

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інтелектуальні системи управління
в гірничо-металургійному виробництві»
за спеціальністю 151 Автоматизація
і комп'ютерно-інтегровані технології

на тему «Автоматизована система управління та сигналізації
технологічних параметрів деаераторів ТЕЦ»

Керівник роботи

Олексій КОЙФМАН

Консультант від бази
практики

Олександр БІЛЕЦЬКИЙ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Марко ВІНКОВСЬКИЙ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Андрій ЛЕОНОВ

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	151 Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології
ОПП	Інтелектуальні системи управління в гірничо-металургійному виробництві

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

«24» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Вінковському Марку Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Автоматизована система управління та сигналізації технологічних параметрів деаераторів ТЕЦ

керівник роботи Койфман Олексій Олександрович, доцент, канд. техн. наук

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

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 10.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, дані металургійного комбінату, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ (актуальність теми; наукова новизна та практичне значення; об'єкт, предмет та методи дослідження, апробація роботи). 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи (Основні задачі АСУТП, концепція роботи системи, обґрунтування та вибір технічних рішень). 3. Реалізація запропонованої системи (Опис засобів вимірювання рівня. Реалізація цифрового об'єкту для дослідження. Дослідження регуляторів рівня. Реалізація попереджувальної сигналізації). 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема структурна автоматизації. Схема функціональна автоматизації. Схема взаємозв'язку функціональних завдань. Схема сигналізації. Результати моделювання та дослідження.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 24.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	03.01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

Марк ВІНКОВСЬКИЙ

Керівник роботи

Олексій КОЙФМАН



АНОТАЦІЯ

Вінковський Марко Сергійович. Автоматизована система управління та сигналізації технологічних параметрів деаераторів ТЕЦ. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ОПП «Інтелектуальні системи управління у гірничо-металургійному виробництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кам'янське, 2024.

Об'єктом дослідження є система деаерації підживлювальної води в теплоелектроцентралі.

Предметом дослідження є автоматизована система управління та сигналізації технологічних параметрів деаераторів.

У першому розділі проаналізована предметна область автоматизації деаераторних установок. Надана загальна характеристика технологічного процесу та наявної системи автоматизації. Приведено аналіз рішень на аналогічних об'єктах. В результаті визначена необхідність модернізації наявної системи та сформульована невирішена частина проблеми, яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.

У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації, визначено параметри об'єкту автоматизації, визначені задачі управління атмосферним деаератором, задачі автоматичного контролю та регулювання відповідних технологічних параметрів, обґрунтована запропонована структура системи автоматизації, визначено розподіл основних задач, які вирішуються на рівнях автоматизації.

У третьому розділі, було проведено аналіз засобів вимірювання рівня, для проведення дослідження рівня реалізовано цифрового близнюка ємності, проаналізовані методи розрахування регулювання рівня; спроектовано САР.

У четвертому розділі відповідними розрахунками підтверджено економічну доцільність впровадження запропонованої системи автоматизації.

ДЕАЕРАТОР, ТЕЦ, РЕГУЛЯТОР, РІВЕНЬ, ЦИФРОВИЙ БЛИЗНЮК, КЕРУВАННЯ.



ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз предметної області.....	8
1.1 Літературний огляд.....	8
2 Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи.....	11
2.1 Опис існуючої системи автоматизації деаератора	11
2.1.1 Загальний опис об'єкта.....	11
2.1.2 Система регулювання та сигналізації	14
2.1.3 Показники якості деаерації.....	15
2.1.4 Безпека при обслуговуванні деаераторів	15
2.2 Підхід до побудови нової системи	16
2.2.1 Задачі автоматизації.....	16
2.2.2 Концепція роботи системи.....	16
2.2.3 Обґрунтування та вибір технічних рішень	18
3 Реалізація запропонованої системи	28
3.1 Опис засобів вимірювання рівня	28
3.1.1 Вступ до розділу.....	28
3.1.2 Поплавковий датчик рівня	28
3.1.3 Вібраційний датчик рівня	30
3.1.4 Гідростатичний датчик рівня	31
3.1.5 Ємнісний датчик рівня	32
3.1.6 Кондуктометричні датчики рівня	33
3.1.7 Ультразвуковий датчик рівня	34
3.1.8 Мікрохвильові радарні вимірювачі рівня.....	35
3.1.9 Рефлексні вимірювачі рівня.....	37
3.1.10 Радіоізотопний вимірювач рівня.....	38
3.1.11 Висновок до розділу	39
3.2 Дослідження регуляторів рівня.....	40
3.2.1 Вступ до розділу.....	40
3.2.2 Реалізація цифрового об'єкту для дослідження.....	40
3.2.3 Дослідження релейного регулятора.....	46
3.2.4 Дослідження автоматичного налаштування	47
3.2.5 Дослідження ПІ регулятора.	49



3.2.6 Дослідження використання нейронних мереж	52
3.3 Реалізація попереджувальної сигналізації.....	59
3.2.9 Висновки до розділу.....	60
4 Економічне обґрунтування запропонованої системи.....	62
4.1 Розрахунок витрат на реалізацію системи	62
4.2 Розрахунок економічної ефективності.....	64
ВИСНОВКИ	66
Перелік використаних джерел.....	67
Додаток А Опис технологічного процесу.....	69
А.1 Структура цеху, де знаходиться агрегат	69
А.2 Загальна характеристика деаератора	71
А.3 Система регулювання та сигналізації	72
Додаток Б РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ	74

ВСТУП

Автоматичне підтримання рівня рідини у резервуарах є ключовою технологічною операцією в різних промислових галузях, зокрема для забезпечення потреб у підготовці підживлювальної води, що використовується в теплових електростанціях металургійних комбінатах. Точне і надійне регулювання рівня є критично важливим для забезпечення безперервного виробництва та уникнення небезпечних ситуацій, таких як перелив рідини або недостатній рівень для живлення котлів – парогенераторів.

Основною метою даної кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованої системи управління та сигналізації технологічних параметрів деаераторів теплової електростанції, яка входить до складу металургійного комбінату. Автоматичне регулювання рівня рідини в баках-деаераторах вважається критичним технологічним процесом для підготовки підживлювальної води, яка використовується в тепловій електростанції металургійного комбінату. Точне і надійне регулювання рівня є важливим для забезпечення безперервного виробництва і уникнення небезпечних ситуацій, таких як перелив рідини чи недостатній рівень для живлення парогенераторів.

Апробація роботи

Результати роботи було апробовано на наступних конференціях:

1. Vinkovskyi M.S., Koyfman O.O. Research of Automatic Water Level Control in a Tank. International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» conference proceedings, Riga, the Republic of Latvia, November 29–30, 2023. «Baltija Publishing», Riga, Latvia, 2023. V.2. С. 20–24.

<https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-87>

2. Koyfman O.O., Miroshnychenko V.I., Vinkovskyi M.S., Isaiev A.B. Comparison of the Methods for Determining the Parameters of Controlled Process. International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» : conference proceedings, Riga, the Republic of Latvia, November 29–30, 2023. «Baltija Publishing», Riga, Latvia, 2023. V2. С. 31–34.

<https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-90>

3. Вінковський, М., Койфман, О. Використання IoT в забезпеченні безпеки роботи котла КВГМ-100. Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод : матеріали VII Всеукр. науково-практ. конф., м. Краматорськ, 20–22 квіт. 2023 р. / ред. О. Ф. Тарасов. Краматорськ, 2023. С. 69–71.



4. Вінковський, М., Койфман, О. Використання цифрових датчиків для побудови малої системи автоматизації. Технічна творчість : Збірник наукових праць. Хмельницький: ХНУ. 2022, №5, С. 44-46.

За тематикою кваліфікаційної роботи подано наукову роботу на стипендіальну програму «Завтра.UA» Фонду Віктора Пінчука.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Літературний огляд

У цьому вступному розділі літературного огляду детально вивчалися статті та інші наукові твори, пов'язані з темою кваліфікаційної роботи. Для цього було використано ресурси бібліотеки ТОВ «Метінвест Політехніка», а також інтернет-джерела, такі як «Гугл академія» та «IEEE Xplore». Нижче наведений короткий зміст розглянутих публікацій.

Автори дослідження [2] розглядають застосування контролю рівня деаератора в ядерній електростанції. Зазвичай для цього використовують одноімпульсний ПІД-контролер. Однак з огляду на зростання вимог до участі ядерної станції в регулюванні пікового навантаження в енергосистемі, можливості традиційного одноімпульсного ПІД-контролю рівня деаератора вже не відповідають сучасним стандартам. В даній роботі було розроблено трьохімпульсний ПІД-контролер рівня деаератора з метою вирішення цієї проблеми. Крім того, для перевірки ефективності розробленої системи проведено численні експерименти на симуляторі ядерної електростанції.

У статті [3] розглядається взаємозв'язок між рівнем води в конденсаторі та рівнем води в деаераторі на морській паровій електростанції. Для досягнення задовільного ефекту керування автори пропонують вжити відповідних заходів для роз'єднання цих процесів. Вважається, що ПІД-нейронна мережа має переваги над класичним ПІД, що відображається в здатності до навчання, запам'ятовування і нелінійного апроксимування. У цій статті пропонується стратегія регулювання рівня води в деаераторі та рівня води в конденсаторі на основі ПІД-нейронної мережі, яка інтегрує ПІД та нейронну мережу, створюючи пропорційний нейрон, інтегральний нейрон та диференціальний нейрон, які відповідають відповідно пропорційному, інтегральному та диференціальному керуванню. Також пропонується метод вибору початкових ваг і коефіцієнта навчання з досвіду ПІД, щоб підвищити продуктивність збіжності ПІД-нейронної мережі. Результати симуляції показують, що стратегія регулювання рівня води нейромережевим ПІД-регулятором може відповідати вимогам регулювання багатозмінної системи. Вона ефективніша у регулюванні рівня води у конденсаторі та деаераторі, ніж стратегія ПІД-керування.

У статті [4] розглядається деаераційна установка, яка входить у склад другого контуру атомної електростанції (АЕС). Ключовим регульованим параметром у деаераторі є тиск у колонці цієї системи. Керування роботою деаератора виконується за допомогою цифрових ПІ-регуляторів, що базуються на програмно-технічному комплексі автоматизованої системи регулювання (АСР) турбінного відділення.

Стаття зосереджена на дослідженні автоматичної системи регулювання тиску в деаераторі, причому основною метою розробки є

забезпечення безкавітаційної роботи турбо-живильного насосу. Це досягається шляхом забезпечення високої якості регулювання параметрів у деаераторі.

Автори статті [4] детально вивчають технологічний об'єкт регулювання, яким є деаераційна установка, невід'ємна частина другого контуру енергоблока. В результаті проведених досліджень досягнуто безкавітаційної роботи турбо-живильного насосу завдяки високій ефективності регулювання параметрів у деаераторі. Також розроблена автоматизована система регулювання тиску в деаераційній установці, де керування деаератором відбувається за допомогою цифрового ПІ-регулятора.

У дослідженні, представленому у статті [5], розглянуто графічний інтерфейс програмного забезпечення, в якому використано вкладки для логічного розподілу візуальних компонентів на окремі секції та для оцінки поточного стану конструкцій та обладнання котла.

Візуальна частина підсистеми розділена на п'ять основних вкладок: "Котел", "Деаератор", "Протокол подій", "Графіки" та "Уставки параметрів". Інформація, що надходить від цієї підсистеми, використовується в системі управління вакууматором для прогнозування параметрів водяної пари на найближчий період часу. У вкладці "Деаератор" представлено ілюстративну схему деаератора для котельної води, яка включає бак деаератора, бак осмотичної води, водопровідні труби для води і пари, а також їх характеристики (рис. 1.1).

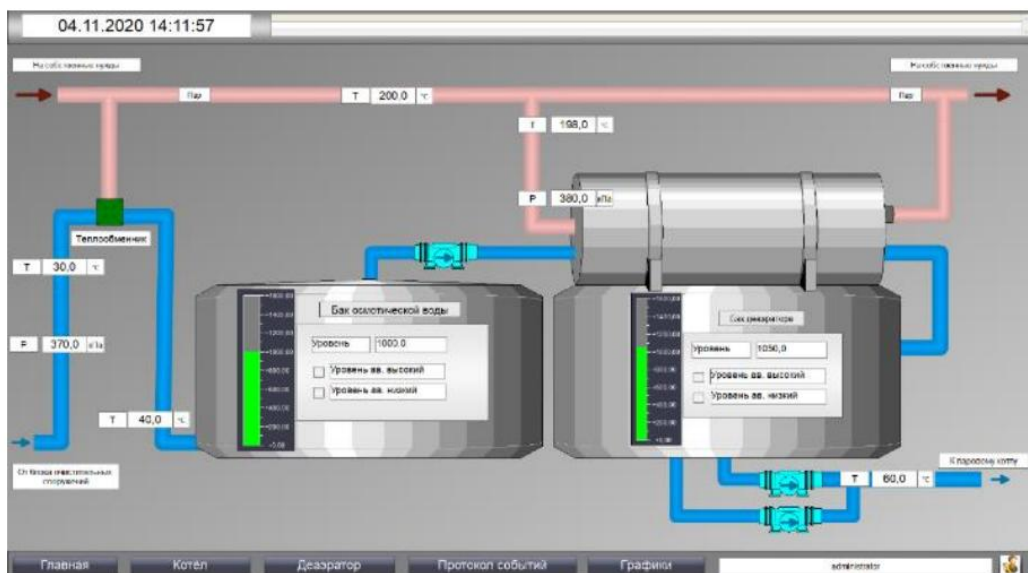


Рисунок 1.1 – Вкладка «Деаератор»

Крім того, для системи управління паровим котлом, яка використовує SCADA WinCC та OPC KerServerEX, розроблено підсистему, відповідальну за збір та аналіз технологічної інформації. Для всіх вимірювальних параметрів визначено частоту оновлення даних від



датчиків, і встановлені критичні значення для активації аварійної сигналізації.

Загалом впроваджена система дозволяє здійснювати аналіз технологічного процесу виробництва пари, шляхом вивчення графіків технологічних параметрів і перегляду аварійних повідомлень за будь-який визначений період часу. Крім того, вона сприяє скороченню часу реагування оператора на аварійні ситуації та надає можливість обмежувати функції для конкретних користувачів.

Ця стаття є більш детальною і включає в себе впровадження математичної моделі в системі управління вакууматором. У цьому огляді розглядаються аспекти, які безпосередньо стосуються теми дипломної роботи.

У книзі [6], розглянуто два методи налаштування регуляторів рівня відповідно до конкретних потреб. Контроль рівня та тиску має дві основні мети: утримання їх на сталому рівні через їх вплив на процес чи функціонування обладнання, або компенсація варіацій витоку для забезпечення матеріального балансу. У випадку потреби в "жорсткому" контролі, використовується швидкодіючий регулятор тиску з можливістю позиціонування, щоб уникнути вторинних затримок, які можуть призвести до осцилюючої поведінки при високих значеннях коефіцієнтів регулювання.

Якщо регулятор рівня або тиску взаємодіє з регулятором витоку, останній повинен бути налаштований максимально "жорстко". Для контролера середнього рівня рекомендується використовувати пропорційний регулятор зі значенням установки на рівні 50% від діапазону, коефіцієнтом 1,0 та вихідним відхиленням в 50%. Це дозволяє повністю відкривати клапан при 100% від діапазону та повністю закривати його при 0%, використовуючи повну потужність клапана та резервуара. Використання відповідного типу регулятора допомагає досягти необхідних результатів у системах автоматичного керування рівнем.

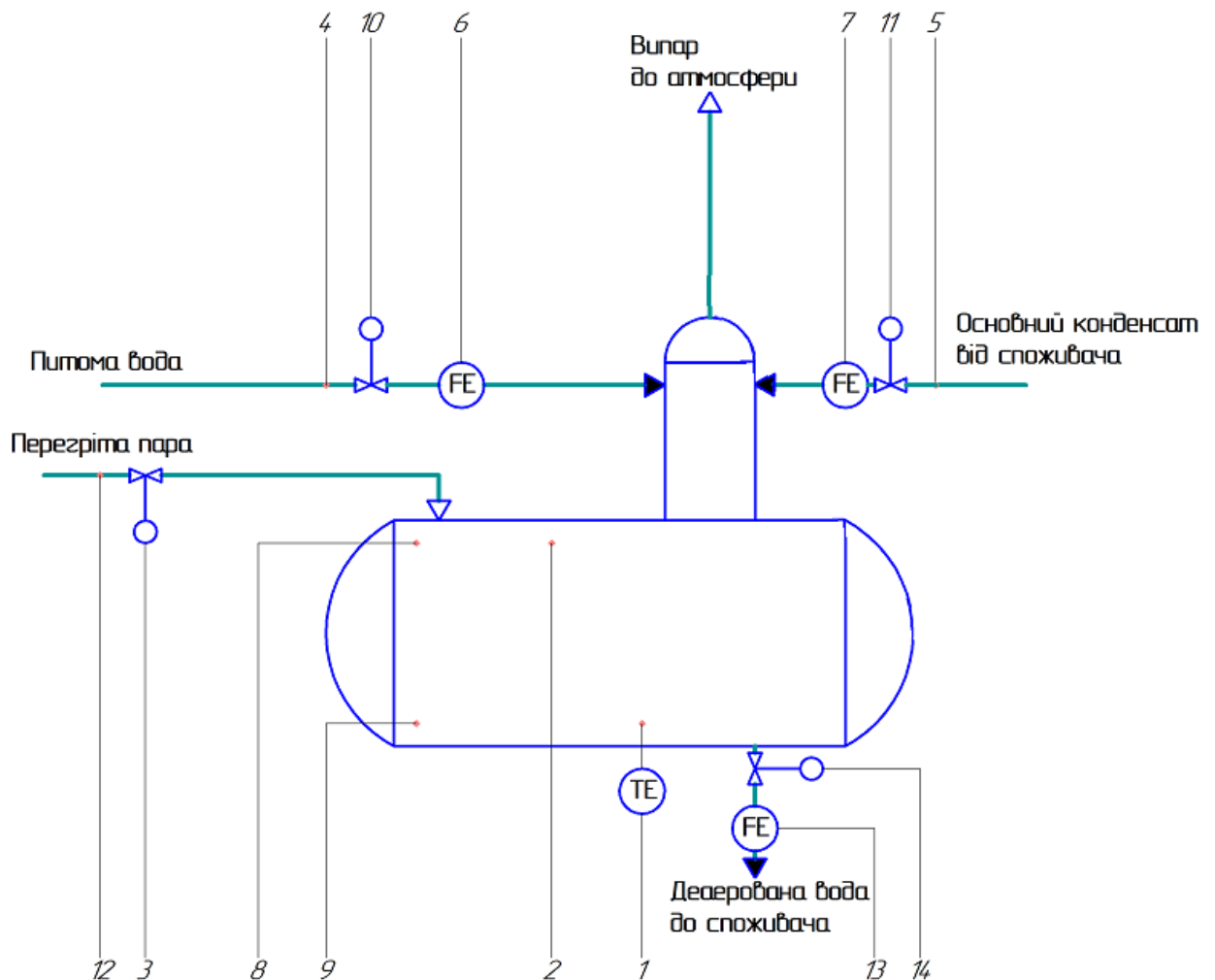
В розділі, присвяченому огляду літератури, було розглянуто декілька статей і книг, які пов'язані із обраною темою. Важливо відзначити, що кількість відповідних наукових публікацій є обмеженою, що вказує на потребу проведення додаткових досліджень у даній області та розширення знань. Отримані в ході цього огляду знання дозволять проводити більш глибокий аналіз отриманих даних у подальших дослідженнях.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ

2.1 Опис існуючої системи автоматизації деаератора

2.1.1 Загальний опис об'єкта

Деаератор (рис. 2.1) включає в себе резервуар для проведення процесу деаерації, колонку для деаерації, яка використовується для термічної обробки питної води з метою видалення газів, пристрій для захисту від потенційно небезпечного підвищення тиску та рівня води в обладнанні для деаерації, а також охолоджувач випару.



1 – температура баку водою; 2 – тиск у баку; 3 – подача перегрітого пару; 4 – тиск підігрівної води; 5 – тиск основного конденсату; 6 – витрата води на одиницю маси; 7 – витрата основного конденсату; 8-9 – рівень в деаераторі; 10 – подача води на одиницю маси; 11 – подача основного конденсату; 12 – тиск перегрітого пару; 13 – подача деаерованої води до споживача; 14 – витрата деаерованої води.

Рисунок 2.1 – Структурна схема об'єкта



Забезпечення метрологічної точності процесу деаерації організоване відповідно до "Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж" та "Правил устрою та безпечної експлуатації суден, які працюють під тиском", враховуючи вимоги заводу-виробника, і визначається єдністю та високою точністю. Кожен деаератор обладнано трьома водяними склами, які дозволяють здійснювати моніторинг рівню води в баку-акумуляторі. Також на баках розташовані водяні колонки з датчиками рівня, що фіксують показання рівнеміра, встановленого на тепловому щиті підживлювальних насосів при відмітці "0" метрів.

Для вимірювання тиску пари в верхній частині деаератора встановлені манометри. Кожен бак обладнано двома реєструючими приладами для вимірювання тиску та рівня води в деаераторах №3 і №6.

У випадку відключення будь-якого з вищезазначених деаераторів для проведення ремонту можливо перенаправлення імпульсів на датчики від деаераторів №4 і №5. Повний перелік вимірювальних приладів, їх типи та шкали вимірювань наведено в табл. 2.1.

Охолоджувач випару поверхневого типу ОВА складається з горизонтального корпусу та вмонтованої у нього трубної системи з плаваючою головкою для забезпечення можливості очищення внутрішньої поверхні труб теплообміну (матеріал трубок - латунь або корозійностійка сталь). Для забезпечення безпечної експлуатації деаераторів передбачено використання комбінованого пристрою захисту, який підключається до резервуара деаератора через відвід переливу. Ця система в своєму складі має два гідрозатвора. Один з них має забезпечувати захист деаератора в випадку перевищення граничного тиску. Другий має функцію захисту об'єкта від перетину граничного рівня. Ці два гідрозатвора інтегровані в об'єднану систему і супроводжуються розширювальним резервуаром. Розширювальний резервуар використовується для накопичення об'єму води, необхідного для автоматичного наповнення пристрою після виправлення відхилень у роботі установки. Це робить пристрій автоматично наповнюваним.

Деаераційна колонка (головка) деаератора розташована на баці, а в самій колонці розміщені розподільчі сита з отворами для проходження води та пари. У першій головці деаератора №5 встановлено чотири сита з нержавіючої сталі товщиною 5 мм. У другій головці деаератора №5 і в головках деаераторів №3, 4, 6 встановлено по чотири сита з вуглецевої сталі товщиною 6 мм. Хімічно очищена вода подається на перше сито, а конденсат - на друге. Пара поступає під нижнє сито. Баки-акумулятори об'ємом 75 м³, що є зварною конструкцією, горизонтально встановлені на опорах, з однією нерухомою опорою і рухомими опорами для компенсації теплового розширення бака. З метою створення запасу для регулювання рівнів в баках-акумуляторах підтримується в межах 1,4-1,8 м.

Таблиця 2.1. – Перелік вимірювальних приладів

Вимоги до вимірювань			Вимоги до ЗВТ			
Контрольований параметр		Номінальне значення	Тип приладу	Межа вимірювання	Ціна ділення	Клас точності
Р пару (кгс/см ²)	Д-3	0,24	МП	0-1,6	0,02	1,5
	Д-4	0,24	МП	0-1,6	0,02	1,5
	Д-5	0,24	МП	0- 1,6	0,02	1,5
	Д-6	0,24	МП	0-1,6	0,02	1,5
t води (°C)	Д-3	104	Термометр	0-160	1	
	Д-4	104	Термометр	0-160	1	
	Д-5	104	Термометр	0-160	1	
	Д-6	104	Термометр	0-160	1	
Рівень води (м)	Д-3	1,8	Водомірне скло	0-2,5	0,1	
	Д-4	1,8	Водомірне скло	0-2,5	0,1	
	Д-5	1,8	Водомірне скло	0-2,5	0,1	
	Д-6	1,8	Водомірне скло	0-2,5	0,1	
Рівень води (м)	Д-3	1,8	КСУ-3 ДМЕР-М	2-1 м.	0,02	0,5
	Д-4	1,8		10 кПа		1
	Д-5	1,8	КСД-3 ДМ3583	2,2-1,2 м.	0,02	1
	Д-6	1,8		10 кПа		1,5
Р пару (кгс/см ²)	Д-3	0,24	КСД-3 ДМ3583	0-0,6 кгс/см ²	0,01	1
	Д-4	0,24				
	Д-5	0,24				
	Д-6	0,24				
В паровому колекторі		0,24		40 кПа		1,5



Розглянемо пристрої, які використовуються в наявній автоматичній системі керування деаератором.

Перетворювачі тисків ДМЕ-МІ, ДМЕУ-МІ, ДМЕР-МІ призначені для перетворення встановленого параметра в стандартизований струмовий сигнал. Ці пристрої придатні для використання з різними середовищами та вимірюють параметри рідких, газових та парових середовищ.

Основні функції даної лінійки приладів включають:

- перетворення різниці тиску рідини, газу та пари в стандартизований струмовий сигнал для перетворювачів тисків ДМЕ-МІ;
- перетворення рівня контрольованої рідини в стандартизований сигнал для перетворювачів тисків ДМЕУ-МІ;
- перетворення рівня витрати рідини, газу або пари в стандартизований сигнал для перетворювачів тисків ДМЕР-МІ.

Пристрій КСД-3, є стаціонарним одноканальним вказівниковим пристроєм з можливістю запису процесів на спеціальний диск.

Цей вимірювальний прилад дозволяє наглядати та регулювати параметри кількох фізичних величин, які мають неелектричне походження, такі як рівень, тиск газу чи рідини, витрати тощо. Ці прилади взаємодіють із первинними перетворювачами, які виконують процес конвертації неелектричних величин у показники комплексної взаємоіндуктивності. Ці первинні перетворювачі є частиною датчиків взаємоіндуктивності. Для забезпечення функціоналу компенсуючої системи разом із КСД-3 використовують перетворювальні системи типу дифтрансформатора.

Величина переміщення ядра, що входить до складу трансформаційного вузла дифтрансформатора, безпосередньо залежить від величини контрольованих параметрів. Для забезпечення руху використовується чутливий елемент вимірювальної системи КСД. У пристрої, що пропонується, переміщенню ядра сприяє спеціальний профільний шаблон, обертання якого забезпечується реверсивним електродвигуном.

Кожному положенню ядра відповідає конкретне положення трансформаційної системи вторинного пристрою. Це положення пов'язане з показником стрілочного вказівника на вимірювальній шкалі.

2.1.2 Система регулювання та сигналізації

Система сигналізації та регулювання рівня в деаераторах базується на використанні датчиків рівнів. Отримані від них сигнали подаються у схему попереджувальної сигналізації та автоматичного регулятора рівня.

Регулювання рівня здійснюється за допомогою регулятора РП 4-У спрямованого на підтримання рівня води на рівні 1650 мм. Сигнал про рівень надходить від датчика рівня, і коригування здійснюється через виконавчий механізм. Цей механізм регулює подачу хімічно очищеної води в систему підживлення, регулюючи її потік залежно від потреб. Більш детальний опис системи зазначений у додатку А.

2.1.3 Показники якості деаерації

Хімічний моніторинг, який використовується для контролю якості деаерації та обробки води на ТЕЦ, має на меті:

1. Своєчасне виявлення відхилень в режимах функціонування обладнання для обробки води, які можуть спричинити корозію, утворення накипу та відкладень.

2. Визначення якості та складу води, що надходить до деаератора та після його дії. Моніторинг жорсткості конденсату ТКУ, ТГ і дренажних баків проводиться при запуску турбоагрегату перед виведенням конденсату в деаератор, а також в процесі регулярної експлуатації один раз на зміну. У випадку виявлення збільшення контрольованого параметра під час хімічного аналізу, проводиться повторний аналіз, результати якого визначають необхідність коригування цього параметра або відключення деаератора для ремонту, якщо вдається відновити значення параметра. Хімічний аналіз питної води для оцінки показника лужності проводиться щоденно. Показники хімічно очищеної води контролюються фахівцями з обслуговування водопідготовки.

2.1.4 Безпека при обслуговуванні деаераторів

Під час технічного обслуговування деаераторів важливо дотримуватися чітко визначених безпекових вимог, які розподіляються на етапи перед початком, під час та після завершення робіт.

Перед початком робіт слід здійснити огляд приймального обладнання для підтвердження його належного стану, перевірити чистоту робочого місця та забезпечити порядок. Також важливо гарантувати належне освітлення робочого місця та обслуговуваного обладнання, перевірити справність контрольно-вимірювальних приладів, сигналізації та зв'язку. Обов'язково перевірити наявність та справність огорожень, а також перевірити наявність, достатність та справність первинних засобів пожежогасіння. Персонал повинен переглянути записи в оперативному журналі та денних відомостях, що були заповнені після останньої черги.

Під час обслуговування деаераторів слід дотримуватися наступних вимог до безпеки:

- вчасно виявляти течії в трубопроводах, уникати розливу та потрапляння води в розподільчі пристрої;
- забороняється тривале перебування біля фланцевих з'єднань трубопроводів під тиском;
- забороняється використовувати лом та труби при відкриванні та закриванні запірної арматури;
- виконувати візуальну перевірку справності манжетного та опорного вузла перед відкриванням або закриванням засувки;
- знаходитися під час відкривання або закривання запірної арматури від осі;
- забороняється працювати на випадкових підставках (ящиках,



бочках тощо).

Після завершення обслуговування деаераторів необхідно провести підготовку до передачі обслуговуваного обладнання та робочого місця. Слід прибрати з робочого місця замаслені матеріали та сміття, заповнити записи в оперативному журналі та денній відомості, зафіксувати виявлені дефекти в журналі дефектів та перевірити наявність та справність протипожежних засобів, інвентарю та документації.

2.2 Підхід до побудови нової системи

2.2.1 Задачі автоматизації

Після аналізу сучасних методів автоматизації деаераційних агрегатів та вивчення існуючої системи можна визначити завдання для модернізації автоматизованої системи управління та усунення недоліків:

1. Покращення якісних показників технологічного процесу деаерації шляхом точнішого вимірювання та регулювання витрати води в прямому і оборотному циклах на вході та виході з технологічних об'єктів.

2. Зниження собівартості процесу деаерації через зменшення енерговитрат у системі подачі води за рахунок автоматизованого контролю та підтримки витрат води.

3. Підвищення безвідмовності апаратної частини системи управління шляхом заміни її розподіленою системою автоматичного управління технологічним процесом деаерації, базованою на сучасних технологіях.

4. Інтеграція модернізованої системи управління деаераційною установкою в інформаційну систему обліку параметрів технологічного процесу.

Автоматизована система управління (АСУ) – це складний комплекс технічних і програмних засобів, спільно з організаційними структурами, будь то окремі особи чи колектив, що забезпечує ефективне управління об'єктом (або комплексом об'єктів) в умовах виробничого, наукового або соціального середовища [7]. Функціональна схема автоматизації вказує на те, як конкретний виробничий процес автоматизовано, і демонструє використані технічні рішення та розташування технологічного обладнання, включаючи стандартизовані умовні позначення для елементів управління, приладів та засобів автоматизації.

2.2.2 Концепція роботи системи

Метою створення функціональної схеми управління (ФСУ) є поліпшення ефективності керування системою деаерації. Досягнення цієї мети передбачає своєчасне надання повної та достовірної інформації управлінському персоналу через автоматизовану систему управління (АСУ) для прийняття рішень. Впровадження АСУ зазвичай призводить до вдосконалення організаційних структур і методів управління, гнучкої



регламентації документообігу та процедур управління, створення нормативів і покращення організації виробництва. АСУ відрізняються за функціями і можливостями інформаційного сервісу [7].

Функції автоматизованої системи управління (АСУ) поділяються на три категорії: інформаційна, керуюча і захисна. Кожну з цих функцій оцінюють з точки зору надійності, після чого визначають загальну надійність АСУ [7]. Задані значення порівнюють з отриманими результатами розрахунків, і у випадку відмінностей деякі елементи резервуються.

Інформаційна функція охоплює отримання, обробку та передачу персоналу або зовнішнього середовища даних про стан технологічного об'єкта управління. Це включає приймання сигналів від датчиків, відображення процесу за допомогою мнемосхем, передачу сигналів на виконавчі пристрої, генерацію сигналів тривоги, формування архівів та обмін даними між рівнями автоматизованої системи управління (АСУ) [7]. Надійність інформаційної функції визначається ймовірністю безвідмовної роботи протягом певного періоду часу та середнім часом наробітку на відмову. Відмова цієї функції призводить до втрати даних, тому встановлені строгі вимоги до її надійності.

Керуюча функція включає управління технологічним процесом, оцінку інформації, вибір керуючих впливів та їх впровадження. Оцінка надійності керуючої функції враховує не лише ймовірність безвідмовної роботи, але також ймовірність відновлення працездатності. Ці параметри утворюють загальну надійність керуючої функції. При відмові керуючої функції оператор може вручну керувати об'єктом управління, проте з меншою точністю, ніж у режимі автоматичного управління.

Система автоматизованого управління (АСУ) процесом деаерації є вдосконаленою і має два рівні. На верхньому рівні розташована SCADA-система, її інтеграція в яку здійснюється за допомогою пристрою передачі даних. На нижньому рівні використовується регулюючий пристрій, а також реєстратор для місцевого контролю параметрів.

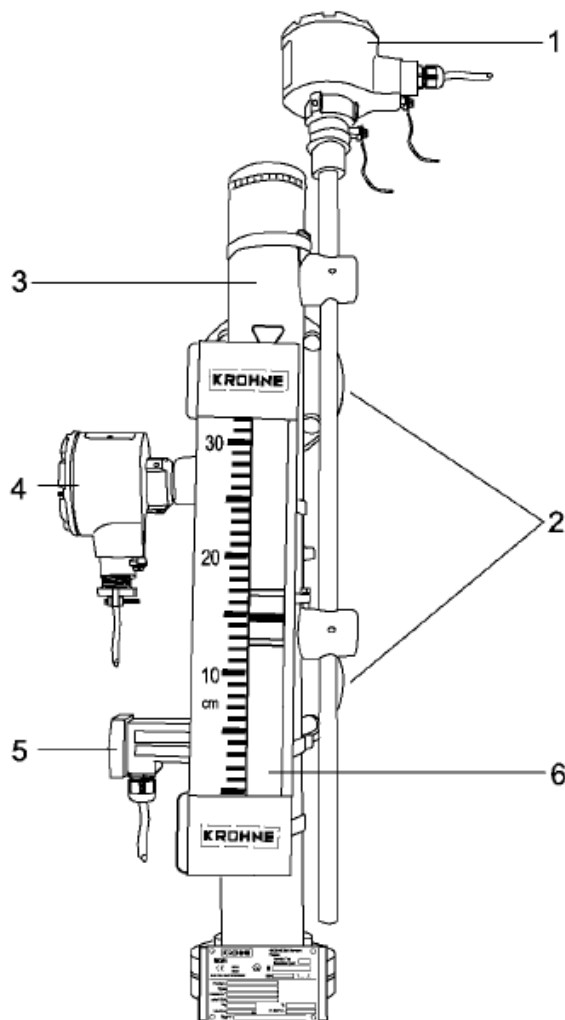
На нижньому рівні системи проводиться постійне регулювання технологічних параметрів. Програмне забезпечення даної АСУ є досить простим, і його можна ускладнювати за необхідності. У системі автоматизованого управління технологічним процесом з двома рівнями SCADA не виконує функції регулювання; цю функцію виконує пристрій регулювання. SCADA-система генерує завдання для регулятора і також служить інтерфейсом між оператором та системою.

Для забезпечення синхронізації управління процесом взаємодія між контролерами на нижньому рівні використовується, що забезпечує ефективність дворівневої системи автоматизованого управління технологічним процесом. Ця синхронізація призводить до підвищення ефективності системи управління та коефіцієнта корисної дії виробничого процесу.

2.2.3 Обґрунтування та вибір технічних рішень

Для створення схеми необхідно відбирати відповідне обладнання, враховуючи вимоги стандарту АСУТП та відповідність сучасним стандартам промисловості 4.0, здатність інтеграції з верхньою системою МЕС.

Для вимірювання рівня обрано байпасний індикатор рівня ВМ 26 А від компанії Krohne (рис 2.2). Цей індикатор використовується для визначення рівня, розділу фаз або об'єму рідини в відкритих резервуарах або ємностях, які перебувають під надлишковим тиском [8]. Зазвичай його монтує поруч із резервуаром і працює на принципі пов'язаних судів, де рівень рідини в вимірювальній трубі відповідає рівню рідини в резервуарі. Ця конструкція робить пристрій придатним для використання з корозійними, токсичними або запальними речовинами, а також в умовах складної експлуатації.



1 – перетворювач рівня; 2 – технологічне з'єднання;
3 – вимірювальна труба; 4-5 – межові вимикачі; 6 – шкала-індикатор.

Рисунок 2.2 – Датчик рівня ВМ 26

Місцевий індикатор складається з жовто-чорних магнітних прапорців, що обертаються під впливом магнітного поля поплавка в скляній трубці. Це дозволяє місцево визначати рівень рідини без необхідності електроживлення. Крім того, пристрій оснащений аналоговим перетворювачем рівня, який забезпечує безперервну індикацію рівня, генеруючи аналоговий токовий вихідний сигнал 4...20 мА для моніторингу рівня. Цей тип індикатора використовує трубку з нержавіючої сталі, всередині якої розташована схема з резисторів та герконів, кріплена поруч із вимірювальною трубою. Відповідно до положення магнітної системи поплавка формує вихідний сигнал, який калібрується на заводі та не вимагає додаткового налаштування під час введення в експлуатацію. Для сигналізації збільшення або зменшення рівня до складу ВМ 26 входять межові вимикачі, які кріпляться до вимірювальної труби та можуть бути виставлені по всьому діапазону вимірювання. Межові вимикачі активуються магнітною системою, вбудованою в поплавок.

Для вимірювання тиску пари буде використовуватися датчик надлишкового тиску Сафір-2140 (рис 2.3), який базується на мікропроцесорному електронному модулі.



Рисунок 2.3. – Датчик тиску «Сафір»

Датчики Сафір-2140 призначені для перетворення тиску в різних середовищах, таких як рідина, пара, газ (включаючи газоподібний кисень та газові суміші з киснем), у стандартизований аналоговий вихідний сигнал та цифровий сигнал на основі HART-протоколу. Даний датчик може бути налаштований для вимірювання тиску в діапазоні від 25 кПа до 400 кПа. Вбудовані кнопкові елементи управління модулем дозволяють виконувати такі функції, як установка нуля, регулювання границь і вибір форми вихідного сигналу.

Структура датчика включає сенсорний блок із перетворювачем тиску та електронний перетворювач, який генерує стандартизований сигнал на основі напруги або сили струму. Вхідна величина, яку потрібно вимірювати, подається в камеру сенсорного блоку, де вона перетворюється в деформацію тензоперетворювача. Ця деформація змінює електричний опір тензорезисторів тензоперетворювача, а електронний перетворювач конвертує цю зміну опору в струмовий вихідний сигнал. Чутливим елементом тензоперетворювача є пластина [9] із монокристалічного сапфіру, на яку нанесено кремнієві плівкові тензорезистори, а ця пластина є міцно з'єднаною з металевою мембраною тензоперетворювача [9].

Через різноманітній сфері застосування датчиків тиску даної серії, можливі різноманітні схеми їх підключення до процесу та компенсації небажаних впливів на обладнання (гідроудар, висока температура).

Для живлення обраного обладнання необхідний блок живлення, який розроблений для постачання стабілізованої напруги постійного струму для живлення вимірювальної апаратури, приладів індикації та реєстрації а також іншого різноманітного обладнання. У цьому випадку обирається блок живлення БПС-24-4К-Н20 від фірми "Мікрол" (рис.2.4).

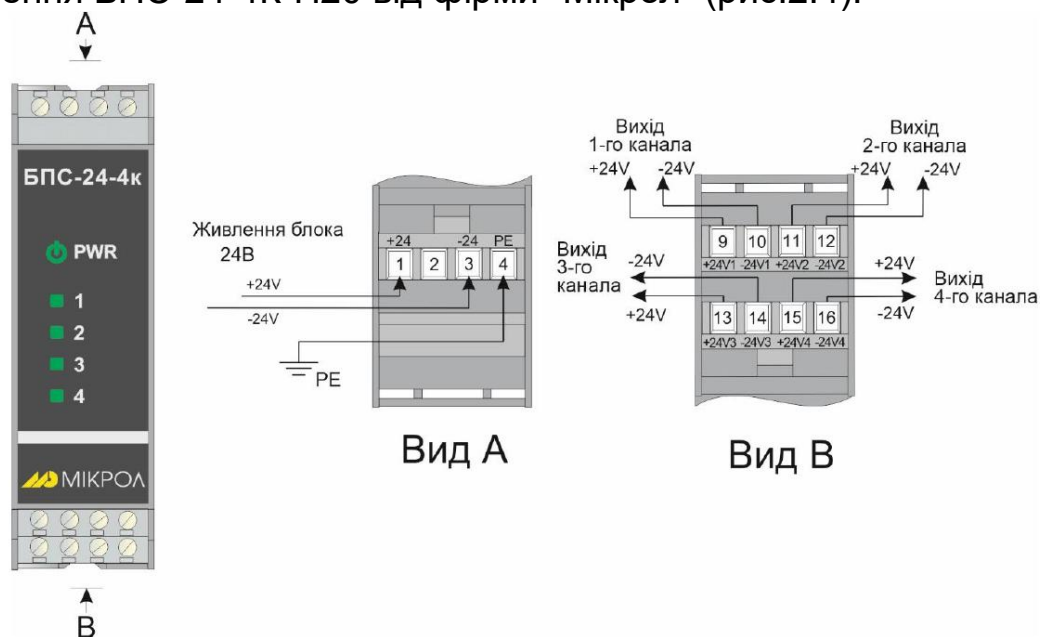


Рисунок 2.4 – Блок живлення БПС -24

Стабілізований блок живлення БПС-24 має чотири вихідні канали з напругою 24 В та максимальним струмом 25 мА на кожен канал. Він оснащений захистом від короткого замикання та перевантаження на виході, автоматично відновлюючи вихідну напругу після усунення перевантаження або короткого замикання [10]. Середній час безвідмовної роботи, з урахуванням технічного обслуговування, не менше 100 000 годин. Вхід та вихід блоку гальванічно ізольовані один від одного та від ланцюгів живлення. Середній термін експлуатації принаймні 10 років.

Критерій допустимої межі експлуатації – економічна недоцільність подальшої експлуатації.

В якості регулятора використаємо регулятор МІК-122-К7(рис.2.5), який призначений для вимірювання двох контрольованих вхідних фізичних параметрів, таких як температура, тиск, витрата, рівень тощо [11]. Після вимірювання відбувається обробка, перетворення та відображення їх поточних значень на вбудованих чотирирозрядних цифрових індикаторах. Регулятор формує вихідний аналоговий або імпульсний сигнал управління зовнішнім виконавчим механізмом, забезпечуючи аналогове, імпульсне, 2-3-х позиційне, або регулювання в режимі override вхідного параметра за П, ПІ, ПД або ПІД законом відповідно до заданої користувачем логіки роботи та параметрами регулювання [11].



Рисунок 2.5 – Регулятор МІК-122

Регулятори МІК-122-К7 виконують роль програмованого пристрою для вимірювання загальних електричних величин. Вони забезпечують можливість локального, дистанційного, ручного регулювання та дискретного керування. У регуляторі реалізовано два незалежних канали вимірювання та два регулятори (аналоговий, ПІД-ШИМ регулятор, імпульсний ПІД регулятор, 3-х, 2-х позиційний), що дозволяє ефективно керувати технологічними процесами в промисловості [11]. Основні характеристики включають точне утримання значень вимірюваних параметрів, трьохрівневу гальванічну ізоляцію між входами, виходами та ланцюгом живлення, а також можливість використання для автономного та комплексного впровадження в АСУТП в різних галузях промисловості.

Основні функції включають вимірювання та відображення двох контрольованих вхідних параметрів, формування вихідного аналогового чи імпульсного сигналу для керування зовнішніми механізмами, а також сигналізацію технологічно небезпечних зон та перевищення (заниження)

параметрів. Цей пристрій призначений для оптимізації продуктивної роботи завдяки використанню високоінтегрованого мікроконтролера RISC архітектури, виготовленого за технологією високошвидкісної КМОН (комплементарна структура метал - оксид – напівпровідник) з низьким рівнем енергоспоживання. У своїй конструкції регулятор використовує аналого-цифровий перетворювач, модулі дискретно-цифрового введення та цифро-дискретного виводу, а також вбудовані засоби для контролю циклів роботи програми. Додатково, регулятор обладнаний енергонезалежною пам'яттю EEPROM та NVRAM для збереження конфігураційних параметрів та даних користувача.

Внутрішня програма пристрою працює за постійним циклом, який включає зчитування аналогових та дискретних входів, обробку клавіатури, прийом команд та даних з послідовного інтерфейсу. За допомогою цих вхідних сигналів виконуються всі розрахунки відповідно до програмованих функцій та параметрів користувача [12]. Результати обчислень виводяться на імпульсні та дискретні виходи, на індикаційні елементи та фіксуються для передачі через послідовний інтерфейс.

Для впровадження запропонованої системи у загальну систему автоматизованого управління технологічним процесом (АСУТП) ми використовуємо модуль MAS-100 (рис. 2.6). Цей модуль є представником новітніх цифрових пристроїв, спеціально розроблених для ефективного збору, зберігання та передачі даних за допомогою інтерфейсів RS-485 та Ethernet. Він призначений для опитування пристроїв введення/виведення та контролерів, які можуть передавати дані через мережі RS-485 та Ethernet. Модуль підтримує протоколи Modbus RTU та Modbus TCP, що спрощує взаємодію з іншими пристроями.



Рисунок 2.6 – Модуль передачі даних MAS-100

Пристрій надає можливість отримання даних від зовнішніх пристроїв через локальну таблицю реєстрів Modbus. Крім того, він виконує функцію зберігання даних з 64 точок вимірювання у форматі «.csv», які

зберігаються в архівному файлі на картах пам'яті Micro SD. Модуль також має вбудований веб-сервер, що полегшує доступ до налаштувань пристрою, поточних даних та архівних файлів [13]. Застосування протоколів Modbus RTU і Modbus TCP робить цей пристрій універсальним і забезпечує можливість взаємодії з обладнанням різних виробників.

Для реєстрації локального процесу буде використовуватися Реєстратор R-10L, спеціально призначений для багатоканального вимірювання фізичних величин [14]. Ці величини перетворюються в електричні сигнали струму і напруги через первинні перетворювачі. Подальше перетворення в фізичні одиниці, такі як температура, тиск, витрати, рівень тощо, відбувається перед здійсненням математичної обробки та формуванням сигналів керування. Усі дані архівуються в енергонезалежній пам'яті та передаються в системи автоматизації та управління технологічними процесами. Цей реєстратор знаходить своє застосування в різних галузях промисловості та енергетиці, включаючи атомну енергетику.

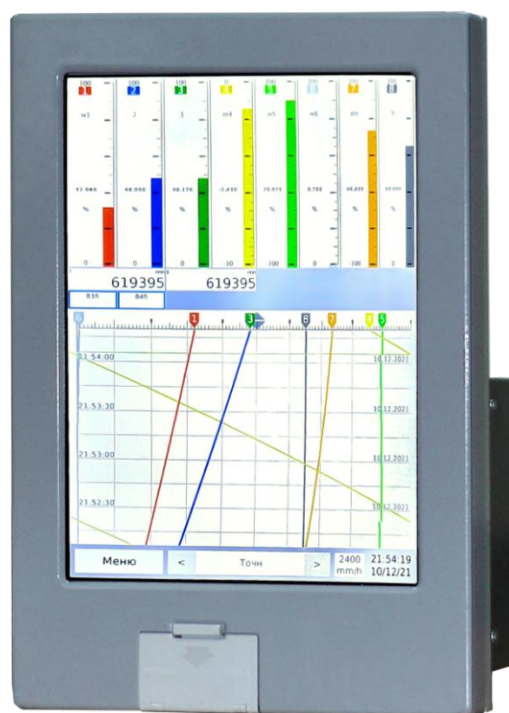


Рисунок 2.7 – Реєстратор R-10L

Реєстратор може функціонувати як самостійний пристрій або входити до складу вимірювальних та інформаційних систем. Він працює за принципом блочно-модульної схеми, використовуючи уніфіковані модулі за конструкцією та інтерфейсом. Це дає можливість оснащувати його необхідними модулями згідно з вимогами користувачів і змінювати конфігурацію пристрою з використанням лише обслуговуючого персоналу, без зміни програмного забезпечення.



Реєстратор, обладнаний 10,4-дюймовим кольоровим дисплеєм і сенсорною панеллю, відображає вимірювані та обчислені параметри, а також дозволяє керувати налаштуваннями та переглядати архівні дані. Маючи два рівні якості функціонування - номінальний та рівень відмови, цей реєстратор використовує вбудоване програмне забезпечення, яке включає широкий спектр математичних функцій для обробки та трансформації вимірюваних величин.

Основні можливості реєстратора включають [15]:

- 1) точне перетворення сигналів напруги, сили струму та активного опору від первинних давачів в значення температури, рівня, витрат, тиску та інших електричних та неелектричних величин;
- 2) відображення та реєстрація дискретних вхідних сигналів для подальшого використання їх у функціях управління;
- 3) обчислення математичних, тригонометричних та логічних функцій з використанням змінних констант для оперативної та дистанційної зміни каналами введення;
- 4) корекція похибки первинного давача;
- 5) фільтрування, інтегрування даних та функція лічильника [15];
- 6) вимірювальне перетворення вихідних параметрів у стандартні сигнали струму та напруги;
- 7) формування сигналів управління вихідними каналами;
- 8) відображення біжучих та архівних даних на дисплеї у формі числових значень, горизонтальних та вертикальних гістограм, графіків з відображенням одиниць і діапазонів вимірювання, положення уставок та можливість довільного користувацького масштабування;
- 9) реєстрація всіх вимірюваних та обчислених величин [15];
- 10) отримання та обробка цифрових даних від інших приладів по RS485 за протоколом ModbusRTU;
- 11) перегляд архіву на ПК, друк протоколу, обчислення статистичних значень та експорт у Excel за допомогою програми для ПК [15].

Реєстратор виконаний за принципом блочно-модульної схеми, використовуючи уніфіковані модулі як з точки зору конструкції, так і з точки зору інтерфейсу. Це дозволяє налаштовувати пристрій, додаючи необхідну кількість модулів згідно із вимогами користувачів і змінювати його конфігурацію з боку обслуговуючого персоналу, не вимагаючи змін або корекцій у програмному забезпеченні. У Реєстратора є 128 каналів для реєстрації даних, розмір архіву складає не менше 75 мільйонів точок вимірювання, і в нього входять 36 універсальних аналогових входів, призначених для підключення різних типів сигналів, таких як струм, напруга, сигнал опору, термометричні опори та термопари.

У цьому дослідженні використовуються виконавчі механізми з регулюючими органами, а саме електроприводи AUMA серії SQF (рис 2.8).

Ці приводи з поворотним виконанням працюють за допомогою електродвигуна, який оснащений спеціальною рукояткою для ручного

управління. Вимикання в крайніх положеннях може здійснюватися шляхом обмеження або за допомогою затискання за крутний момент. Для ефективного керування та обробки сигналів привода необхідний виконувати керування за допомогою контролера.



Рисунок 2.8 – Виконавчий механізм AUMA SQF

Функції керування AUMATIC включають стандартне управління клапаном у режимі відкрито-закрито, позиціонування, управління процесом, реєстрацію експлуатаційних даних та діагностичні функції.

Операції, налаштування та відображення можна виконати на місці або безпосередньо на контролерах. При встановленні в режимі локального керування можливо виконувати управління приводом за допомогою місцевих елементів керування (кнопок та дисплея) та виконання налаштувань, або проводити зчитування, запис та зміна налаштувань за допомогою програмного забезпечення AUMA CDT, яке встановлено на комп'ютері.

Зв'язок між комп'ютером та AUMATIC відбувається бездротово через інтерфейс Bluetooth.

Привід оснащений магнітним обмежувачем та передавачем крутного моменту, який також надає аналогові сигнали зворотного крутного моменту та індикації крутного моменту, а також аналогові сигнали зворотної позиції і індикації позиції. Привід вимикається при досягненні крайнього положення. Схема електричних під'єднань зазначена на рис. 2.9.

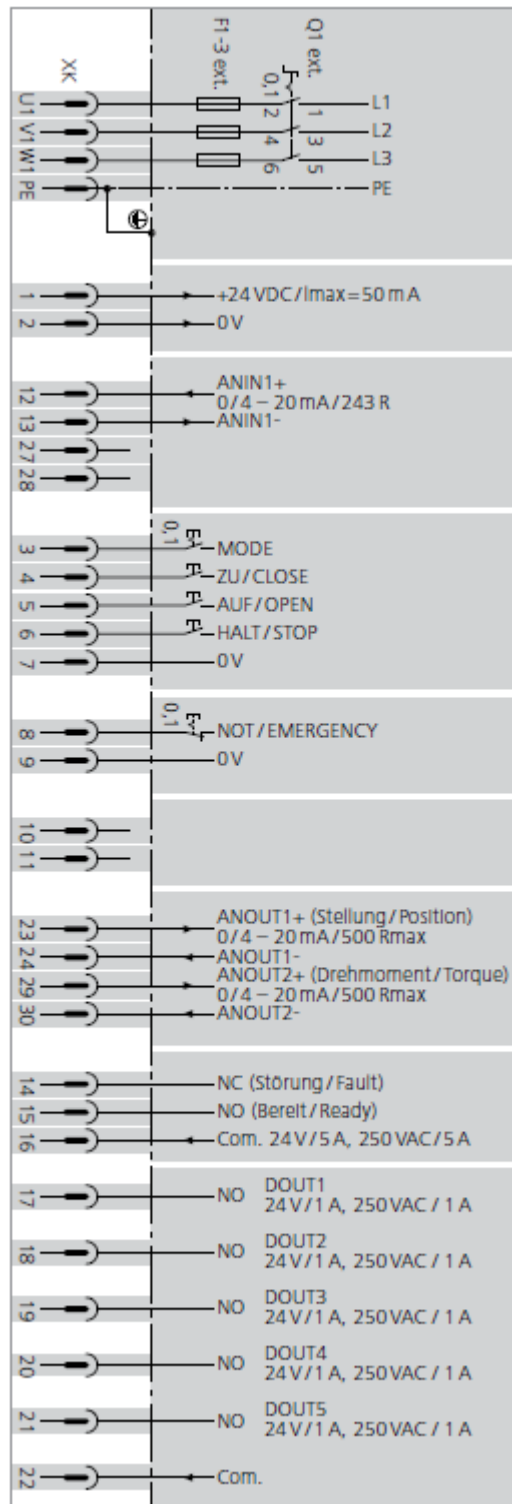


Рисунок 2.9 – Схема електричних під'єднань AUMA SQF

Механічний інтерфейс для з'єднання з арматурою є стандартним. В різних галузях та умовах можуть використовуватися паралельне управління, польові шини та системи дублювання. При управлінні через польову шину застосовуються різні протоколи.



Для регулювання положення арматури використовуються сигнал уставки положення та сигнал фактичного положення, який, є аналоговим сигналом струму значенням 4-20 мА.

Використання цифрових протоколів розширює пропускну здатність для передачі інформації. Поза командами управління та сигналами зворотного зв'язку через полеву шину від РСУ передаються параметри обладнання та робочі дані.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Опис засобів вимірювання рівня

3.1.1 Вступ до розділу

На сьогоднішній день існує ряд різних засобів вимірювання рівня рідини в баках та резервуарах, які використовуються в різних промислових, комерційних та наукових застосуваннях.

Вимірювання рівня є визначенням верхнього положення рідини або сипучих речовин у ємностях за допомогою рівнеміра. Постійне вимірювання рівня (поділки рівня) виконується за допомогою рівнеміра, тоді як точне, дискретне вимірювання виконується за допомогою рівневого індикатора чи сенсора.

У вимірюванні постійного рівня рівень визначається у відсотках відносно максимального рівня, висоти, об'єму або інших одиниць за допомогою аналогових і цифрових сигналів [16].

Комбіновані пристрої вимірювання рівня, які складаються з рівнеміра з інтегрованим реле, часто використовуються в ситуаціях, коли монтаж на бічній стіні бака небезпечний через загрозу витоків. Встановлення рівнеміра виконується зверху, а рівень спрацьовування рівнеміра регулюється зміною рівня підвіски рівнеміра. Цей метод встановлення рівнеміра дозволяє зекономити кошти на проектуванні та монтажі.

Вимірювання рівня застосовується для різних завдань. Вибір рівнеміра залежить від речовин, які мають бути виміряні: рідких чи сипучих матеріалів. Крім того, слід враховувати фізичні та хімічні властивості вимірюваних речовин, вроджену безпеку (Ex ia), захист від вибуху (Ex d), захист від переливання, властивості бака та інші фактори.

3.1.2 Поплавковий датчик рівня

Поплавкові датчики рівня (рис.3.1) представляють собою простий і економічний метод визначення максимального рівня рідини. Вони є надійним варіантом і, якщо обрати їх правильно, можуть бути використані для сигналізації рівня різних рідких середовищ, від агресивних рідин до звичайної води [16].

Основний принцип роботи полягає в тому, що тіло з меншою щільністю, ніж рідина, плаває. Таким чином, поплавковий сигналізатор рівня виринає, передаючи свій рух через важіль або гнучкий кабель, який в свою чергу активує реле або переміщує потенціометр. Крім того, поплавок можна розмістити в направляючій трубі. Положення поплавка можна безконтактно визначити за допомогою індуктивного датчика або за допомогою магніту, закріпленого на поплавку, який активує магнітне реле або магнітострикційний датчик.

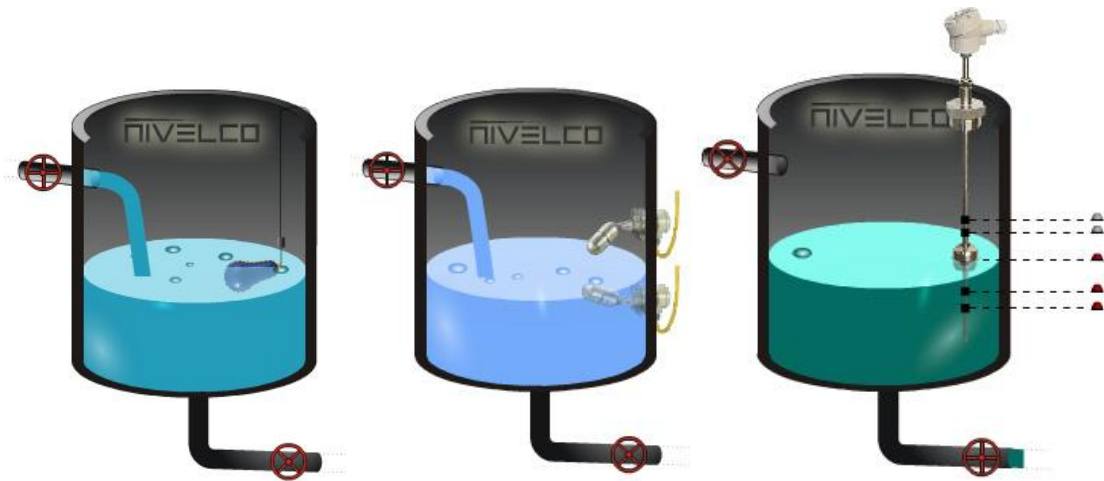


Рисунок 3.1 – Поплавкові датчики рівня

Поплавковий вимірювач призначений для видачі електричного дискретного сигналу, який показує рівень рідини та рівень розділу двох невластиво сумісних рідин у технологічних апаратах і резервуарах. У цих вимірювачах присутній плаваючий поплавок, який розташований на поверхні рідини та викликає перетворення вимірюваного рівня у рух поплавка. Зазвичай використовується легкий поплавок, виготовлений з корозійностійкого матеріалу. Для передачі інформації від чутливого елемента (поплавка) використовуються різні види зв'язку. Магніт, який зазвичай оснащений поплавком, може знаходитися в вимірювальній трубі або ковзати по напрямному важелю. Зміна опору перетворюється в електричний вихідний сигнал, що не лише дозволяє візуально контролювати рівень, але і забезпечує дистанційну передачу вимірювань та інтеграцію в систему автоматизації.

Переваги використання поплавкових вимірювачів рівня:

- 1) простота;
- 2) міцність;
- 3) невисока вартість;
- 4) покази рівня стабільні при незначній зміні щільності;
- 6) не потрібна періодична калібровка;
- 7) в конструкції датчика рухомою частиною є лише поплавок;
- 8) немає відхилення початкового та максимального значення.

Недоліки:

- 1) датчики не підходять для рідин, які мають високий рівень в'язкості;
- 2) проблеми з плескучими рідинами;
- 3) плавучість залежить від розмірів поплавка;
- 4) точка спрацьовування залежить від змін (коливань) щільності речовин.

3.1.3 Вібраційний датчик рівня

Вібраційний датчик рівня у формі металевої вили або стрижня здійснює коливання на своїй власній резонансній частоті за допомогою п'єзоелектричного перетворювача [17]. При зануренні в середовище з щільністю, більшою, ніж щільність повітря, частота та амплітуда коливань змінюються. Ці зміни реєструються, і електронний блок генерує сигнал про активацію датчика рівня. Вібраційний датчик рівня не вимагає налаштувань та обслуговування, підходить для всіх рідин навіть при утворенні відкладень, турбуленції та повітряних бульбашок. Крім того, він не залежить від електричних властивостей середовища. Вібраційний датчик рівня також застосовується для вимірювання рівня сипучих матеріалів.

Вібраційні датчики рівня (рис.3.2) використовуються як надійні засоби індикації рівня як рідин, так і сипких матеріалів різної щільності та в'язкості, а також охоплює широкий діапазон тиску і температур. Дані пристрої можуть бути використані в ємностях, резервуарах і трубопроводах завдяки їхній модульній конструкції. Через універсальний і простий системи вимірювань індикатор рівня практично нечутливий до хімічних і фізичних властивостей рідини. Він ефективно працює навіть таких умовах як турбуленція та наявність пазирів повітря. Вібраційні індикатори рівня можуть вимірювати рівень практично будь-яких рідин. Вібруючий елемент активується за допомогою п'єзоелектричного методу і видає механічні коливання з резонансною частотою приблизно 1200...1300 Гц.



Рисунок 3.2 – Вібраційні датчики рівня

П'єзоелементи закріплені механічно і не піддаються впливу теплового удару. При поглибленні вібруючого елемента в вимірюване середовище частота змінюється. Це зміну частоти фіксує вбудований генератор і перетворює в команду для перемикачання.

Вібраційні індикатори рівня застосовуються для захисту від переливання, від помилкових перемикачів, захисту насосів при установці на трубопровід, а також як сигналізації верхнього або нижнього рівня.

Часто індикатори рівня встановлюються як незалежний пристрій для контролю верхнього і нижнього рівнів, а також для забезпечення додаткового захисту від переливів у випадку відмови рівнеміра.

3.1.4 Гідростатичний датчик рівня

Вимірювання рівня гідростатичним датчиком рівня (рис.3.3) здійснюється за допомогою гідростатичного методу або вимірювання різниці тиску в не залежності від властивостей середовища, таких як його діелектрична проникливість, утворення піни, турбуленція та внутрішні елементи резервуара, наприклад, стійки і мішалки. При цьому важливо, щоб щільність вимірюваної речовини залишалася незмінною.

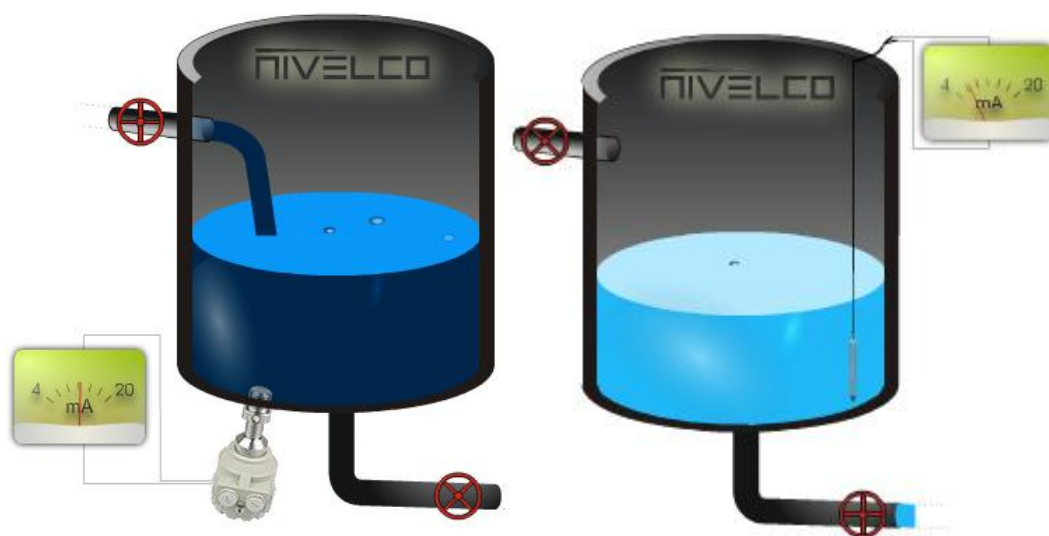


Рисунок 3.3 – Гідростатичний датчики рівня

В своїй основі гідростатичний метод має принцип вимірювання гідростатичного тиску стовпа рідини за формулою

$$P = \rho gh, \quad (3.1)$$

де P – тиск, ρ – щільність, g – прискорення вільного падіння, h – висота стовпа рідини.

Цей метод може бути застосований для контролю рівня різноманітних рідин, від води до паст, у резервуарах, свердловинах і криницях. Гідростатичні датчики тиску (рівня) визначаються їхньою доступністю та простотою конструкції, але мають обмежений застосування через умови експлуатації, такі як монтаж на днище резервуара, вимога щодо постійної щільності вимірюваного об'єкта і придатність лише для спокійних об'єктів або процесів. Невід'ємний контакт

з вимірюваним об'єктом також обмежує їх застосування. Гідростатичні датчики можуть бути колокольного (занурювального) або мембранного (вбудованого) типу.

Переваги гідростатичних датчиків:

- 1) висока точність;
- 2) застосовний для забруднених рідин;
- 3) відсутність рухливих частин;
- 4) відповідне обладнання не потребує складного технічного обслуговування.

Недоліки:

- 1) можливо виникнення зміна тиску, що приводить до похибки вимірювання;
- 2) необхідна повна компенсація атмосферного тиску;
- 3) залежність від показників щільності рідини, через що зміна її приводить до похибки вимірювання.

3.1.5 Ємнісний датчик рівня

Ємнісний вимірювач рівня (рис 3.4) призначений для вимірювання поточного рівня та сигналізації двох межових рівнів різних рідин та сипких матеріалів, таких як вода, молоко, пиво, луг, кислота, нафта, нафтопродукти, зерно, продукти його розмелу, цукор, цемент, пісок, вапно, а також інші рідкі і сипкі середовища [18].

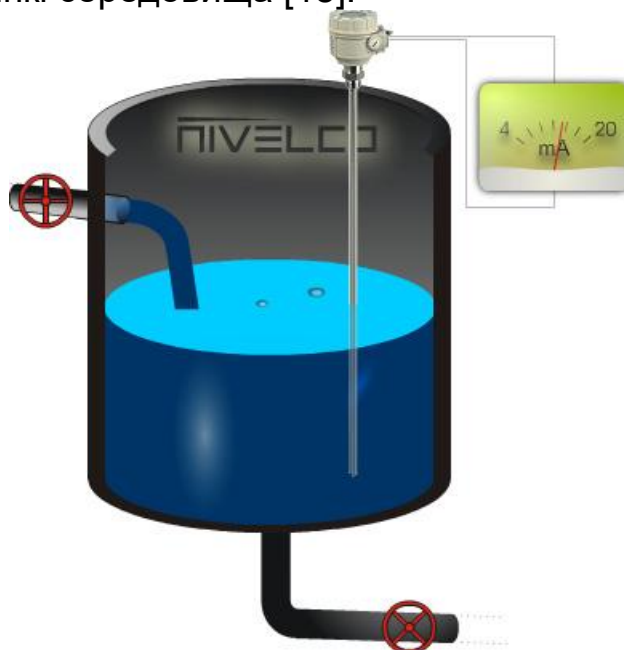


Рисунок 3.4 – Ємнісний датчики рівня

Робота цих вимірювачів рівня ґрунтується на різниці діелектричної проникливості рідини та повітря. Базовий елемент ємнісного приладу складається з електрода (металевого стрижня або провідника), розташованого у вертикальній металевій трубці. Стрижень та трубка утворюють конденсатор ємність якого прямо пропорційна рівню



вимірювальної рідини. В випадку збільшення рівня від нуля до максимуму, діелектрична проникливість конденсатора змінюється від діелектричної проникливості повітря до діелектричної проникливості рідини.

Ємнісний метод забезпечує високу точність, приблизно 1,5%, але, так само як і поплавковий метод, має свої обмеження – середовище не повинно прилипати та утворювати відкладення на чутливому елементі. Ємнісні датчики широко використовуються в випадку контролю рівня робочого середовища, будь то рідке чи сипке (порошки, цемент, гранульовані продукти), а також для електропровідних і неелектропровідних речовин. До обмеженні використання ємнісних датчиків також можна віднести вимоги до однорідності середовища – вони ефективні лише в однорідних умовах, принаймні в зоні розташування чутливого елемента.

Ємнісні вимірювачі рівня застосовуються в наступних середовищах :

- 1) рідини, суспензії, порошки, гранули;
- 2) хімічні речовини з щільними шарами газу над поверхнею;
- 3) в'язкі та агресивні середовища;
- 4) значний а також від'ємний тиск;

Переваги ємнісних датчиків рівня:

- 1) швидкодія;
- 2) простота;
- 3) невелика маса;
- 4) висока чутливість;
- 5) відсутність механічних рухомих інерційних частин;
- 6) електроди з покриттям із фторопласту забезпечують можливість їх застосування в агресивних середовищах.

До недоліків цих типів датчиків можна віднести високу чутливість до зміни електричних властивостей рідин, а також утворення на елементах датчика електропровідної або непровідної плівки внаслідок хімічної активності рідини, конденсації її парів, налипання самої рідини на контактуючі в ній елементи і т.п.

3.1.6 Кондуктометричні датчики рівня

Кондуктометричні вимірювачі рівня (рис. 3.5) використовуються для моніторингу одного чи кількох межевих рівнів провідної рідини. Робота кондуктометричного (омічного) вимірювача рівня ґрунтується на вимірюванні опору між електродами, які поміщені в вимірюване середовище.



Рисунок 3.5 – Багатостержневий кондуктометричний датчик

Ці вимірювачі опору використовуються в випадку моніторингу рівня провідних рідин з провідністю більше 0,2 См/м. До таких рідин відносять воду, розчини кислот, рідкі метали, рідкі суміші солей та порошкоподібні матеріали із специфічною провідністю більше 1 мкС/см.

Датчики рівня кондуктометричні можуть бути одностержневими (о або багатостержневими для контролю кількох рівнів рідини (рис 3.5). Багатостержневі кондуктометричні датчики рівня можуть включати від 1 до 5 електродів різної довжини.

Основні переваги кондуктометричних датчиків є:

- 1) простота і надійність;
- 2) висока тиск і температура можливі у технологічному процесі;
- 3) легке регулювання та обслуговування;
- 4) відсутність рухомих механічних частин;
- 5) невразливість до турбулентності.

Недоліки:

- 1) не придатні для використання з клейкими матеріалами та діелектриками;
- 2) використання масляних речовин може призвести до відмови.

3.1.7 Ультразвуковий датчик рівня

Вимірювачі рівня на основі ультразвуку (рис 3.6) володіють численними перевагами. Вони відзначаються високою точністю вимірювань, стійкістю до пошкоджень під час експлуатації і доступністю за низькою вартістю. Саме ці характеристики значно підвищили популярність ультразвукових вимірювачів рівня, особливо в системах, де використання поплавкових і буйкових вимірювачів рівня є неможливим.

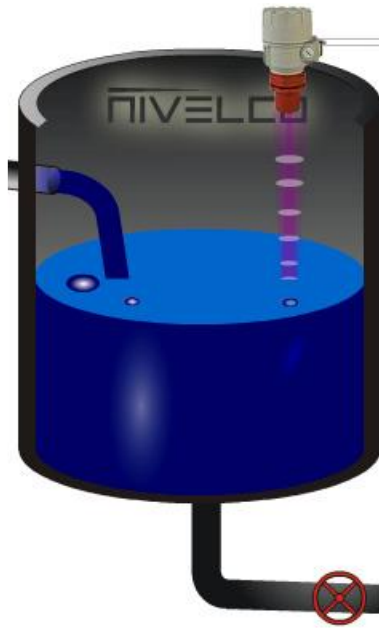


Рисунок 3.6 – Ультразвуковий датчик

Робота вимірювачів рівня даного типу ґрунтується на принципі вимірювання періоду, що потрібний для того, щоб ультразвуковий сигнал пройшов від випромінювача до поверхні рідини і повернувся. Після того як відбулося отримання відбитого сигналу випромінювач переходить у режим датчика. Зазвичай розташування ультразвукового датчика у верхній частині ємності є найбільш поширеним. При цьому сигнал проймає повітряне середовище, відбиваючись від межі із твердим (рідким) середовищем. Такий вимірювач рівня отримав назву акустичного. Крім того, можливий варіант установки датчика в дно ємності.

Основні переваги ультразвукових вимірювачів рівня:

- 1) безконтактний;
- 2) застосовний для забруднених рідин;
- 3) реалізація методу не вимагає високих вимог до стійкості та міцності обладнання;
- 4) незалежність від густини контрольованого середовища.

Недоліки:

- 1) велике розходження конусу випромінювання;
- 2) відображення від нестаціонарних перешкод (наприклад, перемішувачів) може призвести до похибок вимірювання;
- 3) звуковий сигнал не може поширюватися в вакуумі;
- 4) на покази впливають: температура, вологість, тиск, турбулентність, піна, пар, зміна концентрації рідини, газові суміші.

3.1.8 Мікрохвильові радарні вимірювачі рівня

Вимірювачі рівня на основі радару представляють собою найбільш універсальний засіб, аналогічний акустичним вимірювачам рівня [16]. Їхні

принципи дії ґрунтуються на використанні явища відбиття електромагнітних коливань від поверхні розділу середовища рідина-газ. (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Мікрохвильові радарні вимірювачі рівня

Радарні датчики рівня не мають контакту з вимірюваним об'єктом. Це дозволяє їх використовувати в ускладнених умовах, зокрема при високому тиску, великій температурі, у наявності парів та газів над поверхнею. Також їх можна використовувати для контролю рівня в'язких, неоднорідних рідин та сипучих матеріалів. В порівнянні з ультразвуковими безконтактними вимірювачами рівня, радарні мають значно меншу чутливість до змін температури та тиску в робочому резервуарі, а також більшу стійкість до явищ, таких як пилосмоктання, випаровування з контрольованої поверхні, утворення піни. Радарні вимірювачі рівня забезпечують високу точність (до ± 1 мм), що дозволяє їх використовувати в системах комерційного обліку. Сучасні радарні вимірювачі рівня є "інтелектуальними" пристроями, які об'єднують в собі як вимірювальну частину, так і обробку отриманого сигналу. Зазвичай вони є інтерфейсними пристроями. Тим не менш, значним обмежуючим фактором застосування радарних вимірювачів рівня залишається висока вартість цих пристроїв.

Переваги:

- 1) радіохвилі можуть поширюватися в вакуумі, на них не впливає температура, тиск, вологість, піна/туман/пил, матеріал (рідкий/сипучий), щільність, значення діелектричної сталості, хімічно агресивне середовище, провідність, зміна властивостей матеріалу, спричинена процесом утворення комків, наявність рухомих поверхонь;

- 2) надійне вимірювання порошкоподібних матеріалів навіть під час наповнення ємності;
- 3) вимірювання рівня рідин при утворенні піни в умовах підвищення тиску.

Недоліки:

- 1) електромагнітні хвилі поглинаються (не відбиваються) діелектриками (пластик, скло, папір і т. д.);
- 2) діелектрична стала вимірюваної речовини має бути більше 1,6;
- 3) клеючі речовини можуть спричинити відмови.

3.1.9 Рефлексні вимірювачі рівня

Рефлексні рівноміри (рис. 3.8) призначені для визначення рівня, відстані та об'єму рідин, паст і сипких продуктів, а також для визначення розділу фаз у рідких продуктах.

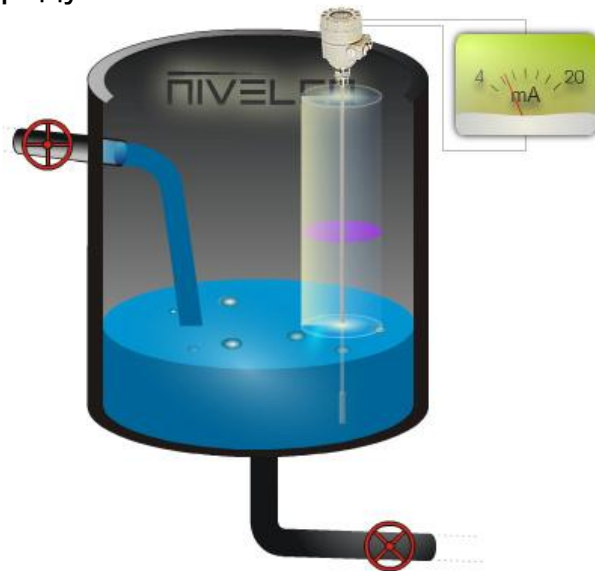


Рисунок 3.8 – Рефлексні вимірювачі рівня

Принцип роботи рефлексних рівноміри схожий на радарні рівноміри, але електромагнітний імпульс не розповсюджується в газовому середовищі, а через спеціальний зонд - волновід. Зондами можуть бути стержень, трос, група тросів або коаксіальний кабель. Направлене мікрохвильове вимірювання рівня застосовується у випадках, коли інші пристрої стають складними для використання. Наприклад, ультразвукові пристрої можуть відмовляти через високий вміст пилу або недостатню енергію, що відбивається сухими сипкими продуктами або густою піною.

Цей датчик рівня використовує електромагнітні імпульси, які поширюються по волноводу і відбиваються від межі різкої зміни діелектричної сталості, вказуючи на межу між повітрям та продуктом (рис. 3.8). Випромінювані імпульси мають низьку потужність і концентруються вздовж зонда, що означає, що випромінена енергія майже не втрачається. Це також означає, що сила відбитого сигналу (амплітуда) буде майже однаковою незалежно від довжини зонда.

Інтенсивність відбитого сигналу залежить від діелектричної проникливості середовища. Чим вищий коефіцієнт діелектричної проникливості, тим вища інтенсивність відбитого сигналу.

Для визначення рівня межі поділу двох середовищ ультразвуковий рівнемір використовує залишкову енергію імпульсу від першого відбиття. Частина енергії імпульсу не відбивається від поверхні верхнього середовища, а продовжує рухатися в середовищі, доки не відбивається від поверхні нижнього середовища, при цьому швидкість поширення хвилі повністю залежить від діелектричної проникливості верхнього середовища.

3.1.10 Радіоізотопний вимірювач рівня

Радіоізотопні датчики застосовують при необхідності точного безконтактного вимірювання рівня в умовах технологічного процесу, які можуть бути складними (рис. 3.9). Гамма-випромінювання створює просту та надійну систему неушкоджуючого контролю рівня рідин, твердих тіл або суспензій, незалежно від розмірів та форми резервуару. Радіаційні датчики не вимагають проникнення в об'єм продукту або резервуар взагалі [16].



Рисунок 3.9 – Радіоізотопний вимірювач рівня

Оскільки вимірювання здійснюється за межами резервуару, що містить рідину, гамма-вимірювач не піддається впливу високих температур та тисків, корозії, абразивів, випаровувань чи пилу, що може вплинути на прилад, введений у вимірюване середовище або навіть його пошкодження. Незважаючи на високу ефективність, цей метод



вимірювання рівня використовується в останню чергу через вартість та специфічні вимоги.

Пристрої із радіоізотопними вимірювачами поділяються на дві категорії - системи слідування які призначені для неперервного вимірювання рівня а також сигналізатори відхилення рівня від заданого значення, які сповіщають про відхилення рівня від установленого значення.

Використання пристроїв із радіоізотопними випромінювачами обґрунтоване у випадках, коли інші методи вимірювання не є придатними. Проте через здатність радіоактивного джерела проникати випромінюванням через звичайні сталеві резервуари, їх використання вимагає отримання спеціальних дозволів, вжиття заходів забезпечення радіаційної безпеки для обслуговуючого персоналу, а також збереження джерела. Таким чином, це технічне рішення вимагає уважного розгляду та попередньої підготовки.

Переваги радіоізотопного методу вимірювання рівня:

- 1) неперервне, безконтактне вимірювання рівня будь-яких продуктів;
- 2) застосування навіть в умовах важких технологічних процесів: високого тиску, високої температури, високої корозійності, токсичності та абразивності;
- 3) використовується на будь-яких промислових ємностях при наявності конструкційного обладнання всередині контрольованого простору: реактори, автоклави, сепаратори, резервуари з кислотою, змішувачі, циклони, вагранки;
- 4) підключення до системи за відкритими протоколами;
- 5) використовується в системах безпеки для визначення передільного рівня.

Недоліки:

- 1) потребує наявності ліцензії на використання приладів із джерелами випромінювання;
- 2) додаткове технічне обслуговування.

Рівнемір використовується в гірничорудній, хімічній, металургійній промисловості, а також на підприємствах ядерного паливного циклу.

3.1.11 Висновок до розділу

Для вибору оптимального методу вимірювання рівня в деаераторному баку слід врахувати ключові параметри, що визначають його ефективність. Вибраний метод повинен задовольняти основні критерії, такі як надійність, висока точність та прийнятна вартість. Найефективніший варіантів, який відповідає усім цим вимогам, - це застосування поплавкового рівнеміра з магнітною системою передачі показань на реостат.



Прикладом такого типу датчика є байпасний індикатор рівня BM 26 A від компанії Krohne. Вибір цього конкретного типу датчика обумовлений його надійністю, простотою в експлуатації, наявністю індикатора для візуального контролю, а також наявністю стандартного виходу 4-20 мА.

3.2 Дослідження регуляторів рівня

3.2.1 Вступ до розділу

Через те, що головна тема кваліфікаційної роботи пов'язана з модернізацією регулювання рівня, необхідно провести дослідження в галузі регуляторів рівня.

У рамках даного дослідження проводилися порівняння різних видів регуляторів рівня води, зокрема релейного, П-регулятора, "жорсткого" та усереднюючого ПІ-регулятора, а також ПІД-контролера. Налаштування виконувалися з використанням вбудованих можливостей TIA Portal, таких як автотюнінг, а також за допомогою налаштувань ПІД-контролера з використанням нейромережі в середовищі MATLAB.

Релейний регулятор є одним із видів автоматичних регуляторів, який використовує реле для управління системою. Його принцип дії має в основі вимірювання величини вихідного сигналу системи, порівнянні її з заданою величиною і введенні коригуючого сигналу для забезпечення стабільності та точності регулювання. Основна перевага релейних регуляторів полягає в їхній простоті та надійності, але вони можуть викликати коливання або нестабільність в системі.

"Жорстке" керування вимагає швидко діючого регулюючого клапана з позиціонером, щоб уникнути вторинних затримок, які можуть викликати осциляційну поведінку при високих коефіцієнтах керування. Зазвичай для "жорсткого" керування рівнем достатньо пропорційного режиму з високим коефіцієнтом пропорційності.

Усереднююче регулювання рівня спрямоване на вирівнювання варіацій потоку, уникнення переливання або випадіння рідини з резервуара. Контролер усередненого рівня повинен мати певні налаштування, зокрема пропорційну величину з заданим значенням в діапазоні, коефіцієнт пропорційності та вихідний зсув для ефективного управління клапаном та резервуаром.

Ці експерименти виявляються важливими для розуміння ефективності різних регуляторів у системах управління рівнем води та надають можливість оптимізації їхньої роботи в конкретних умовах.

3.2.2 Реалізація цифрового об'єкту для дослідження

Для впровадження дослідження був використаний цифровий двійник бака-накопичувача (рис. 3.10), що був створений за допомогою програми Factory I/O від Real Games.



Рисунок 3.10 – Модель бака

Factory I/O [20] - це програмний продукт, який використовувався для створення віртуальних об'єктів та систем в індустріальному середовищі. Даний програмний продукт дозволяє моделювати різні сценарії та завдання від автоматизації, програмованого логічного контролера, систем введення/виведення, до механічних об'єктів, таких як конвеєри, датчики, клапани і так далі.

Програма створює віртуальне індустріальне середовище, де користувач може налаштовувати та тестувати різні сценарії без реального обладнання. Це особливо корисно для навчання, тестування та вдосконалення навичок у сфері автоматизації та програмування логічних контролерів.

Цифровий близнюк бака-накопичувача (рис. 3.10) включає наступні компоненти – бак висотою 3 м та об'ємом 6 м³, з вбудованим датчиком рівня типу Krohne BM 26A, два регулюючих клапани для подачі та зливу води, які дозволяють наповнювати бак, а також зливати воду з витратою від 0 до 0,35 м³/г. Також є можливість вимірювати витрату на виході бака за допомогою датчика витрати. Крім того реалізовано пульт управління, який дозволяє виконувати місцеве керування регулятором, обирати ручний або автоматичний режим роботи, задавати уставку рівня, а також відстежувати показники датчиків і відсоток відкриття клапанів

Ця програма дозволяє симулювати роботу програмованих контролерів (PLC) різних виробників, таких як Siemens і Allen-Bradley, та використовувати протоколи Modbus & OPC. Крім того, вона надає тривимірну візуалізацію різноманітних виробництв на основі передвизначених компонентів.

В якості програмного обладнання для цього дослідження було обрано симулятор контролера S7-PLCSIM Advance V4.0 (рис. 3.11)

S7-PLCSIM є частиною пакету програмного забезпечення Totally Integrated Automation (TIA) Portal від Siemens [21]. Його основним призначенням є емуляція роботи логічних контролерів, таких як SIMATIC S7-1200 та S7-1500, без прив'язки до реального обладнання. Завдяки цьому, інженери можуть розробляти, тестувати та відлагоджувати програми PLC в інтегрованому середовищі, не використовуючи фізичний обладнання.

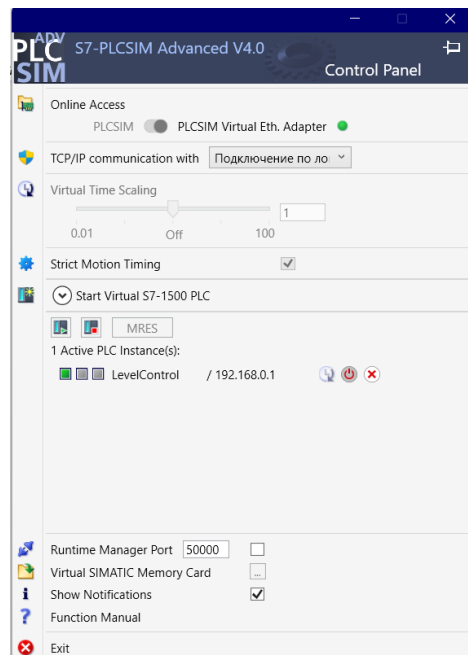


Рисунок 3.11 – Симулятор контролера

До основних функції S7-PLCSIM Advance можна віднести забезпечення можливість створювати та запускати віртуальні PLC для тестування програмного забезпечення та визначення його працездатності в інтерактивному середовищі. Також є Можливість симулювати різні моделі контролерів та їх функціональність, що забезпечує легку інтеграцію з TIA Portal, який є основним інструментом для розробки та конфігурації автоматизованих систем Siemens. Всі ці переваги дозволяє проводити відлагодження та вдосконалення свої програми до їхнього впровадження в реальних умовах.

Для забезпечення збору та обробки даних використовується пакет WinCC Unified (рис 3.12), який також є частиною інтегрованого середовища TIA Portal, до основних характеристик WinCC Unified можна віднести сучасний інтерфейс для створення візуальних елементів управління та моніторингу промислових процесу, можливості для відображення та анімації даних, що поліпшують візуальний аспект моніторингу систем. Також є можливості інтеграції зі смарт-пристроями та мобільними платформами для віддаленого моніторингу та керування, що

забезпечує роботу в розподіленому середовищі з можливістю керування об'єктами з різних місць.

Покращені засоби для збору, обробки та архівування даних дозволяють проводити подальшого аналізу. WinCC Unified розробляється для використання зі сучасними промисловими платформами та обладнанням, і вона є частиною стратегії Siemens щодо підтримки Industry 4.0 та концепції Інтернету речей в промисловості. Ці продукти, розроблені Siemens, вписуються в концепцію Industry 4.0, яка передбачає інтеграцію цифрових технологій у виробничі процеси.

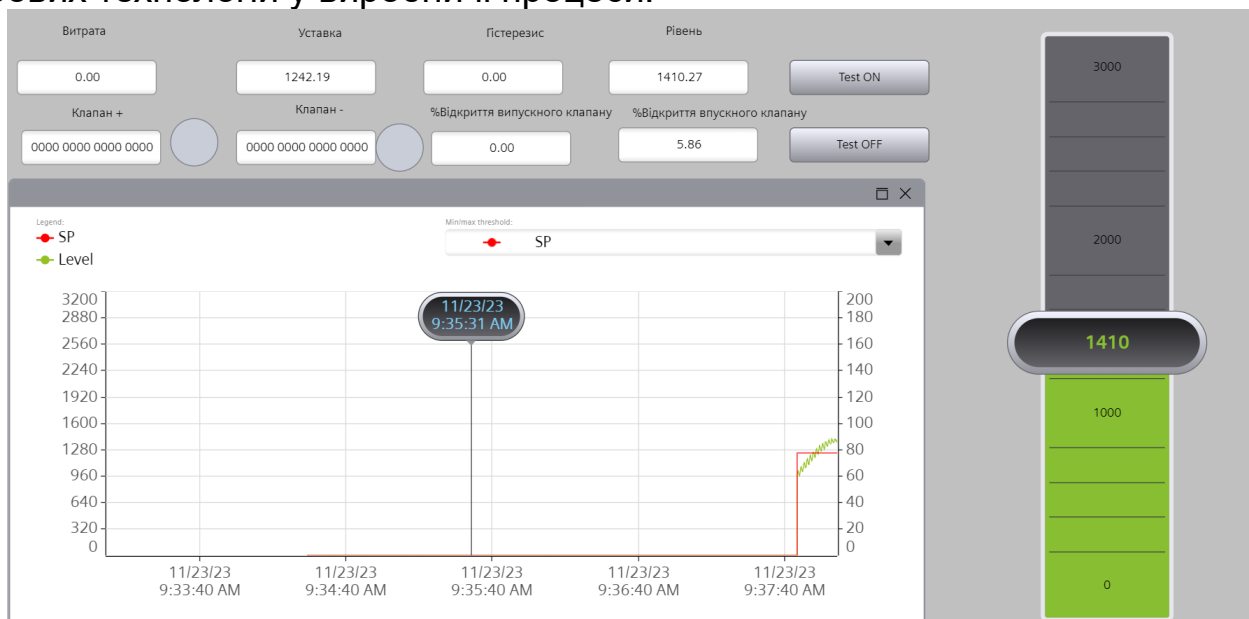


Рисунок 3.12 – Інтерфейс програми WinCC Unified

Для розширення можливостей дистанційного керування моделлю і спільної роботи над експериментом була розроблена програма в середовищі Node-RED (рис 3.14).

Node-RED є візуальне програмне забезпечення для відкритої розробки, яке дозволяє збирати, взаємодіяти та відправляти дані між пристроями та послугами в реальному часі. Воно широко використовується в галузі Інтернету речей (IoT) та розробки програм для обробки потоків даних.

Node-RED пропонує графічний інтерфейс користувача для розробки програм. Користувачі можуть створювати програми (вузли) за допомогою візуального інтерфейсу та з'єднувати їх за допомогою стрілок для визначення потоку даних. А також має широкий набір вбудованих вузлів, що представляють різноманітні функціональні можливості. Ці вузли дозволяють працювати з різними пристроями, протоколами та послугами для створення різноманітних застосунків IoT, включаючи збір та обробку даних від сенсорів, взаємодію з пристроями IoT та інтеграцію з хмарами та іншими послугами.

Цей пакет підтримує роботу з різними пристроями та сервісами, включаючи HTTP, MQTT, WebSocket, бази даних, сервіси хмари та інші. А також можливо створювати власні вузли та розширювати функціональність Node-RED за допомогою власних розширень.

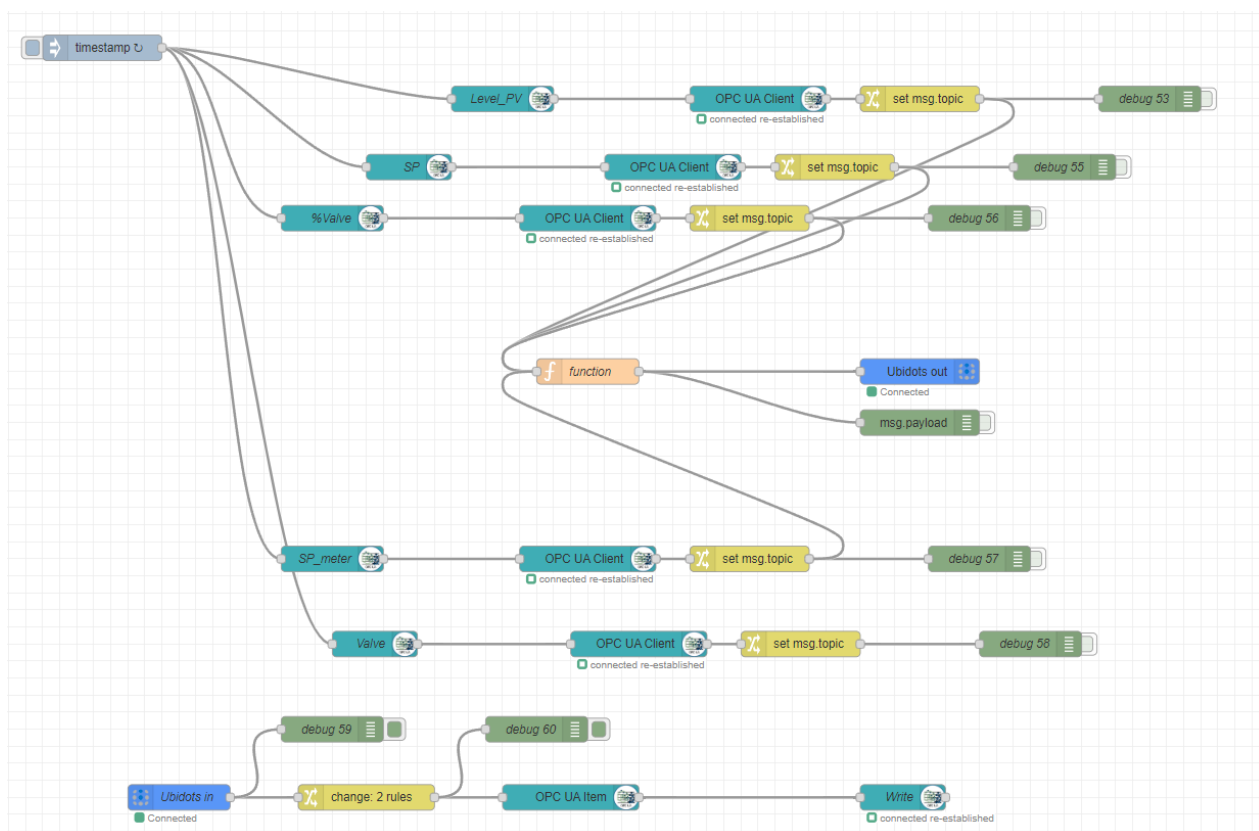


Рисунок 3.13 – Інтерфейс програми WinCC Unified

Node-RED дозволяє швидко розгортати та налаштовувати IoT-рішення та різноманітні програми для обробки потоків даних без глибоких навичок програмування.

Це дозволяє об'єднати передачу даних за допомогою протоколу OPC-UA з хмарною платформою Ubidots.

Ubidots - це платформа хмарного типу, що використовується для Інтернету речей (IoT). Вона має змогу збирати, візуалізувати та аналізувати дані з пристроїв та датчиків в режимі реального часу. Ця платформа спрощує розгортання та керування IoT-проектами, надаючи інтерфейс для моніторингу та керування підключеними пристроями та збору даних.

Ubidots дозволяє легко підключати різні пристрої та датчики до Інтернету та відправляти дані на їх сервери для подальшої обробки. Платформа надає інтуїтивний інтерфейс для візуалізації даних у вигляді графіків, графіків, карт та інших візуальних елементів. Користувачі можуть моніторити стан своїх IoT-проектів в режимі реального часу. Підтримує

інтеграцію з іншими хмарними сервісами та платформами, що дозволяє розширити функціональність та обмін даними.

Платформа надає можливості для аналізу даних, встановлення умов та налаштування сповіщень в реальному часі. Ubidots забезпечує рівень безпеки та конфіденційності даних, що є важливим аспектом при роботі з інформацією з промислових та IoT-пристроїв.

Ця платформа є популярним інструментом для розробників та підприємств, які ведуть проекти в галузі IoT та потребують ефективного інструменту для збору та аналізу даних з підключених пристроїв.

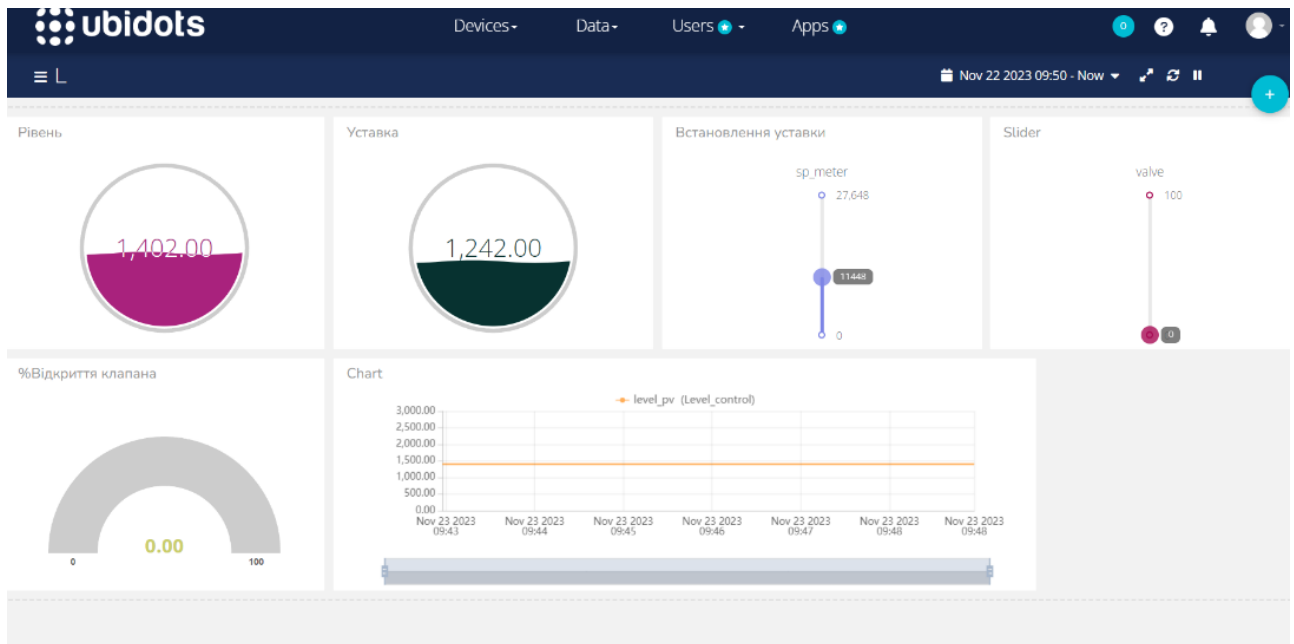


Рисунок 3.14 – Візуалізація в сервісі Ubidots

Загалом, наведені інструменти надають можливість проводити експерименти в кіберпросторі, використовуючи лише комп'ютерну апаратну частину. Це забезпечує безпеку досліджень, знижує ризик та розширює спектр можливостей порівняно з експериментами на реальних об'єктах.



Рисунок 3.15 – Схема з'єднань програмних засобів

3.2.3 Дослідження релейного регулятора.

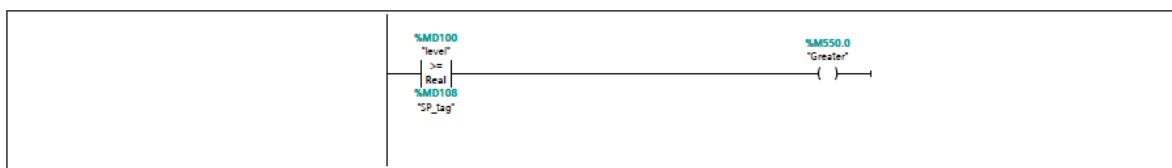
Дослід релейного регулятора проводився за допомогою реалізованого цифрового об'єкту за допомогою створення окремої програми в середовищі TIA Portal [22] (рис 3.16) Алгоритм програми наступний:

Зазначається два граничних значення рівня, перший відповідає значенню необхідної уставки. Другий менше нього на величину значення гістерезису. Це необхідно для того, щоб регулятор працював більш стабільно і не відкликався на незначні коливання. В результаті експериментів було визначено найбільш оптимальне значення гістерезису в 50 мм.

Якщо рівень нижче другого значення, то на аналоговий вихід, який відповідає за клапан подачі води, подається значення 27648, що відповідає повному відкриттю клапана. При досяганні рівня води до значення уставки на аналоговий вихід подається значення 0, яке повністю закриває клапан. Результати дослідів відображені на графіку (рис. 3.17)

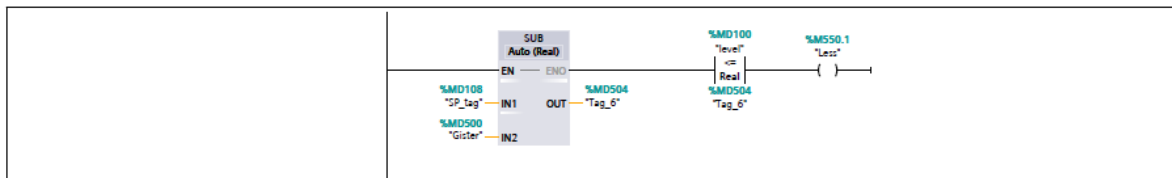
Network 1:

Верхній датчик урівня

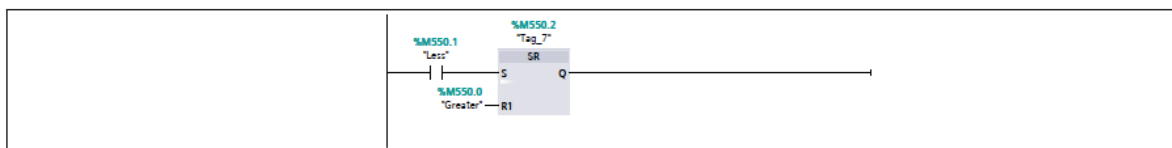


Network 2:

Нижній датчик урівня



Network 3:



Network 4:

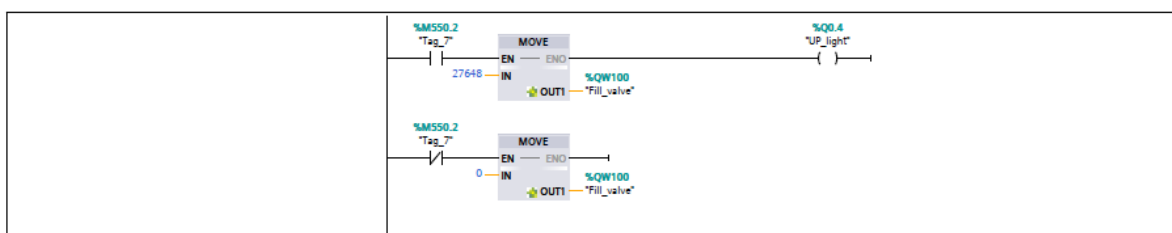


Рисунок 3.16 – Алгоритм програми реалізований у TIA Portal



● - задане значення ● - поточне значення

Рисунок 3.17 – Результати досліджень релейного регулятора

На графіку (рис 3.17) видно, що релейний регулятор забезпечує швидке досягнення уставки, але при цьому має невелику точність. Простота цього регулятора є його перевагою, і його можна відтворити без використання мікропроцесорної техніки.

3.2.4 Дослідження автоматичного налаштування

Для автоматичного налаштування використовується можливість TIA Portal по налаштуванню ПІД контролера, які вбудовані стандартно в усі ЦПУ серії S7 [23]. Регулятори PID вимірюють фактичне значення фізичної величини, наприклад, температури чи тиску, і порівнюють його із заданим значенням. На основі отриманого відхилення системи контролер обчислює керовану величину, яка спричинює зближення фактичного значення до заданого так швидко і стабільно, як це можливо. З PID_Compact можливі різні режими роботи, такі як:

- 1) переднастройка;
- 2) точна настройка;
- 3) автоматичний режим;
- 4) ручний режим.

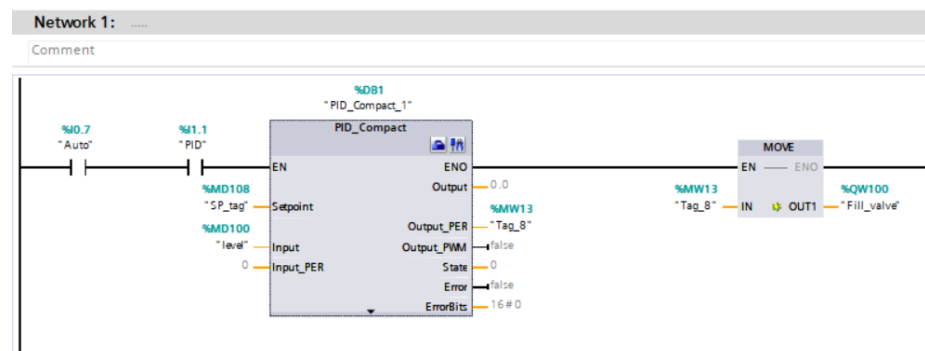


Рисунок 3.18 – Використання PID_Compact

В середовищі програмування TIA Portal налаштування PID-регулятора в блоку PID Compact можна виконати за допомогою функціоналу "Автотюнінг" в спеціальному режимі конфігурації, де необхідно редагувати параметри контролера. Для цього потрібно увімкнути режим вимірювання та натискати кнопку "Автотюнінг". Під час автотюнінгу система буде спостерігати за реакцією на зовнішні впливи та регулювати параметри PID. Після завершення автотюнінгу необхідно зберегти налаштування блоку PID Compact і, за необхідності, внести вручну корекції.

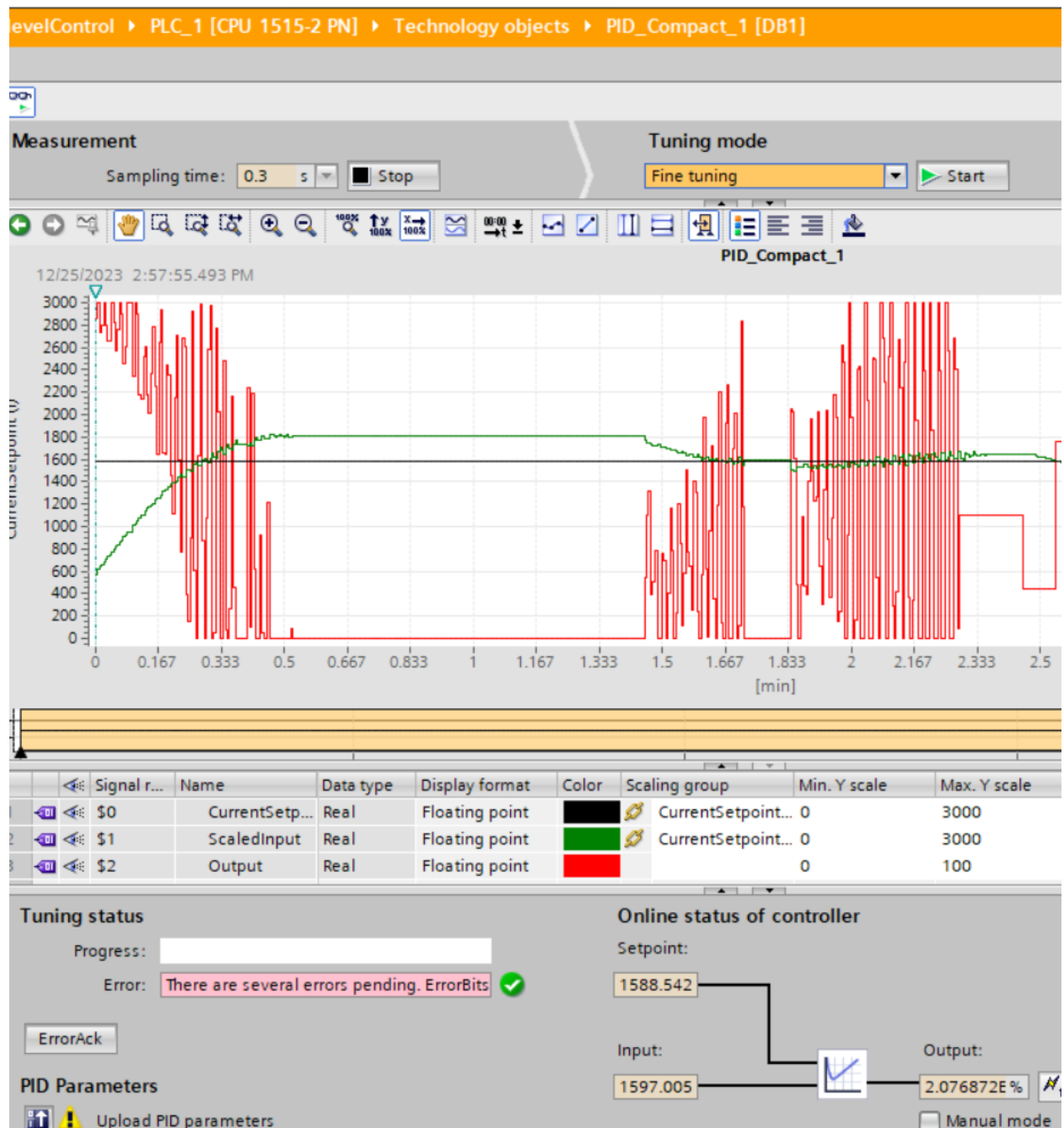


Рисунок 3.19 – Процес автотюнінга

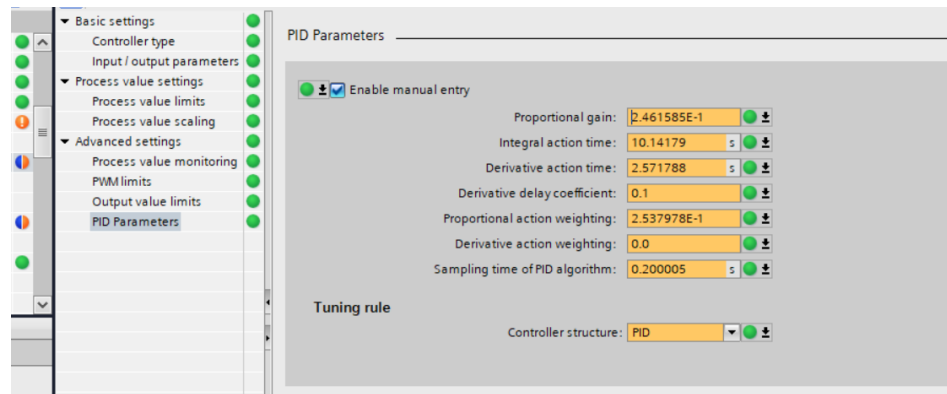
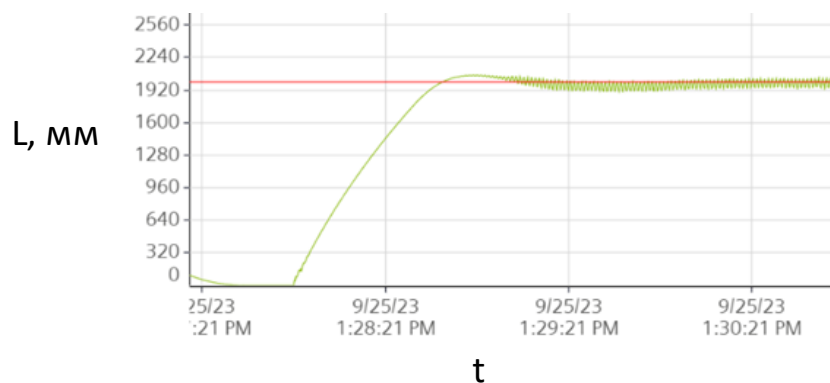


Рисунок 3.20 – Налаштування регулятора



● - задане значення ● - поточне значення

Рисунок 3.21 – Результат дослідження PID регулятора

На графіку (рис. 3.21) представлений PID регулятор, налаштований за допомогою вбудованого автотюнінгу в TIA Portal. Він забезпечує точне регулювання, але занадто часто змінює положення виконавчого клапану, що може викликати небажані часті коливання.

3.2.5 Дослідження ПІ регулятора.

Для налаштування ПІ регулятора скористаймося тим самим блоком PID_Controller, однак параметри налаштування регулятора внесемо в ручну (рис 3.22).

Відповідно до рекомендацій [5], провели налаштування ПІ регулятор з параметрами $K_p=1$ і $t_i=12$ с. Його характеристика схожа з релейним регулятором, але вона більш "м'яка" і точна.

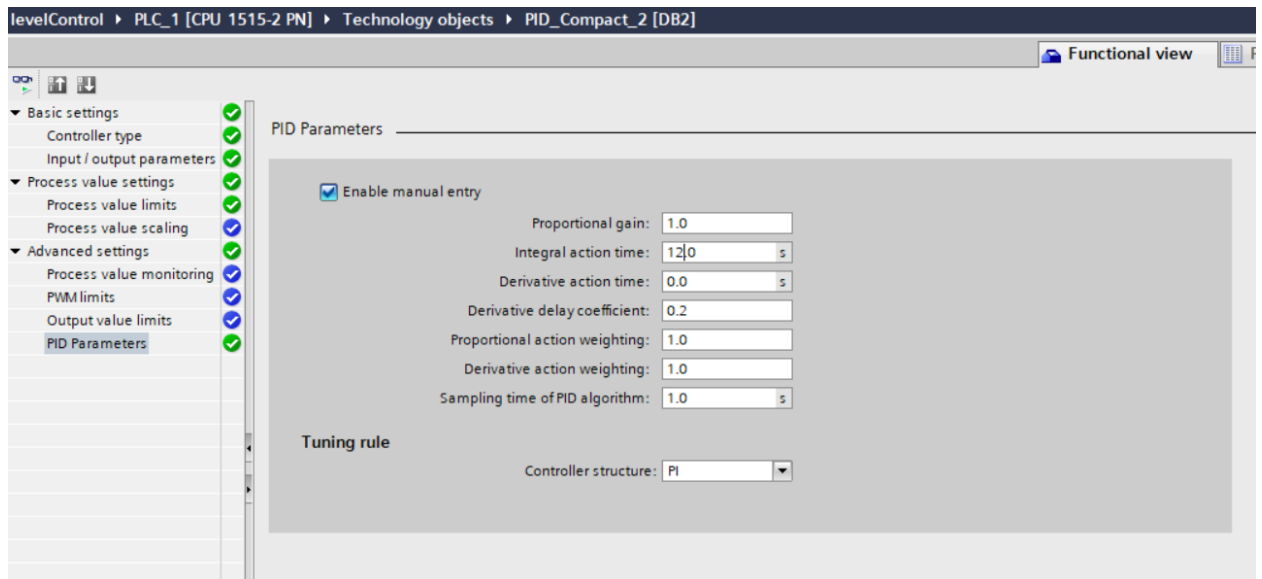
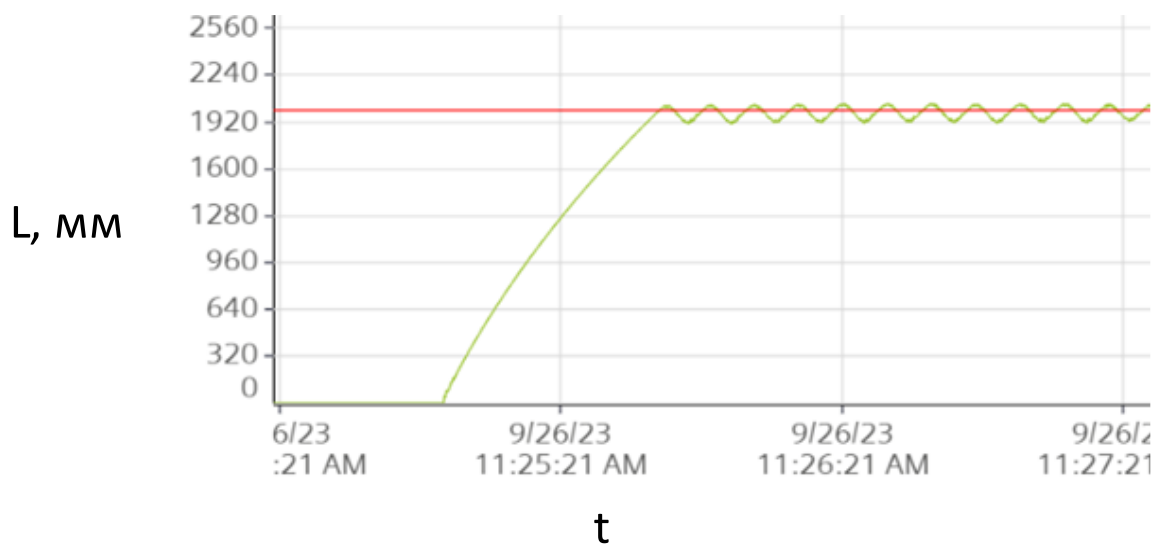


Рисунок 3.22 – Налаштування першого ПІ регулятора



● - задане значення ● - поточне значення

Рисунок 3.23 – Результат першого ПІ регулятора

На графіку (рис. 3.25) також ПІ регулятор, але з параметрами $K_p=0,6$ і $t_i=1200$ с (рис 3.24). Він забезпечує максимально стабільне підтримання заданого параметра, але має динамічну похибку в межах 1,2%.

PID Parameters

☒ Enable manual entry

Proportional gain: 0.6

Integral action time: 1200.0 s

Derivative action time: 0.0 s

Derivative delay coefficient: 0.2

Proportional action weighting: 1.0

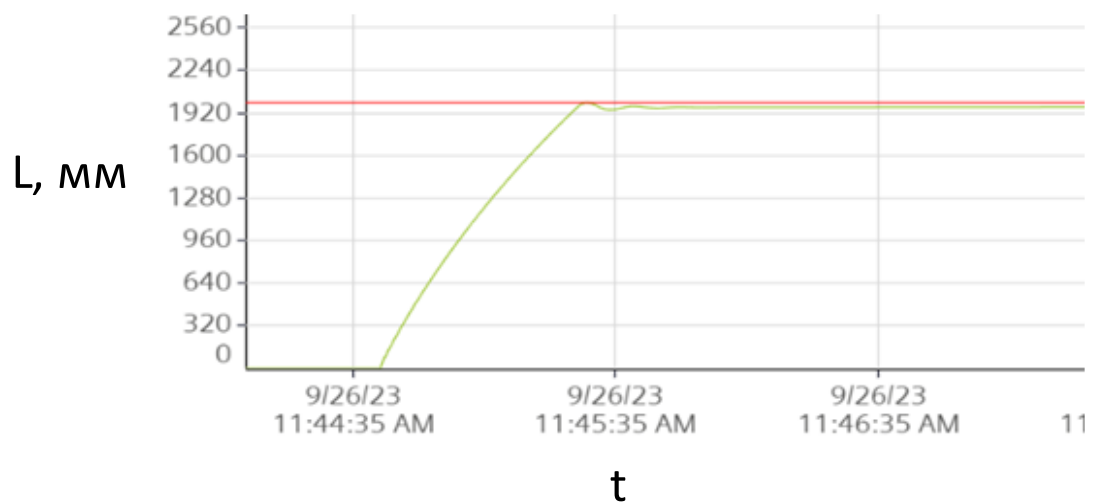
Derivative action weighting: 1.0

Sampling time of PID algorithm: 1.0 s

Tuning rule

Controller structure: PI

Рисунок 3.25 – Налаштування другого ПІ регулятора



● - задане значення ● - поточне значення

Рисунок 3.26 – Результати дослідження другого ПІ регулятора

Можна зробити висновок, що найкращий тип регулятора для вирішення даної проблематики є ПІ регулятор з коефіцієнтами 0,6 і 1200с відповідно. Він забезпечує точне регулювання і майже статичну поведінку системи при досяганні заданого значення рівня.

3.2.6 Дослідження використання нейронних мереж

В цьому дослідженні запропоновано виконати ідентифікацію об'єкта дослідження за допомогою нейронної мережі прямого поширення. Це можна здійснити при подачі на вхід мережі як поточних так і затриманих значень.

Для початку необхідно підготувати дані для навчання мережі [24]. В якості вхідних даних використаємо масив даних, перший стовпчик є вхідним впливом, другий значення рівня з затримкою в один крок дискретизації, а третій значення рівня з затримкою в два кроки дискретизації (таблиця 3.1). Для отримання даних була створена програма експерименту, яка збільшувала завдання відкриття клапану на 10% кожні 6 секунд. Це зроблено для передачі поведінки системи на протязі всього діапазону роботи.

Таблиця 3.1 – Вхідні дані для навчання

Відкриття клапану, %	Значення рівня з затримкою в 0,1 с, мм	Значення рівня з затримкою в 0,2 с, мм
10	0	0
10	1,41059	0
10	4,231771	1,41059
10	7,052952	4,231771
10	5,099826	7,052952
10	6,293403	5,099826
10	8,246528	6,293403
10	10,09115	8,246528
10	8,89757	10,09115
10	10,19965	8,89757
----	-----	-----
100	2951,389	2946,723
100	2957,574	2951,389
100	2962,565	2957,574
100	2969,075	2962,565
100	2973,633	2969,075
100	2977,973	2973,633
100	2982,205	2977,973
100	2986,328	2982,205
100	2989,909	2986,328
100	2993,272	2989,909
100	2995,334	2993,272
100	2997,613	2995,334
100	2896,159	2889,54

В якості вихідних даних використаємо початкові значення зміни рівня.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для навчання

Час, с	Рівень, мм
0	1,41059
0,1	4,231771
0,2	7,052952
0,3	5,099826
0,4	6,293403
0,5	8,246528
0,6	10,09115
0,7	8,89757
0,8	10,19965
0,9	10,30816
1	10,74219
1,1	11,50174
1,2	11,93576
1,3	12,80382
1,4	14,21441
1,5	15,29948
1,6	16,81858
1,7	16,71007
1,8	16,92708
1,9	18,22917
2	19,85677
2,1	19,20573
2,2	19,63976
2,3	20,61632
2,4	21,8099
2,5	23,32899
2,6	23,87153
2,7	24,52257
2,8	25,71615

Після отримання мережі необхідно перевірити її, подавши на вхід 100% відкриття клапану (рис 3.27). При отриманні сигналу на 100 % відкриття клапану, модель на виході імітує процес наповнювання баку. Рівень води досягає відмітки в 3000 мм за такий самий час, як і цифровий близнюк бака (рис. 3.28).

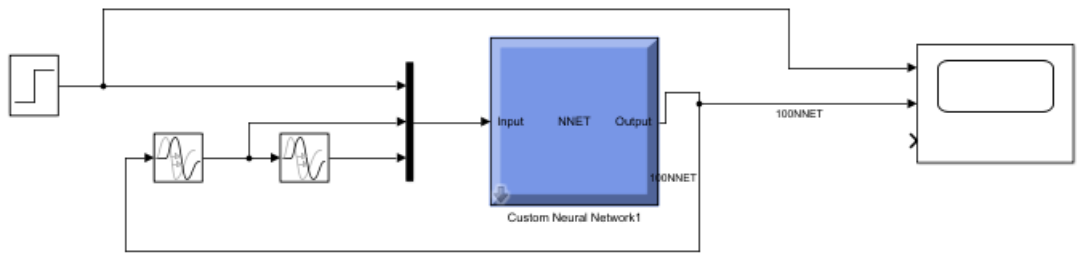
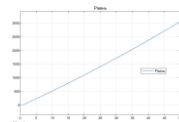


Рисунок 3.27 – Схема для перевірки роботи нейронної мережі

L, мм



t, c

Рисунок 3.28 – Результат роботи нейронної моделі бака

Для подальших дослідів скористаймося можливостями вбудованого блоку регулятора в середовищі Simulink [25]. Для цього додаємо до отриманої моделі блок PID регулятора, а також введемо від'ємний зворотній зв'язок за допомогою блока суматора з відповідними налаштуваннями (рис. 3.29).

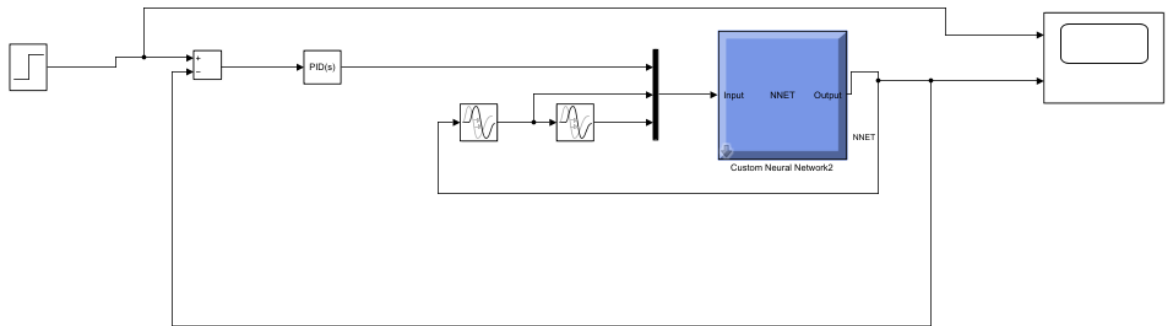


Рисунок 3.29 – Схема регулювання в Matlab

Для перевірки роботи системи налаштуємо регулятор з використанням параметрів, які були обрані раніше, система видає схожий результат, але з набагато меншим часом досягання сталого режиму. Що може свідчити про не коректність використання даної моделі.

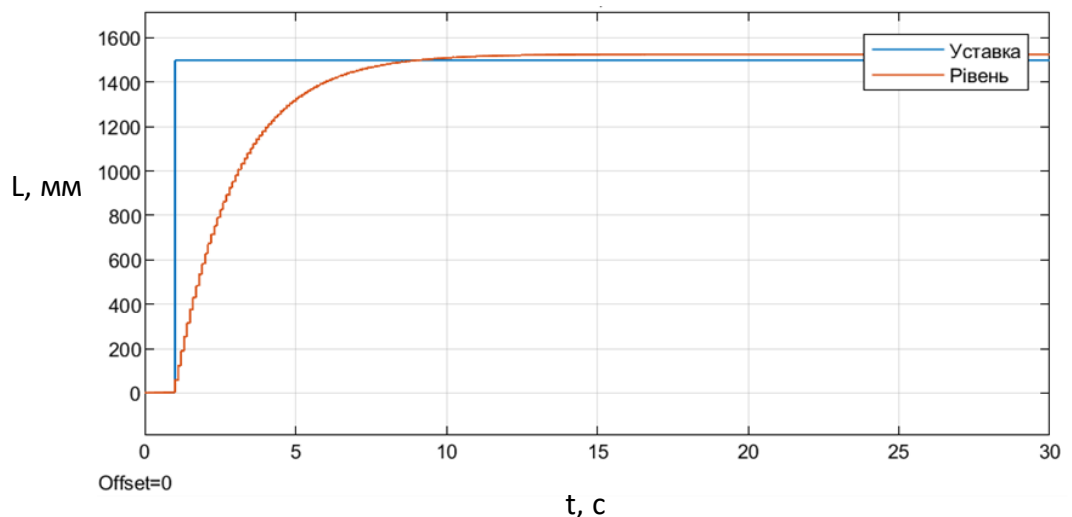


Рисунок 3.30 – Результат роботи моделі

Далі було проведено перевірку шляхом використання автоматичного налаштування блока регулятора в Matlab (рис. 3.31). При застосуванні автотюнінгу отриманий результат також виявився некоректним (рис 3.32), що свідчить про те, що дану модель неможливо повністю налаштувати за допомогою автоматичних методів.

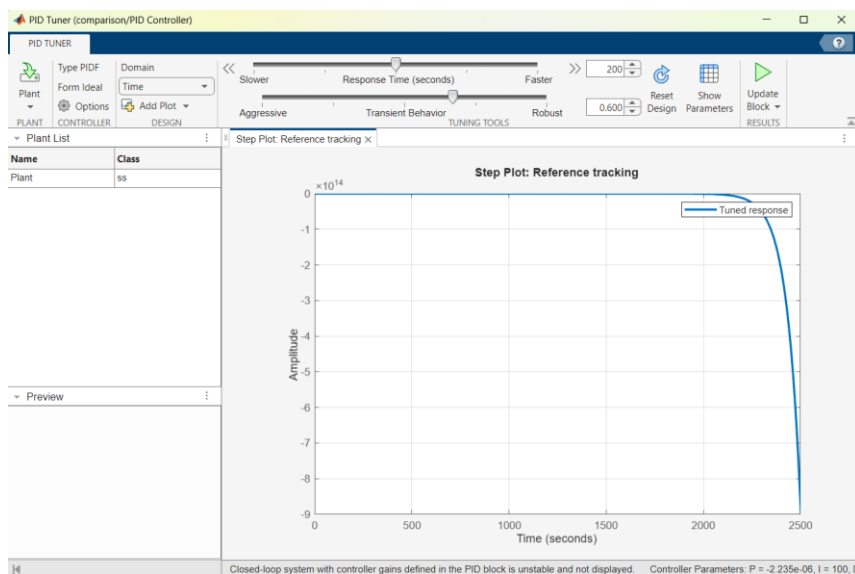
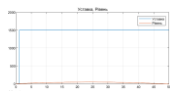


Рисунок 3.31 – Процес автоматичного налаштування

L, мм



t, c

Рисунок 3.32 – Результат роботи регулятора з параметрами, що отримані автоматичним налаштуванням

3.2.7 Використання пакету Fuzzy Logic Toolbox

Fuzzy Logic Toolbox є інструментарієм, який надає засоби для використання нечіткої логіки у програмуванні та моделюванні [25]. Цей пакет використовується в середовищі MATLAB для розробки та реалізації систем нечіткого керування.

Нечітка логіка відрізняється від класичної булевої логіки тим, що вона дозволяє обробляти нечіткі або неякісні змінні та відносити їх до різних ступенів належності до певного класу або категорії. Застосування нечіткої логіки може бути корисним в ситуаціях, де точні числові значення важко визначити або коли є необхідність врахувати неоднозначність чи непевність.

Fuzzy Logic Toolbox для MATLAB містить функції для створення та роботи з нечіткими множинами, визначення правил нечіткої логіки, а також інструменти для симуляції та валідації систем нечіткого керування. Він може бути використаний для розробки та тестування нечітких контролерів для різноманітних додатків, таких як автоматичне керування, прогнозування, прийняття рішень тощо.

Для відкриття пакету Fuzzy Logic Toolbox та редагування раніше створеної системи нечіткої логіки керування рівнем - tank необхідно ввести у робочому вікні MATLAB команду "fuzzy tank" (рис. 3.33). Також через це меню застосовуються правила для регулятора, відповідно до яких приймаються рішення.

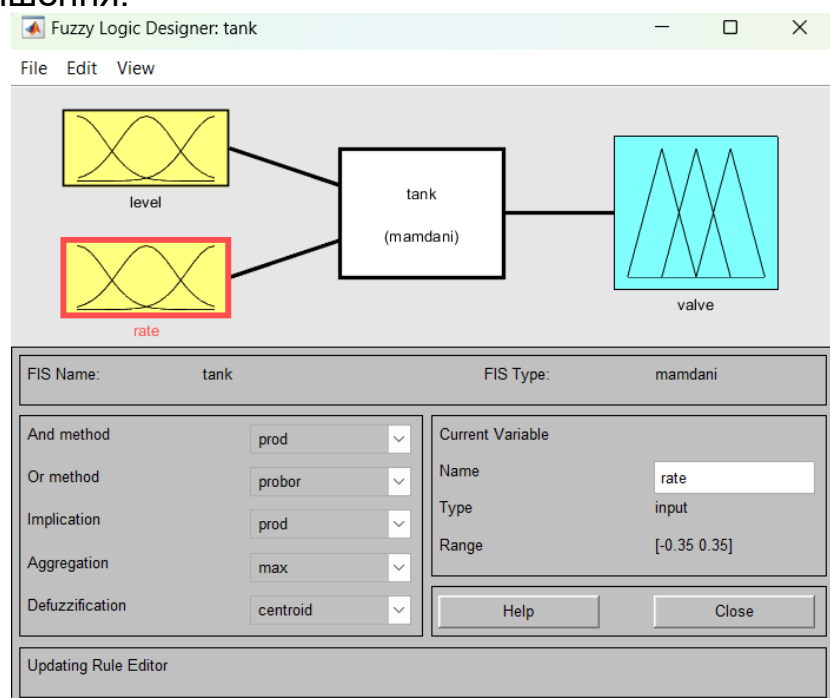


Рисунок 3.33 – Загальний вигляд редактора FIS Editor

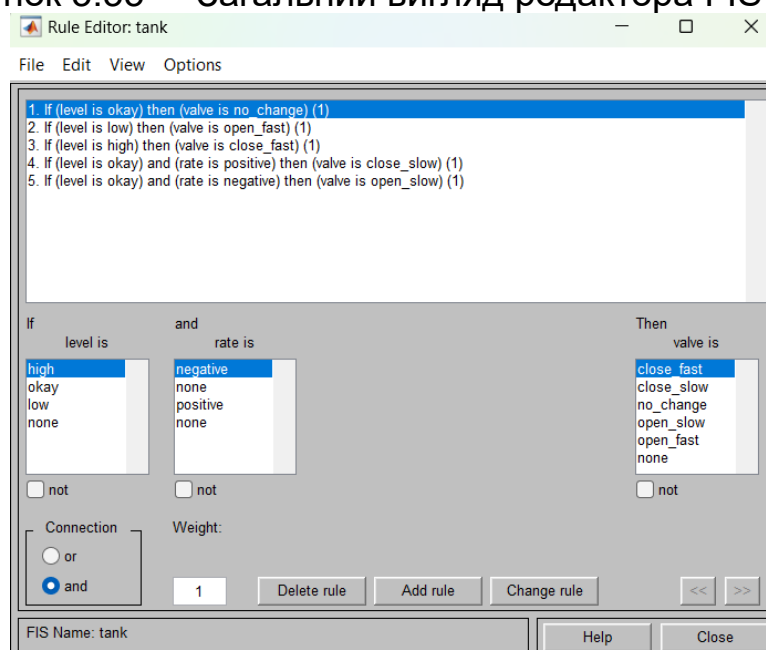


Рисунок 3.34 – Редактор правил

Для порівняння класичного регулятора і регулятора з нечіткою логікою зроблено наступне дослідження. У відкритому вікні моделі Simulink (рис 3.34) необхідно встановити значення 1 в блоку const для перемикача Switch, який відповідає фаззі-системі регулювання рівня рідини в резервуарі. Таким чином, блок PID включається в регуляційний контур.

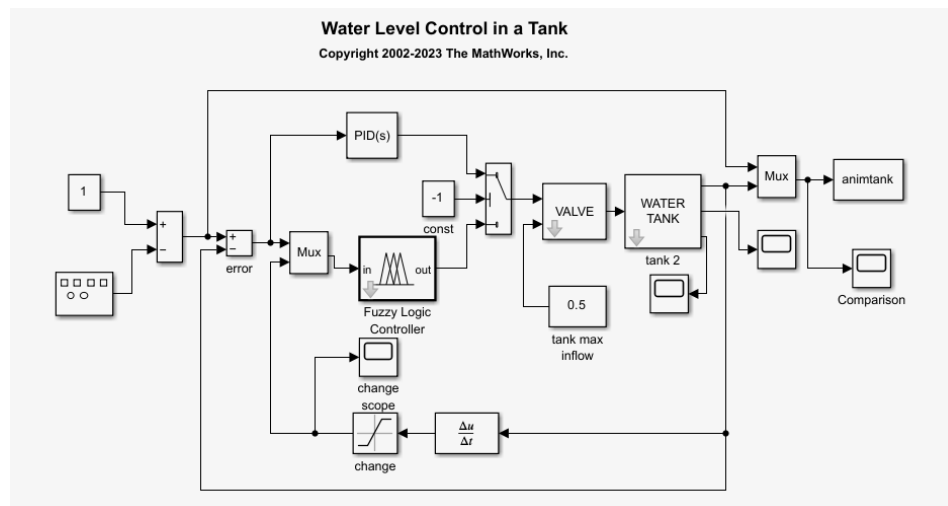


Рисунок 3.35 – Схема регулятора рівня з нечіткою логікою.

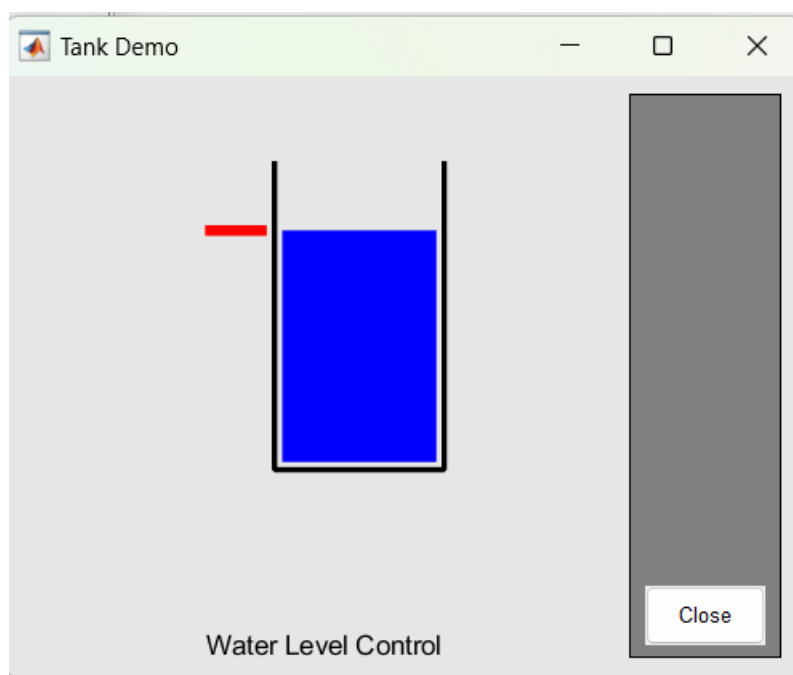


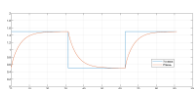
Рисунок 3.36 – Результати моделювання.

Після запуску симуляції моделі, за допомогою команди Start у меню Simulation, в блоку осцилографа отримано результати роботи PID регулятора (рис.3.37).

Після зупинки симуляції необхідно встановити значення -1 в блоку const для перемикача Switch. В регуляційний контур включається фаззі-

регулятор (блок Fuzzy Logic Controller). Після чого в блоку осцилографа отримано результати роботи PID регулятора (рис. 3.38).

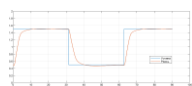
L, мм



t, c

Рисунок 3.37 – Результати моделювання PID регулятора

L, мм



t, c

Рисунок 3.38 – Результати моделювання фаззі-регулятора.

3.3 Реалізація попереджувальної сигналізації

Схеми технологічної сигналізації інформують обслуговуючий персонал про порушення нормального ходу технологічного процесу. Сигналізація відтворюється рівним світлом і супроводжується звуковим сигналом. Розроблена схема технологічної сигналізація наведена в графічній частині кваліфікаційної роботи.

Для забезпечення сигналізації відхилення рівня води і тиску пари від номінальних параметрів застосовуємо сигнальні лампи напругою 220 В, а також звуковий дзвінок. Для контролю рівня кожна лампа активується через контакти K2-1, K2-2...K6-1, K6-2 на датчиках рівня. Також



використовуються контакти на реєстраторі K2-3...K6-3 для контролю тиску пари. Для перевірки справності всіх ламп використовується кнопка SB. Під час перевірки світлової сигналізації ламп вони світитимуться слабо, оскільки живляться однопівперіодним струмом, який проходить через діоди VD1–VD15.

Принцип роботи технологічної сигналізації полягає в тому, що при відхиленні параметра від зазначеного значення спрацьовують світлові сигнали, при цьому активується звуковий сигнал, який може бути вимкнений кнопкою вимикання звукового сигналу SB2. При зниженні відхилення параметра від допустимого значення світловий сигнал вимикається.

Якщо контрольовані параметри технологічного процесу в нормі, то контакти с датчиків роз'єднані, відповідно відсутня світлова і звукова сигналізація.

При замиканні будь якого контакту також подається сигнал на дзвінок НА. Щоб вимкнути дзвінок, необхідно увімкнути реле КА, оскільки в ланцюг дзвінка введений нормально замкнутого контакту цього реле. Для цього треба натискати кнопку SB3, оскільки, коли хоча б один з контактів K3, K8, K20 замкнений, живлення буде подано на обмотку реле K6. При цьому розмикається його нормально замкнутий контакт в ланцюгу дзвінка, а замикаючий контакт реле K6 шунтує кнопку SB4, завдяки чому реле залишається увімкненим і після відпускання кнопки. Після нормалізації показані всі контакти роз'єднані, відповідно реле КА переходить до нормального стану, і розмикається його контакт в ланцюгу дзвінка НА. Схема знову перебуває в початковому стані.

3.2.9 Висновки до розділу

У розділі проведено кілька досліджень, які присвячені різноманітним методам налаштування та використання регуляторів рівня води. Для аналізу класичних регуляторів був використаний цифровий об'єкт, на основі якого були проведені необхідні експерименти. В результаті досліджень виявлено, що релейний регулятор забезпечує швидке досягнення уставки, але при цьому характеризується невеликою точністю. Простота цього регулятора є його перевагою, і його можна реалізувати без використання мікропроцесорної техніки.

ПІД-регулятор, налаштований за допомогою вбудованого автотюнінгу в TIA Portal, забезпечує точне регулювання, але часто змінює положення виконавчого клапану, що може викликати небажані часті коливання. ПІ регулятор з параметрами $K_p=1$ і $t_i=12$ с має характеристику, схожу з релейним регулятором, але вона більш "м'яка" і точна. Інший ПІ регулятор, з параметрами $K_p=0,6$ і $t_i=1200$ с, забезпечує максимально стабільне підтримання заданого параметра, але має динамічну похибку в межах 1,2%. Налаштування регуляторів представлені в додатку Б.



В подальшому були проведені дослідження щодо використання нейронної мережі прямого поширення для ідентифікації об'єкта. Під час моделювання з ручним налаштуванням регуляторів у середовищі Simulink отримані результати виявились задовільними; однак, при спробі використання автоматичного налаштування коефіцієнти виявились некоректними, що свідчить про непридатність використання такого інструменту ідентифікації об'єкта.

Також було проведено дослідження використання регулятора з нечіткою логікою. Порівняно з класичним регулятором, цей регулятор не має перерегулювання, але має більший час досягання сталого режиму. Цей тип регулятора є перспективним, але йому потрібно додаткове обладнання, що у вирішенні поставленого завдання у кваліфікаційній роботі не є доцільним.

Можна зробити висновок, що найкращим типом регулятора для вирішення даної проблематики за визначеними параметрами є ПІ регулятор з коефіцієнтами 0,6 і 1200 с відповідно. Він забезпечує точне регулювання і майже статичну поведінку системи при досяганні заданого значення рівня.

Крім того, в цьому розділі було розглянуто реалізація попереджувальної сигналізації.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Розрахунок витрат на реалізацію системи

Головна мета автоматизації технологічних процесів полягає у підвищенні економічної ефективності. Таким чином, кожен проект автоматизації повинен бути обґрунтованим з економічної точки зору та мати економічну обґрунтованість.

Економічна обґрунтованість автоматизації визначається порівнянням очікуваного економічного приросту, який виникає внаслідок впровадження системи, і витрат на її розробку та впровадження. Іншими словами, економічний ефект визначається ефективністю реалізації системи автоматизації, вираженою у співвідношенні між отриманим економічним результатом та витратами, які це спричинило. Використання розробленої автоматизованої системи управління деаератором призведе до наступних результатів:

- 1) скорочення тривалість зупинок;
- 2) збільшити час функціонування обладнання;
- 3) покращити процес деаерації.

Під час розробки використовується існуючі засоби автоматизації та обладнання, такі як електрична проводка, зовнішні труби і окремі компоненти наявних приладів.

При розробці автоматизованої системи необхідно урахувати загальну вартість обладнання для регулювання та контролю. Крім того необхідно враховувати кошти, які необхідні на налагоджувальні та монтажні роботи.

У таблиці 4.1 зведено орієнтовну вартість обладнання, яке використовується в даній роботі.

Таблиця 4.1 Вартість обладнання

№	Назва приладу	Тип приладу	Кількість, шт	Вартість одного приладу, грн	Загальна вартість, грн
1	Регулятор	MIK-122-K7	2	13605	27210
2	Датчик рівня	BM 26 A	5	51000	255000
3	Датчик тиску	Сафір-2140	5	16700	83500
4	Блок живлення	БПС-24-4К	5	4350	21750
5	Модуль передачі даних	MAS-100	1	4900	4900
6	Реєстратор	R-10L	2	57200	114400
7	Виконавчий механізм	AUMA SQF	2	110936	221872
Загальна вартість обладнання					728632

Таким чином вартість обладнання (B_1) складає:


$$B_1 = 728632,00 \text{ (грн)}.$$

Вартість монтажу обладнання (B_2) для системи автоматизації складає 20% від вартості самого обладнання:

$$B_2 = B_1 \cdot 20\%; \quad (4.1)$$

$$B_2 = 728632,00 \cdot 0,2 = 145726,40 \text{ (грн)}.$$

Вартість виконання пуско-налагоджувальних робіт (B_3) становить в розмірі 12% від вартості обладнання:

$$B_3 = B_1 \cdot 12\%; \quad (4.2)$$

$$B_3 = 728632,00 \cdot 0,12 = 87435,84 \text{ (грн)}.$$

Також слід зробимо розрахунок витрат, які направлені на експлуатацію системи. Витрати на амортизацію (B_4) складають 15% від вартості обладнання:

$$B_4 = B_1 \cdot 15\%; \quad (4.3)$$

$$B_4 = 728632,00 \cdot 0,15 = 109294,8 \text{ (грн)}.$$

Крім того, врахуємо норму на ремонт обладнання (B_5), яка складається 3% від вартості обладнання:

$$B_5 = B_1 \cdot 3\%; \quad (4.3)$$

$$B_5 = 728632,00 \cdot 0,3 = 21858,96 \text{ (грн)}.$$

Загальна вартість впровадження запланованої АСУ (B_3) дорівнює сумі всіх розрахованих до цього чинників:

$$B_3 = B_1 + B_2 + B_3 + B_A + B_P; \quad (4.4)$$

$$B_3 = 728632,00 + 145726,40 + 87435,84 + 109294,8 + 21858,96;$$

$$B_\Sigma = 1092948,00 \text{ (грн)}$$

Термін реалізації АСУ становить 4 тижня. Для впровадження системи необхідно залучити групу з монтажу та налагодження.

4.2 Розрахунок економічної ефективності

Для аргументації економічної ефективності систем автоматизації використовують показники продуктивності. Зазвичай при застосуванні цих показників порівнюють собівартість одиниці продукції до та після впровадження системи автоматизації і визначають загальну економію.

Інформація для розрахунку під час модернізації системи управління взята з оцінки впровадження аналогічної системи. При провадженні вдосконаленої системи керування деаераторами збільшується якість контролю за технологічним процесом, що повинно привести до економії витрати технологічного пару на виробництво підживлювальної води. Данні для розрахунку наведень у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 Показники для розрахунку ефективності

Показник	Позначення	До впровадження системи	Після впровадження системи
Об'єм води після деаерації, м³/рік	A	3 504 000	3 504 000
Виробнича витрата пара, м³/рік	P_B	9 958 736	9 261 624
Вартість пара 1 м³, грн	C_B	0,2	0,2

Для співставлення собівартість одиниці продукції до та після впровадження системи автоматизації використаємо формулу для знаходження загальної економії:

$$E_{\Sigma} = \sum \Delta C_i = (C_1 - C_2) \cdot B_2, \quad (4.5)$$

Де $\sum \Delta C_i$ – сума економії витрат на виробництво одиниці продукції, грн/т;

C_1 і C_2 – витрати по статтям калькуляції, що змінюються до та після впровадження системи грн/т;

B_2 – виробництво продукції після впровадження системи, т.

E_{Σ} – загальна економія грн.

Для розрахування витрат скористаймося даними з табл 4.2.

$$C_1 = \frac{P_{B1} \cdot C_B}{A}; \quad (4.6)$$

$$C_1 = \frac{9958736 \cdot 0,2}{3504000} = 0,57 \text{ грн/т},$$

$$C_2 = \frac{P_{B2} \cdot \Pi_B}{A}; \quad (4.7)$$

$$C_2 = \frac{9261624 \cdot 0,2}{3504000} = 0,53 \text{ грн/т.}$$

Підставивши отримані дані в формулу (4.5) отримаємо значення економії на рік

$$E_{\Sigma} = (0,57 - 0,53) \cdot 3504000 = 140\,160 \text{ грн.}$$

Для оцінки терміну окупності необхідно визначити співвідношення величини економії, яку дає система і величини капітальних витрат (інвестицій) витрачених на неї. Розрахунковий час окупності системи T_p визначається по формулі (4.8).

$$T_p = \frac{B_{\Sigma}}{E_{\Sigma}}$$

$$T_p = \frac{1092948}{140160} = 7,8 \text{ (років)}$$

Термін окупності запропонованої системи, визначений зменшенням витрати пари на виробництво підживлювальної води, є досить значним. Однак розрахунок економічної вигоди впровадження автоматичної системи управління (АСУ) представляє собою складне завдання через те, що визначення його ускладнене та, в певній мірі, неоднозначне внаслідок впливу різноманітних факторів на економічну ефективність АСУ, які важко виразити у конкретних числових показниках. Ці фактори включають психологічні і соціальні аспекти роботи АСУ, що обумовлені підвищенням рівня культури виробництва та поліпшенням умов праці. Загалом система, яку запропоновано, спрямована переважно на покращення надійності та якості виробництва.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було здійснено аналіз існуючої системи автоматизації деаераторної установки ТЕЦ металургійного комбінату. В ході цього аналізу було виявлено, що існуюча система не відповідає сучасним вимогам.

Далі проведено аналіз різних методів вимірювання рівня з метою вибору оптимального за умов задачі. Основним вибором став поплавковий датчик з можливістю передачі даних за допомогою універсального струмового сигналу 4..20 мА. Також були виконані досліді різних методів регулювання рівня в ємності, і найбільш ефективним виявився ПІ регулятор. На основі цього було обрано обладнання, на базі якого і була спроектована система.

Використання сучасного обладнання дозволяє забезпечити надійність, стійкість до аварій, високу точність та можливість подальшого вдосконалення системи та програмного забезпечення. Крім того, передбачено можливість інтеграції з обчислювальним комплексом для розробки верхнього рівня системи управління. Реалізація запропонованого проекту планується призвести до досягнення економічного ефекту через ефективне використання технологічного парку на виробництво підживлювальної води, однак головне направлення проекту спрямовано на досягання надійності системи керування деаераторами.

Управління деаераторною установкою здійснюється з посту управління, розташованого з урахуванням розширеної зони видимості. Система автоматизації має один рівень, на якому виконуються основні функції формування, регулювання та індикації технологічних параметрів, ручних втручань оператора, зберігання оптимальних налаштувань і забезпечення зручності у керуванні та обслуговуванні системи. В режимах роботи, таких як наладка, тестування і автоматична робота, система дозволяє здійснювати різні дії.

У наявному варіанті системи переваги, зазначені вище, відсутні. Організація роботи в ТЕЦ із встановленими деаераторними установками концептуалізується як комплекс заходів для впровадження нових робочих умов.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стандарт АСУ ТП. Версія 2.0.. Вид. офіц. Київ, 2023. 50 с.
2. C. Li, H. Qian and Y. Sun, "Design and implement the deaerator level digital control system of nuclear station," 2010 Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Yantai, China, 2010, pp. 665-667, doi: 10.1109/FSKD.2010.5569418.
3. W. Peng, M. Hao, D. Peng and D. Ri-hui, "Decoupling control based on PID neural network for deaerator and condenser water level control system," 2015 34th Chinese Control Conference (CCC), Hangzhou, China, 2015, pp. 3441-3446, doi: 10.1109/ChiCC.2015.7260169.
4. Полушкін, Є. М.; Лисюк, Г. П. Автоматична система регулювання тиску в деаераторі. Вчені записки, 2019, 32019142.
5. Сімкін, А.І.; Койфман О.О. Пахомов С.О. (2022). Модернізація системи автоматизації енерготехнологічного комплексу «паровий котел – вакууматор» в умовах ККЦ «прат МК «Азовсталь». 24. 183-192.
6. Corripio A. B. Tuning of Industrial Control Systems. 2nd ed. Instrumentation Systems &, 2000. 254 p.
7. Сімкін О. І. Конспект лекцій з дисципліни «АСУТП в гірничо-металургійному виробництві» : конспект лекцій. Запоріжжя, 2022. 177 с.
8. Типова інструкція з експлуатації датчиків ВМ 26А. 2016. 52 с.
9. Ларичева, Л. П., М. Д. Волошин, О. П. Луценко. "Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів.": ДДТУ, 2015.— 320 с.
10. Настанова щодо експлуатування БПС-24-4к-Н20-24. Івано-Франківськ, 2022.- 13 с.
11. Настанова щодо експлуатування МІК-122-К7. Івано-Франківськ, 2022.- 53 с.
12. Лукінюк, М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами. НТУУ«КПІ», 2012. -336 с.
13. Настанова щодо експлуатування MAS-100_v2. Івано-Франківськ, 2023.- 26 с.
14. Реєстратори відеографічні. Технічний опис та настанова що до експлуатування реєстратора R10-L. Львів, 2023. - 28 с.
15. Реєстратори відеографічні технологічні R5, R10L, R10M, R15L, R15M, настанова щодо експлуатування. Львів, 2022. – 103с.
16. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка. Львів, 2003. 544с.
17. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Івахів О.В. та ін. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин. Львів, 2008. 618с.
18. Головка Д. Б., Рего К. Г., Скрипник Ю. О. Основи метрології та вимірювань. Київ : Либідь, 2001.

- 
19. Пішан О.Й. Аналіз та розробка методу вимірювання рівня речовин в повітрі. Автоматизація виробничих процесів. 2006. № 1. С 10-13.
 20. Factory I/O – Next-Gen PLC Training. Next-Gen PLC Training - Factory I/O. URL: <https://factoryio.com/> (date of access: 06.01.2024).
 21. S7-PLCSIM Advanced - Function Manual. Nürnberg, Germany: Division Digital Factory, 2016. 312 p.
 22. SCE learning & training documents. siemens.com Global Website. URL: <https://www.siemens.com/global/en/company/sustainability/education/sce/learning-training-documents.html> (date of access: 02.06.2023).
 23. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 easy book manual: навчальний посібник. Nürnberg, Germany: Division Digital Factory, 2015. 454 p.
 24. Разживін О. В. Конспект лекцій "Інтелектуальні системи управління". Запоріжжя, 2023.
 25. WANG, Liuping. PID control system design and automatic tuning using MATLAB/Simulink. John Wiley & Sons, 2020.



ДОДАТОК А ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

А.1 Структура цеху, де знаходиться агрегат

Теплоелектроцентрально (ТЕЦ) металургійного комбінату генерує енергоресурси для забезпечення технологічного процесу виготовлення чавуну, електроенергії та теплової енергії, представленої у вигляді технологічної пари та гарячої води. Технологічний процес ТЕЦ включає в себе перетворення енергії палива, яке піддається згорянню у котлах, в енергію пари, а потім конвертацію її в інші форми енергії, такі як електрична, тепла та стиснене повітря. Газоподібне паливо та мазут подаються до топок котлоагрегатів котельного цеху. Вироблене тепло використовується для випаровування конденсату та хімічно очищеної води, яка готується хімічним цехом для отримання пари із визначеними параметрами (тиск і температура).

Забезпечення дуттям доменних печей є важливою та необхідною частиною доменного процесу і повністю залежить від ефективності турбінного цеху, що є складовою ТЕЦ. Турбінний цех відіграє ключову роль у забезпеченні "холодного" дуття для доменного цеху, що включає кисень і направляється до кауперів доменних печей. Цей потік нагрівається і, через фурмені прилади, подається в піч. Таке дуття утримує шихту, бере участь у процесі горіння та плавлення чавуну. Доменний процес не може відбуватися без постачання дуття. Якщо подача дуття до доменних печей буде зупинена, вони припинять свою роботу, що призведе до зупинки виробництва сталі та прокату. Тому ТЕЦ несе велику відповідальність за всю продуктивність комбінату.

У складі турбінного цеху розташовано шість центробежних компресорних машин з паровим приводом. Кожен турбокомпресор взаємодіє з однією доменною піччю, використовуючи гнучку систему повітряної естакади, яка забезпечує можливість адаптації будь-якого компресора для будь-якої печі. В процесі виробництва ТЕЦ отримуємо доменне дуття, теплову та електроенергію, а також хімічно очищену воду.

Теплоелектроцентрально металургійного комбінату включає п'ять основних виробничих ділянок. Схема ТЕЦ зображена на рис. А.1.

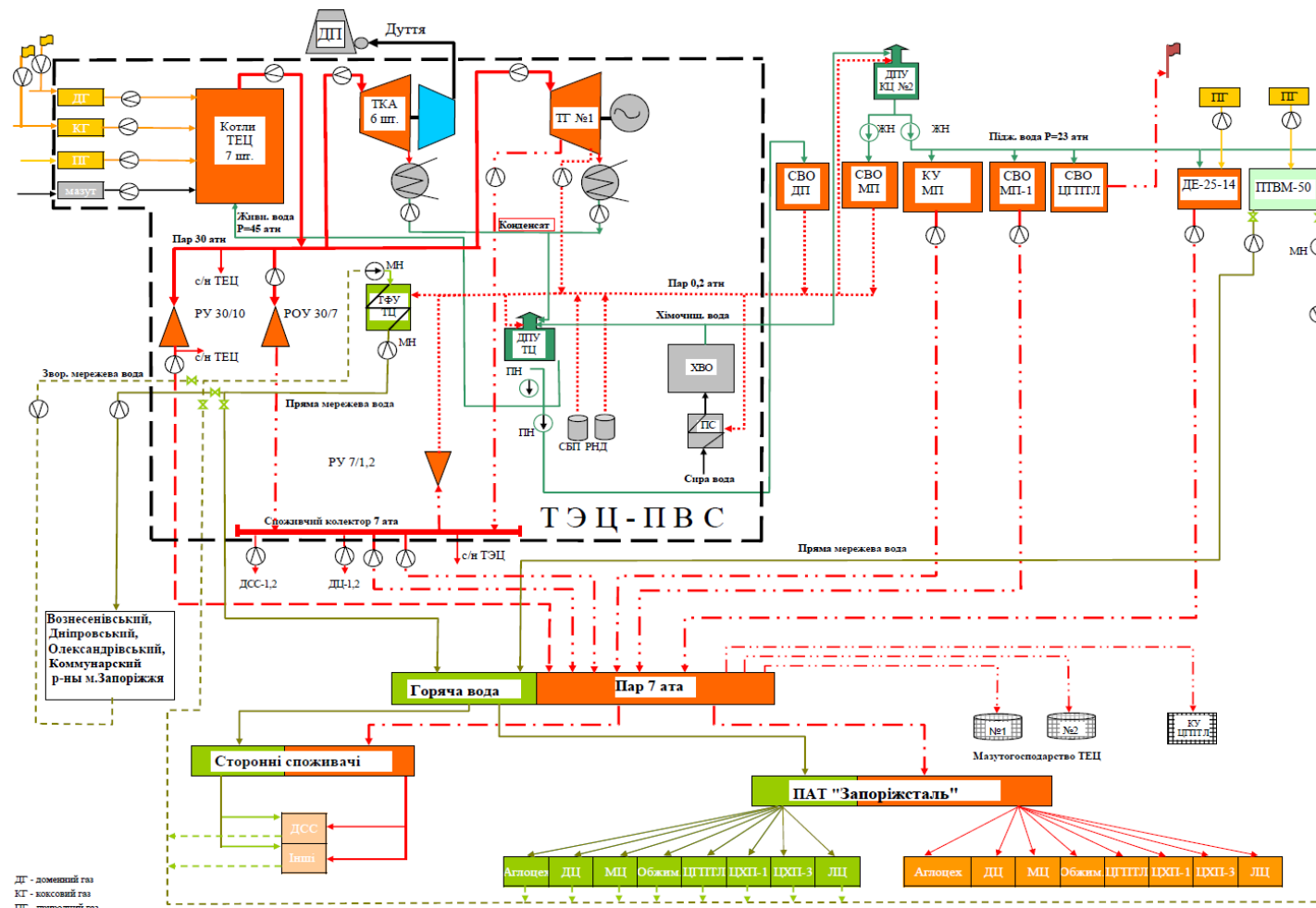


Рисунок А.1 – Основні виробничі ділянки ТЕЦ металургійного комбінату

А.2 Загальна характеристика деаератора

На теплоелектроцентралі проводиться теплова деаерація води у відкритих деаераторах типу ДСА (деаератор змішувальний, атмосферний)(рис А.2) № 2, 3, 4, 5, 6. Кожен з вказаних деаераторів складається із наступних компонентів:

- деаераційної колонки;
- бака-акумулятора;
- гідравлічного затвора;
- запірної та запобіжної арматури;
- водяних показників для моніторингу рівня в баці.



Рисунок А.2. Деаератор атмосферного тиску

Деаератори атмосферного тиску, представлені в різних варіантах типу ДА (ДСА) з продуктивністю 5, 15, 25, 50 та 100 т/год , розроблені для ефективного вилучення корозійно-агресивних газів, таких як кисень та вуглекислий газ, із питної води парових котлів і систем гарячого водопостачання.

А.3 Система регулювання та сигналізації

В установках деаераторів впроваджена система сигналізації та регулювання рівня. Сигнали, отримані від реєстраторів рівнів, подаються в схему попереджувальної сигналізації та автоматичного регулятора рівня в деаераторах. Табл. А.1 містить величини уставок для попереджувальної сигналізації. Схему сигналізації можна побачити на рис. А.3.

Таблиця А.1. Значення уставок

Контрольований параметр	Значення уставки	
	min	max
Тиск пари	----	0,27 кгс/см ²
Рівень води в баці	1,4 м.	1,8 м.

Регулювання рівня виконується за допомогою регулятора РП 4-У (зображено на рис. А.3), який спрямований на підтримання рівня води на рівні 1650 мм. Сигнал про рівень надходить від датчика рівня, а коригування здійснюється через виконавчий механізм. Цей механізм контролює подачу хімічно очищеної води в систему підживлення, збільшуючи або зменшуючи її потік. Схему регулювання можна побачити на рис А.5.



Рисунок А.3, Регулятор РП-4У

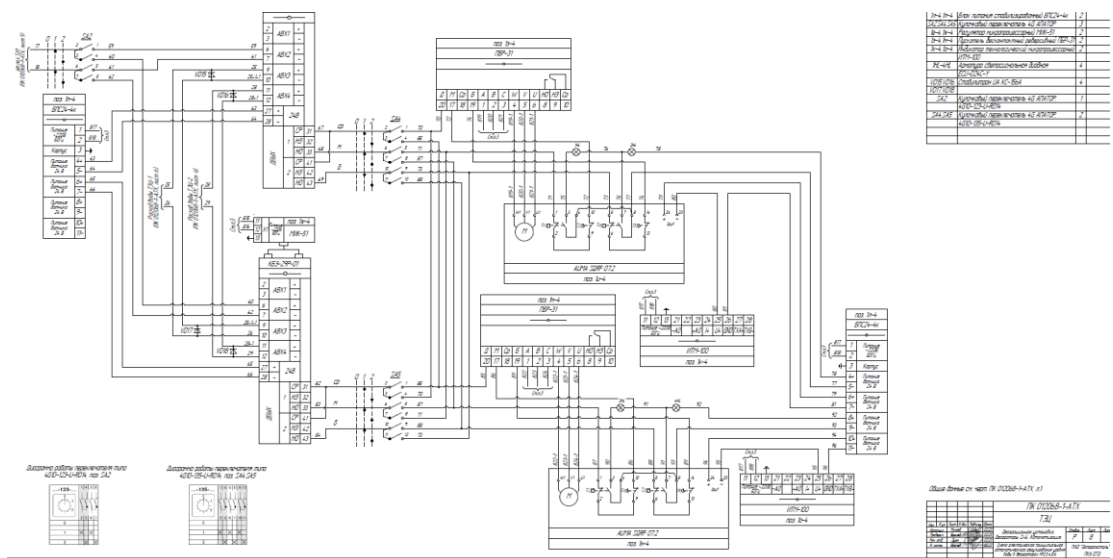


Рисунок А.5. Схема регулятора

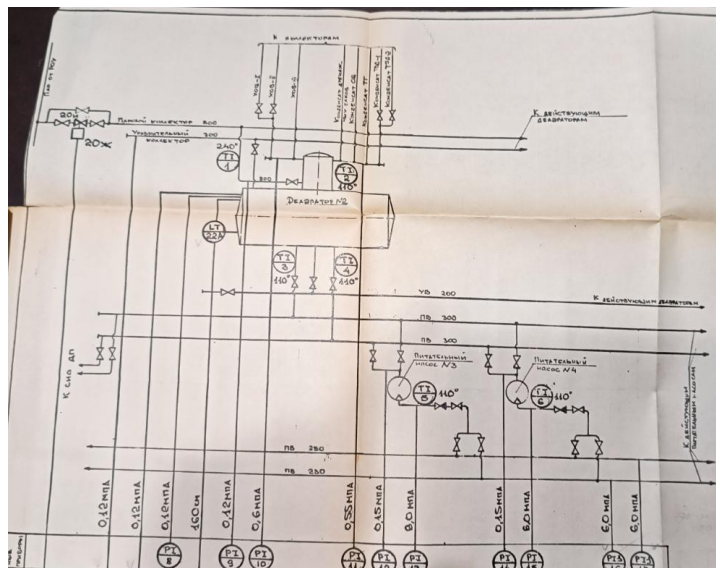


Рисунок 4.6. Схема автоматизації деаератора.

ДОДАТОК Б РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Регулятор	Посилення K _c	Коефіцієнт інтегрування K _i	Час похідної D	Гістерезис, мм	Тривалість перехідного процесу, с	Перегулювання, %	Кількість коливань, шт
Класичне налаштування							
Релейний	-	-	-	50	47	-4,00	∞
ПІD auto tune	0,246	10,14	2,6	-	84	-0,25	∞
ПІ	1	0,083	-	-	52	-3,00	∞
ПІ	0,6	0,00083	-	-	45	-0,50	2
Налаштування за допомогою ідентифікації нейронною мережею							
ПІ	0,6	0,00083	-	-	8	1,33	1
ПІD auto tune	-2,23e-06	100,00	17,89500	-	∞	∞	0
Використання Fuzzy Logic							
ПІ	0,1100	0,0135	-	-	20	0	0
Fuzzy Logic	-	-	-	-	12	0,63	0