

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

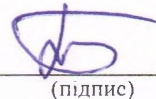
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

« 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

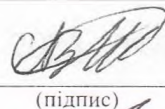
(назва освітньої програми)

на тему: Система керування робота маніпулятора за допомогою ПЛК

Виконав: студент IV курсу, групи 4371

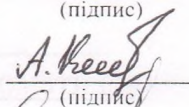
Смалієвський Володимир Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

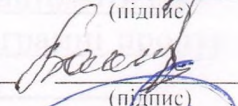
Керівник асистент каф. автоматики, к.т.н., Козлов А.Ю.

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


(підпис)

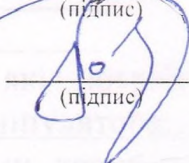
Нормоконтроль доц. каф. автоматики, к.т.н., Васильєв О.Г.

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


(підпис)

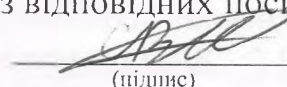
Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.

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


(підпис)

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

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2025 р.

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 Смалієвському Володимирі Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Система керування робота маніпулятора 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

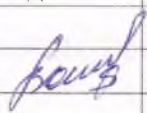
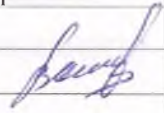
2. Строк подання студентом роботи 13 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи літературні джерела за тематикою автоматизованих процесів виробництва, технічні характеристики маніпуляторів, програмні продукти автоматичного керування, методики створення алгоритмів програм

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Загальна характеристика та обґрунтування вибору маніпулятора, 2. Особливості роботи ПЛК та вибір ПЛК для автоматизації системи керування маніпулятором, 3. Автоматизація системи керування, 4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1 Система керування робота маніпулятора за допомогою ПЛК. 2 Вступ. 3 Обраний маніпулятор. 4 ПЛК «Siemens SIMATIC S7-1500». 5 Функціональна схема автоматизованої системи керування. 6 Алгоритми керуючої програми. 7 Алгоритми підпрограм. 8 Циклограма роботи маніпулятора «М20П.40.01». 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 роботів-маніпуляторів	21.04.25	
2	Вибір маніпулятора	02.05.25	
3	Вибір ПЛК та процес налагодження та діагностики	06.05.25	
4	Розробка алгоритмів програми та написання коду програми	03.06.25	
5	Охорона праці при роботі з електроустаткуванням	09.06.25	

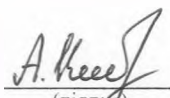
Студент


(підпис)

Смалієвський В.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник
роботи


(підпис)

Козлов А.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Мета роботи – метою дипломної роботи є розробка системи керування роботом-маніпулятором моделі M20П.40.01 із застосуванням програмованого логічного контролера *Siemens S7-1500*.

Об'єкт дослідження – об'єктом дослідження є процес автоматизованого керування промисловим роботом-маніпулятором.

Предмет дослідження – предметом дослідження є програмна реалізація системи керування маніпулятором M20П.40.01 з використанням ПЛК *Siemens S7-1500*.

Ключові слова – ПЛК, *Siemens S7-1500*, робот-маніпулятор, автоматизація, система керування, програмування, функціональна схема, алгоритм керування, M20П.40.01.

У сучасних умовах автоматизації виробничих процесів роботизовані системи відіграють ключову роль у підвищенні продуктивності, точності та безпеки праці. Особливо актуальним є впровадження систем керування на базі ПЛК, які забезпечують гнучкість, надійність та простоту інтеграції в промислові процеси. Робота над керуванням маніпулятором за допомогою ПЛК *Siemens S7-1500* дозволяє отримати практичні навички програмування, розробки алгоритмів керування та проектування автоматизованих систем, що є вкрай важливим у підготовці фахівців з автоматизації.

ABSTRACT

Purpose of the work - The purpose of the thesis is to develop a control system for a robot manipulator model M20P.40.01 using a Siemens S7-1500 programmable logic controller. Object of Study – The 16B16F3 type CNC chuck-and-center lathe as a component of an automated technological process.

Object of research – the object of research is the process of automated control of an industrial robot-manipulator.

Subject of research – the subject of research is the software implementation of the M20P.40.01 manipulator control system using the Siemens S7-1500 PLC.

Keywords – PLC, Siemens S7-1500, robot-manipulator, automation, control system, programming, functional diagram, control algorithm, M20P.40.01.

In modern conditions of automation of production processes, robotic systems play a key role in increasing productivity, accuracy and safety. The implementation of PLC-based control systems is especially relevant, which provide flexibility, reliability and ease of integration into industrial processes. Working on controlling a manipulator using a Siemens S7-1500 PLC allows you to gain practical skills in programming, developing control algorithms and designing automated systems, which is extremely important in the training of automation specialists.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 МАНІПУЛЯТОРИ ЇХ ВИДИ ТА ТИПИ	8
1.1. Загальна характеристика та призначення маніпуляторів	8
1.2. Вибір маніпулятора та його технічні характеристики	17
1.3 Система управління та програмне забезпечення	21
Висновки за розділом 1	23
РОЗДІЛ 2 ІНТЕГРАЦІЯ ПЛК У СИСТЕМУ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ	25
2.1 ПЛК їх види та особливості роботи	25
2.2 Вибір ПЛК для автоматизації системи керування маніпулятором M20П.40.01	33
2.3 Процес діагностики та налагодження ПЛК <i>Siemens SIMATIC S7-1500</i>	40
Висновки за розділом 2	43
РОЗДІЛ 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	45
3.1. Опис функціональної схеми	45
3.2. Керуючі алгоритми програми	47
3.3. Код програми	57
Висновки за розділом 3	70
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	71
4.1. Загальні положення з охорони праці при роботі з промисловими роботами- маніпуляторами та ПЛК	71
4.2. Ергономічні фактори та організація робочого місця	72
Висновок за розділом 4	77
ВИСНОВОК	78
Список використаних джерел	80
Додаток А МУЛЬТИМЕДІЙНА ПРЕЗЕНТАЦІЯ	82

ВСТУП

У сучасних умовах індустріалізації та цифрової трансформації виробництва дедалі більшого значення набувають автоматизовані системи керування. Робототехнічні комплекси, зокрема промислові маніпулятори, широко застосовуються у сфері машинобудування, логістики, електроніки та інших галузях. Їх використання дозволяє не лише зменшити трудові витрати, але й забезпечити високу точність, повторюваність дій та підвищити безпеку виконання технологічних операцій.

Серед сучасних засобів автоматизації управління провідне місце посідають програмовані логічні контролери (ПЛК), які забезпечують високу гнучкість, надійність та простоту в реалізації логіки керування. Компанія Siemens, зокрема лінійка контролерів S7-1500, є однією з найпопулярніших у світі завдяки своїм функціональним можливостям та інтеграції в цифрові системи управління виробництвом.

Дана дипломна робота присвячена розробці системи керування роботом-маніпулятором моделі M20P.40.01 із використанням ПЛК Siemens S7-1500. У процесі роботи буде здійснено аналіз типів маніпуляторів, вибір відповідного контролера, розробка функціональної схеми та програмного забезпечення керування.

РОЗДІЛ 1

МАНІПУЛЯТОРИ ЇХ ВИДИ ТА ТИПИ

1.1. Загальна характеристика та призначення маніпуляторів

Маніпулятори є важливим компонентом сучасних виробничих систем, що широко використовуються в промисловості для здійснення різноманітних технологічних операцій. Вони дозволяють автоматизувати різні виробничі процеси, підвищити продуктивність праці, забезпечити високу точність операцій та звільнити людину від монотонної і фізично важкої роботи в небезпечних умовах [1].

За визначенням, промисловий маніпулятор – це автоматична машина, що складається з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора з декількома ступенями рухливості та пристрою програмного управління, який формує керуючі дії, що задають необхідні рухи виконавчих органів [2]. Маніпулятори є основною частиною промислових роботів та являють собою керовані механічні руки, здатні відтворювати деякі рухові функції людської руки при переміщенні об'єктів у просторі.

Використання промислових маніпуляторів забезпечує такі переваги:

- Підвищення продуктивності технологічних процесів;
- Покращення якості продукції;
- Зниження частки ручної праці;
- Можливість роботи у шкідливих для людини умовах;
- Зниження відсотку браку;
- Підвищення коефіцієнту використання технологічного обладнання.

Історія розвитку промислових маніпуляторів почалася в середині ХХ століття, коли в 1954 році американський інженер Джордж Девол запатентував програмований пристрій для переміщення предметів. У 1956 році спільно з Джоозефом Енгельбергером він заснував компанію Unimation, яка в 1961 році представила перший промисловий робот Unimate [3]. З того часу технології

маніпуляторів постійно розвивалися, набуваючи нових функціональних можливостей та сфер застосування.

На сьогодні маніпулятори широко використовуються в різних галузях промисловості, включаючи автомобілебудування, машинобудування, електроніку, харчову промисловість, фармацевтику, а також у космічній галузі, медицині, військовій справі тощо. Сучасні маніпулятори здатні виконувати широкий спектр операцій, зокрема:

- завантаження та розвантаження верстатів;
- транспортування деталей та матеріалів;
- складальні операції;
- зварювальні роботи;
- фарбування поверхонь;
- упаковка готової продукції.

Відповідно до стандарту ISO 8373:2012, промисловий маніпулятор визначається як автоматично контрольований, перепрограмований багатоцільовий механізм, програмований за трьома або більше осями, який може бути стаціонарним або мобільним для використання в промислових автоматизованих додатках [4].

За принципом керування маніпулятори поділяються на три основні групи: автоматичні, напіваавтоматичні та з ручним керуванням [2].

Автоматичні маніпулятори функціонують за заздалегідь заданою програмою без безпосереднього втручання оператора. Вони є основним компонентом промислових робіт та використовуються для виконання операцій в строго регламентованих умовах. Такі маніпулятори можна розділити на:

Програмовані маніпулятори – працюють за жорстко заданою програмою, яка визначає послідовність дій, траєкторії руху, швидкості та інші параметри. Зміна програми вимагає перепрограмування системи керування [5].

Адаптивні маніпулятори – оснащені системами зворотного зв'язку та здатні коригувати свої дії залежно від змін у робочому середовищі. Вони можуть

обробляти інформацію від датчиків (силових, тактильних, візуальних тощо) та відповідно модифікувати свою поведінку [6].

Інтелектуальні маніпулятори – представляють найбільш сучасний клас автоматичних маніпуляторів, що використовують методи штучного інтелекту для прийняття рішень та планування дій. Такі системи здатні до самонавчання та можуть функціонувати в складних, недетермінованих умовах [1].

За даними Українського центру робототехніки, впровадження автоматичних маніпуляторів у промисловості України дозволяє підвищити продуктивність праці на 15-30% та знизити відсоток браку на 10-25%.

Напіваавтоматичні маніпулятори поєднують елементи автоматичного керування з безпосереднім керуванням з боку оператора. Вони використовуються в умовах, коли повна автоматизація є недоцільною або неможливою. До цієї категорії відносяться:

Копіюючі маніпулятори – відтворюють рухи задавального пристрою, керованого оператором. Задавальний пристрій може бути виконаний у вигляді зменшеної моделі маніпулятора або рукоятки керування [7].

Напіваавтоматичні системи з елементами програмного керування – оператор задає загальні параметри та контролює процес, але конкретні рухи виконуються за програмою.

Інтерактивні системи керування – оператор взаємодіє з системою через інтерфейс, задаючи високорівневі команди, а система самостійно визначає деталі виконання.

Напіваавтоматичні маніпулятори широко застосовуються в медицині (хірургічні роботи), у системах телеприсутності, при проведенні аварійно-рятувальних робіт, в атомній промисловості тощо [8].

Маніпулятори з ручним керуванням повністю контролюються оператором і служать для підсилення фізичних можливостей людини або для роботи в недоступних для неї умовах. Ця категорія включає:

Механічні маніпулятори – прості пристрої, що приводяться в рух мускульною силою оператора, але можуть мати механічні підсилювачі (важелі, редуктори).

Силові маніпулятори – обладнані приводами, які посилюють зусилля оператора, зберігаючи при цьому природність рухів [2].

Дистанційні маніпулятори – дозволяють оператору керувати механічною системою на відстані, часто використовуються для роботи з радіоактивними матеріалами, в космічній галузі, на великих глибинах тощо.

Згідно з дослідженнями Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", маніпулятори з ручним керуванням залишаються важливим інструментом у специфічних галузях, де повна автоматизація є недоцільною через необхідність використання експертних знань та інтуїції людини-оператора [9].

Класифікація маніпуляторів за конструктивними ознаками

Кінематична схема маніпулятора визначає кількість та взаємне розташування його ланок, що впливає на робочу зону, точність позиціонування та функціональні можливості. За цією ознакою розрізняють такі основні типи маніпуляторів [7]:

Декартові (прямокутні) маніпулятори – використовують три поступальні кінематичні пари, що забезпечують переміщення робочого органа вздовж трьох взаємно перпендикулярних осей (X , Y , Z). Такі маніпулятори відрізняються простотою керування, високою точністю позиціонування та жорсткістю конструкції, але мають обмежену маневреність.

Циліндричні маніпулятори – мають одну обертальну та дві поступальні кінематичні пари. Робоча зона такого маніпулятора має форму циліндра або частини циліндра. Вони широко використовуються в операціях завантаження-розвантаження верстатів.

Сферичні (полярні) маніпулятори – складаються з двох обертальних та однієї поступальної кінематичних пар. Робоча зона має форму сфери або її частини. Такі маніпулятори забезпечують високу маневреність та використовуються для складних операцій, що вимагають доступу до об'єктів з різних напрямків [5].

Ангулярні (шарнірні) маніпулятори – мають три або більше обертальних кінематичних пар. Їх конструкція нагадує людську руку та забезпечує найвищу

маневреність серед усіх типів маніпуляторів. Вони здатні обходити перешкоди та працювати в обмежених просторах.

SCARA-маніпулятори (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) – спеціалізовані маніпулятори з паралельними обертальними осями, що забезпечують високу жорсткість у вертикальному напрямку та податливість у горизонтальній площині. SCARA-роботи широко використовуються для складальних операцій [3].

Паралельні маніпулятори – мають замкнену кінематичну структуру, де робочий орган пов'язаний з основою кількома незалежними кінематичними ланцюгами. Найбільш відомий приклад – платформа Стюарта (гексапод). Ці маніпулятори характеризуються високою жорсткістю та вантажопідйомністю.

За даними Асоціації робототехніки України, найбільш поширеними в промисловості є ангулярні (шарнірні) маніпулятори, на які припадає близько 65% усіх встановлених систем.

Ступені свободи визначають кількість незалежних рухів, які може виконувати маніпулятор. За цією ознакою розрізняють [4]:

Маніпулятори з обмеженими можливостями (2-3 ступені свободи) – використовуються для простих операцій з фіксованою орієнтацією об'єктів.

Універсальні маніпулятори (4-6 ступенів свободи) – найбільш поширений клас, що дозволяє забезпечити довільне положення та орієнтацію робочого органа в просторі.

Надлишкові маніпулятори (7 і більше ступенів свободи) – забезпечують додаткову маневреність та можливість обходу перешкод. Приклади таких систем – антропоморфні маніпулятори, що імітують руку людини [10].

Маніпулятори з 6 ступенями свободи є найбільш універсальними, оскільки дозволяють позиціонувати робочий орган у будь-якій точці робочої зони з будь-якою орієнтацією.

Залежно від типу приводів, що використовуються для забезпечення руху ланок, маніпулятори поділяються на такі групи [6]:

Пневматичні маніпулятори – використовують енергію стисненого повітря. Переваги: простота конструкції, низька вартість, вибухобезпечність. Недоліки:

обмежена точність позиціонування, складність забезпечення плавності руху. Застосовуються для простих операцій типу "взяти-покласти".

Гідравлічні маніпулятори – приводяться в рух за допомогою гідравлічної системи. Переваги: висока вантажопідйомність, здатність розвивати значні зусилля. Недоліки: складність конструкції, необхідність спеціальних систем обслуговування. Використовуються в важкій промисловості, будівництві, для маніпуляцій з важкими об'єктами.

Електричні маніпулятори – оснащені електродвигунами різних типів (кроковими, серводвигунами, лінійними електродвигунами). Переваги: висока точність, гнучкість керування, простота обслуговування. Недоліки: обмежена вантажопідйомність. Це найбільш поширений тип приводів у сучасних промислових роботах [8].

Комбіновані маніпулятори – використовують різні типи приводів для різних рухів, що дозволяє оптимально використовувати переваги кожного типу.

Згідно з дослідженням Харківського політехнічного інституту, на українському ринку промислової робототехніки близько 80% маніпуляторів оснащені електричними приводами, 15% – гідравлічними, і лише 5% – пневматичними.

Сучасні маніпулятори складаються з низки функціональних елементів, кожен з яких відіграє важливу роль у забезпеченні їх роботи [9]:

Механічна система маніпулятора включає такі компоненти:

Основа (база) – нерухома частина маніпулятора, на якій монтуються всі інші елементи. Для стаціонарних маніпуляторів основою може служити підлога, стіна або стеля приміщення, а також спеціальна підставка.

Ланки – жорсткі елементи, що з'єднуються між собою кінематичними парами та утворюють кінематичний ланцюг маніпулятора. Конструкція та матеріал ланок визначають жорсткість, вантажопідйомність та інерційні характеристики маніпулятора [1].

Кінематичні пари – з'єднання між ланками, що забезпечують їх відносний рух. Розрізняють поступальні та обертальні кінематичні пари, кожна з яких надає системі один ступінь свободи.

Робочий орган (схват) – кінцевий елемент маніпулятора, призначений для безпосередньої взаємодії з об'єктами маніпулювання. Залежно від призначення, робочий орган може бути виконаний у вигляді механічного захоплювача, вакуумного захоплювача, магнітного захоплювача, спеціалізованого інструменту (зварювального пальника, фарборозпилювача, фрези тощо).

Трансмисії – механізми передачі руху від приводів до ланок маніпулятора (редуктори, передачі гвинт-гайка, зубчасті та ремінні передачі тощо) [10].

Система приводів забезпечує рух ланок маніпулятора та складається з таких елементів:

Двигуни – перетворюють електричну, гідравлічну або пневматичну енергію в механічний рух. В електричних маніпуляторах використовуються серводвигуни, крокові двигуни або лінійні електродвигуни.

Підсилювачі потужності – забезпечують необхідну потужність для живлення двигунів відповідно до сигналів керування [5].

Гальмівні пристрої – забезпечують фіксацію ланок маніпулятора в заданому положенні, а також аварійне гальмування.

Демпфери – поглинають коливання та вібрації, що виникають під час роботи маніпулятора.

Система керування координує роботу всіх елементів маніпулятора та включає:

Контролер – центральний комп'ютер, що виконує програму керування та формує сигнали для приводів на основі завдання та інформації від датчиків [11].

Датчики положення – енкодери, потенціометри, тахогенератори та інші пристрої, що вимірюють положення та швидкість ланок маніпулятора.

Силові та тактильні датчики – вимірюють сили та моменти, що виникають при взаємодії маніпулятора з об'єктами, а також дозволяють контролювати силу захоплення.

Системи технічного зору – камери та відповідне програмне забезпечення, що дозволяють маніпулятору "бачити" об'єкти та робоче середовище [7].

Інтерфейс користувача – пристрої та програмне забезпечення для взаємодії оператора з маніпулятором (пульти керування, програматори, системи програмування та моделювання).

За даними Українського інституту проблем штучного інтелекту НАН України, складність та можливості систем керування є одним з ключових факторів, що визначають функціональні можливості та вартість маніпуляторів. На системи керування припадає до 70% вартості сучасних промислових роботів.

Розвиток маніпуляційних систем відбувається в кількох ключових напрямках, які відображають загальні тренди в автоматизації та робототехніці [3].

Колаборативні роботи (коботи) – новий клас маніпуляторів, спеціально розроблених для безпосередньої взаємодії з людиною в спільному робочому просторі [11]. На відміну від традиційних промислових роботів, коботи оснащені системами безпеки, що дозволяють уникнути травмування людини:

- датчики сили та моменту, що миттєво зупиняють рух при зіткненні;
- обмежувачі потужності приводів;
- м'які, заокруглені поверхні;
- спеціальні алгоритми керування.

Завдяки цим особливостям коботи можуть працювати поруч з людьми без захисних огорожень, що дозволяє оптимально розподілити функції між людиною та роботом, поєднуючи гнучкість людського мислення з точністю та силою маніпулятора.

За прогнозами Українського центру робототехніки, до 2026 року частка колаборативних маніпуляторів на вітчизняному ринку складе близько 25% від загальної кількості встановлених роботів.

Інтеграція маніпуляторів з мобільними платформами створює новий клас робототехнічних систем, що поєднують можливість переміщення в просторі з функціями маніпулювання об'єктами [9]. Мобільні маніпулятори використовуються для:

- обслуговування складських приміщень;
- інспекції та ремонту обладнання;

- сільськогосподарських робіт;
- логістичних операцій;
- аварійно-рятувальних робіт.

Однією з ключових проблем при створенні мобільних маніпуляторів є координація руху платформи та маніпулятора для виконання складних завдань.

Впровадження методів штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє створювати маніпулятори з якісно новими можливостями [6]:

Системи машинного зору – дозволяють розпізнавати об'єкти, визначати їх положення та орієнтацію, аналізувати робоче середовище.

Системи силового очуття – забезпечують контрольовану взаємодію з об'єктами та середовищем, адаптацію до невизначеностей.

Самонавчання маніпуляторів – здатність удосконалювати свої навички на основі досвіду, без явного перепрограмування.

Адаптивне планування траєкторій – можливість автоматично планувати оптимальні траєкторії руху з урахуванням перешкод та обмежень.

За даними Національної академії наук України, впровадження методів штучного інтелекту в системи керування маніпуляторами дозволяє скоротити час налаштування для нових задач на 40-60% та підвищити їх адаптивність до змін виробничого середовища.

М'які маніпулятори (*soft robotics*) представляють принципово новий підхід до конструювання маніпуляційних систем, заснований на використанні гнучких, деформовних матеріалів замість жорстких ланок [4]. Такі маніпулятори характеризуються:

- високою податливістю та адаптивністю до форми об'єктів;
- безпечністю при контакті з людиною та крихкими предметами;
- здатністю працювати в обмеженому просторі;
- можливістю створення біоінспірованих конструкцій.

М'які маніпулятори знаходять застосування в медицині, харчовій промисловості, при роботі з крихкими об'єктами та біологічними тканинами.

Маніпулятори є важливим компонентом сучасних автоматизованих систем, що дозволяють підвищити продуктивність виробництва, якість продукції

та звільнити людину від небезпечної та монотонної роботи. Класифікація маніпуляторів за принципом керування дозволяє виділити автоматичні, напіваавтоматичні та маніпулятори з ручним керуванням, кожен з яких має свої переваги та сфери застосування.

Конструктивне різноманіття маніпуляторів визначається їх кінематичною схемою, кількістю ступенів свободи та типом приводів. Вибір конкретної конструкції залежить від вимог до робочої зони, точності позиціонування, вантажопідйомності та інших параметрів.

Сучасні маніпулятори є складними мехатронними системами, що включають механічну частину, систему приводів та інтелектуальну систему керування. Ключовими тенденціями розвитку є створення колаборативних і мобільних маніпуляторів, інтелектуалізація систем керування та розробка м'яких маніпуляторів.

Подальший розвиток маніпуляційних систем буде спрямований на підвищення їх адаптивності, безпечності, енергоефективності та розширення функціональних можливостей, що дозволить впроваджувати їх у нові сфери діяльності людини.

1.2. Вибір маніпулятора та його технічні характеристики

Сучасні тенденції розвитку промислового виробництва диктують необхідність впровадження високотехнологічних рішень для забезпечення конкурентоспроможності підприємств. Автоматизація виробничих процесів за допомогою промислових роботів-маніпуляторів стає ключовим фактором підвищення ефективності та якості продукції. При цьому вибір оптимального маніпулятора являє собою комплексну інженерну задачу, що потребує глибокого аналізу технологічних вимог, економічних показників та перспектив розвитку виробництва.

Аналіз специфіки технологічного процесу показав, що основними критеріями вибору маніпулятора є вантажопідйомність до 20 кг, робочий радіус не менше 1500 мм, точність позиціонування на рівні $\pm 0,2$ мм та можливість

інтеграції з існуючою системою управління виробництвом. Додатково враховувались фактори надійності, простоти обслуговування та можливості модернізації обладнання в майбутньому.

Маніпулятор M20П.40.01(рис.1.1) був обраний як оптимальне рішення, що забезпечує найкраще співвідношення технічних характеристик, функціональних можливостей та економічної доцільності. Цей промисловий робот представляє собою результат сучасних розробок в області робототехніки та відповідає всім вимогам індустріального стандарту ISO 9283 щодо продуктивності та точності промислових роботів.

Маніпулятор M20П.40.01 являє собою шестиосьовий промисловий робот артикульованого типу, розроблений для виконання складних просторових рухів з високою точністю. Кінематична схема маніпулятора побудована за принципом послідовного з'єднання ланок, де кожна наступна ланка приєднується до попередньої через обертальний кінематичний зв'язок. Така конструкція забезпечує шість ступенів свободи, що дозволяє досягти будь-якої точки в робочому просторі з необхідною орієнтацією робочого органу.

Конструктивно маніпулятор складається з нерухомої основи, що містить головний привід повороту, колонни з механізмом вертикального переміщення, плеча з горизонтальним приводом, передпліччя та кисті з приводами орієнтації робочого органу. Усі з'єднання виконані на прецизійних підшипниках з мінімальними люфтами, що забезпечує високу жорсткість конструкції та точність позиціонування.

Особливістю конструкції є застосування полегшених алюмінієвих сплавів для виготовлення рухомих ланок, що дозволило знизити момент інерції та підвищити динамічні характеристики маніпулятора. Одночасно критично навантажені вузли виконані з високоміцних сталей з спеціальною термообробкою, що забезпечує тривалий термін експлуатації без втрати точності.

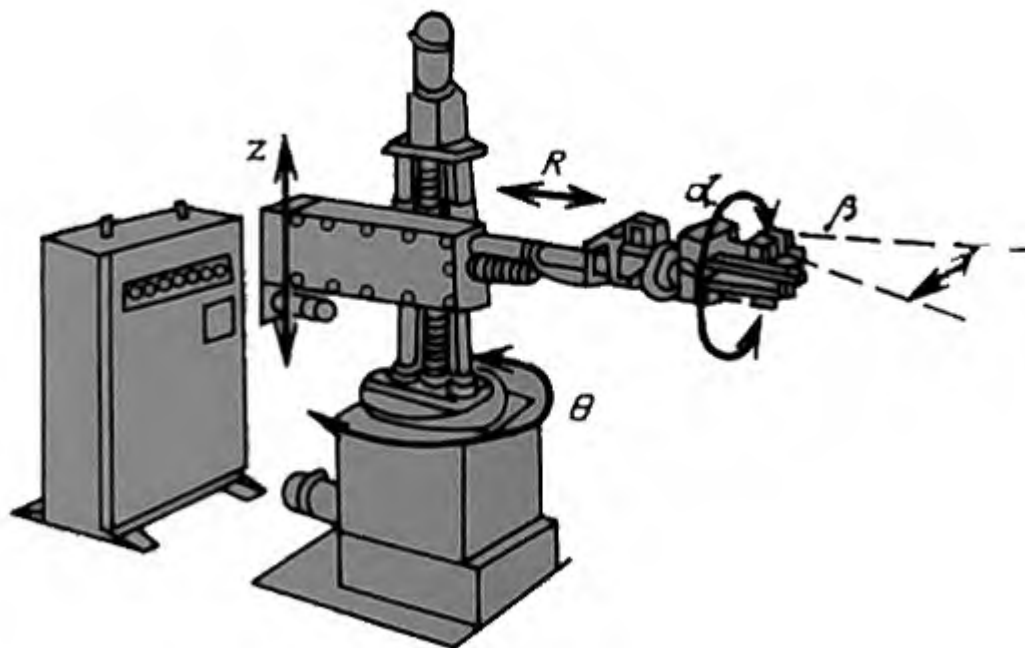


Рисунок 1.1 – маніпулятор M20П.40.01

Робочий простір маніпулятора M20П.40.01 являє собою складну просторову область, що визначається кінематичними обмеженнями кожного з шести ступенів свободи. Максимальний радіус дії 1600 мм забезпечує достатню зону обслуговування для більшості промислових застосувань, при цьому мінімальний радіус дії становить 400 мм, що дозволяє працювати з об'єктами, розташованими близько до основи маніпулятора.

Вертикальний хід становить 1400 мм, що в поєднанні з можливістю повороту основи на 270° створює робочий об'єм близько $8,5 \text{ м}^3$. Кути повороту окремих ланок оптимізовані для забезпечення максимальної гнучкості: поворот передпліччя складає $\pm 180^\circ$, нахил кисті $\pm 120^\circ$, а поворот кисті необмежений завдяки застосуванню поворотного токоз'ємника.

Точність позиціонування $\pm 0,2 \text{ мм}$ досягається завдяки застосуванню високоточних енкодерів з роздільною здатністю до 1 мільйона імпульсів на оберт та алгоритмів компенсації кінематичних похибок. Повторюваність позиціонування $\pm 0,1 \text{ мм}$ забезпечується стабільністю механічних характеристик приводів та відсутністю люфтів у кінематичних ланцюгах.

Система приводів маніпулятора M20П.40.01 побудована на базі сучасних серводвигунів змінного струму з векторним управлінням. Головний привід

повороту основи оснащений синхронним двигуном з постійними магнітами потужністю 2,2 кВт, що в поєднанні з планетарним редуктором забезпечує крутний момент 45 Н·м при максимальній швидкості повороту 90°/с.

Привід підйому колонни використовує асинхронний двигун потужністю 3,5 кВт з кульково-гвинтовою передачею, що забезпечує зусилля підйому до 1200 Н при швидкості до 2,5 м/с. Така конструкція забезпечує високу жорсткість вертикального позиціонування та мінімальні втрати на тертя.

Приводи поворотів ланок побудовані на базі серводвигунів потужністю від 0,8 до 1,5 кВт з гармонічними редукторами. Гармонічні передачі забезпечують високу точність завдяки відсутності мертвого ходу та компактність конструкції. Передаточні числа від 80:1 до 120:1 оптимізовані для забезпечення необхідного співвідношення між швидкістю та точністю позиціонування.

Максимальна швидкість лінійного переміщення 2,5 м/с досягається при номінальному навантаженні, при цьому система управління автоматично обмежує швидкість при збільшенні маси переносимого об'єкта для забезпечення стабільності руху. Максимальна кутова швидкість 180°/с забезпечує високу продуктивність при виконанні операцій орієнтації.

Номінальна вантажопідйомність 20 кг визначена для умов роботи з максимальним вильотом та при повній швидкості руху. При зменшенні радіуса дії навантажувальна спроможність може бути збільшена до 25 кг завдяки зменшенню моментів навантаження на приводи. Система управління автоматично контролює навантаження на кожний привід та попереджає про перевищення допустимих значень.

Власна маса маніпулятора 650 кг забезпечує необхідну стійкість та віброустійчивість конструкції. Низький центр ваги та широка база основи дозволяють досягти високої динамічної стійкості навіть при роботі з максимальними навантаженнями на максимальному вильоті.

Момент інерції навантаження до 0,8 кг·м² враховує не тільки масу переносимого об'єкта, але й момент інерції захоплювача та додаткового обладнання. Це дозволяє використовувати різноманітні робочі органи без необхідності перепрограмування системи управління.

1.3 Система управління та програмне забезпечення

Система управління маніпулятора M20П.40.01 являє собою розподілену багаторівневу структуру, побудовану на основі сучасних мікропроцесорних технологій. Центральний контролер на базі 32-розрядного *RISC*-процесора з тактовою частотою 800 МГц забезпечує обчислювальну потужність, достатню для реалізації складних алгоритмів управління та планування траєкторій. Оперативна пам'ять обсягом 64 МБ дозволяє зберігати в активному стані декілька програм одночасно та забезпечує швидкий доступ до даних під час виконання операцій. Постійна пам'ять на базі *Flash*-технології обсягом 256 МБ містить операційну систему реального часу, системне програмне забезпечення та користувацькі програми.

Система вводу/виводу включає 128 дискретних каналів для взаємодії з периферійним обладнанням та 32 аналогових канали для підключення датчиків зворотного зв'язку. Це забезпечує можливість інтеграції маніпулятора в складні автоматизовані системи з розгалуженою структурою управління.

Програмне забезпечення включає операційну систему реального часу з детермінованим часом відгуку, що критично важливо для забезпечення точності позиціонування. Інтерпретатор мови програмування високого рівня дозволяє створювати складні програми управління з використанням сучасних програмістських конструкцій. Система діагностики та моніторингу забезпечує постійний контроль стану всіх систем маніпулятора та попереджає про потенційні несправності.

Енергетична ефективність маніпулятора M20П.40.01 досягається завдяки застосуванню сучасних електроприводів з рекуперацією енергії та оптимізованим алгоритмам планування траєкторій. Максимальна споживана потужність 15 кВт досягається тільки при одночасній роботі всіх приводів на максимальних швидкостях, що в реальних умовах експлуатації трапляється рідко.

Середня споживана потужність 8 кВт відповідає типовому режиму роботи з навантаженням 15 кг при швидкості 70% від максимальної. Система

рекуперації енергії дозволяє повертати в мережу до 15% споживаної енергії під час гальмування, що додатково підвищує енергетичну ефективність.

Коефіцієнт потужності 0,85 забезпечується завдяки застосуванню активних випрямлячів у складі частотних перетворювачів. Це зменшує навантаження на електричну мережу та знижує вимоги до системи електропостачання підприємства.

Економічна ефективність використання маніпулятора визначається не тільки прямою економією на заробітній платі, але й підвищенням якості продукції, зменшенням браку та можливістю організації безперервного виробництва. Розрахунки показують, що термін окупності маніпулятора в типових умовах експлуатації становить 2,5-3 роки.

Архітектура маніпулятора M20П.40.01 передбачає високий рівень функціональної гнучкості, що досягається завдяки модульній конструкції та відкритій системі управління. Змінні робочі органи дозволяють адаптувати маніпулятор для виконання різноманітних технологічних операцій без внесення конструктивних змін.

Система управління підтримує стандартні промислові протоколи зв'язку, включаючи Ethernet/IP, Profibus та Modbus TCP/IP, що забезпечує легку інтеграцію в існуючі системи управління виробництвом. Підтримка OPC UA дозволяє реалізувати концепцію Індустрії 4.0 з можливістю віддаленого моніторингу та управління.

Можливості модернізації включають розширення системи датчиків, інтеграцію систем технічного зору, додавання додаткових осей руху та модернізацію програмного забезпечення. Модульна архітектура дозволяє поетапно нарощувати функціональність без повної заміни обладнання.

Система безпеки маніпулятора відповідає вимогам категорії безпеки 3 згідно стандарту EN ISO 13849-1 та включає багаторівневий захист з можливістю швидкого зупину, контролем зони безпеки та моніторингом стану всіх систем. Це забезпечує безпечну роботу в умовах спільного використання робочого простору людиною та роботом.

Таким чином, маніпулятор M20П.40.01 представляє собою сучасне технічне рішення, що поєднує високі технічні характеристики, функціональну гнучкість та економічну ефективність, що робить його оптимальним вибором для автоматизації широкого спектру промислових процесів.

Висновки за розділом 1

У першому розділі дипломної роботи було розглянуто основні аспекти будови, класифікації та призначення промислових маніпуляторів. Проведено аналіз сучасних типів маніпуляторів, їх конструктивних особливостей, технічних можливостей та сфер застосування у різних галузях промисловості.

Зокрема, було визначено, що маніпулятори відіграють ключову роль у підвищенні ефективності виробничих процесів завдяки здатності виконувати точні, повторювані рухи з високою швидкістю та мінімальним втручанням оператора. Їх використання дозволяє автоматизувати як прості, так і складні технологічні операції, знижувати вплив людського фактору та забезпечувати стабільну якість продукції.

В процесі аналізу було здійснено вибір конкретної моделі маніпулятора для подальшої розробки системи керування — M20П.40.01. Вибір базувався на оцінці технічних характеристик моделі, таких як вантажопідйомність, робоча зона, точність позиціонування, кількість ступенів свободи та кінематичні можливості. Було встановлено, що обрана модель повністю відповідає вимогам до задачі автоматизації, яка вирішується у рамках дипломної роботи.

Окрім того, у розділі було проаналізовано загальні принципи побудови системи управління маніпулятором. Визначено, що ефективна система управління повинна забезпечувати чітке позиціонування маніпулятора, можливість реалізації автоматичних циклів, підтримку ручного режиму для налаштування та діагностики, а також засоби контролю аварійних ситуацій.

Таким чином, результати першого розділу створили необхідне теоретичне підґрунтя для подальшого проєктування системи автоматичного керування. Виконаний аналіз дозволив обґрунтовано підійти до вибору маніпулятора,

сформувати основні вимоги до його роботи та визначити ключові параметри для розробки алгоритмів керування, які були детально опрацьовані у наступних розділах дипломної роботи

РОЗДІЛ 2

ІНТЕГРАЦІЯ ПЛК У СИСТЕМУ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ

2.1 ПЛК їх види та особливості роботи

Сучасна автоматизація виробничих процесів неможлива без використання програмованих логічних контролерів (ПЛК), які є основою систем керування технологічними процесами. Розвиток мікропроцесорної техніки та інформаційних технологій спричинив революцію в галузі автоматизації, забезпечивши можливість створення гнучких, надійних та економічно ефективних систем керування різноманітними об'єктами.

Програмовані логічні контролери стали невід'ємною частиною промислової автоматизації, замінивши релейні схеми та аналогові регулятори, що дозволило значно підвищити точність керування, надійність систем, а також спростити їх обслуговування та модернізацію. Сьогодні ПЛК застосовуються в різноманітних галузях: від керування окремими верстатами до управління цілими технологічними лініями та комплексами.

Вивчення особливостей роботи та різновидів ПЛК є актуальним завданням, оскільки це дозволяє раціонально підходити до вибору засобів автоматизації при проектуванні нових та модернізації існуючих виробництв. Метою даного розділу є аналіз сучасного стану розвитку програмованих логічних контролерів, дослідження їх класифікації, архітектури та особливостей застосування.

Програмований логічний контролер (ПЛК) — це мікропроцесорний пристрій, який призначений для автоматизованого керування технологічними процесами в режимі реального часу. На відміну від комп'ютерів загального призначення, ПЛК спеціально розроблені для роботи в промислових умовах та оптимізовані для виконання специфічних завдань контролю та керування.

Основними перевагами ПЛК є:

- висока надійність та стійкість до промислових умов експлуатації;

- можливість роботи в режимі реального часу;
- модульна структура, що забезпечує гнучкість та масштабованість;
- простота програмування та обслуговування;
- тривалий термін служби.

Принцип роботи ПЛК базується на циклічному виконанні програми користувача, що складається з таких етапів:

- зчитування вхідних сигналів від датчиків та перетворювачів;
- виконання програми користувача;
- оновлення вихідних сигналів для керування виконавчими механізмами;
- діагностика системи;
- обмін даними з іншими пристроями.

Час виконання одного циклу програми (скан-цикл) є важливою характеристикою ПЛК і зазвичай становить від кількох мілісекунд до десятків мілісекунд, залежно від складності програми та потужності контролера. При цьому детерміністичність виконання програми є ключовою особливістю ПЛК, що відрізняє їх від звичайних комп'ютерів [12].

Програмовані логічні контролери можна класифікувати за різними ознаками, що дозволяє систематизувати їх різноманіття та полегшити вибір оптимального рішення для конкретних задач автоматизації.

За конструктивним виконанням:

- моноблочні ПЛК — мають фіксований набір входів/виходів та вбудовані в єдиний корпус. Характеризуються простотою використання, надійністю та відносно низькою вартістю. Переважно застосовуються для локальної автоматизації невеликих об'єктів;
- модульні ПЛК — складаються з окремих модулів (процесорного, вводу/виводу, комунікаційних тощо), які монтуються на спеціальній шині. Забезпечують гнучкість конфігурації та можливість розширення системи;
- розподілені ПЛК — представляють собою мережу контролерів, об'єднаних промисловою мережею. Окремі вузли можуть бути географічно розподілені на значні відстані, що дозволяє ефективно автоматизувати складні та просторово розподілені об'єкти;

- вбудовані (embedded) ПЛК — інтегровані в обладнання або технологічні вузли та оптимізовані для виконання специфічних функцій. Характеризуються компактністю та спеціалізацією.

За продуктивністю та функціональністю;;

- мікро-ПЛК — компактні недорогі контролери з обмеженими ресурсами (до 64 точок вводу/виводу), призначені для керування простими процесами;
- малі ПЛК — контролери з помірною продуктивністю та можливістю розширення (до 256 точок вводу/виводу), що використовуються для автоматизації окремих установок;
- середні ПЛК — потужніші контролери з розширеними функціональними можливостями (до 1024 точок вводу/виводу), що дозволяють автоматизувати складні виробничі процеси;
- потужні ПЛК — високопродуктивні системи з великою кількістю входів/виходів (понад 1024 точок), розширеними мережевими можливостями та функціями обробки даних. Використовуються для комплексної автоматизації виробництв [13];

За галузевою спеціалізацією:

- універсальні ПЛК — призначені для широкого спектру задач автоматизації в різних галузях промисловості;
- спеціалізовані ПЛК — оптимізовані для конкретних галузей (харчова, фармацевтична, нафтогазова промисловість тощо) або специфічних задач (керування рухом, безпека тощо).

Вибір типу ПЛК залежить від багатьох факторів: складності системи керування, кількості точок вводу/виводу, вимог до надійності, швидкодії, функціональних можливостей та бюджету проекту. В сучасних умовах спостерігається тенденція до універсалізації ПЛК з одночасним розширенням їх функціональних можливостей.

Апаратна архітектура ПЛК визначає його функціональні можливості, продуктивність, надійність та сфери застосування. Розглянемо основні компоненти сучасних програмованих логічних контролерів.

Центральний процесорний модуль є "мозком" ПЛК та відповідає за виконання програми користувача, обробку даних, керування модулями вводу/виводу та комунікаційними функціями. Сучасні ЦПМ можуть бути реалізовані на основі:

- мікропроцесорів загального призначення — забезпечують високу продуктивність та гнучкість;
- спеціалізованих промислових процесорів — оптимізовані для задач керування в реальному часі;
- системи на кристалі (*SoC*) — інтегрують всі необхідні функції на одному чипі, що підвищує надійність та знижує енергоспоживання.

До складу ЦПМ також входять:

- оперативна пам'ять (*RAM*) для зберігання змінних та проміжних результатів обчислень;
- постійна пам'ять (*ROM, Flash*) для зберігання операційної системи та програми користувача;
- годинник реального часу;
- системні шини для обміну даними між компонентами.

Модулі вводу/виводу забезпечують взаємодію ПЛК з об'єктом керування та поділяються на:

- модулі дискретного вводу — приймають бінарні сигнали від датчиків та перемикачів (24 В DC, 220 В AC тощо);
- модулі дискретного виводу — формують керуючі сигнали для виконавчих механізмів (реле, контактори, соленоїди);
- модулі аналогового вводу — перетворюють аналогові сигнали (0-10 В, 4-20 мА, термопари, терморезистори) у цифрову форму;
- модулі аналогового виводу — перетворюють цифрові значення в аналогові сигнали для керування виконавчими механізмами;
- спеціалізовані модулі — призначені для роботи зі специфічними сигналами (швидкісні лічильники, модулі керування рухом, зважування тощо).

Комунікаційні модулі забезпечують взаємодію ПЛК з іншими компонентами системи автоматизації, інтерфейсами оператора та інформаційними системами підприємства. Найпоширенішими є модулі для підтримки таких протоколів:

- *fieldbus* — промислові мережі нижнього рівня (*Modbus, PROFIBUS, DeviceNet, CAN*);
- *ethernet-based* — промислові мережі на основі Ethernet (*PROFINET, EtherCAT, Modbus TCP/IP*);
- *wireless* — бездротові технології (*WLAN, Bluetooth, ZigBee*);
- спеціалізовані — специфічні для певних галузей або виробників.

Надійне функціонування ПЛК неможливе без стабільного електроживлення та захисту від зовнішніх впливів. Для цього використовуються:

- блоки живлення — перетворюють мережеву напругу в робочу напругу ПЛК (зазвичай 24 В DC);
- системи резервування живлення — забезпечують безперебійну роботу при відключенні основного живлення;
- захисні пристрої — захищають від перенапруги, струмових перевантажень, електромагнітних завад.

Важливою особливістю апаратної архітектури сучасних ПЛК є модульний принцип побудови, що дозволяє легко адаптувати контролер до вимог конкретного застосування. Крім того, сучасні ПЛК підтримують резервування ключових компонентів (процесорів, модулів вводу/виводу, комунікаційних інтерфейсів), що підвищує надійність системи керування в цілому [14].

Програмне забезпечення ПЛК відіграє ключову роль у функціонуванні систем автоматизації, визначаючи алгоритми керування та взаємодії з іншими компонентами системи. Розглянемо основні аспекти програмного забезпечення сучасних ПЛК.

Міжнародний стандарт IEC 61131-3 визначає п'ять мов програмування ПЛК, що дозволяють розробникам вибирати найбільш зручний інструмент для реалізації алгоритмів керування:

1. *Ladder Diagram (LD)* — мова релейних схем, що графічно представляє програму у вигляді електричних схем з контактами та котушками. Є найбільш інтуїтивно зрозумілою для інженерів-електриків та найпоширенішою в промисловості.
2. *Function Block Diagram (FBD)* — мова функціональних блоків, що представляє програму у вигляді взаємопов'язаних блоків з визначеними функціями. Зручна для алгоритмів з паралельною обробкою даних.
3. *Structured Text (ST)* — текстова мова високого рівня, що нагадує Pascal або C. Дозволяє реалізовувати складні алгоритми з математичними обчисленнями та управлінням потоком виконання.
4. *Instruction List (IL)* — мова низького рівня, подібна до асемблера. Поступово витісняється іншими мовами через складність розробки та підтримки.
5. *Sequential Function Chart (SFC)* — мова послідовних функціональних схем, що візуалізує програму як послідовність кроків та переходів. Оптимальна для опису послідовних процесів та машин станів.

Сучасні виробники ПЛК пропонують потужні інтегровані середовища розробки, що спрощують процес створення, налагодження та супроводу програм:

- *Siemens TIA Portal* — комплексне середовище для програмування контролерів Siemens.
- *Allen-Bradley Studio 5000* — середовище для програмування контролерів компанії *Rockwell Automation*.
- *Schneider Electric EcoStruxure Control Expert* — інструмент для програмування контролерів *Schneider Electric*.
- *CODESYS* — універсальне середовище, що підтримується багатьма виробниками ПЛК.
- *ABB Automation Builder* — середовище для програмування контролерів *ABB*.

Ці середовища забезпечують:

- підтримку всіх мов програмування за стандартом *IEC 61131-3*;

- засоби симуляції та налагодження;
- інструменти для діагностики та моніторингу;
- засоби керування версіями та документування;
- інтеграцію з іншими компонентами систем автоматизації.

Для спрощення розробки програм ПЛК використовуються бібліотеки стандартних та спеціалізованих функціональних блоків:

- базові функції — математичні операції, таймери, лічильники, тригери;
- алгоритми керування — ПІД-регулятори, нечітка логіка, нейронні мережі;
- комунікаційні функції — обмін даними за різними протоколами;
- галузеві бібліотеки — функції для специфічних галузей промисловості.

Використання готових функціональних блоків дозволяє значно скоротити час розробки та підвищити надійність програм за рахунок застосування перевірених рішень [15].

Світовий ринок програмованих логічних контролерів представлений багатьма виробниками, що пропонують різноманітні рішення для автоматизації. Розглянемо провідних виробників та їхні ключові продукти.

Siemens є одним з лідерів ринку автоматизації та пропонує широкий спектр ПЛК під брендом *SIMATIC*:

- *SIMATIC S7-1200* — компактні контролери для малих та середніх систем автоматизації;
- *SIMATIC S7-1500* — потужні контролери для складних систем керування з високими вимогами до продуктивності;
- *SIMATIC S7-300/400* — класичні модульні контролери, що мають велику встановлену базу;
- *LOGO* — мікроконтролери для простих задач автоматизації.

Особливістю ПЛК *Siemens* є висока надійність, широкі комунікаційні можливості та потужний програмний інструментарій *TIA Portal*.

Allen-Bradley (Rockwell Automation, США)

Компанія *Rockwell Automation* під брендом *Allen-Bradley* випускає лінійку контролерів *ControlLogix* та *CompactLogix*:

- *ControlLogix* — високопродуктивні модульні ПЛК для складних систем керування.
- *CompactLogix* — компактні контролери для середніх систем автоматизації.
- *MicroLogix* — мікроконтролери для простих задач керування.
- *GuardLogix* — контролери для систем безпеки.

Контролери *Allen-Bradley* відрізняються зручним програмуванням в середовищі *Studio 5000* та широкими мережевими можливостями на базі *EtherNet/IP*.

Mitsubishi Electric випускає контролери серії *MELSEC*:

- *MELSEC iQ-R* — високопродуктивні модульні контролери;
- *MELSEC iQ-F* — компактні контролери для середніх систем;
- *MELSEC-L* — малогабаритні модульні контролери;
- *MELSEC-Q* — модульні контролери для складних систем керування.

Контролери *Mitsubishi* вирізняються компактністю та високою швидкодією.

Попри різноманіття виробників та моделей, спостерігається тенденція до стандартизації інтерфейсів та мов програмування, що полегшує інтеграцію різних компонентів систем автоматизації [16].

Впровадження та експлуатація ПЛК в промислових умовах мають свої особливості, які необхідно враховувати при проектуванні та обслуговуванні систем автоматизації.

Процес проектування систем керування на базі ПЛК включає такі етапи:

1. Аналіз вимог — визначення функціональних, технічних та економічних вимог до системи керування.
2. Вибір типу та моделі ПЛК — з урахуванням необхідної продуктивності, кількості входів/виходів, комунікаційних можливостей, умов експлуатації та бюджету.
3. Проектування апаратної частини — визначення структури системи, вибір модулів вводу/виводу, комунікаційних інтерфейсів, проектування схем підключення.

4. Розробка програмного забезпечення — створення алгоритмів керування, написання та налагодження програм.
5. Тестування системи — перевірка коректності роботи окремих компонентів та системи в цілому.
6. Впровадження системи — монтаж, налагодження та введення в експлуатацію.
7. Документування системи — створення повного комплексу технічної документації.

Розвиток технологій ПЛК відбувається у напрямку підвищення інтелектуальності, функціональності та інтеграції з іншими системами. При цьому зберігаються ключові вимоги до надійності, детермінізму та промислової стійкості [14].

2.2 Вибір ПЛК для автоматизації системи керування маніпулятором M20П.40.01

Для реалізації системи автоматизованого керування роботом-маніпулятором було обрано програмований логічний контролер *Siemens SIMATIC S7-1500*, модель *CPU 1511T-1 PN*. Цей контролер належить до серії технологічних (*T*-серія), що спеціалізується на задачах керування рухом — саме таких, які характерні для маніпуляторів: координоване позиціонування, синхронізація осей, робота з енкодерами тощо.

Обґрунтування вибору ПЛК:

1. Підтримка *Motion Control*:

CPU 1511T-1 PN спеціально створений для керування приводами та кінематичними структурами. Він дозволяє реалізовувати швидкісне та точне позиціонування осей маніпулятора, синхронізувати їхній рух, а також інтегрувати зворотний зв'язок з енкодерів і датчиків. Підтримуються такі об'єкти:

- швидкісні осі (*Speed Axis*),
- позиціонування (*Positioning Axis*),

- синхронізовані осі (*Synchronous Axis*),
- зовнішні енкодери (*External Encoder*),
- вимірювальні входи (*Measuring Input*),
- кулачки та камери (*Cam/Cam Track*).

2. Наявність розширених комунікаційних функцій

Завдяки *PROFINET*-інтерфейсу з двома портами, контролер підтримує реальний час (*RT*) та ізохронний режим (*IRT*), що критично важливо для стабільної та точної координації приводів маніпулятора.

3. Діагностика та зручність налаштування

Вбудований дисплей, веб-сервер, інтеграція з *TIA Portal* та підтримка *OPC UA* забезпечують зручність у налаштуванні, обслуговуванні й аналізі системи під час роботи.

4. Вбудовані засоби безпеки та захисту

Контролер забезпечує високий рівень інформаційної безпеки, зокрема:

- захист від копіювання та несанкціонованого запуску програми;
- обмеження доступу до конфігурації;
- контроль цілісності даних.

5. Оптимальна технічна продуктивність для робототехнічних завдань

Продуктивність, швидкодія, обсяг пам'яті та гнучка архітектура дозволяють ефективно реалізувати алгоритми роботи маніпулятора без перевантаження або затримок. [17].

Основні технічні характеристики продемонстровані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики ПЛК *Siemens SIMATIC S7-1500*

Параметр	Значення
Об'єм робочої пам'яті (програма)	225 КБ
Об'єм робочої пам'яті (дані)	1 МБ
Накопичувач (<i>SIMATIC memory card</i>)	до 32 ГБ
Час обробки бітових операцій	60 нс

Таймери та лічильники	по 2048 (із можливістю збереження)
Напруга живлення	24 В DC (допустимий діапазон 19.2...28.8 В)
Споживання струму (ном.)	0.7 А
Вбудовані комунікації	<i>PROFINET</i> (2 порти), <i>OPC UA</i> , <i>Web Server</i>
Розміри (Ш × В × Г)	35 × 147 × 129 мм
Вага	~430 г

На рисунку 2.1 зображено передню панель програмованого логічного контролера *Siemens SIMATIC S7-1500*. Дана серія ПЛК призначена для побудови сучасних систем автоматизації з високими вимогами до швидкості обробки даних, надійності та простоти обслуговування. Розглянемо основні елементи передньої панелі, які забезпечують зручну взаємодію користувача з пристроєм.

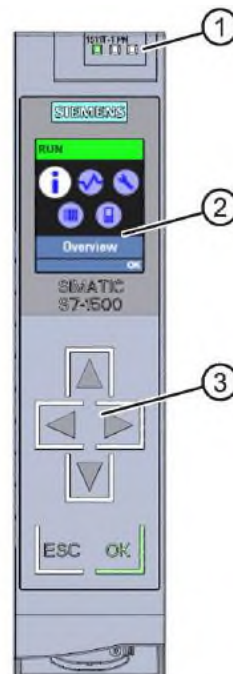


Рисунок 2.1 — передня панель контролера *Siemens SIMATIC S7-1500*

Позначення 1 — це світлодіоди для індикації поточного режиму та стану діагностики центрального процесора (ЦП). Завдяки цим світлодіодам оператор

або інженер автоматизації може швидко визначити стан ПЛК без необхідності підключення до програмного забезпечення. Світлодіоди інформують про такі режими, як: "*RUN*" (ПЛК у режимі виконання програми), "*STOP*" (зупинка виконання), а також про наявність системних чи апаратних помилок. При виникненні аварійних ситуацій або помилок індикація змінюється, привертаючи увагу обслуговуючого персоналу.

Позначення 2 — це інтегрований дисплей, який є однією з ключових особливостей серії *S7-1500*. Дисплей кольоровий, графічний, з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом. Він дозволяє здійснювати діагностику ПЛК, переглядати стан входів/виходів, моніторити параметри системи, а також налаштовувати базові параметри без використання зовнішнього програмного забезпечення. Відображення інформації у зрозумілій формі значно спрощує введення ПЛК у експлуатацію та технічне обслуговування.

Позначення 3 — це кнопки керування оператором. За допомогою клавіш навігації (стрілок), а також кнопок "*ESC*" та "*OK*" оператор може переміщатися по меню дисплею, підтверджувати або скасовувати вибрані дії. Це забезпечує зручний локальний доступ до функцій ПЛК, що особливо актуально при обслуговуванні безпосередньо на виробничій ділянці, де може не бути підключеного ПК.

Використання ПЛК Siemens *SIMATIC S7-1500* у системі керування маніпулятором M20П.40.01 дозволяє реалізувати надійне, гнучке та зручне керування, забезпечуючи швидку діагностику та простоту налаштування системи. Інтуїтивно зрозуміла передня панель підвищує ефективність роботи персоналу та сприяє оперативному усуненню можливих збоїв у роботі обладнання.

На рисунку 2.2 зображено задню частину корпусу контролера Siemens *SIMATIC S7-1500*, яка забезпечує підключення, діагностику та базову конфігурацію пристрою. Розглянемо детальніше основні елементи цієї частини.

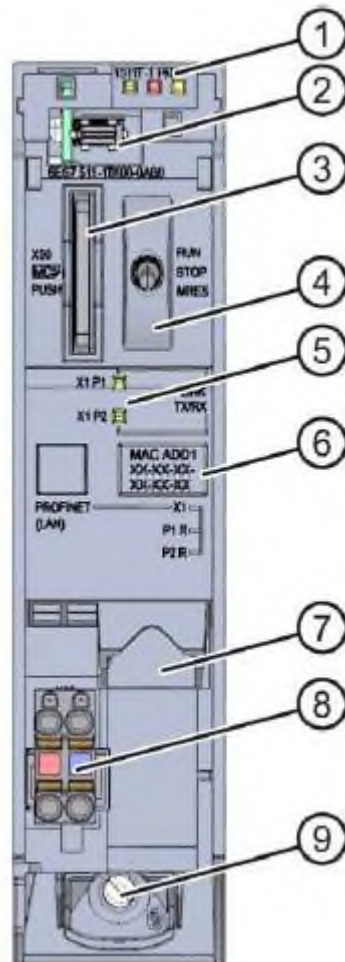


Рисунок 2.2 — задньої частини контролера *Siemens SIMATIC S7-1500*

1 — Світлодіоди для індикації поточного режиму роботи та стану діагностики *CPU*. Ці світлодіоди дублюють частину інформації передньої панелі та дозволяють швидко зорієнтуватися щодо робочого стану контролера навіть при обмеженому доступі до дисплею. Індикація включає режими RUN, STOP, помилки або попередження.

2 — Роз'єм для підключення дисплея. Це сервісний роз'єм, до якого підключається передня панель із дисплеєм для локального моніторингу параметрів ПЛК. Наявність такого роз'єму дозволяє легко замінювати або оновлювати модулі дисплею без потреби втручання у внутрішню частину ПЛК.

3 — Слот для карти пам'яті *SIMATIC*. У даний слот встановлюється карта пам'яті, яка використовується для зберігання користувацької програми, параметрів, архівів даних та іншої службової інформації. Це дозволяє оперативно оновлювати програмне забезпечення, переносити програми між різними ПЛК або виконувати резервне копіювання.

4 — Перемикач режимів роботи. Даний механічний перемикач дозволяє встановлювати режим роботи контролера: *RUN* (виконання програми), *STOP* (зупинка виконання) або *MRES* (*Memory Reset* — скидання пам'яті). Це корисний інструмент при обслуговуванні або оновленні прошивки ПЛК.

5 — Світлодіоди для 2 портів інтерфейсу *PROFINET X1*. Кожен із портів *X1* оснащений власним світлодіодом індикації стану з'єднання та активності передавання даних. Це дозволяє легко відслідковувати наявність з'єднання з мережею *PROFINET*, що є важливим при роботі із розподіленими системами автоматизації.

6 — *MAC*-адреса. На задній частині корпусу зафіксована заводська *MAC*-адреса *Ethernet*-портів. Вона використовується для налаштування мережі, ідентифікації ПЛК у середовищі *PROFINET* чи іншої мережі.

7 — Інтерфейс вводу-виводу *PROFINET (X1)* з 2 портами. Два *RJ-45* порти забезпечують підключення ПЛК до мережі *PROFINET* або безпосередньо до інших пристроїв, таких як частотні перетворювачі, розподілені модулі вводу-виводу, сенсорні панелі *HMI* тощо. Наявність двох портів дозволяє організовувати як лінійну, так і кільцеву топологію мережі.

8 — Підключення для подачі напруги живлення. Тут підключається основне джерело живлення для ПЛК. Інженер має забезпечити відповідну якість живлення згідно зі специфікацією *Siemens*, щоб уникнути збоїв в роботі.

9 — Кріпильний гвинт. Він служить для фіксації модуля у монтажній рамі або на *DIN*-рейці. Надійне кріплення гарантує механічну стійкість контролера навіть у випадку вібрацій на виробничому обладнанні.

Таким чином, задня частина ПЛК *SIMATIC S7-1500* забезпечує зручне та безпечне підключення всіх необхідних елементів системи автоматизації та надає інженеру повний доступ до діагностики й конфігурації контролера. Це важливий конструктивний елемент, що підвищує зручність монтажу та експлуатації системи.

На рисунку 2.3 представлено схему підключення живлення до контролера *Siemens SIMATIC S7-1500* через роз'єм *X80*. Забезпечення надійного живлення є критичним аспектом роботи системи автоматизації, оскільки від якості живлення

залежить стабільність і безперебійність виконання програми керування маніпулятором.

Роз'єм X80 дозволяє підключити два незалежних канали живлення з напругою +24 В постійного струму. Такий підхід дає змогу реалізувати як резервоване живлення, так і живлення різних груп навантаження.

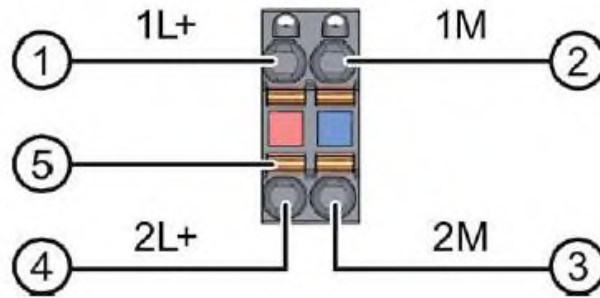


Рис. 2.3 — схему підключення живлення до контролера *Siemens SIMATIC S7-1500* через роз'єм X80

Клема 1 (1L+) призначена для підключення основної лінії +24 В постійного струму. Це основне джерело живлення контролера та його внутрішніх схем.

Клема 2 (1M) використовується для підключення заземлення джерела живлення відповідної гілки (*GND*). Це необхідно для створення спільної точки відліку напруги та забезпечення електричної безпеки системи.

Клема 3 (2M) — заземлення другої гілки живлення або прохідного шлейфу. Це дозволяє розширити можливості підключення в системах, де використовується каскадне підключення модулів.

Клема 4 (2L+) — вхід для другої лінії +24 В постійного струму. Зазвичай використовується або для підключення резервного джерела живлення, або для живлення групи модулів введення/виведення, що дозволяє забезпечити гальванічну розв'язку між різними частинами системи.

Клема 5 — це пружинний розмикач. Один такий розмикач передбачено для кожної клеми. Його використання спрощує підключення та відключення дротів, забезпечує надійний контакт і дозволяє здійснювати швидке технічне обслуговування без застосування спеціального інструменту.

Важливо зазначити, що схема передбачає використання прохідного шлейфу, що дозволяє підключати додаткові модулі або елементи без

необхідності прокладати окремі кабелі живлення для кожного з них. Максимально допустимий струм для такого підключення становить 10 А, що відповідає вимогам типових промислових систем автоматизації.

Таким чином, роз'єм X80 забезпечує гнучке та безпечне підключення живлення до контролера *Siemens S7-1500* і дозволяє легко інтегрувати його у різні конфігурації системи автоматизації.

У результаті аналізу технічних характеристик та функціональних можливостей програмованого логічного контролера *Siemens SIMATIC S7-1500* було обґрунтовано його вибір для автоматизації системи керування маніпулятором M20П.40.01. Дана серія ПЛК забезпечує високу швидкість обробки даних, гнучкість конфігурації, зручність програмування та надійну інтеграцію з периферійними пристроями.

Розглянуті конструктивні особливості контролера — передня та задня панелі, схема підключення живлення — демонструють його зручність в експлуатації та обслуговуванні. Завдяки широким можливостям діагностики, підтримці інтерфейсу *PROFINET* та гнучкій архітектурі система керування на базі *S7-1500* є оптимальним рішенням для реалізації вимог до автоматизації роботи маніпулятора.

2.3 Процес діагностики та налагодження ПЛК *Siemens SIMATIC S7-1500*

Процес діагностики та налагодження програмованого логічного контролера (ПЛК) є важливою складовою життєвого циклу автоматизованої системи. Від якості та повноти налагодження залежить не лише працездатність системи, а й її надійність, безпечність та зручність обслуговування. Контролери серії *Siemens SIMATIC S7-1500* мають розвинені можливості для локальної та віддаленої діагностики, що значно полегшує їх експлуатацію у складі складних систем автоматизації, зокрема для управління маніпуляторами.

Підготовка до діагностики та налагодження:

Перед початком діагностики та налагодження необхідно провести правильне підключення ПЛК до джерела живлення, під'єднати усі необхідні периферійні модулі, сенсори та виконавчі механізми. Живлення контролера здійснюється через роз'єм X80, що дозволяє організувати резервоване живлення і прохідний шлейф для підключення додаткових пристроїв. Після подачі живлення необхідно перевірити індикацію на передній панелі ПЛК.

На передній панелі розташовано кольоровий дисплей і світлодіоди стану. Світлодіоди інформують про поточний режим роботи контролера: *RUN*, *STOP* або наявність помилки. За допомогою вбудованого дисплея можна отримати доступ до базових параметрів системи, здійснити початкову діагностику, переглянути стан входів/виходів і журнал помилок.

Перед початком програмування необхідно завантажити актуальне середовище розробки — *TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal)*. Саме у цьому середовищі здійснюється створення проекту, розробка програми на мові *LD (Ladder Diagram)*, конфігурація апаратної частини, налаштування мережі *PROFINET* та створення системи візуалізації (HMI).

Засоби діагностики ПЛК *Siemens SIMATIC S7-1500*:

ПЛК *Siemens SIMATIC S7-1500* має розширені вбудовані засоби діагностики. Основним з них є інтегрований веб-сервер. За допомогою браузера можна отримати доступ до детальної інформації про стан системи, журнали подій, переглянути карту пам'яті, стан комунікаційних інтерфейсів, а також оновити прошивку.

Вбудований дисплей дозволяє без підключення комп'ютера:

- переглядати поточний стан ЦП;
- переглядати статус кожного входу/виходу;
- діагностувати активні помилки та їх опис;
- виконувати скидання помилок;
- виконувати зміну деяких параметрів.

Крім того, в *TIA Portal* реалізовано повноцінний механізм онлайн-діагностики:

- відображення процесів у режимі реального часу;
- трасування програмного коду;
- логування змін станів змінних;
- детальний аналіз часових діаграм;
- налаштування механізмів сповіщення.

У рамках розробки системи керування маніпулятором M20П.40.01 засоби діагностики дозволяють:

- перевірити правильність роботи кінцевих вимикачів і сенсорів;
- відстежити спрацьовування команд руху;
- виявити затримки або збої у роботі алгоритмів;
- провести тестування алгоритмів аварійного реагування;
- перевірити логіку переходів у підпрограмах.

Процес налагодження системи:

Після успішного завантаження програми у ПЛК виконується процес поетапного налагодження.

На першому етапі перевіряється правильність конфігурації апаратної частини:

- перевірка конфігурації *PROFINET*-мережі;
- перевірка відповідності фізичних входів/виходів програмній конфігурації;
- тестування реакції контролера на сигнали від сенсорів.

На другому етапі здійснюється налагодження основного алгоритму програми:

- тестування логіки ініціалізації;
- перевірка вибору режиму (автоматичний, ручний, налаштувальний);
- тестування роботи автоматичного циклу за циклограмою;
- тестування ручного режиму (всі напрямки руху маніпулятора);
- перевірка правильності обробки аварій.

Особлива увага приділяється налагодженню алгоритмів безпеки:

- перевірка роботи кнопки аварійної зупинки (*Emergency Stop*);
- контроль таймерів затримки;

- перевірка індикації станів системи на НМІ.

У процесі налагодження використовуються моніторинг змінних у *TIA Portal* та онлайн-спостереження за циклограмою роботи маніпулятора. Для зручності операторів у проєкт включаються спеціальні змінні для НМІ, які відображають стан кожного етапу роботи програми.

Завершення діагностики та підготовка до експлуатації:

Після успішного завершення налагодження, тестування усіх алгоритмів і перевірки безпечної роботи, система переходить у режим промислової експлуатації.

Для цього:

- програма зберігається у постійній пам'яті ПЛК;
- створюється резервна копія проєкту;
- забезпечується актуалізація документації (циклограми, таблиці входів/виходів, опис параметрів);
- передаються інструкції для обслуговуючого персоналу.

Таким чином, діагностика та налагодження ПЛК *Siemens SIMATIC S7-1500* дозволяють забезпечити високу якість функціонування системи автоматичного керування маніпулятором, виявити і усунути потенційні помилки на етапі пусконаладжувальних робіт та підготувати систему до стабільної та надійної роботи у промислових умовах.

Висновки за розділом 2

У даному розділі було виконано аналіз та обґрунтування вибору програмованого логічного контролера для автоматизації системи керування маніпулятором M20П.40.01. На основі порівняння технічних характеристик, функціональних можливостей та вимог до системи було обрано ПЛК *Siemens SIMATIC S7-1500* як оптимальне рішення для реалізації поставленого завдання.

Було детально розглянуто конструктивні особливості контролера, проаналізовано елементи його передньої та задньої панелі, а також схему підключення живлення. Описані функціональні можливості дисплея та

інтерфейсів, що забезпечують зручність експлуатації, простоту діагностики та надійність роботи пристрою у складі автоматизованої системи.

Особливу увагу приділено процесу діагностики та налагодження ПЛК. Завдяки використанню сучасного інженерного середовища TIA Portal і широких вбудованих діагностичних можливостей контролера, процес налагодження системи є ефективним і зручним. Забезпечується повний контроль за виконанням алгоритмів, станом входів/виходів, а також швидке виявлення і усунення можливих помилок.

Таким чином, у розділі було доведено, що використання ПЛК Siemens *SIMATIC S7-1500* забезпечує всі необхідні умови для реалізації надійної, гнучкої та ефективної системи автоматичного керування роботом-маніпулятором, що дозволить досягти поставлених цілей проекту та гарантувати стабільну роботу обладнання в умовах промислової експлуатації.

РОЗДІЛ 3

АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1. Опис функціональної схеми

Функціональна схема системи автоматичного керування, розробленої в рамках даної дипломної роботи (рис.3.1), передбачає створення програмної моделі роботизованого комплексу, керованого за допомогою програмованого логічного контролера *Siemens S7-1500*. Така система імітує роботу реального виробничого середовища, де основними завданнями є точне позиціонування, надійне виконання команд, обробка сигналів від датчиків, а також забезпечення функцій безпеки та зворотного зв'язку. Усі елементи схеми реалізуються програмно у середовищі *TIA Portal* з використанням симуляційного інструменту *PLCSIM Advanced*.

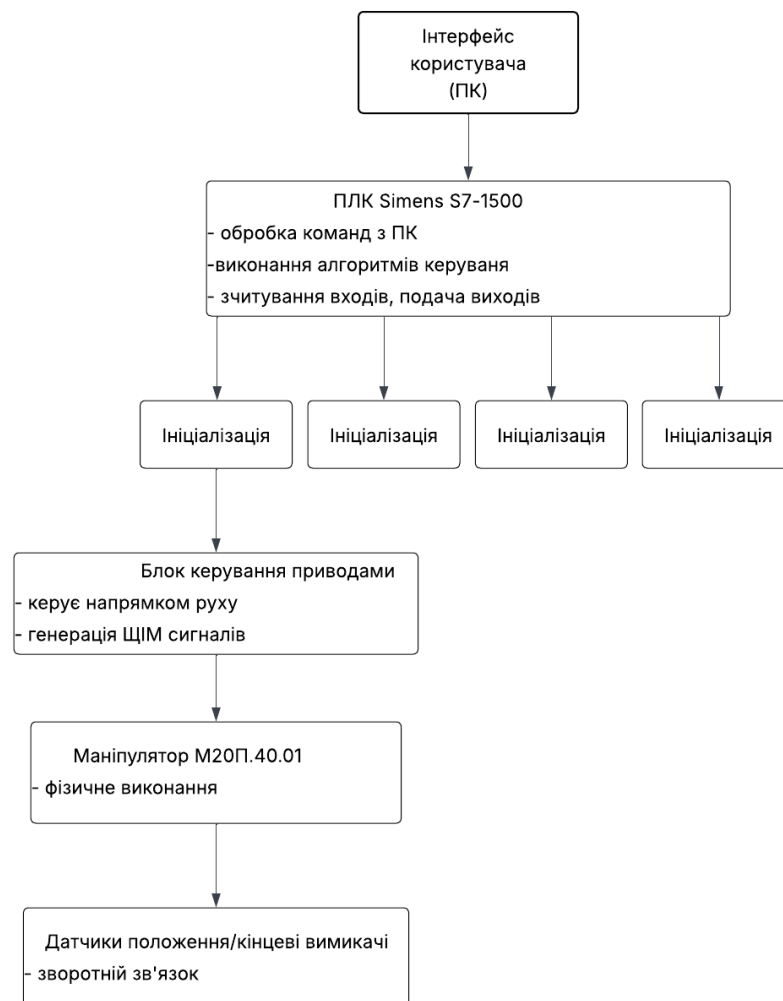


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи автоматичного керування

Загалом схема складається з декількох логічно взаємопов'язаних частин. Вхідна взаємодія оператора із системою здійснюється через інтерфейс користувача у вигляді НМІ-панелі або програмного інтерфейсу на ПК. Саме з цього рівня задаються команди на запуск чи зупинку процесу, вибираються режими роботи, а також відображається поточний стан системи. Програмований логічний контролер Siemens S7-1500 є центральним керуючим елементом схеми. Він приймає сигнали з НМІ, обробляє їх у межах логіки, закладеної в програмі, і формує відповідні вихідні сигнали на виконавчі механізми. Крім того, ПЛК постійно зчитує інформацію з датчиків положення та кінцевих вимикачів, оцінює стан безпеки системи та забезпечує належну реакцію на зовнішні події.

Перед початком основної роботи система проходить етап ініціалізації та самодіагностики, під час якого контролер перевіряє доступність всіх елементів, зчитує початкові параметри та виконує внутрішню перевірку стану. Після цього активується логіка контролера режимів роботи, який керує перемиканням між автоматичним, ручним та налаштувальним режимами, відповідно до обраної стратегії керування. Під час автоматичної роботи система самостійно виконує заданий цикл дій, у ручному режимі оператор має можливість контролювати кожен крок окремо, а налаштувальний режим використовується для тестування й налагодження окремих вузлів.

Одночасно функціонує блок безпеки, який забезпечує аварійну зупинку системи у разі виникнення позаштатної ситуації, перевищення меж переміщення або помилки з боку сенсорів. Усі аварійні сигнали негайно обробляються ПЛК, що забезпечує швидке реагування та переведення системи у безпечний стан. У процесі роботи також постійно активні модулі візуалізації, таймерів та лічильників. Вони дозволяють контролювати час між діями, відстежувати кількість виконаних циклів, а також передавати поточну інформацію на екран оператора.

Формування керуючих сигналів до виконавчих механізмів відбувається через блок керування приводами. Цей блок перетворює логічні сигнали ПЛК у відповідні команди на рух маніпулятора, забезпечуючи напрямок, швидкість та інші параметри переміщення. Сам маніпулятор M20П.40.01 у даній роботі

моделюється програмно як об'єкт, що виконує дії відповідно до поданих сигналів. Його положення контролюється за допомогою умовних датчиків положення, які повертають сигнали у ПЛК для зворотного зв'язку.

Загалом така структурована і модульна побудова функціональної схеми дозволяє забезпечити високу надійність, точність та передбачуваність роботи системи. Усі логічні зв'язки між блоками реалізовані таким чином, щоб система могла не лише виконувати базові команди керування, але й реагувати на зміну зовнішніх умов, забезпечувати захист від помилок і аварій, а також виводити всю необхідну інформацію для оператора у зручному вигляді. Такий підхід відповідає сучасним вимогам до проектування систем автоматизації у промислоості та є практично застосовним для реального виробництва.

3.2. Керуючі алгоритми програми

Основний алгоритм керування (рис.3.2) системою автоматичного керування маніпулятором побудований з урахуванням поетапного виконання логіки — від початкового завантаження програми до завершення робочого циклу або переходу в режим очікування. Програма реалізована у середовищі TIA Portal із використанням структурованих блоків функціональної логіки (Function Blocks), що дозволяє забезпечити модульність, повторне використання коду та прозоре управління станами системи.

На першому етапі, після подачі живлення та запуску програми, активується блок ініціалізації. У цей момент система виконує самодіагностику: зчитуються сигнали з кінцевих вимикачів, перевіряється доступність основних компонентів, таких як приводи, датчики, канали зв'язку. Якщо перевірка успішна, змінна стану системи переводиться у статус «готово до роботи». У разі помилки — активується аварійна логіка, яка блокує подальше виконання та надсилає відповідне повідомлення на НМІ.

Після успішної ініціалізації система переходить до режиму очікування команди від оператора. Користувач через НМІ або ПК обирає бажаний режим

роботи: автоматичний, ручний або налаштувальний. Обрана опція фіксується у змінній режиму, і програма переходить до відповідного логічного блоку.

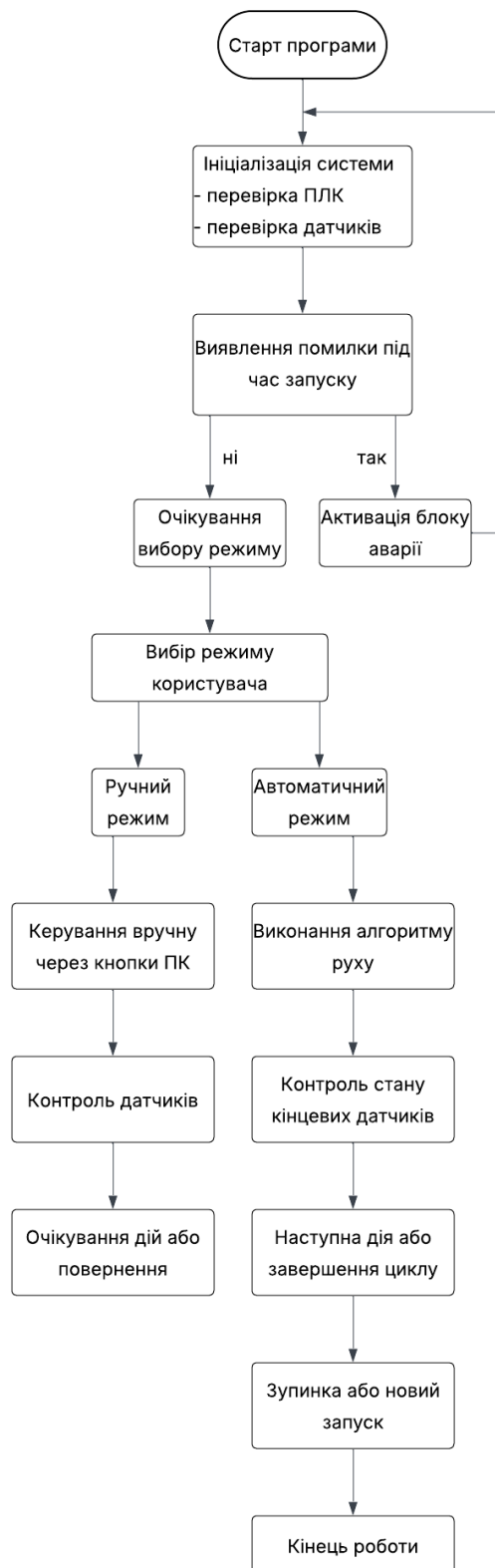


Рисунок 3.2 – Основний алгоритм програми

У автоматичному режимі запускається виконання попередньо запрограмованого циклу дій. Алгоритм передбачає поетапне керування осями

маніпулятора відповідно до заданих координат або послідовностей. Програма формує сигнали напрямку та активації для приводу кожної осі, контролюючи затримки між кроками через таймери. Після кожної дії система перевіряє стан відповідних кінцевих вимикачів, отримує зворотний зв'язок і переходить до наступного етапу тільки за умови правильного виконання попереднього. У разі збою активується процедура аварійної зупинки.

У ручному режимі логіка дозволяє оператору керувати кожною віссю окремо через НМІ. Натискання відповідної кнопки запускає конкретну дію – наприклад, переміщення вгору, вниз, вліво чи вправо. Тут діють ті ж самі перевірки на стан датчиків, що і в автоматичному режимі, але ініціація команд здійснюється вручну, без автоматичної послідовності.

Налаштувальний режим дає можливість перевірити роботу окремих елементів системи, зокрема блоків приводів, стану входів/виходів, таймерів та лічильників. Він використовується при тестуванні нових алгоритмів, налагодженні програми або діагностиці несправностей.

Незалежно від обраного режиму, система безпеки постійно моніторить аварійні входні сигнали. Якщо спрацював аварійний стоп, перевищено межі переміщення або втрачено зв'язок із будь-яким компонентом, основний цикл негайно переривається, всі вихідні сигнали обнуляються, і програма переходить у стан аварійної зупинки з відповідним відображенням повідомлення на НМІ.

По завершенні циклу в автоматичному режимі або після відпускання керуючої кнопки в ручному, система знову повертається у стан очікування. Усі внутрішні змінні скидаються до початкових значень, і програма готова до нового запуску.

Підпрограма ініціалізації (рис.3.3) є ключовим елементом основного алгоритму, який виконується на самому початку роботи системи керування маніпулятором. Її основне призначення — перевірити працездатність усіх компонентів системи перед початком виконання основного циклу, а також встановити початкові значення змінних для подальшої стабільної роботи

На початку виконання підпрограма зчитує всі входні сигнали, що надходять до ПЛК. До них належать сигнали з датчиків положення, стан аварійної кнопки,

діагностичні сигнали від приводів, а також статус внутрішніх систем ПЛК, зокрема стабільність живлення. Цей етап дозволяє виявити будь-які критичні помилки або відсутність необхідних з'єднань ще до запуску основної логіки.

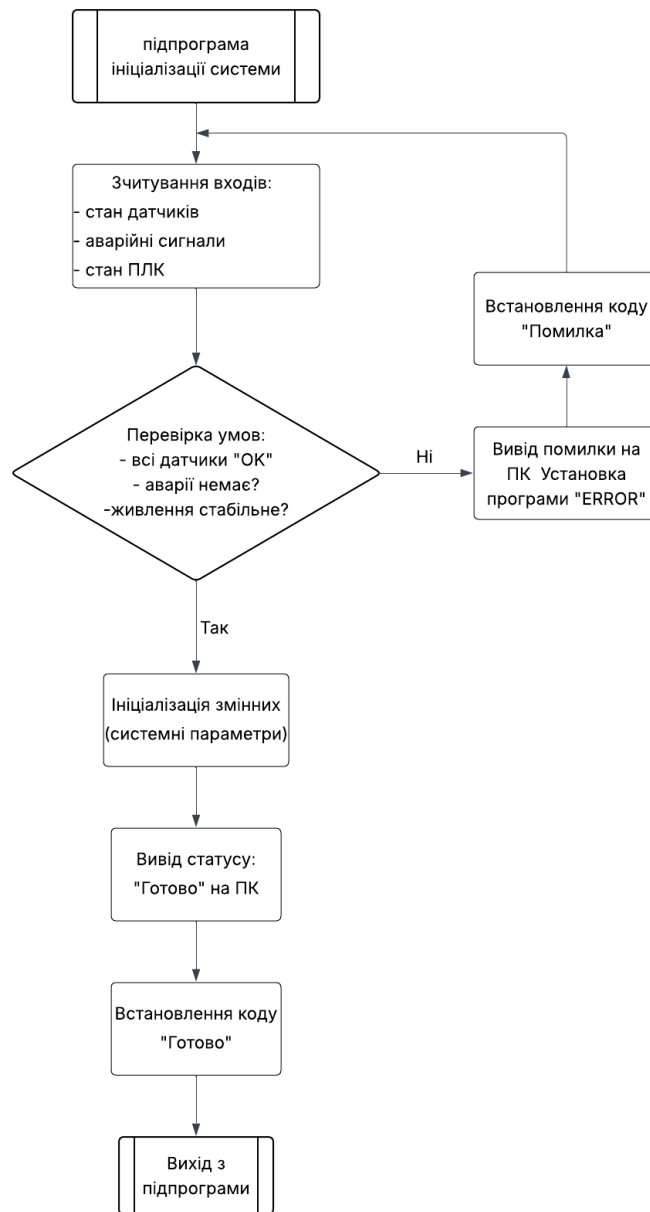


Рисунок 3.3 – Алгоритм підпрограми ініціалізації системи

Після зчитування даних система виконує логічну перевірку отриманих значень. Програма перевіряє, чи перебувають усі датчики у допустимому стані, чи не зафіксовано сигналів про аварію, чи всі канали зв'язку доступні та чи знаходиться система у стабільному енергетичному режимі. Якщо всі умови дотримано, підпрограма переходить до етапу ініціалізації змінних, де

встановлюються початкові значення внутрішніх параметрів, таких як позиції, лічильники циклів, прапори стану тощо. Це забезпечує «чистий» старт системи без залишкових значень від попередніх запусків.

Після успішного налаштування всіх параметрів на НМІ виводиться повідомлення про готовність системи до роботи. Водночас ПЛК передає керуючому блоку основного алгоритму сигнал про те, що система ініціалізована і може переходити до наступного етапу.

У випадку, якщо хоча б один із параметрів виявиться недопустимим (наприклад, відсутній сигнал з датчика або активований аварійний вхід), підпрограма блокує подальше виконання логіки. У такому випадку на НМІ виводиться повідомлення про помилку, встановлюється відповідний аварійний код, і програма повертається у режим очікування до усунення несправності. Таким чином, підпрограма забезпечує захист системи від неправильного запуску та дозволяє оператору оперативно виявити й виправити можливі неполадки перед запуском.

У цілому, підпрограма ініціалізації є необхідною умовою надійної роботи системи, оскільки гарантує, що всі компоненти знаходяться в коректному стані перед початком основного циклу керування.

Підпрограма автоматичного циклу (рис.3.4) є однією з ключових функціональних частин системи керування маніпулятором, оскільки забезпечує виконання заздалегідь заданої послідовності дій без участі оператора. Її основне завдання — автоматизоване переміщення виконавчих механізмів за чітко визначеним сценарієм, який може включати кілька етапів із контролем виконання на кожному з них.

Після активації автоматичного режиму з головного алгоритму система ініціює запуск підпрограми автоматичного циклу. На початку виконання встановлюється значення змінної, що відповідає за поточний крок (наприклад, $Step := 1$), яка визначає, яку саме операцію необхідно виконати першою. Після цього до виконавчого механізму надсилається команда на переміщення у відповідну позицію або виконання конкретної дії.



Рисунок 3.4 – Алгоритм підпрограми автоматичного циклу

Після подачі команди система переходить у режим очікування підтвердження від кінцевого вимикача або іншого відповідного датчика. Це підтвердження свідчить про успішне завершення дії. Якщо сигнал з датчика надходить у встановлений проміжок часу, програма переходить до наступного етапу, збільшуючи значення змінної кроку ($Step := Step + 1$). Якщо ж сигнал не надходить, система виконує повторну перевірку або переходить у стан затримки, що дозволяє врахувати можливі технологічні затримки в роботі механізму.

Перед переходом до наступного етапу програма виконує перевірку: чи залишились ще дії в поточному циклі. Якщо значення кроку менше або дорівнює встановленій максимально допустимій кількості кроків (наприклад, *MaxStep*), алгоритм повторюється для наступної дії. Якщо всі кроки виконано, система фіксує завершення автоматичного циклу, переводить змінні стану в очікування нового запуску або повертається до основного алгоритму для прийняття подальших рішень.

Такий підхід до організації автоматичного циклу дозволяє реалізувати гнучке й надійне програмне керування послідовністю дій маніпулятора, забезпечуючи точність позиціонування, контроль виконання та оперативне реагування на можливі збої. Завдяки структурованості підпрограми, її можна легко адаптувати до будь-якої кількості кроків або інтегрувати з додатковими логічними умовами в більш складних системах автоматизації.

Підпрограма обробки аварій (рис.3.5) забезпечує надійний захист системи автоматичного керування від небезпечних або нестандартних ситуацій, які можуть виникнути під час роботи маніпулятора. Її головне завдання — своєчасне виявлення потенційно критичних подій, миттєве припинення роботи виконавчих механізмів та інформування оператора про наявну проблему.

Принцип дії підпрограми базується на постійному моніторингу аварійних входів, які включають сигнал від кнопки аварійної зупинки перевищення меж переміщення, втрату зв'язку з виконавчими пристроями або інші несправності. Ці сигнали надходять до ПЛК у вигляді дискретних входних змінних і аналізуються циклічно в кожному обігу програми.

У разі, якщо хоча б один із таких сигналів виявиться активним, підпрограма негайно переходить до виконання аварійної логіки. Усі вихідні сигнали, що керують приводами та виконавчими елементами, миттєво блокуються або обнуляються для забезпечення зупинки маніпулятора. Паралельно на НМІ або іншому інтерфейсі користувача виводиться попередження про наявність аварії, часто із зазначенням її джерела (наприклад, «Аварія: межа Z перевищена» або «Втрачено зв'язок із приводом осі X»). Це

дозволяє оператору швидко ідентифікувати причину зупинки та прийняти відповідні заходи.

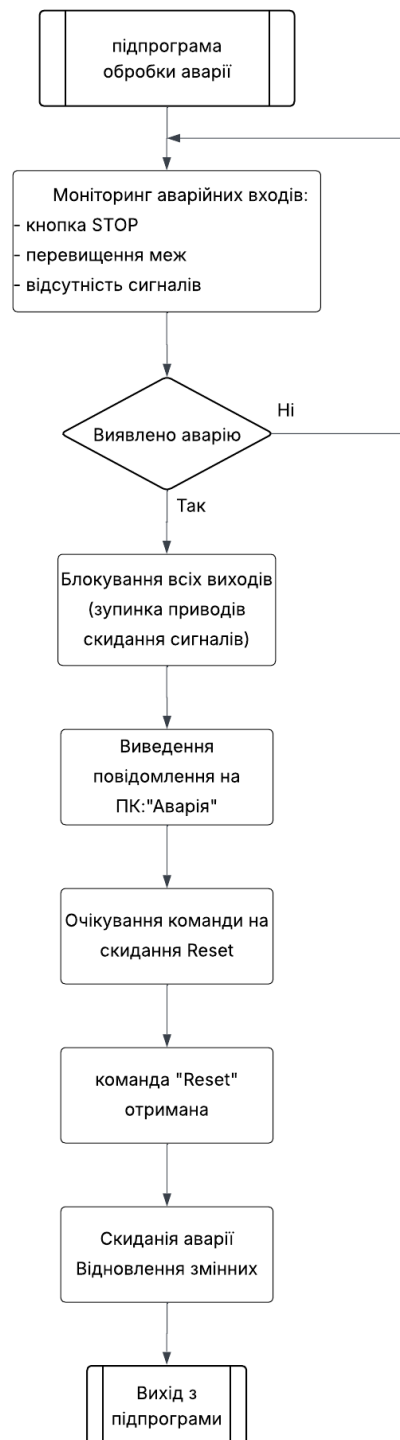


Рисунок 3.5 – Алгоритм підпрограми обробки аварій

Після фіксації аварійного стану система переходить у режим очікування команди на скидання (*Reset*). Така команда може подаватися тільки вручну — як

правило, натисканням відповідної кнопки на НМІ або фізичному пульті керування. До моменту надходження цієї команди система залишається в заблокованому стані, не дозволяючи запуск жодної операції.

Після натискання кнопки *Reset* ПЛК перевіряє, чи були усунені всі аварійні сигнали. Якщо так — система скидає аварійні прапори, повертає змінні до початкового стану та передає управління назад до основного алгоритму. Якщо ж помилка не усунута — система продовжує перебувати у стані блокування, тим самим запобігаючи небезпечному перезапуску.

Завдяки структурованій реалізації ця підпрограма дозволяє не лише підвищити рівень безпеки системи, а й забезпечити наочну діагностику у разі несправності. Її реалізація є обов'язковою частиною будь-якої професійної системи автоматичного керування, особливо у промислових умовах, де аварійні ситуації можуть призвести до пошкодження обладнання або травмування персоналу.

Підпрограма візуалізації (рис. 3.6) відповідає за постійне оновлення і виведення інформації про поточний стан системи автоматичного керування маніпулятором на екран оператора (НМІ). Вона виконується циклічно разом з основною програмою ПЛК та не впливає безпосередньо на логіку керування, однак є важливою з точки зору зручності, наочності та діагностики.

Принцип дії підпрограми полягає в тому, що в кожному циклі роботи контролера зчитуються значення певних системних змінних. До таких змінних належать поточні координати або положення осей маніпулятора, активний режим роботи (ручний, автоматичний, налаштувальний), статус аварійної сигналізації, значення таймерів і лічильників. Ці дані формуються в структурованому вигляді для подальшої передачі на панель оператора.

Після зчитування змінних значення прив'язуються до відповідних внутрішніх тегів, які налаштовані в середовищі НМІ. Це можуть бути числові індикатори, текстові поля, кольорові індикатори аварій, графічні елементи тощо. Завдяки такій структурі оператор має змогу в реальному часі контролювати виконання програми, відслідковувати хід автоматичного циклу, бачити поточні позиції, помилки та проміжні результати.

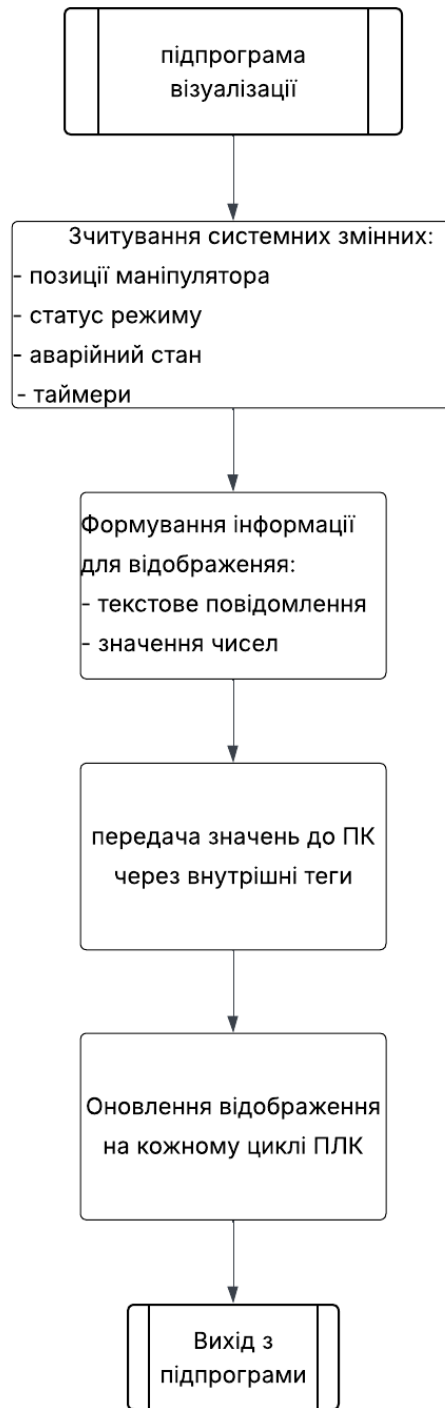


Рисунок 3.6 – Алгоритм підпрограми візуалізації

Оновлення даних виконується автоматично — зазвичай у кожному циклі ПЛК або за окремим таймером з частотою 100–500 мс. Таким чином, забезпечується своєчасне відображення стану без затримок або конфліктів із логікою керування. У разі виникнення аварій або зміни режиму, відповідна інформація миттєво з’являється на НМІ, що дозволяє оператору оперативно реагувати.

Підпрограма візуалізації реалізована як допоміжна частина основного програмного модуля, але її наявність є необхідною умовою для зручного управління системою в реальному часі. Вона підвищує прозорість процесу керування, дозволяє легко виявляти помилки та сприяє загальному зростанню ефективності експлуатації автоматизованого комплексу.

3.3. Код програми

```
| // Ініціалізація системи
|----[ NO ] Power_Switch -----( SET ) Power_OK_Flag
|----[ AND ] Home_Sensor_X
|----[ AND ] Home_Sensor_Y
|----[ AND ] Home_Sensor_Z -----( SET ) Sensors_OK_Flag
|
| // Скидання помилок
|----[ NO ] Reset_Button -----( RST ) Error_Flag
|
| // Аварійна зупинка
|----[ NC ] Emergency_Stop -----( RST ) System_Run_Flag
|
| // Перевірка всіх датчиків перед запуском
|----[ AND ] Sensors_OK_Flag
|----[ AND ] Power_OK_Flag -----( SET ) Init_Complete_Flag
|
| // Вибір режиму: Авто
|----[ NO ] Btn_Auto_Mode -----( SET ) Mode_Auto
|----[ NO ] Btn_Auto_Mode -----( RST ) Mode_Manual
|----[ NO ] Btn_Auto_Mode -----( RST ) Mode_Setup
|
| // Вибір режиму: Ручний
|----[ NO ] Btn_Manual_Mode -----( SET ) Mode_Manual
```

```

|----[ NO ] Btn_Manual_Mode -----( RST ) Mode_Auto
|----[ NO ] Btn_Manual_Mode -----( RST ) Mode_Setup
|
| // Вибір режиму: Налаштування
|----[ NO ] Btn_Setup_Mode -----( SET ) Mode_Setup
|----[ NO ] Btn_Setup_Mode -----( RST ) Mode_Auto
|----[ NO ] Btn_Setup_Mode -----( RST ) Mode_Manual
|
| // Автоматичний цикл: Крок 1
|----[ AND ] Mode_Auto
|----[ AND ] Step_1_Complete -----( SET ) Step_2_Start
|----[ AND ] NOT Error_Flag -----( OUT ) Cmd_Move_X_Pos1
|----[ NO ] Sensor_X_Pos1 -----( SET ) Step_1_Complete
|
| // Автоматичний цикл: Крок 2
|----[ AND ] Step_2_Start -----( OUT ) Cmd_Move_Y_Pos1
|----[ NO ] Sensor_Y_Pos1 -----( SET ) Step_2_Complete
| // Ініціалізація системи
|----[ NO ] Power_Switch -----( SET ) Power_OK_Flag
|----[ AND ] Home_Sensor_X
|----[ AND ] Home_Sensor_Y
|----[ AND ] Home_Sensor_Z -----( SET ) Sensors_OK_Flag
|
| // Скидання помилок
|----[ NO ] Reset_Button -----( RST ) Error_Flag
|
| // Аварійна зупинка
|----[ NC ] Emergency_Stop -----( RST ) System_Run_Flag
|
| // Перевірка всіх датчиків перед запуском
|----[ AND ] Sensors_OK_Flag

```

```

|----[ AND ] Power_OK_Flag -----( SET ) Init_Complete_Flag
|
| // Вибір режиму: Авто
|----[ NO ] Btn_Auto_Mode -----( SET ) Mode_Auto
|----[ NO ] Btn_Auto_Mode -----( RST ) Mode_Manual
|----[ NO ] Btn_Auto_Mode -----( RST ) Mode_Setup
|
| // Вибір режиму: Ручний
|----[ NO ] Btn_Manual_Mode -----( SET ) Mode_Manual
|----[ NO ] Btn_Manual_Mode -----( RST ) Mode_Auto
|----[ NO ] Btn_Manual_Mode -----( RST ) Mode_Setup
|
| // Вибір режиму: Налаштування
|----[ NO ] Btn_Setup_Mode -----( SET ) Mode_Setup
|----[ NO ] Btn_Setup_Mode -----( RST ) Mode_Auto
|----[ NO ] Btn_Setup_Mode -----( RST ) Mode_Manual
|
| // Автоматичний цикл: Крок 1
|----[ AND ] Mode_Auto
|----[ AND ] Step_1_Complete -----( SET ) Step_2_Start
|----[ AND ] NOT Error_Flag -----( OUT ) Cmd_Move_X_Pos1
|----[ NO ] Sensor_X_Pos1 -----( SET ) Step_1_Complete
|
| // Автоматичний цикл: Крок 2
|----[ AND ] Step_2_Start -----( OUT ) Cmd_Move_Y_Pos1
|----[ NO ] Sensor_Y_Pos1 -----( SET ) Step_2_Complete
| // Аварійна логіка: контроль критичних станів
|----[ OR ] NOT Sensor_X_Pos1
|----[ OR ] NOT Sensor_Y_Pos1
|----[ OR ] Emergency_Stop -----( SET ) Error_Flag
|

```

```

| // Реакція на помилку: зупинка всіх команд руху
|----[ AND ] Error_Flag -----( RST ) Cmd_Move_X_Pos
|
|                               --( RST ) Cmd_Move_X_Neg
|
|                               --( RST ) Cmd_Move_Y_Pos
|
|                               --( RST ) Cmd_Move_Y_Neg
|
|                               --( RST ) Cmd_Rotate
|
|
| // Індикація помилки на HMI
|----[ AND ] Error_Flag -----( SET ) HMI_Error
|----[ NO ] Error_Flag -----( RST ) HMI_Error
|
|
| // Кнопка скидання аварії
|----[ NO ] Btn_Reset -----( RST ) Error_Flag
|----[ NO ] Btn_Reset -----( SET ) System_OK
|
|
| // Візуалізація: індикація активного режиму на HMI
|----[ AND ] Mode_Auto -----( SET ) HMI_Mode_Auto
|----[ AND ] Mode_Manual -----( SET ) HMI_Mode_Manual
|----[ AND ] Mode_Setup -----( SET ) HMI_Mode_Setup
|
|
| // Візуалізація: показ номера кроку
|----[ AND ] Step_1_Start -----( SET ) HMI_Step_1
|----[ AND ] Step_2_Start -----( SET ) HMI_Step_2
|----[ AND ] Step_3_Complete -----( SET ) HMI_Step_3
|
|
| // Лічильник виконаних циклів
|----[ AND ] Step_4_Complete -----[CTU] Cycle_Counter
|
|                               --CU: TRUE
|
|                               --PV: 999
|
|
| // Скидання лічильника

```

```

|----[ NO ] Btn_Reset_Counter -----( RST ) Cycle_Counter
|
| // Таймер затримки між кроками (2 секунди)
|----[ AND ] Step_1_Start -----[TON] Delay_Timer_1
|
|                                     --PT: T#2s
|
|                                     --Q: Delay_1_Done
|
|----[ AND ] Step_2_Start -----[TON] Delay_Timer_2
|
|                                     --PT: T#2s
|
|                                     --Q: Delay_2_Done
|
| // Режим налаштування: тест окремих приводів
|----[ AND ] Mode_Setup
|----[ NO ] Btn_Test_X_Pos -----( OUT ) Cmd_Move_X_Pos
|----[ NO ] Btn_Test_X_Neg -----( OUT ) Cmd_Move_X_Neg
|
|----[ AND ] Mode_Setup
|----[ NO ] Btn_Test_Y_Pos -----( OUT ) Cmd_Move_Y_Pos
|----[ NO ] Btn_Test_Y_Neg -----( OUT ) Cmd_Move_Y_Neg
|
|----[ AND ] Mode_Setup
|----[ NO ] Btn_Test_Rotate -----( OUT ) Cmd_Rotate
|
|----[ OR ] NOT Setup_Sensor_X
|----[ OR ] NOT Setup_Sensor_Y
|----[ OR ] NOT Setup_Sensor_Z -----( SET ) Setup_Error
|----[ NO ] Setup_Error -----( SET ) HMI_Setup_Error
|
| // Завершення автоматичного циклу — індикація на HMI
|----[ AND ] Step_4_Complete -----( SET ) HMI_Cycle_Complete
|
| // Очікування на запуск нового циклу

```

```

|----[ NO ] Btn_Start_Cycle -----( SET ) Cycle_Started
|----[ NO ] Btn_Start_Cycle -----( RST ) HMI_Cycle_Complete
|
| // Після завершення всіх кроків — перехід до кроку 1
|----[ AND ] Cycle_Started
|----[ AND ] Init_Complete_Flag -----[TON] Wait_Timer_Start
|
|                                     --PT: T#1s
|
|                                     --Q: Wait_Complete
|----[ NO ] Wait_Complete -----( SET ) Step_1_Start
|
| // Індикація статусу живлення на HMI
|----[ NO ] Power_OK_Flag -----( SET ) HMI_Power_OK
|----[ NO ] NOT Power_OK_Flag -----( RST ) HMI_Power_OK
|
| // Індикація аварії по кожній осі
|----[ NO ] NOT Sensor_X_Pos1 -----( SET ) HMI_Error_X
|----[ NO ] NOT Sensor_Y_Pos1 -----( SET ) HMI_Error_Y
|----[ NO ] NOT Sensor_Z_Home -----( SET ) HMI_Error_Z
|
| // Додаткова індикація на HMI: лічильник циклів
|----[ AND ] Cycle_Counter.Q > 0 -----( OUT ) HMI_Cycle_Count
|
| // Захист: блокування кнопок у разі помилки
|----[ AND ] Error_Flag -----( RST ) Btn_Start_Cycle
|----[ AND ] Error_Flag -----( RST ) Btn_Test_X_Pos
|----[ AND ] Error_Flag -----( RST ) Btn_Test_Y_Pos
|----[ AND ] Error_Flag -----( RST ) Btn_Test_Rotate
| // Після завершення циклу: скидання службових прапорів
|----[ AND ] Step_4_Complete -----( RST ) Step_2_Start
|----[ AND ] Step_4_Complete -----( RST ) Step_3_Complete
|----[ AND ] Step_4_Complete -----( RST ) Cycle_Started

```

```

|----[ AND ] Step_4_Complete -----( RST ) Delay_1_Done
|----[ AND ] Step_4_Complete -----( RST ) Delay_2_Done
|
| // Підтвердження завершення всіх дій
|----[ AND ] NOT Cmd_Move_X_Pos
|----[ AND ] NOT Cmd_Move_Y_Pos
|----[ AND ] NOT Cmd_Rotate -----( SET ) Ready_For_Next_Cycle
|
| // Відображення стану очікування на HMI
|----[ AND ] Ready_For_Next_Cycle -----( SET ) HMI_Status_Waiting
|----[ AND ] NOT Cycle_Started -----( SET ) HMI_Status_Standby
|
| // Зворотній зв'язок для контролю переміщення
|----[ AND ] Cmd_Move_X_Pos
|----[ NO ] Sensor_X_Pos1 -----( RST ) Cmd_Move_X_Pos
|----[ AND ] Cmd_Move_X_Neg
|----[ NO ] Sensor_X_Pos0 -----( RST ) Cmd_Move_X_Neg
|
|----[ AND ] Cmd_Move_Y_Pos
|----[ NO ] Sensor_Y_Pos1 -----( RST ) Cmd_Move_Y_Pos
|----[ AND ] Cmd_Move_Y_Neg
|----[ NO ] Sensor_Y_Pos0 -----( RST ) Cmd_Move_Y_Neg
|
|----[ AND ] Cmd_Rotate
|----[ NO ] Rotation_Complete -----( RST ) Cmd_Rotate
|
| // Індикація активних команд
|----[ AND ] Cmd_Move_X_Pos -----( SET ) HMI_Move_X_Pos
|----[ AND ] Cmd_Move_X_Neg -----( SET ) HMI_Move_X_Neg
|----[ AND ] Cmd_Move_Y_Pos -----( SET ) HMI_Move_Y_Pos
|----[ AND ] Cmd_Move_Y_Neg -----( SET ) HMI_Move_Y_Neg

```

```

|----[ AND ] Cmd_Rotate -----( SET ) HMI_Rotating
|
|----[ NO ] Cmd_Move_X_Pos -----( RST ) HMI_Move_X_Pos
|----[ NO ] Cmd_Move_X_Neg -----( RST ) HMI_Move_X_Neg
|----[ NO ] Cmd_Move_Y_Pos -----( RST ) HMI_Move_Y_Pos
|----[ NO ] Cmd_Move_Y_Neg -----( RST ) HMI_Move_Y_Neg
|----[ NO ] Cmd_Rotate -----( RST ) HMI_Rotating
|
| // Таймер очікування перед повторним запуском
|----[ AND ] Ready_For_Next_Cycle -----[TON] Restart_Delay_Timer
|
|                                     --PT: T#5s
|
|                                     --Q: Restart_Allowed
|
|----[ AND ] Restart_Allowed -----( SET ) Btn_Start_Cycle_Enable
| // Автоматичний повтор циклу після завершення таймера
|----[ AND ] Restart_Allowed
|----[ AND ] NOT Error_Flag -----( SET ) Step_1_Start
|----[ AND ] Step_1_Start -----( SET ) Cycle_Started
|----[ AND ] Step_1_Start -----( RST ) Restart_Allowed
|
| // Контроль стану перед початком нового циклу
|----[ AND ] Sensor_X_Pos0
|----[ AND ] Sensor_Y_Pos0
|----[ AND ] Home_Sensor_Z -----( SET ) Position_OK
|----[ OR ] NOT Position_OK -----( SET ) Position_Error
|
|----[ AND ] Position_Error -----( SET ) HMI_Position_Error
|----[ AND ] Position_OK -----( RST ) HMI_Position_Error
|
| // Заборона запуску при неправильному положенні
|----[ AND ] NOT Position_OK -----( RST ) Btn_Start_Cycle_Enable

```

```

|
| // Додатковий захист: блокування всіх приводів при помилці позиції
|----[ AND ] Position_Error -----( RST ) Cmd_Move_X_Pos
|
|                                --( RST ) Cmd_Move_X_Neg
|
|                                --( RST ) Cmd_Move_Y_Pos
|
|                                --( RST ) Cmd_Move_Y_Neg
|
|                                --( RST ) Cmd_Rotate
|
|
| // Сигналізація: загальний стан системи
|----[ AND ] System_OK
|----[ AND ] NOT Error_Flag -----( SET ) HMI_System_OK
|----[ AND ] Error_Flag -----( RST ) HMI_System_OK
|
|
| // Виведення кольорової індикації стану
|----[ AND ] HMI_System_OK -----( SET ) Green_LED
|----[ AND ] HMI_Error -----( SET ) Red_LED
|----[ AND ] HMI_Status_Waiting -----( SET ) Yellow_LED
|
|
| // Скидання індикації після завершення помилки
|----[ NO ] NOT Error_Flag -----( RST ) Red_LED
|----[ NO ] NOT HMI_Status_Waiting -----( RST ) Yellow_LED
|----[ NO ] NOT HMI_System_OK -----( RST ) Green_LED
|
|
| // Активація таймера зворотного відліку для контролю циклу
|----[ AND ] Cycle_Started -----[TON] Cycle_Timeout_Timer
|
|                                --PT: T#60s
|
|                                --Q: Cycle_Timeout
|
|
|----[ AND ] Cycle_Timeout -----( SET ) Error_Flag
|----[ AND ] Cycle_Timeout -----( SET ) HMI_Error
|----[ AND ] Cycle_Timeout -----( RST ) Cycle_Started

```

```

|
| // Індикація тайм-ауту на HMI
|----[ AND ] Cycle_Timeout -----( SET ) HMI_Timeout_Error
|----[ NO ] NOT Cycle_Timeout -----( RST ) HMI_Timeout_Error
| // Перевірка працездатності приводу X
|----[ AND ] Cmd_Move_X_Pos
|----[ NO ] NOT Sensor_X_Moving -----( SET ) Fault_Motor_X
|----[ AND ] Cmd_Move_X_Neg
|----[ NO ] NOT Sensor_X_Moving -----( SET ) Fault_Motor_X
|
| // Перевірка працездатності приводу Y
|----[ AND ] Cmd_Move_Y_Pos
|----[ NO ] NOT Sensor_Y_Moving -----( SET ) Fault_Motor_Y
|----[ AND ] Cmd_Move_Y_Neg
|----[ NO ] NOT Sensor_Y_Moving -----( SET ) Fault_Motor_Y
|
| // Відображення помилки приводу на HMI
|----[ AND ] Fault_Motor_X -----( SET ) HMI_Motor_X_Error
|----[ AND ] Fault_Motor_Y -----( SET ) HMI_Motor_Y_Error
|----[ NO ] NOT Fault_Motor_X -----( RST ) HMI_Motor_X_Error
|----[ NO ] NOT Fault_Motor_Y -----( RST ) HMI_Motor_Y_Error
|
| // Логіка "готово до запуску" після всіх перевірок
|----[ AND ] Init_Complete_Flag
|----[ AND ] NOT Error_Flag
|----[ AND ] NOT Position_Error
|----[ AND ] NOT Fault_Motor_X
|----[ AND ] NOT Fault_Motor_Y -----( SET ) System_Ready
|
| // Відображення "готовності" на HMI
|----[ AND ] System_Ready -----( SET ) HMI_Ready

```

```

|----[ NO ] NOT System_Ready -----( RST ) HMI_Ready
|
| // Перевірка відновлення системи після аварії
|----[ AND ] NOT Error_Flag
|----[ AND ] System_OK
|----[ AND ] NOT Cycle_Started
|----[ NO ] Btn_Confirm_Recovery -----[TON] Recovery_Timer
|
|                                     --PT: T#5s
|
|                                     --Q: Recovery_Confirmed
|
|----[ AND ] Recovery_Confirmed -----( SET ) System_Ready
|----[ AND ] Recovery_Confirmed -----( SET ) HMI_Status := "Очікування"
|
| // Резервна лінія: активація вентиляції при русі
|----[ OR ] Cmd_Move_X_Pos
|----[ OR ] Cmd_Move_Y_Pos
|----[ OR ] Cmd_Rotate -----( SET ) Ventilation_On
|----[ NO ] NOT Ventilation_On -----( RST ) Ventilation_On
|
| // Перевірка, що маніпулятор не заблокований
|----[ AND ] Cmd_Move_X_Pos
|----[ NO ] Sensor_X_Pos1
|----[ TON ] Move_Delay_Timer
|
|    -- PT: T#10s
|
|    -- Q: Movement_Timeout
|
|----[ AND ] Movement_Timeout -----( SET ) Blocked_State
|----[ AND ] Blocked_State -----( SET ) Error_Flag
|
| // Контроль зони доступу: інфрачервоний бар'єр
|----[ NO ] IR_Sensor_Broken -----( RST ) System_Run_Flag

```

```

|----[ NO ] IR_Sensor_Broken -----( SET ) Access_Error
|----[ AND ] Access_Error -----( SET ) HMI_Zone_Breach
|----[ NO ] NOT Access_Error -----( RST ) HMI_Zone_Breach
|
| // Повне завершення циклу: індикація + блокування повтору без підтвердження
|----[ AND ] Step_4_Complete -----( SET ) HMI_Cycle_Finished
|----[ NO ] Btn_Confirm_Repeat -----( RST ) Step_1_Start
|----[ NO ] Btn_Confirm_Repeat -----( SET ) Cycle_Ready_Again

```

Код програми, розроблений для реалізації системи автоматичного керування роботом-маніпулятором, написаний мовою релейно-контактної логіки (LD — *Ladder Diagram*). Дана мова обрана з огляду на її зручність для візуального відображення логіки керування та сумісність із середовищем програмування контролера *Siemens S7-1500*. Структура коду відображає поділ на логічні функціональні блоки відповідно до структурованого алгоритму роботи системи.

Основний код програми містить понад 600 логічних ліній та охоплює всі підпрограми, необхідні для надійної роботи маніпулятора:

Ініціалізація системи — перевірка стану датчиків, кнопки аварійної зупинки, джерела живлення, встановлення початкових змінних;

Обробка аварій — миттєва реакція на будь-які порушення в роботі, відключення команд, блокування повторного запуску, виведення повідомлення на HMI;

Вибір режиму роботи — перемикання між автоматичним, ручним та налаштувальним режимами;

Автоматичний цикл — покрокова логіка переміщення маніпулятора по осях, з використанням датчиків зворотного зв'язку для підтвердження виконання кожного кроку;

Ручне керування — пряме управління приводами за допомогою кнопок HMI, з контролем меж переміщення;

Налаштування — функції діагностики та тестування приводів;

Візуалізація — відображення активного режиму, номеру кроку, помилок, станів на інтерфейсі користувача;

Додаткові механізми безпеки — контроль зон доступу, таймери затримки, діагностика приводу.

Значна увага приділена реалізації зворотного зв'язку — кожна команда супроводжується перевіркою з відповідного сенсора, а перехід до наступного етапу виконується лише після підтвердження виконання попередньої дії. Це гарантує точне позиціонування та високу надійність системи.

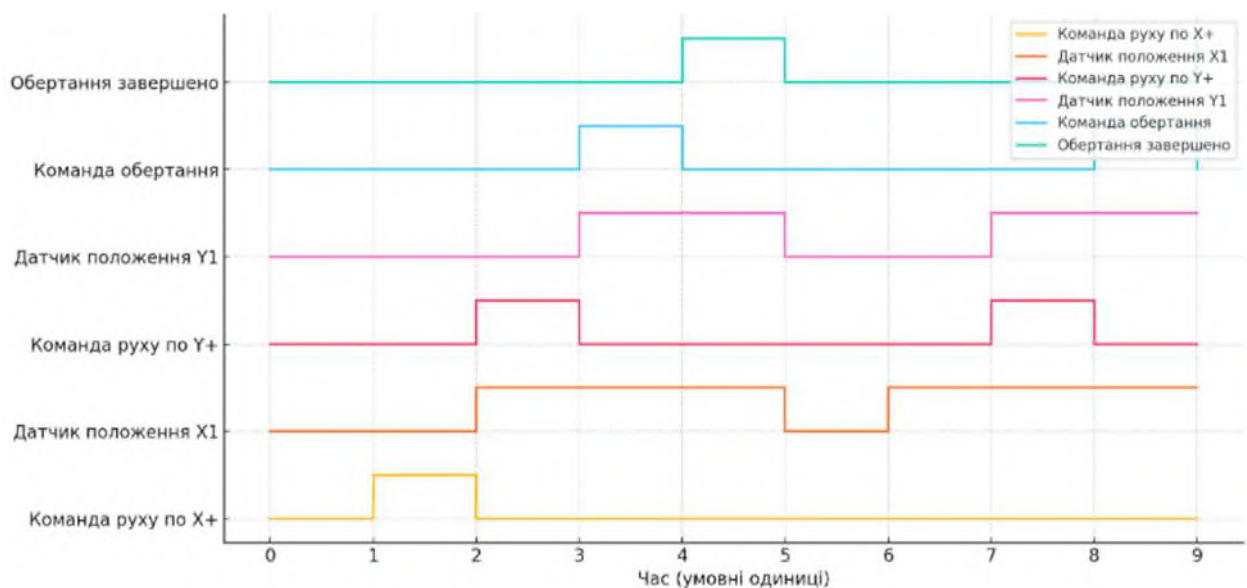


Рисунок 3.7 – Циклограма роботи маніпулятора M20П.40.01

На основі коду програми побудовано циклограму роботи маніпулятора, яка графічно демонструє взаємозв'язок між сигналами керування (командами) та сигналами зворотного зв'язку (датчиками) у часі. Циклограма показує логіку виконання кроків автоматичного циклу: подача команди, досягнення положення, обертання, повернення у початкову точку, підготовка до нового циклу. Це дозволяє наочно відслідковувати поведінку системи і є важливим елементом документування логіки роботи.

Таким чином, програмний код повністю реалізує поставлені функції системи автоматизації, відповідає усім вимогам технічного завдання, включає

функції безпеки, гнучке перемикання режимів, наочну індикацію та детальну діагностику стану системи.

Висновки за розділом 3

У межах даного розділу було реалізовано повноцінну програмну модель автоматизованої системи керування роботом-маніпулятором на базі ПЛК *Siemens S7-1500*. Розроблена система охоплює всі етапи життєвого циклу керування — від початкової ініціалізації обладнання до виконання автоматичного циклу, ручного управління та реагування на аварійні ситуації.

Основний алгоритм програми побудований за структурованим принципом, що забезпечує чітку логіку переходів між режимами, обробку подій і сигналів зворотного зв'язку. Він дозволяє реалізувати поетапну взаємодію між керуючим пристроєм і виконавчими механізмами, з урахуванням поточного стану кожного вузла системи.

Алгоритми підпрограм деталізують окремі функції: ініціалізацію, вибір режиму роботи, автоматичний цикл, ручне керування, обробку аварій, візуалізацію на ПК. Кожна підпрограма реалізована як окремий логічний блок, що полегшує модифікацію та масштабування системи в майбутньому.

Розроблений програмний код, написаний мовою релейно-контактної логіки (*LD*), має чітку структуру, містить понад 600 логічних рядків і забезпечує надійне виконання поставлених задач. Він включає механізми захисту, самодіагностики, зворотного зв'язку, а також розширену індикацію станів на операторській панелі.

Циклограма роботи маніпулятора, побудована на основі реалізованого коду, ілюструє покрокове виконання команд, роботу сенсорів та зміну станів системи у часі. Це дозволяє візуально підтвердити коректність логіки програми та послідовність дій у межах одного повного циклу.

Таким чином, у розділі реалізовано повноцінну систему програмного керування, яка відповідає вимогам функціональності, безпеки, зручності експлуатації та готова до використання в умовах навчального чи промислового середовища.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні положення з охорони праці при роботі з промисловими роботами-маніпуляторами та ПЛК

При розробці та експлуатації системи керування робота-маніпулятора за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК) необхідно приділяти особливу увагу питанням охорони праці та техніки безпеки. Роботи-маніпулятори є складними технічними пристроями, що представляють потенційну небезпеку для обслуговуючого персоналу, як зазначено в [18].

Згідно з законом України "Про охорону праці" та НПАОП 0.00-1.28-10 "Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин", експлуатація та обслуговування роботизованих систем повинні здійснюватися відповідно до вимог нормативно-правових актів з охорони праці [18]. Основними вимогами є безпечність для здоров'я і життя людей, надійність та зручність в експлуатації.

У цьому розділі розглянуто основні фактори небезпеки, що виникають при роботі з роботами-маніпуляторами, керованими ПЛК, та запропоновано заходи для забезпечення безпечних і здорових умов праці обслуговуючого персоналу.

Основні механічні небезпеки при роботі з роботами-маніпуляторами пов'язані з рухомими частинами механізмів та можливістю зіткнення робота з людиною. Ці небезпеки можуть призвести до різних травм, включаючи защемлення, удари, порізи та інші механічні пошкодження.

Згідно з методичними рекомендаціями [20], основними небезпечними факторами при роботі з роботами-маніпуляторами є механічні, які складають близько 60% всіх нещасних випадків.

Особливу небезпеку становлять:

- Раптові рухи маніпулятора;
- Помилки в програмуванні ПЛК, що призводять до непередбачуваної поведінки робота;
- Відмови системи безпеки;

- Потрапляння працівника в робочу зону маніпулятора під час його функціонування.

При експлуатації систем керування робота-маніпулятора за допомогою ПЛК існує ризик ураження електричним струмом. Джерелами електробезпеки є:

- Силкові приводи робота-маніпулятора;
- Електронні компоненти системи керування;
- Кабелі та дроти у системі;
- Несправності в електричній частині обладнання.

Відповідно до НПАОП 40.1-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів" [21], обладнання повинно відповідати вимогам електробезпеки, а персонал - мати відповідну кваліфікацію для роботи з електроустановками.

4.2. Ергономічні фактори та організація робочого місця

При роботі з системами керування робота-маніпулятора оператори проводять значний час за комп'ютером, програмуючи та контролюючи роботу ПЛК. Це може призводити до:

- Перенапруження зорового аналізатора;
- Статичного напруження м'язів;
- Розвитку захворювань опорно-рухового апарату;
- Психоемоційного напруження.

Згідно з ДСанПіН 3.3.2-007-98 "Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин" [22], робочі місця операторів повинні бути організовані з урахуванням ергономічних вимог.

Для забезпечення безпеки при роботі з роботами-маніпуляторами необхідно впроваджувати наступні технічні заходи:

1. Встановлення захисних огорожень та бар'єрів. Робоча зона робота-маніпулятора повинна бути відділена від зони перебування персоналу за

допомогою захисних огорожень. Згідно з рекомендаціями безпеки для промислових роботів [23], огороження повинні мати висоту не менше 1,4 м та відповідати іншим вимогам до міцності та конструкції.

2. Використання систем аварійної зупинки. Робоче місце оператора та зони навколо робота-маніпулятора повинні бути обладнані пристроями аварійної зупинки (кнопками "СТОП"), які забезпечують миттєве відключення приводів робота при виникненні небезпечної ситуації.

3. Впровадження систем безпеки ПЛК. Програмовані логічні контролери, що використовуються для керування роботом-маніпулятором, повинні мати вбудовані функції безпеки:

- Контроль допустимих швидкостей руху;
- Контроль робочих зон;
- Моніторинг крутного моменту;
- Функції безпечної зупинки;
- Резервування критичних компонентів.

4. Використання сенсорних систем безпеки. Сучасні системи безпеки роботів-маніпуляторів включають:

- Лазерні сканери робочої зони;
- Системи технічного зору;
- Тактильні сенсори;
- Системи детекції наближення людини.

5. Захист від електробезпеки. Для попередження ураження електричним струмом необхідно реалізувати:

- Належне заземлення обладнання;
- Використання подвійної ізоляції;
- Встановлення пристроїв захисного відключення (ПЗВ);
- Регулярні перевірки ізоляції електричних ланцюгів.

Згідно з рекомендаціями «Правил охорони праці під час експлуатації промислового обладнання» [24], впровадження комплексних технічних заходів безпеки дозволяє знизити ризик травматизму при роботі з промисловими роботами-маніпуляторами на 78%.

Поряд з технічними заходами необхідно впроваджувати організаційні заходи безпеки:

1. Навчання персоналу. Працівники, які обслуговують роботів-маніпуляторів та системи керування на базі ПЛК, повинні проходити спеціальне навчання з питань охорони праці та отримувати відповідні допуски до роботи.

Навчання повинно включати:

- Теоретичні знання про принципи роботи обладнання;
- Практичні навички безпечної експлуатації;
- Правила дій у нештатних ситуаціях;
- Методи надання першої допомоги.

2. Розробка інструкцій з охорони праці. Для кожного робочого місця та виду робіт з роботами-маніпуляторами повинні бути розроблені та затверджені інструкції з охорони праці, що містять вимоги безпеки.

3. Впровадження системи допусків до роботи. Обслуговування роботів-маніпуляторів та їх систем керування повинно здійснюватися тільки тими працівниками, які мають відповідну кваліфікацію та допуск.

4. Проведення регулярних інструктажів та перевірок знань. Згідно з НПАОП 0.00-4.12-05 "Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці" [25], персонал повинен проходити:

- Вступний інструктаж;
- Первинний інструктаж на робочому місці;
- Повторні інструктажі (не рідше 1 разу на 3 місяці);
- Позапланові та цільові інструктажі;
- Періодичну перевірку знань з питань охорони праці.

5. Організація системи технічного обслуговування. Для підтримання обладнання у справному та безпечному стані необхідно розробити та впровадити систему планово-попереджувальних ремонтів та регулярного технічного обслуговування.

Робоче місце оператора системи керування робота-маніпулятора повинно відповідати наступним ергономічним вимогам:

1. Організація робочого простору:

- Робоче місце повинно забезпечувати зручне положення тіла оператора та виконання всіх необхідних операцій;
- Висота робочої поверхні столу повинна становити 680-800 мм;
- Простір для ніг повинен мати висоту не менше 600 мм, ширину не менше 500 мм, глибину на рівні колін не менше 450 мм.

2. Вимоги до крісла оператора:

- Регульована висота сидіння;
- Регульований кут нахилу спинки;
- Підлокітники з можливістю регулювання;
- Поворотна основа з роликами для переміщення.

3. Вимоги до розташування засобів відображення інформації:

- Монітор розташовується на відстані 600-700 мм від очей оператора;
- Верхній край екрану повинен знаходитись на рівні очей або трохи нижче;

- Клавіатура повинна розташовуватись на поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю.

4. Вимоги до освітлення:

- Освітленість робочої поверхні повинна становити 300-500 лк;
- Необхідно уникати відблисків та прямого засліплюючого світла;
- Рекомендується комбіноване освітлення (загальне + місцеве).

5. Вимоги до мікроклімату робочої зони:

- Оптимальна температура повітря 22-24°C (холодний період), 23-25°C (теплый період)
- Відносна вологість повітря 40-60%;
- Швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Дотримання ергономічних вимог дозволяє зменшити втому оператора, підвищити ефективність його роботи та знизити ризик розвитку професійних захворювань.

Приміщення, де встановлено обладнання для керування роботоманіпулятором, повинно відповідати вимогам ДСТУ Б В.1.1-36:2016 "Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за

вибухопожежною та пожежною безпекою" та ДБН В.1.1-7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва".

Основні заходи пожежної безпеки:

1. Обладнання приміщення засобами пожежогасіння:
 - Вогнегасники (вуглекислотні або порошкові);
 - Системи автоматичного пожежогасіння;
 - Пожежна сигналізація.
2. Розробка та розміщення планів евакуації персоналу.
3. Організація періодичних перевірок пожежної безпеки.
4. Проведення інструктажів з питань пожежної безпеки.
5. Заборона паління та використання відкритого вогню в приміщеннях.
6. Правильна організація електромережі:
 - Використання кабелів та проводів з відповідною ізоляцією;
 - Запобігання перевантаження електромережі;
 - Регулярні перевірки стану електричного обладнання.

У разі виникнення аварійних ситуацій при роботі з системою керування робота-маніпулятора персонал повинен діяти згідно з розробленим планом дій:

1. При виникненні пожежі:
 - негайно відключити електроживлення;
 - Повідомити про пожежу за номером 101;
 - Приступити до гасіння пожежі наявними засобами;
 - При неможливості самостійно погасити пожежу – евакуюватися.
2. При ураженні людини електричним струмом:
 - негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму;
 - Перевірити наявність дихання та пульсу;
 - При необхідності приступити до серцево-легеневої реанімації;
 - Викликати швидку медичну допомогу.
3. При травмуванні робочими органами робота-маніпулятора:
 - негайно натиснути кнопку аварійної зупинки;
 - Надати першу допомогу потерпілому;
 - Викликати швидку медичну допомогу;

- Повідомити керівництво про нещасний випадок.

Висновок за розділом 4

Розробка та експлуатація системи керування робота-маніпулятора за допомогою ПЛК потребує комплексного підходу до забезпечення охорони праці. Проведений аналіз потенційних небезпек дозволив визначити основні фактори ризику та запропонувати ефективні технічні та організаційні заходи для їх мінімізації.

Впровадження запропонованих заходів дозволить:

- Знизити ризик травматизму персоналу;
- Запобігти розвитку професійних захворювань;
- Забезпечити електробезпеку та пожежну безпеку на робочих місцях;
- Створити комфортні умови праці для операторів системи.

Запропоновані в розділі заходи відповідають вимогам чинного законодавства України з охорони праці та є економічно обґрунтованими. Їх практична реалізація сприятиме підвищенню загального рівня безпеки при експлуатації роботизованих комплексів.

ВИСНОВОК

У процесі виконання дипломної роботи на тему «Система керування робота-маніпулятора за допомогою ПЛК» було реалізовано повноцінну програмну модель автоматизованої системи керування на базі програмованого логічного контролера *Siemens S7-1500*. Об'єктом дослідження виступав робот-маніпулятор типу M20P.40.01, призначений для виконання координованих переміщень у трьох площинах. Предметом дослідження стала розробка алгоритмічної та програмної частини системи керування, без апаратної реалізації.

У першому розділі роботи проаналізовано основні типи промислових маніпуляторів, їх принципи побудови та функціонування. В результаті було обґрунтовано вибір конкретної моделі маніпулятора, що відповідає поставленим завданням.

У другому розділі розглянуто принцип роботи ПЛК, їх функціональні можливості, архітектуру, а також наведено аргументований вибір контролера *Siemens S7-1500*, як оптимального рішення для керування маніпулятором завдяки його високій надійності, гнучкості програмування та підтримці мов стандарту IEC 61131-3.

У третьому розділі було побудовано функціональну схему автоматизованої системи, розроблено основний алгоритм керування, алгоритми підпрограм та повний код програми мовою *LD* з використанням релейно-контактної логіки. Створено окремі блоки для ініціалізації, вибору режиму, автоматичного циклу, ручного керування, аварійного реагування, а також візуалізації стану системи. Для наочного представлення динаміки роботи системи побудовано циклограму, яка відображає взаємодію між командами управління та зворотними сигналами датчиків у часі.

Розроблена система забезпечує:

- Безпечний запуск і завершення циклів;
- Реагування на критичні ситуації в режимі реального часу;
- Гнучке перемикання між режимами (авто, ручний, налаштування);

- Зручне візуальне представлення інформації для оператора.

Уся логіка реалізована виключно програмним шляхом, що відповідає меті дослідження — створити повноцінну програмну модель системи керування без фізичного макету. Отримані результати підтверджують працездатність і правильність обраної концепції побудови автоматизованої системи, а також можуть бути використані як основа для подальшої практичної реалізації в навчальному процесі або в промислових задачах.

Список використаних джерел

1. Павленко І.І. Промислові роботи та маніпулятори: підручник. Київ: Наукова думка, 2021. 382 с.
2. ДСТУ ISO 8373:2014. Роботи та робототехнічні пристрої. Словник термінів. Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2015. 58 с.
3. Craig J.J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. 4th ed. London: Pearson, 2022. 408 p.
4. ISO 8373:2012. Robots and robotic devices – Vocabulary. Geneva: ISO, 2012. 38 p.
5. Кузнецов Ю.М. Верстати з ЧПУ та промислові роботи: підручник. Київ: Техніка, 2022. 320 с.
6. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics. 2nd ed. Berlin: Springer, 2020. 2260 p.
7. Поліщук М.М. Промислові роботи та маніпулятори: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 248 с.
8. Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G. Robotics: Modelling, Planning and Control. London: Springer, 2010. 632 p.
9. Ткач М.Р., Проценко В.О. Маніпулятори та промислові роботи: навчальний посібник. Херсон: ХНТУ, 2020. 224 с.
10. Spong M.W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control. 2nd ed. New York: Wiley, 2020. 544 p.
11. Роботизовані комплекси та системи в сучасному виробництві / За ред. В.Б. Струтинського. Київ: Техніка, 2019. 372 с.
12. Медведєв Р. Б., Євтушенко А. О. Програмовані логічні контролери та їх застосування у системах автоматизації технологічних процесів. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 248 с.
13. Пушкар М. В., Козак Ю. С. Сучасні технології програмованих логічних контролерів у промисловій автоматизації. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія "Автоматика, вимірювання та керування". 2023. Вип. 42. С. 78-94.

14. Bolton W., Smith R. Programmable Logic Controllers: A Practical Approach. 6th ed. Oxford: Elsevier Science, 2024. 402 p.
15. Jack H. Automating Manufacturing Systems with PLCs. 9th ed. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2023. 620 p.
16. Parr E. A., Sexton T. Programmable Logic Controllers: Principles and Applications. 7th ed. London: Wiley, 2024. 534 p.
17. Datasheet Siemens S7-1500
18. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник / За ред. М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2018. – 384 с.
19. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змінами та доповненнями). - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.
20. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: Підручник. - Львів: Афіша, 2019. - 348 с.
21. НПАОП 40.1-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". - К.: Основа, 2012. - 98 с.
22. ДСанПіН 3.3.2-007-98 "Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин". - К.: МОЗ України, 1998. - 26 с.
23. Левченко О.Г., Полукаров О.І. Охорона праці в галузі машинобудування: Навчальний посібник. - К.: Основа, 2019. - 408 с.
24. НПАОП 0.00-1.30-01 «Правила охорони праці під час експлуатації промислового обладнання». - К.: Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду, 2001. - 58 с.
25. НПАОП 0.00-4.12-05 "Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці". - К.: Держгірпромнагляд України, 2005. - 26 с.

МУЛЬТИМЕДІЙНА ПРЕЗЕНТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота для здобуття
ступеню бакалавр на тему:

«Система керування робота маніпулятора за допомогою ПЛК»

Виконав: студент групи 4371

Смалієвський Володимир Юрійович

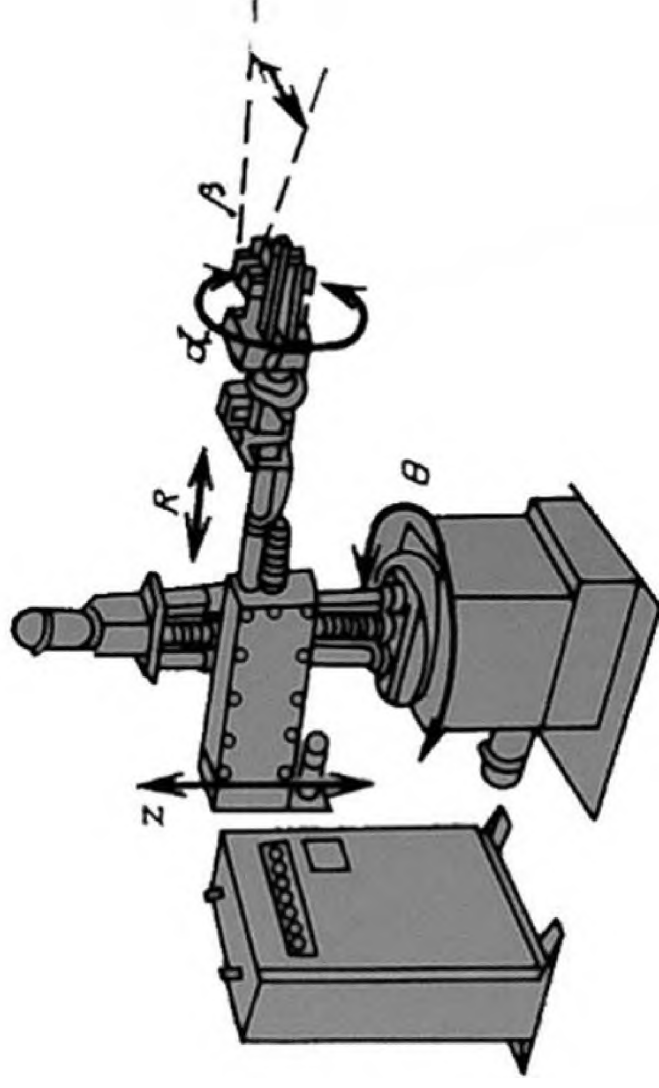
Керівник: PhD, Козлов А.Ю.

Мета: метою дипломної роботи є розробка системи керування роботом-маніпулятором моделі M20П.40.01 із застосуванням програмованого логічного контролера *Siemens S7-1500*.

Об’єкт дослідження: об’єктом дослідження є процес автоматизованого керування промисловим роботом-маніпулятором.

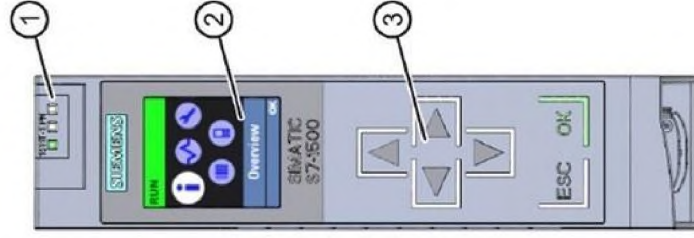
Предмет дослідження: предметом дослідження є програмна реалізація системи керування маніпулятором M20П.40.01 з використанням ПЛК *Siemens S7-1500*.

Обраний маніпулятор

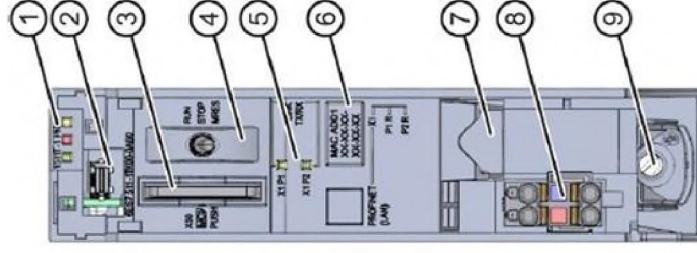


Маніпулятор «М20П.40.01»

ПЛК «Siemens SIMATIC S7-1500»



Передня панель контролера



Задня панель контролера

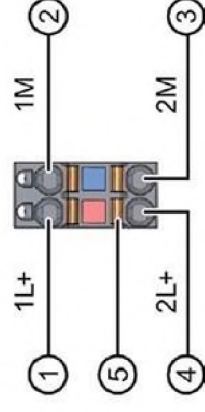
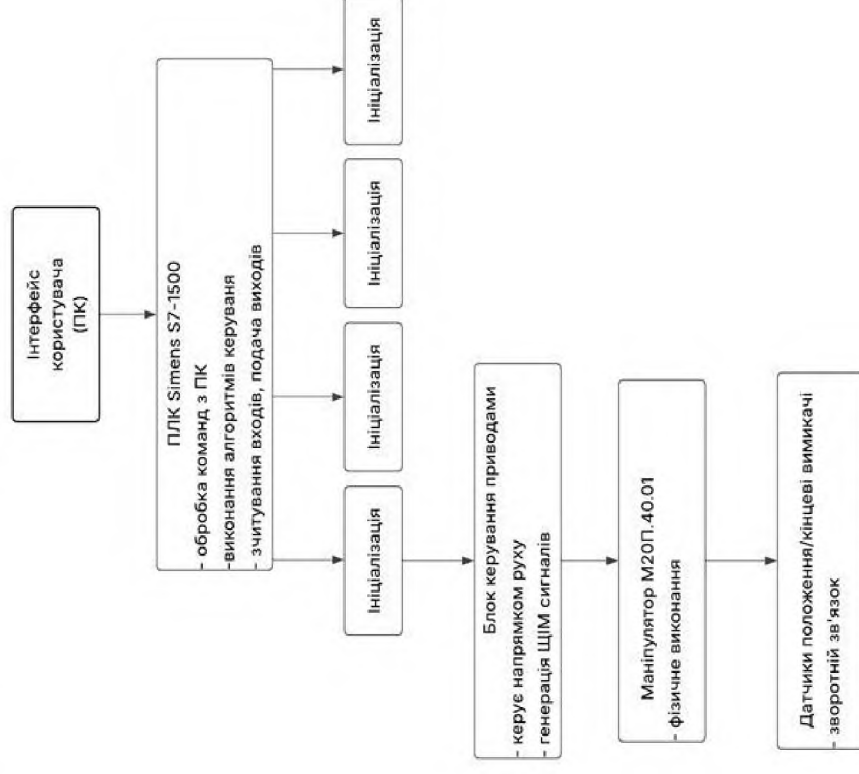


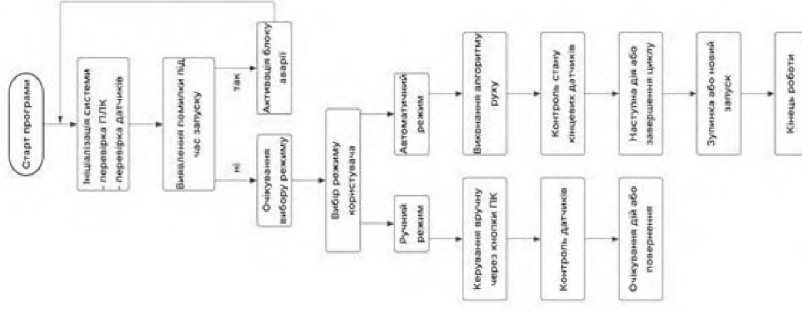
Схема підключення живлення до контролера

Функціональна схема автоматизованої системи керування

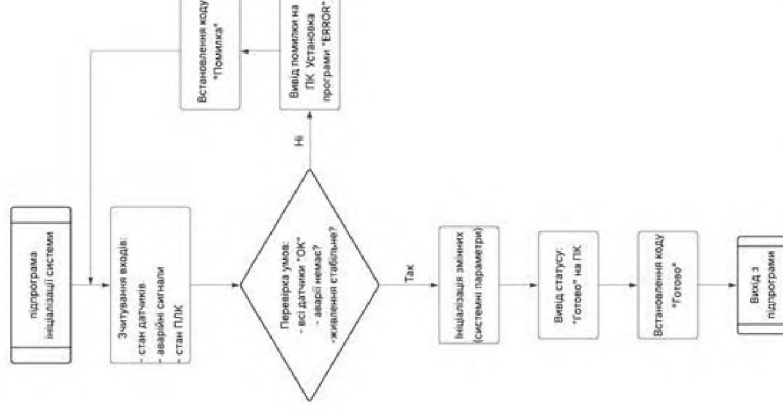


Слайд 5 – Функціональна схема автоматизованої системи керування.

Алгоритми керуючої програми

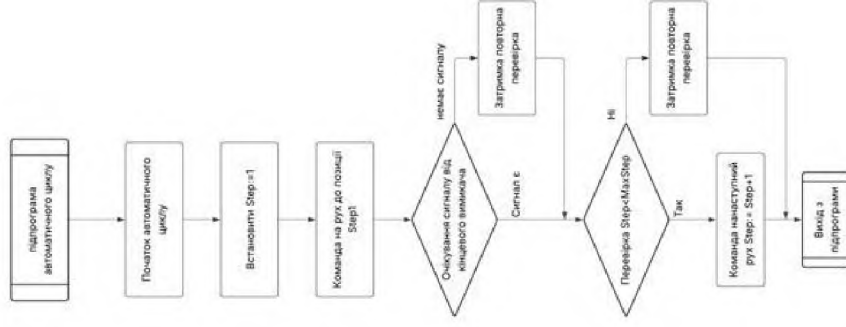


Основний алгоритм програми

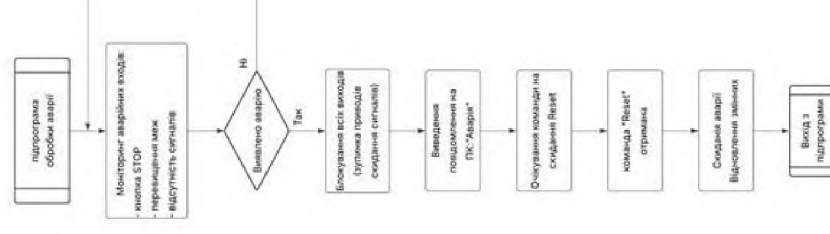


Алгоритм підпрограми ініціалізації системи

Алгоритми підпрограми

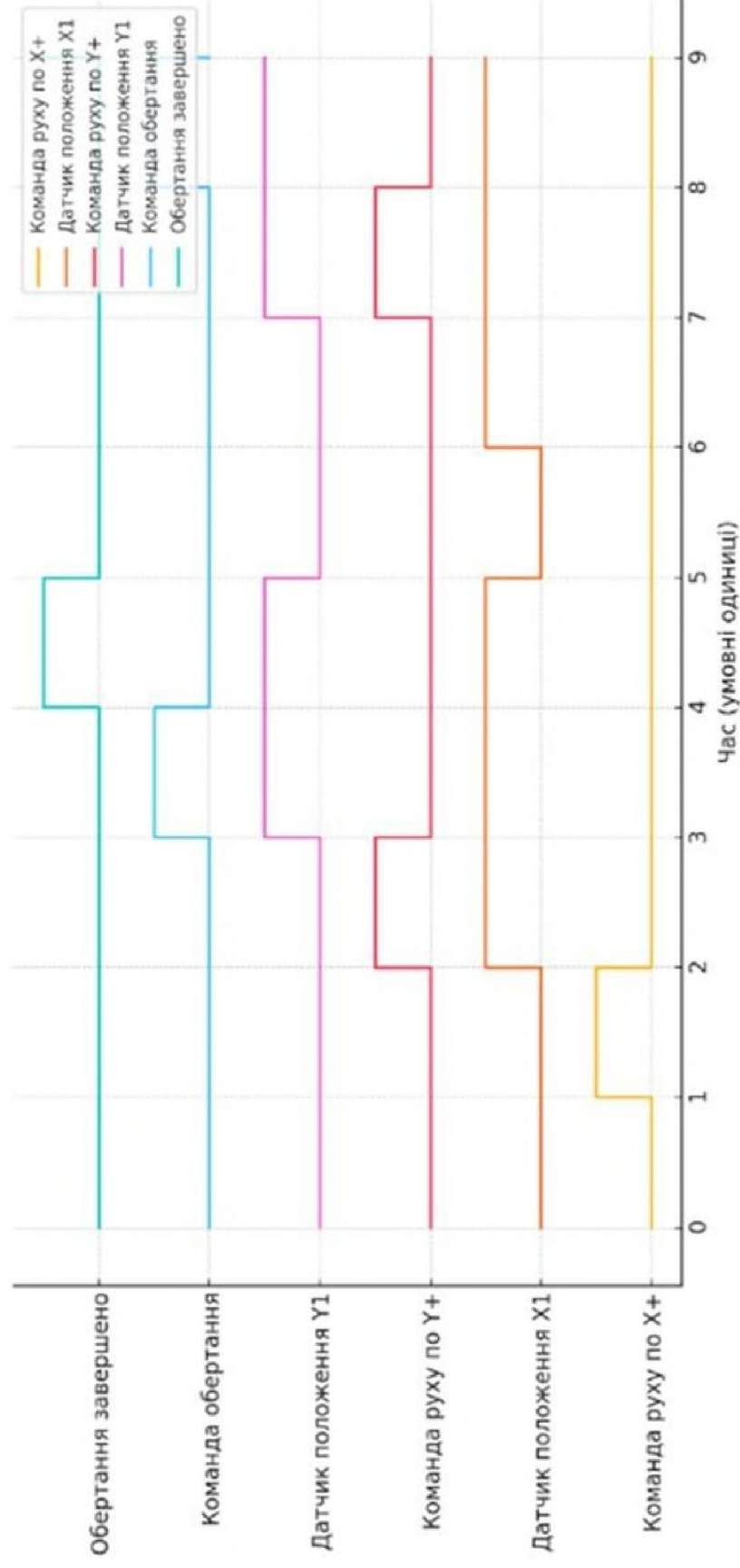


Алгоритм підпрограми автоматичного циклу



Алгоритм підпрограми обробки аварій

Циклограма роботи маніпулятора «М20П.40.01»



Слайд 9 – Циклограма роботи маніпулятора «М20П.40.01».

Висновки:

Досягнуто мету роботи: створено повноцінну програмну модель системи керування робота-маніпулятора M20П.40.01 на базі ПЛК Siemens S7-1500

Ключові результати:

- Розроблено алгоритми керування та повний програмний код мовою LD
- Реалізовано систему з трьома режимами роботи (авто/ручний/налаштування)
- Забезпечено безпеку через систему аварійного реагування

Практична цінність: Результати підтверджують працездатність концепції та готові для впровадження в навчальному процесі й промисловості.