

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розробка автоматизованого дозувальника технологічних рідин  
(тема)

Виконав:  
студент IV курсу, групи АКТАКІТ-20-1  
Мігаль Сергій Дмитрович  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна  
Освітня програма Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
(повна назва освітньої програми)

Керівник старший викладач Гурін Д.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І.Ш.  
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і повна назва)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

### **ЗАВДАННЯ** НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Мігалю Сергію Дмитровичу  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка автоматизованого дозувальника технологічних рідин

затверджена наказом університету від 03.06.2024 р. № 544 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 25 06 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи сила струму для керування пристроїв = 0,04 А,  
напруга логіки = 5 В, напруга живлення крокового двигуна = 9 В, напруга  
живлення насосу = 9 В.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз методів  
та засобів дозування технологічних рідин; 4.3 Розробка апаратної структури  
автоматизованого дозувальника технологічних рідин; 4.4 Розробка макету  
автоматизованого дозувальника технологічних рідин; 4.5 Охорона праці 4.6  
Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt). – 9 с. Формату А4.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз методів та засобів дозування технологічних рідин	04.05.2024	виконано
2	Розробка апаратної структури автоматизованого дозувальника технологічних рідин	26.05.2024	виконано
3	Розробка макету автоматизованого дозувальника технологічних рідин	16.06.2024	виконано
4	Охорона праці	24.06.2024	
5	Експериментальне підтверження	17.06.2024	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	19.06.2024	виконано
7	Подання роботи на рецензію		
8	Подання роботи на підпис зав.кафедри		

Дата видачі завдання 03 03 2024 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Старший викладач Гурін Д.В.  
(підпис)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"25" червня 2024 р.

 Мігаль С.Д.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 81 с., 8 табл., 26 рис., 2 дод., 22 джерела.

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ДОЗУВАЛЬНИК, ТЕХНОЛОГІЧНА РІДИНА,  
ДОЗУВАННЯ, ДАТЧИК, ДВИГУН.

Мета роботи – підвищення точності дозування технологічних рідин шляхом розробки макету автоматизованого дозувальника.

Об'єкт розробки – процес автоматизованого дозування технологічних рідин.

Предмет розробки – автоматизована система дозування технологічних рідин.

В даній кваліфікаційній роботі приведено аналіз методів дозування рідин, обладнання для їх дозування та сучасних насосів, що використовуються у дозувальних апаратах. В результаті проведеного аналізу було обрано ваговий метод дозування, а в якості обладнання обрано насос мембранного типу.

Проведено аналіз існуючих елементів для контролю і виконання процесу дозування. В результаті цього аналізу, було проведено підбір компонентної бази та створено структурну схему макету.

На основі створеної структурної схеми було розроблено макет автоматизованого дозувальника технологічних рідин. Розроблено алгоритм роботи програми та відповідне програмне забезпечення для виконання задач дозувальником.

Проведено розрахунки роботи виконавчих механізмів дозувальника, що визначають характер їх роботи.

## ABSTRACT

The explanatory note contains: 81 p., 8 tabl., 26 fig., 2adj., 22 sources.

AUTOMATED DOSING DEVICE, PROCESS LIQUID, DOSING, SENSOR, MOTOR.

The aim of the work is improving the accuracy of dosing process liquids by developing a model of an automated dosing unit.

The object of development is the process of automated dosing of process liquids.

The subject of development is an automated system for dosing process liquids.

This qualification work analyses the methods of dosing liquids, equipment for their dosing and modern pumps used in dosing devices. As a result of the analysis, the weight dosing method was chosen, and a diaphragm-type pump was selected as the equipment.

The existing elements for controlling and performing the dosing process were analysed. As a result of this analysis, the component base was selected and a block diagram of the layout was created.

Based on the created structural diagram, a model of an automated process fluid dosing system was developed. The algorithm of the program and the appropriate software for performing tasks by the dosing device were developed.

Calculations of the operation of the dosing machine's actuators, which determine the nature of their work, were carried out.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень .....	9
Вступ .....	10
1 Аналіз методів та засобів дозування технологічних рідин .....	12
1.1 Аналіз методів дозування рідин .....	12
1.1.1 Метод дозування за часом .....	12
1.1.2 Дозування за вагою .....	13
1.1.3 Вакуумне дозування .....	13
1.1.4 Комбіноване дозування .....	14
1.1.5 Дискретне дозування .....	14
1.1.6 Дозування за рівнем.....	15
1.2 Аналіз обладнання для дозування технологічних рідин .....	15
1.2.1 Аналіз сучасних витратомірів .....	16
1.2.1.1 Швидкісний витратомір .....	16
1.2.1.2 Електромагнітний витратомір .....	16
1.2.1.3 Ультразвуковий витратомір .....	17
1.2.2 Аналіз сучасних насосів, що використовуються у дозувальниках .....	18
1.2.2.1 Перистальтичний насос .....	18
1.2.2.2 Мембранний насос .....	20
1.2.2.3 Відцентровий насос .....	21
2 Розробка апаратної структури автоматизованого дозувальника технологічних рідин.....	23
2.1 Розробка схеми макету .....	23
2.2 Вибір компонентної бази.....	24
2.2.1 Аналіз характеристик платформи Arduino UNO R3.....	24
2.2.2 Аналіз характеристик мембранного насосу постійного струму R385 ...	26
2.2.3 Аналіз характеристик крокового двигуна 17HS2408 .....	27
2.2.4 Аналіз характеристик драйвера крокового двигуна A4988 .....	29

2.2.5 Аналіз характеристик драйвера керування двигуном L293D.....	32
2.2.6 Аналіз характеристик ультразвукового датчика відстані HC-SR04 .....	35
2.2.7 Аналіз характеристик тензодатчика.....	39
2.2.8 Аналіз характеристик двоканального модуля HX711 .....	40
3 Розробка макету автоматизованого дозувальника технологічних рідин .....	42
3.1 Створення макету автоматизованого дозувальника технологічних рідин....	42
3.2 Обґрунтування вибору засобу для розробки програмної частини проєкту ..	49
3.3 Створення алгоритму роботи автоматизованого дозувальника технологічних рідин.....	52
3.4 Створення програмної частини проєкту .....	55
3.5 Проведення розрахунків .....	60
4 Охорона праці .....	65
4.1 Загальні положення охорони праці .....	65
4.2 Виробнича санітарія.....	66
4.3 Забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях .....	67
4.4 Освітлення робочого приміщення.....	68
Висновки .....	70
Перелік посилань .....	71
Додаток А Лістинг програми для керування автоматизованим дозувальником технологічних рідин .....	74
Додаток Б Демонстраційний матеріал у вигляді презентації .....	80

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ТАУ – теорія автоматичного управління;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

IDE – Integrated development environment.

## ВСТУП

На сьогодні існує потреба у засобах автоматизації, що забезпечують швидке та якісне виконання технологічного процесу, та їх удосконалення.

У різних галузях промисловості виникає потреба в автоматизації виробничого процесу. Це пов'язано з бажанням підвищити якість продукції та прискорити виробництво.

Підприємства, на яких технологічний процес включає в себе операції з технологічними рідинами, використовують різні засоби автоматизації, в тому числі автоматизовані дозувальники технологічних рідин.

Дані пристрої забезпечують більш якісне виконання технологічного процесу, зменшують час його виконання, в результаті чого може збільшуватися кількість готової продукції, а також зменшується вірогідність виникнення браку.

Дані засоби автоматизації сприяють конкурентоспроможності підприємств, що у свою чергу створює потребу у висококваліфікованих спеціалістах, здатних покращувати існуючі системи або створювати нові.

Отже, метою кваліфікаційної роботи є підвищення точності дозування технологічних рідин шляхом розробки макету автоматизованого дозувальника.

Об'єкт розробки – процес автоматизованого дозування технологічних рідин.

Предмет розробки – автоматизована система дозування технологічних рідин.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз методів дозування рідин;
- провести аналіз обладнання для дозування;
- провести аналіз існуючих елементів для контролю і виконання процесу дозування;
- провести підбір компонентної бази;
- створити структурну схему макету;
- розробити макет автоматизованого дозувальника технологічних рідин;

– розробити алгоритм роботи та програмне забезпечення для виконання задач дозувальником;

– провести розрахунки роботи виконавчих механізмів дозувальника, що визначають характер їх роботи;

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008:2015 [1], з використанням навчального посібника з дипломного проєкту [2] та методичних вказівок з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи [3].

# 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДОЗУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН

## 1.1 Аналіз методів дозування рідин

У світі існує багато способів дозування рідин: за вагою, порціями, пропорційне дозування та інші. Кожен спосіб використовується у різних сферах діяльності, виробничих чи технологічних процесах, дозування рідин в аптеках тощо.

Використовуючи дозатори у певних технологічних процесах, варто розуміти, що вони перебувають під впливом відповідних факторів, що обумовлені дозованою рідиною, а також навколишнім середовищем, у якому встановлено дозувальний апарат.

Саме тому на вибір необхідного дозатора впливають такі фактори, як температура, абразивність, консистенція, агресивність та токсичність рідини. Слід згадати і перепад тиску в дозувальному апараті.

### 1.1.1 Метод дозування за часом

Принцип даного методу полягає у тому, що переливання необхідної кількості рідини відбувається за тривалістю її безперервної подачі з певною продуктивністю у ємність.

Необхідний безперервний потік рідини, що переливається, у дозаторах, які засновані на даному методі, створюється відповідними ваговими або об'ємними живильниками (стрічковими, тарілчастими, аераційними, барабанними, шнековими, насосними, вібраційними та іншими).

При реалізації цього методу слід враховувати параметри трубопроводу (діаметр, тиск рідкого середовища всередині, швидкість потоку рідини) та в'язкість самої речовини [4].

Головною перевагою є ефективність роботи і прийнятна вартість пристрою. З недоліків виділяється неможливість регулювання параметрів, оскільки система недостатньо гнучка.

#### 1.1.2 Дозування за вагою

Полягає у відмірюванні дозатором заданої дози продукту за вагою за допомогою важільних, пружинних, електротензометричних, індукційних, гідравлічних або інших вагових механізмів.

Класифікація дозаторів включає в себе також обладнання, яке засновано на зважуванні рідини, що подається у ємність примусовим шляхом або самопливом. Клапан подачі рідини закривається, в результаті чого дозування припиняється, тільки після досягнення заданого значення.

Переваги цього методу:

- широкий діапазон дозування з високим рівнем точності;
- можливість роботи з усіма типами насосного обладнання;
- можливість використовувати обладнання без насосної частини.

До недоліків варто віднести більш високу вартість у порівнянні з найдешевшими видами технологій, а також необхідність дбайливої експлуатації вагових платформ, які зі свого боку забезпечують їх стабільну і точну працездатність [5].

#### 1.1.3 Вакуумне дозування

Вакуумне дозування реалізується двома наведеними варіантами:

- коли в системі «видаткова ємність – дозатор – ємність», розрідження (вакуум) створюється тільки в ємності, що наповнюється, а сама рідина перетікає в неї завдяки різниці тисків між атмосферним, який у дозаторі, та залишковим – у ємності;
- коли в герметично закритій системі «видаткова ємність – дозатор – наповнювана ємність» створюється однакове розрідження (вакуум), тоді

перетікання рідини, що дозується, в ній здійснюється тільки під впливом сили тяжіння (тобто самопливом).

При застосуванні такого методу дозування зменшується фактор взаємодії повітря з дозованою рідиною, а також унеможлиблюється потрапляння її легколетких компонентів у навколишнє середовище, що сприяє збереженню певних властивостей, наприклад, хіміко-фармацевтичної, парфумерно-косметичної та іншої аналогічної продукції, а також підвищує фактор безпеки праці.

При дозуванні з надлишковим тиском у ємності, яка наповнюється, діє атмосферний тиск, а рідина подається до неї з дозатора під тиском, який зі свого боку є більшим за атмосферний. Таке дозування дозволяє значно підвищувати продуктивність процесу.

Перші три способи застосовуються переважно під час дозування рідин у споживчу тару, а четвертий – у великогабаритну транспортну тару.

#### 1.1.4 Комбіноване дозування

Комбіноване дозування полягає в тому, що формування необхідної порції продукту здійснюється в дозаторі кількома з перерахованих способів. Наприклад, основна частина рідини дозується за об'ємним методом, а вже після цього проводиться її додавання за ваговим методом до необхідного значення.

#### 1.1.5 Дискретне дозування

Основною відмінністю даного методу від інших є наявність відповідної системи, що відповідає за відстеження кількості обертів насосної частини для визначення точного обсягу виданої технологічної рідини. Як тільки заданий обсяг буде досягнуто, насос миттєво припинить свою роботу і клапан закриється.

Серед переваг можна зазначити наступні:

- гнучкість в налаштуванні;
- дози практично не обмежені за обсягом;
- швидка промивка і висока точність роботи.

До недоліків варто віднести меншу точність в порівнянні з ваговим дозатором і дозатором на витратомірі.

#### 1.1.6 Дозування за рівнем

Полягає в тому, що тара будь-якого об'єму заповнюється дозатором до заданого рівня, контрольованого відповідним пристроєм (датчиком). При цьому точність дозування визначається ідентичністю об'ємів стандартної тари, що наповнюється, і досконалістю датчиків, які контролюють заданий рівень наповнення [4].

### 1.2 Аналіз обладнання для дозування технологічних рідин

Вимірювання кількості та витрати рідини під час технологічного процесу має важливе значення при точному дозуванні.

Витрата речовини – це кількість речовини, що проходить за одиницю часу по трубопроводу, каналу і т.п.

В залежності від методу дозування, одним з основних робочих елементів, що застосовується у дозувальних апаратах, який відповідає за точність дозування, є витратомір. Принцип роботи витратоміра заснований на визначенні масової витрати рідини, при цьому враховується щільність і температура середовища. Отримані дані аналізуються і виводиться точне значення рідини, яка була видана в тару.

Технологія із застосуванням витратоміра є найбільш точною серед усіх вище наведених технологій і в той же час найбільш дорогою [5]. Саме визначення кількості і витрати рідини найчастіше здійснюється такими основними методами вимірювання: дискретний, об'ємний, ваговий, а також змінного перепаду тиску. В окремих випадках використовуються й інші методи вимірювання.

Для вагового методу основним елементом контролю є датчик ваги (тензодатчик). Апарати дозування, що реалізовані таким методом, є досить дешевими на відміну від тих, що мають витратомір.

## 1.2.1 Аналіз сучасних витратомірів

### 1.2.1.1 Швидкісний витратомір

Вимірювання кількості рідини за дискретним методом здійснюється завдяки швидкісному датчику витрати рідини, чутливим елементом якого є робоче колесо з крильчаткою, що обертається завдяки пливу рідини. Вісь колеса за допомогою передавального механізму (редуктора), що зменшує частоту обертання, пов'язана з обчислювальним пристроєм (мікроконтролером). Залежність показань від в'язкості рідини є значною вадою швидкісних витратомірів.

За формою обертального колеса швидкісні витратоміри поділяються на крильчасті і турбінні. Обертальне колесо крильчастих має прямі лопаті, що направлені радіально до нього та розміщене перпендикулярно до напрямку течії, а турбінні, зі свого боку, мають зігнуті за гвинтовою лінією, однак вісь обертального колеса розміщена паралельно течії.

Крильчасті витратоміри призначені для встановлення в горизонтальних трубопроводах і застосовуються при вимірюванні малих витрат води (до  $10 \text{ м}^3/\text{год}$ ). Турбінні витратоміри можуть встановлюватися в будь-якому положенні і служать для вимірювання більших витрат води (до  $150 \text{ м}^3/\text{год}$ ) [6].

### 1.2.1.2 Електромагнітний витратомір

В залежності від конструкції витратоміра, сенсор приладу може перебувати безпосередньо у середовищі, в якому проводяться вимірювання, але у такому випадку на здійснюватиметься механічний та хімічний впливи, в результаті чого відбуватиметься втрата тиску потоку. Слід мати на увазі, що безперервна дія середовища, у якому проводяться вимірювання, із часом на чутливий елемент буде здійснюватися негативний вплив, що відобразиться на точності, надійності та термін служби приладу. Описані засоби вимірювання є непридатними для вимірювання витрати абразивних, агресивних та подібних нестандартних рідин, через те, що вони можуть завдавати шкоди матеріалу, з якого виготовлено витратомір. У наш час є низка приладів для фіксації витрати рідини, у яких контакт чутливого елемента з нею відсутній, а це означає, що їх можна

застосовувати з агресивними технологічними речовинами. Такими приладами є витратоміри електромагнітного або індукційного типу.

Електромагнітні витратоміри застосовуються для вимірювання в трубопроводах об'ємної витрати водопровідної води, різних розчинів (солей, кислот), пульп, розплавлених металів та інших електропровідних рідин, електрична провідність яких повинна бути не менше електропровідності водопровідної води. Дія їх ґрунтується на тому принципі, що при проходженні в трубопроводі електропровідної рідини поперек силових ліній магнітного поля в ній індукується ЕРС.

Перевагою електромагнітних витратомірів є:

- незалежність показань від в'язкості і густини вимірювального середовища;
- можливість застосування в трубах будь-якого діаметра;
- відсутність втрат тиску в потоці;
- необхідність меншої довжини прямих ділянок труб;
- висока швидкодія.

До основних недоліків електромагнітних витратомірів можна віднести:

- непридатні для вимірювання витрат газу і пари;
- непридатні для вимірювання витрати рідин-діелектриків [7].

### 1.2.1.3 Ультразвуковий витратомір

Ультразвукові датчики витрати рідини використовують різні явища, що мають спільні риси із проходженням ультразвукового сигналу через рідину: зміна швидкості сигналу в поздовжньому напрямку потоку технологічної рідини, відхилення ультразвукової хвилі у випадку поперечного проходження в потоці, а також та ефект Доплера.

Метод вимірювання різниці часу проходження сигналу за напрямком потоку і проти нього є найбільш поширеним методом вимірювання витрати.

Загального поширення дістали ультразвукові сенсори витрати рідини, що мають ті ж метрологічні характеристики, що і стаціонарні.

Даний прилад складається безпосередньо з витратоміра, портативного обчислювального пристрою, багатофункціонального блока живлення, який передбачає вбудований акумулятор, а також монтажні засоби для швидкого та правильного розміщення сенсорів на поверхні трубопроводу.

Подібні прилади можуть використовуватися для оперативного контролю витрат обраного типу середовища на різноманітних ділянках трубопроводів, що мають різний діаметр і товщину стінки.

Ультразвукові витратоміри характеризуються високою точністю вимірювань та є найбільш перспективними приладами для вимірювання витрат різних рідин. Однак, на відміну від описаних раніше витратомірів, є більш вартісними [8].

## 1.2.2 Аналіз сучасних насосів, що використовуються у дозувальниках

### 1.2.2.1 Перистальтичний насос

Для подачі рідини та її подальшого дозування застосовуються насоси, які у свою чергу мають певні конструктивні особливості.

У випадках, коли необхідно досягти точного дозування невеликого об'єму рідини або є потреба у переміщенні пастоподібних речовин, доцільно застосовувати перистальтичний тип насосу.

Конструкція даного насосу складається з двигуна, ротора з притискним механізмом у вигляді роликів та еластичної трубки, яка слугує упором для притиснення. Залежно від того, яку речовину необхідно перекачувати, трубка виготовляється з полімерів або гуми. В основі принципу роботи лежить поперединне перетискання і розслаблення трубки, під час чого рідина захоплюється, перекочується по шлангу і видавлюється. Обертювий ролик крутиться вздовж усього шланга, передавлюючи його, і таким чином створюється повна ізоляція між стороною входу і розвантаження. Витік речовин у цьому разі неможливий. Коли форма шланга відновлюється, утворюється вакуум, який всмоктує рідину в насос. Під час роботи пристрою речовина, що перекачується,

не контактує з рухомими вузлами, що допомагає перекачувати агресивні і токсичні речовини [9].

Умовний принцип роботи перистальтичного насоса наведено на рисунку 2.1.

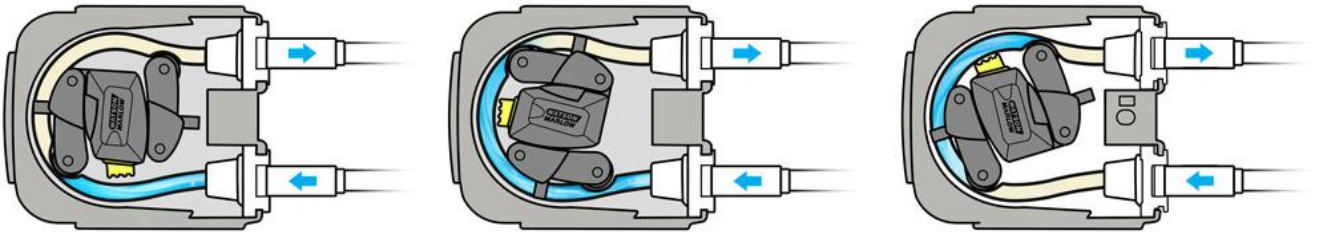


Рисунок 2.1 – Умовний принцип роботи перистальтичного насоса [10]

Перевагами даного обладнання є:

- простота установки: насоси прості у використанні і вимагають невисоких витрат на технічне обслуговування;
- конструктивна конфігурація: насосна рідина не стикається з робочими колесами, лопатками, лопатями або клапанами під час перекачування. Це захищає елементи насоса від будь-якого ризику зносу та стирання внаслідок можливого контакту з рідиною, що транспортується;
- стабільність потоку: перистальтичний насос дає змогу домогтися дуже точного перекачування, що робить його придатним для дозування або керування прецизійними процесами;
- матеріали: трубка всередині якісного перистальтичного насоса зазвичай виготовляється з матеріалів, що вимагають мінімального обслуговування і більшої продуктивності з точки зору технологічного процесу;
- масштабованість: конструкція конфігурації дає змогу адаптувати насос до простих або складних систем, завжди гарантуючи масштабованість технології для задоволення різних вимог процесу;
- простота обслуговування: єдина запчастина – гнучкий шланг, який можна легко і без особливих витрат замінити.

Даний тип насосу може перекачувати рідину тільки низької в'язкості, що у свою чергу є його недоліком [4].

#### 1.2.2.2 Мембранний насос

Для роботи з рідиною, якій характерна велика в'язкість, доцільно застосовувати мембранні насоси. Мембранні насоси можуть перекачувати рідини з низькою, середньою або високою в'язкістю, агресивні хімічні речовини, а також рідини з великим вмістом твердих речовин.

Умовний принцип роботи мембранного насосу наведено на рисунку 2.2.

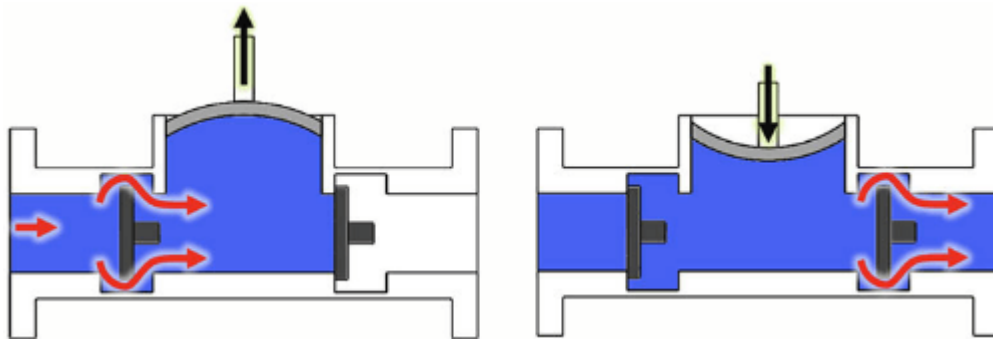


Рисунок 2.2 – Умовний принцип роботи мембранного насосу [11]

Насос містить у собі діафрагму або мембрану, яку виготовлено з гуми чи пластику. Коли діафрагма згинається, тиск усередині насоса знижується. В залежності від мембранного насоса, діафрагма може використовувати різні методи згинання. Після того, як діафрагма вигинається назад, рідина виштовхується з насоса в іншу сторону. Таким чином мембранний насос продовжує втягувати і виштовхувати рідину, що перекачується. Більшість агрегатів оснащені зворотним клапаном, щоб рідина не текла у зворотному напрямку.

Одною з переваг мембранного насоса є його здатність обробляти широкий спектр рідин, навіть дуже в'язких. Мембранні насоси універсальні, тому що вони здатні працювати стабільно, навіть коли вони перекачують проти великого тиску, або того, що називається напором нагнітання. Вони також можуть бути н вибором

для перекачування їдких хімічних речовин, завдяки тому, діафрагма може бути виготовлена з матеріалів, які не вступають в хімічні реакції, таких як тефлон [8].

Слід зазначити, що у даних типів насосів навантажень зазнає не тільки мембрана, а й корпус. Він може контактувати з різними середовищами і поступово зношується в процесі роботи.

В залежності від задач корпус може бути виготовлено з:

- алюмінію – не боїться нейтральних рідин, включно з легкозаймистими.

Матеріал має гладку поверхню, до якої слабкіше прилипають в'язкі речовини;

- нержавіючої сталі – має гарну корозійну стійкість. Підходить для завдань, у яких важлива гігієнічність процесу;

- чавуну – довговічний матеріал, який не боїться шламу і середовищ з великим вмістом абразивних частинок;

- поліпропілену – має хорошу хімічну стійкість, підходить для роботи з вибухонебезпечними середовищами;

- полівініліденфторид – характеризується відмінною хімічною стійкістю;

- політетрафлуоретен – має екстремально високу стійкість до хімічно агресивних рідин, але помірну стійкість до абразивного впливу;

- ацеталю – доступний за ціною полімер, що має стійкість до розчинників і абразиву. Дозволений для використання у вибухонебезпечних завданнях;

- поліетилен високої щільності – має непогану хімічну стійкість.

Відрізняється неймовірно високою стійкістю до абразиву [12].

Мембранні насоси можуть приводитися в дію стиснутим повітрям, причому повітря знаходиться з однієї сторони мембрани і ізольоване від перекачувальної рідини. Інші можуть використовувати електричні двигуни або інші механічні засоби переміщення діафрагми [11].

### 1.2.2.3 Відцентровий насос

Іншим видом насосів є відцентровий, що входить до сімейства гідродинамічних насосів, в яких перекачування рідини відбувається за рахунок динамічного впливу, що створюється рухом самої рідини. Основним елементом

відцентрового насоса є робоче колесо, яке призначене для перекачування рідини всередині насоса за допомогою відцентрової сили, що створюється спеціальними ребрами, які його складають. При обертанні крильчатки створюється відцентрова сила, яка переміщує рідину від центру до зовнішньої сторони насоса. Робочі колеса розрізняються за формою і матеріалами в залежності від необхідної продуктивності і типу транспортованої рідини [13].

Умовний принцип роботи відцентрового насоса наведено на рисунку 2.3.

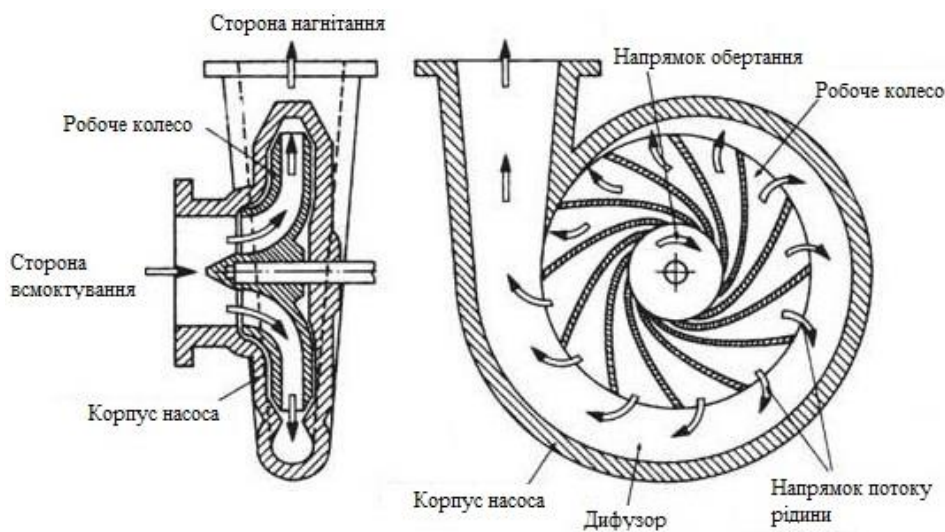


Рисунок 2.3 – Умовний принцип роботи відцентрового насоса [14]

Попри свою безшумну роботу основним недоліком відцентрового насоса є його низька продуктивність при перекачуванні рідин з високою в'язкістю. Іншими словами, відцентрові насоси не є ідеальними для застосувань, які включають більш густі рідини, такі як в'язкі масла, шлами або рідини з високим вмістом твердих речовин. Це пояснюється тим, що конструкція робочого колеса відцентрових насосів оптимізована для роботи з рідинами з низькою в'язкістю, і зі збільшенням в'язкості рідини ефективність насоса значно знижується.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ДОЗУВАЛЬНИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН

### 2.1 Розробка схеми макету

Схему макету слід створювати на перших етапах розробки проекту, тому що вона дозволяє проаналізувати всі ланки об'єкту розробки та сприяє розробці подальших схем, необхідних для його реалізації. Побудовану схему макету наведено на рисунку 2.1.

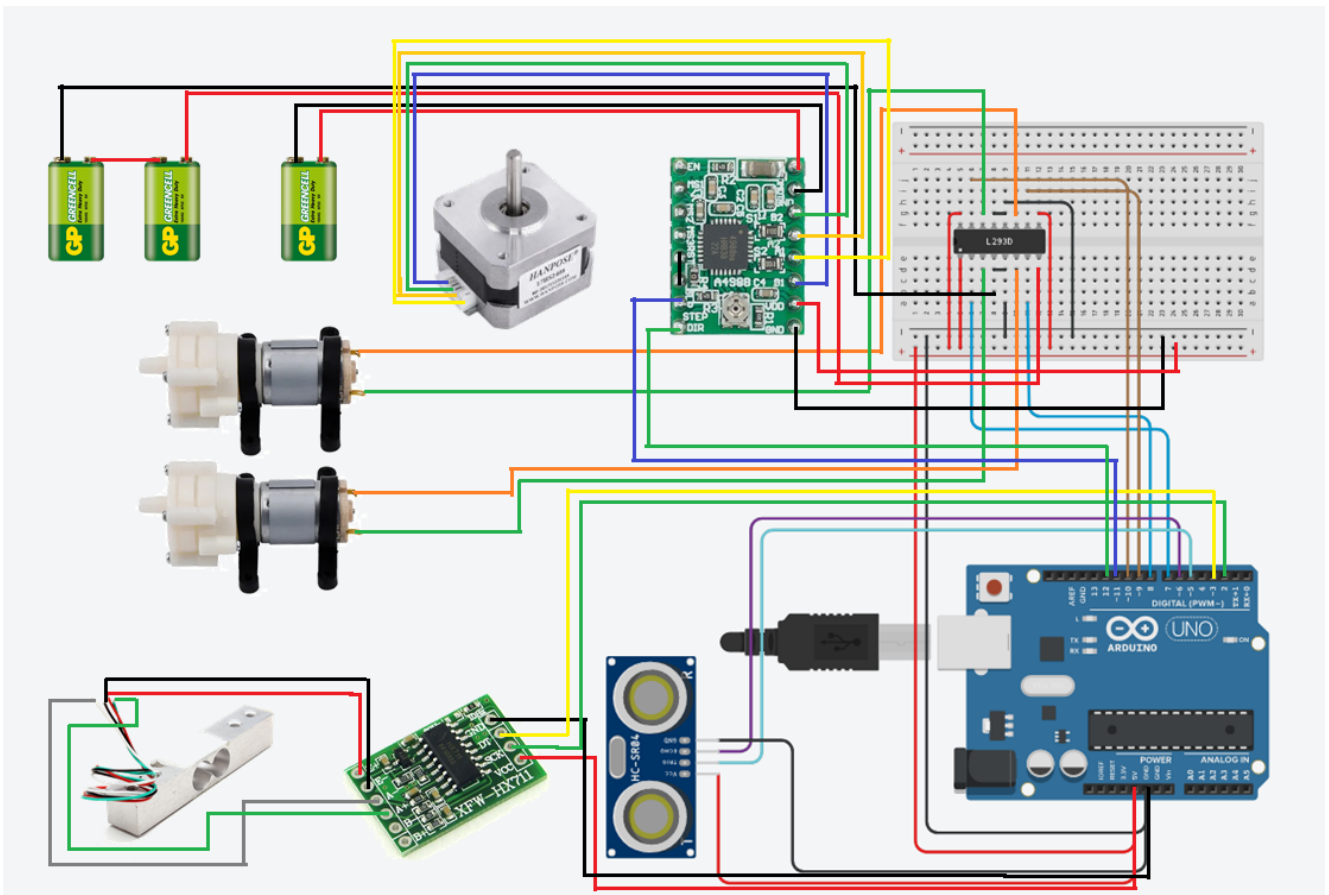


Рисунок 2.1 – Побудована схема макету

Система керування дозувальником заснована на базі платформи Arduino UNO R3 і драйверів керування двигунами A4988 та L293D. Дана зв'язка була

обрана виходячи з того, що зазначені компоненти підходять до елементів якими вони керують, які зі свого боку виконують поставлені перед ними задачі, та мають відносно низьку вартість.

Для перекачування рідини макет має мембранні насоси, кожен з яких приводиться у рух власним двигуном. Керування цими двигунами здійснюється через драйвер керування двигуном L293D.

З метою доставки ємності, у яку буде переливатися дозована технологічна рідина, макет повинен мати платформу, на яку встановлюватиметься згадана ємність.

Рух цієї платформи здійснюватиме кроковий двигун 17HS2408, керування яким реалізовано через драйвер керування двигуном A4988. Після завершення необхідного дозування, яке контролюватиметься тензодатчиком, що вмонтований у платформу, та двоканальним модулем HX711, платформа повертатиметься на початкову позицію.

За перевірку наявності на платформі ємності та її відстані до сопла, з якого литиметься технологічна рідина, відповідатиме ультразвуковий датчик руху HC-SR04.

## 2.2 Вибір компонентної бази

### 2.2.1 Аналіз характеристик платформи Arduino UNO R3

Для розробки макету автоматизованого дозувальника технологічних рідин необхідно визначити прилади, що будуть реалізовувати відповідне дозування та платформу, яка матиме певну логіку роботи макету та керуватиме цими приладами.

В якості платформи було обрано Arduino UNO R3, яка на ринку мікроконтролерів є однією з найпопулярніших плат. Ця платформа зарекомендувала себе як найбільш підходящий варіант для початку роботи з мікроконтролерами завдяки масовому випуску і невеликій вартості, а також наявності значної кількості освітньої літератури.

Зовнішній вигляд Arduino UNO R3 наведено на рисунку 2.2.

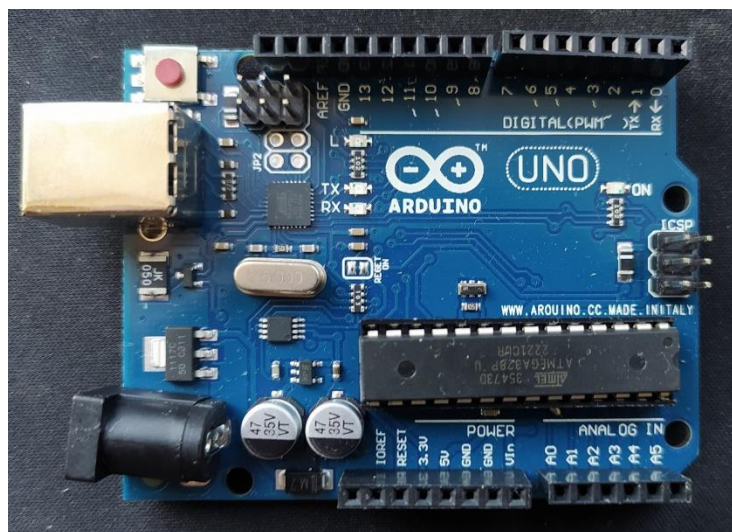


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд Arduino UNO R3

Основні технічні характеристики Arduino UNO R3 наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики Arduino UNO R3

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328
Flash-пам'ять	32 кБ
SRAM	2 кБ
EEPROM	1 кБ
Тактова частота	16 МГц
Робоча напруга	5 В
Напруга живлення (рекомендована)	від 7 В до 12 В
Напруга живлення (гранична)	від 6 В до 20 В
Цифрові входи/виходи	14 (з них 6 – ШІМ-виходи)
Аналогові входи	6
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Максимальний вихідний струм одного виводу 3,3 В	50 мА

Живлення Arduino UNO може отримувати від порту USB Type B чи зовнішнього джерела. В якості зовнішнього джерела живлення може використовуватися мережевий адаптер, який повинен підключатися через роз'єм, діаметр якого становить 2,1 мм.

### 2.2.2 Аналіз характеристик мембранного насоса постійного струму R385

У випадку роботи з рідиною, якій властиві низька, середня чи висока в'язкість, доцільно використовувати мембранні насоси. Даний тип насосів також підійде для агресивних речовин або рідин з високим вмістом твердих речовин.

Для транспортування рідини було обрано мембранний насос постійного струму R385, вибір якого обумовлений його компактними габаритами та невисокою вартістю.

Зовнішній вигляд мембранного насоса постійного струму наведено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Мембранний насос постійного струму R385

Основні технічні характеристики мембранного насоса постійного струму R385 наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні технічні характеристики мембранного насоса постійного струму R385

Параметр	Значення
Робоча напруга	12 В постійного струму
Мінімальна напруга	6 В

## Продовження таблиці 2.2

Параметр	Значення
Холостий струм	0,18 А
Робочий струм	від 0,5 А до 0,7 А
Продуктивність	до 2 л/хв
Максимальна температура рідини	80 °С
Вага	106 г
Розмір	90 мм × 40 мм × 35 мм

## 2.2.3 Аналіз характеристик крокового двигуна 17HS2408

Крокові двигуни являють собою більш покращений варіант електродвигуна, тому що приводяться в рух завдяки імпульсному електричному струму, дія якого спричиняє обертання ротора з певним кроком, тобто вал не обертається безперервно. В свою чергу це означає, що при зупинці двигуна, він буде тримати навантаження з утримуючим крутним моментом.

Крім крокового у робототехніці широко застосовується і серводвигун, який є більш дорогим компонентом через наявність у ньому енкодера, завдяки якому і досягається точне позиціонування.

На відміну від крокового двигуна він є більш підходящим варіантом у випадках, коли необхідно досягти великої швидкості за короткий час.

Також значною відмінністю зазначених типів двигунів є зменшення вихідного крутного моменту крокового двигуна зі збільшенням його швидкості, в той час, як серводвигун не тільки не втрачає свій крутний момент, а й здатен досягати більшої кількості обертів.

Проте, у випадку, коли немає необхідності у високій швидкості обертів валу двигуна, доцільним буде застосування крокового двигуна, який матиме невелику вартість за рахунок своєї більш простої конструкції.

Слід зазначити, що для фіксації валу двигуна не потрібно підключати живлення для утримання його положення.

Кроковий двигун складається з ротора й статора, який являє собою нерухому частину конструкції двигуна та є каркасом для котушок, які зі свого боку під час протікання електричного струму через них стають електромагнітами.

Коли явище електромагнетизму вже сформовано, відбувається тяжіння магніту, що закріплений на роторі. Ротор із валом двигуна повертається на певний кут і після цього активується вже інша котушка. Завдяки такому попарному перемикаючому котушок двигун робить «кроки».

Сам двигун може мати від двох і більше фаз, які зазвичай діляться на пари. Наприклад, 4-полюсний двигун матиме по дві фази, які в свою чергу складатимуться з пар полюсів розташованих на відстані  $90^\circ$  один від одного.

На кут кроку впливають такі елементи конструкції як кількість котушок, кількість зубів та кількість полюсів. Слід зазначити, що для керування двигуном необхідно використовувати спеціальний пристрій – драйвери. Завдяки драйверу на двигун подаються імпульси, тривалість яких визначає поворот валу на певний кут.

Кроковий двигун може працювати у режимі повного кроку, напівкроковому та мікрокроковому. На відміну від, режиму повного кроку, який було описано раніше, напівкроковий режим відповідно являє собою половину від дискретного кроку ротора, тобто ротор зупиняється між двома котушками. Даний режим потребуватиме попарного живлення двох фаз і призведе до більш плавної роботи двигуна.

Відповідно, під час мікрокрокового режиму кроки будуть ще коротшими, що робитиме оберти двигуна ще більш плавними. Однак, при швидкій роботі двигуна, коли частота перемикаючого струму в обмотках завелика і збільшується їх реактивний опір, відповідним чином зменшуватиметься струм через ці обмотки, а з ними і крутний момент [15].

Отже, для роботи макета було обрано кроковий двигун 17HS2408 формату NEMA 17, що рухатиме платформу з ємністю, у яку буде переливатися технологічна рідина. Зовнішній вигляд крокового двигуна 17HS2408 наведено на рисунку 2.4.

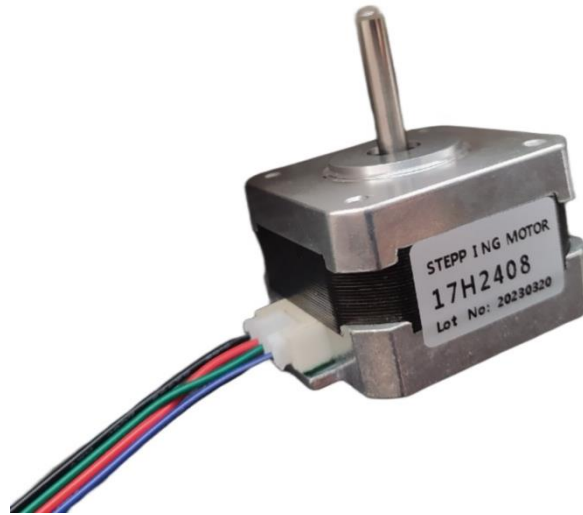


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд крокового двигуна 17HS2408

Основні технічні характеристики крокового двигуна 17HS2408 наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні технічні характеристики крокового двигуна 17HS2408

Параметр	Значення
Кут кроку	1,8°
Мінімальна струм	0,6 А
Опір обмотки	8 Ом
Індуктивність обмотки	10 мГн
Утримуючий момент	12 Н/см
Діаметр валу	5 мм
Довжина валу	24 мм
Розмір	42,3 мм × 42,3 мм × 28 мм
Вага	150 г

#### 2.2.4 Аналіз характеристик драйвера крокового двигуна A4988

Драйвера моторів і крокових двигунів – це модулі, які забезпечують управління пристроями, сприяють їх ефективній роботі та відстежують

працездатність. Мотори й крокові двигуни являють собою непрості конструкції, яким необхідний особливий контроль в якості драйвера.

Основне завдання, яке виконує драйвер крокового двигуна – ефективна зміна струму в обмотках. Існує кілька типів таких драйверів, які відрізняються в залежності від можливостей, функцій чи характеристик.

Типи драйверів для двигунів:

– дворівневі вироби, в яких струм спочатку піднімає високу напругу, після чого сила струму підтримується зниженою напругою. Ефективність двигунів з подібним типом пристроїв полягає в зниженні ризику перегріву. Єдиним недоліком можна назвати підтримку тільки двох режимів – крок та на півкрок;

– драйвер управління кроковим двигуном постійної напруги, який подає напругу в порядку черги. Найчастіше такий пристрій використовується в не дуже ефективних приладах, так як швидкості мають найменший показник;

– ШІМ-драйвер, відмінність якого від всіх інших типів полягає у високих показниках інтелектуальності, що дозволяє значно розширити функціональність пристрою й забезпечити найкращий контроль продуктивності.

При виборі драйвера слід звертати увагу на силу струму. Цей параметр обов'язково варто враховувати, адже саме сила струму повинна бути рівною фазі обраного двигуна. При цьому є рекомендація, щоб сила струму самого двигуна була на 20-30% вище, таким чином ефективність роботи буде збільшена. Напруга живлення є аспектом, що грає одну з ключових ролей при виборі, оскільки саме напруга має суттєвий вплив на динаміку. Якщо продуктивність двигуна є більшою, ніж стандартний показник, то й напруга повинна бути відповідною.

Обираючи драйвер двигуна постійного струму також не можна не звернути увагу на опторозв'язку. Сьогодні практично всі сучасні вироби оснащені входами, що необхідно для того, щоб виключити можливість пробою ключа. В іншому випадку можна отримати негативні наслідки у вигляді вигорання контролера, який й без того має високу вартість. Варто враховувати наявність механізмів, призначених для придушення резонансу, звернутати увагу на протоколи, захисні функції. Всі ці компоненти дозволять отримати працюючий й ефективний

драйвер для крокового двигуна, який буде прекрасно справлятися зі своїми функціями [16].

Для даного макета було обрано драйвер крокового двигуна A4988, що є компактним та простим в керуванні елементом з максимальним струмом 2А.

Зовнішній вигляд драйвера крокового двигуна A4988 наведено на рисунку 2.5.

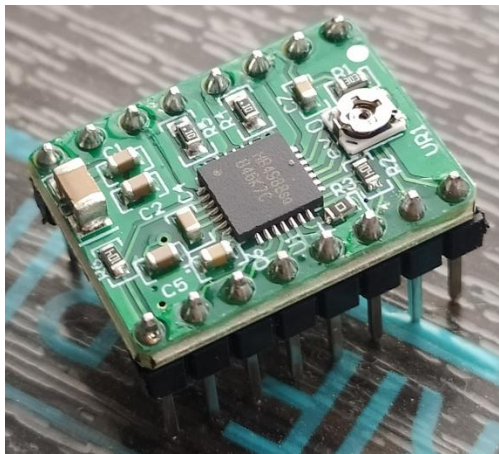


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд драйвера крокового двигуна A4988

Основні технічні характеристики драйвера крокового двигуна A4988 наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні технічні характеристики драйвера крокового двигуна A4988

Параметр	Значення
Робоча напруга двигуна	від 8 В до 35 В
Довготривалий робочий струм двигуна	1,2 А
Максимальний струм двигуна	2 А
Використовуваний чіп	A4988
Мікрокрок, що підтримується	1/2, 1/4, 1/8, 1/16 кроку
Розмір	25 мм × 15 мм × 10 мм
Вага	3 г

A4988 – це повноцінний драйвер крокового двигуна з вбудованим транслятором для зручності роботи. Він призначений для керування біполярними кроковими двигунами в режимах повного, половинного, 1/4, 1/8 і 1/16 кроку з вихідною потужністю приводу до 35 В та силою струму 2 А. A4988 містить регулятор струму з фіксованим часом витримки, який може працювати в режимах повільного або змішаного спаду.

Транслятор є ключем до простоти реалізації A4988. Проста подача одного імпульсу на вхід STEP переводить двигун на один мікрокрок. Для програмування не потрібні таблиці послідовності фаз, високочастотні лінії керування або складні інтерфейси. Інтерфейс A4988 ідеально підходить для застосувань, де складний мікропроцесор недоступний або перевантажений.

Під час роботи з кроковим двигуном, управління подрібненням в A4988 автоматично вибирає поточний режим спаду – повільний або змішаний. У режимі змішаного спаду пристрій спочатку налаштований на швидкий спад протягом частини фіксованого часу вимкнення, а потім на повільний спад протягом решти часу вимкнення. Управління струмом змішаного спаду призводить до зменшення шуму двигуна, підвищення точності кроку та зменшення розсіювання потужності.

Для покращення розсіювання потужності під час роботи ШІМ передбачено внутрішню схему керування синхронним випрямовувачем. Внутрішній захист схеми включає: теплове відключення з гістерезисом, блокування від заниженої напруги і захист від перехресних струмів. Спеціальна послідовність увімкнення не потрібна.

### 2.2.5 Аналіз характеристик драйвера керування двигуном L293D

Драйвер L293D є одним з найпопулярніших драйверів на ринку. Є кілька причин, які роблять L293D кращим драйвером для користувачів, наприклад, низька ціна (порівняно з іншими драйверами), форма і розмір, просте управління, відсутність необхідності в захисній схемі і діодах, відсутність необхідності в тепловідводах і хороша стійкість до температурних і швидкісних змін. Ця

мікросхема може керувати двигунами з напругою від 5 В до 36 В і струмом до 600 мА, а частота цієї мікросхеми становить 5 кГц.

L293D є чотирьохтактним високострумним напівпровідниковим драйвером, що побудований за схемою Н-мосту.

Н-міст – це електронна схема, яка дозволяє подавати напругу на навантаження в протилежному напрямку. Ці схеми часто використовуються в робототехніці та інших галузях, щоб дозволити двигунам постійного струму працювати в прямому або зворотньому напрямку.

Термін «Н-міст» походить від типового графічного зображення такої схеми (рис. 2.6). Н-міст будується за допомогою чотирьох перемикачів (твердотільних або механічних). Коли перемикачі S1 і S4 (згідно з першим малюнком) замкнуті, а S2 і S3 розімкнуті, на двигун подається позитивна напруга. При розмиканні перемикачів S1 і S4 і замиканні перемикачів S2 і S3 ця напруга змінюється на протилежну, дозволяючи двигуну працювати в реверсному режимі.

Використовуючи наведену вище номенклатуру, вимикачі S1 і S2 ніколи не слід замикати одночасно, оскільки це призведе до короткого замикання джерела вхідної напруги. Те саме стосується вимикачів S3 і S4. Цей стан називається «простріл» [17].

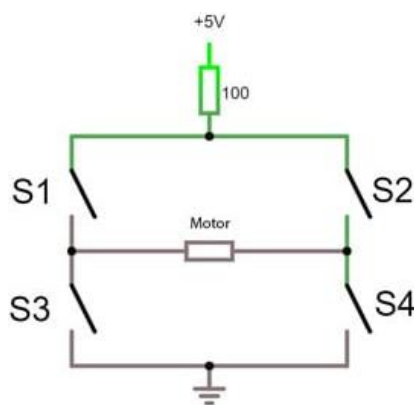


Рисунок 2.6 – Схема Н-моста

На рисунках 2.7-2.8 зображено драйвер керування двигуном L293D та призначення його контактів.

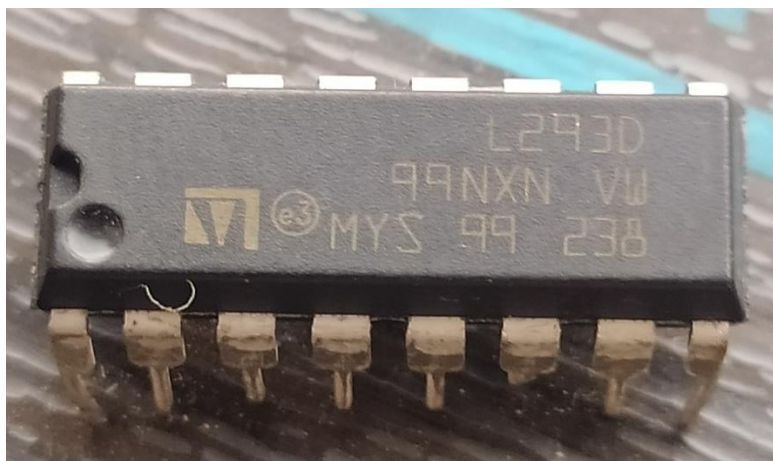


Рисунок 2.7 – Драйвер керування двигуном L293D

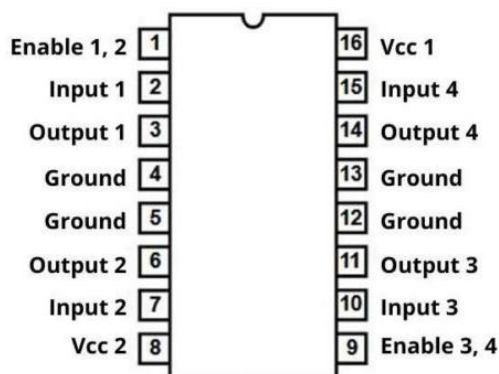


Рисунок 2.8 – Призначення контактів драйвера

Основні технічні характеристики драйвера керування двигуном L293D наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні технічні характеристики драйвера керування двигуном L293D

Параметр	Значення
Кут кроку	1,8°
Мінімальна струм	0,6 А
Опір обмотки	8 Ом
Індуктивність обмотки	10 мГн
Утримуючий момент	12 Н/см
Діаметр валу	5 мм

## Продовження таблиці 2.5

Параметр	Значення
Довжина валу	24 мм
Розмір	42,3 мм × 42,3 мм × 28 мм
Вага	150 г

## 2.2.6 Аналіз характеристик ультразвукового датчика відстані HC-SR04

Датчики відстані є приладами, що дозволяють безконтактно вимірювати відстань до певного об'єкта. Такі датчики мають різну чутливість в залежності від необхідних функцій, але основною характеристикою можна виділити діапазон або зону виявлення. Зона виявлення – це зона простору, в якій датчик руху гарантовано виявить об'єкти.

Датчики руху й відстані можна умовно поділити на пасивні та активні, перші спроектовані для отримання певних показників ззовні, другі самі випромінюють хвилі та аналізують отриманий результат. Однак, більшість сучасних датчиків мають комбіновану конструкцію. Залежно від випромінювання, на яке здатний відреагувати чутливий елемент, датчики руху можна поділити на три основні типи: ультразвукові, оптичні та фотоелектричні. Отже, розглянемо кожний з цих типів датчиків.

Одним із найпопулярніших датчиків, що застосовується у робототехніці є оптичний (лазерний) датчик відстані. Лазерні датчики відстані – це оптоелектронний пристрій визначення дистанції до того чи іншого об'єкта. Безконтактний вимір відстані має незліченну кількість застосувань. Наприклад, датчик відстані оптичний використовують для визначення габаритів (товщини, висоти, довжини, ширини), контролю мінімальної або максимальної відстані, позиціонування, рівня наповнення або випорожнення резервуару і т.д.

Принцип дії лазерного (оптичного) датчика відстані наступний: лазерний діод датчика випромінює імпульси, які відбиваються від об'єкта і потім уловлюються фотоприймачем. Вимірявши час між моментом випромінювання імпульсу і його «повернення», електроніка обчислює відстань до об'єкта.

При виборі лазерного датчика необхідно звернути увагу на виробника, діапазон вимірювання, роздільну здатність або точність вимірювання, час або частоту вимірювання, тип вихідного сигналу, напругу живлення, температурний режим експлуатації.

Оптичні лазерні датчики застосовуються у наступних галузях:

- машинобудування (виготовлення деталей та складальне виробництво, здійснюють контроль розмірів деталей, визначення якості поверхонь, визначення наявності та ідентифікації деталей під час складання);
- металургійне виробництво (контроль геометричних характеристик прокатів);
- деревообробка (контроль розмірів деталей та заготовок).

Для забезпечення високої точності вимірювань при застосуванні лазерних датчиків відстані та переміщення необхідно виконувати такі умови при експлуатації датчиків:

- використовувати датчик лише у відповідних умовах навколишнього середовища (температура та вологість не повинні перевищувати норму);
- дотримуватися відсутності пилу, тому що це може призвести до некоректності результатів;
- при розробці та здійсненні конфігурації системи датчиків повинні бути виключені взаємні оптичні впливи лазерних сенсорів один на одного та на фотоелектричні сенсори;
- для запобігання впливу стороннього засвічення слід застосовувати конструктивні шторки та щілинні маски;
- датчик може некоректно працювати з матеріалами, які мають малий ступінь шорсткості (із дзеркальними поверхнями краще не застосовувати).

За допомогою лазерних датчиків відстані успішно вирішуються завдання щодо безконтактного вимірювання відстані до об'єкта в промисловості. Такі сенсори мають на виході аналоговий або цифровий сигнал [18].

Тепер варто розглянути ультразвукові датчики. Вони використовують ультразвук, частоту якого не сприймає людина, для визначення відстані між

датчиком і найближчим об'єктом на його шляху. Датчик посилає ультразвукову хвилю на певній частоті. Потім він чекає того моменту, коли ця ультразвукова хвиля відбивається від об'єкта і повертається назад. Датчик відстежує час між надсиланням звукової хвилі та її поверненням.

Швидкість звуку може бути розрахована з врахуванням різноманітних атмосферних умов, включаючи температуру, вологість і тиск. Слід зазначити, що ультразвукові датчики мають конусне поле зору, кут якого змінюється в залежності від відстані.

Для макету автоматизованого дозувальника технологічних рідин було обрано ультразвуковий датчик відстані HC-SR04, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд ультразвукового датчика відстані HC-SR04

Основні технічні характеристики ультразвукового датчика відстані HC-SR04 наведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Основні технічні характеристики ультразвукового датчика відстані HC-SR04

Параметр	Значення
Напруга живлення	5 В
Холостий струм	2 мА
Робочий струм	15 мА

Продовження таблиці 2.6

Параметр	Значення
Ефективний кут огляду	до 15°
Максимальний кут огляду	до 30°
Дальність вимірювання	від 2 см до 400 см
Похибка при вимірюванні	3 мм
Тривалість імпульсу тригера	10 мкс
Розмір	45 мм × 20 мм × 15 мм
Вага	10 г

НС-SR04 має чотири виводи: «VCC», «GND», «TRIG» і «ECHO». Ці виводи мають різні функції. Виводи «VCC» і «GND» живлять сам датчик. Ці виводи потрібно приєднати до джерела живлення і заземлення відповідно. Існує лише один вивід керування – вивід «TRIG». Вивід «TRIG» відповідає за надсилання ультразвукового спалаху. Цей вивід повинен бути встановлений в положення високого рівня сигналу на 10 мкс, після чого НС-SR04 почне посилати звукову хвилю на частоті 40 кГц. Після відправлення звукового сигналу контакт «ECHO» переходить у стан високого рівня сигналу.

Контакт «ECHO» – це вивід для даних, який використовується для вимірювання відстані. Після надсилання ультразвукового імпульсу цей вивід переходить у стан високого рівня і залишається у цьому стані доти, доки не буде виявлено зворотного ультразвукового імпульсу, після чого він переходить у стан низького рівня.

НС-SR04 може здійснити надсилання ультразвукової хвилі, після встановлення контакту «TRIG» на високий рівень сигналу. Після того, як імпульс буде надіслано, вивід «ECHO» автоматично перейде в положення високого рівня. Цей вивід залишатиметься у високому положенні до тих пір, поки хвиля знову не потрапить на датчик. Обчислити відстань до об'єкта можна відстежуючи скільки часу «ECHO» залишається з високим рівнем сигналу. Час, протягом якого

індикатор ЕСНО перебуває на високому рівні сигналу, є часом, який імпульс витратив на подолання відстані. Здатність датчика виявляти об'єкт також залежить від орієнтації об'єкта по відношенню до датчика. Якщо об'єкт не є плоскою поверхнею для датчика, то можливо, що звукова хвиля буде відбиватися від об'єкта таким чином, що вона не повернеться до датчика.

### 2.2.7 Аналіз характеристик тензодатчика

Тензодатчик являє собою елемент, який перетворює механічний вплив в електричний сигнал. Він призначений для вимірювання ваги на платформах чи на підвісі, тиску рідин та газів, а також для вимірювання крутного моменту.

За видом елемента, який лежить в основі датчика та принципом роботи, тензодатчики можна поділити на наступні:

- п'єзоелектричні;
- оптико-поляризаційні;
- тензорезистивні;
- п'єзорезистивні.

Для макету автоматизованого дозувальника технологічних рідин було обрано тензометричний датчик, розрахований на максимальну вагу у 10 кілограм, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд тензометричного датчика

Основні технічні характеристики тензометричного датчика наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Основні технічні характеристики тензOMETричного датчика

Параметр	Значення
Матеріал	алюміній
Комплексна похибка	0,03 %
Імпеданс	1000 ± 50 Ом
Рекомендована напруга	від 5 В до 10 В
отвори кріплення (відстань 15 мм)	2×M4, 2×M5 (відстань 15 мм)
Розмір	80 мм × 12,7 мм × 12,7 мм
Максимальна вага	до 10 г

### 2.2.8 Аналіз характеристик двоканального модуля HX711

Відстеження та конвертування сигналів від тензодатчика для їх подальшої обробки мікроконтролером, здійснюватиметься завдяки двоканальному модулю HX711. Цей модуль являє собою 24-бітний двоканальний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), розрахований на підключення двох тензодатчиків одночасно. Зовнішній вигляд двоканального модуля HX711 наведено на рисунку 2.11.

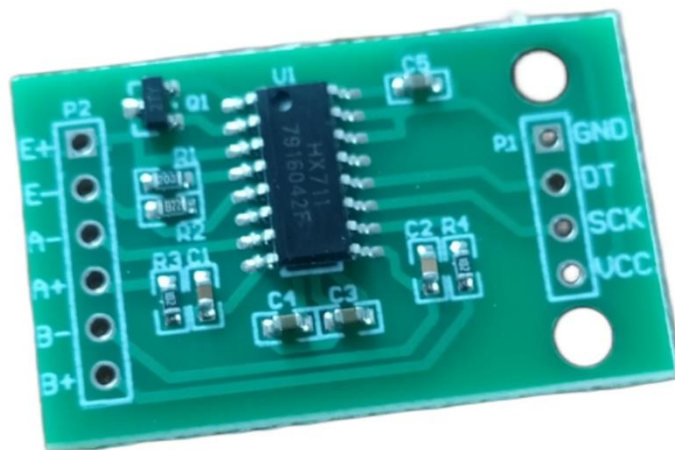


Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд двоканального модуля HX711

Основні технічні характеристики двоканального модуля HX711 наведено у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Основні технічні характеристики двоканального модуля НХ711

Параметр	Значення
Робоча напруга	5 В
Диференціальний вхід з напругою	$\pm 40$ мВ
Робочий струм	до 10 мА
Розрядність АЦП	24 біт
Частота оновлення	80 Гц
Рекомендована напруга	від 5 В до 10 В
Розмір	25 мм × 15 мм × 3 мм

Провівши аналізи розглянутих компонентів, можна зробити висновок, що даний вибір має забезпечити якісну роботу макету автоматизованого дозувальника технологічних рідин.

### 3 РОЗРОБКА МАКЕТУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ДОЗУВАЛЬНИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН

#### 3.1 Створення макету автоматизованого дозувальника технологічних рідин

Згідно з ідеєю роботи автоматизованого дозувальника технологічних рідин, під час технологічного процесу він має орієнтуватися на платформу, яка доставлятиме ємність без рідини до місця, з якого здійснюватиметься дозування рідини. Відповідно, після закінчення переливання рідини за відповідною дозою, платформа рухатиметься далі, де в залежності від характеру технологічного процесу ємність з рідиною прямуватиме у відповідне місце. Наприклад, після дозування платформа переміщуватиме ємність до робота-маніпулятора, який може передати цю ємність пакувальному апарату.

Отже, постає питання у створенні самої платформи, що здійснюватиме переміщення ємності до дозувальної частини апарату. Слід зазначити, що саме дозування здійснюватиметься за ваговим принципом, тому платформа має містити відповідний сенсор ваги. Для реалізації цієї ідеї було обрано тензодатчик, який необхідно встановити у зазначену платформу (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд платформи із вмонтованим тензодатчиком

В якості матеріалу для її створення було обрано дві дерев'яні дошки, у кожній з яких було зроблено по два отвори. Це було зроблено з метою встановлення між двома дошками тензодатчика, який має у своєму тілі 4 отвори, до того ж різного діаметру. Саме через це одна дошка має отвори діаметром 5 мм, а інша – 4 мм. Сам тензодатчик та дошки було закріплено між собою гвинтами, діаметри яких також відповідають отворах тензодатчика.

Як було зазначено раніше цю платформу необхідно переміщувати до дозувальної частини макету. За рух платформи відповідає кроковий двигун «17HS2408». Однак, постає питання у з'єднанні самого двигуна з платформою. Після розмірковування над тим, яким же методом це реалізувати, було зроблено висновок, що для даної ситуації підійде зубчастий ремінь «GT2» шириною 6 мм, що армований сталевим кордом (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Зубчастий ремінь «GT2» шириною 6 мм, що армований сталевим кордом

Зазначений ремінь повинен бути у натягу з обох кінців і через це знову постає у питання у тому, яким чином ремінь буде натягуватися. Згадавши, що зазвичай натяг ременя здійснюється завдяки шківам, було проведено пошук

шківа, що відповідатиме обраному ременю та валу крокового двигуна. В результаті, було знайдено шків «GT2», що має 20 зубців та отвір із внутрішнім діаметром у 5мм, який відповідає профілю ременя (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Шків «GT2» із внутрішнім діаметром у 5 мм

Тепер необхідно вмонтувати ці елементи у макет, враховуючи те, що ремінь повинен з'єднувати платформу з двигуном, а його натяг здійснюватиметься завдяки шківам. В результаті було зроблено висновок, що шківи буде встановлено одним навпроти іншого, а сам ремінь закріплюватиметься на платформі. Слід зазначити і те, що шків, встановлений на валу крокового двигуна, має обертатися разом з ним, на відміну від другого шківа, який обертатиметься навколо нерухомого валу. Дане кінематичне рішення забезпечує рух платформи вздовж однієї осі, тобто прямо або назад.

Перший шків було закріплено на валу крокового двигуна. Це було реалізовано завдяки тому, що у тілі шківа вмонтовано гвинти, що розташовані в отворах із внутрішньою різьбою. Закрутивши гвинти шківа, що був надітий на вал двигуна, це забезпечило їх надійне зчеплення. Загальний вигляд шківа поєднаного з валом двигуна наведено на рисунку 3.4.

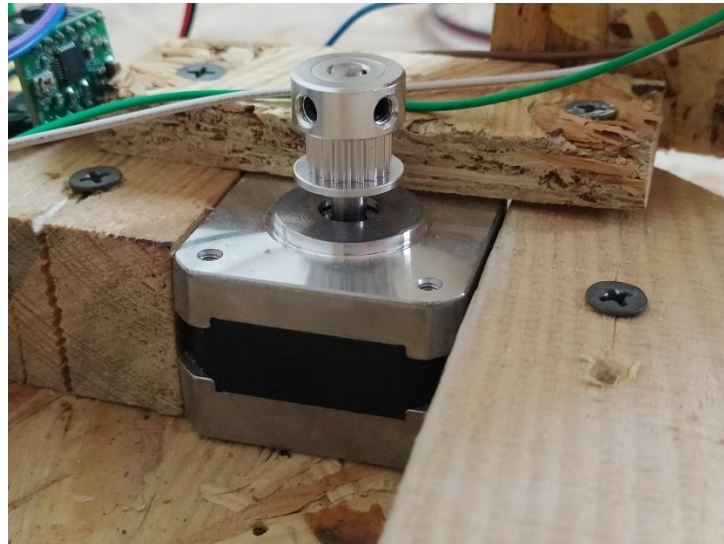


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд шківів поєднаного з валом двигуна

Виходячи з того, що ремінь повинен мати натяг з обох сторін, необхідно закріпити другий шків навпроти першого на певній відстані. Це було реалізовано шляхом створення отвору у дерев'яному бруску та розміщення у ньому металічного валу діаметром 4,5 мм, на який і було встановлено шків (рис. 3.5). Даний вал має менший ніж у шківів діаметр, тому шків буде вільно обертатися.



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд шківів встановленого на валу

Після створення платформи постало питання поєднання ременя з нею. З метою об'єднання цих двох елементів у торцях нижньої дошки платформи було

зроблено 4 отвори, через які має проходити ремінь. Таким чином, ця конструкція забезпечує необхідне зачеплення ременя чого і необхідно було досягти. На рисунку 3.6 зображено платформу і ремінь, що поєднані між собою.



Рисунок 3.6 – Платформа і ремінь, що поєднані між собою

Після виготовлення платформи та конструкції для її переміщення необхідно було розробити стійку, яка має бути розташована над платформою (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Стійка для подачі рідини

В якості матеріалів для стійки було обрано дві дерев'яні дошки, що з'єднані між собою металевими кутами. В одній з дощечок було зроблено отвір, у якому розташовуються кінці трубок, по яким буде поступати рідина.

У даному макеті за подачу рідини відповідають 2 мембранних насоси, які також потрібно знайти встановити. Вирішення питання надійного встановлення насосів є справді важливим, оскільки насоси працюють завдяки двигунам, які у момент свого пуску чи зупинки можуть здійснювати різкі рухи. З метою недопущення цих ситуацій в основі макета, що являє собою дерев'яну плиту, було зроблено по чотири отвори для кожного насоса. Притуливши кожен насос до плити, через ці отвори було протягнуто пластикові хомути та закріплено навколо корпусів насосів. Відповідний результат монтування насосів наведено на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Результат монтування насосів

Важливим питанням, яке необхідно вирішити для коректної роботи автоматизованого дозувальника технологічних рідин, є позиціонування платформи. Очевидним є той факт, що нерозуміння обчислювальною апаратурою місцезнаходження платформи з ємністю, може призвести не тільки до марної витрати технологічної рідини, а й до того, що дозувальний прилад буде

забруднювати апаратуру розташовану поруч з ним. Наслідками цього може бути, наприклад, банальне ускладнення роботи конвеєра або вивід з ладу електронних приладів розташованих поруч. Найгіршим наслідком цієї негоди є коротке замикання, яке може призвести навіть до пожежі. Особливу загрозу становить робота з легкозаймистими речовинами, які при контакті з вогнем не тільки пришвидшують та збільшують масштаб пожежі, вони також виділяють токсичні випаровування, що наносять значної шкоди людям та середовищу.

Виходячи з цього, питання позиціонування стоїть чи не на першому місці при створенні подібного апарату. Вирішити цю проблему можна шляхом застосування спеціальних датчиків, а саме через впровадження датчиків відстані. Дійшовши цього висновку у макеті було застосовано ультразвуковий датчик відстані HC-SR04. Завдяки цьому датчику контролюватиметься відстань до платформи з ємністю.

Даний датчик було встановлено поруч з кроковим двигуном. Це означає, що його поле зору, що має найвищу дальність дії, буде направлено вздовж лінії руху платформи. Встановлений на макет ультразвуковий датчик відстані HC-SR04 зображено на рисунку 3.9.

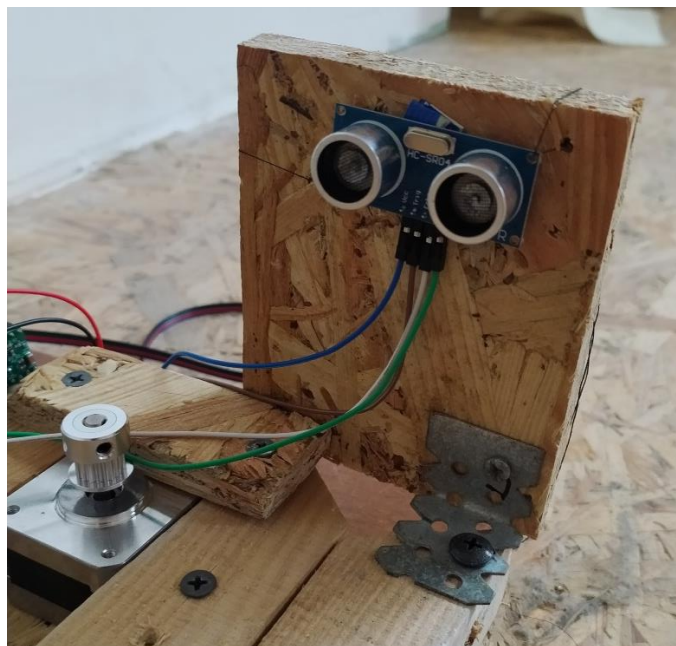


Рисунок 3.9 – Встановлений на макет ультразвуковий датчик відстані HC-SR04

Після проведених операцій було отримано загальний вигляд макету автоматизованого дозувальника технологічних рідин, зображений на рисунку 3.10.

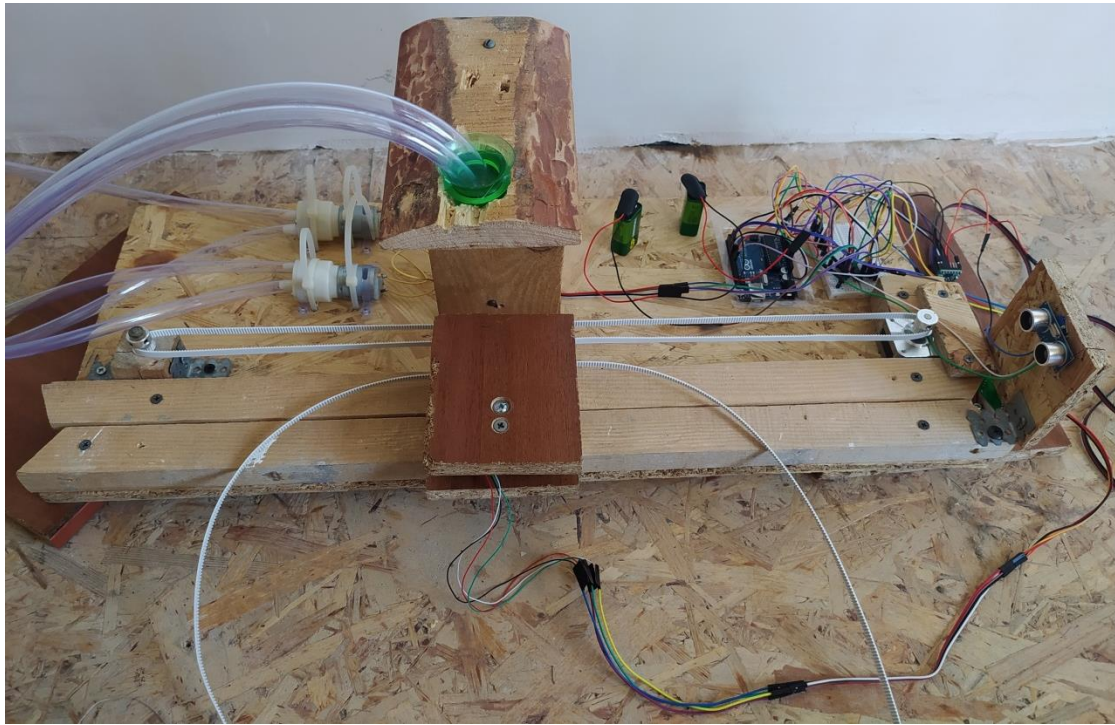


Рисунок 3.10 – Загальний вигляд макету автоматизованого дозувальника технологічних рідин

### 3.2 Обґрунтування вибору засобу для розробки програмної частини проєкту

На сьогодні існує багато різних інтегрованих середовищ розробки, які також називають IDE – integrated development environment.

Під час написання програми важливими моментами є виявлення та виправлення помилок, а також її компіляція.

У випадку написання невеликих програм, можна скористатися звичайним текстовим редактором та певними інструментами для перекладу програми на машинну мову та її запуску. Звісно, деякі сучасні редактори можуть виявляти синтаксис, що значно спростить процес написання коду, проте, у випадку з масштабними проєктами, цього буде недостатньо. Саме тому, з метою спрощення

процесу створення програм, були створені інтегровані середовища розробки. Вони значно підвищують продуктивність програміста завдяки наявності усіх необхідних для запуску програми компонентів та інтерфейсу користувача. Не застосовуючи вручну певні інтерпретатори та компілятори, розробник значно економить свій час.

Очевидним є той факт, що середовища розробки відрізняються між собою. Одні середовища можуть спеціалізуватися на певному технічному обладнанні, а інші дотримуються універсальності.

Таким чином, певні середовища розробки можуть підтримувати лише одну мову програмування або пропонують користувачу низку цілих мов.

Універсальні середовища розробки, такі як Visual Studio від Microsoft, забезпечують створення одного проєкту одразу на кількох мовах програмування, а також охоплюють різні напрями програмування.

Зазвичай середовище розробки об'єднує у собі текстовий редактор, компілятор та інтерпретатор, а також інструмент відладки.

З назви зрозуміло, що текстовий редактор являє собою інструмент для роботи з текстом, що необхідно для написання програми. Він дозволяє виконувати такі операції як видалення, вставка або копіювання тексту, здійснювати пошук, сортувати строки та переглядати коди символів.

Компілятор та інтерпретатор є дуже важливими інструментами для виконання програми. Вони здійснюють переклад коду програми, що написана певною мовою програмування, у машинну мову. Різниця цих двох засобів у тому, що компілятор робить зазначені операції вже перед запуском програми, а інтерпретатор – рядок за рядком.

Слід згадати і інструмент відладки, що сприяє виявленню та виправленню помилок у написаній програмі. Він дозволяє переглядати рядки коду один за одним, а також перевіряти значення оголошених змінних.

Отже, можна зробити висновок, що для розробки програми варто користуватися інтегрованим середовищем розробки. Однак, тепер постає питання

у виборі програмного середовища, тому варто розглянути деякі з них. Варто сказати, що середовище має бути орієнтованим на роботу з платою Arduino.

Досить популярними засобами для розробки є Arduino IDE та PlatformIO.

Говорячи про PlatformIO, необхідно розуміти, що це інструмент для розробки, який являє собою розширення для іншого середовища розробки, а саме Visual Studio. Також, варто згадати, і те, що вимогою для використання PlatformIO є наявність встановленого Python. Зі свого боку, Arduino IDE являє собою окрему програму, яку достатньо лише встановити на свій комп'ютер, що не вимагає встановлення необхідних розширень та додаткових програм.

У даному випадку може виникнути думка, що вибір Arduino IDE є очевидним, однак, PlatformIO має і свої переваги, завдяки яким він став доволі розповсюдженим варіантом для розробки.

По-перше, у середовищі Arduino IDE відсутній інструмент відладки, який міг би дозволити користувачу позначати місця зупинки програми та спостерігати за значенням змінних.

По-друге, у деяких випадках існує необхідність вручну з'ясувати, до якого порту підключено мікроконтролер.

По-третє, дане середовище не передбачає функції автозаповнення коду.

Враховуючи зазначені переваги та недоліки кожного з середовищ розробки, було зроблено висновок, що для реалізації даного проєкту буде використано інтегроване середовище розробки Arduino IDE.

Даний вибір обґрунтований тим, що, завдяки своїй незалежності від додаткових програм та розширень, встановлення даного середовища має більшу вірогідність успіху та займає менше часу на це, а також воно є більш розповсюдженим. Це означає, що шанс вирішення проблеми, яка може виникнути під час роботи з середовищем, буде вищим ніж у згаданого раніше конкурента.

Інтерфейс інтегрованого середовища розробки Arduino IDE, є доволі простим і має такі необхідні елементи, як область редагування коду програми, області повідомлень, що виводяться після компіляції, панелі інструментів для налаштування середовища та вікна консолі.

### 3.3 Створення алгоритму роботи програми автоматизованого дозувальника технологічних рідин

Подальше створення програми, яка реалізуватиме роботу автоматизованого дозувальника технологічних рідин, вимагає розуміння того, за якою логікою він буде працювати. Саме для цього було створено алгоритм роботи програми, що зображений на рисунку 3.11.

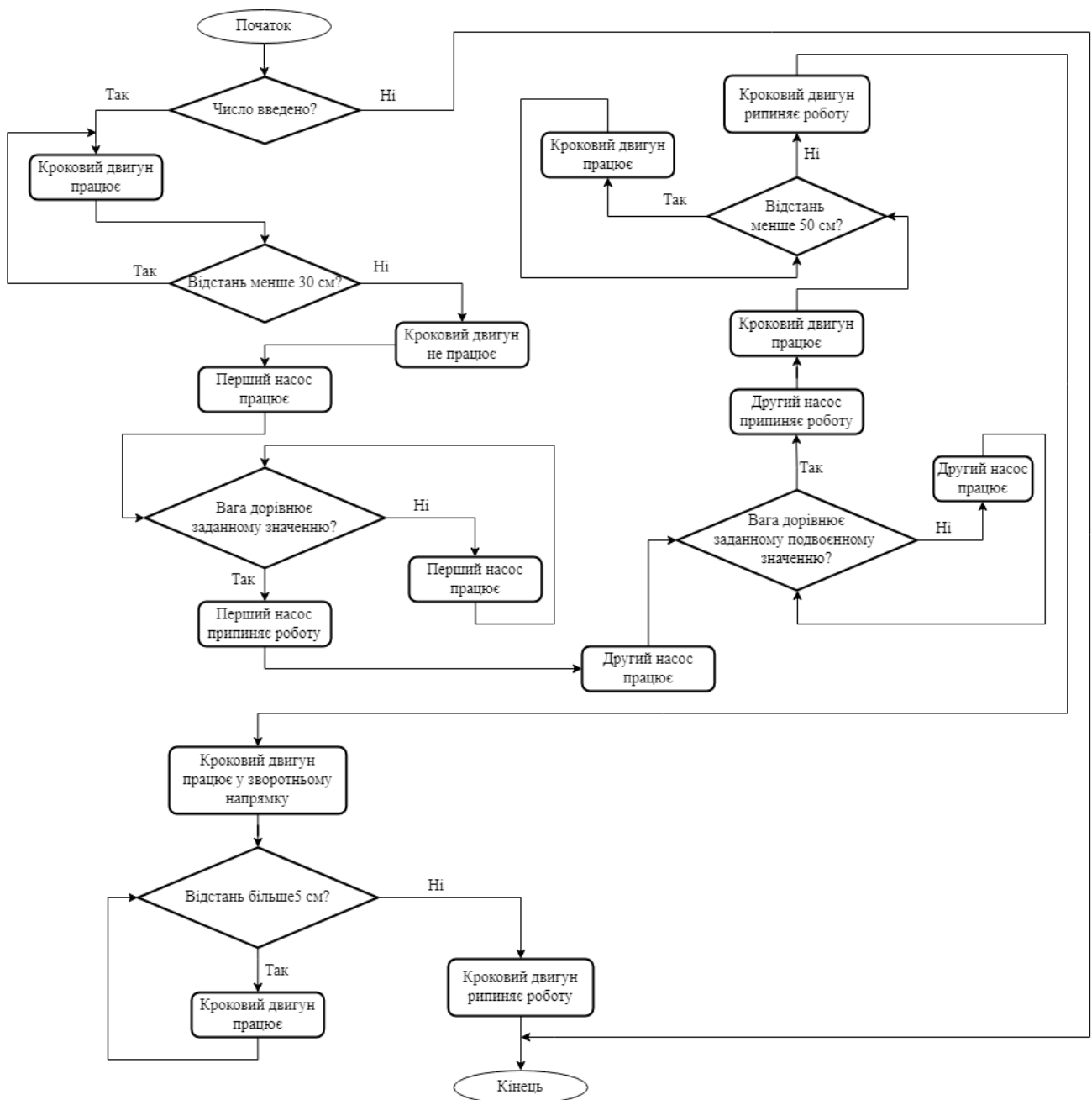


Рисунок 3.11 – Алгоритм роботи програми

Згідно схеми та задумки роботи проекту передбачається, що керування дозувальником здійснюватиметься через консоль середовища розробки. Таким чином, користувач обиратиме скільки рідини необхідно перелити, шляхом введення цифри у консоль. Якщо монітор порту не отримає число, програма не почне виконуватися.

Після отримання даних з консолі кроковий двигун, на якому встановлено шків, починає обертатися. Обертання валу двигуна із закріпленим на ньому шківом здійснює рух платформи з пустою ємністю, яка має жорстке зчеплення з ременем.

Шляхом вимірювання відстані від ультразвукового датчика відстані до стійки з трубками, було виявлено, що відстань між ними становить 30 сантиметрів. Саме тому, поки датчик не визначить, що значення відстані дорівнює необхідному, роботу крокового двигуна не буде припинено. Після того, як необхідне значення від датчику буде досягнуто, кроковий двигун зробить зупинку.

Мікроконтролер, розуміючи, що платформа з ємністю знаходиться саме під отворами, з яких литиметься рідина, через деякий час ввімкне один з насосів. Почавши подачу рідини у ємність, тензодатчик почне фіксувати навантаження цієї ємності на платформу, у яку його вмонтовано.

Згідно з числом, яке ввів користувач у консоль, програма міститиме значення, яке буде порівнювати зі значенням від тензодатчика. Коли вага ємності з рідиною буде дорівнювати числу, яке значиться у програмі, насос перестане здійснювати подачу рідини.

Після зупинки першого насосу почне працювати другий, логіка якого реалізована за тим же принципом. Єдина відмінність у тому, що значення, яке було отримано від користувача, буде збільшено вдвічі. Такий алгоритм роботи забезпечує автоматизоване дозування технологічних рідин у рівних пропорціях.

Відомо, що одним із завдань автоматизації є зменшення впливу та присутності людини під час технологічного процесу. Отже, враховуючи саму

ідею цього дозувального апарату, він повинен брати безпосередню участь у технологічному процесі на виробництві.

Оскільки технологічні рідини можуть бути агресивними, їх транспортування людиною несе великі ризики, як для неї самої, а також і для навколишнього середовища. Мається на увазі, що ці ризики обумовлені людським фактором.

Саме тому, у даному проєкті було вкрай необхідно врахувати та реалізувати зменшення вірогідності контакту людини з технологічною рідиною. Цю вірогідність було зменшено завдяки тому, що після закінчення процесу дозування платформа, здійснює рух далі від ультразвукового датчика відстані. Дане рішення передбачає, що технологічну рідину, буде направлено, за наявності на виробництві, до робота-маніпулятора, який замість людини має здійснити транспортування цієї рідини.

В той же час, відстеження платформи здійснює датчик відстані. Шляхом вимірювання відстані між датчиком та крайнім положенням платформи на макеті, було визначено, що ця відстань дорівнює 50 сантиметрів. Отже, допоки мікроконтролер завдяки датчику відстані розумітиме, що платформа знаходиться на відстані меншій ніж 50 сантиметрів, він не припинить роботу крокового двигуна. Проте, коли відстань дорівнюватиме згаданому раніше значенню, двигун припинить свою роботу.

Припинивши свою роботу, кроковий двигун почне обертатися у протилежному напрямку, а це означає, що платформа почне повертатися на своє початкове положення.

Постійно відстежуючи відстань до платформи, мікроконтролер, що керує усім обладнанням макету, перестане подавати високий рівень сигналу на драйвер крокового двигуна A4988, як тільки значення з ультразвукового датчика відстані буде дорівнювати 5 сантиметрів. Ці дії припинять рух крокового двигуна. Після цього програма буде очікувати наступних дій оператора.

Як вже було зазначено раніше, користувач обирає, яку кількість рідини необхідно дозувати, шляхом введення певного числа у консоль. Користувачу

дозволено ввести число від 1 до 3 або ввести власне число, яке програма в ході свого виконання збільшить вдвічі, через те, що в даному макеті дозування здійснюється однаковими порціями.

Таким чином, коли у монітор порту (консоль) буде надіслано «1», дозування першої технологічної рідини здійснюватиметься до того моменту, поки вага рідини не буде дорівнювати 100 грам, а дозування другої рідини відбудуватиметься до моменту, коли значення ваги з тензодатчика дорівнюватиме 200 грам, що є загальною масою технологічних двох рідин.

Надсилаючи «2», дозування однієї технологічної рідини здійснюється до того моменту, поки вага рідини не буде дорівнювати 50 грам, а дозування другої рідини відбудуватиметься до моменту, коли значення ваги з тензодатчика дорівнюватиме 100 грам.

Подібна логіка роботи присутня і у випадку отримання з консолі значення «3», проте з єдиною відмінністю у тому, що дозування першої рідини триватиме до моменту, коли значення ваги з тензодатчика дорівнюватиме 25 грам.

### 3.4 Створення програмної частини проєкту

Згідно алгоритму роботи автоматизованого дозувальника технологічних рідин, необхідно реалізувати програмну частину проєкту.

Для моторів насосів було оголошено відповідні змінні для кожного з їх контактів, а також налаштовано контакти Arduino Uno, які будуть подавати керуючу напругу на двигуни, результат чого наведено нижче.

```
const int inForw1 = 7;  
const int inBack1 = 8;  
const int inForw2 = 9;  
const int inBack2 = 10;
```

```
pinMode(inForw1, OUTPUT);
```

```
pinMode(inBack1, OUTPUT);  
pinMode(inForw2, OUTPUT);  
pinMode(inBack2, OUTPUT);
```

Оголошено змінні контактів крокового двигуна для його контактів, які відповідають за здійснення кроку та напрямок обертання, а також налаштовано контакти Arduino Uno, які будуть подавати керуючу напругу на ці контакти, результат чого наведено нижче.

```
const int dirPin = 2;  
const int stepPin = 3;
```

```
pinMode(stepPin, OUTPUT);  
pinMode(dirPin, OUTPUT);
```

Оголошено змінні контактів ультразвукового датчика та налаштовано контакти Arduino Uno, які будуть подавати напругу на ці контакти. Також реалізовано режим роботи подачі та прийому сигналів датчиком, результат чого наведено нижче.

```
const int Trig = 5;  
const int Echo = 6;  
long duration, cm;
```

```
pinMode(Trig, OUTPUT);  
pinMode(Echo, INPUT);
```

```
digitalWrite(Trig, LOW);  
delayMicroseconds(5);  
digitalWrite(Trig, HIGH);
```

```

delayMicroseconds(10);
digitalWrite(Trig, LOW);

duration = pulseIn(Echo, HIGH);
cm = (duration / 2) / 29.1;

```

Перетворення інформації від тензодатчика здійснюється завдяки аналого-цифровому перетворювачу (АЦП), для роботи якого було завантажено бібліотеку «HX711 Arduino Library». Також було оголошено змінні контактів цього АЦП, створено об'єкт «scale» та ініційовано роботу з датчиком, результат чого наведено нижче.

```

#include <HX711.h>
HX711 scale;

scale.begin(DT_PIN, SCK_PIN);
scale.set_scale();
scale.tare();

```

Реалізовано цикл, що контролює тривалість роботи крокового двигуна в залежності від відстані до платформи. Напрямок обертання двигуна визначається рівнем сигналу, що подається на контакт зі змінною «dirPin», а швидкість обертання – затримкою між кроками двигуна. Результат проведених дій наведено нижче.

```

while (cm < 30)
{
digitalWrite(dirPin, HIGH);
digitalWrite(stepPin, HIGH);
delayMicroseconds(500);

```

```
digitalWrite(stepPin, LOW);
delayMicroseconds(500);
}
```

Реалізовано цикл, що контролює тривалість роботи першого насосу в залежності від показань тензодатчика. Робота насосу на перекачування технологічної рідини відбувається завдяки подачі протилежних сигналів на контакти його мотору. Змінивши задані значення контактів на протилежні, можна досягти зворотної дії, тобто відкачування. Результат проведених дій наведено нижче.

```
while (scale.get_units() < weight)
{
digitalWrite(inForw1, HIGH);
digitalWrite(inBack1, LOW);
}
digitalWrite(inForw1, LOW);
digitalWrite(inBack1, LOW);
```

Також було реалізовано цикл, що контролює тривалість роботи другого насосу в залежності від показань тензодатчика. Результат проведених дій наведено нижче.

```
while (scale.get_units() < weight * 2)
{
digitalWrite(inForw2, HIGH);
digitalWrite(inBack2, LOW);
}
digitalWrite(inForw2, LOW);
digitalWrite(inBack2, LOW);
```

Написано код, який реалізує керування дозувальника користувачем, для чого було використано умовний оператор. Умови, зазначені у фрагменті коду, який наведено нижчу, відповідають алгоритму роботи, що був описаний у підрозділі 3.2.

```
if (Serial.available() > 0 && !start)
{
int userValue = Serial.parseInt();
int command = userValue;
if (command == 1)
{
weight = 100.0;
process();
}
else if (command == 2)
{
weight = 50.0;
process();
}
else if (command == 3)
{
weight = 25.0;
process();
}
else if (userValue > 3 && userValue <= 150) {
weight = userValue;
process();
}
else
{
```

```

Serial.println("Invalid input");
Serial.println("Enter the number");
return;
}

```

```

Serial.println("Process...");
start = true;
}

```

Наведені програмні рішення реалізують роботу крокового двигуна та його драйвера, датчика ваги та АЦП до нього, ультразвукового датчика відстані, автоматизованого дозувальника технологічних рідин, моторів насосів та їх драйвера, тобто загалом самого автоматизованого дозувальника технологічних рідин.

### 3.5 Проведення розрахунків

Розрахунок параметрів елементів макету є дуже важливим, тому далі буде проведено розрахунки двигуна постійного струму, що є основною частиною насосів.

Проведено розрахунок потужності, яку двигун споживає від джерела живлення. Для цього було використано формулу розрахунку потужності (3.1). Зазначена формула має наступний вигляд:

$$P = U_H \cdot I_H, \quad (3.1)$$

де  $P$  – потужність, яка споживається від джерела живлення, Вт;

$U_H$  – номінальна напруга, подана на двигун, В;  $U_H = 9$  В;

$I_H$  – номінальний струм, що споживається двигуном, А;  $I_H = 0,6$  А.

Підставивши ці значення маємо:

$$P = 9 \cdot 0,6 = 5,4 \text{ Вт.}$$

На наступному етапі було розраховано коефіцієнт корисної дії двигуна  $\eta$ , для чого було використано відповідну формулу (3.2). Дана формула має наступний вигляд:

$$\eta = \frac{P_B}{P} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії двигуна (визначається у відсотках);

$P_B$  – потужність на валу двигуна, Вт (згідно характеристик  $P_B = 4$  Вт);

$P$  – потужність, яка споживається від джерела живлення, Вт;  $P = 5,4$  Вт.

Підставивши ці значення маємо:

$$\eta = \frac{4}{5,4} \cdot 100\% = 74 \text{ \%}.$$

Обертаючий момент  $M$ , що розвивається двигуном визначається наступним виразом (3.3):

$$M = \frac{9550 \cdot P_B}{n_1}, \quad (3.3)$$

де  $M$  – крутний момент, що розвивається двигуном, Н·м;

$P_B$  – потужність на валу двигуна, Вт;  $P_B = 4$  Вт;

$n_1$  – швидкість обертання валу двигуна, об/хв.;  $n_1 = 1500$  об/хв.

Підставивши ці значення у вираз отримаємо:

$$M = \frac{9550 \cdot 4}{1500} = 25,4 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Проведено розрахунки струму якоря двигуна  $I_{\text{я}}$ , для чого було застосовано відповідну формулу наведену нижче (3.4).

$$I_{\text{я}} = \frac{P_{\text{в}}}{U_{\text{н}} \cdot \eta}, \quad (3.4)$$

де  $I_{\text{я}}$  – струм, що протікає у якорі двигуна, А;

$P_{\text{в}}$  – потужність на валу двигуна, Вт (згідно характеристик  $P_{\text{в}} = 4$  Вт);

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії двигуна (визначається у відсотках);  $\eta = 74$  %;

$U_{\text{н}}$  – номінальна напруга, подана на двигун, В;  $U_{\text{н}} = 9$  В;

Підставивши значення у вираз отримаємо:

$$\eta = \frac{4}{9 \cdot 0,74} = 0,6 \text{ А.}$$

Говорячи про область теорії автоматичного управління (ТАУ), варто зазначити, що двигун постійного струму являє собою аперіодичну ланку першого порядку, що описується диференціальним рівнянням наведеним нижче:

$$T \frac{dy}{dt} + y(t) = kx(t).$$

Сама передавальна функція аперіодичної ланки першого порядку дорівнюватиме:

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1}.$$

Перехідна функція зазначеної ланки матиме наступний вигляд:

$$h(t) = k(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \cdot 1(t).$$

Рівняння відповідних частотної передавальної, амплітудної частотної та фазової частотної функцій наведено нижче:

$$W(j\omega) = \frac{k}{Tj\omega + 1},$$

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}},$$

$$\phi(\omega) = \operatorname{arctg} \left( \frac{V(\omega)}{U(\omega)} \right) = \operatorname{arctg}(-T\omega).$$

Графіки амплітудної частотної характеристики та фазової частотної характеристики наведено на рисунках 3.12, а та 3.12, б відповідно.

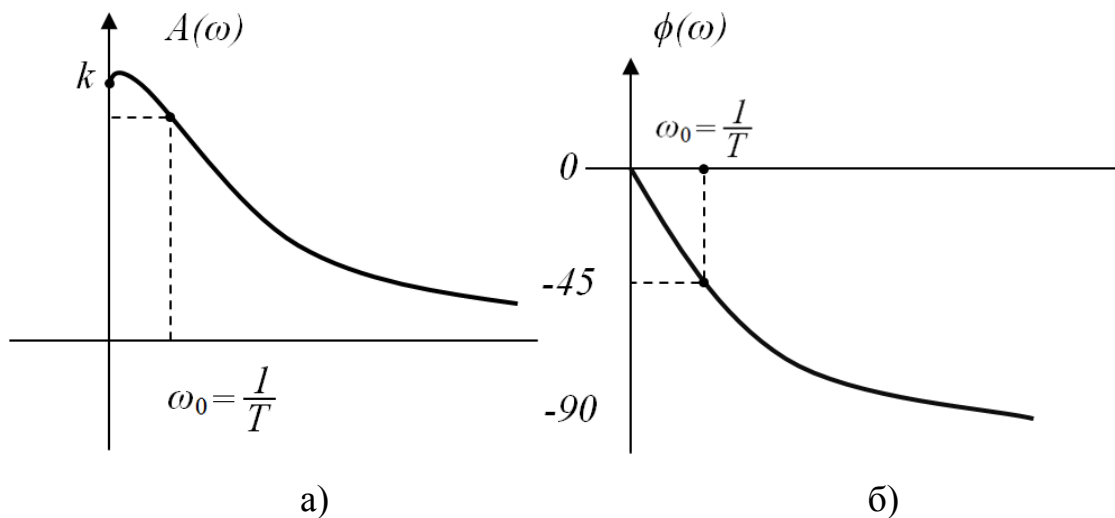


Рисунок 3.12 – Графіки частотних характеристик аперіодичної ланки першого порядку: а) амплітудна; б) фазова

Проаналізувавши графік амплітудної частотної характеристики, можна зробити висновок, що чим більша амплітуда, тобто інерційність ланки, тим більш витягнутою є крива уздовж осі частот. Дана фазова частотна характеристика показує, що збільшення частоти вхідного сигналу призводить до зрушення вихідного сигналу по фазу.

Провівши вище згадані розрахунки, можна розуміти, у якому стані перебуватимуть виконавчі пристрої та характер їх роботи під час виконання програми керування автоматизованим дозувальником технологічних рідин.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Загальні положення охорони праці

Згідно Закону України «Про охорону праці», який є основним законодавчим документом, що регулює організацію заходів з охорони праці в Україні, вводяться наступні терміни:

– охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

– роботодавець – власник підприємства, установи, організації або уповноважений ним орган, незалежно від форм власності, виду діяльності, господарювання, і фізична особа, яка використовує найману працю.

– працівник – особа, яка працює на підприємстві, в організації, установі та виконує обов'язки або функції згідно з трудовим договором (контрактом).

Варто знати і розуміти, що дія цього Закону поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, а також на всіх працюючих.

Розглядаючи державну політику в галузі охорони праці, можна зазначити, що вона базується на наступних принципах:

– пріоритетність життя і здоров'я працівників, повна відповідальність роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;

– підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;

– комплексне розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в

галузі науки і техніки та охорони довкілля;

- соціальний захист працівників, повне відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

- встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;

- адаптація трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану;

- використання економічних методів управління охороною праці, участь держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, отримання яких не суперечить законодавству;

- інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;

- забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об'єднань громадян, що розв'язують проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;

- використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці на основі міжнародного співробітництва [21].

#### 4.2 Виробнича санітарія

Відповідальність оператора, що працює із засобами відображення інформації є досить значною і саме тому, з метою поліпшення умов його праці, необхідно знайти найкращу форму подачі інформації оператору та її дозування, встановити оптимальну частоту слідування доз. На підставі цих даних визначити, який обсяг інформації оператор здатний сприйняти за одиницю часу, в т.ч. його

дієздатність. Важливо опрацювати питання професійної підготовки операторів (професійний відбір, навчання, тренування).

При реалізації безпечного робочого місця, слід також розглянути питання джерел виділення надмірного тепла та їх сумарне тепловиділення. Для цього вибирають засіб вилучення надмірного тепла, обґрунтовують необхідність кондиціонування повітря, здійснюють вибір необхідного обладнання (наводять повну технічну характеристику). Особливо слід розробити схему циркуляції повітря (через підпільний простір, або простір над підвісною стелею).

Проблему перевищення рівнів звукового тиску в приміщенні, порівняно з нормативним, вирішують заходи з поліпшення шумового режиму: екранування принтерів, облицювання стелі та стін звукопоглинальним матеріалом.

Важливим є визначення рівень навантаження за робочу зміну: кількість знаків за робочу зміну (у тисячах) або тривалість роботи за зміну (годин).

Вимоги до організації робочого місця та режиму роботи мають приводити психофізіологічні шкідливі чинники до норм.

#### 4.3 Забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях

З метою забезпечення безпеки праці на виробництві необхідно дотримуватися певного алгоритму дій, що допоможуть запобігти появі та поширенню наслідків надзвичайної ситуації.

Першим кроком є виявлення найбільш ймовірної для існуючих умов надзвичайної ситуації, що за характером дії може бути техногенною, природною, соціально-політичною чи воєнною. Необхідно також визначити масштаби наслідків надзвичайної ситуації: загальнодержавного, регіонального, місцевого чи об'єктового рівнів.

Далі необхідно створити перелік найбільш вірогідних вражаючих факторів та перейти до прогнозування та оцінки інженерної, радіаційної і хімічної обстановки в надзвичайній ситуації.

На основі переліку вірогідних вражаючих факторів, має бути дана

характеристика осередку ураження (масштаби і ступінь зараження місцевості, поширення вогню, ударної хвилі тощо), для чого необхідно використовувати методики прогнозування інженерної, радіаційної та хімічної обстановки.

Оцінка обстановки в надзвичайних ситуаціях зводиться до порівняння діючих характеристик осередку ураження з припустимими. Саме на підставі цього порівняння слід робити висновок про можливу кількість уражених людей, ступінь руйнувань споруд, виведення з ладу устаткування та комунікацій, а також стійкість об'єкта економіки.

На підставі результатів, отриманих при прогнозуванні обстановки в надзвичайній ситуації, доцільно розробити план евакуації об'єкта, режим захисту працюючих і службовців. Важливо вирішити питання оповіщення й інформування про надзвичайну ситуацію на підприємстві, забезпечення медичними засобами, засобами індивідуального захисту, спецобробки і знезаражування, а також приладами радіаційної, хімічної розвідки і дозиметричного контролю [22].

#### 4.4 Освітлення робочого приміщення

Працівники підприємств, які приймають безпосередню участь у технологічному процесі, в залежності від характеру самого процесу, можуть зазнавати значного напруження очей.

Найчастіше природного бічного освітлення може бути замало для того, щоб з необхідною ретельністю виконувати окремі дослідницькі або складальні роботи, що тягне за собою необхідність впровадження якісних освітлювальних приладів.

Деякі лабораторії, що збереглися ще з радянських часів зазвичай застосовують у якості верхнього світла стельові світильники підвісного типу з трубчастими люмінесцентними лампами. Близько тридцяти років тому вони дійсно були оптимальним вибором завдяки широкому куту розсіювання та збалансованому спектру. Однак період їхньої стабільної роботи вельми недовговічний: вже через кілька місяців більшість газорозрядних ламп ставали у більшій мірі подразниками, аніж освітлювальними приладами.

Це пов'язано з тим, що такі світильники при втраті частини свого ресурсу починають постійно мерехтіти, що істотно позначається на душевній рівновазі персоналу. На сьогоднішній день у всіх приватних експертно-хімічних лабораторіях застосовуються виключно світлодіодні світильники, які не мають згаданої проблеми. Навіть при перепадах напруги промені, що від них виходять, не скачуть, а спектр залишається колишнім.

Питання освітленості лабораторії або приміщення, у якому необхідно контролювати якість виконання технологічного процесу, є дуже важливим. Очевидною дією на шляху до вирішення цього питання є знаходження значення освітленості.

Для цього необхідно користуватися формулою, яку наведено нижче (4.1):

$$E = \frac{N_{\text{СВ}} \cdot \Phi_{\text{Л}} \cdot n \cdot j}{S \cdot k \cdot z}, \quad (4.1)$$

де  $E$  – значення освітленості, Лк;

$N_{\text{СВ}}$  – необхідна кількість світильників у приміщенні, шт.;

$\Phi_{\text{Л}}$  – світловий потік освітлювального приладу, Лм;

$n$  – кількість ламп в одному світильнику, шт.;

$j$  – коефіцієнт використання світлового потоку.

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$k$  – коефіцієнт запасу;

$z$  – коефіцієнт мінімальної освітленості.

Отже, підводячи підсумки можна зазначити, що дотримання принципів охорони праці є необхідною умовою для існування підприємства, а також позитивно впливає на якість виконання технологічного процесу працівниками підприємства та сприяє створенню безпечних та комфортних умов для персоналу, що перебуває на робочому місці.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз методів дозування рідин, обладнання для їх дозування та сучасних насосів, що використовуються у дозувальних апаратах. На основі проведених аналізів було прийнято рішення використовувати у даній роботі ваговий метод дозування, а в якості обладнання, яким здійснюватиметься дозування технологічної рідини, обрано насос мембранного типу.

З метою виконання поставленого завдання, а саме підвищення точності дозування технологічних рідин шляхом розробки макету автоматизованого дозувальника, було проведено аналіз існуючих елементів для контролю і виконання процесу дозування. На основі висновків аналізу, було проведено підбір компонентної бази, що посприяла створенню структурної схеми макета.

Побудова даної схеми дала чітке розуміння того, яким чином необхідно з'єднувати між собою датчики, драйвери, двигуні та мікроконтролер.

Після створення структурної схеми було розпочато роботу над створенням самого макету та його програмною реалізацією, для чого було створено алгоритм роботи програми керування автоматизованим дозувальником технологічних рідин. Також було обрано середовище розробки та створено код, що забезпечує керування дозувальним апаратом.

Остаточним етапом було проведення розрахунків, які дали розуміння того, що виконавчі пристрої матимуть необхідні для свого функціонування параметри, а також відображають характер їх роботи під час виконання програми керування автоматизованим дозувальником технологічних рідин. Також було розглянуто основні положення охорони праці та принципи їх реалізації.

Виконавши цю роботу можна зробити висновок, що розробка та покращення подібних систем сприяють підвищенню рівня автоматизації технологічних процесів, в які вони впроваджені.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008: 2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023. – 64 с.
3. Методичні вказівки до Підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова. – Харків: ХНУРЕ, – 2019. – 36 с.
4. Характеристика методів дозування та способів фасування рідкої продукції. Види дозаторів для рідкої продукції та принцип дії одного з них. [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://studfile.net/preview/8807010/page:3/> (дата звернення: 01.05.2024).
5. Що таке дозатор: принцип роботи обладнання [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://flexmash.com/shho-take-dozator/> (дата звернення: 01.05.2024).
6. Вимірювання витрати і кількості речовини [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://iph.systems/industries/science/metrology/flow.html> (дата звернення: 01.05.2024).
7. Електромагнітні (індукційні) витратоміри [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://polka-knig.com.ua/article.php?book=291&article=16344> (дата звернення: 01.05.2024).

8. Вимірювання витрати та кількості речовин [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://studfile.net/preview/7516745/page:46/> (дата звернення: 03.05.2024).

9. Перистальтичні насоси: особливості та сфера використання [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://tapflo.ua/products/hose-pumps> (дата звернення: 03.05.2024).

10. Що таке перистальтичні насоси і як вони працюють? [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://www.debem.com.ua/news/?sid=759> (дата звернення: 03.05.2024).

11. Як працює мембранний насос. Опалення та водопостачання [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://opalennya.in.ua/iak-pratsiuie-membranniy-nasos/> (дата звернення: 03.05.2024).

12. Мембранний насос: принцип роботи та особливості пристрою. Інжинірингові Системи [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://dosingtech.com.ua/uk/pryntsyyp-roboty-membrannogo-pnevmatychnogo-nasosu/> (дата звернення: 05.05.2024).

13. Що таке відцентрові насоси і як вони працюють [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://www.debem.com.ua/ukr/news/?sid=863> (дата звернення: 05.05.2024).

14. Відцентрові насоси — пристрій, види, особливості, монтаж [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://yak-zrobyty.in.ua/vidcentrovi-nasosi-pristrij-vidi-osoblivosti-montazh/> (дата звернення: 05.05.2024).

15. Кроковий (стрибковий) двигун – типи та приклади застосування крокових двигунів [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://www.tme.eu/ua/news/library-articles/page/41861/krokovii-stribkovii-dvighun-tipi-ta-prikladi-zasto-suvannia-krokovikh-dvighuniv/> (дата звернення: 26.05.2024).

16. Драйвера крокових двигунів [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://www.robostore.com.ua/ua/detali-i-komplektuyushie-dlya-robototekhniki/drajvera-motorov-i-shagovyh-dvigateljev/> (дата звернення: 27.05.2024).

17. All You Need to Know About L293D [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://maker.pro/custom/projects/all-you-need-to-know-about-l293d> (дата звернення: 29.05.2024).

18. Лазерні (оптичні) датчики відстані – що це таке, принцип роботи, види та сфера застосування [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www) / URL: <https://europromtrading.com.ua/lazerni-optichni-datchiki-vidstani-sho-ce-take-princip-roboti-vidi-ta-sfera-zastosuvannya/statti> (дата звернення: 31.05.2024).

19. Теорія автоматичного управління (збірник задач) [Текст]: навч. посіб. для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків: Панов А.М., 2020. – 240 с.

20. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. :, 2022. – 427 с.

21. Закон України «Про охорону праці» : в ред. від 01.10.2023 р. 2694-ХІІ.

22. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання [Текст] / упоряд.: Б. В. Дзюнзюк, В. А. Айвазов, Т. Є. Стиценко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.