним ключем (див. рис. 4.3). Заборонено підкладати сторонні предмети між зівом ключа й гранями гайки. Інструмент необхідно кріпити правильно та надійно, використовуючи мінімальну кількість підкладок під різець.



1 – ключ, 2 – втулка, 3 – пружина 4 – корпус стакан, 5 – рукоятка

Рисунок 4.3 – Ключ для патрона з автоматичним викидом

Видаляти стружку дозволяється лише після повної зупинки верстата. Для цього потрібно використовувати гачок і щітку (рис. 4.4). Працювати в рукавицях на верстаті не дозволяється. Якщо на пальці є бинт, його слід захистити гумовим чохлом. Витирати руки потрібно лише чистим ганчір'ям.



а) – гачка, б) - щітка

Рисунок 4.4 – Очищення верстата від стружки

Не слід відрізати пруток, якщо його виліт зі шпинделя є надто великим. Виступаючий кінець прутка з неробочого боку шпинделя обов'язково потрібно огорожувати спеціальним трубчастим кожухом. Вимірювання за допомогою

універсального вимірювального інструменту або калібрів дозволяється виконувати лише після повної зупинки верстата.

У випадку травмування необхідно негайно звернутися до медичного пункту.

Після завершення роботи потрібно вимкнути електродвигун верстата, очистити його та змастити. Заготовки й оброблені деталі слід акуратно розмістити на робочому місці, а весь використаний інструмент — повернути до інструментальної шафи.

У разі виявлення будь-яких несправностей у роботі верстата обов'язково повідомити про це майстра.

4.3. Безпека праці при обслуговуванні верстатів з ЧПК (ПЛК) і гнучких виробничих модулів (ГВМ)

Особливу увагу необхідно приділяти питанням безпеки праці під час обслуговування автоматизованих верстатів, у тому числі верстатів з ЧПК. У верстатах з ЧПК та інших автоматизованих верстатах програмовані переміщення супортів, зміна інструменту поворотом револьверної головки або автооператором з магазину здійснюються з високими швидкостями. Як правило, ці рухи починаються автоматично, несподівано для оператора, тому вони становлять більшу небезпеку для робітника, ніж такі ж рухи на верстатах із ручним керуванням.

Збої в роботі системи управління верстатом або не налагоджена керуюча програма можуть призвести до раптових порушень нормального режиму обробки, наприклад до врізання різця в заготівлю або патрон. Зламаний інструмент або заготівля, що вирвалася, можуть нанести важку травму робітнику.

Щоб запобігти можливості травмування оператора робочими органами, що швидко рухаються, у верстатах з ЧПК та інших автоматизованих верстатах, як правило, передбачається огорожа, що закриває робочу зону верстата і дозволяє спостерігати за процесом обробки через прозорий екран. Огородження блокує

при його переміщенні включення основних механізмів верстата, тобто не дозволяє працювати при відкритій робочій зоні верстата.

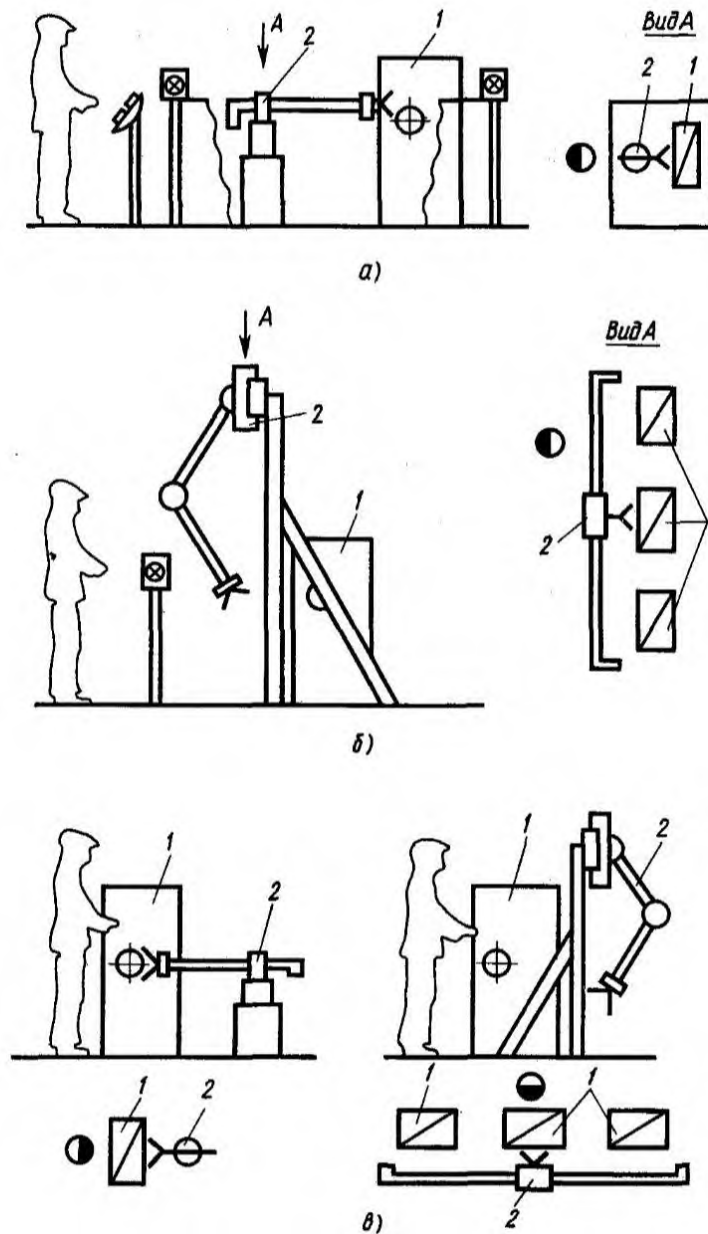
Ще більшу небезпеку становлять ГВМ, що включають автоматизований верстат, як правило, з ЧПК та промисловий робот (ПР), що здійснює подачу заготовок від місця складування в робочу зону і назад. Переміщення робочих органів ПР при завантаженні та розвантаженні виходять за межі робочої зони верстата.

Аварійні ситуації можуть виникнути внаслідок збоїв у роботі системи керування ПР або верстата з ЧПК, помилкових дій оператора при налагодженні верстата або ПР, знаходження людини на шляху руху ПР в автоматичному режимі, у тому числі внаслідок неправильного розміщення пульта керування верстата в зоні дії ПР. Чим повнішою є інформація обслуговуючого персоналу про можливі ситуації на ГВМ та ДПС, скомпонованих з технологічних модулів, тим нижче травматизм на ділянці.

Безпека при експлуатації ГПС забезпечується їх раціональним плануванням, безпечною та безаварійною роботою технологічного обладнання, що входить до складу ДПС.

Планування ДПС має передбачати вільний, зручний та безпечний доступ обслуговуючого персоналу до технологічного та допоміжного обладнання, пульта управління цим обладнанням для його налагодження та відключення при аварійних ситуаціях. Важливим фактором попередження травматизму є гарне освітлення, огляд і яскраве забарвлення найбільш небезпечних робочих органів ДПМ, що рухаються.

Нижче представлені три варіанти компоновання ГВМ (рис 4.5), що складається з токарного верстата та ПР.



а) – виробниче обладнання, б; в) – промисловий робот

Рисунок 4.5 – Компонування ГВМ

Перший варіант (рис. 4.5 а) характеризується необхідністю знаходження оператора в зоні дії ПР при налагодженні верстата. Робоча зона ПР має огорожу з усіх боків, щоб унеможливити перебування людини в робочій зоні робота під час автоматичної роботи ГПМ. Якщо робочий відчинить хвіртку 4 огороження і увійде в робочу зону ПР, робота робота миттєво блокується, чим забезпечується безпека знаходження всередині огороження обслуговуючого персоналу. При автоматичній роботі модуль оператор спостерігає і в разі необхідності керує технологічним і транспортним обладнанням з пульта управління, винесеного за межі огороження.

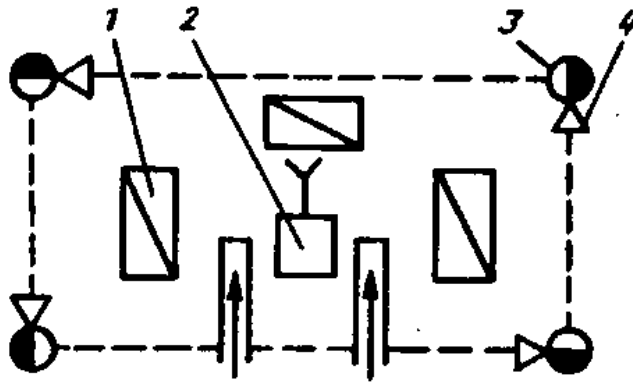
У другому варіанті (рис. 4.5 б) ПР може керувати кількома верстатами. Він розташований з боку доступу до робочої зони верстата, тому оператор може знаходитися в межах робочої зони ПР. Як і в попередньому випадку, основним засобом забезпечення безпеки обслуговування модуля є блокувальні пристрої, що зупиняють роботу. Для огороження робочої зони може бути використаний світловий промінь із фотоелектричним датчиком.

Обидва варіанти не виключають повністю аварійних ситуацій, оскільки можливі відмови блокувальних пристроїв або їх навмисне вимкнення.

У третьому варіанті компоновання (рис. 4.5, в) робочі зони ПР та оператора знаходяться по різних сторонах верстата та поява людини в робочій зоні ПР відбувається рідше. Проте надійна робота блокуючих пристроїв і в цьому варіанті є обов'язковою.

Огороження робочої зони ПР повинно розміщуватися на видалення не менше 0,8 м і може бути виконане з контактними, ультразвуковими, світлолокаційними та іншими датчиками. Розроблено систему світлозахисту робочої зони ПР, виконану за модульним принципом і забезпечує надійний захист людини за будь-якої компоновання ГВМ. Система складається з світловипромінювачів та фотоприймачів, розміщених на стійках, і блоку логічних перетворювачів. Стійки випромінювачів і фотоприймачів розміщуються попарно в потрібних ділянках робочої зони і реагують на перекриття світлового променя людиною або предметом, що з'явився в робочій зоні ПР.

Блок логічних перетворювачів визначає ділянку робочої зони, в якому знаходиться людина і формує команду на гальмування та зупинку ПР при підході до цієї ділянки. Система світлозахисту дозволяє контролювати до 12 ділянок робочої зони ПР. Один із варіантів огороження ГПС (рис 4.6). Три верстати 1 обслуговуються одним роботом 2. Стійки світловипромінювачів 3 і фотоприймачів 4 встановлені попарно, огорожуючи робочу зону ПР.



1 – верстат, 2 – робот, 3 – світловипромінювач, 4 – фотоприймач

Рисунок 4.6 – Огородження ГВМ світло-випромінювачами

4.4. Розрахунок нормування праці робітників багатOVERстатників

БагатOVERстатним обслуговуванням називають таку форму організації праці, при якій один робітник виготовляє продукцію одночасно на декількох верстатах (машинах, агрегатах).

Для кожної запланованої групи верстатів обчислюється показник, що відображає рівень завантаженості робітника, який їх обслуговує.

$$K_3 = \frac{t_p + t_{mp} + t_{ac} + t_n}{T_{оп}}, \quad (4.1)$$

де t_p – час ручних прийомів при виконанні однієї технологічної операції, хв.; t_{mp} – час машинно-ручної роботи, хв.; t_{ac} – час активного спостереження за автоматичною роботою верстата, хв.; t_n – час переходу від одного верстата до інших, хв.; $T_{оп}$ – оперативний час даної операції, хв.

Визначають орієнтовану норму обслуговування, для чого необхідно така умова:

$$K_{31} + K_{32} + K_{3n} \leq 1, \quad (4.2)$$

де K_{31} , K_{32} , K_{3n} – коефіцієнти зайнятості робітника відповідно на першому, другому й іншому верстатах.

Розподіл часу ручних операцій на кожній операції аналізується з метою оптимізації. Якщо ручні дії зосереджені на початку та в кінці, це дозволяє працівнику обслуговувати кожен верстат лише один раз (рис. 4.7). Для

ефективної роботи необхідно, щоб час автоматичної роботи верстата ($T_{ма}$) перевищував час, який працівник витрачає на ручні операції та переходи ($T_з$).

Методика та етапи розрахунку норм обслуговування для робітників, що працюють на декількох верстатах.

Першим кроком є визначення оптимальної кількості верстатів, які може ефективно обслуговувати один робітник (норма обслуговування):

$$H_{оп} = \frac{T_{м.аі} \cdot K_d}{T_{зі}} + 1, \quad (4.3)$$

де $T_{м.аі}$, – час машинно-автоматичної роботи верстата (в автоматичному режимі); $T_{зі}$; - час зайнятості робітника на одному верстаті; K_d – коефіцієнт, що враховує наявність мікропауз у роботі багатOVERSTATНИКА.

Час зайнятості робітника на одному верстаті розраховується за формулою:

$$T_{зі} = T_{дн} + T_{дп} + T_{п} + T_{ас}, \quad (4.4)$$

де $T_{дн}$ – допоміжний час, що не перекривається, хв.; $T_{дп}$ – допоміжний час, що перекривається, хв.; $T_{ас}$ - час активного спостереження, хв.; $T_{п}$ – час переходу робітника між верстатами, хв.

Допоміжний час, що перекривається і не перекривається, визначається за результатами хронометражних спостережень.

Час активного спостереження визначається у відсотках від основного за нормативами.

Витрати часу на перехід від верстата до верстата визначаються в залежності від планування робочих місць.

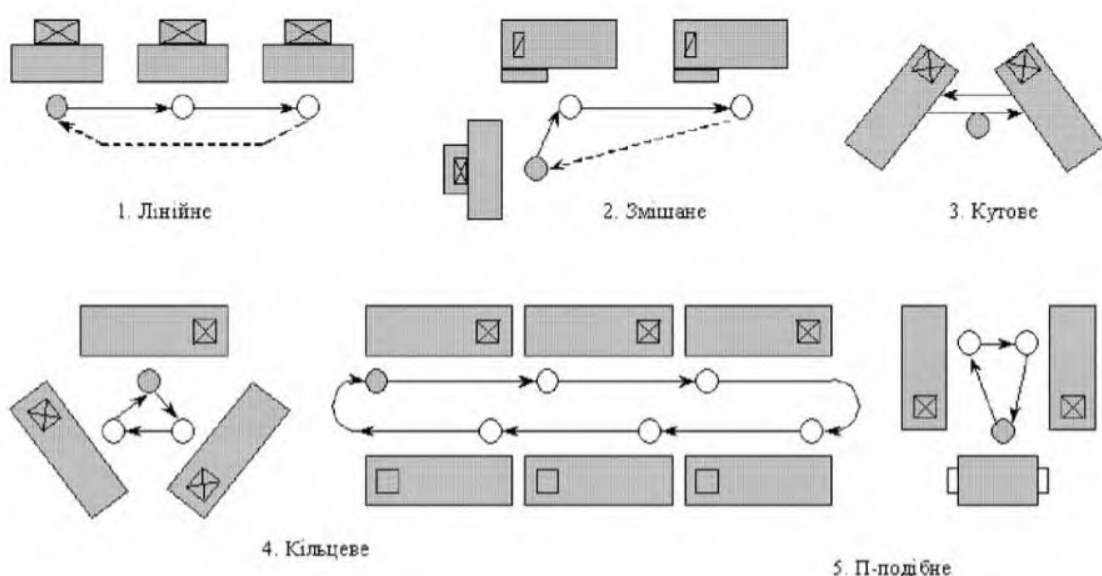


Рисунок 4.7 – Найпоширеніші варіанти розташування устаткування і маршрути руху робітника при багатOVERстатному обслуговуванні

Час машино-автоматичної роботи верстата визначається за наступною формулою:

$$T_{\text{м.аі}} = T_{\text{о}} - T_{\text{дп}} - T_{\text{п}} - T_{\text{ас}}, \quad (4.5)$$

Визначення зміни норми виробітку багатOVERстатника:

$$H_{\text{в}} = \frac{T_{\text{зм}} \cdot H_{\text{об}} \cdot H_{\text{чис}}}{H_{\text{тр}}}, \quad (4.6)$$

де $H_{\text{чис}}$ – норма чисельності, ос.; $H_{\text{тр}}$ – норма тривалості операції, хв.

Норма тривалості операції визначається за формулою:

$$H_{\text{тр}} = \frac{T_{\text{ц}} \cdot T_{\text{зм}}}{T_{\text{зм}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.7)$$

де $T_{\text{пр}}$ – тривалість регламентованих перерв у -роботі устаткування в розрахунку на зміну, хв.

До складу $T_{\text{пр}}$ входять витрати часу на обслуговування робочого місця, що не перекриваються, підготовчо-завершальний час і час на відпочинок та особисті потреби.

Цикл багатOVERстатного обслуговування – час, необхідний для одноразового обслуговування усіх верстатів, знаходиться за формулою:

$$T_{\text{ц}} = \sum T_{\text{зі}} + T_{\text{пр}}, \quad (4.8)$$

Де $T_{\text{пр}}$ – час простоїв працівника.

Час простою працівника багатOVERстатника розраховується за наступною формулою:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{м.аі}} - (H_{\text{об}} - 1) \cdot T_{\text{зі}}$$

Висновок за розділом 4

Даний розділ присвячений питанням охорони праці на виробництві та містить комплексний аналіз організаційних, правових і практичних аспектів забезпечення безпеки працівників. У вступній частині визначено, що охорона праці охоплює систему заходів, спрямованих на збереження здоров'я і життя

працівників під час виконання трудових обов'язків. Особлива увага приділяється нормативно-правовій базі, відповідальності керівництва підприємств, а також важливості постійного контролю за дотриманням правил безпеки.

Розглянуто ключові напрями охорони праці, зокрема пожежну безпеку, електробезпеку та заходи цивільного захисту. Підкреслюється, що успішна реалізація заходів у цих сферах можлива лише за умови належної організації роботи, проведення інструктажів, технічного забезпечення і навчання персоналу.

У підрозділах про безпеку праці на патронно-центрових верстатах та верстатах із числовим програмним керуванням (ЧПК) подано вичерпні інструкції щодо підготовки до роботи, перевірки справності обладнання, користування засобами індивідуального захисту, а також правил поведінки під час аварійних ситуацій. Наголошується на особливій небезпеці автоматизованих систем, де будь-який збій або неуважність оператора може призвести до серйозних травм. У зв'язку з цим описані способи інженерного захисту: огороження, світлові бар'єри, блокування та логічні системи контролю.

Окремо розглянуто тему нормування праці робітників-багатоверстатників. Подано математичні моделі розрахунку навантаження на одного працівника залежно від кількості верстатів, часу автоматичної роботи, переходів, спостереження та допоміжних дій. Такий аналіз дозволяє оптимізувати виробничий процес, уникати простоїв і забезпечити ефективне використання людських ресурсів.

У цілому розділ наголошує на важливості комплексного підходу до питань охорони праці, що включає не лише формальне дотримання правил, але й глибоке розуміння процесів, інженерні рішення та чітке планування роботи на всіх рівнях виробництва.

ВИСНОВОК

У процесі виконання дипломної роботи було розроблено, спроектовано та частково реалізовано модернізовану систему автоматичного керування токарного верстата з числовим програмним керуванням на базі програмованого логічного контролера Siemens S7-1200. Робота охопила аналіз типів токарних верстатів, вибір конкретної моделі (16Б16Ф3), обґрунтування доцільності модернізації та створення нової керувальної системи з використанням сучасних засобів автоматизації.

Проведено технічне обґрунтування вибору ПЛК, розроблено функціональну схему системи, описано логіку її роботи та створено повноцінний програмний код мовою релейно-контактної логіки (Ladder Diagram). Програма структурована на основний алгоритм та окремі підпрограми, що відповідають за: обробку сигналів з ПК, керування шпинделем, подачами по координатах X і Z, логування подій та підрахунок оброблених деталей.

Для підтвердження правильності побудованої логіки було складено циклограму, яка ілюструє часову послідовність активації функціональних блоків, відповідно до логіки керування. Принцип дії програми повністю відповідає очікуваній роботі обладнання, забезпечуючи високий рівень надійності, гнучкості та зручності в керуванні.

Запропоноване рішення дозволяє істотно підвищити функціональність та ефективність роботи верстата 16Б16Ф3, забезпечити простоту обслуговування та розширити можливості операторського контролю. Крім того, реалізація програмного забезпечення на сучасному ПЛК Siemens S7-1200 забезпечує відповідність вимогам промислових стандартів та дозволяє легко інтегрувати систему в більш складні виробничі комплекси.

Таким чином, поставлену мету дипломної роботи досягнуто — модернізовано систему керування токарного верстата з ЧПК, підвищено її надійність, функціональність і ступінь автоматизації, що відповідає сучасним вимогам до промислового обладнання.

Список використаних джерел

1. В.П. Батов Токарные станки, 1978 – 119 с.
2. Т.И. Тишенина, Б.В. Федоров Токарные станки и работа на них, 1976 – 25 – 26 с.
3. Yao. C. Application of programmable logic control in the nonlinear machine tools // *Engineering*.
4. Панов Ф.С., Травин А.И. Работа на токарных станках с числовым программным управлением, 1984 – 76 – 99 с.
5. Станки токарно-винторезные 16Б16, 16Б16п, 16л20, 16л20п, 16л20ф1, 16л20пф1, 16Г16, 16Г16к, 16Б16к, 16Б16кп, 16л20к, 16л20кп, 16е16кп. Руководство по эксплуатации 16Б16П.000.000 РЭ, 1989 – 19 – 29 с.
6. Станки с программным управлением. Справочник, 1975 – 20 – 21 с.
7. PLC Handbook [Електронний ресурс] / AutomationDirect. – 2022.
8. Petruzella F. D. Programmable Logic Controllers. – 4th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2017
9. PLC Programming Fundamentals Book [Електронний ресурс] / SolisPLC. – 2023.
10. White M. T. PLCs for Beginners: An Introductory Guide to Building Robust PLC Applications. – Birmingham: Packt Publishing, 2022. – 330 с
11. W. Bolton. Programmable Logic Controllers. Fourth Edition, -
12. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller – System Manual [Електронний ресурс]. – Siemens AG, 2021. – 618 с.
13. SIMATIC S7-1200 Automatisierungssystem – Systemhandbuch [Електронний ресурс]. – Siemens AG, 2021. – 618 с.

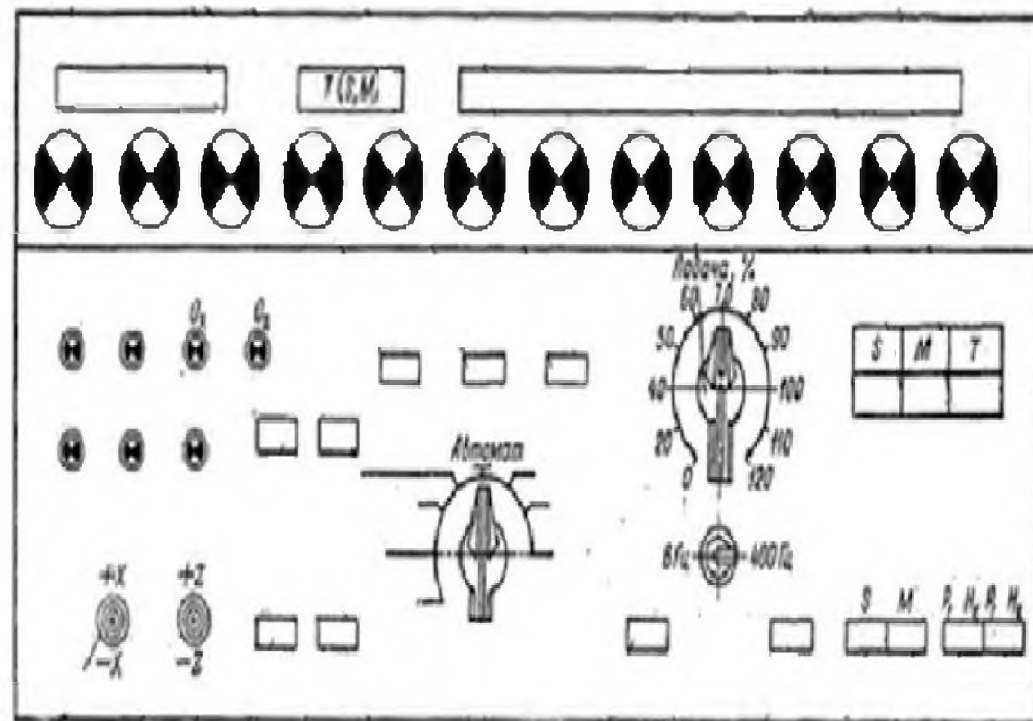
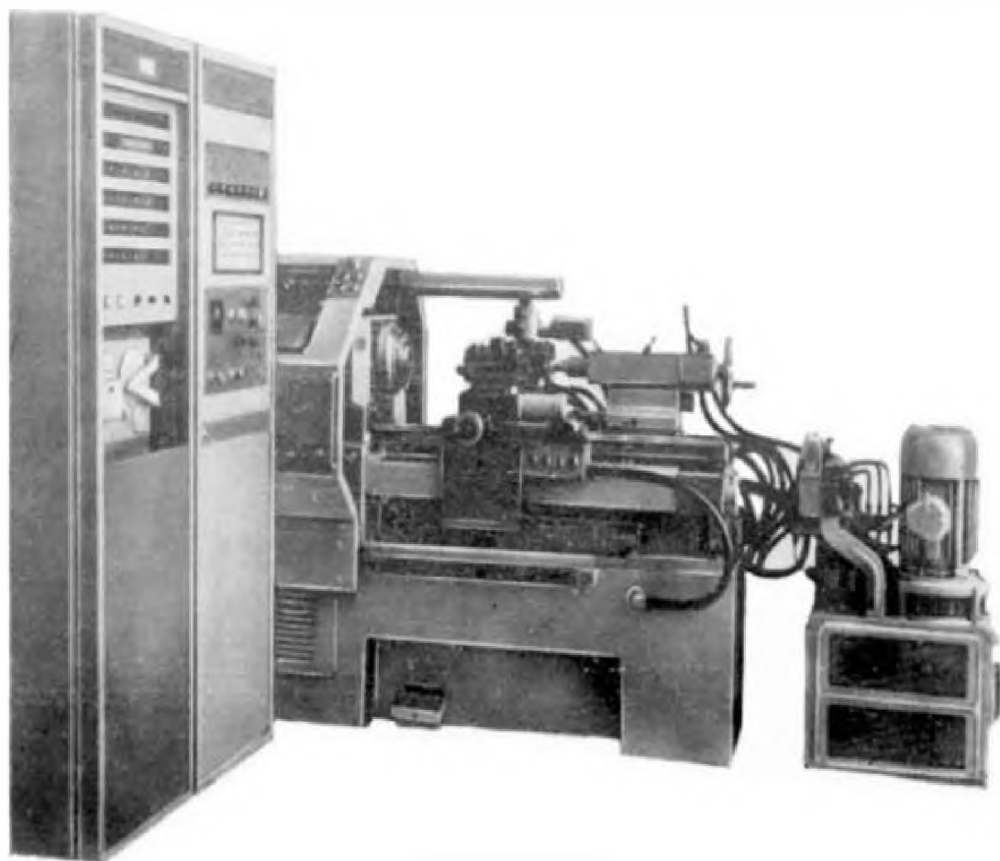
Кваліфікаційна робота для здобуття ступеню
бакалавра на тему:

«Модернізація системи керування токарного верстата з ЧПК за допомогою ПЛК»

ДОДАТОК А
МУЛЬТИМЕДІЙНА ПРЕЗЕНТАЦІЯ

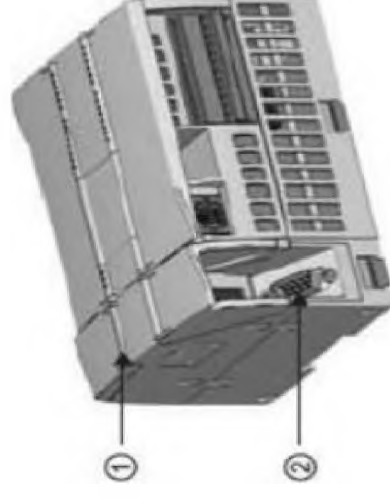
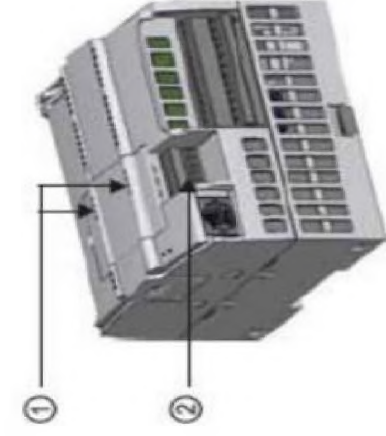
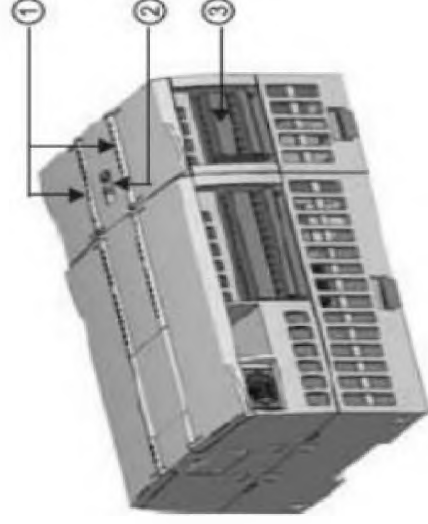
Виконав: студент групи 4371
Рудський Роман Русланович
Керівник: к.т.н., Козлов А.Ю.

Патронно-центровый верстат 6Б16Ф3 з ЧПК Н22-1М



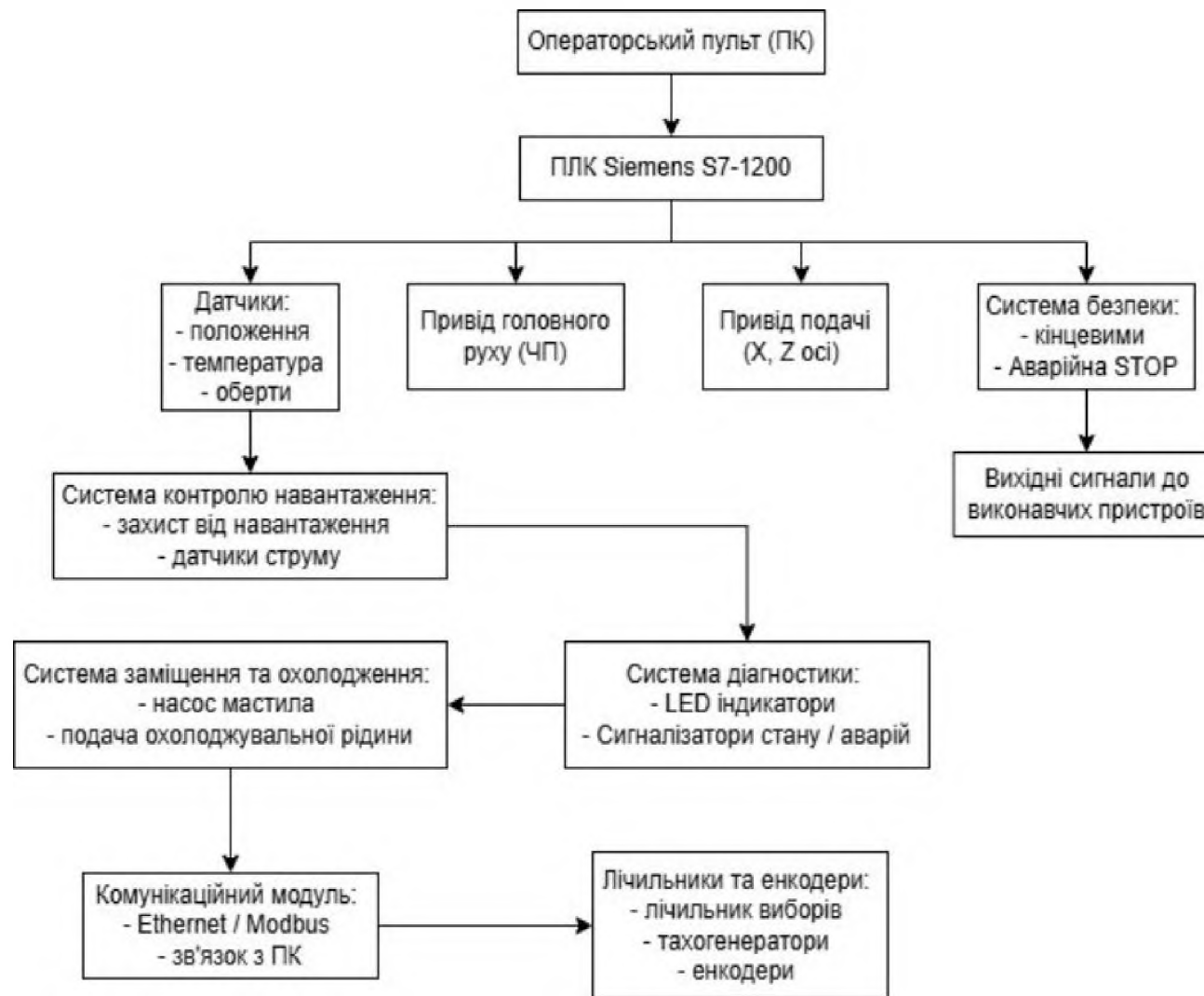
Слайд 2. Патронно-центровый верстат 6Б16Ф3 з ЧПК Н22-1М

Програмований логічний контролер Siemens S7-1200

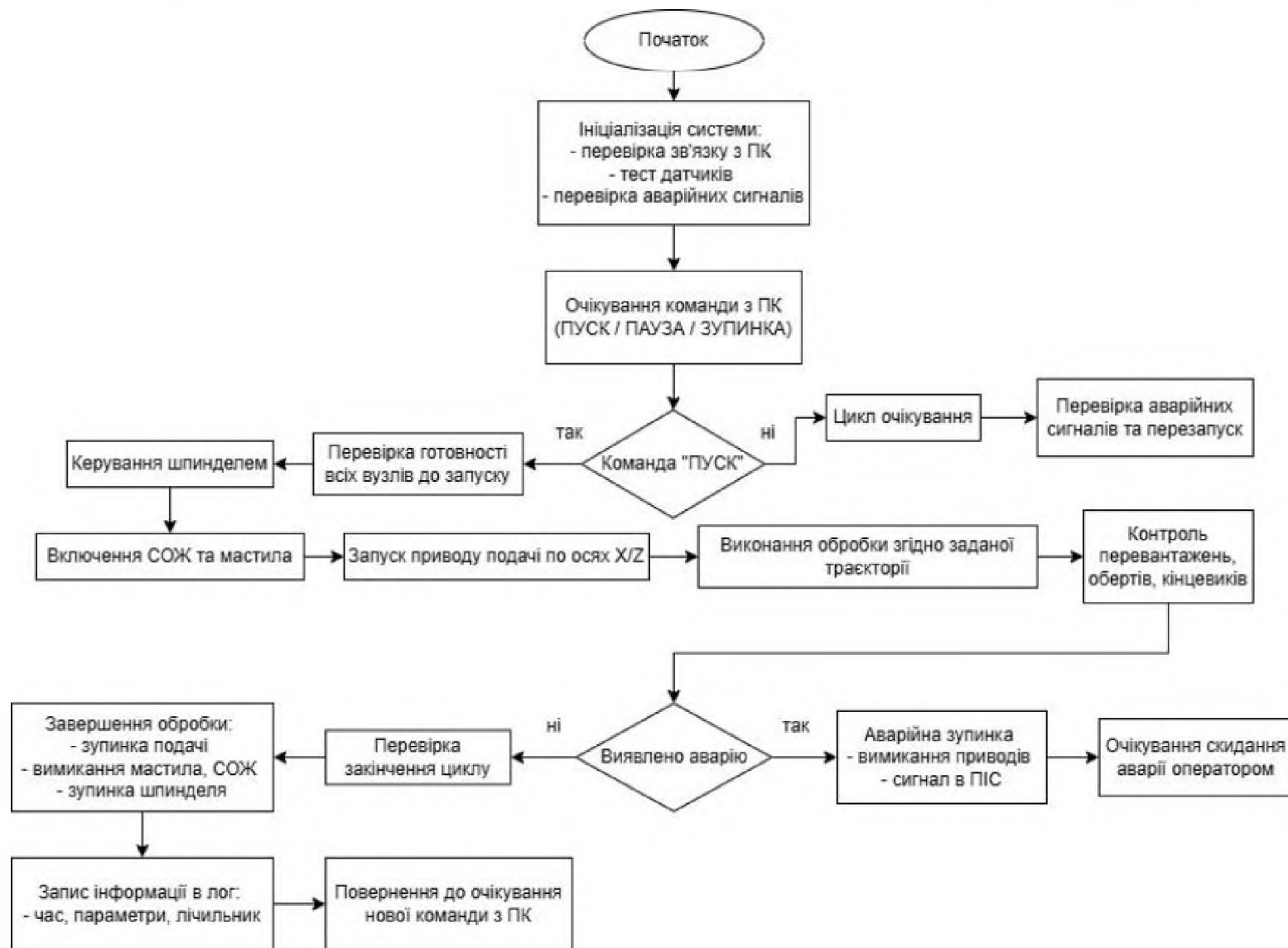


Слайд 3. Програмований логічний контролер Siemens S7-1200

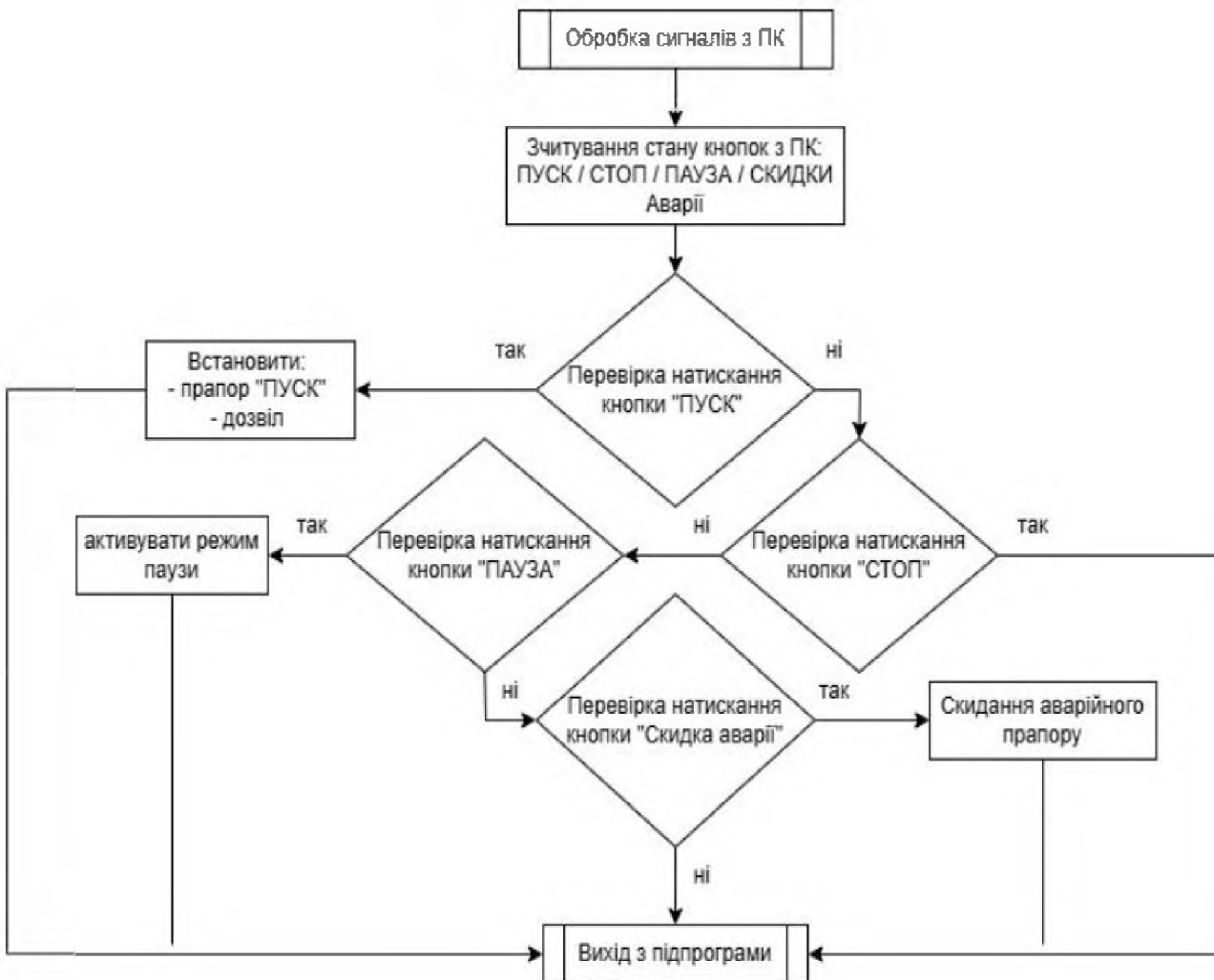
Функціональна схема системи автоматичного керування



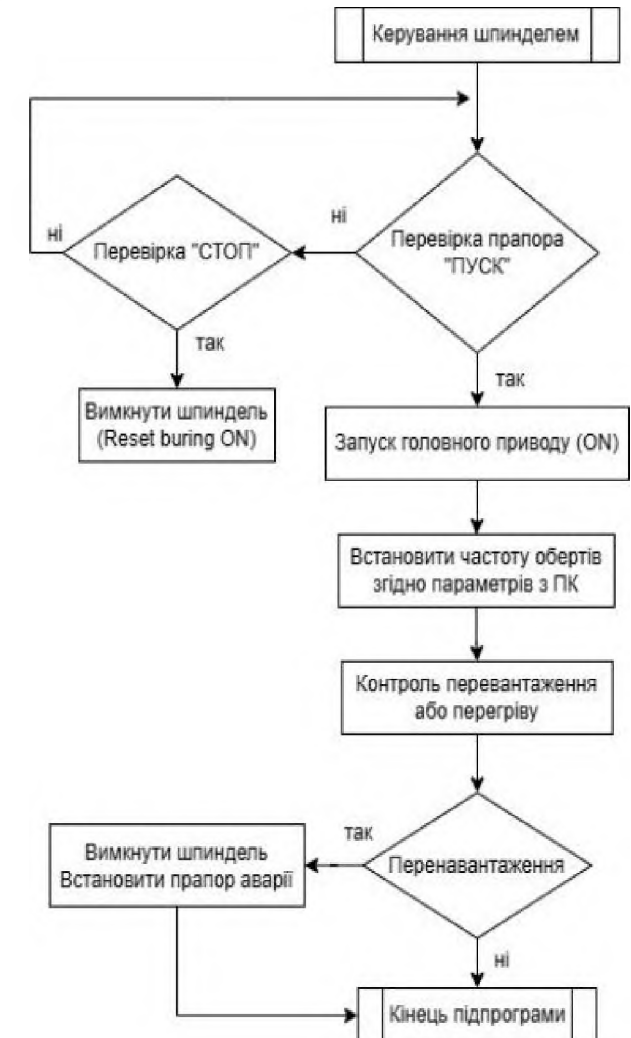
Основний алгоритм програми



Алгоритми підпрограми

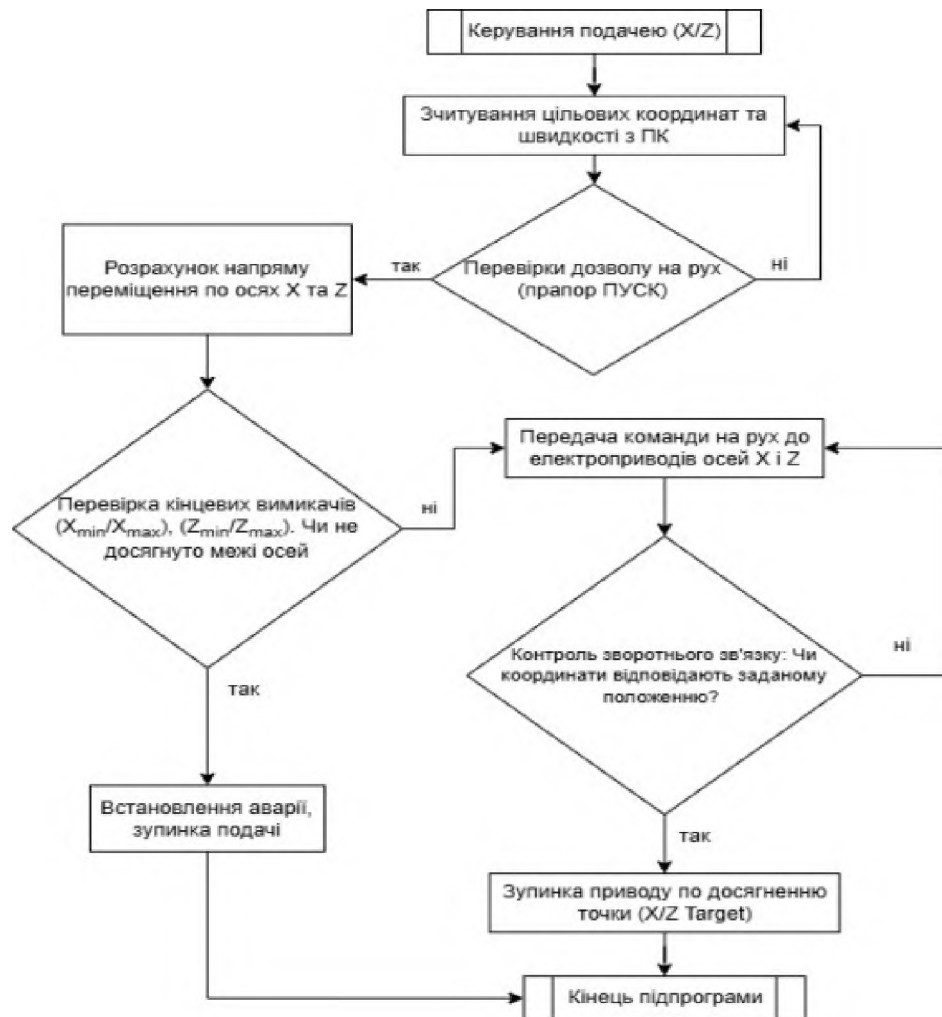


Алгоритм обробки сигналів з ПК



Алгоритм керування шпинделем

Алгоритми підпрограми

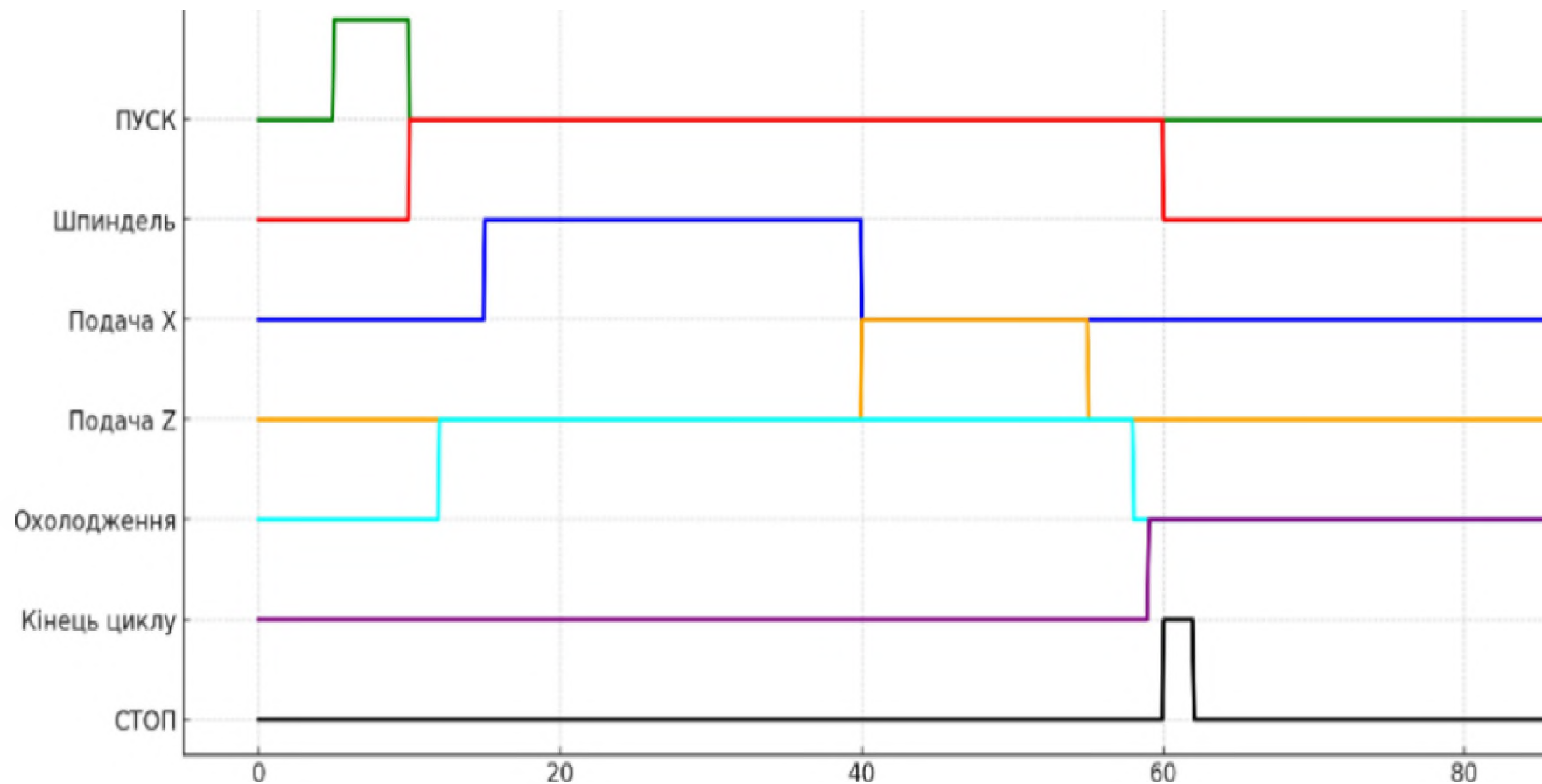


Алгоритм керування подачею (X/Z)



Алгоритм лічильника деталей

Циклограма роботи патронно–центрового верстату 16Б16Ф3



Висновки

Завдяки впровадженню автоматичної системи керування на базі ПЛК Siemens S7-1200, патронно-центровий верстат 16Б16Ф3 демонструє високу точність обробки та стабільність робочих процесів.

Створено функціональну схему та алгоритми керування, що забезпечують оптимальну координацію роботи ПЛК, сенсорів, приводів та виконавчих пристроїв.

Створено повноцінний програмний код мовою релейно-контактної логіки (Ladder Diagram), завдяки чому було реалізовано повний цикл роботи верстата.

Побудовано циклограму, яка підтверджує правильну та послідовну роботу всіх елементів керування.