

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Автоматизована система керування маніпулятором

Назва теми

КВРАКІТ.2021043.01.16 ПЗ

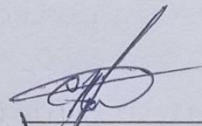
Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Назва

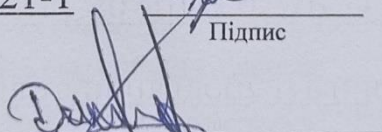
Виконав:

студент IV курсу, група АКІТ-21-1


Підпис

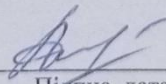
Андрій СЕНЧЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


Підпис, дата

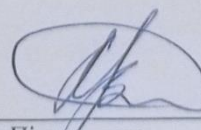
Денис МАКАРИШКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри автоматизації
та комп'ютерно-інтегрованих
технологій та робототехніки


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 19 » червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Валерій МАРТИНЮК

07 лютого 2025р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Сенченко Андрій Павлович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Автоматизована система керування маніпулятором

Керівник роботи канд.техн.наук., доцент Денис МАКАРИШКІН

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. №23

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2025р.

3 Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

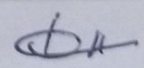
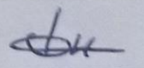
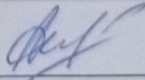
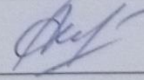
4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Огляд методів розв'язання поставленої задачі. Розробка схемотехнічних рішень. Розробка алгоритму роботи програмного забезпечення. Висновки

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

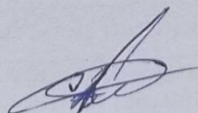
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

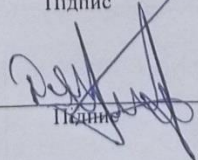
Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вибір та затвердження теми кваліфікаційної роботи; розробка завдання на кваліфікаційну роботу; складання календарного графіка виконання кваліфікаційної роботи	01.03.2025	Виконано
2 Вивчення предметної області, в якій планується використання системи автоматизації; аналіз вимог до системи автоматизації	15.03.2025	Виконано
3 Проектування та розробка загальної архітектури і структури системи автоматизації, інтерфейсу користувача; вибір засобів реалізації системи автоматизації	29.03.2025	Виконано
4 Програмна реалізація та тестування системи автоматизації	12.04.2025	Виконано
5 Написання тексту пояснювальної записки та розробка графічних матеріалів	19.04.2025	Виконано
6 Остаточне коригування кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника; оформлення кваліфікаційної роботи як документа відповідно до вимог	11.04.2025	Виконано
7 Отримання супровідних документів (відгуку керівника, рецензії, довідки про перевірку на плагіат); нормоконтроль	30.05.2025	Виконано
8 Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи	03.06.2025	Виконано

Студент


Підпис

Андрій СЕНЧЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Денис МАКАРИШКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система керування маніпулятором».

Автор роботи: Андрій СЕНЧЕНКО

Керівник роботи: Денис МАКАРИШКІН

Пояснювальна записка: 63 с., 25 рис., 5 табл., 2 дод., 40 джерел.

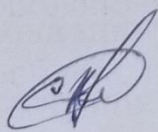
Графічна частина: 8 презентаційних слайдів.

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, ПНЕВМАТИЧНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ
МАНІПУЛЯТОР, МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА, БЛОК-СХЕМА
АЛГОРИТМУ.

Метою роботи було створення автоматизованого лабораторного стенду на базі пневматичного промислового маніпулятора. Для досягнення поставленої мети вирішено наступні завдання:

1. Розроблено алгоритм керування випробувальним стендом
2. Розроблено систему керування випробувальним стендом
3. Розроблено структурну схему системи управління
4. Розроблено принципову схему системи керування

У ході виконання бакалаврської роботи розроблено алгоритми керування автоматизованими лабораторними стелажми з одно- та двотактними робочими процесами. Для ілюстрації роботи лабораторного стенду створено блок-схему алгоритму керування. Програмне забезпечення розроблено на базі апаратної платформи Arduino Mega 2560. Шафа управління автоматизованим лабораторним стендом в зборі.



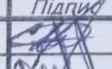
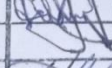


Підпис студента

19.06.2025р.

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ПРОМИСЛОВИЙ ПНЕВМАТИЧНИЙ МАНІПУЛЯТОР PARTNER EQUO / PS	7
1.1 Структура і робота основних частин маніпулятора Partner Equo / PS	9
1.2 Функціональна схема механізму підйому	10
1.3 Модуль повороту	13
1.4 Поступальний модуль або рука	14
1.5 Демпфер	15
1.6 Пневматичний привід маніпулятора PARTNER EQUO / PS	16
1.7 Висновки до першого розділу	18
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ	19
2.1 Структурна схема пристрою	19
2.2 Апаратне забезпечення системи управління	20
2.2 Структурна схема системи керування	28
2.3 Принципова схема системи управління	30
2.4 Висновки до другого розділу	31
3 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	32
3.1 Алгоритм 1 (робоча нижня частина руки)	32
3.2 Алгоритм 2 (робота надпліччя)	35
3.3 Алгоритм 3 (обидві руки робота працюють одночасно)	38
3.4 Алгоритм 4 (обидві руки робота працюють одночасно)	41
3.5 Розробка програмного коду	45
3.6 Комплектація шафи управління	45
3.6.1 Мікроконтролер Arduino Mega 2560	45

КВРАКІТ.2021043.01.16 ПЗ								
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування маніпулятором Пояснювальна записка	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Сенченко А.П.		19.06				
Перевір.		Макаришкін Д.А.		19.06				2
Н. Контр.		Корецька Л.О.		19.06		ХНУ, АКІТ-21-1		
Затв.		Мартинюк В.В.		19.06				

3.6.2 Розширення плати Arduino	47
3.6.3 Реле 8 relay module	48
3.6.4 Реле 4 relay module	49
3.6.5 Матрична клавіатура 4x4	52
3.6.6 Дисплей LCD	53
3.6.7 Сполучні дроти мама –тато	54
3.7 Реалізація пристрою	55
3.8 Висновки до третього розділу	56
ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	60
Додаток А Програмний код	64

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку промисловості та підвищення вимог до якості продукції автоматизація технологічних процесів стає одним із ключових чинників конкурентоспроможності підприємств. Використання робототехнічних комплексів дозволяє значно підвищити продуктивність праці, зменшити вплив людського фактора на точність виконання операцій та забезпечити високу повторюваність і надійність виробничих циклів. Особливе місце серед засобів автоматизації займають пневматичні маніпулятори — універсальні пристрої, що забезпечують виконання рухів у трьох вимірах із високою швидкістю та досить простою конструкцією.

Пневматичний маніпулятор PARTNER EQUO / PS від італійської компанії Dalmec є прикладом сучасного технологічного рішення, яке поєднує шестиступеневу маніпуляційну систему, пневматичні циліндри подвійної дії та електропневматичні розподільники для точного керування рухами «рук». Така конструкція дозволяє реалізувати як прості транспортні переміщення, так і складні орієнтаційні операції з високою швидкістю реагування та достатньою вантажопідйомністю (до 10 кг у режимі експлуатації).

Проте для створення навчально-дослідного стенда на базі промислового маніпулятора необхідне компактне та доступне рішення керування його електропневматичними клапанами. Сучасні відкриті апаратні платформи сімейства Arduino на базі мікроконтролерів AVR надають широкі можливості для розробки гнучких систем керування: велика кількість цифрових і аналогових входів/виходів, інтерфейси I2C та UART, простота програмування на основі C/C++ і доступність комплектуючих. Зокрема, Arduino Mega 2560 з її 54 цифровими виходами, 16 аналоговими входами й значним об'ємом пам'яті є оптимальним вибором для проєкту, що передбачає одночасне

					КвРАКІТ.2021043.01.16 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			4

керування до дванадцяти пневмоклапанами та взаємодію з користувацьким інтерфейсом (матричною клавіатурою й LCD-дисплеєм).

Мета роботи полягає в розробці автоматизованого лабораторного стенда на базі промислового пневматичного маніпулятора PARTNER EQUO / PS із системою керування на платформі Arduino Mega 2560, що забезпечить відпрацювання чотирьох типових алгоритмів роботи маніпулятора та дозволить студентам і дослідникам вивчати основи програмного забезпечення, апаратної реалізації та інтеграції пневматичних приводів.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

1. Вивчити структуру та функціональні частини пневматичного маніпулятора PARTNER EQUO / PS: модуль підйому, обертання, поступального пересування, демпфери та електропневматичну систему розподілу стисненого повітря.

2. Провести порівняльний аналіз сімейств мікроконтролерів AVR і PIC, а також розглянути три найбільш поширені плати Arduino (UNO, Leonardo, Mega). Обґрунтувати вибір Arduino Mega 2560 для керування багатоканальною системою електропневматичних клапанів.

3. Розробити структурну та принципову схеми шафи керування: підключення Arduino Mega 2560 до релейних модулів (4- і 8-канальних), матричної клавіатури 4×4, LCD-дисплея через шину I2C, а також інтерфейсу RS-232 для комутації з електропневматичними клапанами маніпулятора.

4. Сформулювати чотири типові сценарії роботи маніпулятора (з окремим та синхронним керуванням «руками»), побудувати блок-схеми послідовності вмикань реле та кінцевих вимикачів для кожного алгоритму.

5. Написати та відлагодити код на основі Arduino C/C++, що забезпечує зчитування клавіш матричної клавіатури, відображення стану на LCD-дисплеї, керування реле з затримками та обробкою сигналів кінцевих вимикачів.

					КвРАКІТ.2021043.01.16 ПЗ	5
		№ докум.	Підпис			

6. Провести серію випробувань усіх алгоритмів у реальних умовах: оцінити швидкість і плавність рухів, точність позиціонування, зручність користувацького інтерфейсу та надійність апаратно-програмного рішення.

У результаті виконання роботи буде створено дієвий демонстраційний стенд, який дозволить відпрацьовувати навички проєктування та програмування систем керування пневматичними маніпуляторами, сприятиме поглибленому розумінню інтеграції механіки, пневматики й електроніки в галузі автоматизації.

					КвРАКІТ.2021043.01.16 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			6

1 ПРОМИСЛОВИЙ ПНЕВМАТИЧНИЙ МАНІПУЛЯТОР PARTNER EQUO / PS

Пневматичний промисловий маніпулятор PARTNER EQUO / PS призначений для виконання та позиціонування деталей в автоматизованих процесах, таких як складання та штампування.

Маніпулятор має шість ступенів свободи, чотири з яких дозволяють транспортний (регіональний) рух і два дозволяють орієнтаційний (локальний) рух. Основні рівні мобільності маніпулятора включають три транспортні рівні:

- підняти руку;
- повернути руку;
- підніміть одну руку.

Надмірною рухливістю слід вважати транспортне переміщення (наявність якого обумовлено конструкцією) і спрямований рух витягнутої секундної стрілки:

- ручне обертання;
- зсув хвата.

Додатково варто сказати, що маніпулятор оснащений пневматикою

Привід і система управління забезпечують програмне логічне управління і ручне введення програми. Маніпулятор оснащений двома механічними універсальними затискачами затискного типу [1-5].

Основні технічні параметри промислового пневматичного робота PARTNER EQUO / PS наведені в таблиці 1.1.

					КвРАКІТ.2021043.01.16 ПЗ	7
		№ докум.	Підпис			

Компоновка робота полягає у встановленні механізму підйому руки всередині нерухомої рами (корпуса). Основний корпус модуля поворотного механізму кріпиться на модуль підйомного механізму знизу і піднімається разом з ним. Зверху підйомного модуля один над одним (розташовані під кутом до горизонталі) кріпляться два перекладних модуля для горизонтального переміщення (розгинання рук). Поворотний модуль і поступальний (зсувний) модуль захоплення в цих моделях встановлені на штанзі, а захоплення безпосередньо з'єднане зі штангою. Розташування інших конструктивних елементів вузла показано на рисунку 1.1.

1.1 Структура і робота основних частин маніпулятора Partner Equo / PS

Підйомний механізм призначений для переміщення руки робота вздовж вертикальної осі Z. Згідно з рисунком 1.1 модуль підйомного механізму 1 кріпиться до корпусу маніпулятора 2 вісьмома гвинтами 3. У корпусі також закріплена циліндрична напрямна 4, а рух 5 встановлено на напрямній рейці. На цьому ж рисунку показана установка заслінки і поворотного механізму в корпусі [1-5].

На рисунку 1.1 введені наступні позначення: 1 – корпус маніпулятора; 2 – підйомний механізм; 3 – механізм повороту; 4 – розподільна плита; 5 – зубчаста муфта; 6.9-модуль трансляції (рука); 7 – фланець кріплення кронштейна; 8 – колона для фіксації руки відносно фланця; 10 – модуль трансляції двигуна захвату; 11 – модуль повороту захвату; 12 – кронштейн; 13 – захоплення; 14 – упор; 15 – заслінка; 16 – кришка корпусу, 17 – гаситель коливань механізму повороту, 18 – магнітні контакти керування КЕМ; 19 – електромагнітний регулятор (дросель); 20 – голка; 21 – гайка фіксації голки; 22 – пневматична дросельна заслінка; 23 – корпус повітророзподільного вузла.

верхній шарнір викликає опускання поршневого штока. Метою виготовлення штокових камер циліндрів різного перерізу є підвищення динамічних характеристик модуля [6-10].

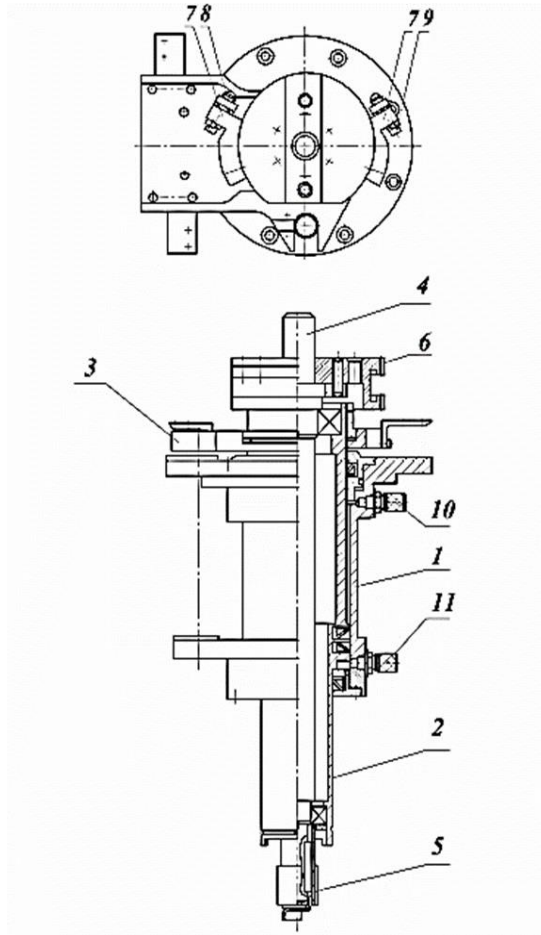


Рисунок 1.3- Підйомний модуль

1 - корпус циліндра; 2 - шток поршня; 3 - кронштейн; 4 - вал поворотного механізму; 5 - шестерня; 6 - зубчаста муфта; 7 - упор; 8,9 - гвинти регулювання положення упору; 10,11 - аксесуари

Для установки і фіксації поворотного механізму на модулі на нижньому кінці поршневого штока передбачений паз і виступ. Для кріплення амортизатора поворотного механізму на верхньому кінці штока поршня встановлений кронштейн 3.

Порожнистий поршневий шток оснащений всередині підшипником кочення (підшипником), на якому кріпиться вал 4 механізму обертання. Шестерня 5 закріплена на нижньому кінці вала і взаємодіє зі стрижневою доріжкою механізму обертання. Зубчаста муфта 6 встановлена на верхньому кінці вала і використовується для встановлення та регулювання положення стопору 7 для визначення кута повороту руки робота.

1.3 Модуль повороту

На рисунку 1.4 показано модуль обертання, призначений для обертання руки робота навколо вертикальної осі. Модуль складається з корпусу 1, в якому є порожнини для двох циліндрів.

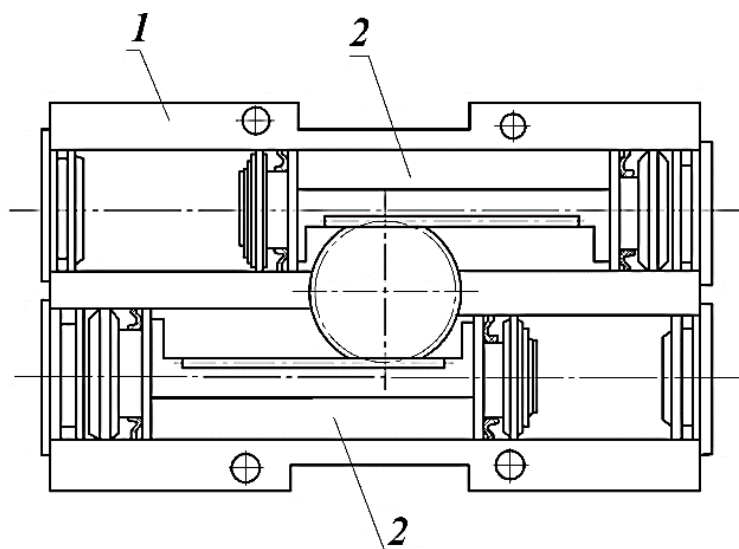


Рисунок 1.4 - Структура модуля повороту

Через вікно в нижній частині корпусу маніпулятора встановлюється модуль обертання, який кріпиться до штока підйомного модуля гвинтами 12 за допомогою пластин 7 (як показано на рисунку 1.2). Один кінець циліндричної направляючої рейки 4 закріплений в пластині 7, а інший кінець

закріплений в кронштейні 3, зображеному на фіг. 3 . Таким чином, він разом зі штангою підйомного модуля і корпусом поворотного механізму утворює жорстку замкнуту конструкцію. Це запобігає обертанню штока підйомного модуля. Заслінка 6 повертається до горизонтальної перегородки 8 корпусу 2 і фіксується гвинтом 9.

1.4 Поступальний модуль або рука

Модуль перекладу або рукоятка (рисунок 1.5) призначена для забезпечення горизонтального переміщення (підйому) захвату під час маніпулювання об'єктом. Модуль складається з корпусу 1, в якому розташований циліндр подвійної дії. Паралельно циліндру в корпусі рухомо закріплений шток 3. З обох боків штока встановлені відповідно основний стопор 4 і регулювальний стопор 5. Стопор, встановлений з боку захоплення, з'єднаний зі штоком поршня. Все, що рухається цим модулем, кріпиться на стовпі.

Камера циліндра розділена на дві герметичні частини штоком поршня 2. Для подачі стисненого повітря в камеру необхідний шток поршня, тому шток поршня порожнистий. При подачі стисненого повітря через один із штуцерів 8 або 9 поршневий шток 2 переміщується разом зі штоком 3 і упорами 4, 5. При наближенні до кінцевого положення стопор 4 тисне на плунжер заслінки 6, в результаті чого швидкість руху знижується, забезпечуючи плавний вихід до точки позиціонування. Після закінчення ходу спрацьовує електромагнітний контакт 7, який сигналізує про завершення руху.

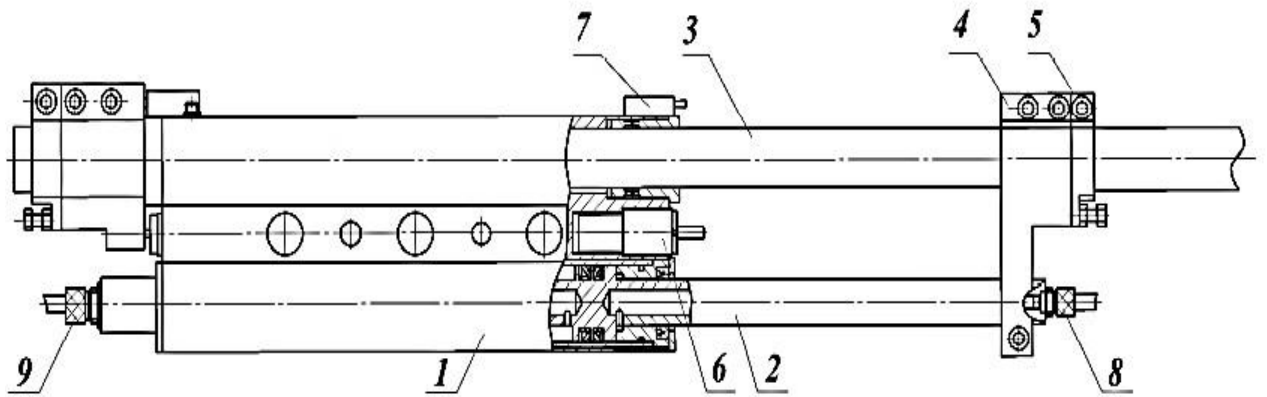


Рисунок 1.5 - Модуль перекладу (рука)

- тіло; 2 – шток поршня; 3 – стрижень; 4 – основна напруга; 5 – упор регулювання; 6 – заслінка; 7 – КЕМ (електромагнітний контакт); 8,9 – підтягнутий.

1.5 Демпфер

Структура демпфера показана на рисунку 1.6, яка забезпечує м'яку силу удару при досягненні точки зупинки та допомагає рухомій ланці плавно виходити до точки позиціонування. Демпфери даної конструкції встановлені в модулі горизонтального руху (рукояті) і механізмі підйому.

Амортизатор складається з оболонки 1, ковпака 4 і кришки 5. В оболонці 1 встановлений плунжер, який притискається пружиною 3 і має чотири площини з різними кутами нахилу. Плунжер ущільнений і з'єднаний з корпусом, щоб утворити дві площини ущільнення В і С.

Крім того, плунжер містить кульку 6, що підтримується пружиною 7, яка забезпечує закриття перепускного отвору G.

При спрацьовуванні штовхача 2 рух передається рухомій конічній частині плунжера 12, яка переміщується всередині нерухомої циліндричної частини плунжера, долаючи силу пружності пружини і зменшуючи об'єм порожнистої частини плунжера, в якій знаходиться масло.

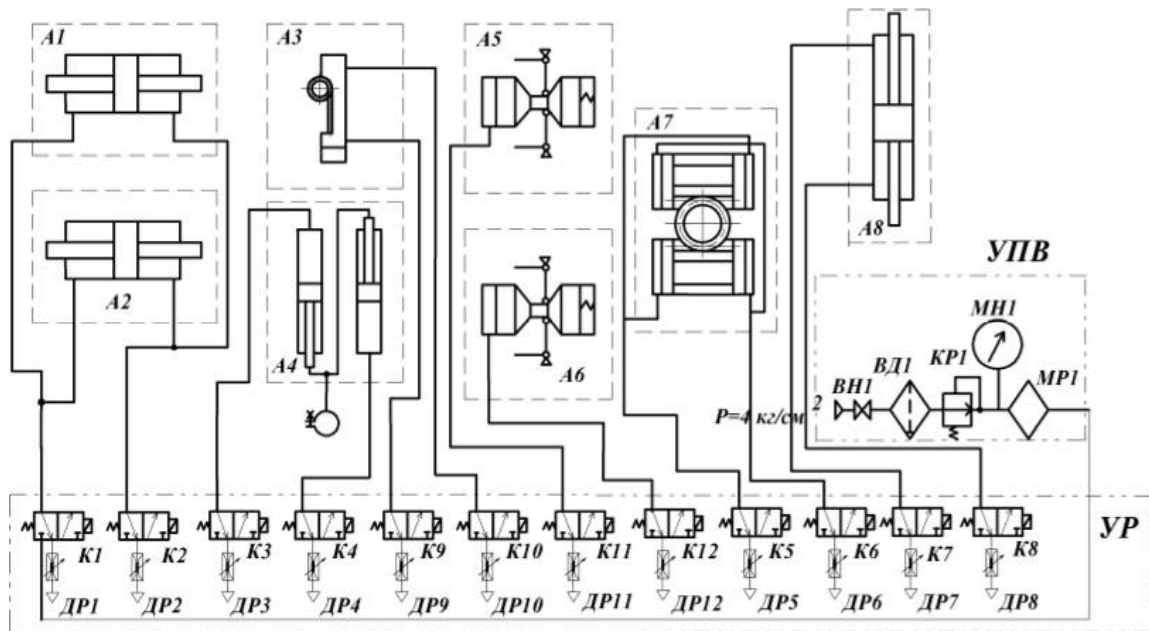


Рисунок 1.8 - Принципова пневматична схема пневматичного промислового маніпулятора PARTNER EQUO / PS

1.7 Висновки до першого розділу

У першому розділі розглянуто побудову промислового пневматичного маніпулятора PARTNER EQUO / P. Визначені задачі застосування маніпулятора та принципи керування ним.

Описана структура і робота основних частин маніпулятора PARTNER EQUO / PS. Приведена функціональна схема механізму підйому, опис модуля повороту, поступальний модуль або рука, демпфер, пневматичний привід маніпулятора PARTNER EQUO / PS.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ

2.1 Структурна схема пристрою

Раніше управління промисловим пневматичним маніпулятором PARTNER EQUO / PS здійснювалося за допомогою блоку управління BECKHOFF C6030, який призначений для управління маніпуляторами з фіксованим положенням.

Функціональний склад пристрою та характерні зв'язки між блоками наведені на рисунку 2.1. Пристрій побудований за принципом синхронного програмованого автомата з жорстким контуром керування. Основні модулі та компоненти пристрою керування:

- пульт керування для встановлення режиму роботи обладнання та ручного керування тягою маніпулятора;
- блок управління обробляє інформацію в установленому порядку і видає керуючі команди маніпулятору;
- блок підсилення, який посилає керуючі інструкції на клапан робота;
- блок живлення, який забезпечує живлення системи управління та електропневматичних клапанів;
- носій програм, використовується для введення та зберігання необхідних програм роботи робота [16].

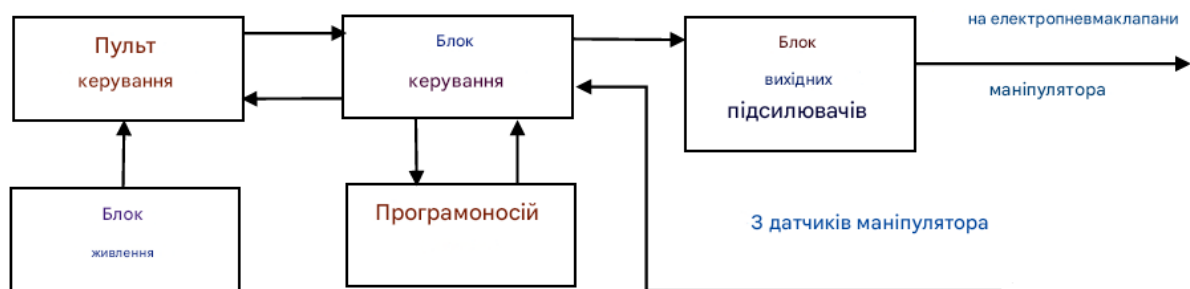


Рисунок 2.1 - Схема структурна

Існують наступні режими роботи:

1. Ручний режим роботи - команди подаються з пульта управління і передаються на блок підсилювача, а потім на маніпулятор для управління рухомими частинами. Положення приводу робота контролюється дисплеєм, який показує стан з'єднання робота.

2. «Командний» режим роботи – пристрій забезпечує виконання кадру програми, набраного на носії програми. Після виконання команди, зазначеної у кадрі, пристрій зупиняється.

3. Режим циклу – пристрій обробляє всі програмні кадри одночасно.

4. Автоматичний режим роботи – пристрій виконує кілька робочих циклів.

Стандартне керування мало недоліки, і його відновлення в умовах розвитку автоматизації було недоцільним, тому після аналізу було вирішено розробити систему керування на основі одного із сучасних мікроконтролерів.

2.2 Апаратне забезпечення системи управління

Розглянемо два сімейства контролерів: AVR і PIC. Їх порівняльні характеристики наведено у таблиці 2.1.

Мікроконтролери AVR, вироблені компанією ATMEL, являють собою сімейство 8-розрядних, а останнім часом і 32-розрядних мікроконтролерів з архітектурою RISC, яка поєднує в собі обчислювальне ядро, флеш-пам'ять і широкий спектр периферійних пристроїв (аналогових і цифрових входів і виходів, інтерфейсів тощо) [17].

PIC (Peripheral Interface Controller) - контролер периферійного інтерфейсу виробництва MicroChip, типовий представник процесорів RISC.

	ЗМІННИЙ	
--	---------	--

					КвРАКІТ.2021043.01.16 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			22

Кінець таблиці 2.1 - Порівняльні характеристики сімейств контролерів

Скидання прапорців переривань	Програмний	Апаратний, при переход по вектору. Можливий програмний.
вкладеність переривань	PIC16 - відсутня PIC18 - є	Можлива
Прапорці ознак в регістрі станів	PIC16 - C, Z, DC PIC18 - C, Z, DC, OV, N	C, Z, N, V, S, H
Система команд		
Кількість інструкцій	PIC16 - 35 PIC18 - 77	AT90S – 118 ATmega - 133
Кількість методів адресації	PIC16 - 3 PIC18 - 7	8
Можливість доступу до даних в програмною пам'яті	PIC16 - відсутня PIC18 – повний	AT90S - частковий ATmega – повний

Мікроконтролери AVR мають сильнішу здатність протидіяти перешкодам і надійніші в роботі, ніж мікроконтролери PIC. Мікроконтролер AVR виконує один командний цикл за один такт, тоді як PIC виконує один командний цикл за чотири такти. AVR також має більше методів адресації.

Після аналізу наявних мікроконтролерів необхідного рівня (таблиця 2.1) було обрано оптимальний варіант – контролер серії AVR [17].

Система керування кронштейном реалізована на платформі Arduino. Апаратна платформа Arduino широко використовується в проектах електронної автоматизації. Дозволяє керувати зовнішніми пристроями (реле,

датчики, флеш-пам'ять, рідкокристалічні екрани, світлові індикації тощо). Таким чином, ця апаратна платформа поєднує в собі все необхідне для розробки систем керування.

Розглянемо три найпоширеніші апаратні платформи Arduino, такі як Arduino UNO, Arduino LEONARDO, Arduino MEGA.

Arduino UNO – Ця розробна плата оснащена мікроконтролером ATmega328. Апаратна платформа має 6 аналогових входів, 14 цифрових входів/виходів, тактову частоту 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопку скидання. Для роботи платформа має бути підключена до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або живитися за допомогою адаптера змінного/постійного струму або акумуляторів.

Arduino LEONARDO – Ця розробна плата оснащена мікроконтролером ATmega32u4. Платформа має 20 цифрових входів/виходів, тактову частоту 16 МГц, роз'єм micro USB, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопку скидання. Для роботи платформа має бути підключена до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або живитися за допомогою адаптера змінного/постійного струму чи акумуляторів.

Arduino MEGA – Ця розробна плата оснащена мікроконтролером ATmega2560. Плата має 16 аналогових входів, 54 цифрових входу/виходу, 4 послідовних порти UART, тактову частоту 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопку скидання. Для роботи платформа має бути підключена до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або живитися за допомогою адаптера змінного/постійного струму або акумуляторної батареї [18-23].

Відповідно до даних, наведених у таблиці 2.2, апаратна платформа Arduino Mega (рисунок 2.2) має найбільше цифрових входів/виходів, а також флеш-пам'ять, оперативну пам'ять та енергонезалежну пам'ять. Виходячи з наведених вище міркувань, ми обрали апаратну платформу Arduino Mega 2560 для цього автоматизованого лабораторного стенду.

Плата Arduino Mega має 16 аналогових входів. Кожен з них підключений до 10-бітного АЦП, тому в скетчі ви можете отримати значення рівня 1024 за допомогою функції `analogRead()`. Діапазон за замовчуванням для значення напруги на аналоговому виводі відносно землі становить 0-5 В. Цей діапазон можна змінити за допомогою `analogReference()` і виводу AREF. [24-26]

Підключення до комп'ютера та завантаження ескізів є стандартними для більшості плат серії Arduino. Використовуючи мікросхему ATmega16U2, пристрій визначається як COM-порт, через який можна передавати дані та мікроконтролер можна прошивати.

Безпосереднє керування лабораторним стендом здійснюється за допомогою матричної клавіатури (рисунок 2.3).

Клавіатура має матричний формат 4x4 (рисунок 2.3), де кожна кнопка є зоною повітряного проміжку між двома шарами діелектрика та покрита провідним покриттям. Один із виводів 1-4 та один із виводів 5-8. Технічні характеристики наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики

Параметр	Значення
Габарити, мм	68×77×0,8
Робоча напруга, У	до 12
Максимальний струм, мА	100
Опір ізоляції, МОм	>100
Опір контактів, Ом	<200
Робоча температура, ^{про} С	від 0 до +70
Вага, г	10

На рисунку 2.3 кнопки 0-9, * і # представляють дії робота, а AD — сцени роботи робота [27].

- рука робота піднімає 9 - Затискач обертається вліво;
- робот обертається вліво 0 - Верхнє пристосування рухається вправо;
- робот обертається вправо* - Верхній захват рухається вліво;
- переміщення руки вперед # - Скидання;
- рух руки А - Сценарій 1;
- скорочення верхньої кінцівки В Розслаблення - Сценарій 2;
- відпускання нижньої ручки С - Сцена 3;
- обертання правим хватом D - Сцена 4.

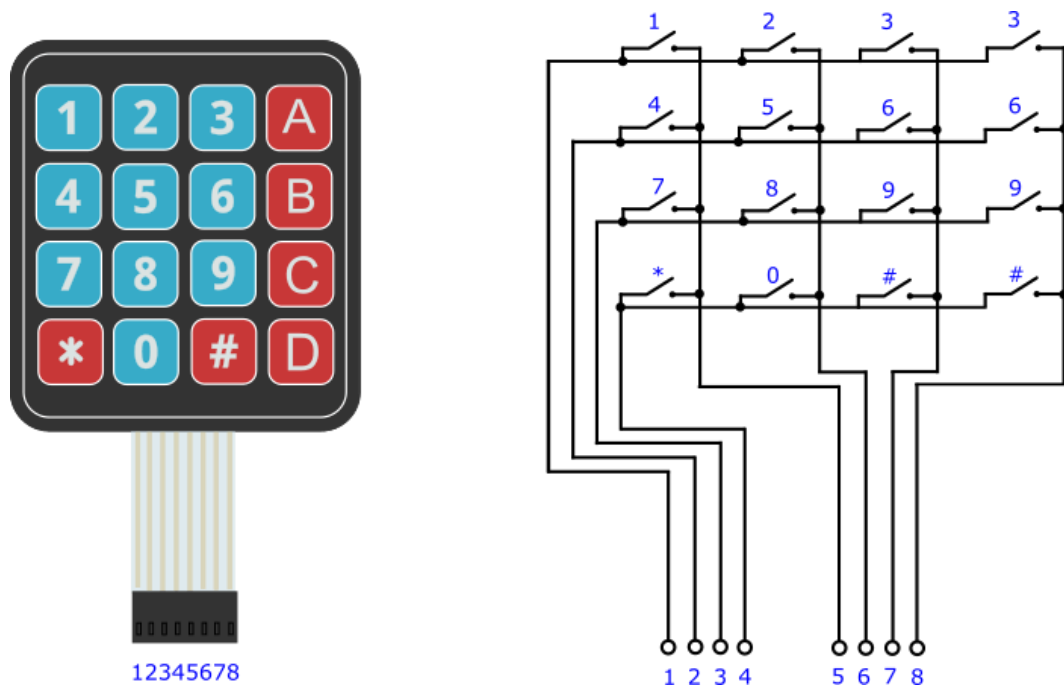


Рисунок 2.3 - Клавіатура управління маніпулятором

2.2 Структурна схема системи керування

2.3 Принципова схема системи управління

Мікроконтролер Arduino крок за кроком виконує задану програму. Виконання кожного кроку забезпечується моніторингом стану датчиків (кінцевих вимикачів). Коли робот керує шатуном для переміщення до заданої граничної точки траєкторії, відповідний кінцевий вимикач замикається, на вхідному кінці контролера з'являється керуючий сигнал, і він перемикається на виконання наступної інструкції. Якщо сигнал кінцевого вимикача відсутній, виконання програми припиняється. Оператор вибирає команди за допомогою матричної клавіатури. Коли ви натискаєте кнопку клавіатури, виконується дія або певний цикл, і вибрана дія відображається на екрані. Два релейних модуля (4 і 8) також підключені до мікроконтролера Arduino. До цих модулів підключені електропневматичні клапани промислового пневмоманіпулятора PARTNER EQUO / PS (рисунок 2.5) [30].

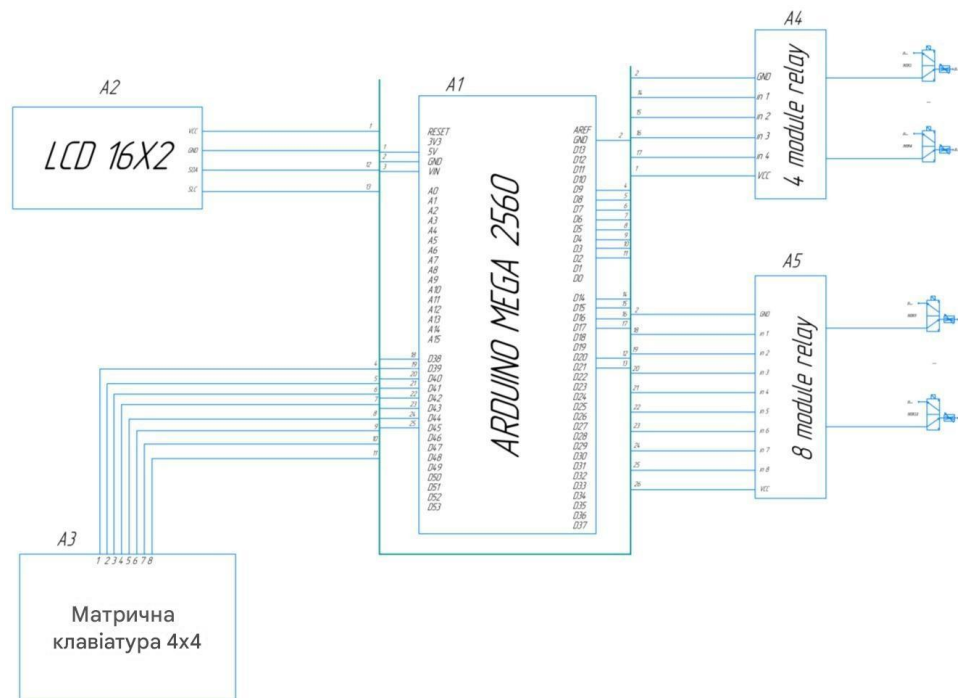


Рисунок 2.5 - Принципова схема управління пневматичним промисловим маніпулятором PARTNER EQUO / PS

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі проведена розробка системи управління маніпулятором. Розроблена структурна схема пристрою, яка складається з основних структурних елементів що забезпечують роботу пристрою.

Розглянуто апаратне забезпечення системи управління. На основі порівняльного аналізу різних мікроконтролерних пристроїв, платформу Arduino Mega 2560.

Розглянуто застосування інших пристроїв введення і виведення інформації – матричну клавіатуру і LCD-дисплей.

Розроблена структурна схема системи керування. На основі структурної схеми, запропоновано принципову схему системи управління.

3 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Для виконання роботи розроблено чотири алгоритми роботи промислового пневматичного маніпулятора. Кожен алгоритм представляє певну послідовність операцій для робота.

3.1 Алгоритм 1 (робоча нижня частина руки)

Обидві руки вперед → рука робота піднята → пристосування відпущено → обидві руки вправо → пристосування затиснуто → обидві руки ліворуч → робот опущено → пристосування повернуто → обидві руки назад → пристосування відпущено.

Опишемо алгоритм керування маніпулятором PARTNER EQUO / PS за першим сценарієм, що наведено на рисунку 3.1 [31].

При натисканні кнопки «Пуск» на плату контролера подається живлення.

Робот може рухатися по горизонтальній площині. При відкритті електропневматичного клапана в циліндр подається повітря до тих пір, поки пробка не спрацює кінцевий вимикач. Програма переходить до наступного кроку. Якщо сигнал ввімкнення відсутній, програма завершить роботу. Умови, задані для переходу до наступного кроку алгоритму, аналогічні.

Подальші операції виконуються в такому порядку:

- дозволити рух маніпулятора у вертикальній площині;
- розблокування ручки активовано;
- увімкнено рух маніпулятора проти стрілок охорони;
- затиск активується;
- дозволяє переміщати маніпулятор по стрілках годинника;

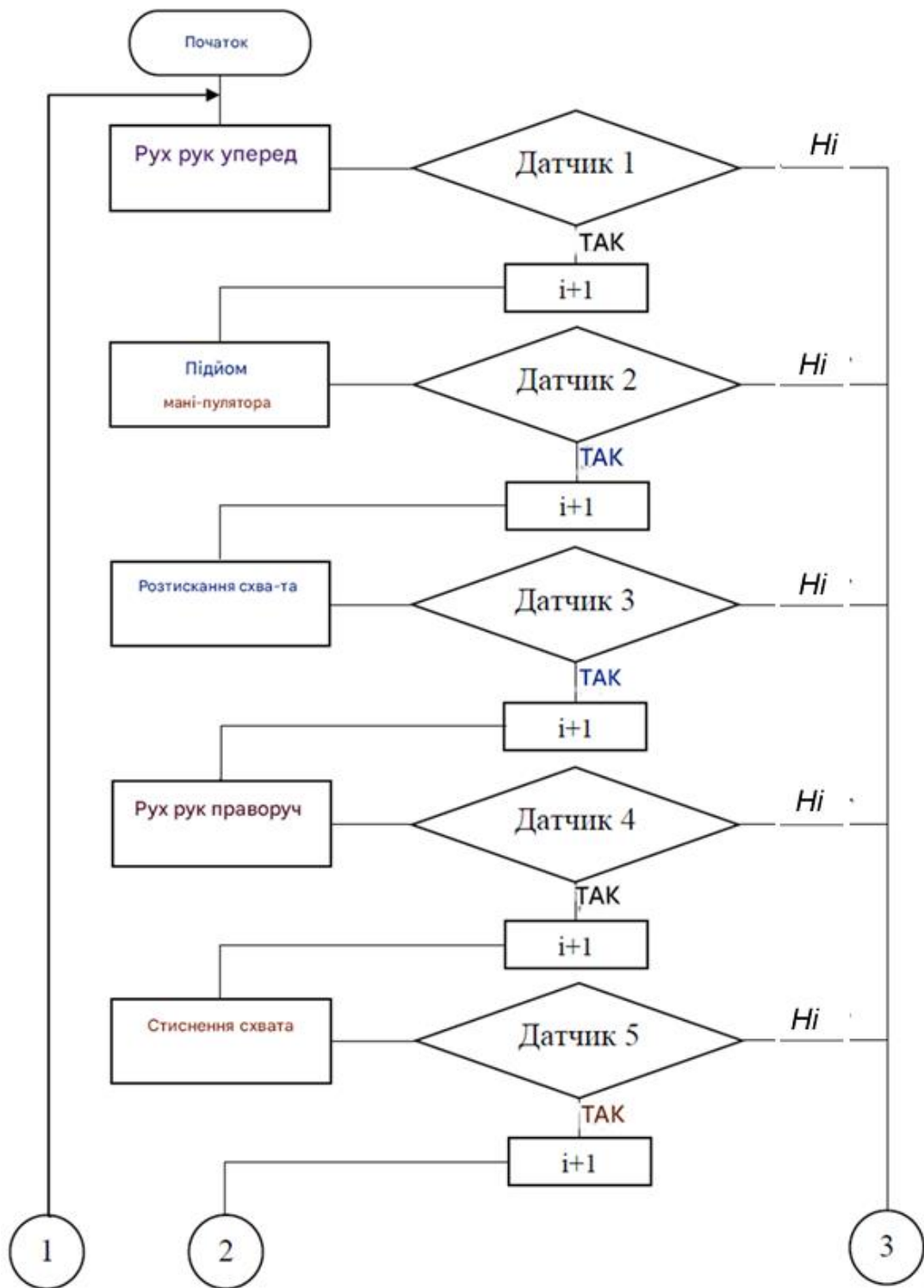


Рисунок 3.1 - Блок схема алгоритму 1

		№ докум.	Підпис	

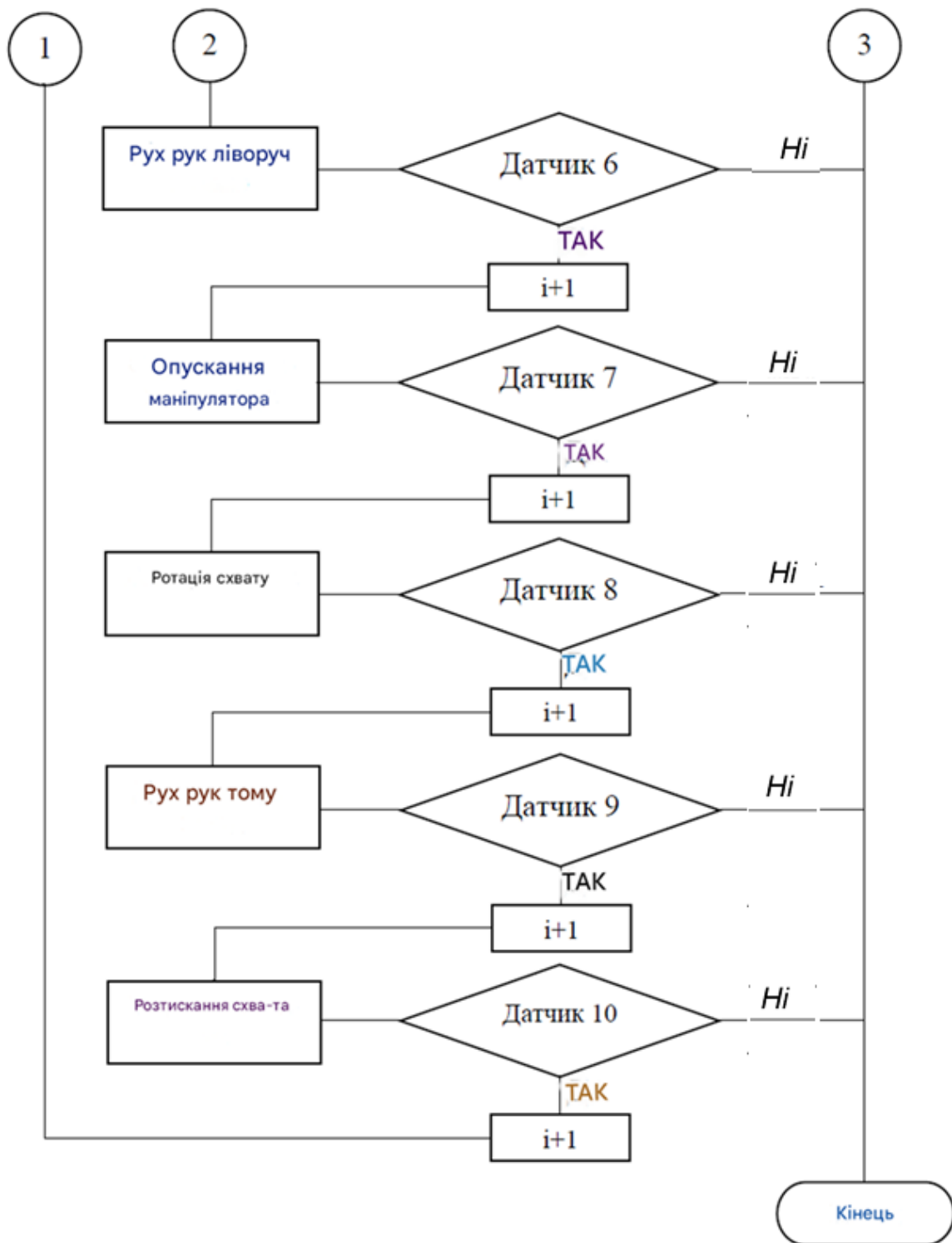


Рисунок 3.1 - Блок-схема алгоритму 1 (продовження)

		№ докум.	Підпис	

- дозволити рух маніпулятора у вертикальній площині;
- обертання рукоятки включено;
- дозволити маніпулятору переміщатися по горизонтальній площині;
- розблокування ручки активовано.

Коли виконується останній крок програми, програма переходить до початку.

3.2 Алгоритм 2 (робота надпліччя)

Відпустити затискач → Перемістити обидві руки вправо → Міцно тримати затискач → Піднімати → Перемістити обидві руки вперед → Перемістити обидві руки вліво → Перемістити затискач праворуч → Відпустити затискач → Посунути обидві руки назад → Опустити маніпулятор

Опишемо алгоритм керування маніпулятором PARTNER EQUO / PS за другим сценарієм (рисунок 3.2).

При натисканні кнопки «Пуск» на плату контролера подається живлення. Функція розблокування ручки активована. При відкритті електропневматичного клапана в циліндр подається повітря. Поки точка зупинки не з'єднається з кінцевим вимикачем. Перейдіть до наступного кроку процедури. Якщо сигнал ввімкнення відсутній, програма завершить роботу.

Подальші операції виконуються в такому порядку:

- увімкнено рух маніпулятора проти стрілок охорони;
- активується стиснення рукоятки;
- дозволити рух маніпулятора у вертикальній площині;
- дозволити маніпулятору переміщатися по горизонтальній площині;
- дозволяє переміщати маніпулятор по стрілках годинника;
- активізується хапальна дія;
- розблокування ручки активовано;

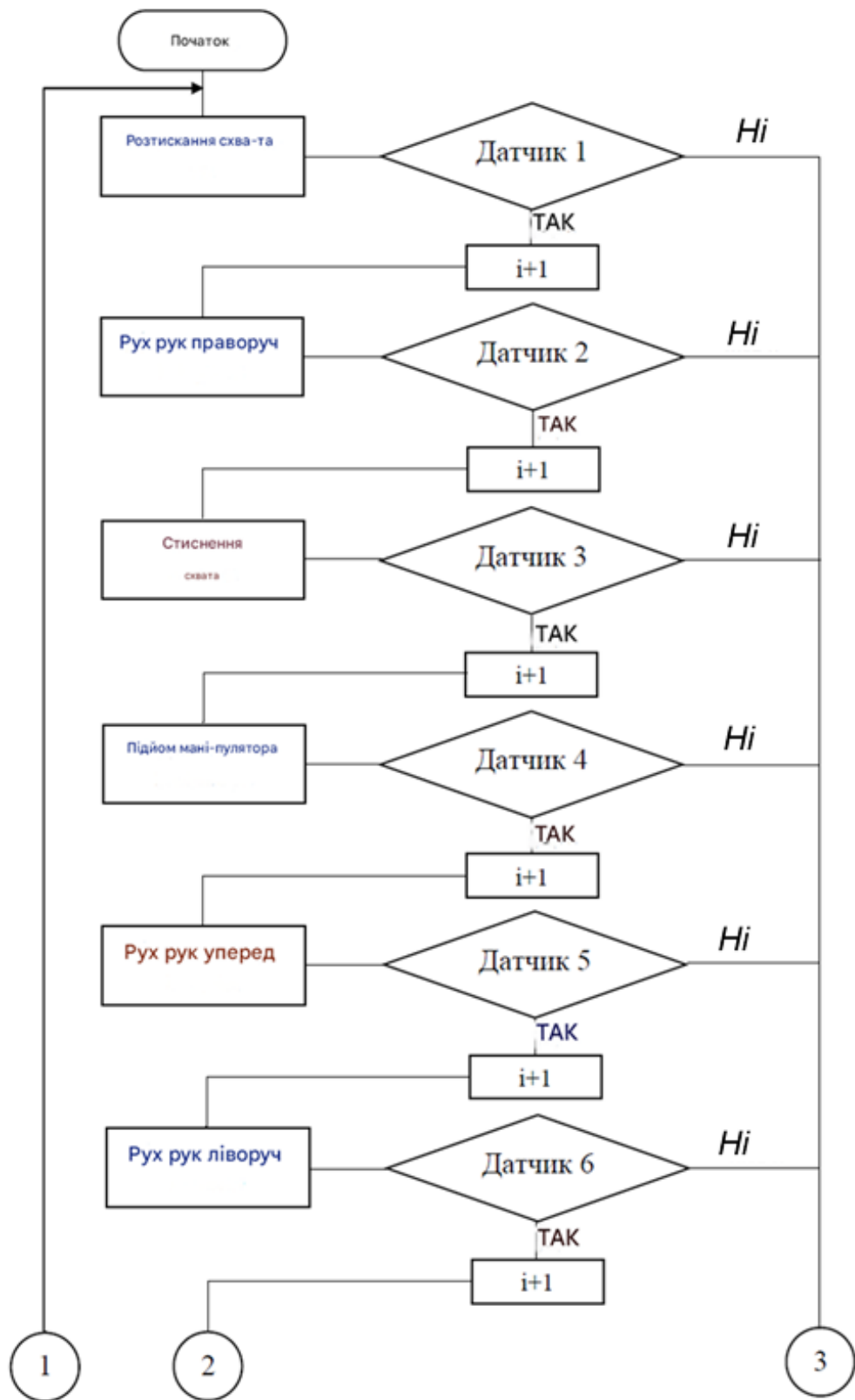


Рисунок 3.2 - Блок-схема алгоритму 2

		№ докум.	Підпис	

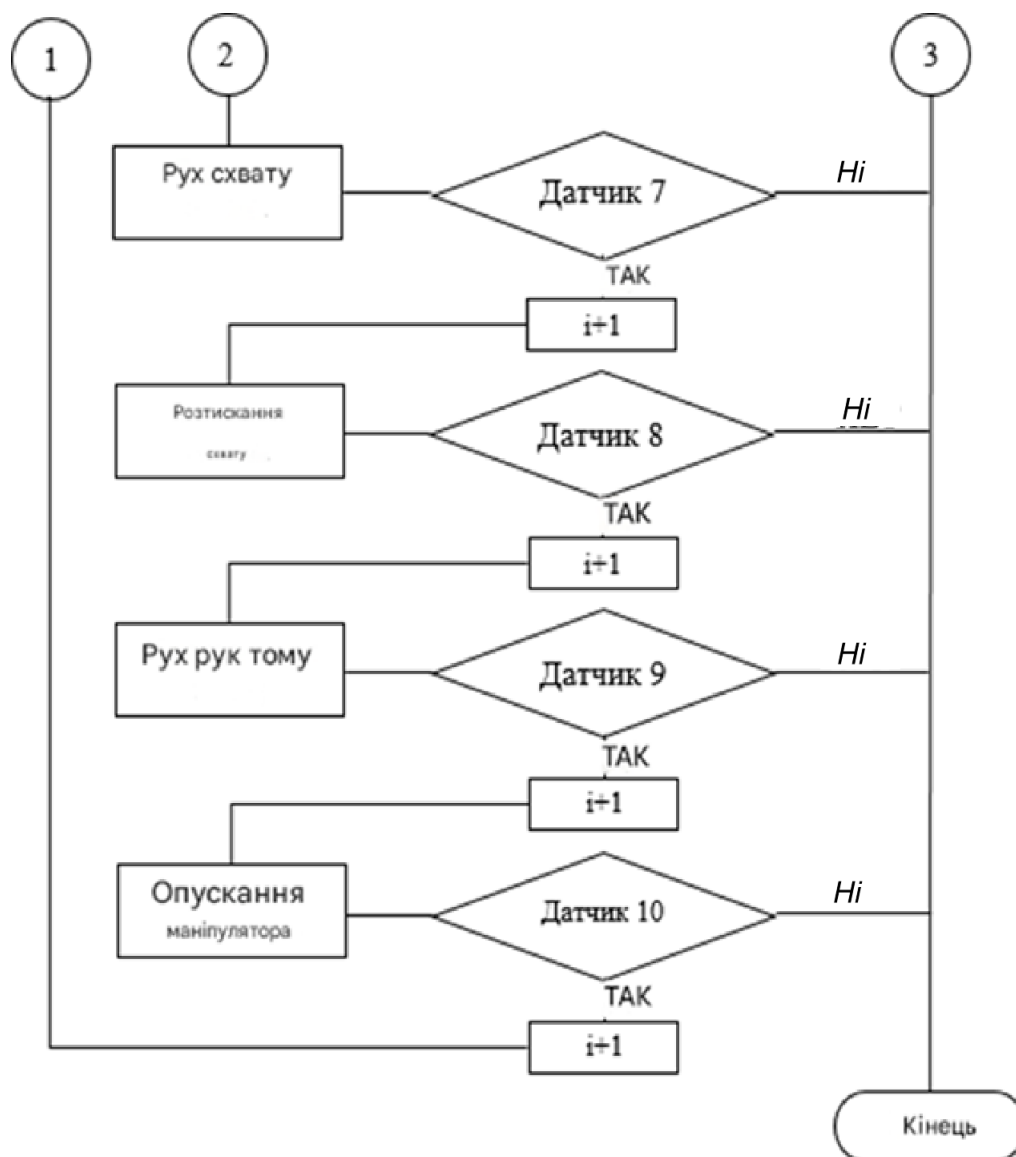


Рисунок 3.2- Блок-схема алгоритму 2 (продовження)

- дозволити маніпулятору переміщатися по горизонтальній площині;
- дозволити рух маніпулятора у вертикальній площині;
- коли виконується останній крок програми, програма переходить до початку. [32-34]

		№ докум.	Підпис	

3.3 Алгоритм 3 (обидві руки робота працюють одночасно)

Відпустити затискач → обидві руки ліворуч → підняти маніпулятор → обидві руки вперед → затиснути нижній затискач → обидві руки праворуч → затиснути верхній затискач → обидві руки назад → затискач обертається праворуч → затискач рухається праворуч → опустити маніпулятор → обидві руки ліворуч → обидві руки вперед → відпустити затискач → обидві руки назад.

Алгоритм керування маніпулятором PARTNER EQUO / PS описано за третім сценарієм (рисунок 3.3).

При натисканні кнопки «Пуск» на плату контролера подається живлення. Функція розблокування затискача активована. При відкритті електропневматичного клапана в циліндр подається повітря до тих пір, поки пробка не спрацює кінцевий вимикач. Програма переходить до наступного кроку. Якщо сигнал ввімкнення відсутній, програма завершить роботу. Умови, задані для переходу до наступного кроку алгоритму, аналогічні.

Подальші операції виконуються в такому порядку:

- дозволити переміщати маніпулятор по стрілках годинника;
- дозволити рух маніпулятора у вертикальній площині;
- дозволити маніпулятору переміщатися по горизонтальній площині;
- активувати нижній затиск;
- увімкнути рух маніпулятора проти стрілок охорони;
- активувати верхній затиск;
- дозволити маніпулятору переміщатися по горизонтальній площині;
- обертання рукоятки включено;
- активізувати хапальну дію;
- дозволити рух маніпулятора у вертикальній площині;

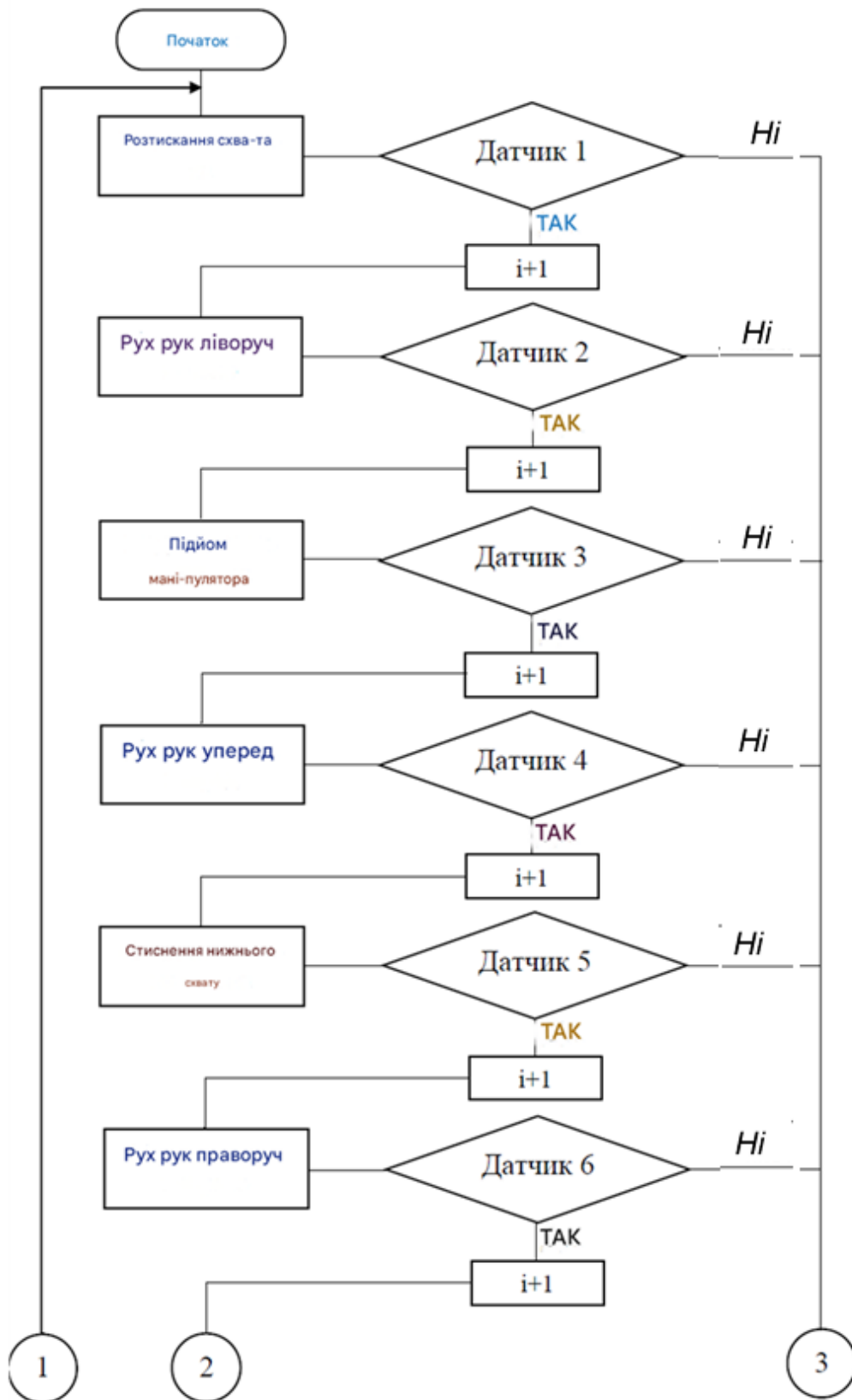


Рисунок 3.3 - Блок-схема алгоритму 3

		№ докум.	Підпис	

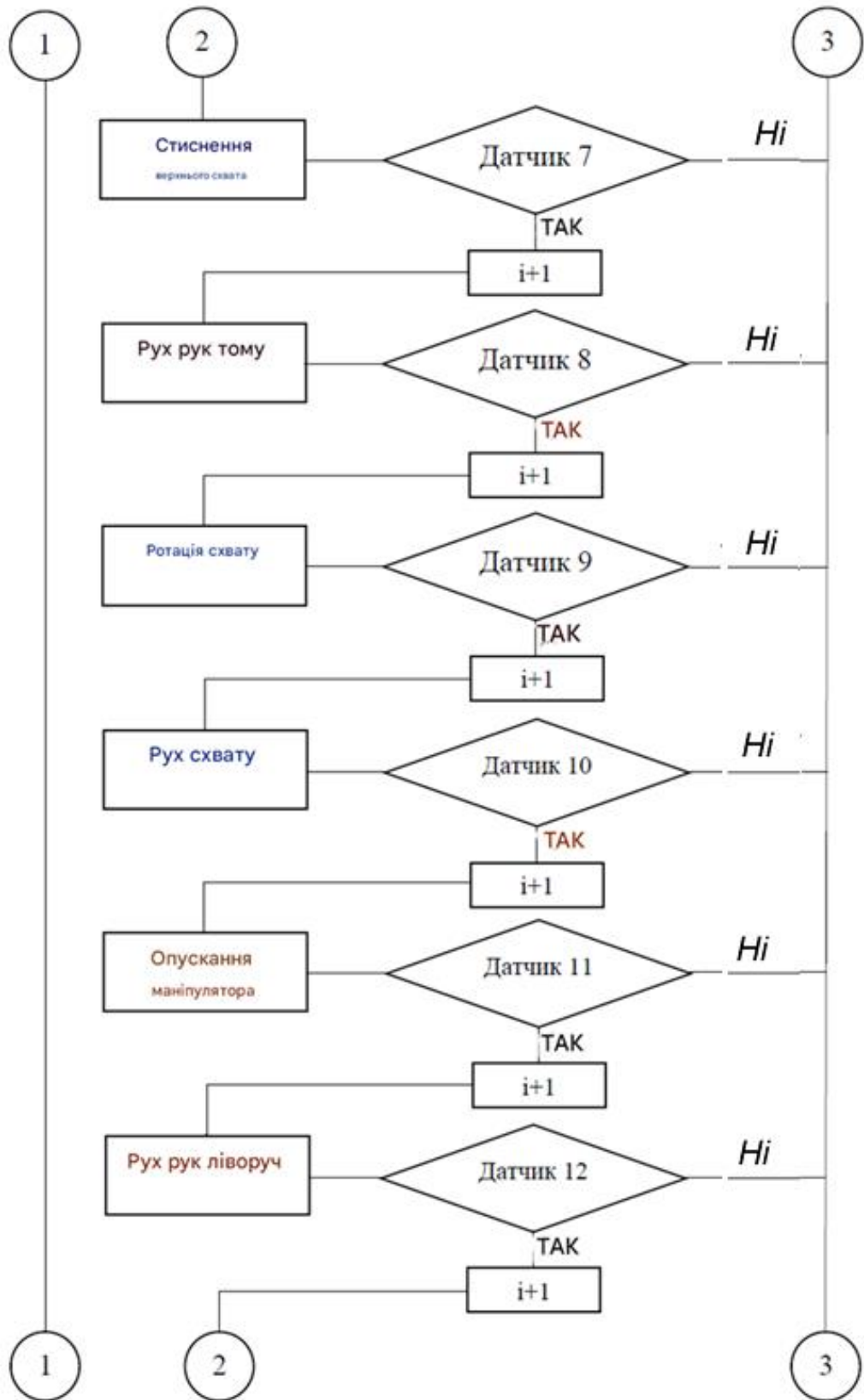


Рисунок 3.3 - Блок-схема алгоритму 3 (продовження)

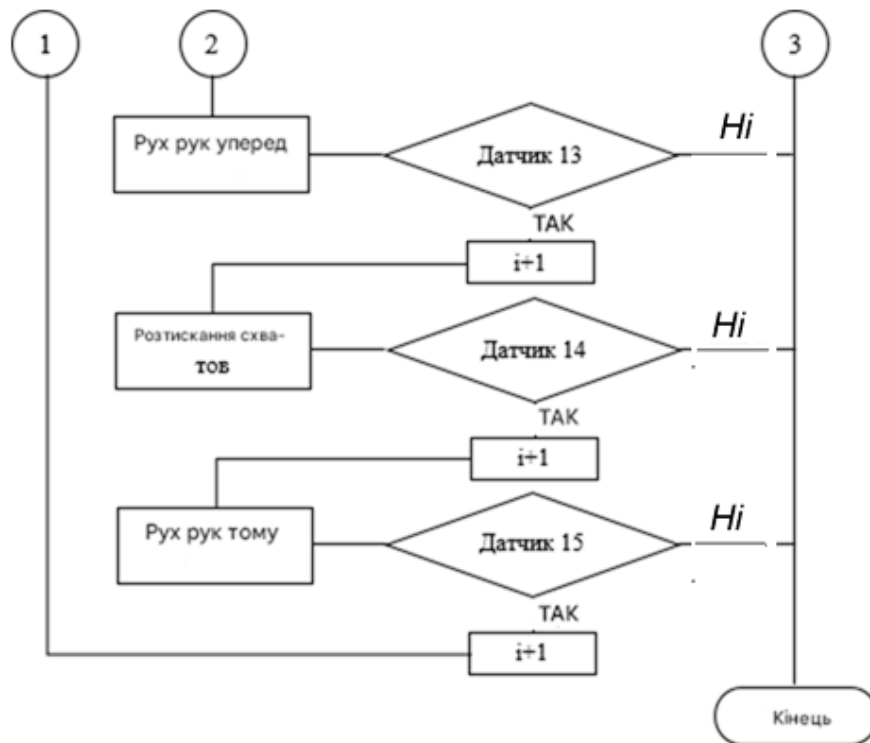


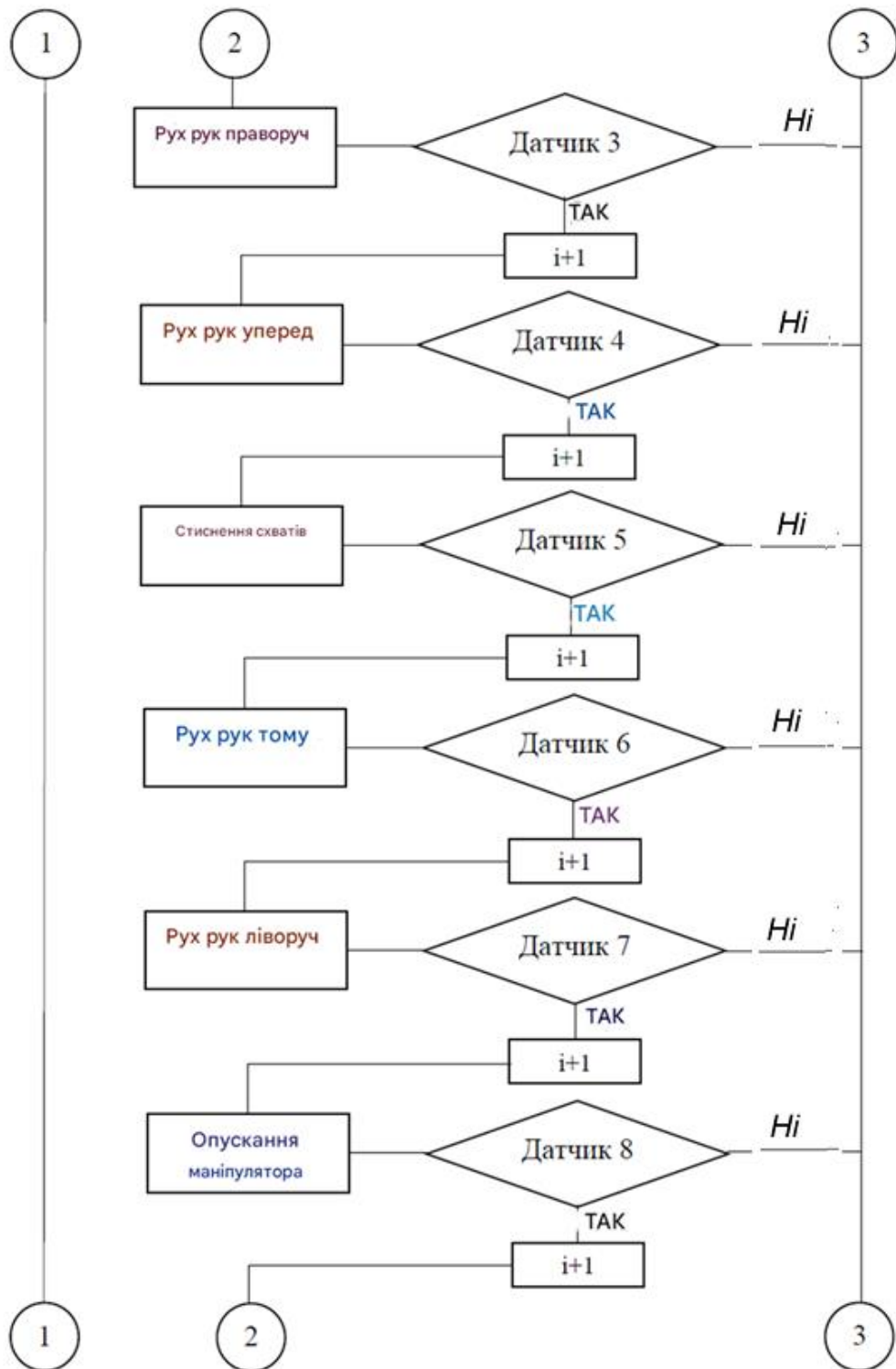
Рисунок 3.3 - Блок-схема алгоритму 3 (закінчення)

- дозволяє переміщати маніпулятор по стрілках годинника;
- дозволити маніпулятору переміщатися по горизонтальній площині;
- затискач ослаблений;
- дозволити маніпулятору переміщатися по горизонтальній площині;
- коли виконується останній крок програми, програма переходить до початку. [35-36]

3.4 Алгоритм 4 (обидві руки робота працюють одночасно)

Рука робота піднята → відпущена → обидві руки вправо → обидві руки вперед → затиснути пристосування → обидві руки назад → обидві руки вліво

- 5) Здійснювати рух маніпулятора в горизонтальній площині;
- 6) Дозволити рух маніпулятора по стрілці моніторингу;
- 7) Маніпулятор може рухатися у вертикальній площині;
- 8) Увімкнути маніпулятор для переміщення в горизонтальній площині;



		№ докум.	Підпис	

Рисунок 3.4 - Блок-схема алгоритму 4 (продовження)

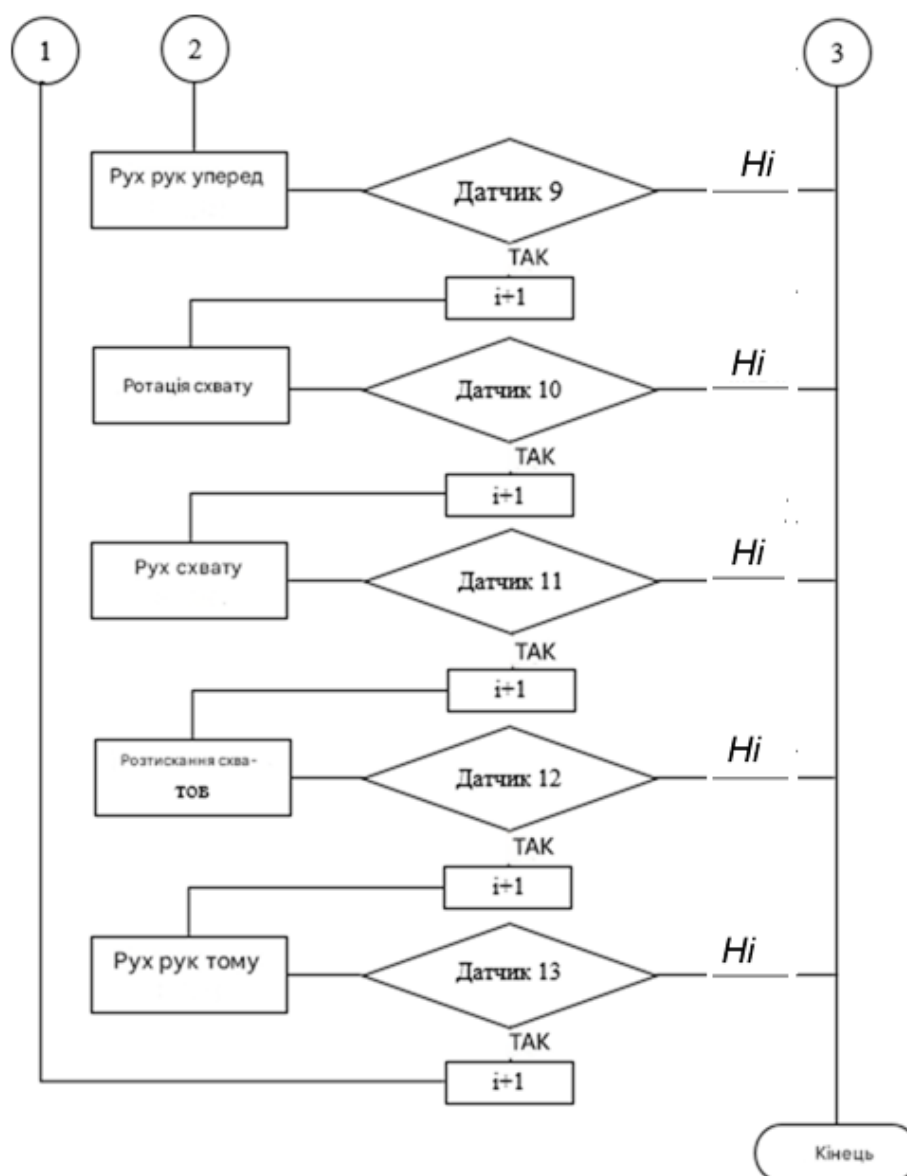


Рисунок 3.4 - Блок-схема алгоритму 4 (закінчення)

- 9) Ручка повертається, щоб відкрити;
- 10) Починається хапання;
- 11) Відпустіть затискач;
- 12) Робот може рухатися по горизонтальній площині.

Коли виконується останній крок програми, програма переходить до початку.

3.5 Розробка програмного коду

Плати Arduino програмуються за допомогою спеціальної мови програмування на основі C/C++. Мова програмування Arduino є різновидом C++, що означає, що для Arduino не існує окремої мови програмування.

Насправді всі написані ескізи були скомпільовані з мінімальними змінами програм на C/C++. Компілятор Arduino IDE значно спрощує процес написання програм для платформи, полегшуючи створення пристроїв Arduino людям, які не мають глибоких знань мови C/C++. Код для керування лабораторним столом наведено у додатках. [37-38]

3.6 Комплектація шафи управління

3.6.1 Мікроконтролер Arduino Mega 2560

У розділі розглядаються технічні характеристики, цифрові та аналогові розпіновки та підключення до комп'ютера (рисунок 3.5).

Живлення апаратної платформи Arduino Mega 2560

Платформа може житися через USB-з'єднання або зовнішнє джерело живлення. Джерело живлення вибирається автоматично.

Зовнішнє живлення (не через USB) може подаватись через перетворювач змінного/постійного струму (джерело живлення) або акумуляторні батареї. Перетворювач напруги підключається за допомогою роз'єму 2,1 мм з плюсовою клемою на центральному контакті. Провід від акумулятора підключаємо до клем GND і VIN роз'єму живлення (POWER).

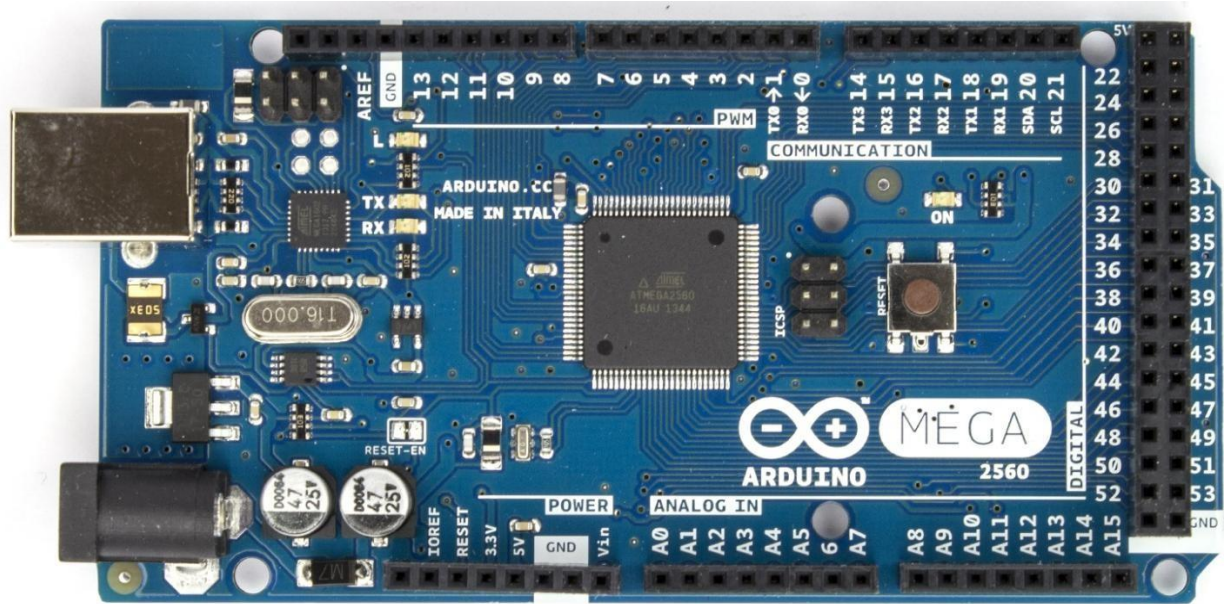


Рисунок 3.5 - Мікроконтролер Arduino Mega 2560

Платформа може працювати від зовнішнього джерела живлення від 6 В до 20 В. Коли напруга живлення нижча за 7 В, на виході 5 В може бути менше 5 В, і робота платформи може бути нестабільною. При використанні напруги вище 12 В регулятор напруги може перегрітися і пошкодити плату. Рекомендований діапазон від 7 до 12 В.

Апаратна платформа Arduino Mega 2560 відрізняється від попередніх версій тим, що не використовує мікроконтролер FTDI USB. Обмін даними здійснюється через USB за допомогою мікроконтролера Atmega8U2. [39]

Вхід для зовнішнього живлення. Через цю клему подається напруга живлення. Якщо живлення подається на роз'єм 2,1 мм, живлення можна подавати на цей вхід.

5В. Використовується для живлення мікроконтролера та компонентів на платі. Живлення може подаватись від контакту VIN через регулятор напруги, від роз'єму USB або від іншого регульованого джерела 5 В.

3 до 3. Напруга на контакті 3,3 В генерується мікросхемою FTDI на платформі. Максимальний струм споживання 50мА.

Земля. Клема заземлення.

Інтерфейс для підключення зовнішнього джерела живлення (мережа, акумулятор). Назва контакту: GND, VCC.

Роз'єм живлення Arduino, ідентифікація контактів: RESET, 3V3, 5V, GND, VIN.

Є 16 аналогових входів, позначених 0 - 15.

Аналоговий порт вводу-виводу (інтерфейс аналогового введення та виведення) має 15 контактів. Позначення контактів: A0 - A15. Кожен вхід/вихід має 3 контакти GND, VCC, Signal.

ICSP (In-Circuit Programming) – використовується для підключення до програматора. Має 6 контактів, перший контакт позначений на схемі інтерфейсу плати.

Вхід і вихід інтерфейсу RS232 (послідовна шина COM). Інтерфейс бездротового модуля ACP220 (інтерфейс для підключення зовнішнього Wi-Fi модуля ACP220) має 6 входів. Вхідні мітки: GND, VCC, не використовується, D18, D19, не використовується.

Входи та виходи контролера Arduino, позначені: 0 – 13, GND, AREF. Вихід AREF (еталонна напруга для аналогового входу).

Плата живиться від Arduino або зовнішнього джерела живлення (мережа, акумулятор). Використовуйте перемичку SEL_PWR, щоб переключитися з живлення Arduino на зовнішнє живлення. Для плати потрібне живлення 5 В.

3.6.3 Реле 8 relay module

Даний модуль побудований на базі реле JQC-3FF-SZ. Провід, що йдуть від реле, надійно кріпляться до клемних колодок гвинтами. Оскільки на кожній клемній колодці є три контакти, ви можете вибрати початковий стан кожного каналу: нормально відкритий (NO) або нормально замкнутий (NC).

Електромеханічне 4-канальне реле здатне паралельно керувати 4 незалежними каналами. За допомогою цього реле можна розмикати і замикати кола навантаження з напругою до 250 В і струмом до 10 А. Однак він рекомендований для комутації ланцюгів зі струмом до 7 А. Модуль побудований на основі реле SRD-05-VDC-SL-C, що забезпечує його комутаційну здатність.

Провід, що йдуть від реле, надійно кріпляться до клемних колодок гвинтами. Оскільки на кожній клемній колодці є три контакти, ви можете вибрати початковий стан кожного каналу: нормально відкритий (NO) або нормально замкнутий (NC). Модуль можна керувати шляхом підключення до Arduino, а його рівень логічної «1» становить 5 В.

Ключові переваги:

- компактний розмір;
- взаємодіє з Arduino через будь-який цифровий контакт.

Вихід релейного каналу має три контакти, середній контакт завжди підключений до одного з сусідніх контактів, а до якого висновку він підключений, залежить від логічного рівня входу "IN" цього каналу:

1. Якщо логічний рівень «1» застосовано до входу «IN» каналу, буде підключено середній вихід каналу, як це намальовано на задній частині плати. Такі ж з'єднання виконуються, якщо живлення модуля не подається на контакти «VCC» і «GND».

2. Якщо до входу IN каналу застосовано рівень логічного 0, середній вихід каналу буде підключено НЕ так, як показано на задній частині плати.

Таким чином, можна використовувати реле модуля: як нормально замкнуте, або як нормально розімкнене, або як вимикач (рисунок 3.8).

Вхідна напруга живлення становить 5 В постійного струму, яка подається на контакти «VCC» і «GND» модуля.

Додатково на платі модуля є роз'єм з двома контактами: JD-VCC і VCC, на якому встановлена перемичка. Якщо цю перемичку видалити і до контактів «JD-VCC» і «GND» подати окреме (додаткове) джерело живлення 5 В постійного струму, логіка модуля буде живитися від контактів «VCC» і «GND», а обмотки (канали) реле модуля D отримуватимуть живлення. Цей спосіб підключення дозволяє уникнути перешкод з шинами живлення "VCC" і "GND", які можуть вплинути на роботу інших модулів на шинах живлення.

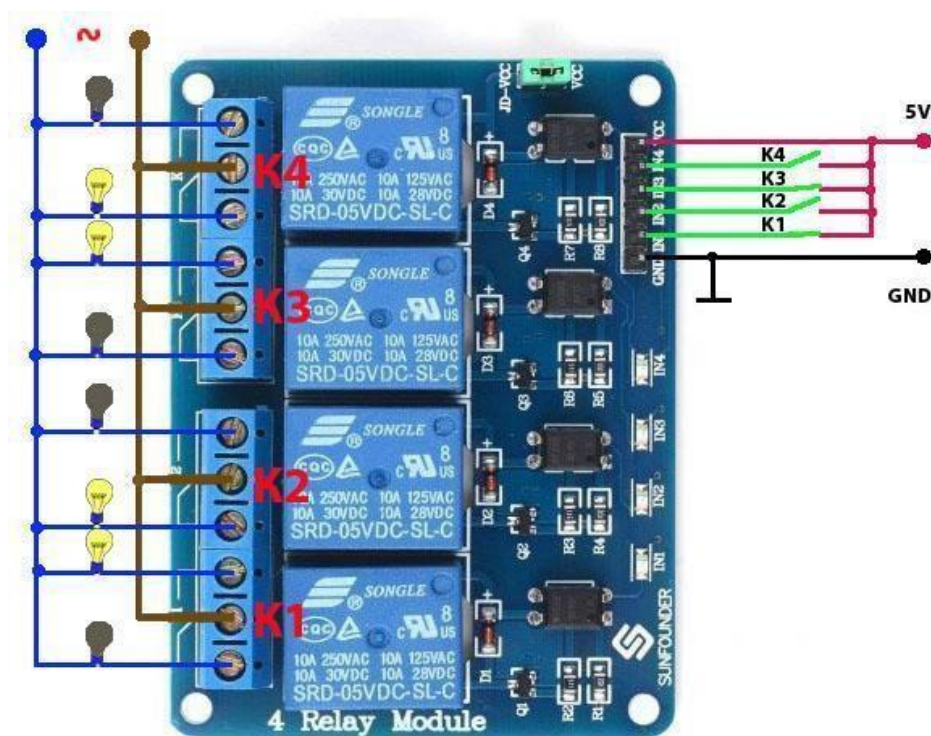


Рисунок 3.8 - 4 relay module

Напруга живлення модуля складає 5 В постійного струму, при цьому споживаний струм не перевищує 75 мА на один канал. Вихідна схема комутації здатна перемикаати навантаження до 30 В постійного струму з робочим струмом до 10 А або до 250 В змінного струму із струмом до 10 А. Опір обмотки реле

становить 70 Ω із допуском $\pm 10\%$, а опір ізоляції перевищує 100 МОм. Час відгуку при включенні модуля не перевищує 10 мс, а час спрацьовування реле в замкнутому стані — максимум 5 мс. Механічна швидкість перемикання досягає 300 циклів за хвилину, а матеріалом контактів служить сплав AgCdO. Модуль розраховано на експлуатацію при температурі від $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ та відносній вологості 45–85 %.

3.6.5 Матрична клавіатура 4x4

Матричну мембранну клавіатуру 4x4 можна використовувати для управління різними пристроями, наприклад, для введення кодів або програмування кодових замків.

Для використання мембранної клавіатури необхідно підключити її до пристрою, яким ви хочете керувати, створити програму керування та підключити джерело живлення.

Живлення матричної клавіатури здійснюється від керованого пристрою або зовнішнього джерела живлення. Струм споживання 100мА, напруга живлення до 35В (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 - Матрична клавіатура

Принцип роботи полягає в тому, що при натисканні клавіші на клавіатурі матриці певні пари проводів замикаються.

Клавіатура має керований інтерфейс для підключення пристроїв: 8-контактний гніздо.

3.6.6 Дисплей LCD

РК-дисплеї є найпоширенішими гостями в проектах Arduino. Але в складних схемах, де потрібно підключити екрани з великою кількістю контактів, ви можете зіткнутися з проблемою, коли Arduino має недостатню кількість портів. Рішенням у цьому випадку може бути адаптер I2C/IIC, який підключає майже стандартний екран Arduino 1602 до плати Uno, Nano або Mega, використовуючи лише 4 контакти (рисунок 3.10).

Характеристики дисплея:

- тип відображення символів, можна завантажувати символи;
- світлодіодне освітлення; контролер HD44780;
- напруга живлення 5В; формат 16x2 символів;
- діапазон робочих температур від -20 °С до +70 °С, діапазон температур зберігання від -30 °С до +80 °С;
- кут огляду становить 180 градусів.

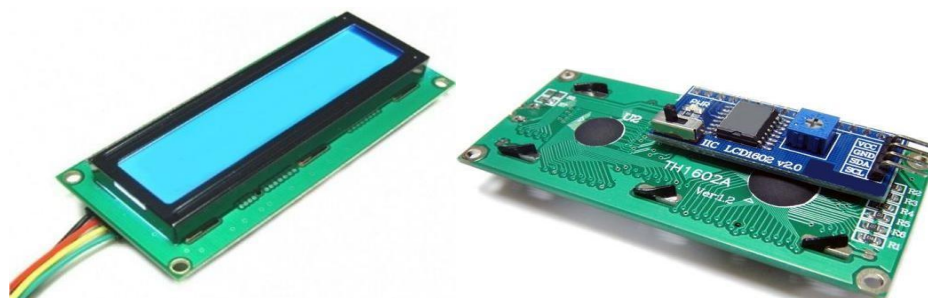


Рисунок 3.10 - Дисплей LCD

3.7 Реалізація пристрою

Клапани промислового пневмоманіпулятора PARTNER EQUO / PS з'єднані з реле в шафі управління через роз'єм RS-232.

Особливості RS-232:

– підтримувана топологія підключення - «точка-точка»; Напрямок передачі - дуплекс і симплекс;

– режими обміну – асинхронний (у послідовних каналах ПК) і синхронний (реалізується за допомогою спеціальних адаптерів SDLC);

– метод кодування інформації – НРЗ;

– використовувані сигнали є потенціалами (асиметричними), рівень логічного нуля: 3..25В, рівень логічної одиниці: -3..-25В, рівні $\pm 12В$ використовуються в ПК;

– швидкість передачі інформації - від 110 біт/сек до 115 200 біт/сек;

– кількість ліній інформаційної та службової сигналізації - макс. 25.

RS-232 - інтерфейс, який використовується для передачі інформації з одного. Максимальна відстань може бути до 20 метрів. Інформація передається по лініях з рівнями сигналу, які відрізняються від стандартних 5 В, щоб забезпечити більшу стійкість до перешкод. Асинхронна передача даних здійснюється із заданою швидкістю за рахунок синхронізації рівня стартового імпульсного сигналу.

Розглядаючи пневматичний промисловий маніпулятор, оболонка шафи автоматизованої системи керування випробувальним стендом показана на рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 - Корпус шафи управління

3.8 Висновки до третього розділу

В третьому розділі розроблено програмне забезпечення системи управління. Запропоновано алгоритми керування маніпулятором, а саме:

- алгоритм 1 (робоча нижня частина руки);
- алгоритм 2 (робота надпліччя);
- алгоритм 3 (обидві руки робота працюють одночасно);
- алгоритм 4 (обидві руки робота працюють одночасно).

Розглянуто питання розробки програми коду. Описано основні принципи побудови коду. Програмний код наведено у додатках.

Запропонована і описана комплектація шафи управління. Обрано: мікроконтролер Arduino Mega 2560;

- розширення плати Arduino;
- реле 8 relay module;

- реле 4 relay module;
- матрична клавіатура 4x4;
- дисплей LCD;
- сполучні дроти мама-тато.

Описана реалізація пристрою. Наведено фотографії пристрою.

ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи було спроектовано та реалізовано автоматизований лабораторний стенд на базі промислового пневматичного маніпулятора PARTNER EQUO / PS із системою управління на платформі Arduino Mega 2560. Основні результати роботи полягають у наступному:

Детально вивчено будову маніпулятора PARTNER EQUO / PS, функціональні схеми модуля підйому, модуля обертання, поступального модуля (руки) та демпфера. Описано роботу пневматичного привода й блоків підготовки та розподілу повітря, що забезпечують плавність і надійність рухів.

На основі порівняльного аналізу мікроконтролерних сімейств обрано AVR-платформу Arduino Mega 2560, яка має найширший набір цифрових і аналогових інтерфейсів. Розроблено структурну й принципову схеми системи керування: клавіатура 4×4 та LCD-дисплей взаємодіють із мікроконтролером, а він через два релейні модулі – з електропневматичними клапанами маніпулятора.

Створено чотири базові сценарії роботи стенда:

- переміщення в нижній координаті;
- операції підйому та опускання надпліччя;
- синхронна робота обох «рук»;
- комбіновані цикли з поворотами і хватом.

Для кожного сценарію побудовані блок-схеми і реалізовані у вигляді послідовності команд реле.

Розроблено та відлагоджено програмний код на основі середовища Arduino IDE (C/C++), що забезпечує читання матричної клавіатури, відображення режимів на LCD, керування реле з урахуванням затримок і моніторингу кінцевих вимикачів.

Підготовлено шафу з розміщенням плати Arduino Mega, сенсорного шилда, двох релейних модулів, блока живлення й роз'ємів RS-232. Проведено розводку кабелів «мама–тато» та організовано захист від перешкод.

Перевірено коректність відпрацювання алгоритмів у реальному часі, підтверджено плавність і повторюваність рухів маніпулятора, узгодженість команд керування з фізичними сигналами від кінцевих вимикачів.

Таким чином, поставлені цілі досягнуто: створено повноцінний прототип автоматизованого лабораторного стенду, який може слугувати навчальною платформою для вивчення принципів пневматичної автоматики й програмування мікроконтролерів. Реалізовані технічні рішення відповідають чинним вимогам по надійності, безпеці та зручності експлуатації. Подальші напрямки розвитку включають розширення набору алгоритмів, інтеграцію датчиків зворотного зв'язку (тиску, витрати тощо) та впровадження системи дистанційного моніторингу й аналізу даних.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Dalmec S.p.A. Partner Equo – pneumatic manipulator. Технічний каталог. – 10 с. URL: <https://www.dalmec.com/en/industrial-manipulators/partner-equo/> (дата звернення: 15.05.2025).
2. Dalmec S.p.A. Partner PS industrial manipulator. – 8 с. URL: <https://www.dalmec.com/en/industrial-manipulators/partner-ps/> (дата звернення: 15.05.2025).
3. Cadbon Venture. Pneumatic Manipulators Partner Equo/PS. – 4 с. URL: <https://www.cadbon.com.my/partner-ps> (дата звернення: 15.05.2025).
4. Partner Equo Industrial Manipulator. – вебсторінка. URL: <https://dalmec-na.com/partner-equo/> (дата звернення: 15.05.2025).
5. Pneumatic manipulator Partner Equo – PE. – вебсторінка. URL: <https://pdf.directindustry.com/pdf/dalmec/partner-equo/5747-720155.html> (дата звернення: 15.05.2025).
6. EIVA Safex. Partner Equo/PS specification sheet. – 2 с. URL: <https://www.eiva-safex.com/media/partner-ps.pdf> (дата звернення: 15.05.2025).
7. DirectIndustry. Partner manipulator. – вебсторінка. URL: <https://www.directindustry.com/prod/dalmec/product-5747-720155.html> (дата звернення: 15.05.2025).
8. Industry Plaza. Pneumatic industrial manipulators. – огляд. URL: <https://www.industry-plaza.com/pneumatic-manipulators-p289930.html> (дата звернення: 15.05.2025).
9. SpringerLink. Control of pneumatic manipulators. – 12 с. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10846-018-0892-y> (дата звернення: 15.05.2025).
10. ScienceDirect. Pneumatic robots and safety. – 10 с. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405452617301066> (дата звернення: 15.05.2025).

11. Nature. Mechatronic control of pneumatic arm. – 10 с. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-60281-9> (дата звернення: 15.05.2025).

12. Wikipedia. Force control. – вебсторінка. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Force_control (дата звернення: 15.05.2025).

13. IEEE Xplore. Dynamic control of pneumatic manipulators. – 8 с. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9021340> (дата звернення: 15.05.2025).

14. Automation World. Manipulator control in industry. – огляд. URL: <https://www.automationworld.com/home/article/21118949> (дата звернення: 15.05.2025).

15. IFR.org. Industrial robot arms: Overview. – вебсторінка. URL: <https://ifr.org/industrial-robots/> (дата звернення: 15.05.2025).

16. Arduino. Arduino Mega 2560 Rev3. – 2 с. URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3> (дата звернення: 15.05.2025).

17. Arrow Electronics. Arduino Uno vs. Mega vs. Micro. – огляд. URL: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/arduino-uno-vs-mega-vs-micro> (дата звернення: 15.05.2025).

18. HowToMechatronics. DIY Arduino Robot Arm. – вебсторінка. URL: <https://howtomechatronics.com/projects/diy-arduino-robot-arm-hand-controlled/> (дата звернення: 15.05.2025).

19. Zenodo. Automatic Moveable Arm Robot Using Arduino. – 8 с. URL: <https://zenodo.org/record/3590137> (дата звернення: 15.05.2025).

20. UINSGD Library. Prototype of Arm Robot for Object Mover. – 6 с. URL: <http://repository.unpas.ac.id/55878/> (дата звернення: 15.05.2025).

21. Instructables. Arduino Pneumatic Control. – вебсторінка. URL: <https://www.instructables.com/Arduino-Pneumatic-Control/> (дата звернення: 15.05.2025).

22. ElectronicsHub. Arduino based automation projects. – вебсторінка. URL: <https://www.electronicshub.org/arduino-based-automation-projects/> (дата звернення: 15.05.2025).

23. CircuitDigest. Arduino relay control tutorial. – вебсторінка. URL: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-relay-control> (дата звернення: 15.05.2025).

24. MakeUseOf. Best Arduino boards for robotics. – вебсторінка. URL: <https://www.makeuseof.com/tag/best-arduino-robotics/> (дата звернення: 15.05.2025).

25. Electronicsforu. Pneumatic Arm with Arduino. – 5 с. URL: <https://www.electronicsforu.com/electronics-projects/pneumatic-arm-arduino> (дата звернення: 15.05.2025).

26. Hackster.io. Industrial arm control with Arduino. – вебсторінка. URL: <https://www.hackster.io/news/arduino-industrial-arm-control> (дата звернення: 15.05.2025).

27. Arduino Project Hub. Pneumatic robotic hand. – вебсторінка. URL: <https://create.arduino.cc/projecthub/pneumatic-hand> (дата звернення: 15.05.2025).

28. OpenAccess. Arduino robotic manipulator thesis. – 12 с. URL: <https://openaccess.library.uns.ac.id/detail/arduino-robot> (дата звернення: 15.05.2025).

29. ElectronicsTutorials. Controlling solenoid valves with Arduino. – вебсторінка. URL: <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/solenoid-valve-control.html> (дата звернення: 15.05.2025).

30. EngineerGarage. Industrial automation using Arduino. – вебсторінка. URL: <https://www.engineersgarage.com/industrial-automation-arduino/> (дата звернення: 15.05.2025).

31. MDPI. Adaptive Position Control of Pneumatic Continuum Manipulator. – 16 с. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/3/930> (дата звернення: 15.05.2025).

32. NCBI. Hybrid Controller for a Soft Pneumatic Manipulator. – 8 с. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7311114/> (дата звернення: 15.05.2025).

33. ResearchGate. Control of a Heavy-Lift Robotic Manipulator. – 12 с. URL: <https://www.researchgate.net/publication/324123210> (дата звернення: 15.05.2025).

34. ResearchGate. Positional control of pneumatic manipulators. – 15 с. URL: <https://www.researchgate.net/publication/323456789> (дата звернення: 15.05.2025).

35. CirkidDesigner. Arduino Mega 2560 Relay Automation. – вебсторінка. URL: <https://cirkiddesigner.com/tutorials/arduino-mega-relay/> (дата звернення: 15.05.2025).

36. ScienceDirect. Intelligent control systems for pneumatic automation. – 9 с. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098135417301050> (дата звернення: 15.05.2025).

37. MDPI. Robotics and Automation Algorithms. – 14 с. URL: <https://www.mdpi.com/2218-6581/10/4/115> (дата звернення: 15.05.2025).

38. IEEE. Neural control for robot arms. – 10 с. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9261254> (дата звернення: 15.05.2025).

39. Arduino.cc. Programming Guide for Motion. – вебсторінка. URL: <https://docs.arduino.cc/learn/programming/motion-control> (дата звернення: 15.05.2025).

40. Wikipedia. Robot control architecture. – вебсторінка. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_control_architecture (дата звернення: 15.05.2025).

ДОДАТОК А

Програмний код

```
// Підключаємо бібліотеку для роботи з клавіатурою
#include <Keypad.h>

// Підключаємо бібліотеку для роботи з шиною I2C
#include <Wire.h>

// Підключаємо бібліотеку для роботи з LCD дисплеєм по шині I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Оголошуємо об'єкт бібліотеки, вказуючи параметри дисплея (Адреса
I2C = 0x27, кількість стовпців = 16, кількість рядків = 2)
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Кількість рядків клавіатури
const byte ROWS = 4;

// Кількість стовпців клавіатури
const byte COLS = 4;

// Визначення клавіатури
char keys[ROWS][COLS] = {
//Розташування назви клавіш, як на клавіатурі
{'1','4','7','*'}, {'2','5','8','0'},{'3','6','9','#'},{'A','B','C','D'    }};

// Підключення рядків клавіатури ROW0, ROW1, ROW2 та ROW3 до
контактів Arduino
byte rowPins[ROWS] = {5, 4, 3, 2};

// Підключення стовпців клавіатури COL0, COL1 та COL2 до контактів
Arduino
byte colPins[COLS] = {9, 8, 7, 6};

// Створення клавіатури
Keypad kpd = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS,
COLS);

int relay12 = 45; // Підйом робота
int relay11 = 44; // Рух схвату вправо
```

```
int relay10 = 43; // Розтискання нижнього схвата
int relay9 = 42; // Поворот робота по вартовий стрілці
int relay8 = 41;
int relay7 = 40; // Ротація схвата праворуч
int relay6 = 39; // Розтискання верхнього схвата
int relay5 = 38; // Рух верхнього схвата вліво
int relay4 = 17; // Рух рук маніпулятора тому
int relay3 = 16; // Рух рук маніпулятора вперед
int relay2 = 15; // Поворот робота проти вартовий стрілки
int relay1 = 14;

// Опускання маніпулятора
void setup() { pinMode(relay1, OUTPUT);
pinMode(relay2, OUTPUT);
pinMode(relay3, OUTPUT);
pinMode(relay4, OUTPUT);
pinMode(relay5, OUTPUT);
pinMode(relay6, OUTPUT);
pinMode(relay7, OUTPUT);
pinMode(relay8, OUTPUT);
pinMode(relay9, OUTPUT);
pinMode(relay10, OUTPUT);
pinMode(relay11, OUTPUT);
pinMode(relay12, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,HIGH);
```

```
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,HIGH);
digitalWrite(relay10,HIGH);
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,HIGH);
// Ініціалізація екрану
lcd.begin();
// Увімкнення підсвічування екрану
lcd.backlight();
// Встановлюється позиція, з якої виводиться текст
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("PARTNER EQUO / PS");
delay (3000); lcd.clear();
}
void loop() {
char key = kpd.getKey();
if (key) { Serial.println (key);
switch (key) {
case '1':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("lifting robot");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,HIGH);
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,HIGH);
digitalWrite(relay10,HIGH);
```

```
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,LOW); // Підйом маніпулятора break;
case '2':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("turn left");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,LOW); // Поворот робота проти вартовий стрілки
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,HIGH);
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,HIGH);
digitalWrite(relay10,HIGH);
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,HIGH);
break;
case '3':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("turn right");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,HIGH);
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,LOW); // Поворот робота по вартовий стрілка
digitalWrite(relay10,HIGH);
```

```
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,HIGH); break;
case '4':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("forward");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,LOW); // Рух рук маніпулятора вперед
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,HIGH);
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,HIGH);
digitalWrite(relay10,HIGH);
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,HIGH);
break;
case '5':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("backward");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,LOW); // Рух рук маніпулятора тому
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,HIGH);
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,HIGH);
digitalWrite(relay10,HIGH);
```

```
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,HIGH);
break;
case '6':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("unclasp grip1");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,LOW); // Розтискання верхнього схвата
digitalWrite(relay7,HIGH);
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,HIGH);
digitalWrite(relay10,HIGH);
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,HIGH);
break;
case '7':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("unclasp grip2");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,HIGH);
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,HIGH);
```

```
digitalWrite(relay10,LOW); // Розтискання нижнього схвата
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,HIGH);
break;
case '8':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("rotation right");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,LOW); // Ротація схвата праворуч
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,HIGH);
digitalWrite(relay10,HIGH);
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,HIGH);
break; case '9':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("rotation left");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,HIGH);
digitalWrite(relay8,LOW); // Ротація схвата ліворуч
digitalWrite(relay9,HIGH);
```

```
digitalWrite(relay10,HIGH);
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,HIGH);
break; case '0':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("grip right");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,HIGH);
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,HIGH);
digitalWrite(relay10,HIGH);
digitalWrite(relay11,LOW); // Рух верхнього схвата праворуч
digitalWrite(relay12,HIGH);
break; case '*':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("grip left");
digitalWrite(relay5,LOW); // Рух верхнього схвата ліворуч
digitalWrite(relay6,HIGH);
digitalWrite(relay7,HIGH);
case '#': lcd.setCursor(6, 0); lcd.print("stop");
digitalWrite(relay1,HIGH);
digitalWrite(relay2,HIGH);
digitalWrite(relay3,HIGH);
digitalWrite(relay4,HIGH);
digitalWrite(relay5,HIGH);
digitalWrite(relay6,HIGH);
```

```
digitalWrite(relay7,HIGH);
digitalWrite(relay8,HIGH);
digitalWrite(relay9,HIGH);
digitalWrite(relay10,HIGH);
digitalWrite(relay11,HIGH);
digitalWrite(relay12,HIGH); break;
// Сценарій 1, робоча нижня рука case 'A':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("algorithm 1");
digitalWrite(relay3,LOW); // Рух рук маніпулятора вперед
delay (2000);
digitalWrite(relay12,LOW); // Підйом маніпулятора
delay (2000);
digitalWrite(relay10,LOW); // Розтискання нижнього схвата
delay(2000);
digitalWrite(relay9,LOW); // Поворот маніпулятора по вартовий стрілка
delay(2000);
digitalWrite(relay10,HIGH); // Стиснення нижнього схвата
delay(2000);
digitalWrite(relay9,HIGH); // Поворот маніпулятора за годинниковою
delay(1000);
digitalWrite(relay2,LOW); // Поворот маніпулятора проти вартовий
delay (2000);
digitalWrite(relay12,HIGH); // Опускання маніпулятора
delay (2000);
digitalWrite(relay8,LOW); // Ротація схвата вліво
delay(2000);
digitalWrite(relay3,HIGH); // Рух рук маніпулятора вперед
delay (1000);
digitalWrite(relay4,LOW); // Рух рук маніпулятора тому
delay(2000);
```

```
digitalWrite(relay10,LOW); // Розтискання нижнього схвата
delay(4000);
digitalWrite(relay10,HIGH); // Стиснення нижнього схвата
delay(1000);
digitalWrite(relay8,HIGH); // Ротація схвата вліво
delay(1000);
digitalWrite(relay4,HIGH); // Рух рук маніпулятора тому
delay(1000);
digitalWrite(relay2,HIGH); // Поворот робота ліворуч
delay(4000);
break;
// Сценарій 2, робоча верхня рука case 'B':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("algorithm 2");
digitalWrite(relay6,LOW); // Розтискання верхнього схвата
delay(2000);
digitalWrite(relay9,LOW); // Поворот робота по вартовий стрілка
delay(2000);
digitalWrite(relay6,HIGH); // Стиснення верхнього схвата
delay (2000);
digitalWrite(relay12,LOW); // Підйом маніпулятора
delay (2000);
digitalWrite(relay3,LOW); // Рух рук маніпулятора вперед
delay (2000);
digitalWrite(relay9,HIGH); // Поворот маніпулятора по вартовий стріл
digitalWrite(relay2,LOW); // Поворот маніпулятора проти вартовий
delay (2000);
digitalWrite(relay11,LOW); // Рух верхнього схвата вправо
delay (2000);
digitalWrite(relay6,LOW); // Розтискання верхнього схвата
delay(2000);
```

```
digitalWrite(relay3,HIGH); // Рух рук маніпулятора вперед
digitalWrite(relay4,LOW); // Рух рук маніпулятора тому
delay(2000);
digitalWrite(relay12,HIGH); // Опускання маніпулятора
delay (2000);
digitalWrite(relay6,HIGH); // Стиснення верхнього свата
digitalWrite(relay11,HIGH); // Рух верхнього свата вправо
digitalWrite (relay4, HIGH); // Рух рук маніпулятора назад
digitalWrite (relay2, HIGH); // Поворот маніпулятора проти вартовий
delay(4000);
break;
// Сценарій 3, працюють обидва сутичка case 'C':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("algorithm 3");
digitalWrite(relay6,LOW); // Розтискання верхнього схвата
digitalWrite (relay10, LOW); // Розтискання нижнього схвата
delay(2000);
digitalWrite(relay2,LOW); // Поворот робота проти вартовий стрілки
delay (2000);
digitalWrite(relay12,LOW); // Підйом маніпулятора delay (2000);
digitalWrite(relay3,LOW); // Рух рук вперед
delay (2000);
digitalWrite(relay10,HIGH); // Стиснення нижнього схвата
delay(2000);
digitalWrite(relay2,HIGH); // Поворот маніпулятора проти вартовий
delay (2000);
digitalWrite(relay6,HIGH); // Стиснення верхнього схвата
delay(2000);
digitalWrite(relay3,HIGH); // Рух рук маніпулятора вперед
digitalWrite(relay4,LOW); // Рух рук маніпулятора назад
delay (2000);
```

```
digitalWrite(relay11,LOW); // Рух верхнього схвата праворуч
digitalWrite(relay7,LOW); // Ротація нижнього схвата вправо
delay (2000);
digitalWrite(relay12,HIGH); // Опускання маніпулятора
delay (2000);
digitalWrite(relay9,HIGH); // Поворот маніпулятора по вартовий стріл
digitalWrite(relay2,LOW); // Поворот маніпулятора проти вартовий
delay (2000);
digitalWrite(relay4,HIGH); // Рух рук назад
digitalWrite (relay3, LOW); // Рух рук вперед
delay (2000);
digitalWrite(relay6,LOW); // Розтискання верхнього схвата
digitalWrite (relay10, LOW); // Розтискання нижнього схвата
delay(2000);
digitalWrite(relay3,HIGH); // Рух рук маніпулятора вперед
digitalWrite(relay4,LOW); // Рух рук маніпулятора назад
delay (2000);
digitalWrite(relay4,HIGH); // Рух рук маніпулятора назад
digitalWrite (relay6, HIGH); // Стиснення верхнього схвата
digitalWrite(relay10,HIGH); // Стиснення нижнього схвата
digitalWrite (relay2, HIGH); // Поворот маніпулятора проти годинника
digitalWrite(relay7,HIGH); // Ротація нижнього схвата вправо
digitalWrite (relay11, HIGH); // Рух верхнього схвата вправо
delay (4000);
break;
// Сценарій 3, працюють обидва сутичка case 'D':
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("algorithm 4");
digitalWrite(relay12,LOW); // Підйом маніпулятора delay (2000);
digitalWrite(relay6,LOW); // Розтискання верхнього схвата
digitalWrite(relay10,LOW); // Розтискання нижнього схвата
```

```
delay(2000);
delay (2000);
digitalWrite(relay3,LOW); // Рух рук маніпулятора вперед
delay (2000);
digitalWrite(relay6,HIGH); // Стиснення верхнього схвата
digitalWrite(relay10,HIGH); // Стиснення нижнього схвата
delay(2000);
digitalWrite(relay3,HIGH); // Рух рук маніпулятора вперед
digitalWrite(relay4,LOW); // Рух рук маніпулятора назад
delay (2000);
digitalWrite(relay9,HIGH); // Поворот маніпулятора за годинниковою
стріл
digitalWrite (relay2, LOW); // Поворот маніпулятора проти вартвий
delay (2000);
digitalWrite(relay12,HIGH); // Опускання маніпулятора
delay (2000);
digitalWrite(relay4,HIGH); // Рух маніпулятора назад
digitalWrite(relay3,LOW); // Рух рук маніпулятора вперед
delay (2000);
digitalWrite(relay7,LOW); // Ротація схвата вправо
digitalWrite (relay5, LOW); // Рух верхнього схвата вліво
delay(2000);
digitalWrite(relay6,LOW); // Розтискання верхнього схвата
digitalWrite (relay10, LOW); // Розтискання нижнього схвата
delay(2000);
digitalWrite(relay3,HIGH); // Рух рук маніпулятора вперед
digitalWrite(relay4,LOW); // Рух рук маніпулятора назад
delay (2000);
digitalWrite(relay4,HIGH); // Рух рук маніпулятора назад
digitalWrite (relay6, HIGH); // Стиснення верхнього схвата
digitalWrite(relay10,HIGH); // Стиснення нижнього схвата
```

```
digitalWrite (relay5, HIGH); // Рух верхнього схвата вліво  
digitalWrite(relay7,HIGH); // Ротація схвата вправо  
digitalWrite (relay2, HIGH); // Поворот маніпулятора проти вартвий  
  
delay(4000); break;  
}  
}
```

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Сенченко Андрій Павлович

Тема: Автоматизована система керування маніпулятором

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 63

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є створення автоматизованого лабораторного стенду на базі пневматичного промислового маніпулятора.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз та огляд промислового пневматичного маніпулятора PARTNER EQUO / PS. У другому розділі проведено розробку автоматизованої системи керування промисловим пневматичним маніпулятором PARTNER EQUO / PS. У третьому розділі розроблено програмне забезпечення для автоматизованої системи керування промисловим пневматичним маніпулятором PARTNER EQUO / PS.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється аналізу існуючих технічних рішень

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (3.50/D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Мішан Віктор Валерійович,
доцент кафедри ТМІТ

“ 8 ” 06 2025 р.

(підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Андрій СЕНЧЕНКО

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курс, групи АКІТ-21-1

ЗАЯВА

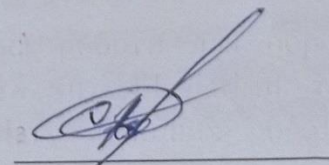
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.06.2025р.

дата



підпис

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Андрій СЕНЧЕНКО

Співавтор:

Назва: Сенченко антиплагіат

Експерт:

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 5.2%

Коефіцієнт подібності 2: 1.8%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 10

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-19 06:16:07.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

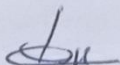
Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-19



Доцент Микола Федула

Дата

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 3.0%

Dictionary check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 12%**

ID: 246844 Title: БКР Автоматизована система керування маніпулятором Added in a DB: 2025-06-19 Authors: Андрій СЕНЧЕНКО Heads: Денис МАКАРИШКІН Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	42181	621	2406 (6%)	32 (5%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Автоматизована система керування маніпулятором

Автор: Сенченко Андрій Павлович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Макаришкін Денис Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

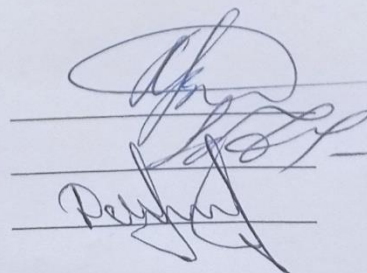
3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 5,15% і адресується до 23 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Денис МАКАРИШКІН