

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 636.5252/58:62 503.51

**ПОГОДЖЕНО**

Директор ННІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження  
(назва ННІ)

\_\_\_\_\_ В.В. Каплун  
(підпис) (ПІБ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри автоматики  
та робототехнічних систем  
ім. акад. І.І. Мартиненка  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ В. П. Лисенко  
(підпис) (ПІБ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**02.06.-КМР.1664"С".2024.09.26.025.ПЗ**

на тему **«КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА  
АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗЛИВУ ВОДИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ  
КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОВЕН»**

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка  
(назва)

Гарант освітньої програми

\_\_\_\_\_ І.М. Болбот, д.т.н., проф.  
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконала

\_\_\_\_\_ А.Г. Вершняк  
(підпис) (П.І.Б студента)

Керівники магістерської роботи

\_\_\_\_\_ Л.Є. Никифорова, д.т.н., проф.  
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

**КИЇВ-2024**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
автоматики та робототехнічних  
систем ім. акад. І.І. Мартиненка  
О.О. Опришко  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТУ**

Вершняк Аміні Генадіївні  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема кваліфікаційної магістерської роботи «КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗЛИВУ ВОДИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОВЕН»,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.09.2024 року № 1664«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 15.11.2024 року

Вихідні дані до магістерської роботи: завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації.
2. Дослідження лінії розливу води як об'єкта автоматичного керування.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Розробка цифрової системи керування.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Розробка засобів візуалізації процесу керування лінією розливу води.
7. Техніко-економічне обґрунтування.

Дата видачі завдання «15» грудня 2023 року

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_  
(Підпис)

Никифорова Л.Є.  
(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(Підпис)

Вершняк А.Г.  
(Прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

У роботі надано: опис технологічного процесу розливу води у пластикову тару, таблицю завдань для автоматизаційної системи, функціональну схему автоматики, специфікації технічних засобів автоматизації, схему установки автоматизаційних елементів, таких як датчик рівня LR-200, а також схему підключення датчиків і виконавчих механізмів до модулів контролера.

Розроблено алгоритм і програмне забезпечення для управління автоматизованою лінією розливу води, призначене для ПЛК200 українського виробництва ОВЕН. Інтерфейс дисплея, що відображає процес розливу води, також був створений за допомогою програмного забезпечення Zenon SCADA від компанії COPA-DATA, а вигляд екранів для оператора представлений у додатку.

Складено структурну схему об'єкта, а випробування на стійкість виконано відповідно до критерію Михайлова.

**Ключові слова:** розлив води, SCADA, ПЛК200.

## Зміст

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	8
1.1. Аналіз технологічної ділянки як об'єкта автоматизації.....	8
1.2 Мета і задачі автоматизації технологічного процесу розливу води.....	8
1.3 Розробка завдання на систему автоматизації.....	12
1.4 Розробка функціональної схеми лінії розливу води в пляшки.....	15
1.5 Специфікація засобів автоматизації.....	15
РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	20
2.1 Розробка математичної моделі підігріву миючого розчину.....	20
2.2 Алгоритм роботи лінії розливу води в пляшки.....	22
РОЗДІЛ 3 АРГУМЕНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ.....	24
3.1 Сприймаючі елементи.....	24
3.2 Виконавчі механізми.....	34
<b>3.3 Реалізація цифрового ПІ-регулятора.....</b>	<b>41</b>
<b>3.4 Дослідження цифрової системи автоматичного керування на стійкість та якість.....</b>	<b>44</b>
3.5 Вибір керуючого елемента.....	45
РОЗДІЛ 4. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ.....	54
4.1. Постановка задачі дослідження.....	54
4.2. Вибір об'єкта керування та його математичної моделі.....	55
РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....	59
5.1. Вибір апаратів захисту та керування.....	59
5.2 Вибір проводів та кабелів.....	63
5.3 Розробка принципової схеми.....	64
5.4 Розширені схеми підключення для окремих контурів. Розширена схема підключення контуру вимірювання тиску.....	69
5.5 Вибір щита керування.....	73
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ ОПЕРАТОРА ТЕХНОЛОГА.....	75
6.1 Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI:.....	76

6.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора .....	78
<b>РОЗДІЛ 7 БЕЗПЕКА І ЕКОЛОГІЧНІСТЬ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА .....</b>	<b>83</b>
7.1 Виробничі приміщення.....	83
<b>Водопровід і каналізація .....</b>	<b>83</b>
для зберігання від 2 до 5 т.....не менше 50.....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>Автоматичні потокові лінії .....</b>	<b>84</b>
7.2 Метеорологічні умови на робочому місці.....	85
Оптимальна температура у зоні обслуговування апаратів у літню пору має бути 18...200С, у зимовий час 21...230С. Допустимі межі коливання температури для постійних робочих місць залежно від періоду року від 170 до 270С. Оптимальна відносна вологість 40-60%, допустимі межі від 65% до 75%. Швидкість руху повітря у теплий період року $\leq 0,3$ м/с, у холодний період року 0,2...0,4 м/с.	
.....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
7.3 Характеристика вентиляції робочого місця .....	86
В цеху застосовується загальнообмінна вентиляція. Така вентиляція застосовується для розведення парів, газів, пилу, надлишкових тепла і вологи, що виділяються в приміщення, до допустимих санітарними нормами величин.	
.....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
7.4 Система освітлення, норми освітленості.....	86
7.5 Заходи з техніки безпеки.....	86
7.6 Забезпечення електробезпеки .....	87
7.7 Шум та вібрація.....	87
Шум на робочих місцях виробничих приміщень вимірюють відповідно до «Гігієнічної оцінки фізичних факторів виробничого та навколишнього середовища».....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
7.8 Організація пожежної охорони для підприємства.....	87
<b>Отоплення та вентиляція .....</b>	<b>88</b>
<b>РОЗДІЛ 8. ПРОЄКТ ЛІНІЇ РОЗЛИВУ БЕЗАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ НА БАЗІ НУБІП УКРАЇНИ .....</b>	<b>89</b>

## ВСТУП

Автоматизація управління є ключовим аспектом для підвищення продуктивності виробництва. Як зазначав Ю.В. Андропов, важливо здійснити автоматизацію в промисловості, використовуючи комп'ютерні технології та мікропроцесорні системи.

Процес автоматизації технологічних процесів – це етап, що дозволяє звільнити людину від безпосереднього контролю за виробничими процесами, передаючи ці функції автоматизованим системам. В умовах автоматизації всі етапи, пов'язані з отриманням, перетворенням, передачею та використанням енергії, матеріалів і інформації, виконуються за допомогою спеціальних технічних засобів.

Сучасне сільське господарство характеризується зростанням масштабів виробництва та підвищенням вимог до якості продукції, проте одночасно стикається з дефіцитом робочої сили. Це підкреслює необхідність впровадження комплексної механізації та автоматизації в аграрний сектор.

Механізація і автоматизація здатні значно підвищити продуктивність праці. Питання автоматизації мають важливе значення для економіки, оскільки їх реалізація забезпечує значний економічний ефект. Наприклад, автоматизація процесу приготування кормів може знизити трудовитрати в кілька разів та зменшити собівартість виробництва на 30–50%.

Завдяки підвищенню технічного оснащення та електрифікації, а також розробці нових технологій, створюються умови для широкої автоматизації виробництв. Однак автоматизація в сільському господарстві має свої специфічні виклики, пов'язані з біологічними об'єктами, різноманітними зовнішніми факторами, такими як температура та вологість.

Сучасні системи автоматизації сільськогосподарського виробництва активно використовують нові елементи, зокрема мікропроцесори. Це дозволяє реалізувати складні алгоритми управління, підвищити надійність і зменшити розміри обладнання. Проте важливо, щоб персонал мав належну підготовку для роботи з такими технологіями.

Фахівці в галузі автоматизації сільського господарства повинні володіти знаннями з технології виробництва, організації та економіки, а також бути обізнаними в електричних, механічних і гідравлічних системах автоматизації. Вони мають бути здатні обґрунтувати рішення для технічних і організаційних завдань, спрямованих на підвищення ефективності виробництва.

Автоматизація підвищує надійність обладнання, покращує умови праці та безпеку, а також зменшує текучість кадрів. Вона сприяє підвищенню якості продукції і скороченню різниці між розумовою та фізичною працею.

Впровадження обчислювальної техніки в системи управління є одним із напрямків підвищення ефективності. АСУТП (автоматизовані системи управління технологічними процесами) забезпечують вирішення до 90% завдань, що постають перед підприємствами.

Локальні системи управління, які контролюють окремі об'єкти, грають важливу роль у процесі автоматизації. Для оптимального управління такими системами рекомендується використовувати контролери, оскільки вони забезпечують точне регулювання параметрів.

У конкретному технологічному процесі розливу води важливо забезпечити точність підрахунку та реєстрації продукції. Неправильне налаштування обладнання може призвести до його псування. Автоматизація процесу розливу води на основі програмно-логічного управління дозволить покращити контроль за параметрами, підвищити безпеку та зменшити трудовитрати.

# РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

## 1.1. Аналіз технологічної дільниці як об'єкта автоматизації

Технологічна лінія "AQUA" призначена для виробництва та розливу негазованої питної води у пластикові пляшки або ємності об'ємом від 0,25 до 10,0 літрів. Лінія має продуктивність 1200 літрів на годину. Для її розміщення необхідно 50 квадратних метрів площі.

З урахуванням необхідної площі для упаковки, лінія потребує шість працівників для ефективної експлуатації. Загальна потужність обладнання, що включає систему для продування ПЕТ-контейнерів, становить до 23 кВт.



Рис. 1.1 Технологічна лінія «АКВА»

Процес виробництва пляшкової води включає наступні основні етапи: підняття води на поверхню землі, транспортування її з каптажної споруди (джерела) до заводу (цеху) розливу, зберігання води, обробку (фільтрування, дезінфекцію), миття пляшок, розлив води у пляшки, закупорювання, наклеювання етикеток, та зберігання готової продукції.

## 1.2 Мета і задачі автоматизації технологічного процесу розливу води

Автоматизація технологічного процесу розливу бутельованої води має на меті значно підвищити продуктивність виробничої лінії, покращити якість вихідної сировини та знизити ймовірність відмов обладнання. Одним із ключових завдань є

усунення дефектів у технологічному процесі, зокрема недостатньої ефективності регулюючих елементів, що може призвести до впливу зовнішніх факторів на якість продукції.

Серед основних проблем у виробництві бутильованої води можна виділити брак об'єктивних методів контролю технічних параметрів. Це стосується, наприклад, якості води, що використовується для наповнення пляшок, а також стану обладнання, що може зношуватися. Регулярна заміна зношених компонентів є критично важливим етапом для забезпечення безперебійного функціонування виробничого процесу.

Сьогодні, у зв'язку з необхідністю підвищення продуктивності, зменшення витрат і оптимізації використання ресурсів, завдання автоматизації стає все більш актуальним для лінії розливу води. Використання сучасних технологій та дотримання встановлених стандартів допоможуть максимізувати ефективність виробництва.

Вода з природних джерел має різні мінеральні склади, які залежать від глибини залягання. Для її промислового використання потрібно здійснювати каптацію — збори або видобуток води. Для цього використовуються різні типи каптаційних споруд, зокрема бурові свердловини, шахтні колодязі та штольні, які залежать від особливостей родовища.

При транспортуванні мінеральної води через трубопроводи важливо використовувати матеріали, стійкі до корозії, такі як нержавіюча сталь або пластик. Залежно від відстані, водопостачання може здійснюватися через трубопроводи, автоцистерни чи залізничні цистерни.

Вода, що постачається на завод для розливу, проходить контроль за якістю та зберігається в герметичних резервуарах під тиском вуглекислого газу. Процес зберігання обмежений п'ятьма днями, що підкреслює важливість своєчасного контролю.

Після надходження, вода підлягає фільтрації для видалення твердих частинок, що можуть впливати на якість. Механічні фільтри, зокрема керамічні, використовуються для очищення води від забруднень. Окрім цього, важливо

проводити дезінфекцію за допомогою ультрафіолетового випромінювання, яке ефективно знищує патогенні мікроорганізми без шкоди для смаку води.

При розливі води проводяться численні операції, починаючи з миття пляшок і закінчуючи етикетуванням. Миття пляшок є важливим етапом, що включає кілька етапів: відмочування, обробка миючими засобами та ополіскування. Система автоматичного миття забезпечує високу ефективність цього процесу.

Після миття пляшки проходять контроль якості. Важливо, щоб пляшки мали блискучий вигляд без забруднень. Після цього, вода розливається до пляшок, використовуючи різні методи подачі рідини, включаючи гравітаційний та примусовий.

На етапі закупорювання використовуються автоматичні системи, що забезпечують надійне закриття пляшок. Усі ці етапи важливі для забезпечення високої якості продукту.

Останнім етапом є упаковка продукції. Використовуються різні методи, включаючи термоусадочну плівку, що дозволяє зберігати якість продукту до моменту споживання.

Таким чином, автоматизація процесу розливу води є багатогранним завданням, яке включає контроль, обробку, розлив та упаковку, що разом забезпечує високу якість кінцевого продукту.

Основною метою автоматизації процесу розливу бутельованої води є підвищення продуктивності, поліпшення якості сировини та зменшення ймовірності збоїв в роботі обладнання. Також важливо усунути недоліки в технологічному процесі, наприклад, неефективність регулюючих пристроїв, які можуть впливати на вплив зовнішніх чинників. Однією з ключових проблем у виробництві є відсутність об'єктивних методів контролю технічних параметрів, таких як якість води, що використовуються для розливу, а також стан механізмів і деталей. Своєчасна заміна устаткування, що вичерпало свій ресурс, є важливим кроком для підтримання безперебійності виробництва.

Сьогодні питання підвищення продуктивності, зниження витрат і оптимізації ресурсів є надзвичайно актуальними для лінії розливу води. Застосування сучасних методів розливу і дотримання встановлених параметрів дозволяють ефективно

контролювати і управляти основними показниками, що сприяє зростанню швидкості роботи лінії.

Виробництво мінеральної води починається з видобутку з природних джерел, які розташовані на різних глибинах. Для їх розливу необхідно забезпечити каптацію. Існують різні види каптаційних споруд, зокрема бурові свердловини, шахтні колодязі та штольні, які вибираються залежно від глибини та способу підйому води. Глибина свердловин може варіюватися від декількох метрів до 200-300 метрів. Температура води на різних глибинах також може бути різною і залежить від її хімічного складу. Для будівництва каптаційних камер і колодязів використовуються матеріали, що забезпечують їх довговічність, такі як бетон або залізобетон.

Транспортування мінеральних вод здійснюється за допомогою трубопроводів, автоцистерн або залізничних цистерн. Трубопроводи є ефективним способом подачі води на відстань до 50 км за допомогою легкого тиску. Автоцистерни використовуються для перевезення на більші відстані, де важливо уникати випаровування води, що забезпечується герметичним заповненням. Партії води, що надходять на розлив, проходять контроль на бактеріологічні показники та органолептичні характеристики.

Вода, доставлена на підприємство, зберігається в герметичних резервуарах під надлишковим тиском вуглекислого газу. Термін зберігання обмежений до 5 днів. Під час зберігання важливо запобігти втраті газу, тому резервуари заповнюються знизу, а очищення проводиться не рідше одного разу на рік.

Перед розливом вода проходить фільтрацію для видалення твердих часток, які можуть знижувати ефективність обробки. Для цього використовуються механічні фільтри, а також керамічні свічкові фільтри, що дозволяють усунути мікроорганізми та суспензії.

Важливим етапом є ультрафіолетова дезінфекція, яка забезпечує ефективне видалення патогенних мікроорганізмів, не змінюючи смакових властивостей води. Процес передбачає обробку води ультрафіолетовими променями, що знищують здатність мікроорганізмів до розмноження.

Під час промислового розливу відбуваються кілька етапів: миття пляшок, контроль їх якості, наповнення та закупорювання. Для очищення пляшок використовується автоматизоване обладнання, яке забезпечує багатоетапний процес миття з використанням різних миючих розчинів.

Закупорка пляшок здійснюється на автоматизованих установках, які забезпечують надійне закриття, а для етикетування використовуються спеціальні етикетувальні машини. Процес упаковки включає використання термоусадочних плівок, що забезпечують збереження якості продукції.

Усі ці етапи сприяють підвищенню ефективності та якості виробництва бутильованої води, що відповідає сучасним стандартам безпеки і якості.

### 1.3 Розробка завдання на систему автоматизації

Таблиця 1.1 Завдання на систему автоматизації

№	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Припустиме значення параметра	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації управляючої дії	Додаткові умови
1	Машина Упакування	Тиск	0.25 МПа ± 0.05МПа	Контроль	Відображення Реєстрація	АРМ оператора	
2	Машина Розливу	Наявність тари	-	Контроль	Відображення Реєстрація	АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	-	Ручне управління зі АРМ оператора
3	Накопичувальна ємність	Рівень	90% ± 2%	Контроль	Відображення Реєстрація	АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на насос закачування рідини для розливу	Ручне управління зі АРМ оператора

4	Трубопровід подачі газу	Витрати	100 м3/год ± 10 м3/год	Контроль	Відображення Реєстрація	АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі газу	Ручне управління зі АРМ оператора
5	Трубопровід подачі води у видувну машину	Витрати	300 м3/год ± 10 м3/год	Контроль	Відображення Реєстрація	АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі води	Ручне управління зі АРМ оператора

Таблиця 1.1 Завдання на систему автоматизації

6	Трубопровід подачі води у ополосувач бутілок	Витрати	200 м3/год ± 10 м3/год	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі води	Ручне управління зі АРМ оператора
7	Компресор	-	-	Управління	Управління	АРМ оператора	Ручне управління зі АРМ оператора
8	Видувна машина	-	-	Управління	Управління	АРМ оператора	Ручне управління зі АРМ оператора
9	Машина розливу	-	-	Управління	Управління	АРМ оператора	Ручне управління зі АРМ оператора

10	Машина укопорування	-	-	Управління	Управління	АРМ оператора	Ручне управління зі АРМ оператора
----	------------------------	---	---	------------	------------	------------------	---

## 1.4 Розробка функціональної схеми лінії розливу води в пляшки

Автоматичні системи можна розглядати як складні комплекси, в яких різні елементи взаємодіють один з одним, виконуючи специфічні функції та перетворюючи сигнали, що містять інформацію для контролю та управління процесами. Залежно від функціонального призначення, елементи автоматизації можна поділити на три основні категорії:

Сенсори (сприймаючі елементи) — це пристрої, які здійснюють вимірювання параметрів і перетворюють ці значення у сигнали, що підлягають подальшій обробці та передаються до інших компонентів системи. Вони безпосередньо відповідають за отримання інформації про стан процесу.

Проміжні елементи (керуючі елементи) — ці компоненти отримують сигнали від датчиків та виконують функції посилення, перетворення та маршрутизації сигналів для їх подальшого використання в інших частинах системи. Це можуть бути підсилювачі, реле, стабілізатори, розподільники, випрямлячі та інші компоненти, що забезпечують необхідну обробку та управління.

Виконавчі елементи — ці пристрої виконують конкретні фізичні операції, такі як рух, вимірювання або передачу сигналів. До таких елементів відносяться двигуни, насоси, вимірювальні прилади та сигнальні пристрої, які безпосередньо впливають на хід технологічного процесу.

Датчики, які використовуються в системах автоматизації, відрізняються за принципом роботи та конструкцією. Вони можуть бути електричними, механічними, акустичними, оптичними, гідравлічними або фізико-хімічними, і кожен тип має своє специфічне призначення в процесі вимірювання та збору даних

Приклад функціональної схеми автоматизації:

Контур вимірювання тиску:

Датчик тиску Danffos MBS1900 (1a) вимірює параметри тиску і передає сигнал до модуля аналогових входів МПК, де цей сигнал обробляється програмою для подальшого використання в системі автоматизації процесу розливу.

Контур вимірювання та регулювання рівня:

Датчик рівня LR-200 (2б) передає сигнал в модуль аналогових входів IPC, де він обробляється програмою. У разі необхідності регулювання, з виходу IPC генерується керуючий сигнал (4-20 мА), який надходить на частотний перетворювач ABB ACS310 (2в), що регулює роботу насоса М2 для наповнення контейнера.

Контур вимірювання та регулювання наявності тари:

Оптичний датчик OS A45A-32N-10-LZ (3б) передає сигнал до модуля аналогових входів IPC. Якщо рівень тари не відповідає вимогам, генерується сигнал управління (4-20 мА), який направляється до частотного перетворювача ABB ACS310 (3в) для регулювання роботи машини розливу М6.

Контур вимірювання витрати:

Для вимірювання витрати використовуються датчики FLUXUS G800 (5б) для газу та FDM Micro Motion (4б, 6б) для рідини. Сигнали від датчиків передаються на модуль аналогових входів IPC для обробки. У разі відхилення від заданих параметрів, на виході формується сигнал управління (4-20 мА), який надходить на електропневматичні перетворювачі ERD-NAF-N-53 (4в, 5в, 6в). Ці перетворювачі генерують пневматичні сигнали для керування клапанами подачі води та газу (Omal D365XE72), забезпечуючи точне регулювання витрат.

Частотні перетворювачі:

Частотні перетворювачі ABB ACS310 (7а, 8а, 9а, 10а, 11а, 12а) відповідають за керування різними двигунами: насосами М1, М3, М4, М5, М7 та машиною укопорування М8. Всі перетворювачі підключені до відповідних модулів аналогових виходів для забезпечення точного контролю роботи системи.

Ця схема автоматизації ефективно координує роботу численних датчиків і виконавчих елементів, дозволяючи здійснювати точний моніторинг і управління технологічними процесами в реальному часі.

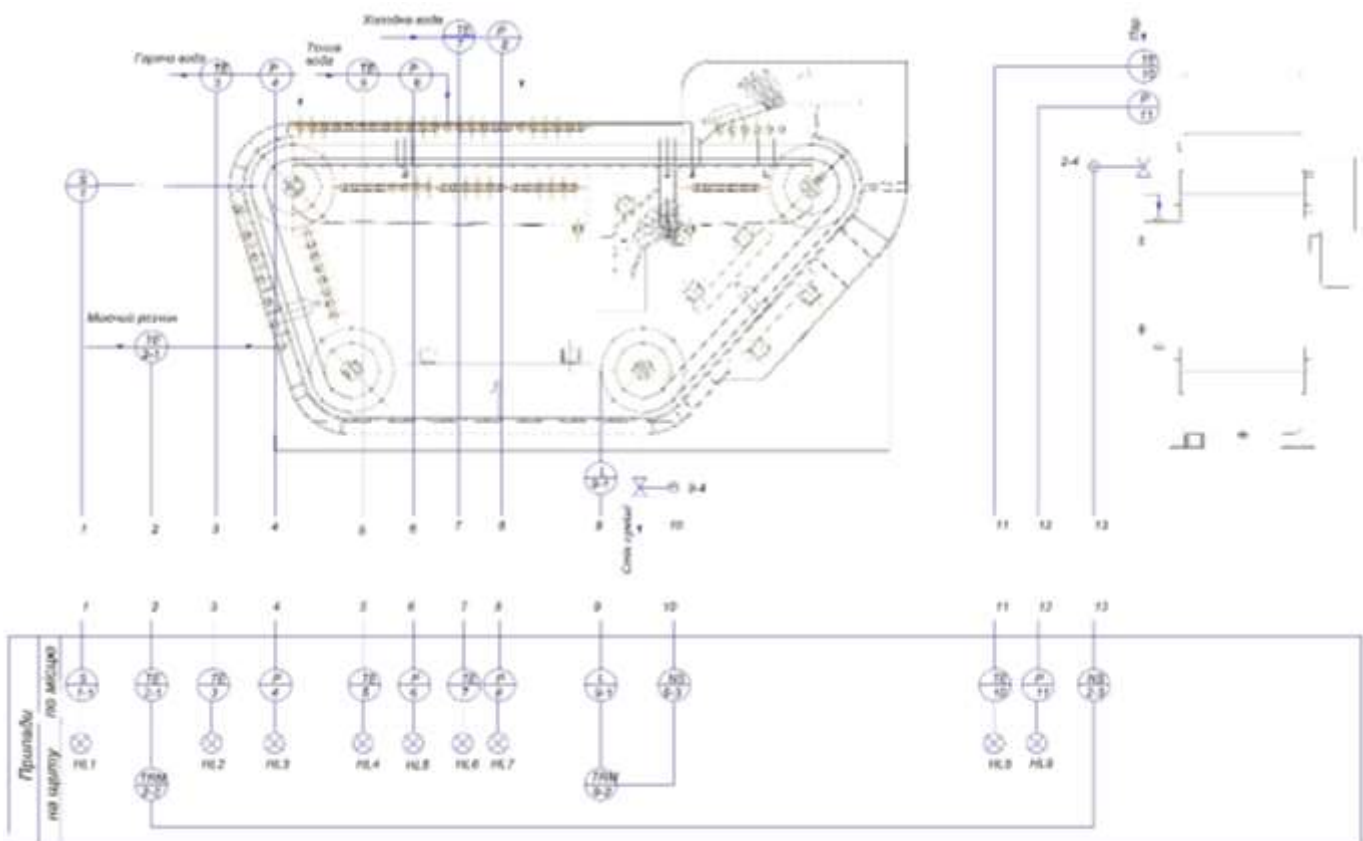
## **1.5 Специфікація засобів автоматизації**

№ п. п.	№ Позиції за схемою	Найменування і технічна характеристика виробу	Тип, марка	Одиниця вимірювання	Кількість, шт.	Примітка
1	1а	Перетворювач тиску: Пристрій призначений для вимірювання та регулювання надлишкового тиску в різних середовищах, таких як рідини, газу, пари та нафтопродукти. Діапазон вимірювання: від 0 до 1 МПа з точністю 0,125%. Конструкція: Корпус має запатентовану конструкцію Coplanar, що забезпечує підвищену надійність. Основна похибка: складає $\pm 0,065\%$ - 0,04%.	Danfoss MBS1900	Па	1	Danfoss, Данія
2	4в,5в, 6в	Електропневматичний перетворювач: Вхідний сигнал: 4-20 мА. Вихідний сигнал: 20-100 кПа. Номинальний тиск повітря живлення: 140 кПа.	ERD-NAF-N-53		3	Samozzi, Італія
3	4г,5г, 6г	Пневматичний клапан: Вхідний сигнал: 20-100 кПа. Вихідний сигнал: 0-100% ХРО. Умовний прохід: 160 мм. Умовний тиск: 2 ... 5 МПа.	Omal D365XE 72		3	Omal, Італія
4	2б	Sitrans LR 200: імпульсний радарний рівнемір з стержньовою антеною і фланцевим приєднанням. Частота 6 ГГц, діапазон вимірювання до 20 м. Призначений для безперервного контролю рівня рідин і шламів у резервуарах зберігання, а також у робочих резервуарах, що експлуатуються при високих температурах і тисках.	LR-200	%,м	1	Siemens, Німеччина

5	46,66	<p>Електромагнітний витратомір PEM-1000 призначений для вимірювання об'ємного потоку електропровідних рідин. Цей регулятор потоку здатний контролювати витрату та об'єм рідини, що проходить через нього, у прямому та зворотному напрямках. Для забезпечення точності вимірювань важливо, щоб труба була повністю заповнена вимірюваною середою.</p> <p>Витратомір можна використовувати для вимірювання витрати в'язких рідин, емульсій і різноманітних хімічних розчинів, включаючи агресивні речовини.</p> <p>Області застосування:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Водопостачальні підприємства (для вимірювання питної води та стічних вод);</li> <li>• Хімічна, текстильна та гірська промисловість;</li> <li>• Харчова промисловість;</li> <li>• Енергетика та теплопостачання.</li> </ul>	PEM-1000	м <sup>3</sup> /год	2	Aplisens, Польща
6	56	<p>Витратомір має надійний водонепроникний корпус, що дозволяє використовувати його в польових умовах. Прилад сертифікований за стандартами ATEX для зон 1 і 2, що робить його ідеальним для безперервного вимірювання витрати рідини в умовах вибухонебезпеки. Всі електронні компоненти захищені в експлозійнозахищеній оболонці. Клемні контакти та сполучна коробка також відповідають стандартам "підвищеної безпеки". Вхідні та вихідні з'єднання, а також підключення датчиків, надійно герметизовані та розділені.</p>	FLUXUS G800	л/год	1	FLEXIM, Німеччина
7	2в,3в, 7а-12а	<p>Перетворювач частоти оснащений аналоговим входом, що підтримує діапазони 0-10 В, 0-20 мА та 4-20 мА. Прилад живиться від мережі з напругою 180–264 В АС. Вихідна частота варіюється в межах 0–240 Гц. Здатен працювати в температурному діапазоні від 0 до 55 °С.</p>	ABB ACS310		8	ABB, Швейцарія

## Автоматизація пляшкової машини

На рис. 5.1. показано схему автоматизації пляшкочийної машини.



Малюнок 5.1. Схема автоматизації пляшкочийної машини.

Автоматизація роботи пляшкочийної машини забезпечує такі основні функції:

- Автоматизоване регулювання та контроль рівня миючого розчину у ванні машини.
- Автоматичне налаштування та контроль температури миючого розчину, що подається через розпилювальні форсунки.
- Система автоматичного контролю обертів привідного вала конвеєра з сигналізацією на випадок відхилень.
- Автоматизований контроль параметрів тиску й температури холодної, теплої та гарячої води, що надходить через форсунки.
- Контроль за тиском і температурою пари, яка постачається в нагрівальний блок машини, з відповідною сигналізацією.

Регулювання рівня миючого розчину здійснюється через систему контролю стоку, що включає датчик рівня, регулятор ТРМ-1, магнітний пускач ПФ-40 і кроковий двигун.

Температура миючого розчину, що подається з форсунок, контролюється шляхом регулювання кількості гріючої пари у нагрівальному блоці, де використовуються термopара ТХАП-551, регулятор ТРМ, магнітний пускач ПФ-40 та кроковий двигун.

## **РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ**

### **2.1 Розробка математичної моделі підігріву миючого розчину**

Тепловий баланс процесу підігріву миючого розчину в нагрівачі:

$$G_p \times C_p \times (t_K - t_{\Pi}) = G_{\Gamma\Pi} \times r_{\Gamma\Pi}, \quad (2.1)$$

Де  $G_p$  - витрати розчину, що використовується, кг/год;

$C_p$  - теплоємність розчину, кДж/кгК;

$t_P$  - початкова температура розчину;

$t_K$  - кінцева температура розчину;

$G_{ГП}$  – витрати гарячого пару;

$r_{ГП}$  - питома теплота пароутворення пари, що гріє, кДж/кг.

Теплове навантаження нагрівача:

$$Q = G_p \times C_p \times (t_K - t_P), \quad (2.2)$$

Масова витрата пару:

$$G_{ГП} = \frac{Q}{r_{ГП}}, \quad (2.3)$$

Об'єм витрат пару:

$$V_{ГП} = \frac{G_{ГП}}{r_{ГП}}, \quad (2.4)$$

Де  $r_{ГП}$  – щільність пару, кг/м<sup>3</sup>.

Основне рівняння теплопередачі:

$$dQ = K \times dF \times \Delta t, \quad (2.5)$$

Де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>К;

$\Delta t$  – різниця температури між середовищами;

$F$  – площа поверхні теплообміну, м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \sum \frac{\delta}{\alpha} + \frac{1}{a_2}}, \quad (2.6)$$

Де  $a_1$  і  $a_2$  – коефіцієнти теплопередачі;

$\sum \frac{\delta}{\alpha}$  – термічний опір стінки.

Розрахункова поверхня теплообміну нагрівача:

$$F = \frac{Q}{K} \times \Delta t_{cp}, \quad (2.7)$$

Де  $\Delta t_{cp}$  – середня різниця температури <sup>0</sup>с;

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2,3 \ln \left( \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)}, \quad (2.8)$$

Де  $\Delta t_1 = t_{гп} - t_H$ ,  $\Delta t_2 = t_{гп} - t_K$

Де  $t_{гп}$  – температура пару, що гріє  $^{\circ}\text{C}$ .

## 2.2 Алгоритм роботи лінії розливу води в пляшки

Розроблено алгоритм роботи промислового логічного контролера (ПЛК) для запуску системи автоматизованого розливу в тару. Схему цього алгоритму показано на рисунку 2.1.

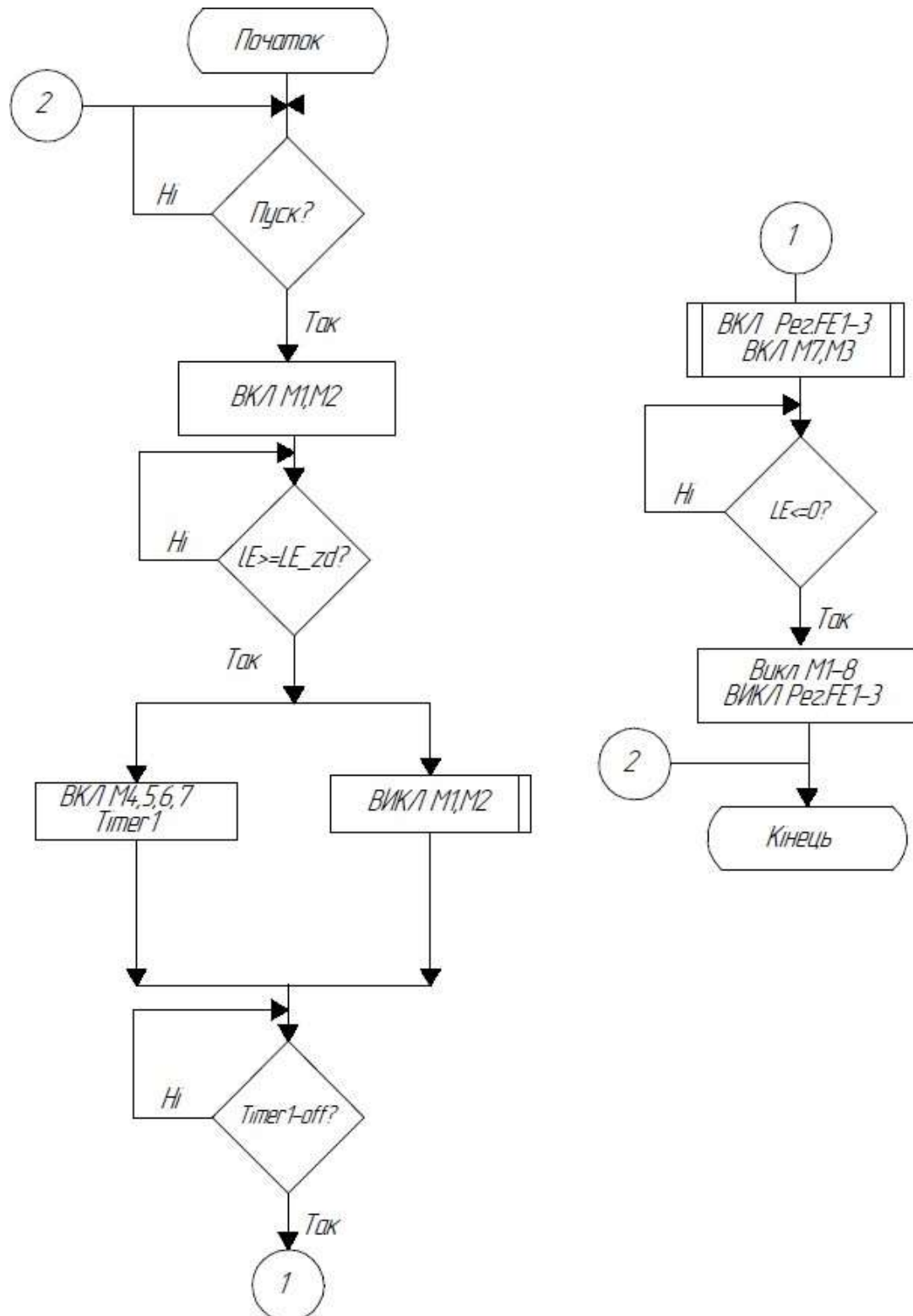


Рис. 2.1 Блок-схема алгоритму роботи програми.

Програма виконує наступний алгоритм:

1. Натискається кнопка "ПУСК", запускаються двигуни насосів М1 та М2.
2. Система очікує до заповнення ємності до заданого рівня.
3. Після досягнення необхідного рівня вимикаються двигуни насосів М1 та М2, активуються регулятори двигунів апаратів М4, М5, М6, а також запускається таймер.
4. Після завершення часу, встановленого таймером, вмикаються регулятори витрати FE1-3 і двигуни насосів М3 та М7.
5. Рівень у ємності знижується до 0 (ємність спорожнена).
6. Вимикаються всі двигуни (М1-М8) та регулятори витрати FE1-3.
7. Завершення циклу. Повернення до початку для повторення процесу.

## РОЗДІЛ 3 АРГУМЕНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ

### 3.1 Сприймаючі елементи

Danffos MBS1900:



Рис. 3.1 Danffos MBS1900.

Для управління насосами та повітряними компресорами використовуються датчики, які забезпечують частотний контроль. Одним із таких пристроїв є MBS1900, розроблений спеціально для частотних насосів, вентиляторів та компресорів з тисковим контролем. Діапазон робочого тиску цього пристрою варіюється від 0 до 6, 10, 16 і 25 бар, а основна похибка становить -1%. MBS1900 функціонує при температурах від 0 до 80°C. Дані про тиск передаються всередині контролера, а частота сигналу змінюється в межах аналогового діапазону від 4 до 20 мА. Пристрій живиться від джерела постійного струму з напругою від 12 до 30 В.

Пристрій MBS1900 регулює вихідний сигнал так, що 4 мА відповідають нульовому тиску, а 20 мА — максимальному. Однак реле для запуску та зупинки мають обмежені можливості. Для забезпечення стабільної оберткової швидкості насоса застосовується режим, у якому зовнішні пристрої контролюють продуктивність. У разі використання насоса з фіксованою обертковою швидкістю створюється постійний потік рідини, а додатковий опір регулює рівень потоку до необхідних показників.

Частотне регулювання дозволяє насосам в системах з закритим контролем тиску працювати з мінімальним споживанням енергії. Для реалізації такої системи потрібно два пристрої: частотний перетворювач і датчик тиску. Вони взаємодіють із контролером PID частотного перетворювача, передаючи інформацію про поточний тиск у трубопроводі. Пристрій MBS1900 адаптований для використання в насосних системах і забезпечує вимірювання в діапазоні 0-6, 0-10, 0-16 і 0-25 бар, передаючи дані у форматі 4-20 мА.

#### Овен ПСУ-1

Для вимірювання рівня води в резервуарах використовується підвісний сигналізатор рівня Овен ПСУ-1 (див. рис. 3.3.3). Цей пристрій автоматично вимикає насос високого тиску у випадку недостатньої кількості води для його коректної роботи. Сигналізатор призначений для контролю наповнення та спорожнення резервуарів з водою і іншими неагресивними рідинами, які не завдають шкоди матеріалам ПСУ, включаючи рідини з твердими частками. Датчики рівня доступні з неопреновим кабелем, довжина якого може бути 5, 10 або 20 метрів, в залежності від потреб користувача.



Рис. 3.2 Загальний вигляд Овен ПСУ-1 підвісного сигналізатора рівня

#### Принцип дії

Поплавковий вимикач закріплений на міцному гнучкому кабелі і має герметичний мікроперемикач. Коли датчик занурюється в рідину, його корпус відхиляється, що активує мікроперемикач. Це, у свою чергу, вмикає або вимикає електричний ланцюг, що дозволяє активувати або зупинити роботу виконавчого механізму, наприклад, насоса чи клапана. На схемі (рис. 3.3) показано принцип роботи ПСУ для управління пристроями при досягненні (1) мінімального та (2) максимального рівнів спрацьовування.

#### Застосування сигналізатора рівня ОВЕН ПСУ-1

Поплавковий вимикач використовується для контролю рівня різних рідин, включаючи стічні води, агресивні хімікати та харчові продукти. Використання ПСУ-1 як сигналізатора рівня у вигрібних ямах, системах стічних вод або каналізації спрощує налаштування схеми управління насосом. Сигналізатори рівня ПСУ-1 здатні функціонувати в широкому діапазоні температур від 0 до +70 °С, навіть у хімічно агресивних середовищах. Датчик виготовлений з поліпропілену, а кабель — з неопрену.

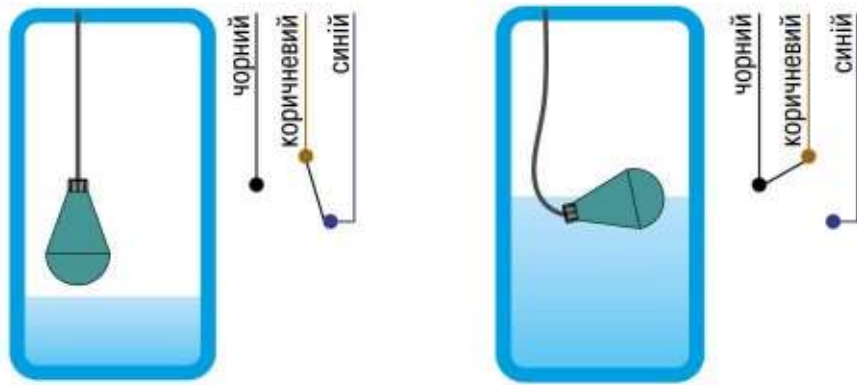


Рис.3.3 Застосування сигналізатора рівня ОВЕН ПСУ-1  
LA18-55.5A1.U7.K:



Рис 3.4 Зовнішній вигляд LA18-55.5A1.U7.K.

Оптичний приймач LA18-55.5A1.U7.K використовується для виявлення об'єктів у контрольованій зоні. Він працює разом з оптичним випромінювачем LA30-55.10P4.U1.K, обидва розташовані на одній осі один навпроти одного. Інфрачервоний промінь від випромінювача спрямовується до приймача, і, коли об'єкт потрапляє в контрольовану зону, датчик реагує на переривання променя. У цей момент електронний ключ датчика активує вихідний сигнал (PNP відкривається), і на корпусі загоряється світловий індикатор. Максимальна відстань для дії датчика становить 10 000 мм, а допустима освітленість робочої зони – до 10000 люксів.

Датчик оптичний LA18-55.5A1.U7.K:

- Корпус циліндричної форми з різьбленням.
- Матеріал корпусу — алюмінієвий сплав Д16Т.
- Захист від пилу і вологи відповідає стандарту IP67.

Габарити корпусу: M18x1x56.

- Робочий діапазон температур: від  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+65^{\circ}\text{C}$ .
- Підключення здійснюється через кабель  $3 \times 0,34 \text{ мм}^2$ .

Схема підключення:

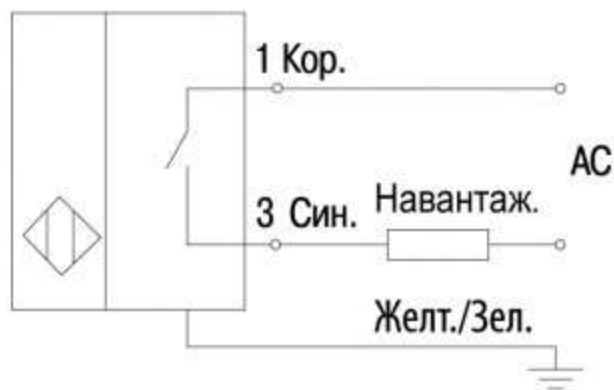


Рис. 3.5 Схема підключення LA18-55.5A1.U7.K  
Габаритні розміри:

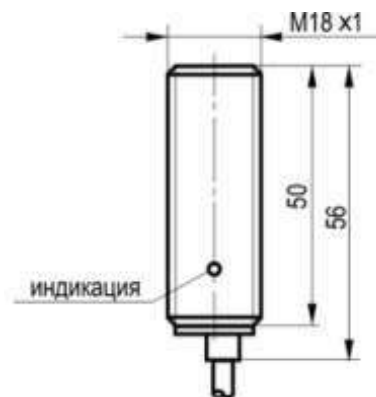


Рис 3.6 Габаритні розміри LA18-55.5A1.U7.K

FLUXUS G800:



Рис 3.7 Зовнішній вигляд FLUXUS G800

Газовий витратомір G800 оснащений вогнетривким корпусом, що відповідає стандарту захисту IP66, і працює за допомогою магнітної ручки, яка дозволяє надійно закрити корпус. Це робить його ідеальним для використання в екстремальних умовах, зокрема на підприємствах з переробки газу, в видобуванні природного газу, а також у хімічній і нафтохімічній промисловості.

Витратомір G800 використовує безконтактну ультразвукову технологію для точного вимірювання двонаправлених і високодинамічних потоків газу. Прилад здатний вимірювати як робочі, так і стандартні об'ємні потоки, а також вимірювати вологий газ із вмістом рідини до 5%. Діапазон діаметрів труб, для яких підходять перетворювачі, варіюється від DN 7 до DN 1600, а температурні режими – від  $-160^{\circ}\text{C}$  до  $+400^{\circ}\text{C}$ . Окрім цього, вимірювання витрати не залежить від внутрішнього тиску в трубопроводі, густини газу, його в'язкості та складу, а також від наявності пилу і вологи.[6]

#### Переваги:

- Безконтактне ультразвукове вимірювання потоку з використанням затискачів — не потребує розрізання або зварювання трубопроводів.
- Економічність: процес вимірювання не вимагає зупинки обладнання для

монтажу, пристрій майже не потребує технічного обслуговування завдяки стабільному з'єднанню та ефективному захисту.

- Призначений для використання в небезпечних зонах — сертифіковано для зон АTEX та IECEx 1.
- Точність та надійність двонаправленого вимірювання фактичних і стандартних об'ємних потоків газів, з широким діапазоном коефіцієнтів зниження.
- Корпус і перетворювачі з нержавіючої сталі SS316, а також міцні кріплення з армованих сталевих тросів, що забезпечують стійкість до корозії та морської води.
- Висока стабільність нульової точки і відсутність дрейфу завдяки використанню парних перетворювачів і вбудованій температурній компенсації (сумісність з ANSI/ASME).
- Два типи технологічних перетворювачів — Lamb і Shear Waves — для досягнення максимальної точності вимірювань.
- Безпечне і точне вимірювання навіть у випадку з вологими газами.
- Автоматичне розпізнавання підключених перетворювачів і даних калібрування, що полегшує використання і спрощує налаштування завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу.
- Розширені діагностичні інструменти для оптимізації налаштувань та контролю роботи вимірювальної системи.

#### Використання:

- Обробка газу, видобуток та транспортування природного газу, а також його зберігання.
- Вимірювання потоків газу на трубопроводах і в сховищах природного газу.
- Контроль параметрів синтезованого та нагнітального газу.
- Використання в газовому господарстві для вимірювань.
- Хімічна промисловість.
- Нафтохімічна галузь.

## Принцип дії:

Для належної роботи вимірювального приладу, такого як витратомір, важливо точно визначати кількість газу або рідини, що протікає через пристрій. Різні типи витратомірів застосовують різні принципи вимірювання, але всі вони орієнтовані на точне визначення потоку, що важливо для таких сфер, як виробництво напівпровідників або управління технологічними процесами.

Витратомір може вимірювати або масу, або об'єм потоку. Для обчислення потоку рухомої речовини в трубопроводі використовується формула, де потік визначається як добуток площі поперечного перерізу труби на швидкість руху речовини ( $Q = A * v$ ). Якщо йдеться про масовий потік, то він розраховується за формулою  $\dot{m} = Q * \rho$ , де  $Q$  — швидкість потоку, а  $\rho$  — густина рухомої речовини. У багатьох випадках масовий потік є більш важливим, особливо при операціях купівлі/продажу газу, хімічних реакціях або процесах горіння.

Існує кілька типів витратомірів, які класифікуються в залежності від специфіки їх використання. Це можуть бути механічні, оптичні або відкриті каналні витратоміри. Кожен з цих типів має унікальні характеристики, що дозволяють застосовувати їх в різних умовах вимірювань та для специфічних завдань.

FDM Micro Motion:



Рис. 3.8 Зовнішній вигляд FDM Micro Motion

Вимірювач щільності з прямим введенням — це пристрій, що забезпечує високий рівень гнучкості при установці та можливість безперервного вимірювання щільності та концентрації речовин в реальному часі. Він може бути використаний для моніторингу параметрів у трубопроводах, байпасах та резервуарах, що робить його незамінним для контролю технологічних процесів у промислових системах.

Такий вимірювач має конструкцію, що дозволяє легко встановлювати його в потрібних точках системи. Його можна застосовувати для вимірювання щільності та концентрації речовин у різних типах резервуарів, трубопроводів і байпасних ліній. Ключовою перевагою цього пристрою є його здатність здійснювати безперервні вимірювання в реальному часі, що дозволяє оперативно відслідковувати зміни параметрів і коригувати процеси відповідно до варіацій щільності та концентрації.

#### Переваги:

- Гнучкість установки: можливість безперервного вимірювання в реальному часі в трубопроводах, байпасах і резервуарах, що забезпечує високу адаптивність.
- Вибір корозійностійких матеріалів: широкий асортимент матеріалів для вимірювання щільності та концентрації агресивних хімічних сполук.
- Покращена стійкість: зменшення тертя та підвищена надійність покриття

завдяки використанню алмазоподібного вуглецю (DLC).

- Швидка перевірка та налаштування: вбудовані діагностичні функції для швидкої перевірки справності та встановлення приладу.
- Підтримка кількох протоколів: можливість підключення до систем DCS, PLC і комп'ютерів для моніторингу потоку.
- Безпека в небезпечних зонах: підтримка сертифікованого передавача для небезпечних зон, що дозволяє проводити локальну конфігурацію та налаштування.
- Розширене використання: можливість детальнішого ознайомлення з особливими моделями вимірювачів щільності та в'язкості через інструмент для створення схем.

#### Технічні характеристики:

- Точність щільності:  $\pm 1,0$  кг/м<sup>3</sup> ( $\pm 0,001$  г/см<sup>3</sup>)
- Діапазон робочої щільності: 0-3000 кг/м<sup>3</sup> (0-3 г/см<sup>3</sup>)
- Діапазон робочих температур – короткий стрижень:  $-50$  °C до  $+200$  °C ( $-58$  °F до  $+392$  °F)
- Діапазон робочих температур – довгий стрижень:  $-40$  °C до  $+150$  °C ( $-40$  °F до  $+302$  °F)
- Матеріали:
  - 1) Частина, що зволожується – це короткоствольний лічильник: Нержавіюча сталь 304 або 316L, сплав C22, титан або цирконій.
  - 2) Частина, що змочується – довгостроковий лічильник:
  - 3) Сплав C22 для довжини стебла до 2 м (6,5 футів). Нержавіюча сталь 316L для лічильників довжиною до 4 м (13 футів).
- Обробка зубів: стандартне покриття DLC (Diamond-Like Carbon) або електрополіроване
- Корпус передавача: пофарбований поліуретаном алюміній або нержавіюча сталь 316L
- Місцевий дисплей:
  - 4) дворядковий сегментований РК-екран.

- 5) Можна повертати на передавачі з кроком 90 градусів для зручності перегляду
  - 6) Підходить для експлуатації у небезпечних зонах.
  - 7) Оптичний перемикач для конфігурації та відображення небезпечних зон.
  - 8) Скляна лінза.
  - 9) Триколірний світлодіод вказує на стан лічильника та оповіщення.
- Функції відображення:
    - 10) перегляд змінних процесу.
    - 11) Переглядайте та підтверджуйте сповіщення.
    - 12) Налаштування виходів mA та RS-485.
    - 13) Підтримує перевірку відомої щільності (KDV).
    - 14) Підтримує декілька мов.
  - Доступні вихідні канали (залежно від опції електронного інтерфейсу):
    - 15) Один або два зовнішні (пасивні) виходи 4–20 mA
    - 16) Канал А становить 4–20 mA + HART  
Канал В становить 4–20 mA
    - 4) Один вихід із зовнішнім (пасивним) періодом часу (TPS).
    - 5) Один дискретний вихід із зовнішнім живленням (пасивний).
    - 6) Один вихід Modbus/RS-485 Також можна замовити з процесором для використання з дистанційним передавачем 2700 FOUNDATION fieldbus.

### **3.2 Виконавчі механізми**

ERD-NAF-N-53:



Рис. 3.9 Зовнішній вигляд ERD-NAF-N-53.

ERD-NAF-N-52 — це позиціонер, що функціонує за електропневматичним принципом з двостороннім дією. Він призначений для керування поворотними приводами та не обладнаний вибухозахисними характеристиками. Позиціонер має тип з'єднання NAMUR і не включає в себе вбудовані кінцеві датчики. Окрім того, є опція оснащення пристрою дросельним отвором діаметром 1 мм. [8].

#### Характеристики позиціонерів:

- Відсутність резонансних коливань при роботі позиціонера в частотному діапазоні від 5 до 200 Гц.
- Можливість здійснення контролю з точністю 1/2 поділу без потреби в додаткових перехідниках.
- Легкість у налаштуванні нуля та діапазону.
- Простота переходу між зворотною і прямою дією.
- Легке переключення між приводом з пружинним поверненням і приводом двосторонньої дії.
- Швидке підключення зворотного зв'язку відповідно до стандарту ISO 5211 або Namur.
- Оперативна та точна реакція.
- Мінімальний витрат повітря.
- Високий рівень захисту від пульсацій завдяки використанню компактної вихідної діафрагми в приводі.

- Простота монтажу повітряних трубок з'єднань в будь-якому напрямку.
- Можливість бездротового виконання позиціонера (за замовленням).Схема підключення:

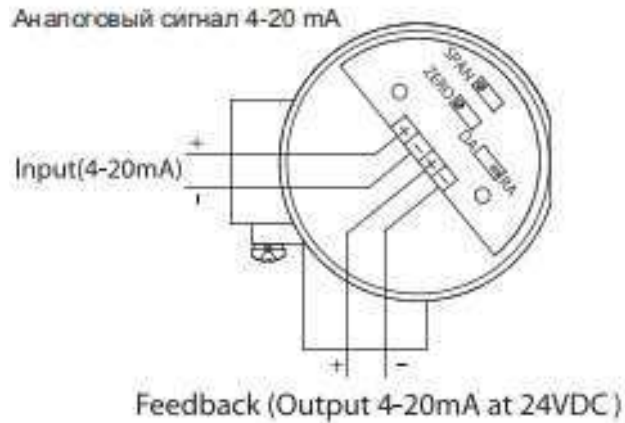


Рис 3.10 Схема підключення ERD-NAF-N-53.

Omal D365XE72:

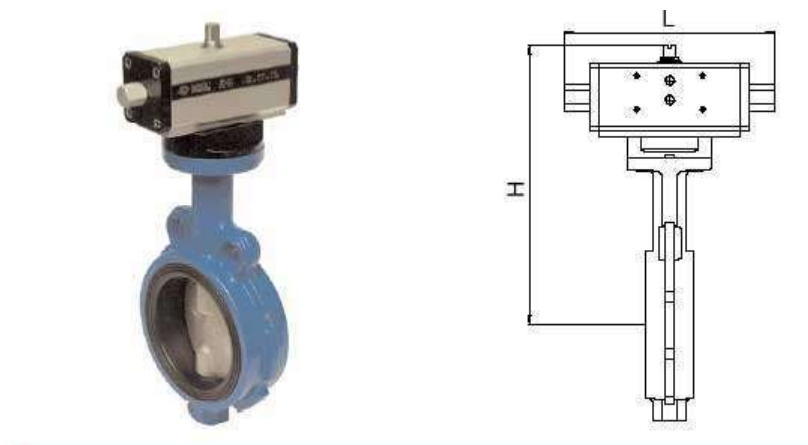


Рис. 3.11 Зовнішній вигляд Omal D365XE72

Ці клапани є найбільш поширеними через їх тривалий строк експлуатації, високу ступінь вибухо- та пожежної безпеки, а також легкість в автоматизації процесів.[9]

Механізм передачі:

Механізм коромисла (Scotch Yoke) є одним із найбільш надійних і ефективних способів перетворення лінійного руху поршня в обертальний рух вихідного валу. Він забезпечує стабільну та точну передачу руху, що дозволяє досягти високої точності в позиціонуванні. Однією з основних переваг цього механізму є його простота та міцність, що робить його менш схильним до

поломок і забезпечує тривалий термін експлуатації.

Ключовою особливістю механізму коромисла є його здатність працювати під великими навантаженнями, зберігаючи ефективність навіть при високому рівні зносу. Порівняно з іншими механізмами, коромисло має менше рухомих частин, що знижує ймовірність несправностей і полегшує технічне обслуговування.

Окрім того, цей механізм забезпечує рівномірний і плавний рух, що робить його ідеальним для застосувань, де необхідна висока точність і стабільність роботи. Приводи OMAŁ, оснащені механізмом коромисла, відповідають цим вимогам і є надійним та ефективним рішенням для різних галузей промисловості.

#### Привід OMAŁ з кулісним механізмом:

Використання механізму коромисла для чвертьоборотних клапанів (кулькових і дискових) має низку важливих переваг, серед яких основними є:

**Компактність приводу:** механізм дозволяє зменшити розміри приводу, одночасно збільшуючи крутний момент саме в критичних точках, таких як відкриття і закриття клапана, де момент опору досягає максимальних значень (як показано на діаграмах моменту).

**Підвищена міцність і довговічність:** завдяки шипоподібній передачі, механізм коромисла не піддається тим самим згинальним навантаженням, які виникають у зубчастих передачах, що забезпечує більшу стійкість і тривалий термін служби.

**Економія стисненого повітря:** зменшення об'єму приводу дозволяє знизити витрати стисненого повітря, що робить систему більш енергоефективною.

Ці переваги роблять механізм коромисла ефективним і надійним рішенням для чвертьоборотних клапанів.

Hydro-Vacuum MVA, MVB

Для насосного агрегату обирається одноступінчастий насос серії Hydro-Vacuum MVA або MVB (рис. 3.12, табл. 3.1).



Рис. 3.12 Одноступінчастий насос Hydro-Vacuum MVA, MVB

Насоси Hydro-Vacuum MVA та MVB є одноступінчастими відцентровими лопатевими насосами з моноблочною конструкцією, що забезпечують ефективну всмоктуючу здатність. У цих моделях робоче колесо та двигун розміщені на одному валу, при цьому насос і двигун використовують спільну систему підшипників. Підшипники мають двостороннє закриття і забезпечуються мастилом на весь період експлуатації.

Ці насоси призначені для перекачування чистих, негорючих та вибухобезпечних рідин, без твердих часток і довговолоконистих включень. Компоненти насоса виготовляються з матеріалів, стійких до корозії, що виникає при контакті з перекачуваними рідинами. Для виготовлення використовують сірий чавун, бронзу або аустенітну сталь.

Насоси типу MV використовуються в наступних сферах:

- Водопостачання та водопровідні системи.
- Промисловість (системи підвищення тиску, охолодження, циркуляція технологічної води).
- Теплоелектричні станції (ТЕЦ).
- Промислові системи охолодження.
- Сільське господарство (системи іригації).
- Протипожежні системи (гідранти).

- Системи для перекачування палива та агресивних рідин.
- Хімічні виробництва.
- Системи інженерії середовища.

Таблиця 3.1 Технічні характеристики одноступінчастого насосу

Параметр	Значення
Продуктивність	до 500 м3/год
Висота підйому	до 95 м
Температура робочої рідини	-10...+110 °С
Робочий тиск	16 бар
Обороти	1500 MVB
Потужність двигуна	до 55 кВт
Ущільнення валу	механічне
Всмоктувальний патрубок	DN 50...200 мм
Напірний патрубок	DN 32...150 мм

ABB ACS310:



Рис 3.13 Зовнішній вигляд KIPPRIBOR AFD-L.

KIPPRIBOR AFD-L є універсальним приводом, призначеним для роботи з обладнанням, що має змінний момент навантаження, зокрема для насосних станцій підкачки та вентиляційних систем. Цей привод має широкий функціонал, що

дозволяє ефективно управляти роботою вентиляторів і насосів, зокрема завдяки каскадному управлінню та використанню ПІД-регуляторів.

Основна особливість приводу полягає в його здатності здійснювати точне регулювання продуктивності електродвигуна, з урахуванням змін витрат, тиску в трубопроводах та інших зовнішніх факторів. Це забезпечує більш ефективну роботу обладнання, знижуючи рівень шуму та вібрацій. Крім того, привод KIPPRIBOR AFD-L оснащений низкою додаткових функцій, таких як захист від перевантажень, зниження швидкості розгону та гальмування, контроль зміни напруги і частоти, а також можливість інтеграції в системи автоматизації будівель.

### **Переваги:**

Однією з головних переваг цього приводу є його уніфікація по висоті та глибині на всьому діапазоні потужностей, що дозволяє ефективно використовувати простір. Інтелектуальна панель управління дозволяє швидко налаштовувати параметри ПІД-регуляторів, налаштовувати годинники реального часу та комунікаційні інтерфейси, а також оптимізувати роботу приводу.

Привод також підтримує функцію управління кількома насосами або вентиляторами через систему PFC, що дозволяє одному приводу керувати декількома пристроями, які працюють в залежності від потреб. Додаткові двигуни можуть бути відключені, в той час як основні продовжують працювати.

Для захисту насосів передбачено кілька функцій, зокрема прочищення трубопроводів, заповнення трубопроводів, а також контроль вхідного та вихідного тиску, що дозволяє виявляти недовантаження або перевантаження.

Також наявність ПІД-регуляторів дозволяє точно налаштовувати продуктивність приводу відповідно до вимог конкретного застосування. Лічильники електричної енергії обчислюють економію енергії, зменшення викидів CO<sub>2</sub> та витрати на електроенергію, що дозволяє значно скоротити витрати.

Вбудований протокол Modbus дозволяє здійснювати комунікацію без використання зовнішніх протоколів. Компактні розміри приводу дозволяють ефективно розміщувати його в обмежених просторах.

FlashDrop — це пристрій для програмування, що забезпечує швидке завантаження параметрів в привід, навіть коли він вимкнений. З його допомогою

можна копіювати параметри з одного приводу на інший, а також зберігати їх на ПК для подальшого використання.

### Входи та виходи:

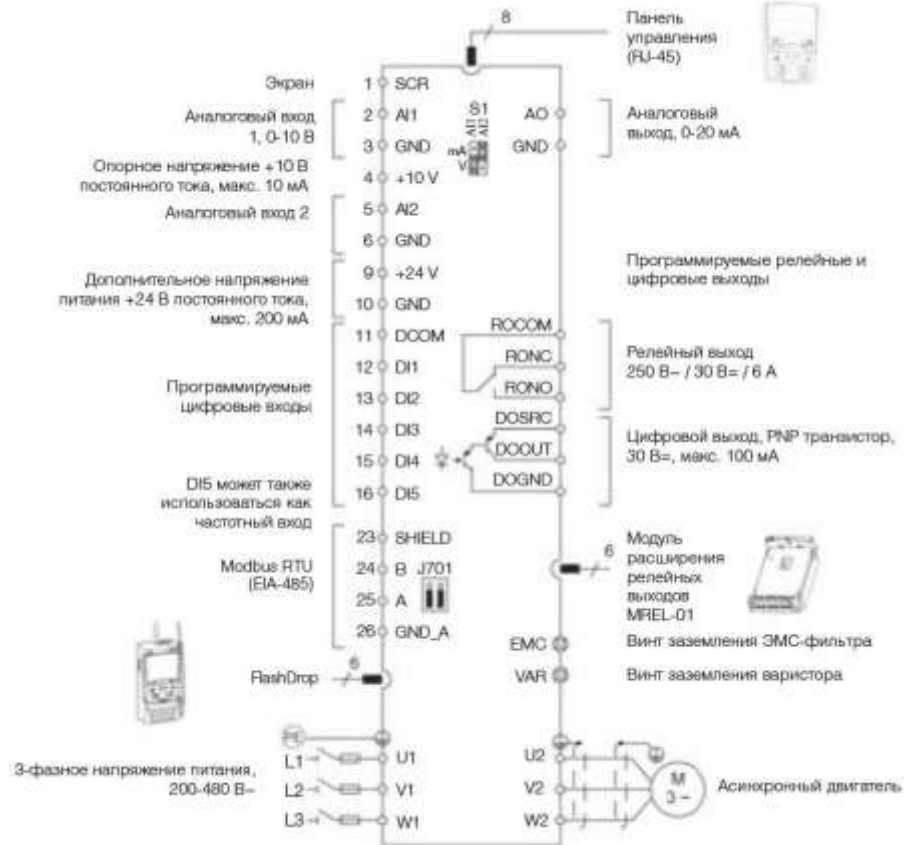


Рис 3.14 Входи на виходи KIPPRIBOR AFD-L.

### 3.3 Реалізація цифрового ПІ-регулятора

У цифрових системах також можна реалізувати ПІ-закон регулювання, подібно до неперервних систем. Процес синтезу ПІ-регулятора полягає в визначенні параметрів  $K_p$  і  $K_i$ . Параметр, що відповідає за інтегральну складову регулятора та залежить від добротності по швидкості  $K_v$  неперервної частини, може бути розрахований за допомогою формули 4.1.

$$K_i = K_v \lim z - 1 W_{н.ч(z)} \quad (3.11)$$

Добротність за швидкістю визначається на основі постійної часу об'єкта.

(табл. 3.6.1.).

Таблиця 3.2 Співвідношення добротності за швидкістю від постійної часу об'єкта

$T_0, c$	$K_v$
$\sim 1$	$3 \dots 10$
$\sim 10$	$0,3 \dots 1$
$\sim 100$	$0,01 \dots 0,04$
$\sim 1000$	$0,004 \dots 0,012$

Згідно з таблицею,  $K_v = 0,01$  при  $T_0 = 550$  с. Для визначення передатної функції  $W_{н.ч.}(z)$  використовуємо пакет програм MATLAB (рис. 3.6.2), застосовуючи операції для задання передатної функції неперервної системи та Z-перетворення неперервної передатної функції в дискретну форму за допомогою функції  $wz = c2d(w, T)$  (рис. 3.6.2).

де  $w$  – змінна, що отримала вираз неперервної передатної функції,  
 $T$  – крок квантування.

В середовищі Matlab введемо команду:

`wz=c2d(w,62.8)`

отримаємо такий результат:

```
Transfer function:
0.02006 z^2 + 0.01335 z + 0.0001367
-----
z^3 - 0.9501 z^2 + 0.05174 z
- 2.002e-005

Sampling time: 62.8
```

Рис. 3.15 Визначення передатної функції  $W_{н.ч.}(z)$

При синтезі ПІ-регулятора ми припускаємо, що мала постійна часу системи керування (СЕ) не впливає суттєво на результат, тому її можна знехтувати.

Тоді:

$$K_i := \frac{0.01}{\left( \frac{0.002006 \cdot 1 + 0.01335 + 0.00013}{1^2 - 0.9501 \cdot 1 + 0.05174 + 0.00002} \right)} = 6.6$$

Після визначення параметра  $K_i$ , параметр  $K_p$  вибирається таким чином, щоб компенсувати полюс  $Z$ -перетворення неперервної частини системи.

Передатна функція ПІ-регулятора має наступний вигляд:

$$W_{\text{ПІ}}(z) = \frac{K_i \cdot T}{2} \frac{z+1}{z-1} = \frac{2 \cdot K_p \cdot z - 2 \cdot K_p + K_i \cdot T \cdot z + K_i \cdot T}{2z-2} = \frac{(2 \cdot K_p + K_i \cdot T)z + (K_i \cdot T - 2 \cdot K_p)}{2(z-1)} = \frac{(2 \cdot K_p + K_i \cdot T) \left[ z + \frac{K_i \cdot T - 2 \cdot K_p}{2 \cdot K_p - K_i \cdot T} \right]}{2(z-1)} \quad (3.12)$$

Для компенсації полюсу необхідно визначити такий параметр  $K_p$ , який задовольнятиме відповідне рівняння.

Значення параметра  $K_p$  обчислюється за допомогою програми MathCAD (рис. 3.15).

Given

$$\frac{K_i \cdot T - 2 \cdot K_p}{K_i \cdot T + 2 \cdot K_p} = 0.000197$$

$$\text{Find}(K_p) = 3.281$$

Рис. 3.6.3. Знаходження параметру  $K_p$  за допомогою програми MathCAD

Для аналізу показників якості роботи системи використовуємо модель, реалізовану в середовищі Simulink (рис. 3.16).

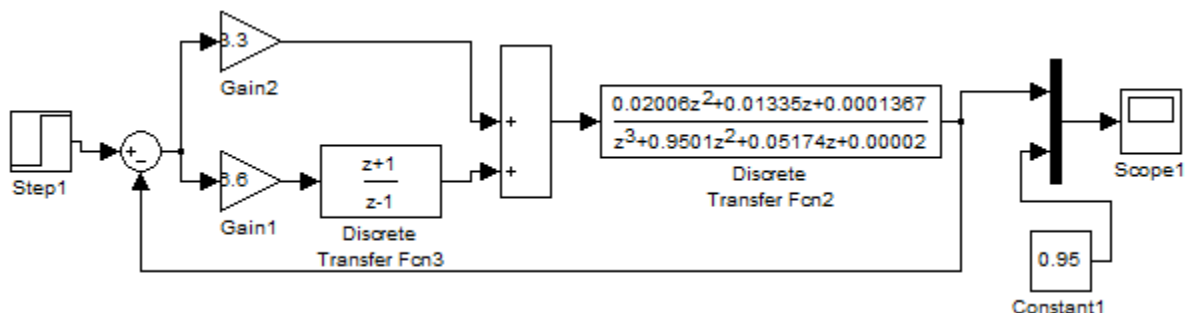


Рис. 3.16 Структурна модель цифрової системи

Та в результаті отримаємо перехідний процес системи з ПІ-регулятором (рис. 3.6.5).

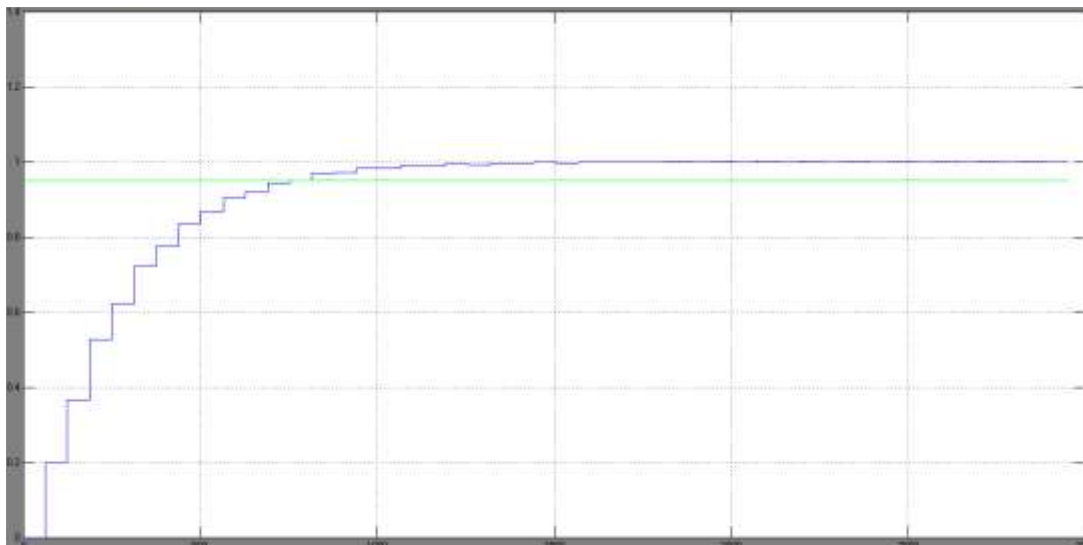


Рис. 3.17 Перехідний процес системи з ПІ-регулятором.

### 3.4 Дослідження цифрової системи автоматичного керування на стійкість та якість

Використовуючи розімкнуту передатну функцію цифрової системи  $W_{роз}(z)$ , визначаємо замкнуту передатну функцію  $W_{зам}(z)$ , розв'язуємо відповідне рівняння та обчислюємо характеристичні корені.

$$W(p) := \frac{33}{9.68e6 \cdot p^3 + 1.6676e6 \cdot p^2 + 58000.0 \cdot p + 133.0} \cdot \frac{28.4p - 18.2}{6.6p - 6.6}$$

Отримаємо рівняння в z-перетворенні

$$W(z) := \frac{142.0 \cdot z - 91.0}{(z - 1.0) \cdot (9.68e6 \cdot z^3 + 1.6676e6 \cdot z^2 + 58000.0 \cdot z + 133.0)}$$

У результаті було отримано таке характеристичне рівняння:

$$9.68e6 \cdot z^4 - 8.0124e6 \cdot z^3 - 1.6096e6 \cdot z^2 - 57867.0 \cdot z - 133.0 = 0$$

Використавши програмне середовище Mathcad можна знайти можливі корені рівняння:

$$z := (-0.00246535485787517003990.125345444637357851680.044461927777494251003.0)$$

Згідно з теорією Джурі, визначимо, чи задовольняють знайдені корені критерії стійкості системи:

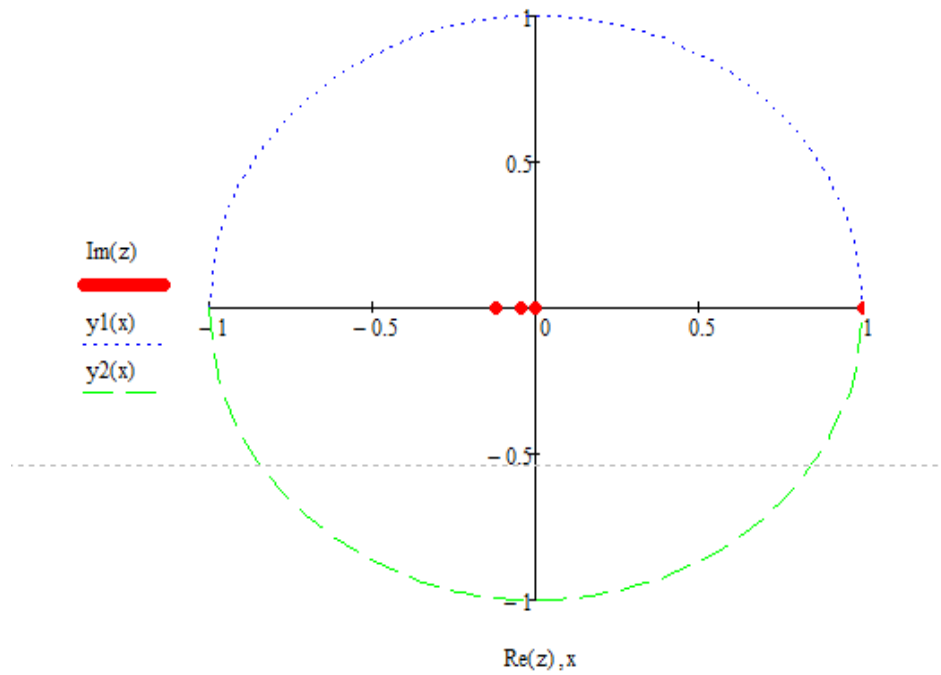


Рис. 3.18 Корені характеристичних рівняння на площині.

Згідно рис. 3.18 визначаємо:

- час регулювання  $tp = 550c$ ;
- перерегулювання  $\sigma = 0$ ;
- коливальність  $n = 0$ .

### 3.5 Вибір керуючого елемента

ПЛК200. Контролер для малих і середніх систем автоматизації



Рис. 3.19 ПЛК200

ПЛК200 — це мікропроцесорний контролер, що відзначається компактними розмірами та високою потужністю. Він забезпечує високу продуктивність і швидкість обробки даних, що робить його ідеальним для створення автоматизованих систем контролю та управління технологічними процесами на промислових підприємствах.

Логіка роботи контролера програмується за допомогою середовища розробки Codesys V3.5, що забезпечує підтримку всіх мов програмування, визначених стандартом МЕК 61131-3:

- LD: Релейно-контакторні схеми;
- FBD: Функціональні блокові діаграми;
- SFC: Послідовні функціональні діаграми;
- ST: Структурований текст;
- IL: Список інструкцій.

Параметр	Значення (властивості)
Живлення	
Напруга живлення	10...48 В (номінальна 24 В)

Споживана потужність, не більше	10 Вт
Захист від переполюсування	Є
Обчислювальні ресурси	
Центральний процесор	RISC-процесор Texas Instruments Sitara AM3358, 800 МГц
Об'єм флеш-пам'яті (тип пам'яті)	512 Мбайт (NAND)
Об'єм оперативної пам'яті (тип пам'яті)	256 Мбайт (DDR3)
Об'єм Retain-пам'яті (тип пам'яті)	64 Кбайт (MRAM)
Час виконання порожнього циклу (стабілізований)	3 мс
Інтерфейси зв'язку	
Ethernet 100 Base-T	
Кількість портів	2 × Ethernet 10/100 Мбіт/с (RJ45)
Підтримувані промислові протоколи*	ModBus TCP (Master / Slave), OPC UA (Server), MQTT, SNMP (Manager/Agent)
Підтримувані прикладні протоколи	NTP, FTP, SSH, HTTP, HTTPS
RS-485	
Кількість портів	1
Підтримувані протоколи*	Modbus RTU (Master / Slave), Modbus ASCII (Master / Slave), ОВЕН (Master), Протоколи тепло/електролічильників
Швидкості передачі	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с
Підтягувальні резистори	Є

USB Device	
Кількість портів	1 × micro USB (RNDIS)
Підтримувані протоколи	CODESYS Gateway, FTP, SSH, HTTP, HTTPS
Накопичувачі, що їх підключають	
SD card	
Кількість рознімачів	1
Тип	microSD
Максимальна ємність	4 ГБ (microSD), 32 ГБ (microSDHC), 512 ГБ (microSDXC)
Годинник реального часу	
Похибка ходу, не більше: при температурі +25 °С при температурі -40 °С і +55 °С	3 секунди за добу 18 секунд за добу
Тип джерела живлення	Батарея CR2032
Термін роботи на одній батареї	5 років
Загальні відомості	
Габаритні розміри	(82 × 124 × 83) ±1 мм
Маса, не більше	1,2 кг
Ступінь захисту корпусу за ДСТУ EN 60529	IP20
Індикація на передній панелі	Світлодіодна
Вбудоване обладнання	Джерело звукового сигналу Двопозиційний тумблер СТАРТ / СТОП Сервісна кнопка
Середнє напрацювання на відмову**	60 000 год
Середній термін служби	8 років

Таблиця 3.4 Дискретні входи (DI і FDI)

Параметр	Значення (властивості)	
	Дискретні входи (DI)	Швидкі дискретні входи (FDI)
Режими роботи	визначення логічного рівня	визначення логічного рівня лічильник високочастотних імпульсів вимірювання частоти обробка сигналів енкодера
Тип входів за ДСТУ EN 61131-2	1	
Максимальний струм «логічної одиниці»	5,5 мА	
Максимальний струм «логічного нуля»	1,3 мА	
Напруга «логічної одиниці»	9...30 В	
Напруга «логічного нуля»	0...5,5 В	
Гістерезис включення «логічної одиниці», не менше	0,5 В	
Вхідні пристрої, що їх підключають	контактні датчики, трипроводові датчики, що мають на виході транзистор n-p-n або p-n-p-типу з відкритим колектором	контактні датчики, трипроводові датчики, що мають на виході транзистор n-p-n або p-n-p-типу з відкритим колектором, АВ і АВZ енкодери
Мінімальна тривалість	3 мс*	5 мкс

імпульсу, що сприймається входом		
Максимальна частота вхідного сигналу	300 Гц*	95 кГц 45 кГц**

Таблиця 3.5 Аналогові входи (AI)

Параметр		Значення
Сигнали, що їх підключають		див. таблицю
Розрядність АЦП		16 біт
Час опитування одного входу, не більше*	Уніфіковані сигнали	0,6 с
	ТО	0,9 с
	ТП	0,6 с
	Опору	0,6 с

Параметр		Значення
Межа основної зведеної похибки при вимірюванні	Уніфіковані сигнали	$\pm 0,25 \%$
	ТО	$\pm 0,25 \%$
	ТП	$\pm 0,5 \%$
	Опору	$\pm 0,25 \%$
Максимальна додаткова похибка, викликана впливом електромагнітних завад, не більше		$\pm 0,3 \%$
Додаткова похибка, викликана зміною температури навколишнього середовища, на кожні 10 градусів, не більше		0,5 межі допустимої основної зведеної похибки вимірювання

**ПРИМІТКА**

Оскільки входи опитуються по черзі, загальний час опитування є сумою часів опитування для всіх активних входів. Якщо в параметрі «Тип датчика» вибрано значення

«Датчик відключений», цей датчик виключається з процесу опитування.

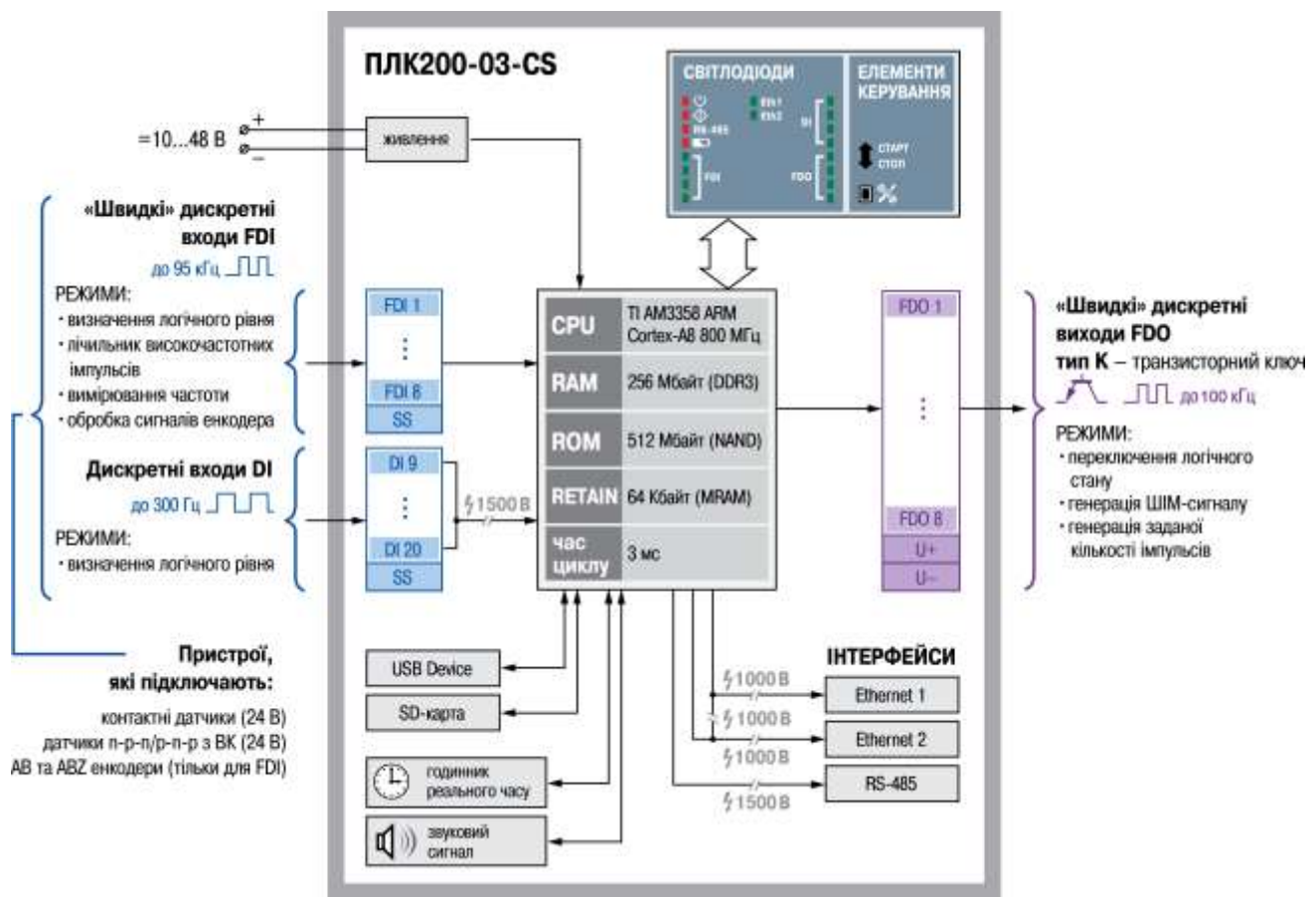


Рисунок 3.20 Функціональна схема ПЛК200-03-CS

### Конструкція

Контролер має конструкцію, що дозволяє його встановлення на DIN-рейку (35 мм) або кріплення безпосередньо на стіну.

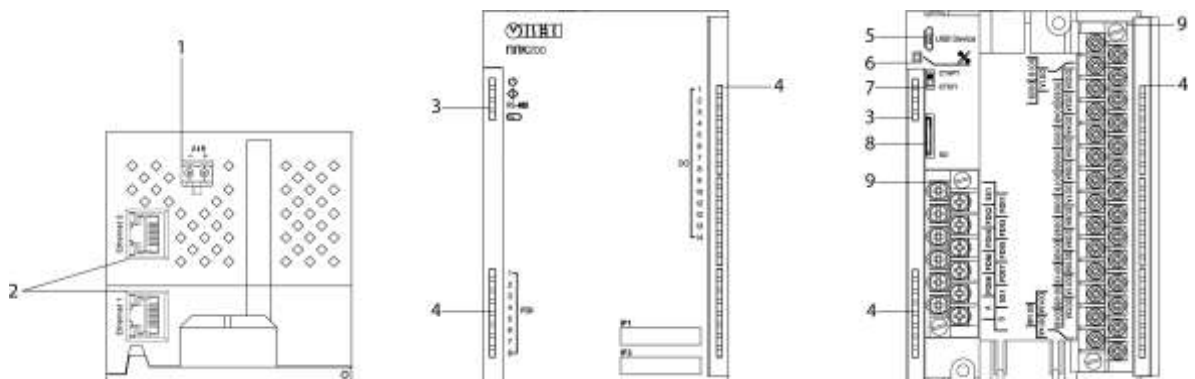


Рис. 3.3 ПЛК200-03-CS вигляд спереду, збоку, іззаду

Таблиця 3.7 Опис елементів конструкції

№	Найменування	Опис
1	Порт 24 В	Порт живлення (див. розділ 5.2)

2	Ethernet (Рознімач RJ45)	Порти Ethernet 100 Base-T для підключення контролера до локальних мереж, передачі даних і програмування (див. розділ 5.8)
3	Найменування	Опис
4	Світлодіодні індикатори стану контролера	Індикація стану контролера (див. розділ 3.3): Живлення ; Робота ; Передача даних по інтерфейсу RS-485; Батарея
5	Світлодіодні індикатори стану входів і виходів	FDI – швидкі дискретні входи; DI – дискретні входи; FDO – швидкі дискретні виходи; DO – дискретні виходи; AI – аналогові входи
6	USB Device (роз'єм Micro-USB)	Порт для налаштування контролера, завантаження проектів і налагодження ПЗ (див. розділ 5.9)
7	Сервісна кнопка	Виконує такі функції: дискретний вхід; оновлення вбудованого ПЗ
8	Тумблер СТАРТ/СТОП	Двопозиційний перемикач (див. розділ 3.5)
9	SD	Слот для підключення SD-карти (див. розділ 3.4)
10	Знімні клемні колодки	Для підключення датчиків, виконавчих механізмів та інтерфейса RS-485 (див. розділ 5.3)

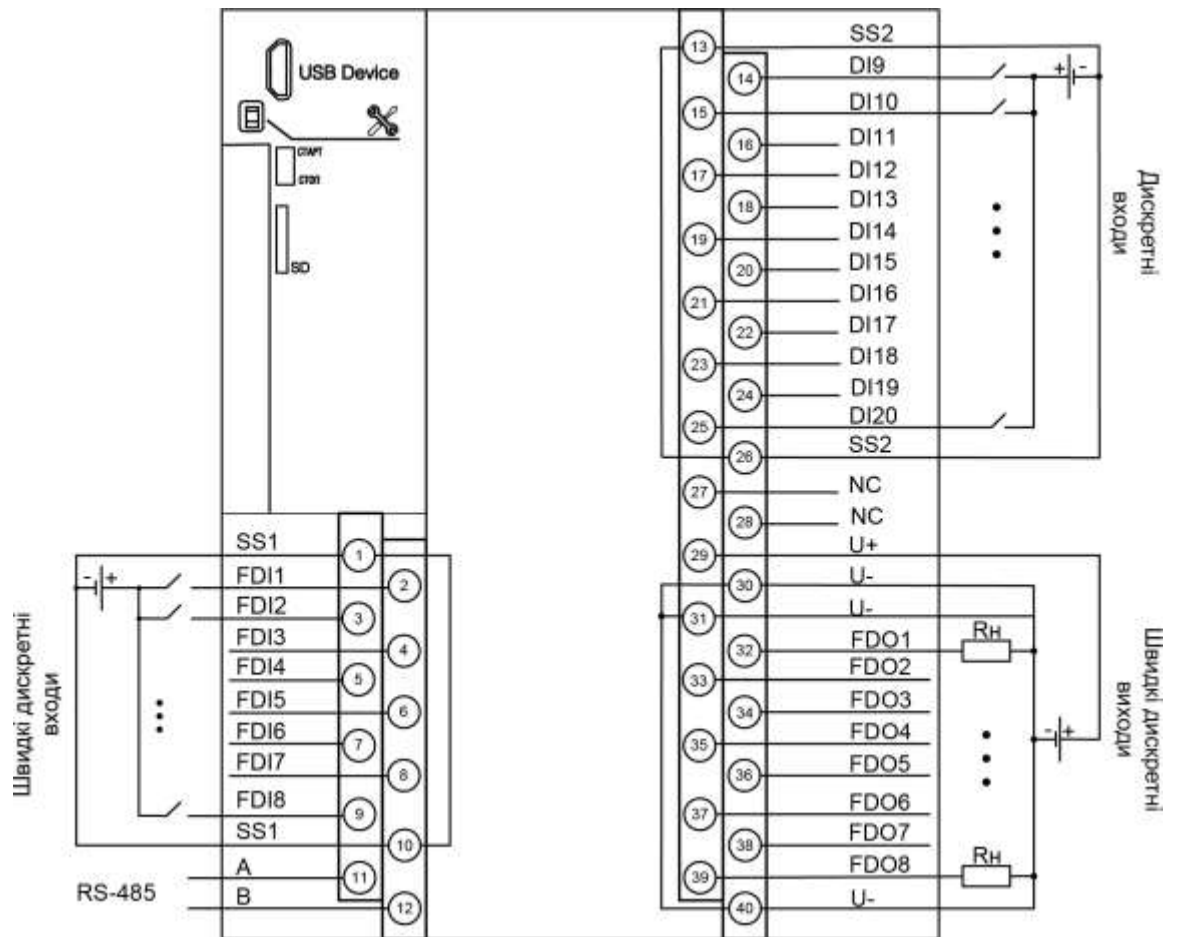


Рис. 3.21 Схема входів і виходів в ПЛК200-03-CS

Таблиця 3.8 Призначення контактів клемника (модифікація 03)

Найменування	Призначення
FDI1–FDI8	Швидкі дискретні входи
SS1	Загальні точки входів FDI1–FDI8
DI9–DI20	Дискретні входи
SS2	Загальні точки входів DI9–DI20
FDO1–FDO8	Швидкі дискретні виходи типу транзисторний ключ
A, B	Клеми для підключення по інтерфейсу RS-485
U+, U–	Напруга живлення виходів FDO1–FDO8
NC (Not connected)	Немає підключення

## **РОЗДІЛ 4. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ**

### **4.1. Постановка задачі дослідження.**

Комп'ютерне моделювання дає змогу створювати віртуальні моделі систем і проводити експерименти в умовах, близьких до реальних, для аналізу їх поведінки та оптимізації параметрів і структури. Використання таких моделей у системах автоматичного регулювання (САР) дозволяє вивчати різні аспекти їх функціонування та вибирати найбільш підходящі параметри для забезпечення стабільності, високої якості та енергоефективності.

Також комп'ютерне моделювання дозволяє досліджувати САР з технологічними об'єктами, враховуючи їх змінність, нелінійність і невизначеність — ключові фактори при проектуванні таких систем. Це дає можливість виявляти проблеми на ранніх етапах і вносити корективи для покращення роботи системи. Крім того, за допомогою моделювання можна значно скоротити час, необхідний для

проектування та тестування САР, що є важливим у контексті сучасного швидкого технологічного прогресу.

Задача: для системи автоматизації процесу розливу в тару необхідно провести перевірку стійкості системи за допомогою методу Михайлова.

#### 4.2. Вибір об'єкта керування та його математичної моделі.

Для розробки передавальних функцій було використано конкретне керівництво, яке надало необхідні вказівки та рекомендації для моделювання. Розробка передавальних функцій і побудова блок-схеми об'єкта є ключовими етапами моделювання, оскільки дозволяють здійснити детальний аналіз системи. Використане керівництво забезпечило методологічну підтримку і сприяло кращому розумінню процесів, що відбуваються в системі.[15]

Тепер запишемо рівняння системи в операторній формі, враховуючи нульові початкові умови і підставляючи конкретні числові значення коефіцієнтів і постійних часу.

$$(20p + 1) \times \Delta X_1(p) = 1.5 \times \Delta U_1(p) + 0.9 \times Z_1(p) + 0.2 \times \Delta X_2(p) \quad (4.1)$$

$$(18p + 1) \times \Delta X_2(p) = 0.9 \times U_2(p) + 1.1 \times \Delta X_1(p) \quad (4.1)$$

$$(22p + 1) \times \Delta X_3(p) = 0.5 \times Z_3(p) + 0.9 \times \Delta X_2(p) \quad (4.1)$$

Визначимо передаточні функції:

$$W_{1U}(p) = \frac{\Delta X_1(p)}{\Delta U_1(p)} = \frac{1.5}{20p + 1}; \quad W_{1Z}(p) = \frac{\Delta X_1(p)}{\Delta Z_1(p)} = \frac{0.9}{20p + 1}; \quad W_{21}(p) = \frac{\Delta X_1(p)}{\Delta X_2(p)} = \frac{0.2}{20p + 1};$$

$$W_{2U}(p) = \frac{\Delta X_2(p)}{\Delta U_2(p)} = \frac{0.9}{18p + 1}; \quad W_{12}(p) = \frac{\Delta X_2(p)}{\Delta X_1(p)} = \frac{1.1}{18p + 1};$$

$$W_{23}(p) = \frac{\Delta X_3(p)}{\Delta X_2(p)} = \frac{0.5}{22p + 1}; \quad W_{3Z}(p) = \frac{\Delta X_3(p)}{\Delta Z_3(p)} = \frac{0.9}{22p + 1};$$

Складаємо структурну схему об'єкта:

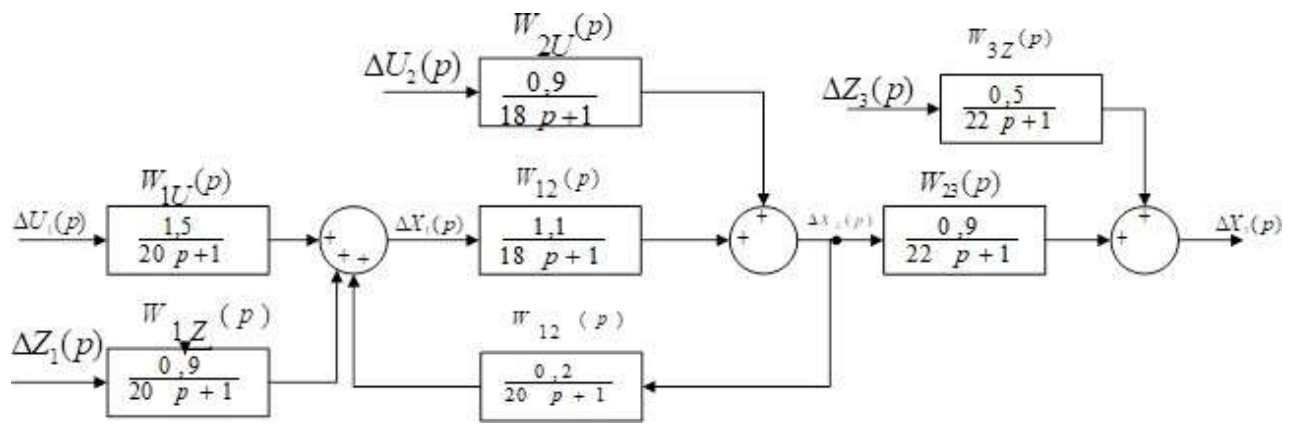


Рис. 4.1 Моделювання САР Аналіз стійкості системи:

Критерій Михайлова є математичним методом, який використовується для оцінки стійкості систем зворотного зв'язку. Цей метод дозволяє визначити, чи буде система стабільною при включенні зворотного зв'язку.

Для того, щоб застосувати критерій Михайлова для перевірки стійкості, потрібно мати передавальні функції об'єкта та зворотного зв'язку, а також параметри системи автоматичного регулювання (САР). Використовуючи ці дані, можна обчислити коефіцієнти стійкості та перевірити, чи відповідають вони встановленим вимогам.

У разі, якщо коефіцієнти стійкості не задовольняють вимоги, необхідно внести корективи до САР. Це може включати зміни в параметрах регулятора, коригування коефіцієнта підсилення зворотного зв'язку або інші налаштування. Після внесення змін необхідно знову провести перевірку стійкості, щоб упевнитися в її досягненні, і при необхідності зробити додаткові коригування.

Таким чином, перевірка стійкості за допомогою критерію Михайлова є важливим етапом у процесі розробки САР і дозволяє забезпечити стабільну та ефективну роботу системи в реальних умовах.

Згідно з критерієм Михайлова, для забезпечення стійкості системи потрібно, щоб повний приріст аргументу  $\psi(\omega)$  при зміні частоти  $\omega$  від 0 до  $\infty$  дорівнював  $n\pi/2$ , де  $n$  — порядок полінома  $D(p)$ . [2, 6].

Характеристичний поліном нашої системи системи, має вигляд:

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{W_p(p)W_{U1}(p)}{1 + W_p(p)W_{U1}(p)} = \frac{\frac{2.39 \times 7.05}{42553.2p^3 + 7234p^2 + 177.7p + 1}}{1 + \frac{2.39 \times 7.05}{42553.2p^3 + 7234p^2 + 177.7p + 1}}$$

$$= \frac{16.6}{42553.2p^3 + 7234p^2 + 177.7p + 17.9}$$

$$D(p) = 42553.2p^3 + 7234p^2 + 177.7p + 17.9 = 0$$

Підставимо замість  $p - (\omega j)$ . Отримаємо:

$$D(p) = 42553.2j\omega^3 + 7234\omega^2 + 177.7j\omega + 17.9$$

Для того, щоб побудувати годограф Михайлова, виділимо дійсну та уявну частини характеристичного поліному  $D(p)$ :

Дійсна:

$$X(\omega) = -7234\omega^2 + 17.9$$

Уявна:

$$Y(\omega) = -42553.2j\omega + 177.7j\omega$$

Побудуємо залежність, використовуючи Excel, підставивши значення частоти  $\omega$  в рівняння для дійсної та уявної частини, що дозволить отримати координати для побудови годографа).

w	X(w)	Y(w)
0,00	17,90	0,00
0,01	17,18	1,73
0,02	15,01	3,21
0,03	11,39	4,18
0,05	-0,19	3,57
0,06	-8,14	1,47
0,07	-17,55	- 2,16
0,08	-28,40	-

		7,57
0,09	-40,70	-
		15,03
0,10	-54,44	-
		24,78
0,12	-86,27	-
		52,21

За отриманими даними будемо годограф Михайлова за допомогою програмного середовища Excel

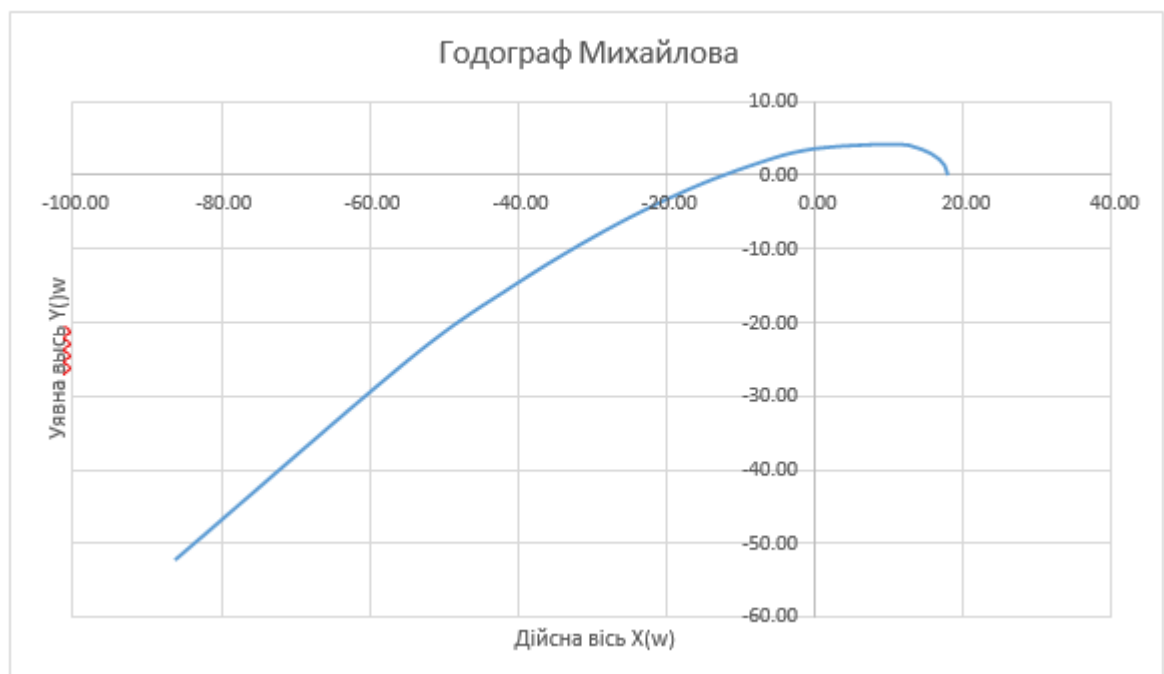


Рис. 4.2 Графік залежності  $Y(\omega)$  від  $X(\omega)$

У цьому розділі було розроблено структурну схему автоматичної системи регулювання (АСР) для процесу розливу в тару та проведено аналіз її стійкості за допомогою критерію Михайлова. Для дослідження використовували програмне середовище Excel, що дозволило значно скоротити час на проведення аналізу та підвищити його точність. Згідно з результатами, система виявилась стійкою, що підтверджується характеристичним поліномом третього порядку і плавним годографом Михайлова, який охоплює три чверті комплексної площини без різких коливань.

## РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

Перед початком розробки принципової електричної схеми системи автоматичного керування розливом води важливо врахувати питання безпеки та захисту обладнання. Кожен електричний двигун має бути підключений до індивідуального автоматичного вимикача з тепловим захистом для запобігання перевантаженням. Крім того, програмований логічний контролер (ПЛК) та магнітні пускачі, які використовуються для управління приводами двигунів, повинні бути захищені окремими автоматичними вимикачами. Для підвищення надійності і захисту цифрових виходів ПЛК рекомендується використовувати проміжні реле, що дозволяють зменшити навантаження на контролер і забезпечують стабільну роботу системи.

### 5.1. Вибір апаратів захисту та керування

Вибір автоматичного вимикача QF1.

Для захисту частотного перетворювача U1 потужністю 15 кВт у відповідності до розробленої схеми необхідно вибрати автоматичний вимикач, що відповідає вимогам щодо розрахункової потужності. При виборі вимикача слід врахувати такі характеристики частотного перетворювача, як споживаний струм, здатність до витримування короточасних перевантажень та інші параметри, що стосуються його захисту. Це дозволить підібрати оптимальний автоматичний вимикач, який забезпечить належний захист і ефективну роботу частотного перетворювача.

$U_{nd} = 380V$  ;

$I_{nd} = 48A$ .

Згідно з розробленою схемою, для захисту лінії живлення частотного перетворювача рекомендується використовувати автоматичний вимикач iK60N C 50A 3P (рис. 5.1) з технічними характеристиками: номінальна напруга  $U_{na} = 400V$ , номінальний струм  $I_{na} = 50A$ . Цей вимикач забезпечує захист від перевантаження та перегріву електродвигуна, при цьому, оскільки частотний перетворювач має вбудований захист для двигуна, автоматичний вимикач відповідає лише за захист лінії живлення. Такий вибір вимикача забезпечує ефективний захист системи і гарантує надійну роботу частотного перетворювача потужністю 15 кВт.



Рис. 5.1. Автоматичний вимикач iK60N

Згідно з технічним завданням, у системі автоматичного керування передбачено використання програмованого логічного контролера, 12 електричних приводів та одного магнітного пускача.

Для досягнення необхідного рівня захисту потрібно вибрати автоматичний вимикач, який відповідає заданим технічним характеристикам:

$U_n = 240V$  ;

$I_n = 2A$ .

Обираємо автоматичний вимикач iK60N (рис. 5.2) з наступними технічними характеристиками:  $U_{na} = 240V$  ;  $I_{na} = 2A$  .



Рис. 5.2. Автоматичний вимикач iK60N

Вибір електромагнітного пускача KM1.

Електромагнітний пускач повинен відповідати наступним вимогам:

$$U_n > 380V$$

$$I_n > 50F$$

$$U_k = 220V$$

Згідно умов обираємо електромагнітний пускач LC1D65AM7 (рис. 5.3) з наступними основними характеристиками:  $U_n = 440V$  ;  $I_n = 65A$ ;  $U_k = 220V$  .



Рис. 5.3. Електромагнітний пускач LC1D65AM7

Вибір проміжного реле KL1.

Проміжне реле повинно мати такі характеристики: контакт 1.

малий струм обмотки;

$$U_k = 24V .$$

Використовуючи перелічені умови ми обираємо проміжне реле MY4-NS 24V DC (рис. 5.4) з наступними основними характеристиками: кількість контактів – 4 групи;

$I_n = 5\text{A}$  при  $U_n = 240\text{V}$  ;  $U_k = 24\text{V}$  .

Вибір двопозиційного перемикача SA1.

Перемикач повинен відповідати таким вимогам: напруга  $U_s > 24\text{V}$  та струм  $I_s > 0.5\text{A}$ . Для цього обираються двопозиційні перемикачі з нульовим положенням XB5AD33 (рис. 5.5), які мають такі основні характеристики: напруга  $U_s = 220\text{V}$  та струм  $I_s = 3\text{A}$ .



Рис. 5.4. Проміжне реле MY4-NS 24V DC



Рис. 5.5. Двопозиційний перемикач з нульовим положенням XB5AD33

Для управління системою використовуємо безфіксаційну кнопку "Старт" зеленого кольору ZB5 AA33 (рис. 5.6), а також кнопку "Старт-Стоп" ZB5 AW833743 (рис. 5.7) для перемикання між режимами.



Рис. 5.6. Кнопка без фіксації "Старт" зелена ZB5 AA33



Рис. 5.7. Кнопка "Старт-Стоп" ZB5 AW833743

## 5.2 Вибір проводів та кабелів

Для монтажу в щиті ми обираємо одножильний провід, який здатний витримати максимальний струм до 10 А. Для визначення необхідного перерізу проводу, ми вибираємо провід типу ПВ-1 (1x1) з площею поперечного перерізу 0,5 мм<sup>2</sup>, що відповідає вимогам щодо максимально допустимого струму 10 А, що забезпечує його ефективну та безпечну експлуатацію.

При підключенні частотного перетворювача до електродвигуна, також слід врахувати такі умови:

$$U_n > 380V ; I_n > 65A ; n = 4 .$$

Відповідно до технічних вимог, для забезпечення належного струмового навантаження обираємо кабель ВВГ (4x25) з площею поперечного перерізу 6 мм<sup>2</sup>, що відповідає максимально допустимому струму 75 А в умовах прокладання в повітрі.

Оскільки сумарний струм на ввіді становить 75 А, для підключення ввідного ланцюга вибираємо броньований кабель ВБбШв (4x25), який забезпечує необхідний рівень захисту та витримує відповідне навантаження.

### 5.3 Розробка принципової схеми

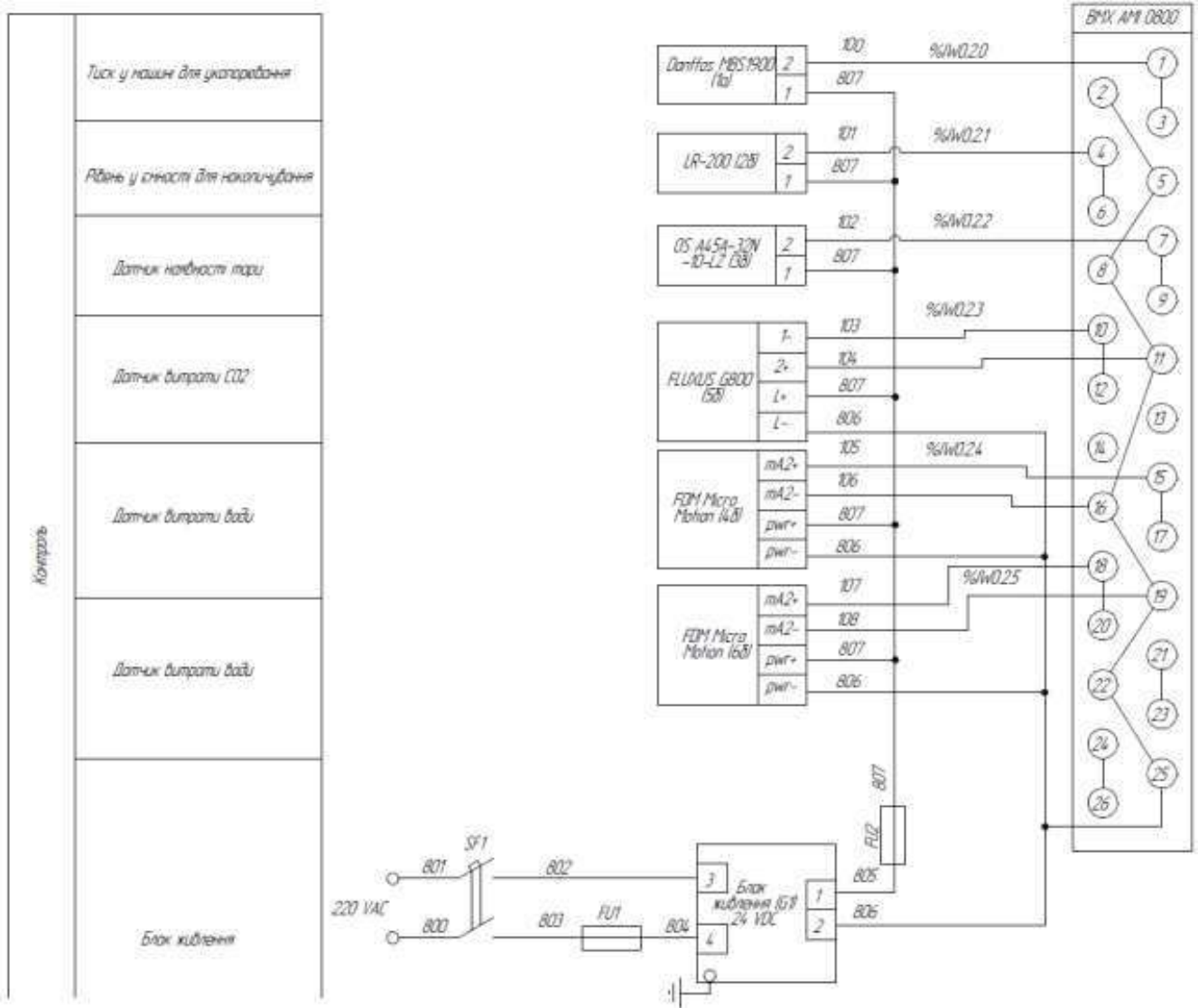


Рис. 5.8 Підключення датчиків до модуля аналогових входів

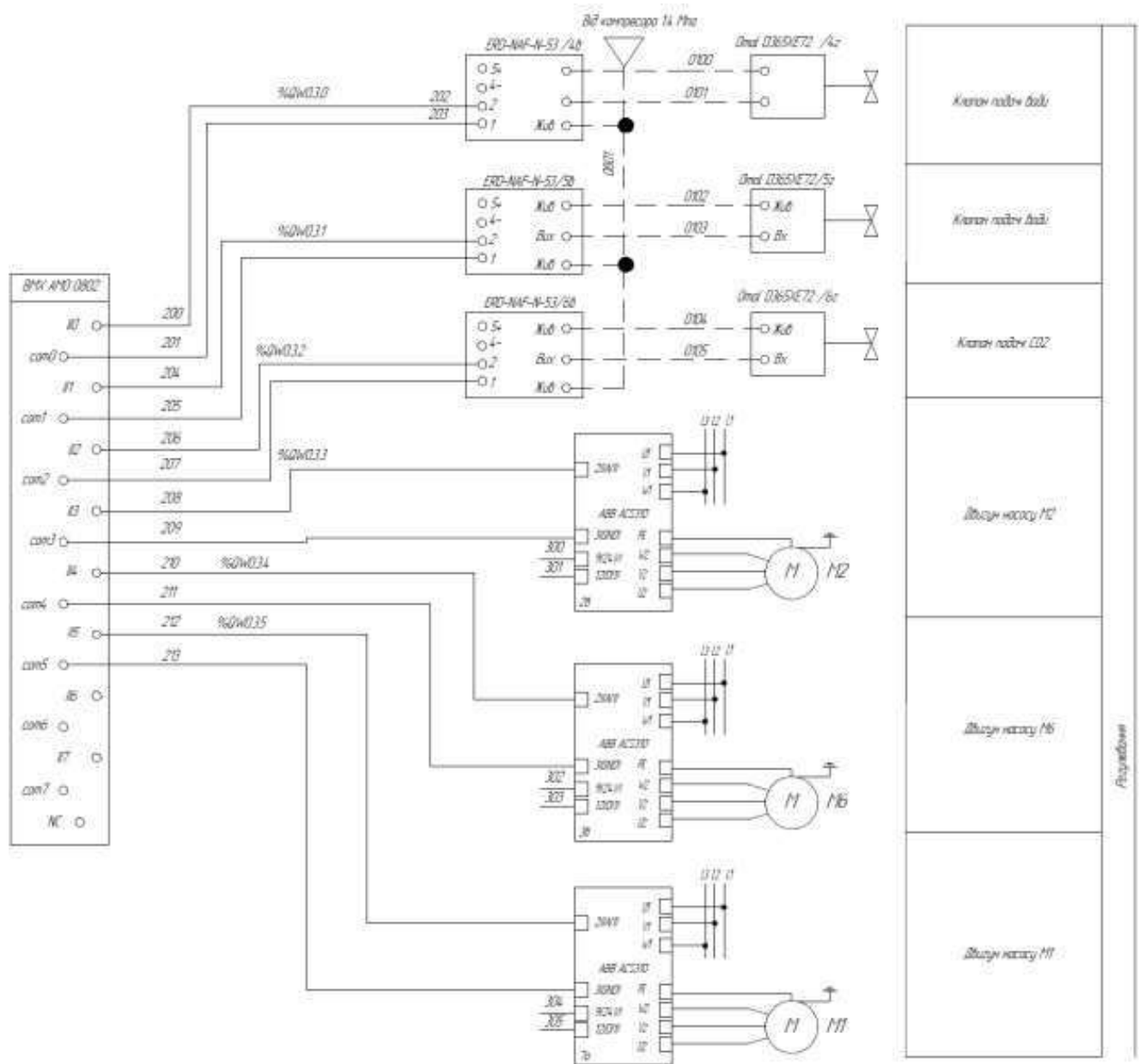


Рис. 5.9 Підключення датчиків до першого модуля аналогових виходів

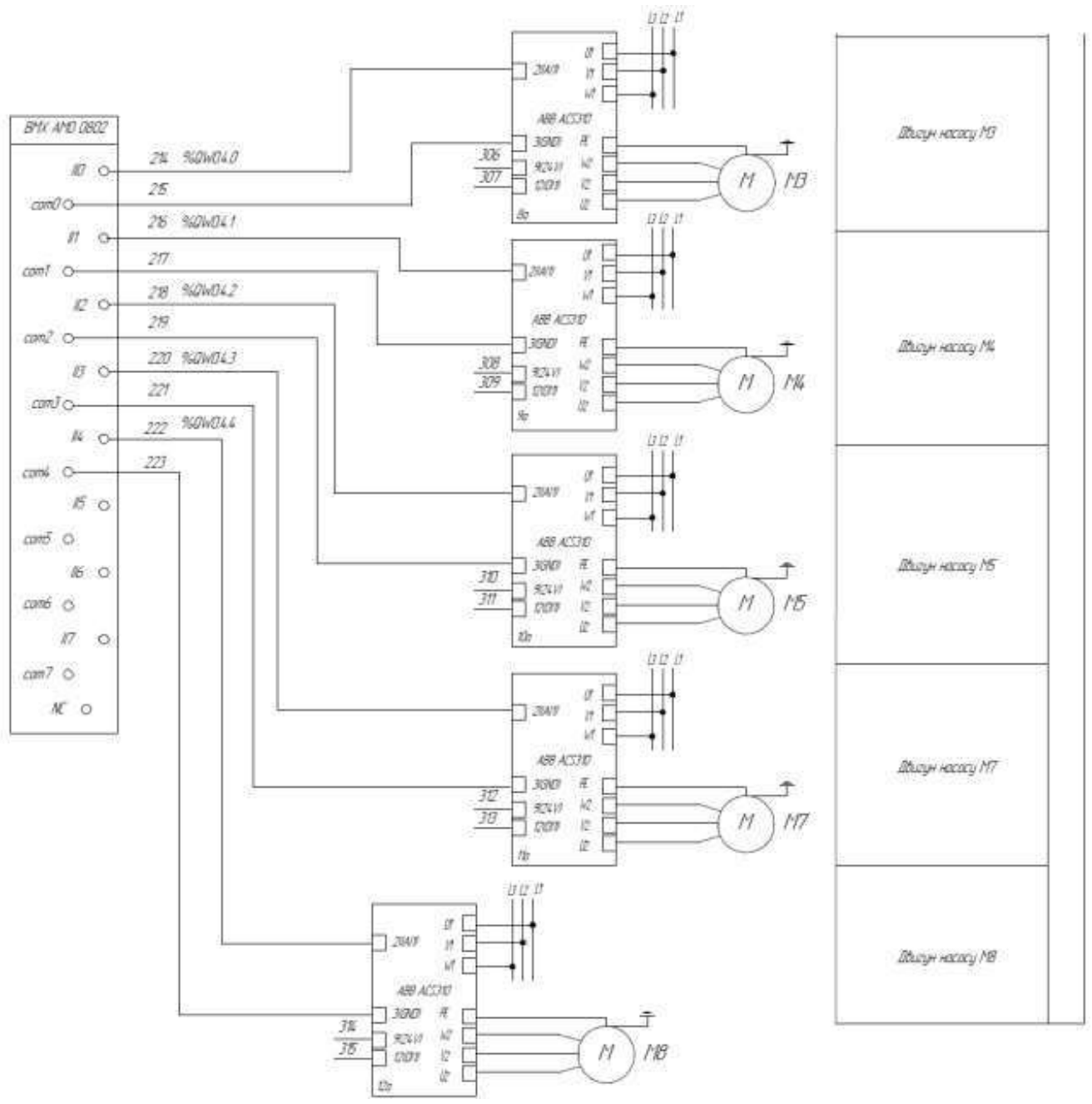


Рис. 5.11 Підключення датчиків до другого модуля аналогових виходів.

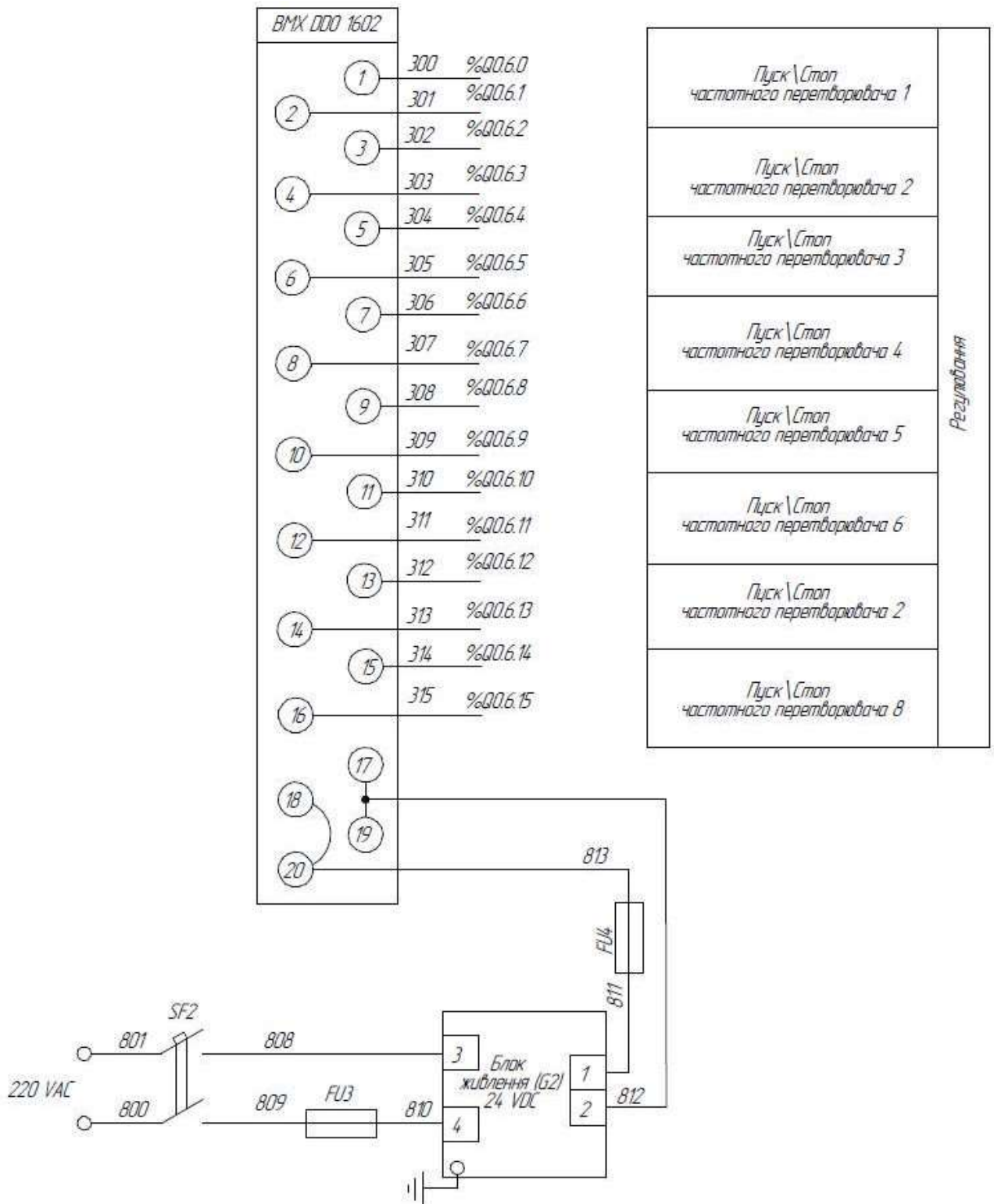


Рис. 5.12 Підключення датчиків до модуля дискретних виходів.

У цій системі датчики і частотні перетворювачі взаємодіють через програмований логічний контролер для ефективного управління процесами. Ось як здійснюється підключення та передача даних:

1. Датчик тиску РТ (2а) підключений до аналогового вхідного модуля ВМХ АМІ 0800 через клеми 1 і 2. Після отримання сигналу від датчика, модуль передає його на контролер ВМХ Р342020. Контролер обробляє та

використовує отриману інформацію для подальшого регулювання процесу, відповідно до заданої програми.

2. **Датчик рівня LT (2б)** підключений до аналогового вхідного модуля ВМХ АМІ 0800 через клеми 4 і 5. Інформація, отримана від датчика, передається на контролер ВМХ Р342020, де вона обробляється і використовуються для управління відповідними процесами, зокрема, для генерації сигналів, які потім передаються на аналоговий вихідний модуль ВМХ АМО 0802. Це дозволяє керувати частотним перетворювачем (2в), який, у свою чергу, регулює роботу насоса М2.
3. **Датчик наявності тари (3б)** підключений до ВМХ АМІ 0800 через клеми 7 і 8. Після отримання сигналу, контролер обробляє інформацію та генерує вихідний сигнал, який передається на аналоговий вихідний модуль ВМХ АМО 0802. Цей сигнал використовується для управління частотним перетворювачем (2в), який контролює роботу машини для розливу М6.
4. **Датчики витрати води FT (4б, 6б)** підключені до ВМХ АМІ 0800 через клеми 15 і 16, 18 і 19. Після отримання даних, контролер обробляє і передає відповідний сигнал на модуль ВМХ АМО 0802. Цей сигнал управляє електропневматичними перетворювачами (4в, 6в), які підключені до клем П0 і СОМ0, П2 та СОМ2 першого модуля, і здійснюють керування клапанами подачі води (4г, 6г).
5. **Датчик витрати газу FT (5б)** підключений до аналогового вхідного модуля ВМХ АМІ 0800 через клеми 10 і 11. Інформація передається на контролер, який генерує вихідний сигнал управління, передаючи його через модуль ВМХ АМО 0802. Сигнал використовується для керування електропневматичним перетворювачем (5в), який через клапан (5г) контролює подачу СО2.
6. **Частотні перетворювачі** підключені до модулів аналогових виходів для управління різними механізмами. Зокрема:
  - Частотний перетворювач (7а) керує насосом М1, підключеним через клеми П5 і СОМ5 першого модуля.
  - Частотний перетворювач (8а) контролює насос М3, підключений до клем П0 і СОМ0 другого модуля.

- Частотний перетворювач (9а) регулює роботу видувної машини М4 через клеми П1 і СОМ1 другого модуля.
- Частотний перетворювач (10а) управляє компресором М5 через клеми П2 і СОМ2.
- Частотний перетворювач (11а) керує насосом М7 через клеми П3 і СОМ3.
- Частотний перетворювач (12а) контролює роботу машини укопорування М8 через клеми П4 і СОМ4 другого модуля.

Це забезпечує комплексне управління процесами, автоматизуючи контроль та регулювання всіх необхідних параметрів у системі.

#### **5.4 Розширені схеми підключення для окремих контурів. Розширена схема підключення контуру вимірювання тиску**

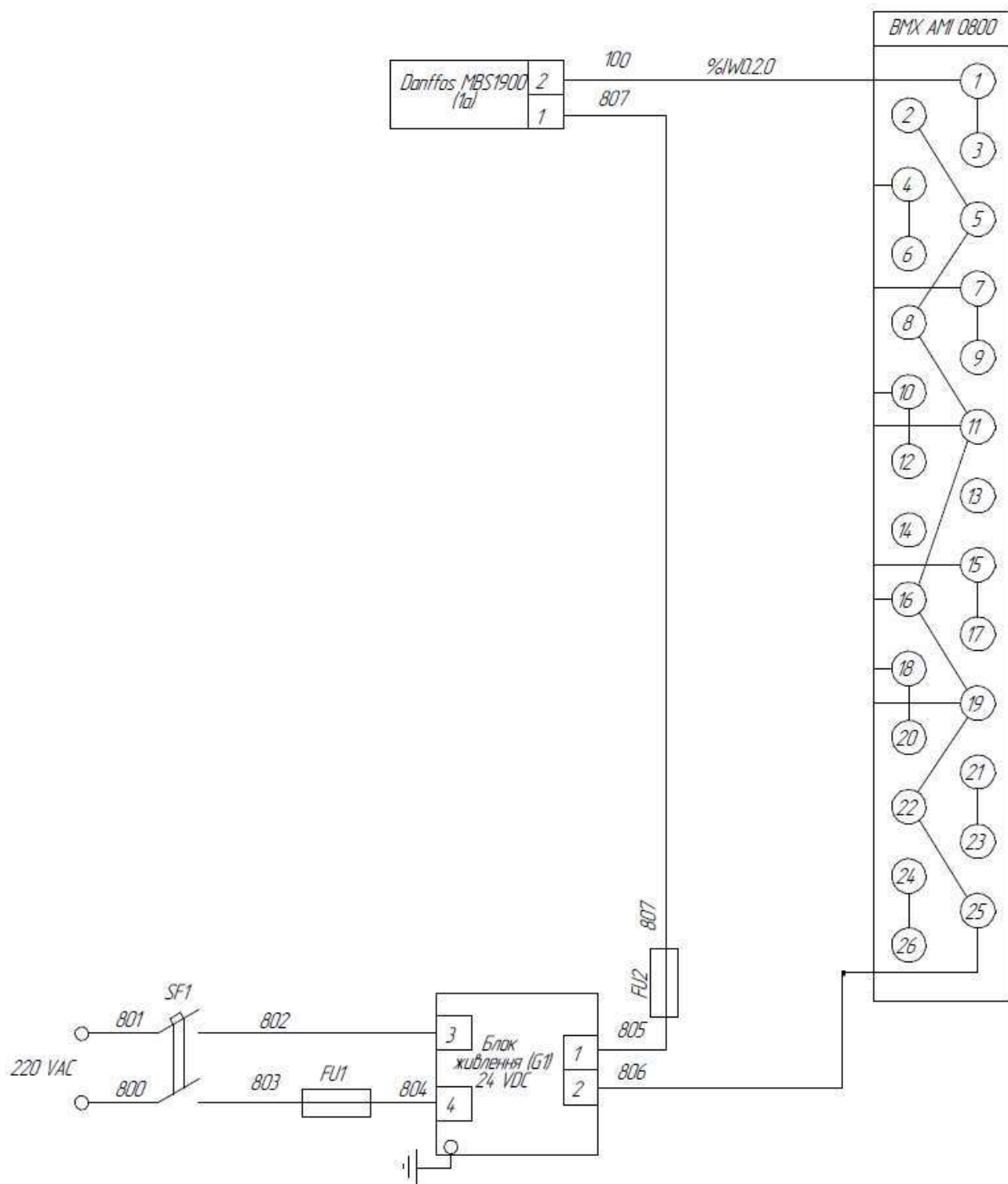


Рис. 5.13 Підключення датчика тиску модуля аналогових входів

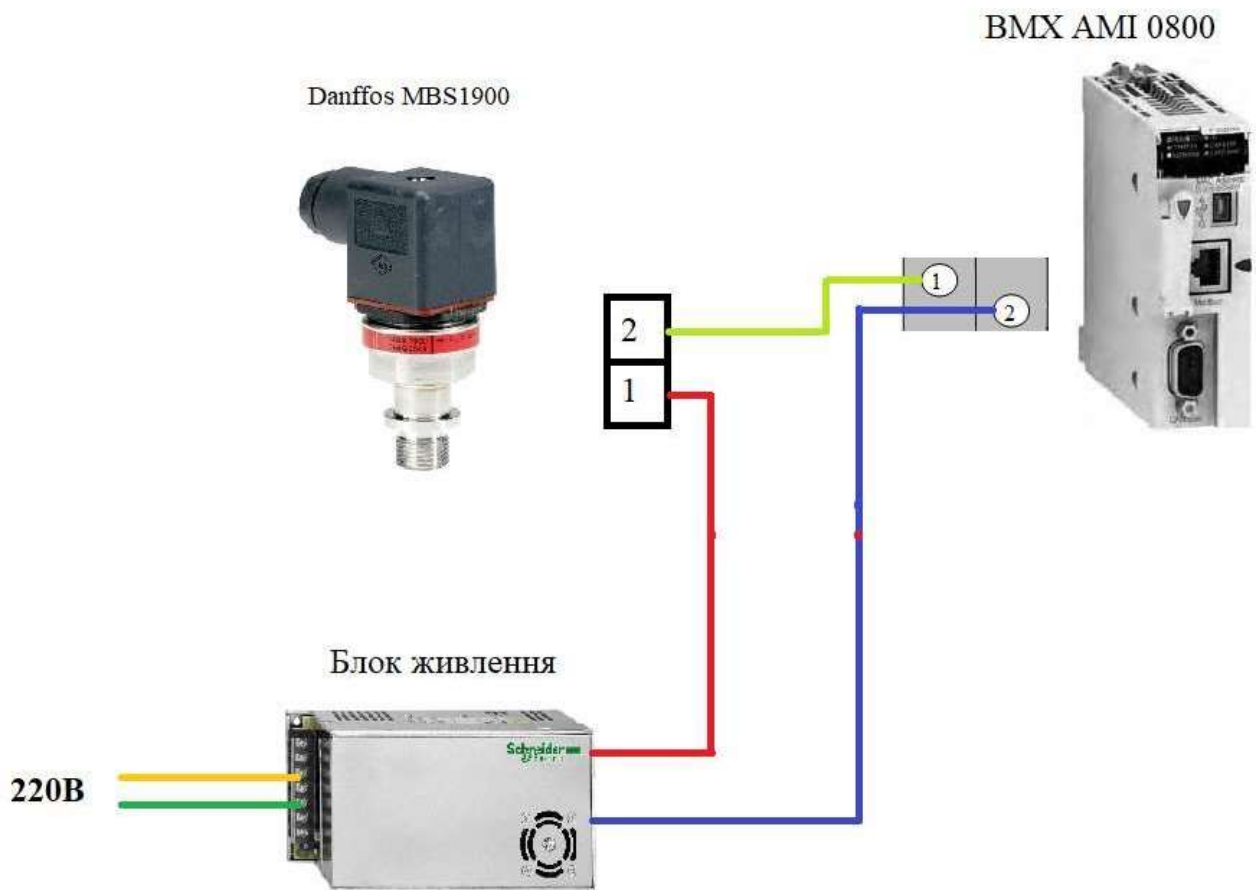


Рис. 5.14 Графічне зображення підключення технічних засобів контуру контролю тиску

Опис схеми підключення:

Датчик тиску РТ (2а) під'єднаний до модуля аналогових входів ВМХ АМІ 0800 за допомогою клем 1 і 2. Після отримання інформації аналоговим вхідним модулем ВМХ АМІ 0800 від датчика тиску, ця інформація передається на контролер ВМХ Р342020. Залежно від отриманої інформації та написаної програми, контролер обробляє, реєструє цю інформацію, і вона використовується як додаткова інформація для системи автоматизації.

Розширена схема підключення контуру вимірювання та регулювання рівня:

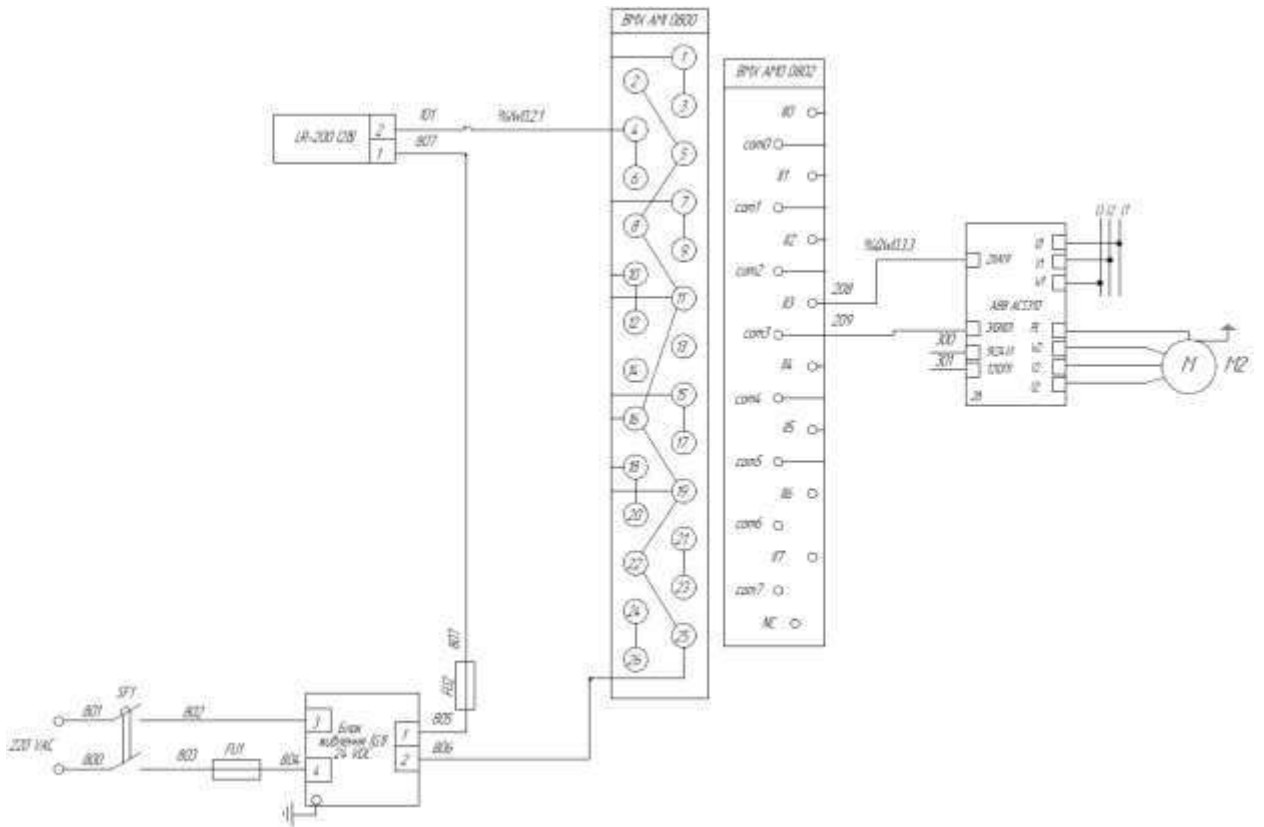


Рис. 5.15 Підключення датчика рівня та ЧП до модуля аналогових входів та виходів.

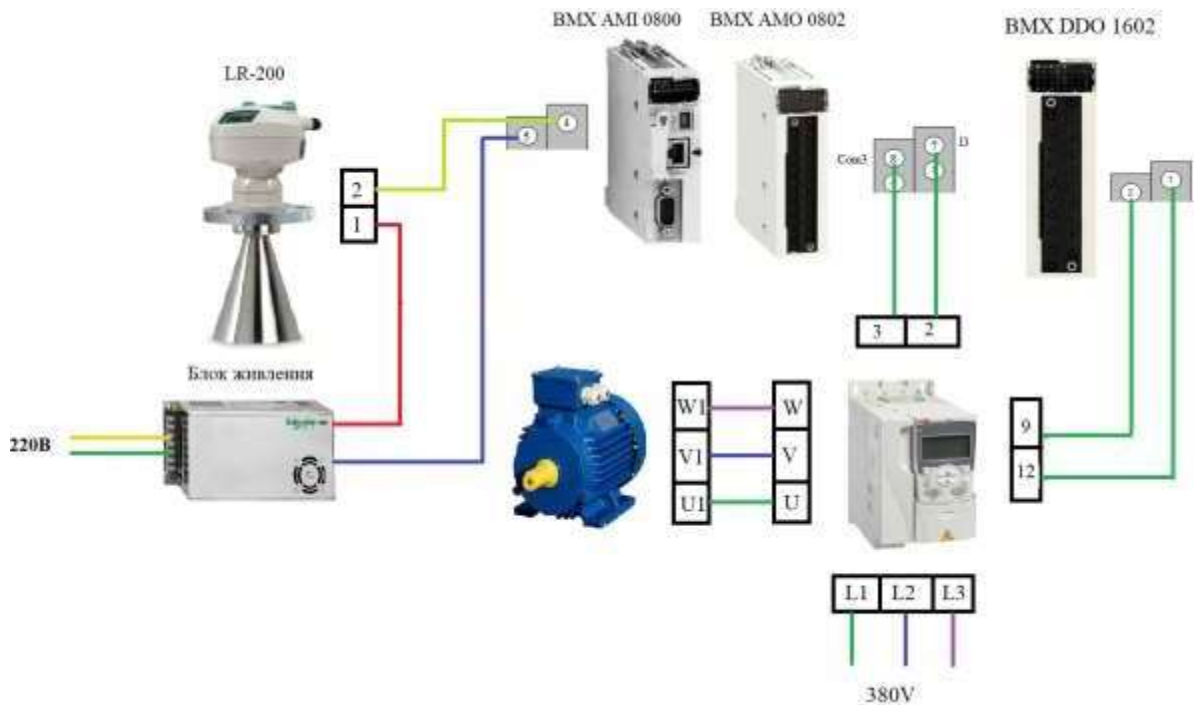


Рис. 5.16 Графічне зображення підключення технічних засобів контуру контролю та регулювання рівня.

Опис схеми підключення:

Датчик рівня LT (2б) з'єднано з модулем аналогових входів ВМХ АМІ 0800 через клеми 4 і 5. Отримана інформація з датчика передається на контролер ВМХ Р342020. На основі цих даних і налаштованої програми контролер обробляє, реєструє інформацію, генерує вихідний сигнал управління та передає його на аналоговий вихідний модуль ВМХ АМО 0802. До цього модуля також підключений частотний перетворювач (2в), який з'єднано з клемми ПЗ та СОМ3 першого аналогового модуля, контролюючи роботу насоса М2.

### **5.5 Вибір щита керування**

Для правильного визначення розмірів щита необхідно врахувати кількість і габарити всіх компонентів, які планується встановити. Це вплине на загальні розміри щита, які мають бути достатніми для монтажу всіх елементів.

Оскільки щит буде знаходитися в приміщенні з підвищеною вологістю, важливо забезпечити його захист. Рекомендується використовувати щити з рівнем захисту від IP44 до IP67, в залежності від умов експлуатації.

Необхідно також передбачити місце для встановлення частотного перетворювача, обираючи щити з достатньою кількістю вільного простору для додаткових елементів.

Для підвищення надійності та безпеки роботи системи керування варто встановити автоматичні вимикачі, магнітні пускачі, проміжні реле та ПЛК з модулями розширення. Ці компоненти забезпечать контроль і управління технологічними процесами.

Для реалізації вказаних вимог обираємо щит R5CE0664 DKC IP55 (600x600x400) (рис. 5.17-18).



Рис. 5.17 Щит R5CE0664 DKC IP55 (600x600x400)

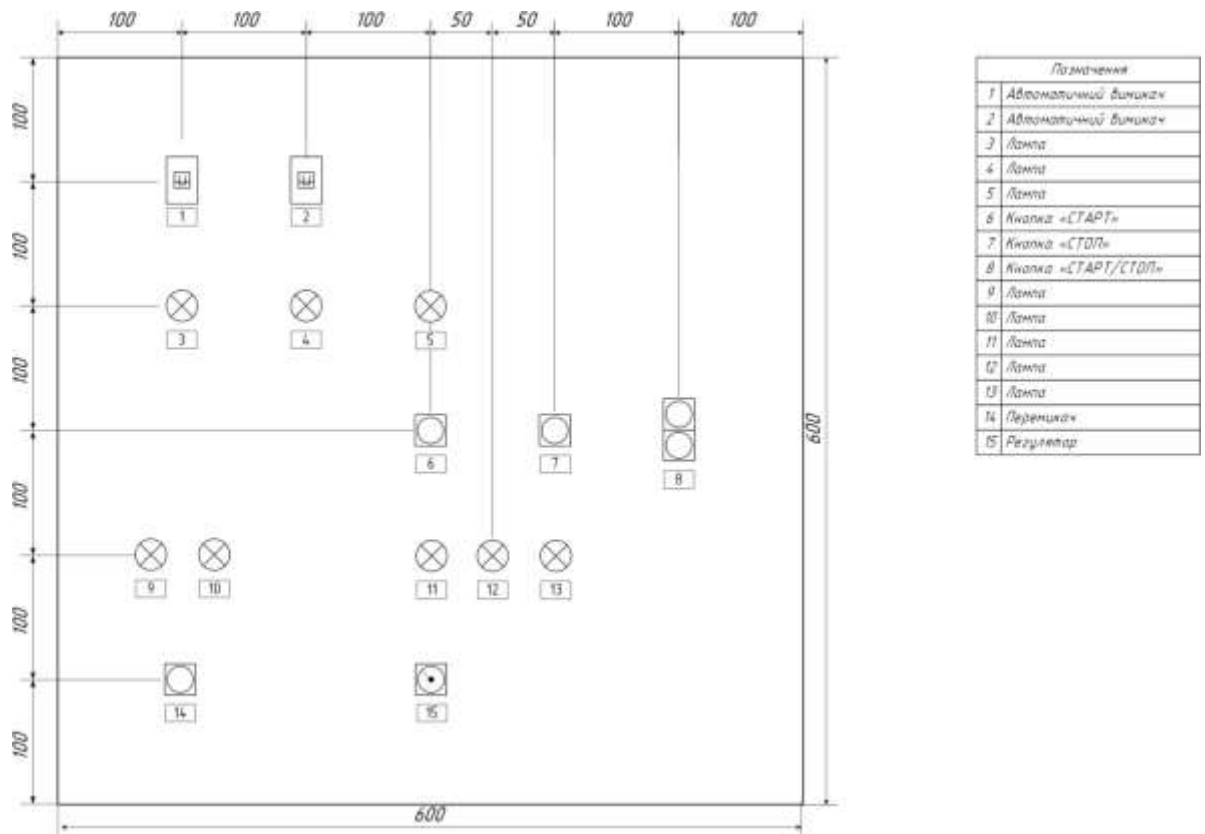


Рис. 5.18 Загальний вигляд щита керування R5CE0664 DKC IP55 (600x600x400)

## **РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ ОПЕРАТОРА ТЕХНОЛОГА**

Для розробки інтерфейсу HMI / SCADA для системи автоматизації було обрано програмне середовище Zenon SCADA. Цей потужний програмний пакет розроблений COPA-DATA, провідним світовим постачальником HMI / SCADA-рішень, і має простий у використанні об'єктно-орієнтований дизайн. Zenon забезпечує повну сумісність та інтеграцію з різноманітними пристроями, від окремих терміналів до пунктів управління, а його рівень безпеки відповідає міжнародним стандартам. Він є відкритим та дозволяє швидко та ефективно підключати будь-яке апаратне та програмне забезпечення. Zenon працює надзвичайно добре на промислових ПК та пристроях з операційною системою Windows CE, а розробник надає найновіші програмні інтерфейси, такі як VSTA та VBA.

SCADA є програмним пакетом, який використовується для розробки та забезпечення систем реального часу для збору, обробки, відображення та архівування інформації про моніторинг або управління об'єктом. SCADA-системи застосовуються в різних галузях економіки, де необхідний контроль оператора над технологічними процесами в режимі реального часу. Вони встановлюються на комп'ютерах і використовують драйвери вводу-виводу або сервери OPC / DDE для зв'язку з об'єктом.

Додаткове програмне забезпечення, яке постачається разом з SCADA-системами для програмування промислових контролерів, називається SoftLogic. Це програмне забезпечення дозволяє інженерам налаштовувати та програмувати контролери безпосередньо з системи SCADA, що забезпечує більш гнучкий та ефективний підхід до контролю та управління виробничим процесом.

Основна функція системи SCADA полягає у забезпеченні централізованого контролю та управління виробничими процесами. Вона дозволяє збирати дані з різних датчиків та пристроїв, аналізувати їх і відображати на моніторах операторів.

Оператори можуть здійснювати контроль та управління процесом, використовуючи різні інструменти, такі як кнопки, ручки, екрани дотикового управління та інші.

RTU (Remote Terminal Unit) та PLC (Programmable Logic Controller) використовуються для автоматичного контролю та управління процесом. Вони забезпечують пряме управління процесом, виконуючи різні дії в залежності від сигналів, які отримують від датчиків та інших пристроїв. Система SCADA контролює режими роботи процесу та дозволяє операторам змінювати налаштування, виконувати різні дії та контролювати повідомлення про тривоги.

Управління виробничим процесом здійснюється через цикл зворотного зв'язку, який проходить через RTU або PLC. Система SCADA контролює повне виконання циклу та дозволяє операторам реагувати на будь-які проблеми, що виникають під час процесу. Загалом, системи SCADA дозволяють забезпечити більш точний та ефективний контроль над виробничим процесом.

### 6.1 Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI:

Таблиця 6.1 аналогових входів:

Назва сигналу	Позначення на СА	Адреса
Тиск в машині закупорювання	PT 1a	%MW0
Рівень в накоплювальній ємності	LT 2 б	%MW2
Наявність тари	GT 3a	%MW4
Витрата холодної води	FT 4б	%MW6
Витрата CO2	FT 5б	%MW8
Витрата холодної води	FT 6б	%MW10

Таблиця 6.2 аналоговоих виходів:

Назва сигналу	Позначення на СА	Адреса
Клапан регулювання витрат холодної води	4г	%MW20
Клапан регулювання витрат CO2	5г	%MW22
Клапан регулювання витрати холодної води	6г	%MW24
Керування двигуном насосу	M1	%MW50
Керування двигуном насосу	M2	%MW52
Керування двигуном насосу	M3	%MW54
Керування двигуном видувної машини	M4	%MW56
Керування двигуном компресору	M5	%MW58
Керування двигуном машини розливу	M6	%MW60
Керування двигуном насосу	M7	%MW62
Керування двигуном укоморювальної машини	M8	%MW64

Таблиця даних SCADA/HMI:

Status	Name	Id...	Measur...	N
F...	Filter text	F...	Filter...	Filt
	FE 4а		м3\год	
	FE 5а		м3\год	
	FE 6а		м3\год	
	GE 3а			
	LE 2а		%	
	Клапан 4г		%	
	Клапан 4г А-Р			
	Клапан 5г		%	
	Клапан 5г А-Р			
	Клапан 6г		%	
	Клапан 6г А-Р			
	M1		об/хв	
	M1 А-Р			
	M2		об/хв	
	M2 А-Р			
	M3		об/хв	
	M3 А-Р			
	M4		об/хв	
	M4 А-Р			
	M5		об/хв	
	M5 А-Р			
	M6		об/хв	
	M6 А-Р			
	M7		об/хв	
	M7 А-Р			
	M8		об/хв	
	M8 А-Р			
	PT 1а		Па	

Рис. 6.1 Таблица данных SCADA/HMI:..

## 6.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора

Нормальний стан системи автоматизації. Всі параметри в межах норми.

Робочий вид для оператора

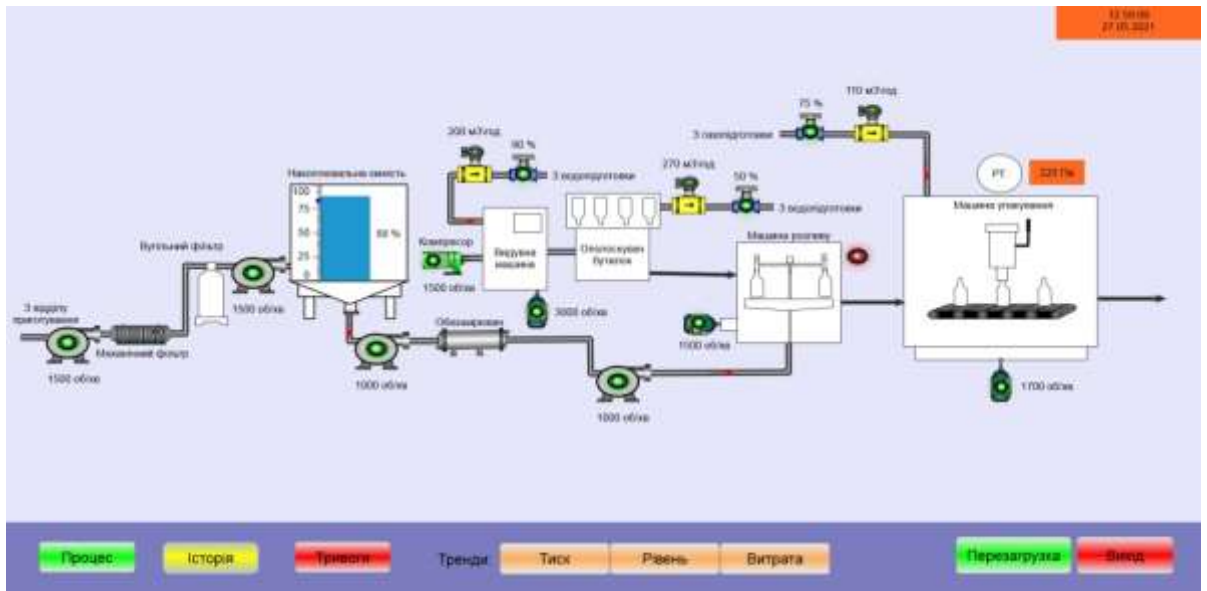


Рис. 6.2 Нормальний стан системи.

У системі автоматизації виявлено відхилення від норми, і система SCADA відображає повідомлення про це в верхній частині екрану оператора. Повідомлення також вказує, який саме параметр вийшов за межі норми.

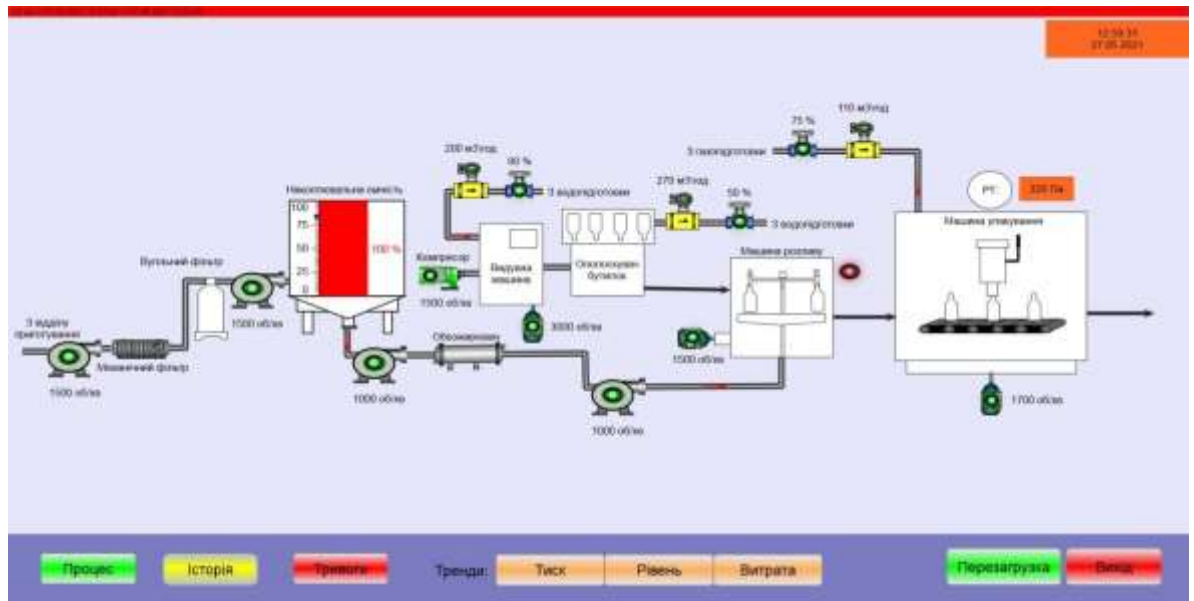


Рис. 6.3 Відхилення від норми.

Вікно вкладки хронологія системи автоматизації. Тут відображаються всі події в хронологічному порядку (наприклад зміни параметрів чи дії оператора)



статус тривоги зміниться на "Підтверджено" (синій кружок). Якщо опція "Видалити" активована, запис про тривогу буде видалений зі списку тільки після видалення його оператором за допомогою відповідної кнопки.

У вкладках трендів системи автоматизації представлені графіки, що відображають всі зміни контрольованих параметрів, включаючи миттєві зміни.

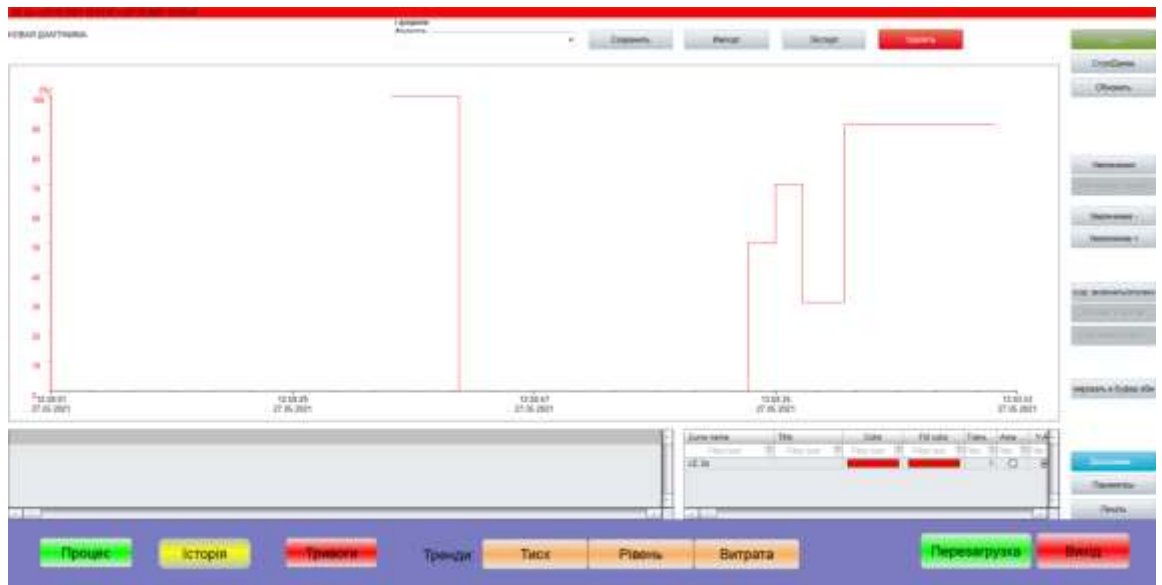


Рис. 6.6 Вікно трендів тиску.

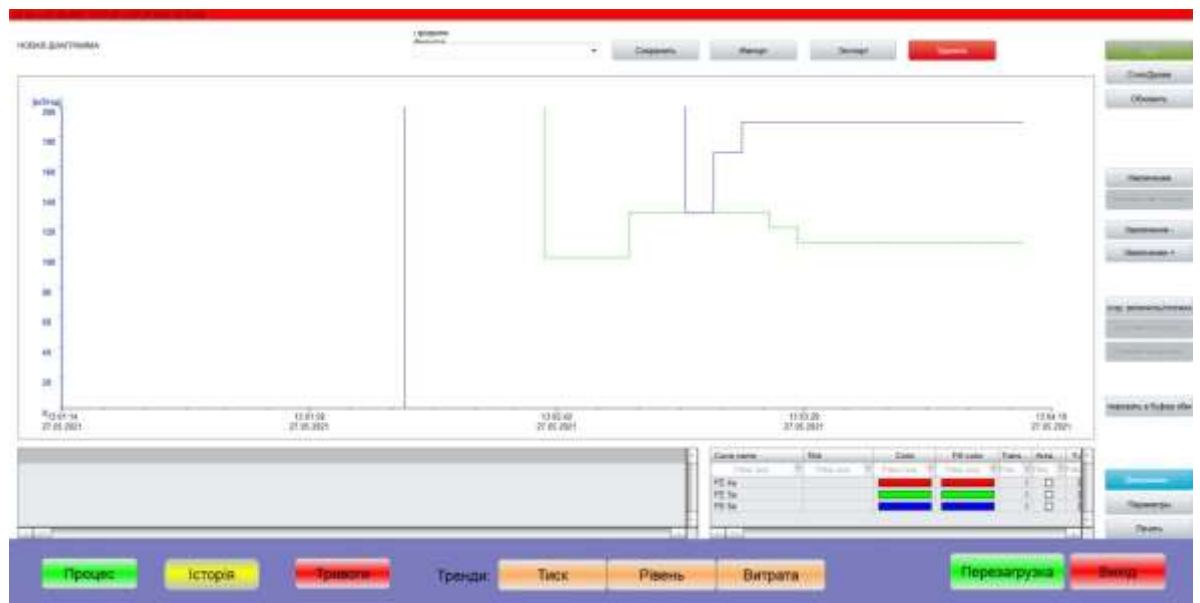


Рис. 6.7 Вікно трендів рівня.

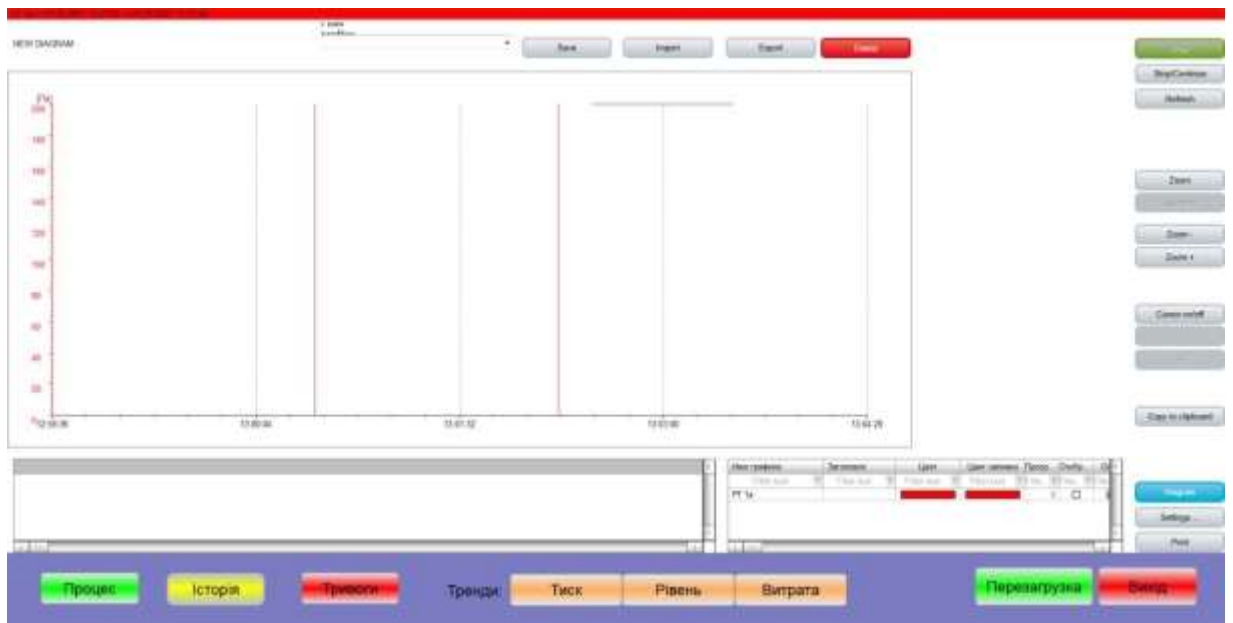


Рис. 6.8 Вікно трендів витрати.

# РОЗДІЛ 7 БЕЗПЕКА І ЕКОЛОГІЧНІСТЬ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА

## 7.1 Виробничі приміщення

Влаштування виробничих приміщень промислових підприємств повинно відповідати вимогам «Санітарних норм проектування промислових підприємств». Зокрема, ці норми встановлюють такі критерії:

### 1. Висота приміщень та споруд:

- для виробничих приміщень — не менше 3,2 м;
- для енергетичного господарства — не менше 3,0 м;
- для транспортно-складського господарства — не менше 3,0 м;
- для складських приміщень у підвалах — не менше 2,2 м;
- для робочих майданчиків, галерей та естакад — не менше 2,0 м від підлоги до стелі, якщо забезпечено регулярний прохід працівників.

Примітка:

- Висота приміщень не повинна бути менше 2,6 м.
- Об'єм виробничого приміщення має становити не менше 13 м<sup>3</sup>, а площа — не менше 4 м<sup>2</sup>.

- 2. Розміщення в підвалах:** Використання підвальних приміщень для виробництв можливе тільки за наявності відповідного спеціального обладнання.
- 3. Двері евакуаційних виходів:** Вони повинні відкриватися у напрямку виходу з будівлі.
- 4. Тамбурами обладнано всі виходи:** Це необхідно для забезпечення безпеки.
- 5. Вікна та фрамуги:** Високо розташовані вікна повинні бути оснащені механізмами для зручного відкривання і закривання з рівня підлоги.
- 6. Утримання приміщень у чистоті:** Всі виробничі та допоміжні приміщення, коридори, сходи та проходи мають бути завжди чистими та впорядкованими.

## Водопровід і каналізація

□ **Водопостачання:** Підприємства повинні бути підключені до міського водопроводу для господарських, питних та технологічних потреб. У випадку відсутності централізованого водопостачання необхідно мати власне джерело води.

□ **Контроль якості води:** У випадках, коли водогін відсутній, вода, що використовується у виробництві, повинна бути безпечною для здоров'я та підлягати щоденному хімічному та бактеріологічному контролю.

□ **Умови зберігання води:** Станції резервуарів для виробничої води повинні бути утеплені та ізольовані від інших приміщень, а також обладнані вентиляційними системами.

□ **Запобігання небезпеці:** Прокладення труб водопостачання забороняється у приміщеннях з електричним обладнанням та в холодильних камерах.

□ **Розрахунок споживання води:** Підприємства повинні забезпечувати споживання води на побутові потреби відповідно до таких норм:

- а) 25 л на одну особу для господарсько-харчових потреб;
- б) 80 л на робітника, який користується душем;
- в) 5 л на кожного робітника для умивальників;
- г) 18-25 л на добу на особу в їдальні;
- д) 1,5 л на добу на 1 м<sup>2</sup> території для поливу;
- е) 20 л на 40 жінок за зміну в кімнаті особистої гігієни;
- є) 60 л на 1 кг білизни для механізованих пралень;
- ж) 40 л на 1 кг білизни для немеханізованих пралень.

□ **Умивальники у виробничих цехах:** Для дотримання санітарних норм у виробничих цехах має бути один умивальник на 20 осіб з доступом до гарячої та холодної води.

□ **Запобігання забрудненню:** Перемички між водопровідними мережами повинні виключати ризик забруднення питної води. Трубопроводи холодної та гарячої води мають бути термічно ізольовані.

□ **Постачання води для котлів:** Водогрійні котли і змішувачі в печах повинні живитися через резервуари з кульовими клапанами, ємність яких повинна забезпечувати запас води на три години.

□ **Використання гарячої води:** Забороняється використання гарячої води безпосередньо з системи опалення.

□ **Зберігання хлорних сполук:** Склади для зберігання хлорного вапна мають розташовуватися в ізольованих приміщеннях з вікнами, забарвленими білою фарбою. Відстань від складів хлорного вапна та рідкого хлору до найближчих виробничих і житлових будівель має становити:

для зберігання до 1 т — не менше 12 м;

для зберігання від 1 до 2 т — не менше 25 м;

для зберігання від 2 до 5 т — не менше 50 м.

## **1. Автоматичні потокові лінії**

□ **Центральні пульти керування:** Автоматичні потокові лінії повинні бути обладнані центральними пунктами керування для функціонування в налагоджувальному та автоматичному режимах.

□ **Органи управління:** Кожна машина та агрегат повинні мати власні елементи управління для їх запуску та зупинки.

□ **Технологічна послідовність:** Усі машини, автомати та агрегати мають працювати відповідно до встановленої технологічної послідовності.

□ **Масильні системи:** Усі рухомі частини верстатів і машин повинні бути оснащені автоматичними системами змащення.

□ **Сигнальні пристрої:** Автоматична лінія повинна мати сигнальні пристрої, які попереджають про перехід в налагоджувальний або автоматичний режим.

□ **Електропроводка:** Необхідно забезпечити стаціонарну електропроводку зі зниженою безпечною напругою для підключення переносних ламп і електроінструментів.

□ **Графік роботи:** Адміністрація підприємства зобов'язана розробити та вести графік функціонування автоматичної лінії.

## **7.2 Метеорологічні умови на робочому місці**

Метеорологічні умови визначаються комбінацією температури, вологості повітря та швидкості його руху, що впливають на організм людини. Також враховуються теплове випромінювання і температура поверхонь конструкцій та обладнання. Робота машин характеризується комбінованими навантаженнями на нервову систему та опорно-руховий апарат.

Оптимальні температури у зоні обслуговування:

Літня пора: 18-20 °С

Зимовий час: 21-23 °С

Допустимі коливання температури на постійних робочих місцях варіюють від 17 до 27 °С в залежності від сезону. Оптимальна відносна вологість повинна становити 40-60%, з допустимими межами від 65% до 75%. Швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,3 м/с у теплий період та коливатись від 0,2 до 0,4 м/с у холодний.

## **7.3 Характеристика вентиляції робочого місця**

Основною метою вентиляції є підтримка сприятливого повітряного середовища в приміщеннях. У виробничих цехах використовується загальнообмінна вентиляція, яка забезпечує видалення парів, газів, пилу, а також надлишкового тепла і вологи до рівнів, що відповідають санітарним нормам

## **7.4 Система освітлення, норми освітленості**

Для освітлення робочих місць застосовуються природне, штучне та комбіноване освітлення. У приміщеннях встановлено газорозрядні лампи, а також забезпечено природне освітлення. Яскравість освітлення має бути в межах від 200 до 500 лк. На підприємстві також функціонує власна електростанція для забезпечення цехів електроенергією в надзвичайних ситуаціях.

## **7.5 Заходи з техніки безпеки**

- Працівники повинні пройти спеціальний інструктаж щодо конструкції та експлуатації відповідного обладнання.
- Обладнання має бути розміщене в приміщенні з належним освітленням.

- Рухомі частини машин повинні бути огорожені для забезпечення безпеки.
- Двигуни та електричні елементи повинні бути надійно заземлені.
- Забороняється проводити мастило, регулювання та усунення несправностей під час роботи двигуна.
- Між апаратами та стінами повинні бути забезпечені проходи шириною не менше 0,7 м..

### **7.6 Забезпечення електробезпеки**

**Основним заходом захисту від перенапруги є надійна ізоляція струмоведучих частин електроустановки. Контроль стану ізоляції здійснюється під час приймання після монтажу чи ремонту, а також періодично (1-2 рази на рік) під час експлуатації. Це особливо важливо для електромереж з ізолюваною нейтраллю.**

### **7.7 Шум та вібрація**

Підвищений рівень шуму може негативно впливати на здоров'я людини. Вимірювання шуму на робочих місцях проводиться відповідно до стандартів гігієнічної оцінки фізичних факторів навколишнього середовища.

### **7.8 Організація пожежної охорони для підприємства**

Системи пожежної сигналізації складаються з датчиків диму, ліній зв'язку та приймально-контрольних пристроїв. На підприємстві встановлено димові та температурні датчики, а також світлова та звукова сигналізація, підключена до центрального пульта.

Кількість, тип і клас вогнегасників визначаються на основі пожежного навантаження і характеристик горючих матеріалів..

#### **Евакуації, шляхи та евакуаційні виходи.**

У разі пожежі повинно бути не менше двох евакуаційних виходів. Мінімальна ширина дверей — 0,8 м, проходів — 1 м, коридорів — 1,4 м, а маршів

і майданчиків сходів — 1,15 м. Евакуаційні виходи повинні бути добре освітлені та обладнані дверима, що легко відкриваються назовні.

### **Отоплення та вентиляція**

Опалення будівель допускається тільки центральне водяне, парове низького тиску або повітряне. Максимальна температура повинна не перевищувати 120 °С. Всі елементи вентиляційних установок мають бути виготовлені з негорючих матеріалів. Відповідальність за ефективність роботи вентиляції покладається на спеціально призначену особу.

### **7.9 Заходи та засоби щодо запобігання НС та ліквідації їх наслідків**

На базовому підприємстві можливі надзвичайні ситуації, такі як удар блискавки або пожежа.

При евакуації слід дотримуватись таких вимог:

- Не захащувати шляхи евакуації.
- Забезпечити оптимальну ширину проходів (не менше 1 м) і дверей (не менше 0,8 м).
- Кожен поверх має мати не менше двох розосереджених виходів.
- Не використовувати гвинтові сходи, обертові двері чи турнікети на шляхах евакуації.
- Передбачити сигнали для оповіщення про НС.
- Ознайомити всіх працівників із порядком евакуації.

Для забезпечення пожежної безпеки рекомендується:

- Регулярно перевіряти виробниче та освітлювальне обладнання.
- Дотримуватись вимог пожежної безпеки під час технологічних процесів.
- Оснащувати приміщення блискавкозахистом.
- Дотримуватись основних вимог техніки безпеки.

## **РОЗДІЛ 8. ПРОЄКТ ЛІНІЇ РОЗЛИВУ БЕЗАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ НА БАЗІ НУБІП УКРАЇНИ**

Наш університет має 11 гуртожитків, де проживає понад 500 студентів у кожному. Більше двох років назад в гуртожитках було запроваджено проект з установки бутлів з питною водою (див. рис. 8.1), що дозволяє студентам за невелику плату поповнювати запаси води.



Рис. 8.1 Місце, де студенти можуть замінити, за певну плату, свої пусті бутлі на повні - в одному з гуртожитків

Щоб перетворити звичайну воду на сік або інший вид безалкогольного напою, не потрібно суттєво змінювати технологію. Достатньо додати компоненти для виготовлення концентрованої суміші, яка потім змішуватиметься з водою в баку для досягнення потрібної консистенції відповідно до заданих параметрів. Технологічну схему лінії виробництва безалкогольних напоїв представлено на рис. 8.2, а можливе планування цеху — на рис. 8.3.

Я пропоную розпочати виробництво власних безалкогольних напоїв на території НУБіП України. Це не лише забезпечить комерційний дохід від продажу готової продукції, але й відкриє можливість створення нової лабораторії. Вона стане платформою для співпраці студентів з різних факультетів у виконанні спільних досліджень і написанні наукових робіт.

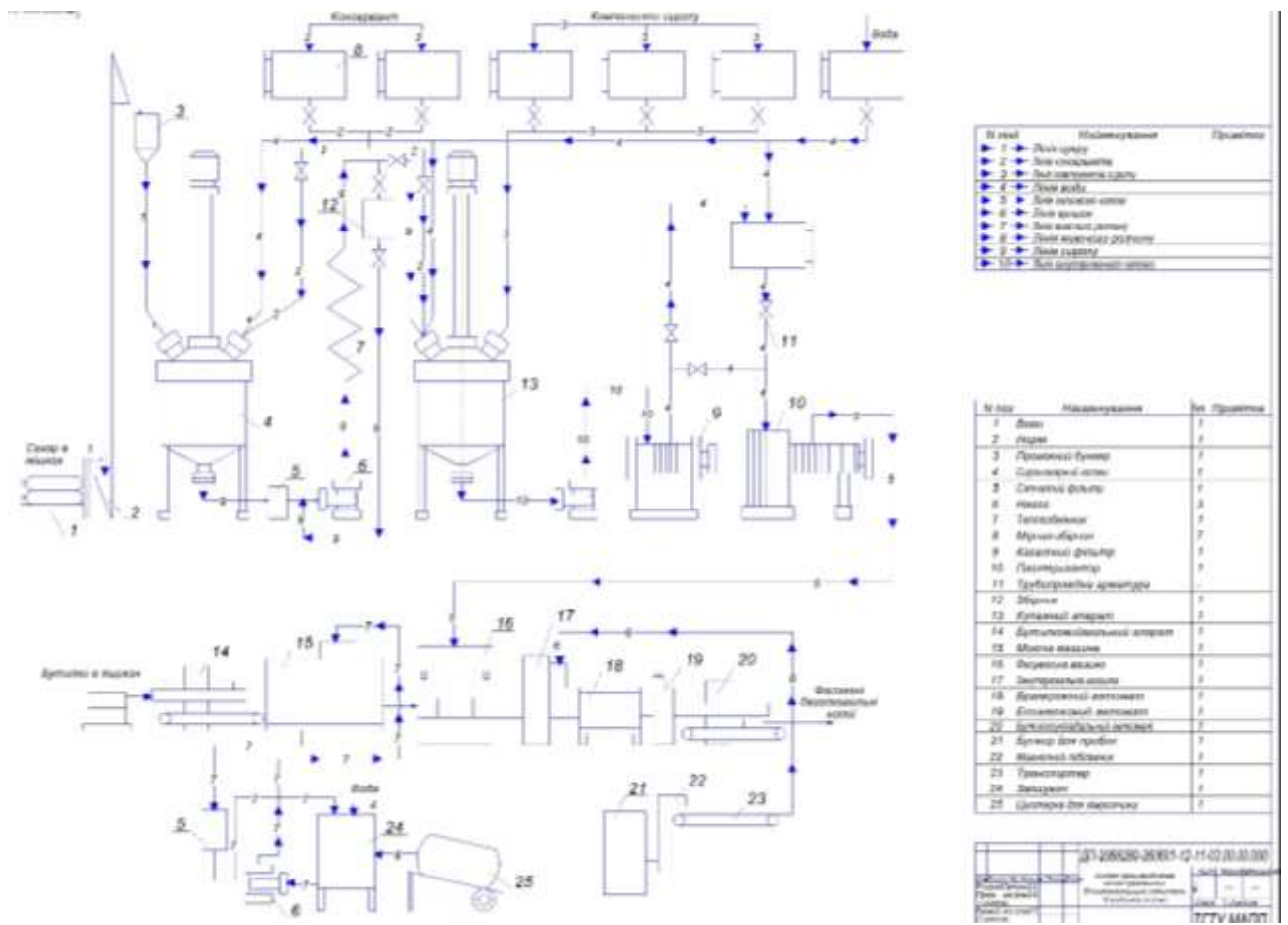


Рис. 8.2 Лінія виготовлення безалкогольних напоїв

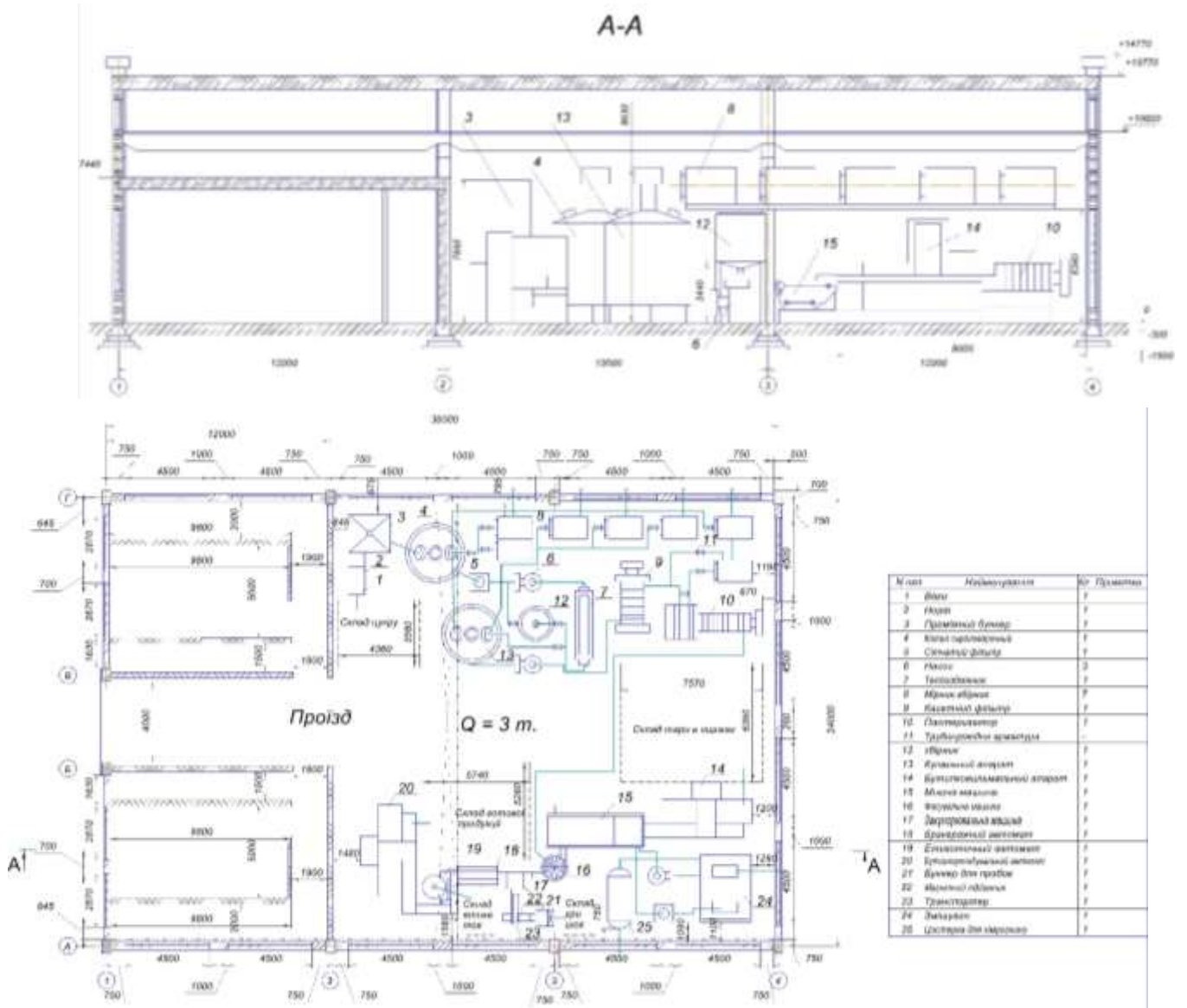


Рис . 8.3 Планування цеху з виробництва безалкогольних напоїв