

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизована система керування деаераторною установкою»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-91

Тобілко Максим Олексійович _____

Керівник:

Старший викладач

Штіфзон Олег Йосипович _____

Консультант з розділу «Охорона праці»:

Доцент, к.т.н.

Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики
Кафедра автоматизації енергетичних процесів**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Тобілко Максим Олексійович

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування деаераторною установкою», керівник проєкту Штіфзон Олег Йосипович, старший викладач, затверджені наказом по університету від «29» травня 2023 р. №2039-с
2. Термін подання студентом проєкту «12» червня 2023 р.
3. Вихідні дані до проєкту: літературні джерела, зібрані під час проходження переддипломної практики; температура живильної води 104 °С; рівень води в баці деаератора 2 м.
4. Зміст пояснювальної записки: 1. Вступ. 2. Проєктування АСУТП. 3. Інженерний розрахунок САР. 4. Графічна частина проєкту. 5. Програмування ПТКЗА. 6. Імітаційне моделювання АТК. 7. Охорона праці. 8. Техніко-економічний розрахунок АСК. 9. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) : 1. Схема функціональна автоматизації ТОУ. 2. Схема принципова електрична АСР. 3. Креслення загального виду шафи (таблиця з'єднань). 4. Схема монтажна шафи. 5. Схема зовнішніх з'єднань. 6. Специфікація обладнання. 7. Відомість дипломного проєкту.

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання «20» квітня 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації ТОУ деаераційної установки.	27.04.2023	
2	Схема автоматизації. Схема структурна ПТК.	06.05.2023	
3	Схема принципова електрична	10.05.2023	
4	Креслення загального виду шафи	14.05.2023	
5	Схема монтажна. Схема зовнішніх проводок	18.05.2023	
6	Створення специфікації обладнання та відомості дипломного проєкту	22.05.2023	
7	Інженерний розрахунок САР	25.05.2023	
8	Імітаційне моделювання і аналіз функціонування АТК	02.06.2023	
9	Охорона праці	07.06.2023	
10	Розрахунок техніко-економічної ефективності АСУ	09.06.2023	
11	Нормоконтроль ДП	14.06.2023	
12	Передзахист ДП	15.06.2023	
13	Захист ДП	20.06.2023	

Студент

Максим ТОБІЛКО

Керівник

Олег ШТИФЗОН

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті було розроблено систему автоматизації деаераторною установкою. Розглянуто контур регулювання рівнем води в баці. Пояснювальна записка складається з таких розділів: вступ, проєктування АСУТП, інженерний розрахунок САР, опис графічної частини проєкту, програмування ПТКЗА, моделювання АТК, охорона праці, техніко-економічний розрахунок, висновки.

У першому розділі проведено аналіз деаераторної установки, як технологічного об'єкта та виділено перелік основних режимних параметрів. Також проведено ідентифікацію об'єкта, проведено огляд і аналіз АСК ТОК, обрано структури САР, описано вимоги до функцій АСК ТОК.

У другому розділі спроектовано систему автоматизації. Описано структуру ПТК. Обрано давачі та виконавчі механізми. Також обрано рішення для контролерної та супервізорної автоматизації. Додатково було розраховано САР.

У третьому розділі було описано графічну частину. Перелічені характеристики приладів зі специфікації.

Четвертий розділ присвячений розробці програмного забезпечення для ПЛК та HMI/SCADA-системи.

У п'ятому розділі було проведено моделювання об'єкта управління. Були наведені результати роботи розробленого програмного забезпечення.

Шостий розділ присвячений охороні праці. Особливу увагу приділено пожежобезпеці та електрозахисту.

У сьомому розділі проведено розрахунок техніко-економічної ефективності. Було складено кошторис на придбання та монтаж системи автоматизації деаераторної установки.

ABSTRACT

The diploma project involves the development of an automation system for a deaerator installation. The water level control loop in the tank is considered. The explanatory note consists of the following sections: introduction, design of the automated process control system (APCS), engineering calculations for the control loop, description of the graphical part of the project, programming of the PLC and HMI/SCADA system, simulation of the control object, occupational safety, technical and economic calculations, conclusions.

The first section provides an analysis of the deaerator installation as a technological object and identifies a list of key operational parameters. Object identification and examination and analysis of the APCS TOC are conducted, and the structure of the control loop is selected. The functional requirements of the APCS TOC are also described.

In the second section, the automation system is designed. The structure of the PLC is described, and sensors and actuators are selected. Solutions for controller and supervisory automation are also chosen. Additionally, the control loop is calculated.

The third section describes the graphical part of the project. The specifications of the devices are listed.

The fourth section focuses on the development of software for the PLC and HMI/SCADA system.

The fifth section involves the simulation of the control object. The results of the developed software are presented.

The sixth section is dedicated to occupational safety, with particular emphasis on fire safety and electrical protection.

The seventh section includes a calculation of the technical and economic efficiency. A cost estimate for the purchase and installation of the automation system for the deaerator installation is prepared.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСР – автоматична система регулювання;

ТОУ – технологічний об'єкт управління;

ТП – технологічний процес;

РО – регулюючий орган;

ВМ – виконавчий механізм;

АСУ – автоматична система управління;

ФСА – функціональна схема автоматизації;

ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації;

ПК – персональний комп'ютер;

ПЛК – програмно-логічний контролер;

ПЗ – програмне забезпечення;

ОС – операційна система;

HMI – Human Machine Interface;

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition;

TCP/IP – Transmission Control Protocol / Internet Protocol;

OPC – OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control;

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор;

П-регулятор – пропорційний регулятор;

РАФХ – розширена амплітудно-фазова характеристика.

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування
деаераторною установкою»**

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП	11
1.1. Характеристика технологічного об'єкту управління.....	11
1.2. Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ	13
1.3. Технологічні параметри АСУТП ТОУ	17
1.4. Функції АСУТП.....	18
1.5. Схема автоматизації функціональна	20
1.6. Схема структурна програмно-технічного комплексу	21
1.7. Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АСК ТОУ	22
РОЗДІЛ 2. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	25
2.1. Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР	25
2.1.1. Перелік вимірювальних каналів (ВК).....	25
2.1.2. Схеми структурні вимірювальних каналів.....	26
2.1.3. Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів.....	28
2.1.4. Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів	29
2.1.5. Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод.....	31
2.1.6. Схеми структурні надійності вимірювальних каналів.....	32
2.1.7. Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів.....	32
2.1.8. Розрахунок надійності вимірювальних каналів.....	34
2.1.9. Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК.....	37
2.1.10. Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів	38
2.2. Розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР.....	39
2.2.1. Перелік систем автоматичного регулювання	39
2.2.2. Функціональна і структурна схеми САР	39
2.2.3. Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР	40
2.2.4. Схема структурна програмно-технічних засобів САР	40
2.2.5. Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР	40
2.2.6. Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР.....	41
2.3. Розрахунок САР.....	44
2.3.1. Ідентифікація об'єкта управління.....	44
2.3.2. Розрахунок налаштувань регуляторів та моделювання САР	45
2.3.3. Дослідження чутливості САР.....	50
2.3.4. Висновки щодо роботоздатності РВК САР	54
РОЗДІЛ 3. ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ	55
3.1. Схема функціональна автоматизації ТОУ	55
3.2. Схема структурна ПТК	55
3.3. Схема принципова електрична АСК	55
3.4. Креслення загального виду щита.....	56
3.5. Схема монтажна щита (таблиця з'єднань).....	57
3.6. Схема зовнішніх з'єднань.....	58
3.7. Специфікація обладнання.....	58
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА.....	61
4.1. Програмування функціональності ПЛК.....	61

						ТА-91408.0016.001.АТХ.П			
Зм.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка АСК деаераторною установкою	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив		Тобілко М.О.					ДП	8	90
Перевірів		Штіфзон О.Й.							
Т.контр.									
Н. контр.		Некрашевич							
Затвердив		Волощук В.А.					НТУУ "КПІ", ТЕФ, ТА-91		

4.2.	Програмування функціональності SCADA-системи	64
РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК		67
5.1.	Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ	67
5.2.	Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink	68
5.3.	Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys	69
5.4.	Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio69	
5.5.	Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio69	
5.6.	Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі.....	69
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....		70
6.1	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів контролю й автоматизації та технологічного устаткування	70
6.1.1.	Електробезпека	73
6.1.2	Технічні рішення та організаційні заходи щодо запобігання електричних травм від дотику до нормально струмоведучих частин ЕУ	74
6.1.3.	Технічні рішення по запобіганню електричних травм при переході напруги на нормально неструмоведучі частини ЕУ	75
6.1.4.	Розрахунок електромережі на вимикаючу здатність	76
6.2.	Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії ..	77
6.2.1	Мікроклімат робочої зони.....	77
6.2.2.	Склад повітря робочої зони	78
6.2.3	Виробниче освітлення	79
6.2.4	Виробничий шум	80
6.3.	Протипожежна безпека та профілактика.....	80
РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК		83
ВИСНОВКИ		87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		89

ВСТУП

Правильне дотримання водного режиму і видалення корозійно-агресивних газів з живильної води і конденсату забезпечують прийнятний рівень корозії в пароводяному тракті. Живильна вода повинна відповідати нормам щодо жорсткості, електропровідності, вмісту кисню та іншим параметрам. Дотримання цих норм для всіх режимів роботи обладнання допомагає уникнути перенесення продуктів корозії на поверхні нагріву з високою температурою, що може призвести до погіршення надійності роботи, а також запобігти виразковій корозії в пароводяному тракті. Для боротьби з цим проблемою використовується деаератор.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						10
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1. Характеристика технологічного об'єкту управління

Деаератори використовуються для очищення води від корозійно-активних газів (кисень, вуглекислий газ) на електростанціях шляхом нагрівання води до температури кипіння та випаровування газів разом із випаром.

Принцип деаерації полягає в тому, що зі збільшенням температури води при постійному тиску розчинність газів зменшується і при температурі кипіння стає рівною нулю.

Деаератор складається з деаераційного баку, деаераційної колонки, гідрозатвору (запобіжного пристрою) та охолоджувача випару. Деаераційний бак - це горизонтальна циліндрична посудина з еліптичними днищами та патрубками для входу та виходу робочого середовища, а також для підключення трубопроводів та арматури. Бак встановлений на опорах, одна з яких нерухома. На баку розташована деаераційна колонка, яка представляє собою циліндричну обичайку з еліптичним днищем та патрубками для подачі та відведення робочого середовища. Для забезпечення безпеки експлуатації деаератора передбачений запобіжний пристрій - гідрозатвор, який захищає його від небезпечного перевищення тиску та переповнення баку водою. Охолоджувач випару призначений для конденсації максимальної кількості пари, що виділяється з деаератора. Ще одна функція охолоджувача випару - утилізація тепла цієї пари.

Принцип роботи деаератора полягає в наступному: холодна вода (конденсат) та пара з відбору турбіни поступають до деаераційної колонки зверху. Колонка сконструйована таким чином, що нагріває воду (конденсат), яка тече вниз через спеціальні "тарілки" і "кільця" (для розділення потоку води на окремі струмені, що збільшує поверхню теплообміну), парою, яка подається вниз через барботажні пристрої, до досягнення температури насичення води при даному тиску. Навіть незначне недогрівання води до температури насичення призводить до неповного випаровування газів з води.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						11
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пара, пропускаючи через деаеровану воду в баку і струмені холодної води в колонці, нагріває холодну воду до температури насичення. Завдяки цьому за законом Дальтона-Генрі зменшується парціальний тиск газів, розчинених у воді, та їх концентрація. Гази, які виділяються з води, разом з гарячою парою виходять з системи та установки через отвір у верхній частині деаераційної колонки. Пара, яка вийшла з системи разом з корозійно-активними газами, називається випаром. Гарячий випар надходить до охолоджувача випару або може використовуватись для підігріву повітря перед подачею його до котла.

На Рис. 1.1. зображений деаератор атмосферного тиску КДА-100.

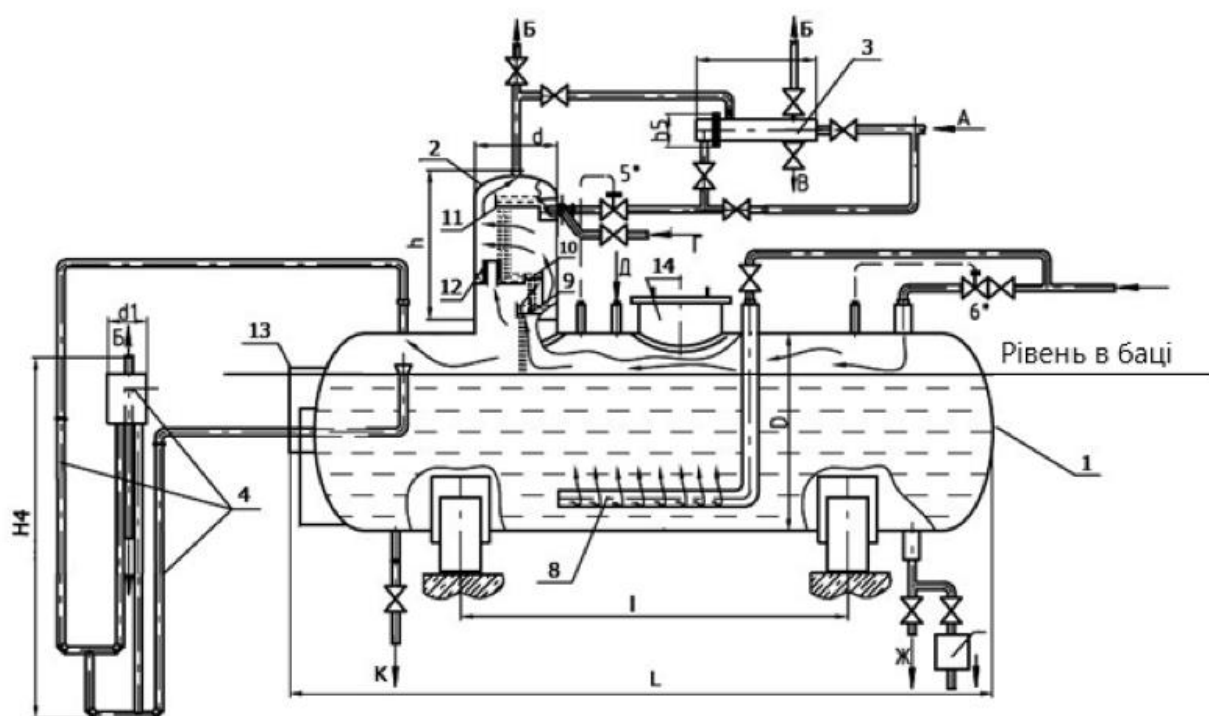


Рисунок 1.1 - Деаератор атмосферного тиску КДА-100

1 - бак деаераторний. 2 - колонка деаераційна, 3 - охолоджувач випару, 4 - пристрій запобіжний, 5 - клапан регулювання подачі води, 6 - клапан регулювання подачі пари, 7 - холодильник відбору проб, 8 - барботажний пристрій, 9 - барботажна тарілка, 10 - перепускна тарілка, 11 - верхня тарілка, 12 - пароперепускний пристрій, 13 - показчик рівня, 14 – люк-лаз; А - підведення

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						12
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хімочищеної води, Б - вихлоп в атмосферу, В - відведення конденсату, Г - підведення основного конденсату, Д - підведення гарячих конденсатів, Н - підведення гріючої пари, Ж - відведення деаерованої води, З - підведення конденсату від виробництва, И - підведення від бака нижніх точок, К - дренаж.

1.2. Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Деаератор є важливим елементом в системах теплової енергетики, і його робота впливає на ефективність та безпеку енергетичних установок. Одним з ключових аспектів управління деаератором є контроль параметрів, таких як рівень води, температура, тиск та концентрація кисню в системі. Належна робота деаератора забезпечується за допомогою автоматичної системи керування, яка забезпечує точне регулювання параметрів та запобігає виникненню аварій.

Система керування деаератором може бути різної складності та базуватися на різних принципах. Один з найпоширеніших принципів управління параметрами деаератора є одноконтурна система регулювання з П-регулятором. Ця система забезпечує контроль рівня води в баку деаератора за допомогою датчика рівня та виконавчого механізму - клапана подачі води. По показанням датчика рівня контролер формує керуючий сигнал, який залежно від сигналу, закриває чи відкриває клапан подачі води.

Однак, для більш точного та ефективного управління параметрами деаератора, можуть бути використані інші альтернативні системи керування. Наприклад, імпульсний ПІД-регулятор, доповнений блоком заборони на видачу керуючих сигналів на зменшення та збільшення витрати живильної води. Блок заборони управляється сигналами від блоку порівняння витрати живильної води з встановленими обмеженнями, а також сигналами, що формуються при порівнянні поточного рівня води в баці.

Для контролю температури у випарній частині деаератора використовують багатоконтурну систему регулювання. До об'єкта управління на вході подається пар, яка нагрівається у випарній камері до заданої температури. На виході з

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						13
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

камери пар попадає до рекуператора, де відбувається передача тепла до подачі води. Для контролю температури використовують два датчики: на вході до випарної камери та на виході з рекуператора.

Управління процесом нагрівання пари відбувається за допомогою регулювального клапана на подачі пари до випарної камери. Контролер, який отримує показання від датчиків температури, формує керуючий сигнал, який в свою чергу керує положенням регулювального клапана. За допомогою цієї системи можна досить точно контролювати температуру у випарній камері, що дозволяє ефективно використовувати тепло від пари для нагріву подачі води.

Підходом до регулювання температури може бути використання ПІД-регулятора, що дозволяє забезпечити більш точне керування температурою у випарній камері. Також може бути використаний алгоритм прогнозування, що дозволяє забезпечити більш точне керування процесом нагрівання пари з урахуванням зміни зовнішніх умов та параметрів води, що подається до випарної камери.

Система керування тиском в деаераторі використовується для забезпечення стабільного тиску пари на виході з деаератора. Для цього використовують датчики тиску, які передають сигнали на контролер. Контролер порівнює сигнали від датчиків з заданим значенням тиску і формує керуючий сигнал для регулювального пристрою.

Одним з найпоширеніших способів керування тиском є використання ПІД-регулятора. Цей регулятор враховує не тільки поточне значення тиску, а й швидкість зміни тиску (диференційна складова) та історію зміни тиску (інтегральна складова). Це дозволяє досягти більш точного та швидкого регулювання тиску.

Крім того, можуть бути використані і інші методи керування, наприклад, адаптивне керування, яке використовується для автоматичного налаштування параметрів керування в залежності від зміни умов роботи деаератора. Для цього

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						14
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуються спеціальні алгоритми, які автоматично аналізують вхідні сигнали та налаштовують параметри керування.

У разі використання системи з двома датчиками тиску, можна також застосувати систему захисту від руйнування деаератора. Ця система базується на порівнянні значень тиску в деаераторі та в паропроводі після деаератора. Якщо різниця між цими значеннями перевищує заданий поріг, то система автоматично зупиняє подачу пари в деаератор для запобігання пошкодженню установки.

Система керування рівнем води в баці деаератора є однією з ключових систем, що забезпечують правильну роботу установки. Для контролю рівня води в баці деаератора використовується одноконтурна система регулювання з П-регулятором. Її і буде розглянуто далі.

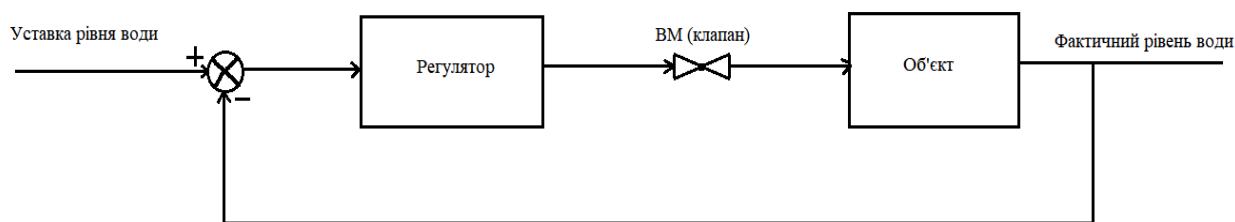


Рисунок 1.2 – Контур регулювання рівня води в баці

На рисунку 1.2. показаний принцип роботи системи контролю рівня води: датчик рівня контролює рівень води в баці деаератора і формує відповідний електричний сигнал, який подається на контролер. Контролер в свою чергу обчислює різницю між фактичним значенням рівня води та бажаним значенням, яке встановлено оператором. На основі отриманих даних контролер формує керуючий сигнал, що надходить на виконавчий механізм - клапан подачі води.

Якщо поточний рівень води нижче встановленого значення, то контролер відправляє сигнал на відкриття клапана і водопостачання в бак деаератора розпочинається. З іншого боку, якщо поточний рівень води вище встановленого значення, то контролер надсилає сигнал на закриття клапана і подача води зупиняється.

Використання П-регулятора дозволяє забезпечити швидке і точне регулювання рівня води в баці деаератора. Крім того, система має вбудований механізм захисту від збоїв, що дозволяє уникнути виникнення небезпечних ситуацій на установці.

У подальшому, для вдосконалення системи керування рівнем води можна розглянути використання більш сучасних методів регулювання, наприклад, ПІД-регулятора з механізмом адаптивного налаштування коефіцієнтів. Цей механізм дозволяє автоматично налаштувати параметри регулятора залежно від змін вихідних параметрів системи.

Завдяки застосуванню системи керування рівнем води в баку деаератора можна досягти стабільної роботи деаератора та запобігти можливим аварійним ситуаціям, пов'язаним з недостатнім або надлишковим рівнем води. Крім того, застосування автоматизованої системи керування забезпечує зменшення людського фактору та зниження витрат на управління процесом.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						16
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Таблиця 1.1 - Нормативні значення технологічних параметрів

Найменування параметрів	Одиниці виміру	Значення	Допустимий діапазон відхилення
Продуктивність	м³/год	300	± 5%
Тиск робочий	МПа	0.6	± 5%
Пробний гідравлічний тиск	МПа	0.8	± 5%
Максимальний допустимий тиск при роботі запобіжного клапана	МПа	0.8	± 5%
Корисний об'єм	м³	13	± 5%
Температура деаерованої води	°C	104	±2°C
Максимальний нагрів води в деаeratorі при номінальній продуктивності	°C	135	±5%
Мінімальний нагрів води в деаeratorі при номінальній продуктивності	°C	100	±5%

Режимні параметри – це такі технологічні параметри, регулювання яких в реальному часі забезпечує ефективне функціонування ТОУ. В таблиці 1.2 наведено режимні параметри ТОУ.

Таблиця 1.2 - Режимні параметри ТОУ

№	Назва параметру	Діапазон вимірювань	Допустиме відхилення
1	Тиск в деаeratorному баці	0,2 МПа	+ -1%
2	Рівень води в деаeratorному баці	0,3-1,0м	+ -3%

Захисні параметри:

- Статичний тиск в баці деаератора;
- Перевищення рівня води в баці;
- Сигналізація при падінні температури нижче 100 °C.

Контрольні параметри:

- Температура випару;
- Температура деаерованої води;
- Витрата деаерованої води;
- Витрата пари;

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						17
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Тиск у деаераторі;
- Тиск пари;
- Рівень води у баці.

1.4. Функції АСУТП

Основними функціями автоматичної системи управління будь-яким технологічним об'єктом управління є:

- Інформаційна функція;
- Захисна функція;
- Керуюча функція;

Управляюча функція забезпечує стабілізацію режимного параметру шляхом зміни регульовальної дії. Ця функція відповідає за автоматичне регулювання температури, забезпечення оптимальних умов для роботи деаератора.

Захисна функція забезпечує реалізацію попереджувального або аварійного захисту шляхом контролю захисних параметрів і формування команди на включення або відключення. Вона відповідає за контроль параметрів, які впливають на безпеку та надійність роботи системи. При виявленні відхилень від заданих меж, система АСУТП автоматично виконує заходи захисту, такі як аварійне відключення або активація попереджувальних систем.

Інформаційна функція забезпечує вимірювання режимного, захисного або контрольного параметру. Вона відповідає за збір та передачу даних про стан системи, її параметри, вимірювання температури, тиску, витрати тощо. Ці дані використовуються для аналізу, моніторингу та прийняття рішень щодо регулювання та захисту системи.

Перелік управляючих функцій АСУ:

- Стабілізація тиску в деаераторному баці (0.6 МПа) шляхом переміщення вентилію подачі пару;
- Стабілізація рівня води в деаераторному баці (2.0 м) шляхом переміщення

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						18
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентилію подачі пом'якшеної води.

Перелік захисних функцій АСУ:

- Відкриття аварійного зливу при перевищенні тиску в деаeratorному баці більше 0.7 МПа;
- Відкриття аварійного зливу при перевищенні в деаeratorному баці більше 2.8 м;
- Аварійна сигналізація при зниженні температури води в деаeratorному баці нижче 100 °С.

Перелік інформаційних функцій АСУ:

- Температура випару;
- Температура води в баці;
- Температура деаерованої води;
- Витрата деаерованої води;
- Витрата пари;
- Тиск у деаeratorі;
- Тиск пари;
- Рівень води у баці.

Виходячи зі специфіки даного технологічного процесу можна зробити висновок, що захисна функція майже повністю залежить від справності та похибок вимірювання параметрів технологічного процесу. Тому найжорсткіші вимоги мають бути висунені до підбору датчиків та до їх резервування.

Вимоги до похибок регулювання задовольняються в повній мірі за рахунок підбору високоточного контролера Siemens SIMATIC S7-1500, що має клас точності 0,5.

Вимоги до інформаційної функції задовольняються використанням HMI/SCADA-системи. Вона дозволяє оператору повністю контролювати перебіг технологічного процесу, повідомляє про вихід параметрів ТП за

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						19
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідні межі, а також доповнює собою реалізацію захисної функції, за рахунок унеможливлення неавторизованого доступу до системи.

1.5.Схема автоматизації функціональна

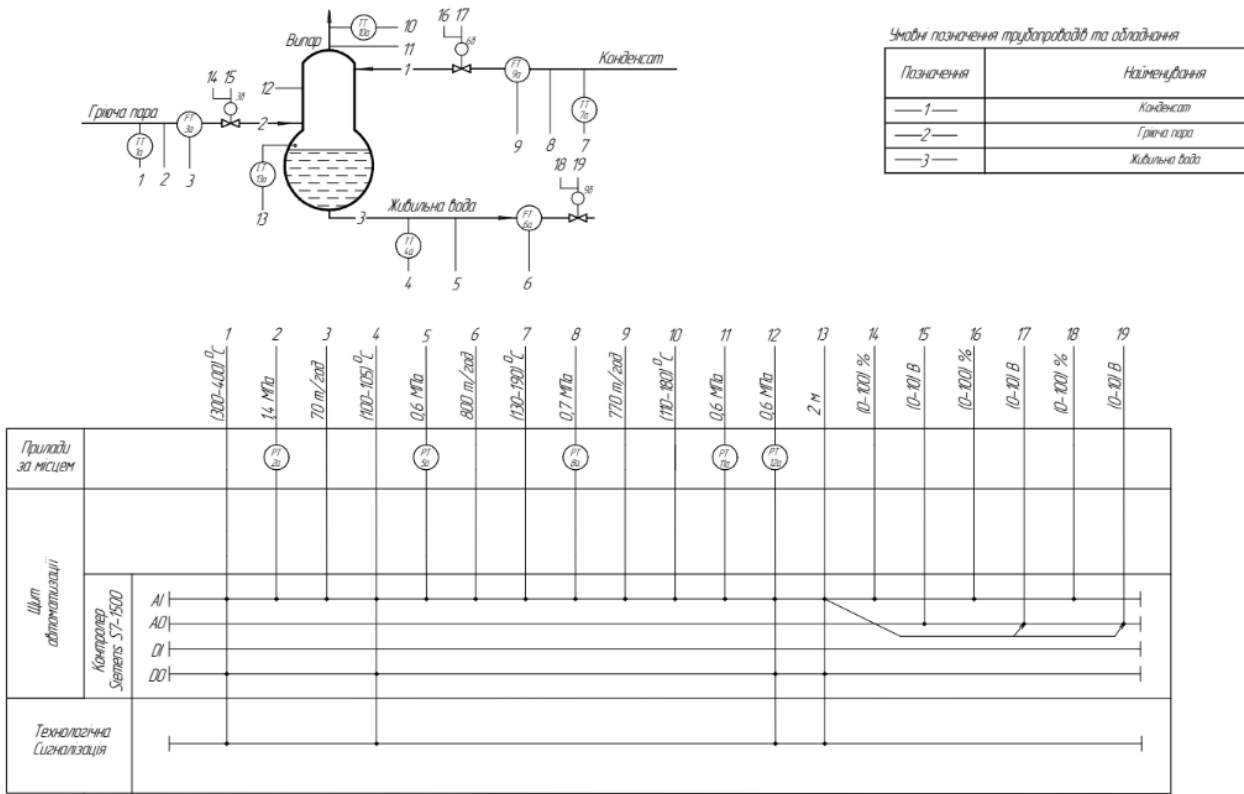


Рисунок 1.3 - Схема автоматизації функціональна

На рисунку 1.3. зображено схему функціональну автоматизації. Готовий конденсат (1) подається в бак деаератора. За допомогою датчика температури (поз. 7а), датчика витрати (поз. 9а) та датчика тиску (поз. 2а) вимірюється параметри конденсату. Також до баку подається гріюча пара (2), що використовуються для видалення шкідливих речових та газів з конденсату. Параметри гріючої пари вимірюються за допомогою датчика температури (поз. 1а), датчика витрати (поз. 3а) та датчика тиску (поз. 8а) . Готова живильна вода (3) відводиться від деаераторної установки. Її параметри також вимірюються датчиком температури (поз. 4а), датчиком витрати (поз. 6а) та датчиком тиску (поз. 5а). Додатково в деараторі вимірюється рівень води (поз. 13а), тиск в баці (поз. 12а), температура випару (поз. 10а) та тиск випару (поз. 11а). Витрати

конденсату (поз. 3б), грійучої пари (поз. 6б) та живильної води (поз. 9б) регулюються виконавчими механізмами Belimo. Показання всіх датчиків передаються на реєструючий прилад Siemens S7-1500.

1.6.Схема структурна програмно-технічного комплексу

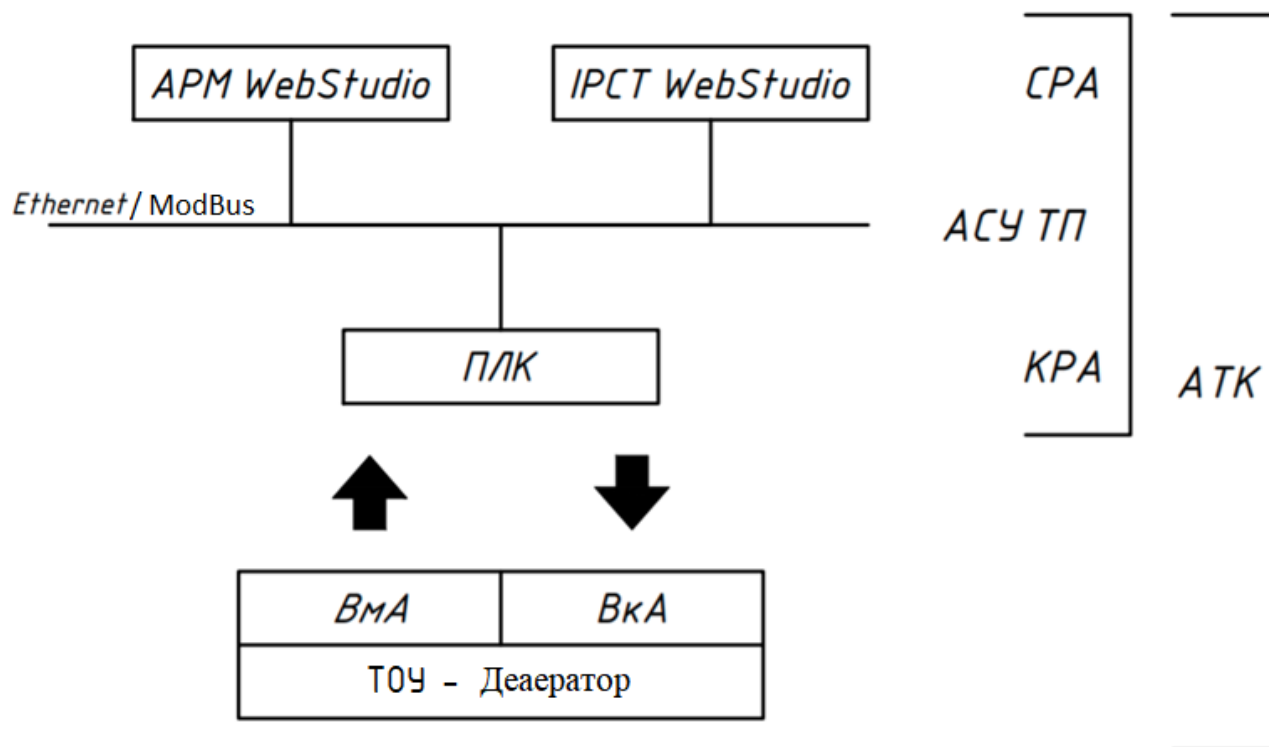


Рисунок 1.4 - Структура ПТКЗА

- ТОУ – технологічний об’єкт управління
- ВМА – вимірювальна апаратура
- ВКА – виконавча апаратура
- ПЛК – програмований логічний контролер
- АРМ – автоматизоване робоче місце
- ІРСТ – інженерна робоча станція
- СРА – супервізорний рівень автоматизації
- АСУ ТП – автоматизована система управління технологічними процесами
- КРА – контролерний рівень автоматизації
- АТК – автоматизований технологічний комплекс

На рисунку 1.4. представлена схема програмно – технічного комплексу засобів автоматизації, який включає в себе ПК, ПЛК та ТОУ, з’єднані між собою польовими шинами. Нижній рівень АСУ являє собою контролер з

вимірювальною та виконавчою апаратурою, а верхній – супервізорний. До TCP/IP Ethernet приєднуються клієнти із встановленим Codesys.

Стандартним комунікаційним протоколом між сервером і контролером є протокол OPC. OPC-комунікаційний сервер опитує контролери через польову шину ModBus/RS-485 і передає дані в SCADA через протокол OPC.

Принцип роботи схеми наступний. За допомогою датчику рівня Siemens Sitrans LC 300 виконується вимір рівня води в баку деаератора. Вихідним сигналом датчика є уніфікований сигнал (4..20 мА постійного струму). Він надходить на відповідний аналоговий вхід контролера Siemens Simatic S7-1500. Контролер здійснює обробку отриманого сигналу, порівнює отримане значення з заданим, розраховує сигнал неузгодження та подає командний вплив на один з аналогових виходів, залежно від того, чи треба закрити чи відкрити клапан. Сигнал потрапляє на виконавчий механізм Belimo.

SCADA/HMI-система Codesys опитує контролер через стандартну польову шину (Modbus/RS-485), забирає дані від контролера, та надсилає дані на контролер через ту саму шину.

1.7.Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ

Джерела економії через впровадження АТК у деаераційній установці:

1. Зменшення витрат на обслуговування:

Впровадження АТК у деаераційній установці може призвести до значного зниження витрат на обслуговування. Автоматична система контролю дозволяє моніторити параметри установки в режимі реального часу, виявляти потенційні несправності та проводити діагностику у ранніх стадіях. Це дає можливість знизити ризик виникнення аварійних ситуацій і витрат, пов'язаних з ремонтом та заміною обладнання.

2. Оптимізація енергоспоживання:

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						22
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АТК деаераційної установки може сприяти оптимізації енергоспоживання шляхом автоматичного регулювання режимів роботи. Система контролю може забезпечити точне налаштування параметрів процесу, що дозволяє уникнути перевитрати енергії та забезпечити ефективне використання ресурсів.

3. Зниження втрат продукції:

Автоматичний технічний контроль у деаераційній установці може допомогти уникнути втрат продукції. Відхилення від оптимальних значень параметрів може призвести до зниження якості обробки води та збільшення рівня кисню та газів у системі. АТК дозволяє своєчасно виявляти такі відхилення та автоматично коригувати режими роботи, забезпечуючи стабільну якість продукції.

Нематеріальні переваги впровадження АТК:

1. Поліпшення умов роботи:

Впровадження АТК у деаераційну установку може призвести до поліпшення умов роботи персоналу. Автоматична система контролю зменшує необхідність в ручних операціях та моніторингу, що дозволяє працівникам зосередитись на більш складних та важливих завданнях. Це може позитивно вплинути на мотивацію персоналу та загальну продуктивність.

2. Підвищення безпеки:

Автоматичний технічний контроль у деаераційній установці сприяє підвищенню безпеки праці. Система може автоматично виявляти небезпечні ситуації та вчасно запускати заходи безпеки, такі як аварійне вимкнення або автоматичне виключення несправного обладнання. Це допомагає запобігти можливим аваріям та забезпечити безпеку персоналу та майна підприємства.

Впровадження АТК у деаераційну установку має значний потенціал для забезпечення техніко-економічної ефективності. Перелік джерел економії та

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						23
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прибутку включає зниження витрат на обслуговування, оптимізацію енергоспоживання та уникнення втрат продукції. Крім того, впровадження АТК поліпшує умови роботи та підвищує безпеку на підприємстві. Враховуючи ці переваги, рекомендується впровадження системи автоматичного технічного контролю у деаераційній установці для досягнення оптимальної ефективності та покращення роботи підприємства.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						24
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1.Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1. Перелік вимірювальних каналів (ВК)

У складі АСУТП ТОУ використовуються наступні вимірювальні канали:

- ВК температури гріючої пари;
- ВК тиску гріючої пари;
- ВК витрати гріючої пари;
- ВК температури води в баці;
- ВК тиску деаерованої води;
- ВК витрати деаерованої води;
- ВК температури конденсату;
- ВК тиску конденсату;
- ВК витрати конденсату;
- ВК температури випару;
- ВК тиску випару;
- ВК тиску в баці деаератора;
- ВК рівня води в баці;

Використання цих вимірювальних каналів в деаeratorі дозволяє забезпечити точний контроль за процесом деаерації на протязі всього пароводяного тракту. Крім того, наявність цих вимірювальних каналів надає оператору точні дані з системи, що дозволяє йому оперативно реагувати на непередбачені ситуації. Такий контроль сприяє ефективному управлінню процесом деаерації та забезпечує безперебійну роботу системи.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						25
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.2. Схеми структурні вимірювальних каналів

- ВК температури деаерованої води:

Вимірювальний канал температури води в баці складається з давача та контролера. Для виміру температури води, оберемо давач з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА.

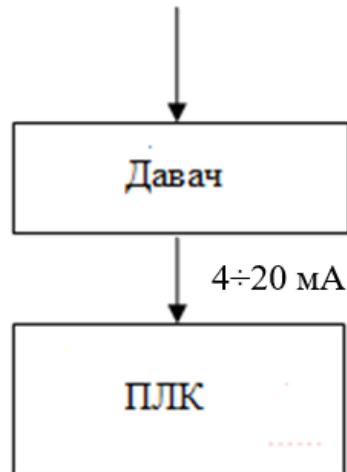


Рисунок 2.1 – Структура ВК температури

- ВК тиску в баці:

Вимірювальний канал тиску в баці складається з давача та контролера. У якості давача візьмемо манометр з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА.



Рисунок 2.2 – Структура ВК тиску

- ВК рівня води в баці:

Вимірювальний канал рівня води в баці складається з давача та контролера. У якості давача візьмемо радіо-хвильовий рівнемір з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА.

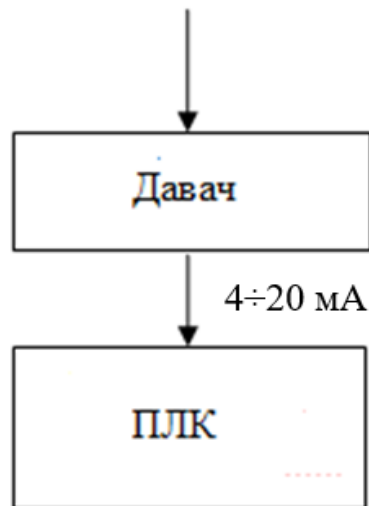


Рисунок 2.3 – Структура ВК рівня води

2.1.3. Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів

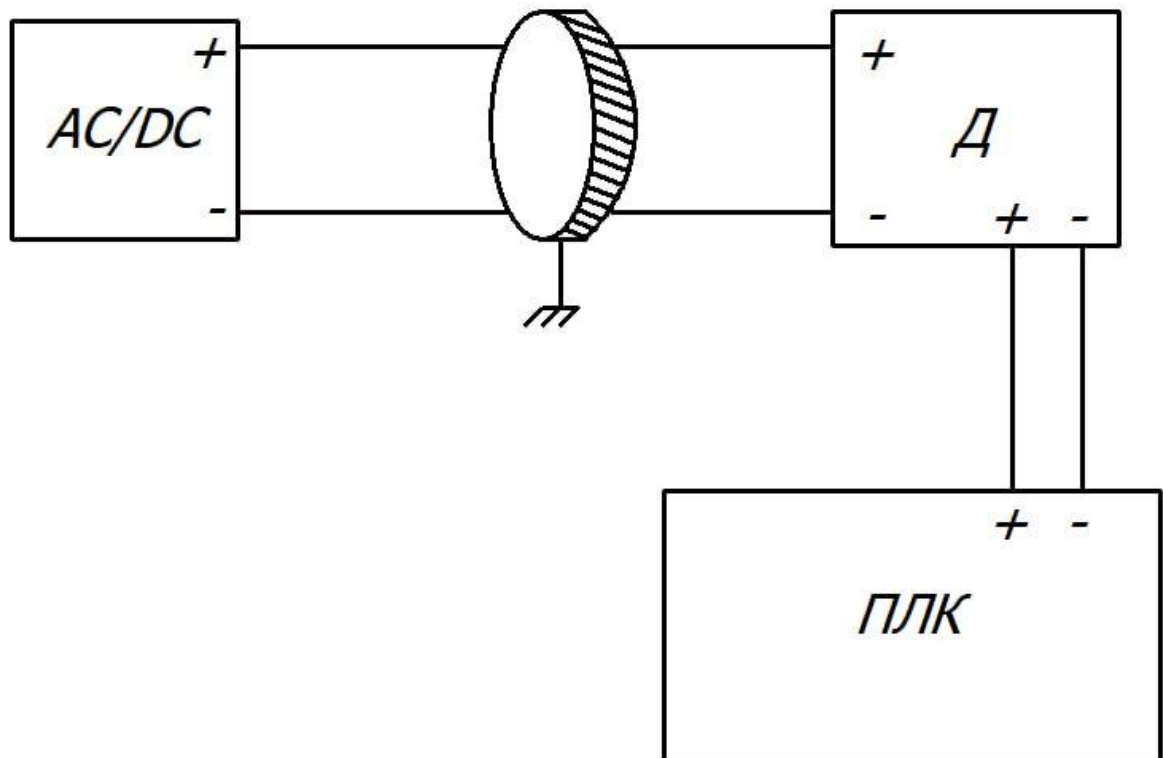


Рисунок 2.4 – Схема підключення датчиків

Усі датчики мають уніфікований струмовий вихідний сигнал $4 \div 20$ мА і підключаються за чотирьох провідною схемою:

- контакт «+» блока живлення підключаємо до контакту «+» датчика екранованим кабелем;
- контакт «-» блока живлення підключаємо до контакту «-» датчика екранованим кабелем;
- інформаційний контакт «+» датчика під'єднується до аналогового входу ПЛК на контакт «+».
- інформаційний контакт «-» датчика під'єднується до аналогового входу ПЛК на контакт «-».

2.1.4. Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

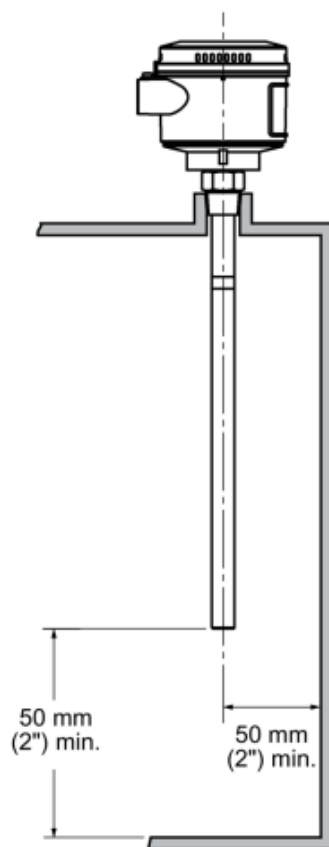
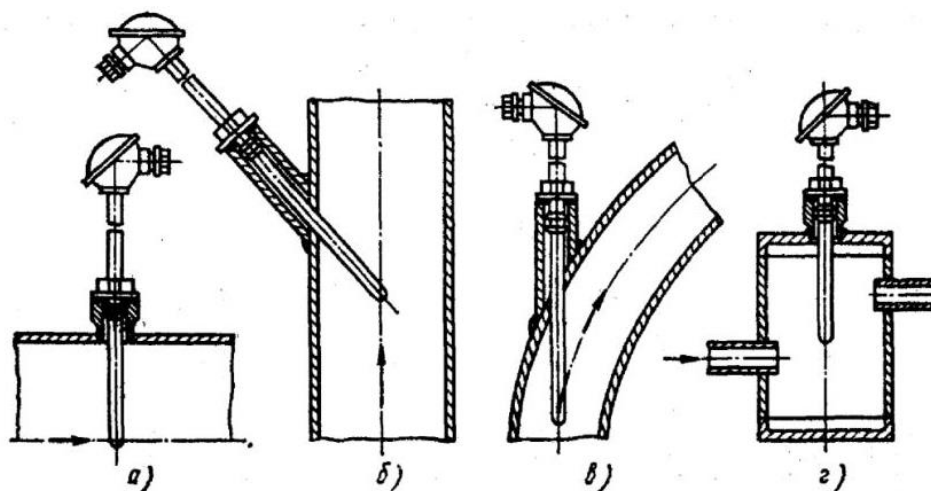


Рисунок. 2.5 – Рекомендації по встановленню датчика Sitrans LC 300



Установка термометрів опору на трубопроводах
 а, б - на горизонтальній та вертикальній ділянках, в - на коліні
 з - за допомогою розширювача

Рисунок 2.6 – Рекомендації по встановленню датчика Sitrans TS 500

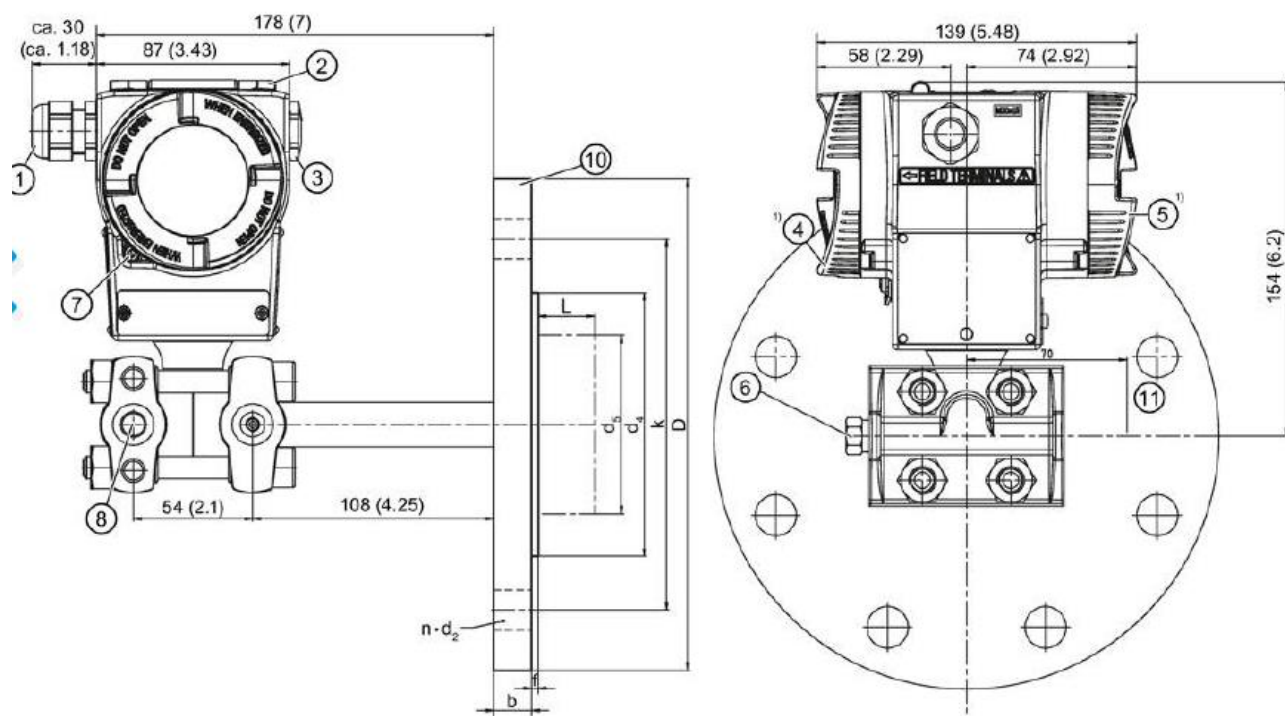


Рисунок 2.7 – Рекомендації по встановленню датчика Sitrans P500

2.1.5. Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

З метою забезпечення надійності та точності вимірювань потрібно врахувати наступні аспекти щодо захисту технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод:

1. Використання екранованого кабелю: Для підключення датчиків рекомендується використовувати екранований кабель, що допомагає запобігти впливу електромагнітних шумів на сигнали вимірювання. Це забезпечить високу якість сигналу та уникне спотворень даних.

2. Заземлення пристроїв: Надається перевага заземленню всіх пристроїв, що має дві важливі функції. По-перше, це забезпечує безпеку персоналу при обслуговуванні установки. По-друге, це сприяє уникненню небажаних електромагнітних збурень сигналу.

3. Використання захисних коробок: Для забезпечення фізичної та електричної захисту кабелів рекомендується їх прокладати у спеціальних захисних коробках. Це запобігає пошкодженням кабелів від зовнішніх впливів, а також захищає від електростатичних зарядів.

4. Розташування кабелів: При прокладанні кабелів слід уникати перетинання з електроенергетичними лініями та іншими джерелами електромагнітних перешкод. Оптимальне розташування кабелів віддалено від потенційних джерел збурень допоможе забезпечити стабільність та надійність сигналу.

5. Регулярна перевірка та обслуговування: Рекомендується проводити регулярну перевірку та технічне обслуговування всіх захисних засобів та кабельних систем. Це дозволить вчасно виявляти можливі проблеми та приймати необхідні заходи для їх усунення.

Враховуючи ці рекомендації, ми забезпечимо ефективний захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод, що дозволить отримувати надійні та точні вимірювання.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						31
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.6. Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

ВК рівня води в баці:



Рисунок 2.8 – Схема структурна надійності ВК рівня води

ВК температури води в баці:



Рисунок 2.9 – Схема структурна надійності ВК температури води

ВК тиску в баці:



Рисунок 2.10 – Схема структурна надійності ВК тиску

2.1.7. Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Для кожного елементу вимірювальних каналів визначимо класи точності та діапазони вимірювання і занесемо ці дані до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика елементів у ВК рівня води

Елемент	Клас точності	Діапазон вимірювання
Датчик рівня Siemens Sitrans LC 300	0,2	(0,3...5) м
Контролер Siemens SIMATIC S7-1500	0.5	(0,3...5) м

Розрахуємо абсолютну та відносну похибку вимірювального каналу(ВК).
Абсолютна похибка ВК визначається за формулою (2.1):

$$\Delta_{BK} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2}; \quad (2.1)$$

де Δ_{BK} – абсолютна похибка ВК, Δ_i – абсолютна похибка i -го елементу ВК, n – кількість елементів ВК.

$$\eta_{BK} = \frac{\Delta_{BK}}{X} 100\%; \quad (2.2)$$

де η_{BK} – відносна похибка ВК, Δ_{BK} – абсолютна похибка ВК, X – діапазон вимірюваного значення параметру.

Визначення абсолютних похибок елементів ВК по класу точності робимо за формулою:

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_i (X_{max} - X_{min})}{100} \quad (2.3)$$

де ε_i – клас точності i -го елемента; $(X_{max} - X_{min})$ – діапазон вимірювання
Розрахуємо абсолютні похибки елементів ВК за формулою (2.3):

Датчик рівня Siemens Sitrans LC 300:

$$\Delta_1 = \frac{\varepsilon_1 (X_{max} - X_{min})}{100} = \frac{0,2(5 - 0,3)}{100} = 0,0094 \text{ м};$$

Контролер Siemens SIMATIC S7-1500:

$$\Delta_2 = \frac{\varepsilon_2 (X_{max} - X_{min})}{100} = \frac{0,5(5 - 0,3)}{100} = 0,0235 \text{ м};$$

Розраховуємо абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\Delta_{BK} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{0,0095^2 + 0,0235^2} = 0,0253 \text{ м}$$

Визначення відносної похибки вимірювального каналу:

$$\eta_{BK} = \frac{\Delta_{BK}}{X} 100\% = \frac{0,0253}{4,7} 100\% = 0,54\%$$

На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що абсолютні похибки вимірювальних каналів перебувають в межах допустимих значень. Це свідчить про придатність розрахованих вимірювальних каналів для використання. Обрані засоби вимірювання є високотехнологічними, що сприяє

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						33
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

незначному відхиленню виміряного значення параметра від його істинного значення. Таким чином, комплектація кожного вимірювального каналу відповідає вимогам технічних характеристик.

2.1.8. Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Кожний елемент структурної схеми надійності характеризується інтенсивністю відмов $\lambda, 1/\text{год}$ або середнім часом напрацювання на відмову

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}, \text{год.}$$

Наведемо ці дані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики приладів в ВК

Елемент	$\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$	$T_{\text{сер}}, \text{год}$
Датчик рівня Siemens Sitrans LC 300	10	100000
Деталі кріпильного монтажу	0.0012	83333333
ПЛК Siemens Simatic S7 – 1500	38	26280
ПК	4	250000

Інформаційна функція. Надійність виконання цієї функції характеризуються параметром $T_{\text{сер}}$. Параметр $T_{\text{сер}}$ розраховується за формулою (3.7).

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2.4)$$

λ_i – інтенсивність потоку відмов i -го елемента ССН даної функції;

n – кількість елементів у ССН.

Ймовірність безвідмовної роботи за час τ розраховується за формулою.

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{\text{сер}}}} \quad (2.5)$$

Для регулюючої функції розраховується імовірність безвідмовної роботи за час τ з урахуванням відновлення за формулою (2.5).

$$P_c(\tau) = P(\tau) + [1 - P(\tau)] \cdot P_B(\tau) \quad (2.6)$$

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						34
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ймовірність відновлення працездатності:

$$P_B(\tau) = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_B}} \quad (2.7)$$

$T_{\text{доп}}$ – допустимий час функціонування об'єкта при невиконанні цієї функції АСУ ТП.

Захисна функція характеризується коефіцієнтом готовності, який розраховується за формулою

$$K_{\text{зот}} = \frac{T_{\text{сп}}}{T_{\text{сп}} + T_B} \quad (2.8)$$

Для захисної функції розраховується імовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі $P_{\text{оч}}(\tau)$ за формулою (2.9).

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{зот}} \cdot P(\tau) \quad (2.9)$$

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов, середній час напрацювання на відмову та ймовірність безвідмовної роботи для кожної функції АСУ за формулою (4.5), (4.6) та (4.7). Отримані результати наведені в таблиці 3.2.

Звідси маємо:

$$= \sum_{i=1}^n \lambda_i = 10 + 38 + 0.0012 + 4 = 52 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}$$

де $T_{\text{сер}}$ – середнє напрацювання на відмову для схеми; λ – загальна інтенсивність відмов.

Звідси:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{52 \cdot 10^{-6}} = * \text{ год}$$

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{\text{сер}}}}$$

де P – ймовірність безвідмовної роботи за час τ ; λ – загальна інтенсивність відмов. Задамося $\tau = 1000$ год.

Звідси:

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						35
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-52 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,71$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи за 1000 годин з урахуванням відновлення відмовляємої функції. Для цього спочатку розраховуємо ймовірність відновлення працездатності, задавши середній час встановлення працездатності $T_e = 4 \text{ год}$ та припустимий час функціонування об'єкту при невиконанні керуючої функції: $T_{\text{прин}} = 5 \text{ год}$

$$P_B = 1 - e^{-\frac{T_{\text{прин}}}{T_B}} = 1 - e^{-\frac{5}{4}} = 0,713$$

$$P_c(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau)) \cdot P_B = 0,71 + (1 - 0,71) \cdot 0,713 = 0,92$$

Для захисної функції обрахуємо коефіцієнт готовності:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_B} = \frac{14164}{14164 + 4} = 0,9997$$

Імовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі $P_{\text{оч}}(\tau)$:

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{гот}} \cdot P(\tau) = 0,9997 \cdot e^{-52 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,92$$

Як бачимо, задані показники задовольняють наші умови, тому нам не потрібно задаватись резервуванням найнебезпечніших елементів.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						36
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.9. Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Нижче наведено перелік рекомендованих функцій первинної обробки сигналів в ПЛК для датчиків Siemens, що були використані у ВК:

1. Калібрування сигналів: ПЛК може забезпечувати функцію калібрування сигналів, що дозволяє враховувати особливості кожного конкретного датчика та забезпечувати точність вимірювань.
2. Фільтрація сигналів: ПЛК може виконувати функцію фільтрації сигналів для усунення шумів та інтерференцій, що можуть впливати на точність вимірювань.
3. Обробка даних: ПЛК може здійснювати різноманітні математичні операції, такі як сумування, віднімання, множення, ділення, для обробки даних вимірювань. Це дозволяє виконувати розрахунки та отримувати необхідні параметри для подальшого контролю та управління процесом.
4. Логічні операції: ПЛК може виконувати логічні операції, такі як І, АБО, НЕ, для обробки логічних сигналів вимірювань. Це дозволяє здійснювати логічні перетворення та приймати відповідні рішення в системі автоматизованого керування.
5. Аналогово-цифрове перетворення: ПЛК може виконувати функцію аналогово-цифрового перетворення (АЦП) для отримання цифрових значень вимірювань. Це дозволяє зручно та точно отримувати дані від датчиків Siemens для подальшого аналізу та обробки.

Враховуючи вищезазначені функції первинної обробки сигналів в ПЛК для датчиків Siemens, можна зробити висновок про їх необхідність для забезпечення точності та надійності вимірювань в системі автоматизованого керування.

2.1.10. Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів

За отриманими даними в цьому розділі, можна сказати, що вимірювальні канали виявили достатню точність, що є важливим фактором для забезпечення надійності та валідності отриманих даних. Це дозволяє впевнено оперувати отриманими результатами та вживати необхідні заходи з контролю та управління процесом.

Система, в яку входять вимірювальні канали, проявляє високу надійність у реалізації інформаційних функцій. Наявність функцій зчитування аналогових сигналів, фільтрації, контролю граничних значень та запису даних дозволяє ефективно забезпечувати високу якість даних, які передаються до ПЛК для керування. Це забезпечує запобігання небажаних операцій над ТОУ.

Реалізація функцій первинної обробки сигналів в ПЛК є необхідною для забезпечення стабільності та безпеки вимірювань. Ці функції включають у себе обробку даних, корекцію показань датчиків, виконання розрахунків та контроль за граничними значеннями. Реалізація цих функцій у ПЛК Siemens дозволяє підтримувати високу надійність та продуктивність системи, а також допомагає операторам ефективно керувати процесом.

Таким чином, вимірювальні канали демонструють високу роботоздатність. Це забезпечує надійну та ефективну роботу системи, сприяючи контролю параметрів та безпеці процесу деаерації води.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						38
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1. Перелік систем автоматичного регулювання

- Одноконтурна САР рівня води в баці;
- Одноконтурна САР температури води в баці.

2.2.2. Функціональна і структурна схеми САР

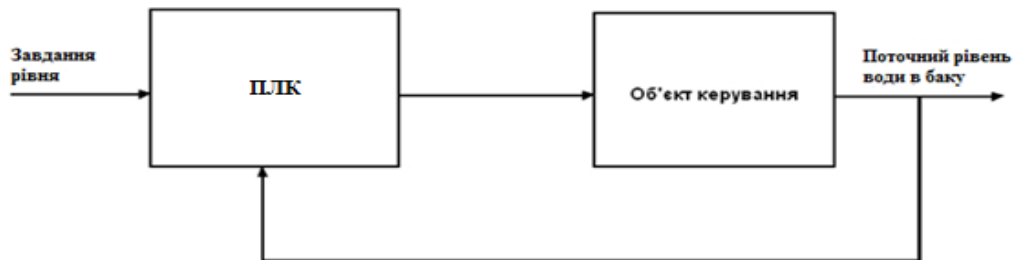


Рисунок 2.11 – Одноконтурна схема структурна регулювання води в баку деаератора

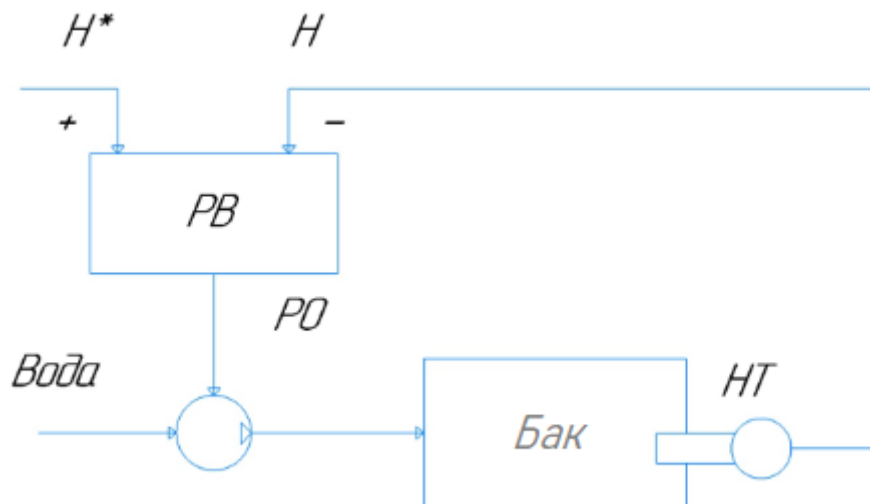


Рисунок 2.12 – Одноконтурна схема функціональна регулювання води в баку деаератора

- H – поточна виміряний рівень води
- H^* – заданий рівень води(уставка)
- НТ – датчик рівня води
- РО – регулюючий орган
- РВ – регулятор рівня води (клапан)

2.2.3. Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

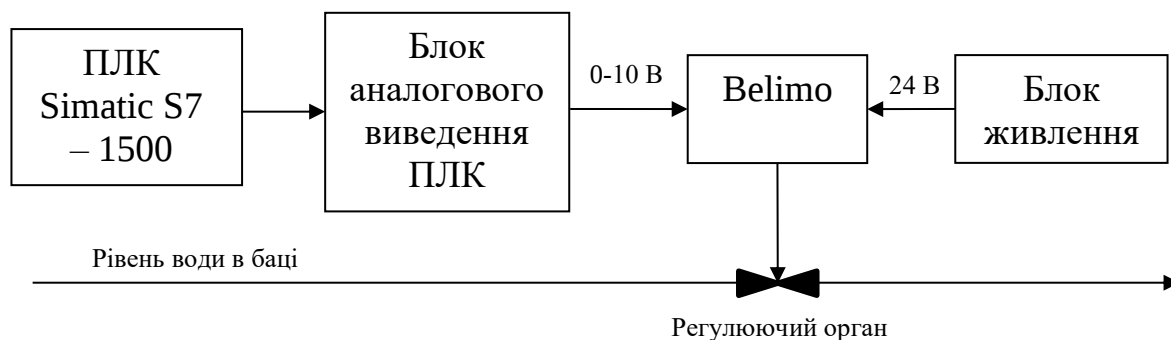


Рисунок 2.13 – Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

2.2.4. Схема структурна програмно-технічних засобів САР

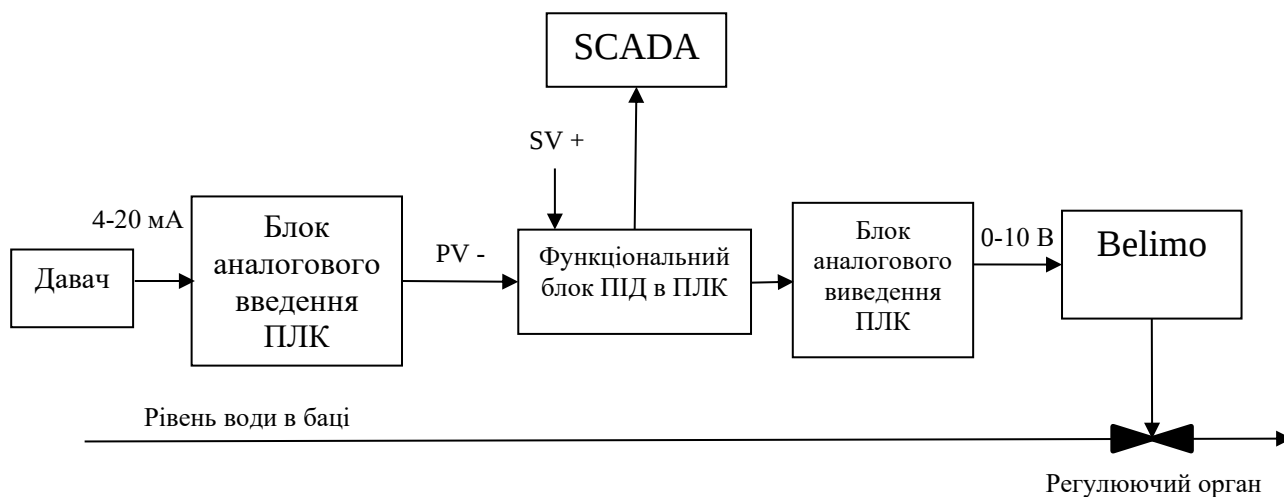


Рисунок 2.14 – Схема структурна програмно-технічних засобів САР

- SV (Set Value) – уставка рівня води;
- PV (Process Value) – поточне виміряне значення рівня води;

2.2.5. Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

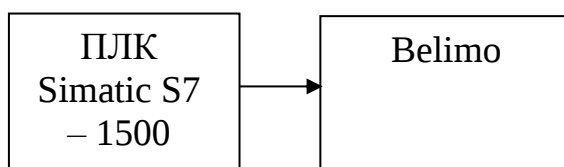


Рисунок 2.15 – Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

2.2.6. Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Кожний елемент структурної схеми надійності характеризується інтенсивністю відмов $\lambda, 1/\text{год}$ або середнім часом напрацювання на відмову

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}, \text{год.}$$

Наведемо ці дані в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристика елементів САР

Елемент	$\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$	$T_{\text{сер}}, \text{год}$
Датчик рівня Siemens Sitrans LC 300	10	100000
Деталі кріпильного монтажу	0.0012	83333333
ПЛК Siemens Simatic S7 – 1500	38	26280
Belimo EVC24A-SR	8,6	116279
ПК	4	250000

Інформаційна функція. Надійність виконання цієї функції характеризуються параметром $T_{\text{сер}}$.

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2.10)$$

λ_i – інтенсивність потоку відмов i -го елемента ССН даної функції;

n – кількість елементів у ССН.

Ймовірність безвідмовної роботи за час τ розраховується за формулою.

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{\text{сер}}}} \quad (2.11)$$

Для регулюючої функції розраховується імовірність безвідмовної роботи за час τ з урахуванням відновлення за формулою (2.12).

$$P_c(\tau) = P(\tau) + [1 - P(\tau)] \cdot P_B(\tau) \quad (2.12)$$

Ймовірність відновлення працездатності:

$$P_B(\tau) = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_B}} \quad (2.13)$$

$T_{\text{доп}}$ – допустимий час функціонування об'єкта при невиконанні цієї функції АСУ ТП.

Захисна функція характеризується коефіцієнтом готовності, який розраховується за формулою

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{сп}}}{T_{\text{сп}} + T_{\text{в}}} \quad (2.14)$$

Для захисної функції розраховується імовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі $P_{\text{оч}}(\tau)$ за формулою (2.9).

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{гот}} \cdot P(\tau) \quad (2.15)$$

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов, середній час напрацювання на відмову та ймовірність безвідмовної роботи для кожної функції АСР за формулою (4.5), (4.6) та (4.7). Отримані результати наведені в таблиці 3.2.

Звідси маємо:

$$= \sum_{i=1}^n \lambda_i = 10 + 38 + 10 + 8,6 + 0,0012 + 4 = 70,60 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}$$

де $T_{\text{сер}}$ – середнє напрацювання на відмову для схеми; λ – загальна інтенсивність відмов.

Звідси:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{70,60 \cdot 10^{-6}} = * \text{ год}$$

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{\text{сер}}}}$$

де P – ймовірність безвідмовної роботи за час τ ; λ – загальна інтенсивність відмов. Задамося $\tau = 1000$ год.

Звідси:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-70,60 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,93$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи за 1000 годин з урахуванням відновлення відмовляємої функції. Для цього спочатку розрахуємо ймовірність відновлення працездатності, задавши середній час встановлення

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						42
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працездатності $T_e = 4 \text{ год}$ та припустимий час функціонування об'єкту при невиконанні керуючої функції: $T_{\text{прин}} = 5 \text{ год}$

$$P_B = 1 - e^{\frac{-T_{\text{прип}}}{T_B}} = 1 - e^{\frac{-5}{4}} = 0.713$$

$$P_c(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau)) \cdot P_B = 0,93 + (1 - 0,93) \cdot 0,713 = 0,98$$

Для захисної функції обрахуємо коефіцієнт готовності:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_B} = \frac{14164}{14164 + 4} = 0,9997$$

Імовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі $P_{\text{оч}}(\tau)$:

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{гот}} \cdot P(\tau) = 0,9997 \cdot e^{-70,60 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,93$$

Як бачимо, задані показники задовольняють наші умови, тому нам не потрібно задаватись резервуванням найнебезпечніших елементів.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						43
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розрахунок САР

2.3.1. Ідентифікація об'єкта управління

Цей об'єкт належить до об'єктів без самовирівнювання. Такий об'єкт апроксимується послідовним з'єднанням ланки транспортного запізнення та інтегральної ланки.

$$\text{Ланка ТЗ: } W_{\text{ТЗ}}(s) = e^{-\tau_{\text{об}}s} \quad (2.16)$$

$$\text{Ланка І: } W_{\text{ап}}(s) = \frac{1}{T_us} = \frac{K_u}{s} \quad (2.17)$$

$$W_{\text{об}}(s) = W_{\text{І}}(s) \cdot W_{\text{ТЗ}}(s) = \frac{1}{T_us} \cdot e^{-\tau_{\text{об}}s} = \frac{K_u}{s} \cdot e^{-\tau_{\text{об}}s} \quad (2.18)$$

Користуючись довідковими матеріалами динамічні характеристики об'єкта приймем такими:

1. Постійна часу: $T_{\text{об}} = 160\text{с}$
2. Транспортне запізнення: $\tau_{\text{об}} = 12\text{с}$

$$\text{Передаточна функція об'єкту: } W_{\text{об}}(s) = \frac{1}{T_us} e^{-\tau_{\text{об}}s} = \frac{1}{160s} e^{-12s}$$

Моделюємо перехідну характеристику об'єкта керування за допомогою Matlab при одиничному ступінчастому збуренні і отримуємо:

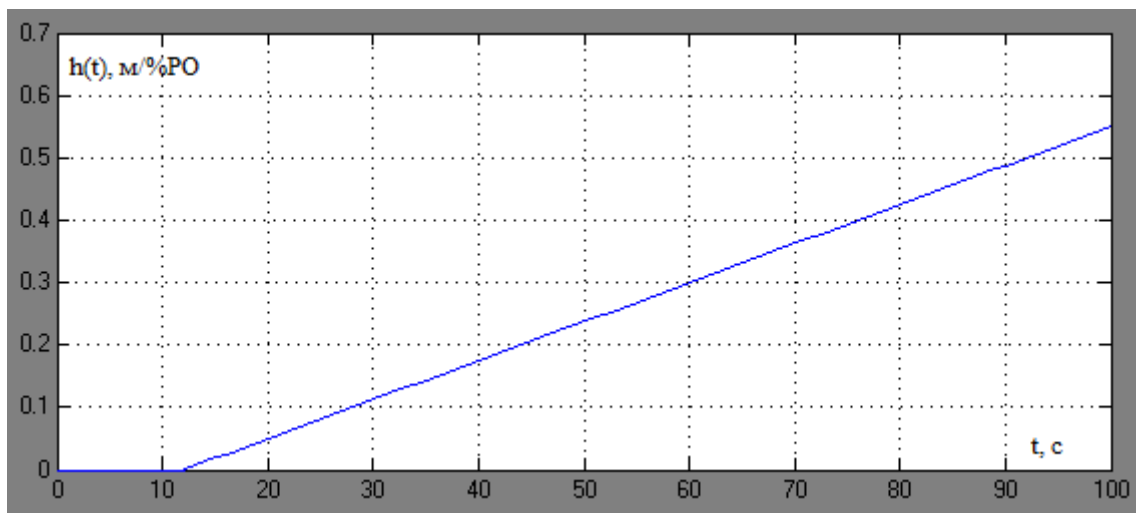


Рисунок 2.16 – Перехідна характеристика об'єкта керування

2.3.2. Розрахунок налаштувань регуляторів та моделювання САР

Для даного об'єкта ми маємо як мету досягнути найменшого рівня перерегулювання. З цією метою було обрано інженерний метод з 20% перерегулюванням.

$$\psi = 0,9$$

$$K_n = \frac{0,7}{K_{об} \tau_{об}}$$

$$K_n = 9,33$$

Змоделюємо одноконтурну САР в середовищі Matlab Simulink.

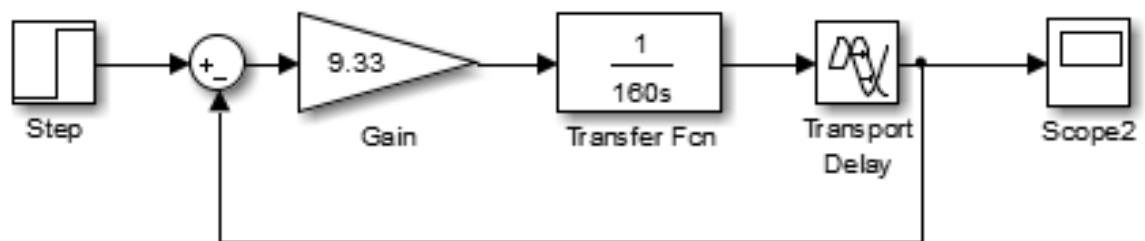


Рисунок 2.17 – Модель одноконтурної САР

Перехідні процеси даної схеми:

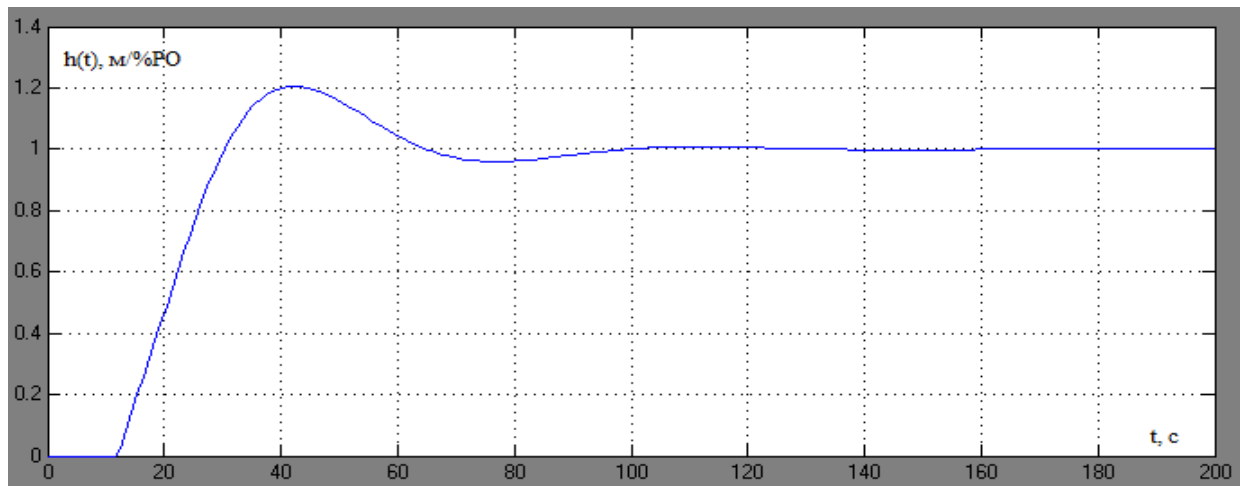


Рисунок 2.18 – Перехідний процес по каналу завдання-вихід

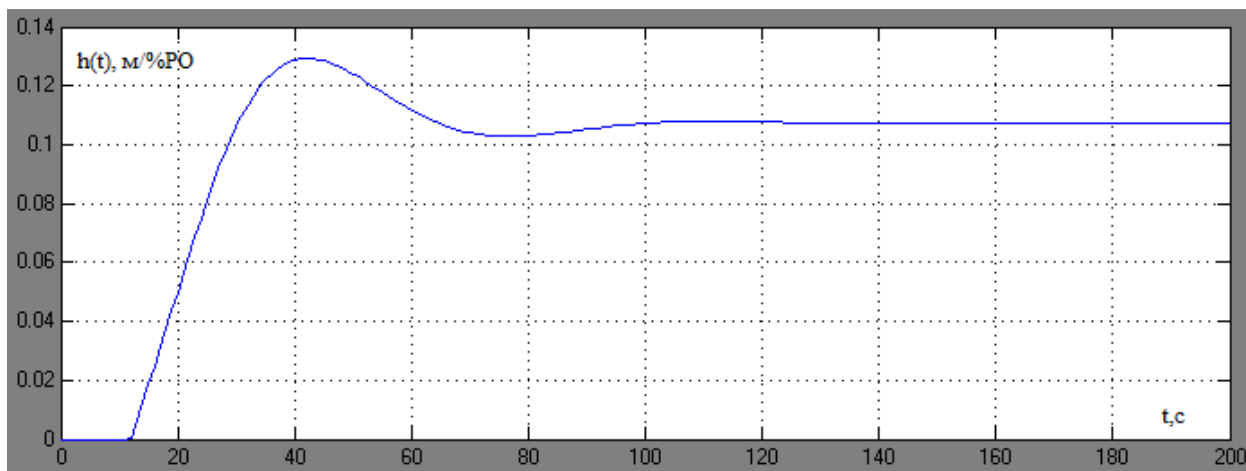


Рисунок 2.19 – Перехідний процес по каналу збурення-вихід

Таблиця 2.5 – Характеристики перехідних процесів

Показник	Завдання.-вихід.	Збурення.-вихід.
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0,107
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,2	0,023
Степінь згасання ψ	0,96	0,96
Час регулювання $t_{рег}$	60	60
Перерегулювання σ , %	20	17,4

Розрахуємо ПІ-регулятор методом РАФХ:

Задаємо $\psi=0,9$, $m=0,6$. Для побудови РАФХ скористуємось формулами:

$$K_P = -\frac{mQ_{oo}(m, \omega) + P_{oo}(m, \omega)}{A_{oo}^2(m, \omega)}$$

$$K_H = -\omega(m^2 + 1) \frac{Q_{oo}(m, \omega)}{A_{oo}^2(m, \omega)},$$

$$\text{де } K_H = \frac{K_P}{T_H}, \quad A_{oo}(m, \omega) = \sqrt{P_{oo}^2(m, \omega) + Q_{oo}^2(m, \omega)}$$

М-файл:

```

m=0.6;
w=0.:0.0001:0.09;
W=(1*exp(-12*(-m*w+i*w)))/(160*(-m*w+i*w));
Re=real(W);
Im=imag(W);
Kp=-(m*Im+Re)/(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki,'k');
grid on;
ylabel('Ku');
xlabel('Kp');
```

Отримана РАФХ:

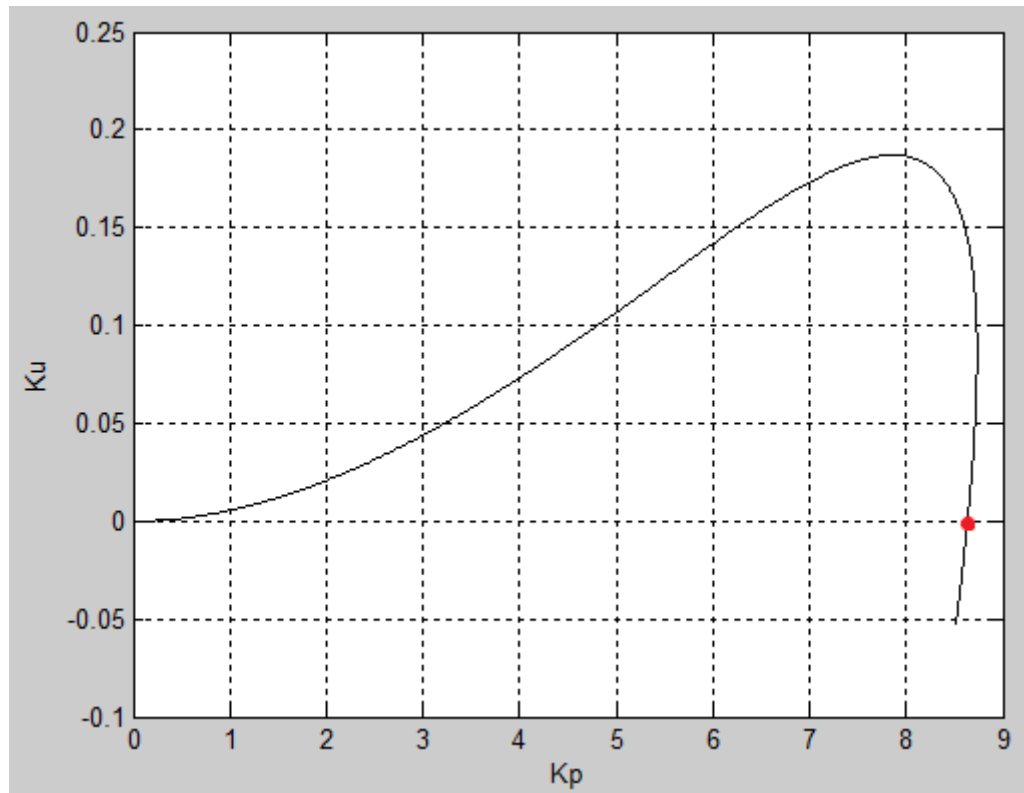


Рисунок 2.20 – РАФХ САР з П-регулятором

Для П-регулятора беремо точку на осі K_p , якщо $K_u = 0$. Звідси $K_p = 8,634$.

Змоделюємо замкнуту систему зі знайденими налаштуваннями регулятора і побудуємо перехідні процеси.

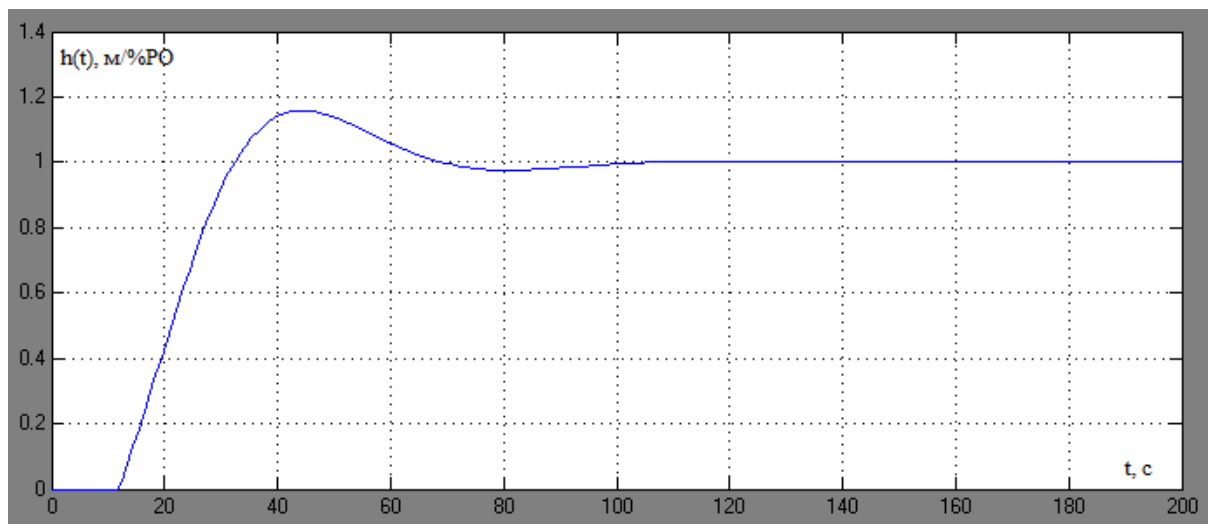


Рисунок 2.21 – Перехідний процес по каналу завдання-вихід

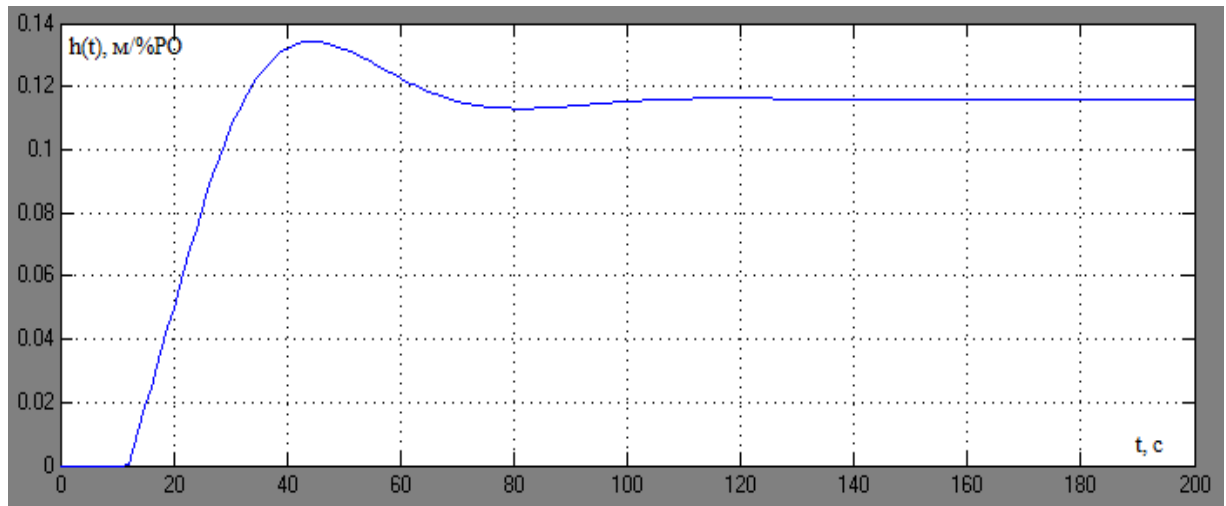


Рисунок 2.22 – Перехідний процес по каналу збурення-вихід

Таблиця 2.6 – Характеристики перехідних процесів

Показник	Завд.-вих.	Збур.-вих.
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0,116
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,16	0,018
Степінь затухання ψ	0,98	0,99
Час регулювання $t_{рег}$	61	62
Перерегулювання $\sigma, \%$	16	16,7

Порівняння РАФХ та інженерного методу:

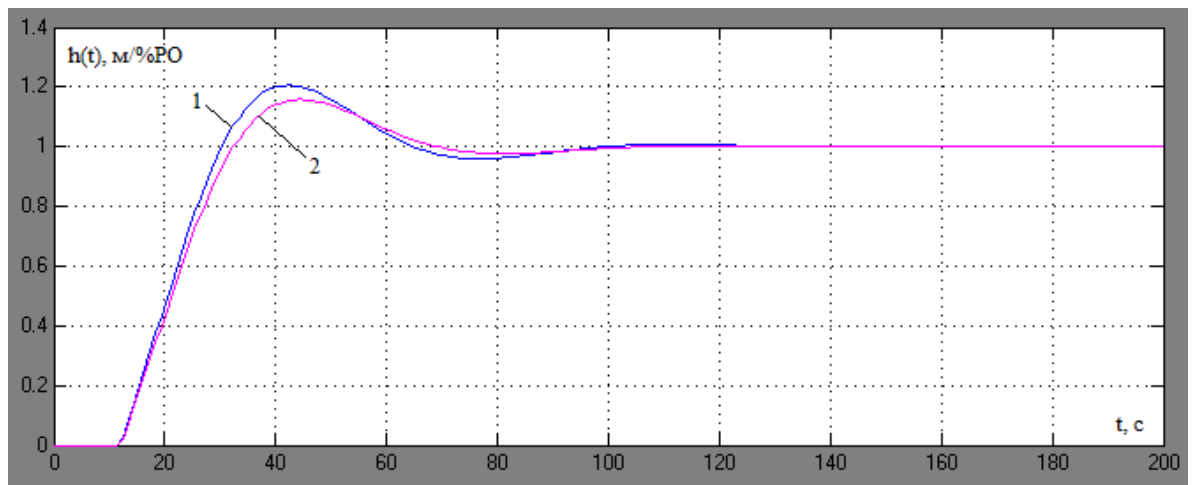


Рисунок 2.23 – Перехідні процеси по каналу завдання-вихід (1 – інженерний метод (20% перерегулювання), 2 – РАФХ)

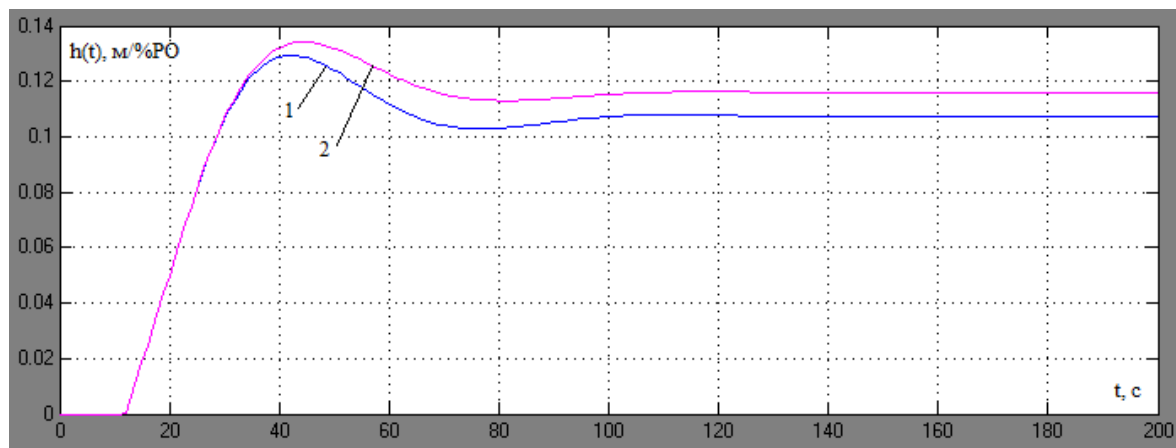


Рисунок 2.24 – Перехідні процеси по каналу збурення-вихід (1 – інженерний метод (20% перерегулювання), 2 – РАФХ)

Таблиця 2.7 – Порівняння характеристик процесів за різними методами

Показник якості	Канал "завдання-вихід"		Канал "збурення-вихід"	
	Інженерний метод	РАФХ	Інженерний метод	РАФХ
Статична помилка	0	0	0,107	0,116
Макс. Динамічне відхилення	0,2	0,16	0,023	0,018
Степінь затухання	0,96	0,98	0,96	0,99
Час перехідного процесу, с	60	61	60	62
Перерегулювання, %	20	16	17,4	16,7

Аналізуючи графіки та прямі показники якості, стає очевидним, що метод РАФХ демонструє кращі результати в більшості параметрів. Єдиним винятком є менше динамічне відхилення в інженерному методі для каналу збурення-вихід. Однак, оскільки найважливішим критерієм для нашого об'єкта є мінімальне перерегулювання, для розрахунків параметрів регулятора більш доцільно використовувати метод РАФХ.

Наш ВМ керується аналоговим сигналом 0-10 (В), тому це нам спростить реалізацію регулятора в Codesys. Виходячи зі сказаного вище, наш ПІД-регулятор буде реалізовано як аналоговий ПІД-регулятор.

2.3.3. Дослідження чутливості САР

Для дослідження чутливості системи при оптимальних параметрах налаштування регулятора побудуємо 3 перехідних характеристики при змінному $K_{об}$. Варіації параметра проведемо в діапазоні 10% по каналу «завдання-вихід».

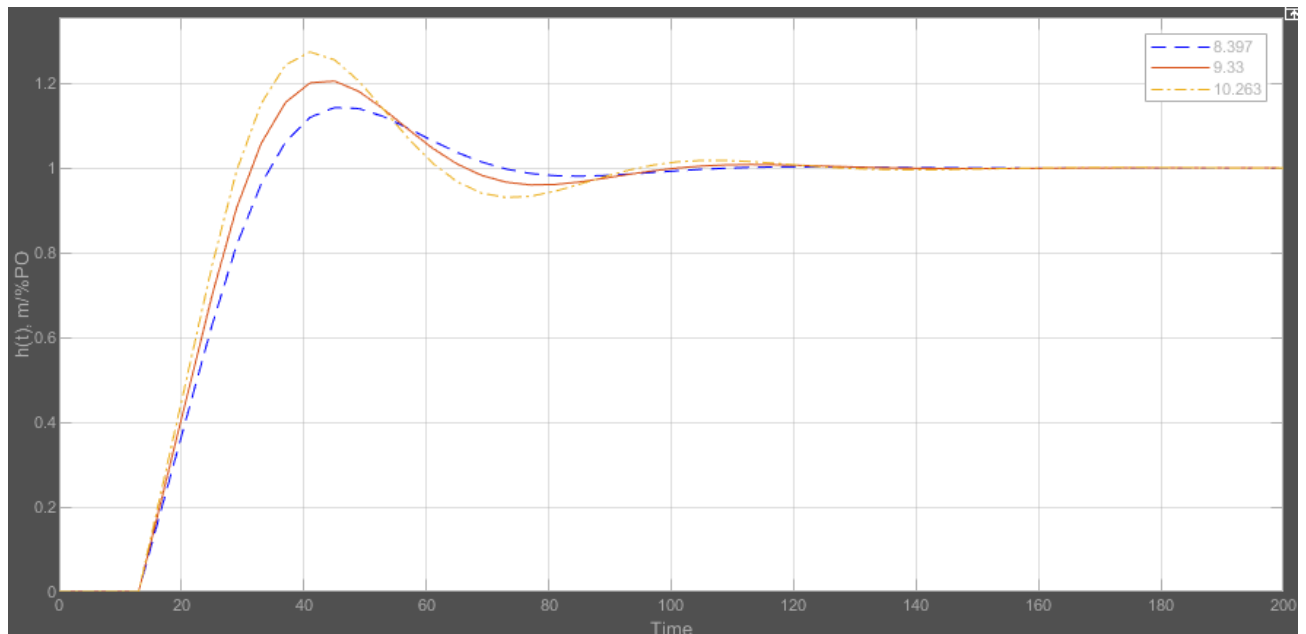


Рисунок 2.25 – Перехідні процеси у замкненій САР при оптимальних параметрах налаштування регулятора.

Коефіцієнти, які відповідають цим процесам наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Прямі показники якості при зміні $K_{об}$

Показник якості	$K_{об} = 8.397$	$K_{об} = 9.33$	$K_{об} = 10.263$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.14	0.20	0.27
Перерегулювання $\sigma, \%$	14	20	27
Степінь затухання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}, c$	62	61	84

Розрахуємо відносні коефіцієнти чутливості за наступною формулою:

$$k_Z = \frac{\left| \frac{R - R^{opt}}{R^{opt}} \right|}{\left| \frac{Z - Z^{opt}}{Z^{opt}} \right|} \quad (2.19)$$

де k_Z – відносний коефіцієнт чутливості для змінного параметра Z ;

Z – поточне значення параметра;

Z^{opt} – оптимальне значення параметра;

R, R^{opt} – відповідно поточне значення критерію якості та значення при оптимальних параметрах.

Таблиця 2.9 – Значення відносних коефіцієнтів чутливості при зміні $K_{об}$

Коефіцієнт чутливості	$K_{об} = 8.397$	$K_{об} = 10.263$
$k_{K_{об} \Delta_{дин}}$	3	3.5
$k_{K_{об} \sigma}$	3	3.5
$k_{K_{об} t_{пп}}$	0.163	3.77

Для дослідження чутливості системи при оптимальних параметрах налаштування регулятора побудуємо 3 перехідні характеристики при змінному $T_{об}$. Варіації параметра проведемо в діапазоні 10% по каналу «завдання-вихід».

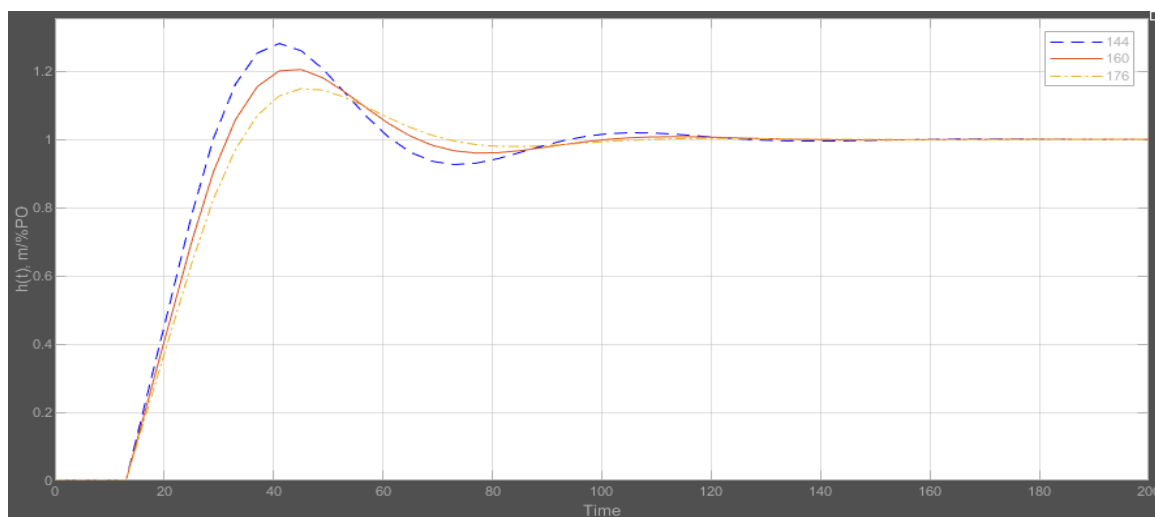


Рисунок 2.26 – Перехідні процеси у замкненій САР при оптимальних параметрах налаштування регулятора.

Коефіцієнти, які відповідають цим процесам наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Прямі показники якості при зміні $T_{об}$

Показник якості	$T_{об} = 144$	$T_{об} = 160$	$T_{об} = 176$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.28	0.20	0.15
Перерегулювання σ , %	28	20	15
Степінь затухання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	82	61	63

Розрахуємо відносні коефіцієнти чутливості за наступною формулою (2.19).

Таблиця 2.11 – Значення відносних коефіцієнтів чутливості при зміні $T_{об}$

Коефіцієнт чутливості	$T_{об} = 144$	$T_{об} = 176$
$k_{\Delta_{дин}}$	4	2.5
k_{σ}	4	2.5
$k_{t_{пп}}$	3.44	0.32

Додатково для дослідження чутливості системи при оптимальних параметрах налаштування регулятора побудуємо 3 перехідних характеристики при змінному часу запізнення (τ). Варіації параметра проведемо в діапазоні 10% по каналу «завдання-вихід».

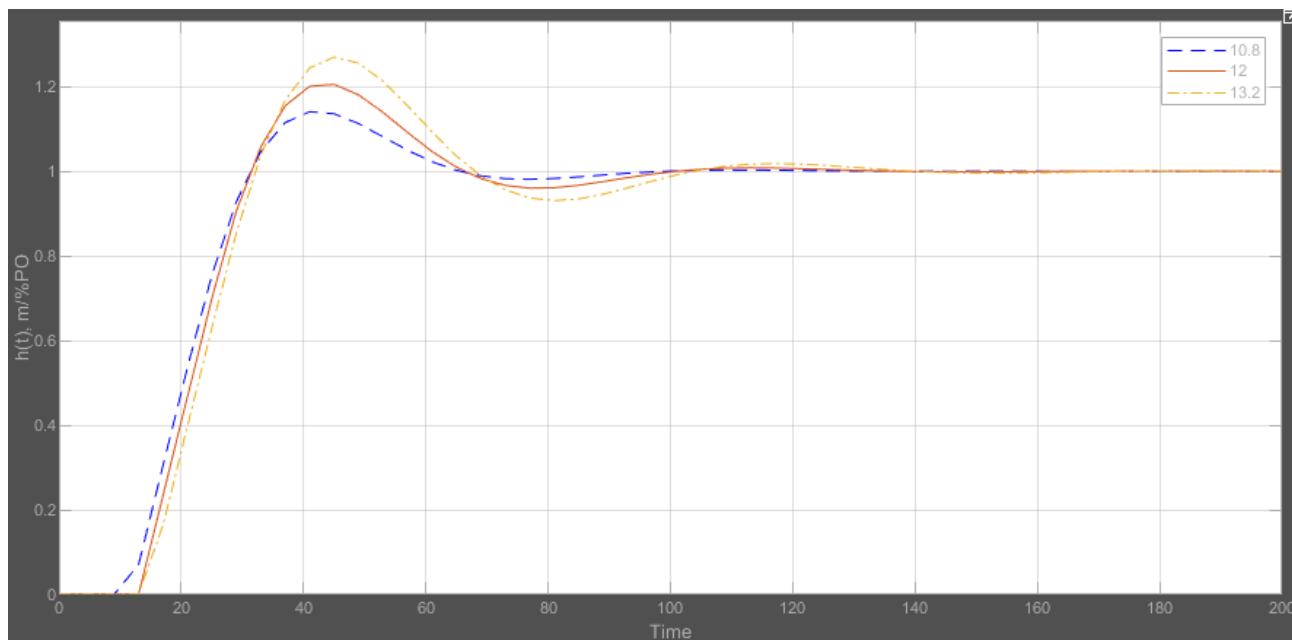


Рисунок 2.27 – Перехідні процеси у замкненій САР при оптимальних параметрах налаштування регулятора.

Коефіцієнти, які відповідають цим процесам наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Прямі показники якості при зміні $\tau_{об}$

Показник якості	$\tau_{об} = 10.8$	$\tau_{об} = 12$	$\tau_{об} = 13.2$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.14	0.20	0.27
Перерегулювання σ , %	14	20	27
Степінь затухання ψ	1	1	1
Час переходного процесу $t_{пп}$, с	57	61	95

Розрахуємо відносні коефіцієнти чутливості за наступною формулою (2.19).

Таблиця 2.13 – Значення відносних коефіцієнтів чутливості при зміні $\tau_{об}$

Коефіцієнт чутливості	$\tau_{об} = 10.8$	$\tau_{об} = 13.2$
$k_{\Delta_{дин}}$	3	3.5
k_{σ}	3	3.5
$k_{t_{пп}}$	0.65	5.57

На підставі отриманих даних, які були представлені у даному розділі, можна зробити наступні висновки:

1. Обрані параметри налаштування П-регулятора є дуже чутливими, адже коефіцієнти якості перехідних процесів є занадто великими. Можемо це пояснити використанням звичайного П-регулятора і тим, що системі необхідно підтримувати досить точний рівень води в баці деаератора.
2. Система є чутливою при змінах лише в одному напрямку, тобто якщо ми хочемо щоб система виходила на заданий рівень води в баці деаератора швидше.

Отже, на основі отриманих результатів можна зробити висновок про задоволення вимог до якості перехідних процесів лише в при мінімальних коливаннях параметрів системи автоматизованого регулювання рівня води в баку деаератора. Це свідчить про необхідність точного регулювання П-регулятора і контролю над системою.

2.3.4. Висновки щодо роботоздатності РВК САР

Висновки щодо роботоздатності РВК рівня води в баці деаератора базуються на вище сказаному та аналізі проведених дослідженнях САР. На підставі цього можна зробити наступні висновки:

1. Результати показують, що РВК САР рівня води в баці деаератора проявляє високу точність і низьку надійність. Вимірювальні канали демонструють високу роботоздатність і забезпечують достовірні дані про рівень води.
2. Система інформаційних функцій, включаючи зчитування сигналів, фільтрацію, компенсацію та контроль граничних значень, виявляється ефективною. Вона допомагає операторам ефективно керувати процесом регулювання рівня води в баці деаератора.
3. РВК САР демонструє низьку стабільність у перехідних процесах. Налаштування регулятора відповідають вимогам до якості перехідних процесів не повністю, але дозволяють системі швидко та точно реагувати

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						54
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на зміни рівня води. Також можна додати, що система є вимогливою, адже зміни параметрів регулятора, призводять до значних відхилень.

Отже, висновок полягає в тому, що РВК САР рівня води в баці деаератора демонструє високу точність у регулюванні при заданих параметрах, що є важливими для забезпечення безпеки та ефективності процесу контролю рівня води.

РОЗДІЛ 3. ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1.Схема функціональна автоматизації ТОУ

Опис схеми функціональної автоматизації ТОУ наведений в підрозділі 1.5 ПЗ ДПБ.

3.2.Схема структурна ПТК

Опис схеми структурної ПТК наведений в підрозділі 1.6 ПЗ ДПБ.

3.3.Схема принципова електрична АСР

Схема принципової електричної представляє собою комплексну систему контролю та регулювання параметрів процесу, в якому використовуються датчики Siemens для вимірювання тиску, температури, рівня води і витрати. Всі датчики мають уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА і підключаються за допомогою 4-х проводного з'єднання.

У схемі також використовуються блоки Siemens аналогового та дискретного виведення та введення сигналів. Ці блоки дозволяють ефективно передавати та обробляти дані, що надходять від датчиків.

Система включає автоматичні вимикачі, які забезпечують безпеку та захист обладнання в разі виникнення аварійних ситуацій. Також присутні лампи сигналізації, які світяться у разі виникнення аварій або непередбачуваних ситуацій, надаючи операторам важливу візуальну інформацію про стан системи.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						55
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У схемі також використані виконавчі механізми Belimo, які відповідають за регулювання параметрів в процесі шляхом переміщення штоку клапанів. Цей механізм забезпечує точність та надійність виконання регулюючих функцій.

Важливою складовою схеми є блок живлення, який забезпечує стабільне та безперебійне живлення всіх компонентів системи. Він під'єднаний до живлення одної фази 220 Вольт.

У схемі використовується лише одна фаза, адже нам не потрібно використовувати ВМ з 3-ох фазним живленням.

В загальному, схема забезпечує зчитування, обробку та керування параметрами процесу, використовуючи надійні датчики, блоки введення-виведення та виконавчий механізм. Вона гарантує ефективну та безпечну роботу системи контролю і регулювання, сприяючи оптимальному управлінню параметрами і забезпечуючи високу якість процесу.

3.4.Креслення загального виду щита

На кресленні загального виду щита представлений вигляд щита з усіма його важливими деталями і елементами. Габаритні розміри щита становлять 800 мм в ширину, 700 мм в висоту і 250 мм в глибину, що дає загальне уявлення про його фізичні розміри і просторове розташування.

На схемі показано виріз для панелі оператора, яка буде встановлена на щиті. Цей виріз забезпечує зручний доступ оператора до контрольних елементів і інтерфейсу управління системою. Він розташований у такому місці, щоб забезпечити зручність використання і мінімізувати можливість помилок при взаємодії з панеллю оператора.

Крім того, на схемі видно вирізи для сигнальних ламп, які слугують для візуальної сигналізації різних станів або подій, що виникають у системі. Ці лампи допомагають оператору швидко виявити будь-які проблеми або відхилення і прийняти відповідні заходи. Вони розташовані в стратегічних місцях щита, щоб їх було легко помітити і зрозуміти їх сигнальний зміст.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						56
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На схемі також видно, що всі прилади в щиті кріпляться до DIN рейки. Це стандартизована система кріплення, яка забезпечує простоту встановлення і заміни приладів. DIN рейка дозволяє зручно і надійно закріпити прилади в щиті, забезпечуючи їх стабільну роботу і зменшуючи можливість пошкоджень або неправильного з'єднання.

Крім того, на кресленні всі лампи, що використовуються, позначені підписами. Це робить їх ідентифікацію простою і зрозумілою для операторів і технічного персоналу. Підписи допомагають визначити функціональне призначення кожної лампи і забезпечують ефективну візуальну інформацію про стан системи або проблеми, які потребують уваги.

Загальний вид схеми креслення щита дає детальний огляд його фізичних характеристик, розміщення приладів, використання ламп і рейок DIN. Ця інформація допомагає зрозуміти структуру і організацію щита, що в свою чергу сприяє зручності в експлуатації, обслуговуванні та управлінні системою.

3.5.Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)

Схема монтажного щита відображає розміщення та підключення електричних компонентів в щиті. На цій схемі відображені різні компоненти, такі як реле, вимикачі, блоки живлення та інші, розташовані відповідно до їх функціональної ролі.

Схема передає інформацію про з'єднання між компонентами за допомогою з'єднувальних ліній, які показують, які контакти або клеми пов'язані між собою. Крім того, на схемі відображені позначки та символи, що ідентифікують кожен компонент та його функціональну роль (вони **ОБОВ'ЯЗКОВО** не повторюються, адже все повинно бути однозначно).

Ця схема є важливим джерелом інформації для електротехніків та монтажників, оскільки вона надає зрозумілу та структуровану інформацію про розміщення та з'єднання компонентів в щиті. Вона допомагає забезпечити

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						57
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

правильне монтаж та налагодження системи, а також спрощує обслуговування та ремонт в разі потреби.

3.6.Схема зовнішніх з'єднань

На схемі зовнішніх з'єднань ми можемо знайти інформацію про підключення всіх джгутів до приладів, встановлених за місцем. У поєднанні з монтажною схемою, ми можемо чітко інсталювати наш щит.

3.7.Специфікація обладнання

Нижче наведено опис приладів зі специфікації обладнання:

1. Siemens SITRANS FM MAG 5100 W:

- Виробник: Siemens
- Тип: Електромагнітний вимірювач потоку
- Характеристика: Забезпечує вимірювання потоку рідини у трубопроводах. Діапазон вимірювання: (0–10) м/с. Живлення: 24 В постійного струму.

2. Siemens SITRANS LC 300:

- Виробник: Siemens
- Тип: Компактний рівнемірний вимірювач
- Характеристика: Забезпечує точне вимірювання рівня рідини або сипучих матеріалів у резервуарах або бункерах. Має просту установку та високу надійність. Живлення: 24 В постійного струму. Діапазон вимірювання: В залежності від моделі, в нашому випадку, (0 – 5) метрів.

3. Siemens SITRANS P500:

- Виробник: Siemens
- Тип: Давач диференційного вимірювання тиску
- Характеристика: Забезпечує вимірювання різниці тиску у системах контролю та вимірювання. Має високу точність та стійкість. Живлення: 24 В постійного струму. Діапазон вимірювання: (0-32) бар.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						58
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Siemens SITRANS TS500:

- Виробник: Siemens
- Тип: Температурний датчик
- Характеристика: Забезпечує вимірювання температури у різних середовищах. Має широкий діапазон температурних вимірювань та високу точність. Живлення: 24 В постійного струму. Діапазон вимірювання: (-50-400) °C.

5. Siemens PS 1507:

- Виробник: Siemens
- Тип: Живлення
- Характеристика: Забезпечує стабільне живлення для обладнання в системах автоматизації. Вхідна напруга: 100-240 В змінного струму. Вихідна напруга: 24 В постійного струму.

6. Siemens CPU 1516-3 (S7-1500):

- Виробник: Siemens
- Тип: Програмований контролер
- Характеристика: Забезпечує обробку даних, керування і збір інформації в автоматизованих системах. Має високу продуктивність та підтримує різні комунікаційні інтерфейси. Живлення: 24 В постійного струму.

7. Belimo EVC24A-SR:

- Виробник: Belimo
- Тип: Блок управління
- Характеристика: Забезпечує керування та контроль різних процесів в автоматизованих системах. Має різні входи та виходи для підключення зовнішніх пристроїв.

Живлення: 24 В постійного струму. Потужність: 2500 Н.

8. Siemens SM 1531:

- Виробник: Siemens

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						59
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Тип: Модуль введення/виведення
- Характеристика: Забезпечує збір інформації з датчиків та керування виконавчими пристроями. Має різні входи та виходи, що працюють зі стандартними сигналами. Живлення: 24 В постійного струму.

9. Siemens SM 1522:

- Виробник: Siemens
- Тип: Модуль введення/виведення
- Характеристика: Забезпечує збір інформації з датчиків та керування виконавчими пристроями. Має різні входи та виходи, що працюють зі стандартними сигналами. Живлення: 24 В постійного струму.

10. Siemens SM 1532:

- Виробник: Siemens
- Тип: Модуль введення/виведення
- Характеристика: Забезпечує збір інформації з датчиків та керування виконавчими пристроями. Має різні входи та виходи, що працюють зі стандартними сигналами. Живлення: 24 В постійного струму.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						60
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1. Програмування функціональності ПЛК

Програму для ПЛК було розроблено у програмному середовищі CODESYS. Для регулювання положення клапану подачі конденсату в одноконтурній системі регулювання рівня живильної води в деаераторі було розроблено П-регулятор, що зображений на рисунку 4.1.

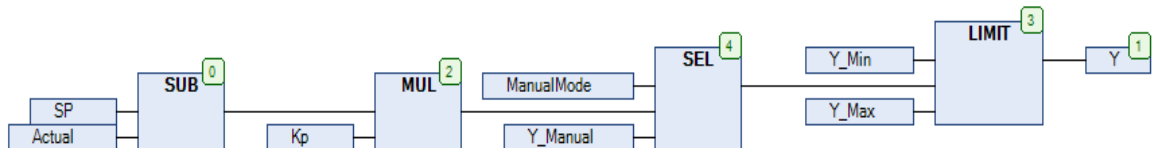


Рисунок 4.1 – П-регулятор для регулювання рівня живильної води в деаераторі

```
1 FUNCTION_BLOCK P_REG
2 VAR_INPUT
3     Actual: REAL; // фактичний рівень води
4     SP: REAL; // Задане значення рівня
5     Kp: REAL;
6     Y_Min: REAL; // Мінімальне вихідне значення
7     Y_Max: REAL; // Максимальне вихідне значення
8     Y_Manual: REAL; // Значення при ручному керуванні
9     ManualMode: BOOL;
10 END_VAR
11 VAR_OUTPUT
12     Y: REAL; // Вихідне значення
13 END_VAR
14 VAR
15 END_VAR
```

Рисунок 4.2 – Перелік змінних П-регулятора

Для контролю нештатних ситуацій в ТОУ було створено функціональний блок Water_Level_Alarms, що зображений на рисунку 4.3.

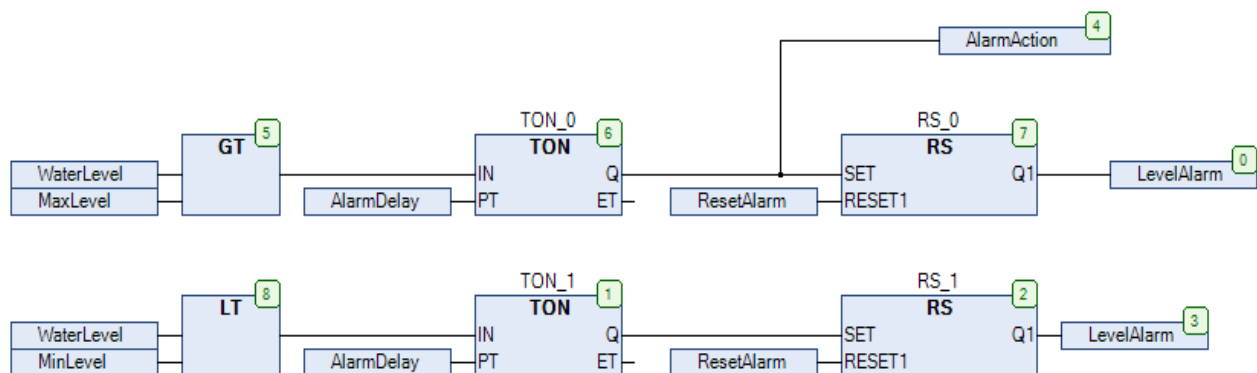


Рисунок 4.3 – Реалізація блоку Water_Level_Alarms

```

1  FUNCTION_BLOCK Water_Level_Alarm
2  VAR_INPUT
3      WaterLevel: REAL; // Рівень води в баці
4      MaxLevel: REAL; // Максимально допустимий рівень води в баці
5      MinLevel: REAL; // Мінімально допустимий рівень води в баці
6      AlarmDelay: TIME; // Затримка сигналізування
7      ResetAlarm: BOOL; // Зкидування сигналізування оператором
8  END_VAR
9  VAR_OUTPUT
10     LevelAlarm: BOOL; // Аварія через рівень води
11     AlarmAction: BOOL; // Будь-яка додаткова операція по запобіганню аварії
12 END_VAR
13 VAR
14     TON_0: TON;
15     TON_1: TON;
16     RS_0: RS;
17     RS_1: RS;
18 END_VAR

```

Рисунок 4.4 – Перелік змінних Water_Level_Alarms

Варто зауважити, що блок має два виходи, які можуть використовуватися, одночасно. Вихід LevelAlarm використовується для сигналізування, наприклад увімкнення лампи аварії або сирени, а вихід AlarmAction виконую іншу функцію. Вихід LevelAlarm буде активний в будь-якому випадку, якщо відбулася аварія. Вихід AlarmAction буде активний лише у випадку перевищення максимального рівня води, його активація призведе до відкриття аварійного клапану зливу води з баку. У випадку переходу за нижню границю допустимого рівня, відкривати аварійний клапан не потрібно.

Загальний вигляд програми ПЛК зображено на рисунку 4.5.

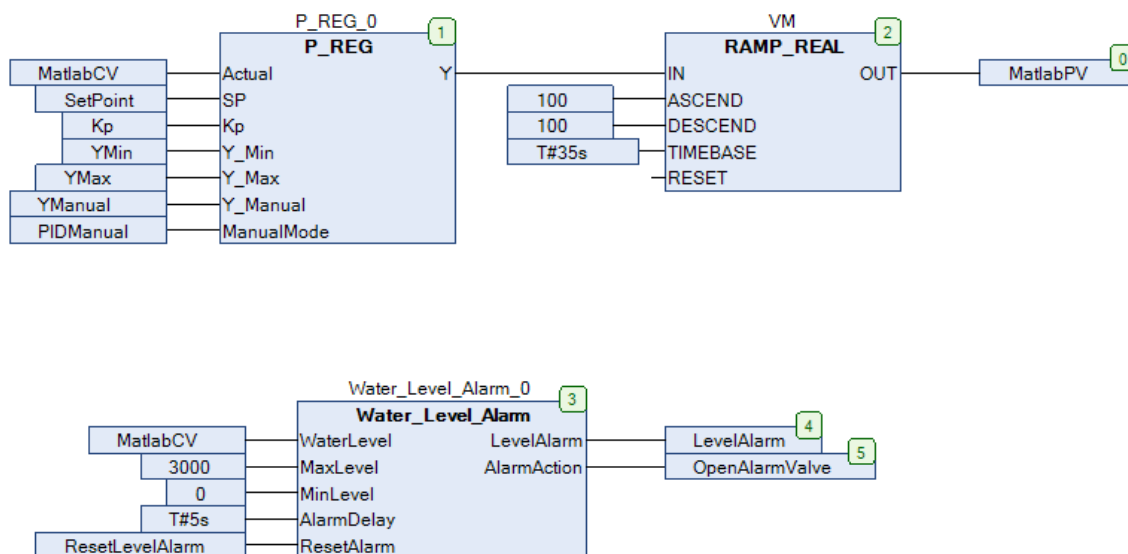


Рисунок 4.5 – Загальний вигляд реалізації програми ПЛК з функціональними блоками

```

1  PROGRAM PLC_PRG
2  VAR
3      MatlabCV: REAL; // фактичне значення рівня в баці
4      MatlabPV: REAL; // Положення клапану регулювання
5
6
7      SetPoint: REAL := 2000; // Бажаний рівень води в баці
8      Kp: REAL := 9.33;
9      Ti: REAL;
10     Td: REAL;
11     YManual: REAL;
12     YOffset: REAL;
13     YMin: REAL := 0;
14     YMax: REAL := 100;
15     PIDManual: BOOL;
16     PIDReset: BOOL;
17
18     ResetLevelAlarm: BOOL; // Зкидання аварії
19     LevelAlarm: BOOL; // Аварія за рівнем води
20     OpenAlarmValve: BOOL; // Сигнал на відкриття аварійного клапану
21

```

Рисунок 4.6 – Перелік змінних, які використовуються в програмі ПЛК

На загальному виді програми можемо спостерігати такі функціональні блоки: P_REG, RAMP_REAL, WATER_LEVEL_ALARM.

Функціональний блок RAMP_REAL використовується для симуляції часу запізнення нашого ВМ. Так як наш ВМ має час переходу від 0 до 100% - 35 секунд, то і даний функціональний блок має той самий час переходу від 0 до 100%. В реальному проекті цього блоку не повинно бути. Замість нього потрібно буде реалізувати блок ЦАП, але Siemens пропонує готові рішення в своєму середовищі розробки для своїх блоків аналогового виведення.

4.2.Програмування функціональності SCADA-системи

Для контролю рівня води в парогенераторі потрібно створити інтерфейс користувача, який дозволить відстежувати певні параметри. У цьому дипломному проекті для розробки системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ми використовуємо Indusoft Web Studio. Наше завдання полягає у розробці чотирьох вікон: Menus, Mimics, Alarms та Trends.

Вікно " Menus " є початковим вікном, з якого оператор починає свою роботу. У цьому вікні ми бачимо п'ять кнопок, а також відображається дата та час.



Рисунок 4.7 – Панель Menus

Відразу бачимо кнопку Accounts. Вона нам необхідна для авторизації оператора. Це один із останніх захистів нашої системи від зовнішнього втручання. Причому може бути така ситуація, що операторів декілька і у них різні рівні доступу.

Друге меню "Mimics" відкриває вікно, де зображена мнемосхема системи керування та її основні параметри. На мнемосхемі видно, що регулюючі органи мають два кольори: зелений і червоний. Якщо регулюючий орган зображений зеленим кольором, це означає, що він задіяний і активно регулюється. Тобто клапан відкритий і через трубопровід постачається речовина, наприклад, гріюча пара або конденсат. Якщо регулюючий орган зображений червоним кольором, це означає, що він повністю закритий і не задіяний в даний момент часу.

На мнемосхемі також видно інформацію, яку надають датчики. Наприклад, рівень води в баці показаний окремим символом на схемі. Схема є дуже простою і точно відображає реальний об'єкт, забезпечуючи зрозумілу візуалізацію для оператора.

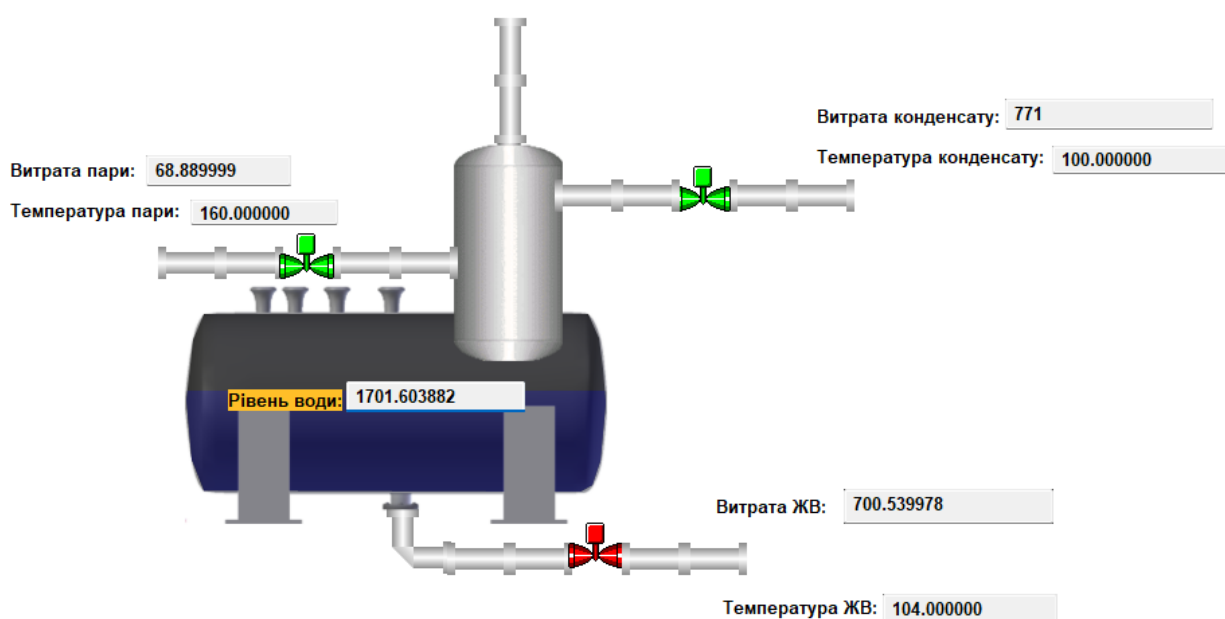


Рисунок 4.8 – Вікно Mimics

В меню «Alarms» ми можемо спостерігати інформацію про аварії, які активні в даний момент, або спостерігати історію минулих аварій. Також оператор може записувати коментарі до певного повідомлення аварії або змінювати стан аварії. Також в цьому вікні ми можемо скинути всі аварії примусово.



Tag Name	Display ...	Activation Ti...	Message	Ack Time	Event Time	Us
LT_Riven	2400	06/10/2023 19:19:54	Низький рівень		06/10/2023 19:19:54	Ad

Рисунок 4.9 – Вікно Alarms

Меню «Trends» дає змогу переглянути рівень води в баці деаератора, а також переглянути положення клапана в даний момент і не тільки. Також можемо провести аналітику виходячи з часу аварії, положення клапана, рівня води. Усі необхідні функції наявні в цьому меню.

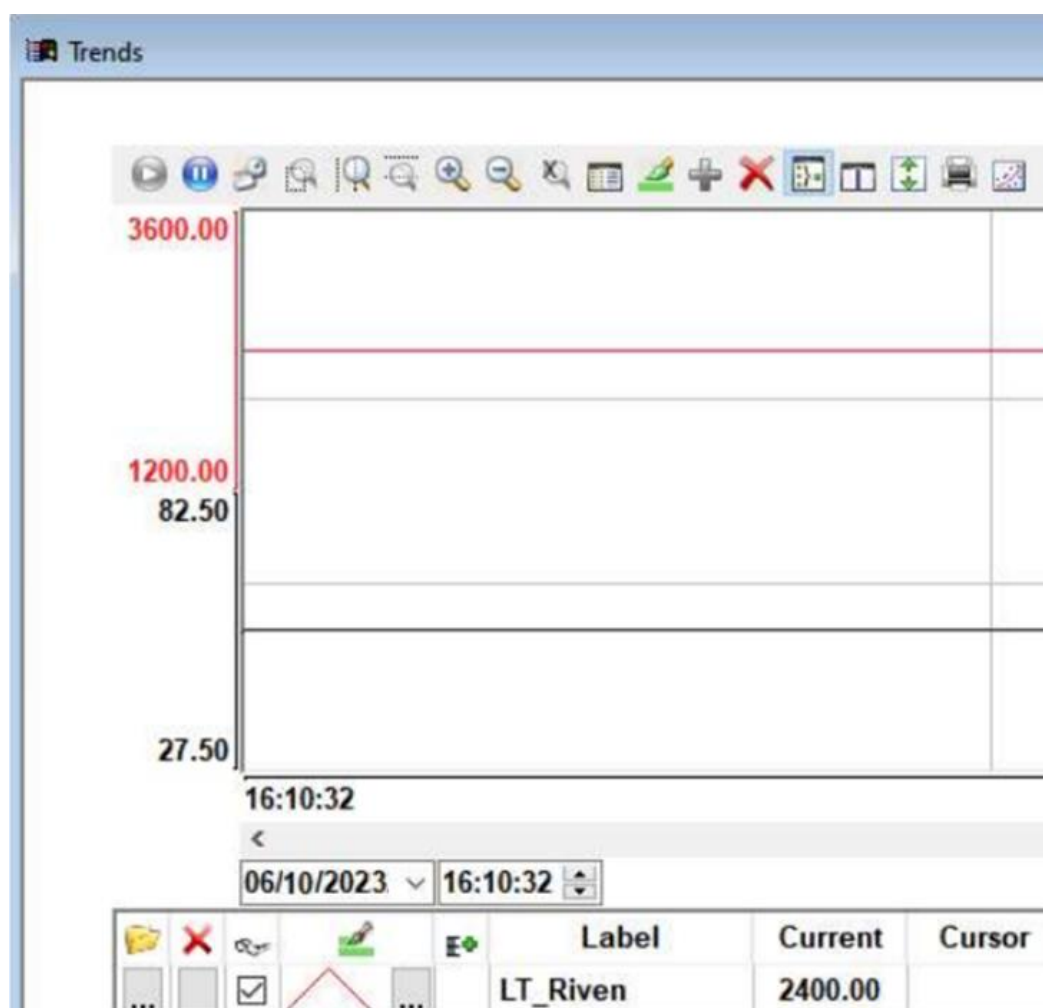


Рисунок 4.10 – Вікно Trends

РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1.Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

Для обміну даними між Simulink, CodeSys та WebStudio використовується OPC-сервер. OPC-сервер є промисловим стандартом для забезпечення зв'язку та обміну даними між різними програмними засобами.

OPC-сервер дозволяє передавати дані між різними програмними платформами, забезпечуючи зручну та надійну комунікацію. Це дозволяє об'єднати функціональні можливості Simulink, CodeSys та WebStudio, щоб створити комплексну систему керування та візуалізації.

OPC-сервер діє як посередник між програмними засобами, забезпечуючи передачу даних у відповідних форматах та забезпечуючи синхронізацію інформації між ними. Цей підхід дозволяє ефективно обмінюватися даними, контролювати та керувати процесами у реальному часі.

Завдяки використанню OPC-сервера, інженери можуть зручно взаємодіяти зі своїми програмними засобами, об'єднувати їх функціональні можливості та досягати більш ефективного та інтегрованого управління та моніторингу системи.

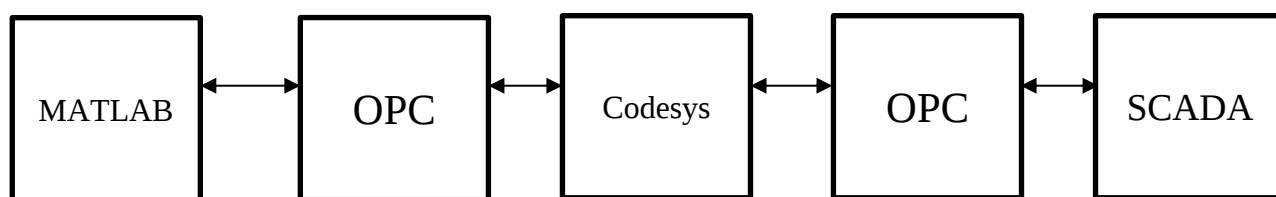


Рисунок 5.1 – Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

5.2. Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

Імітаційна модель, розроблена за допомогою математичного середовища Simulink в середовищі Matlab, використовується для вивчення та аналізу системи, яка розробляється в даному проекті. Ця модель дозволяє отримати інформацію про поведінку системи за певних налаштувань.

В основі імітаційної моделі лежить передача сигналу по контурі та його подальша обробка. У нашому випадку змодельовано проходження сигналу від П-регулятора до об'єкту. Його виходом є рівень води в баці, який подається знову до П-регулятора.

Ця імітаційна модель дозволяє виконувати різноманітні експерименти та дослідження, аналізувати вплив різних параметрів та налаштувань на поведінку системи. Шляхом варіювання вхідних параметрів та спостереженням за вихідними сигналами можна отримати цінну інформацію про роботу системи та зробити необхідні корективи у налаштуваннях.

Імітаційна модель вирішує завдання відтворення та аналізу роботи системи в умовах, які можуть бути важко або неможливо відтворити у реальному середовищі. Вона надає можливість оцінити працездатність, ефективність та стабільність системи перед її реалізацією, що дозволяє зробити важливі висновки та вдосконалити розроблювану систему. Наприклад, було додано збурення до системи, шляхом додавання ще одної інтегральної ланки. Це допомагає нам відслідкувати, як буде працювати П-регулятор у реальному часі при підтриманні заданого рівня. Причому така модель дозволяє нам в процесі роботи змінювати величину збурення системи.

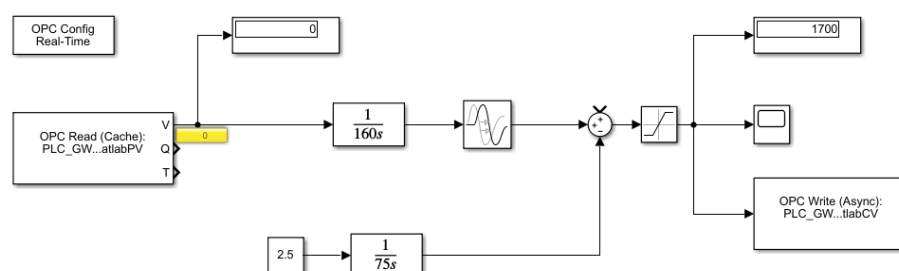


Рисунок 5.2 – Імітаційна модель системи регулювання рівня води в баці

5.3.Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys

Реалізація контролерної функціональності САР була описана в розділі 4.1. ДП.

5.4.Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADAсистемі WebStudio

Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA системі WebStudio була описана в розділі 4.2. ДП.

5.5.Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio

Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA системі WebStudio була описана в розділі 4.2. ДП.

5.6.Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

Реалізацію функціональної моделі ТОУ в Matlab Simulink та її опис було надано в розділі 5.2. ДП. Скриншоти програми в Codesys та опис функціональних блоків було надано в розділі 4.1. ДП. Розроблену візуалізацію та скриншоти вікон WebStudio було надано в розділі 4.2. ДП.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів, що спрямовані на збереження життя та здоров'я працюючих.

Темою дипломного проекту є “Автоматична система регулювання рівня води в деаераторі”. В проекті проведений розрахунок автоматизованих систем рівня води в деаераторі.

Спроектowana в даному проекті система передбачає застосування на автоматизованому робочому місці оператора АСК візуального дисплейного терміналу (SCADA-системи) для стеження та керування технологічним процесом.

В даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпечної експлуатації засобів автоматизації та технологічного обладнання, а також визначені основні заходи з гігієни праці і виробничої санітарії, та пожежної безпеки і профілактики.

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів контролю й автоматизації та технологічного устаткування

Робоче місце оператора щита управління знаходиться у відгородженому від деаератору приміщенні загальною площею 30 м². У ньому знаходяться щити з приладами для виміру параметрів і контролю технологічних процесів. Для передачі сигналів від давачів використовується електрична система, що вимагає ретельного дотримання правил експлуатації і повинна бути завжди в справному стані. У приміщенні також розташовані пристрої сигналізації і зв'язку (світлове табло, індикатори, телефон). Зручне раціональне розташування щитів і пульта дозволяє оператору виключити зайві рухи. Планування робочого місця звільняє працюючу людину від стомлюючих трудових рухів і забезпечує зручну робочу позу. Розміри робочої поверхні столу складають 1000x700 мм. Робоче місце виконане з урахуванням вимог технічної естетики, ергономіки,

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						70
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

антропометричних даних тіла людини (зріст, розміри, форма тіла, сила і напруга руху рук і ніг, зору, слуху).

При роботі стоячи оптимальна робоча зона 700x1100 мм. Так як характер праці оператора монотонний та стомлюючий, він керує величезними потоками електричної енергії, то найменші помилки в його діях можуть призвести до важких аварій, пожеж, нещасних випадків, тому передбачене чергування періодів роботи з періодами відпочинку, при якому досягається найбільша ефективність діяльності людини і гарний стан її здоров'я. Робота проводиться за графіком. Тривалість однієї зміни 8 годин. Тривалість робочого часу в нічний час скорочена на 1 годину. Оптимальний режим праці і відпочинку досягається паузами в роботі і перервами (для прийому їжі, усунення монотонності і малорухомості, зняття нервово-психічних перевантажень). Для цього передбачена спеціальна кімната відпочинку з використанням психологічного впливу кольору, музики, засобів технічної естетики (акваріум, квіти, картини).

Особлива увага звернена на розташування кнопок, органів керування, перемикачів. Вони розташовані на визначеній висоті від підлоги так, щоб оператор знаходився в момент виконання операції переключення в зручній для роботи позі. Зусилля, необхідні для включення або відключення вручну, незначні.

Стіни приміщення пофарбовані в неяскаравий, малоконтрасний ясно-сірий колір, що не розсіює уваги оператора. Підлога в приміщенні рівна, неслизька, не теплопровідна (паркет).

Для продуктивної праці оператора, а саме швидкого прийняття рішень, надійної роботи і т. ін., оптимізують умови праці оператора. При компонуванні щитів були обрані засоби відображення інформації - цифрові прилади, а також стрілочні з плоскими шкалами, світлосигнальні табло з різними написами, що полегшують контроль, індикаторні лампи з зеленими і червоними світлофільтрами. Висота приміщення - 4 м.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						71
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для передачі сигналів від давачів використовується постійний струм напругою (0-10)В, а для електричних кіл захисту технологічного обладнання, сигналізації і керування – змінний струм напругою 220 В, частотою 50 Гц.

Що стосується основного технологічного устаткування, то деаератор обладнаний відсічними клапанами, що забезпечують своєчасне припинення подачі гріючої пари та хімічно очищеної води при неприпустимому відхиленні тиску в деаераційній колоні чи рівню води в баку. При виконанні робіт на трубопроводах, що працюють під тиском, попередньо вони відключаються і скидається тиск до атмосферного. Для безпечної продувки імпульсних ліній застосовуються спеціальні продувні пристрої. Заміна манометрів і давачів проводиться тільки після закриття відбірних вентилів. Накидні гайки в манометрах, давачах варто відвертати поступово, щоб цілком стравити тиск середовища з імпульсної лінії. Щільність газопроводу перевіряють за графіком не рідше 1-2 рази на місяць шляхом промазування місць мильним розчином. Поява пухирців газу свідчить про порушення герметичності, і тоді виробляється заміна прокладок і ремонт роз'ємних з'єднань.

Для забезпечення безпечної і зручної експлуатації засобів автоматизації передбачаються наступні рішення:

1) передбачені безпечні, зручні по конструкції і розмірам проходи й оптимальне розташування обладнання для ведення робіт - робочі площадки (ширина вільного проходу площадок, рахуючи від стін до виступаючих частин устаткування, що використовуються для обслуговування апаратури, контрольно-вимірювальних приладів, - 0,8 м);

2) виконавчі механізми розміщені на водо-паропроводах в місцях, де виключений випадковий доступ людини, а також вони захищені захисною сіткою, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання;

3) аварійні органи керування (кнопки і вимикачі) – червоного кольору, відрізняються від інших формою, що унеможливорює мимовільне їх включення або відключення;

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						72
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) органи керування не мають нерівностей і зроблені з матеріалів, що не виділяють шкідливих домішок.

При монтажі щита передбачається спеціальний прохід між стіною і відкритими дверцятами щита відстанню не менш 0,8 м.

Прилади, контролери, органи дистанційного керування виконавчими механізмами мають написи-пояснення (на них зазначений регульований чи контрольний параметр, чи який виконавчий механізм дистанційно керується).

Якщо яка-небудь апаратура або прилади, контроллери, виконавчі механізми знаходяться в ремонті, вивішуються відповідні таблички, наприклад: «Прилад відключений, на ремонт».

6.1.1. Електробезпека

Живлення приладів, контролерів, органів оперативного керування спроектованої системи автоматизації здійснюється від мережі постійного струму напругою 24 В, через понижуючий трансформатор, на який надходить напруга 220 В, частотою 50 Гц через пакетний вимикач. Живлення підводиться до рейки клемних затискачів і через неї розподіляється на прилади. Рейка закрита кришкою, яка запобігає контакту людей з струмоведучими частинами. За допомогою рейки клемних затискачів давачі та виконавчі пристрої підключені до контролеру. Все інше обладнання живиться від мережі змінного струму 220 В із глухозаземленою нейтраллю та системою захисного заземлення TN. Питання надійності електропостачання вирішується в залежності від категорії відповідальності електроприймачів. Так як в приміщенні електроприймачі, у яких порушення електропостачання приводить до виникнення небезпеки для життя людей, а також до порушення складного технологічного процесу (відповідає 1 категорії), тому для електроприймачів 1 категорії відповідальності повинно бути 2 джерела живлення, з автоматичним включенням резервного при автоматичному вимиканні основного. Розміщення і вибір апаратів керування і захисту виконане по напрузі, силі струму, функціональним можливостям. Всі

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						73
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроприймачі є однофазними електроприймачами змінного струму, що підключені до однієї з фаз 3-х фазної мережі змінного струму напругою ~220/380 В за однофазною двох- або трьохпровідною схемою, або до однофазної мережі ~24 В. За небезпекою електротравматизму приміщення щитової, згідно ПУЕ, відноситься до приміщення з підвищеним рівнем небезпеки, так як існує можливість одночасного дотику людини до електропровідних частин ЕУ та до заземлених частин металоконструкцій будівлі та технологічного устаткування.

Згідно з ДСТУ ІЕС 61140:2015 основне обладнання спроектованої системи автоматизації згідно з [10] має III клас за електрозахистом ($U_{\max} \leq 24 \text{ В}$).

6.1.2 Технічні рішення та організаційні заходи щодо запобігання електричних травм від дотику до нормально струмоведучих частин ЕУ

Щоб уникнути електричних травм в першу чергу забезпечена недоступність струмоведучих частин ЕУ. Усі вимикачі, розетки закритого типу. У приміщенні всі проводи надійно ізольовані у винилпластових трубах (товщина стінки 2 мм) і прокладені в підлозі і стінках. Опір ізоляції складає 1 кОм на 1 В напруги. У процесі роботи допускається зниження опору ізоляції до 0,5 кОм.

Спроекований щит ЩА-НГ (800x700x400) для засобів автоматизації, приладів і апаратури відгороджує працюючу людину від дотику до нормально струмоведучих частин ЕУ. З використанням щита знижується можливість механічних ушкоджень, практично виключається можливість попадання вологи на струмоведучі частини. Контролер і прилади, а також різна апаратура встановлені так, щоб була забезпечена безпека обслуговування, а виникаючі в ході роботи окремих апаратів іскри не могли викликати коротке замикання. Апарати з рухливими струмоведучими частинами (автомати, реле) встановлюються так, щоб вони не могли замкнути ланцюг мимовільно під дією сили ваги. Для електропроводки, встановленої на дверях, поворотних рамах застосовані гнучкі мідні проводи. У ланцюгах керування, захисту, живлення і сигналізації застосовані проводи і кабелі з мідними жилами перетином 0,75 мм².

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						74
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту електропроводок застосовуються вініпластові труби.

Прилади й апаратура на фасаді щитів встановлені в межах наступних відстаней по висоті від підлоги щитового приміщення, мм:

- контролер – (1500-1700) мм;
- сигнальні лампи – (1100-1400) мм.

Рубильники розташовані в окремому щиті, що знаходиться в коридорі. Також передбачені блокування при помилкових діях оператора, виконується компенсація ємнісного струму витоку, використовується захист від замикання на землю, переносні заземлювачі.

Крім цього, здійснюється контроль ізоляції автоматичними пристроями контролю активного опору ізоляції мережі в її робочому режимі з оцінкою результатів. При перевищенні значень струмів витоку допустимих значень спрацьовує діюча система захисту. Таким чином, ці пристрої контролю ізоляції здійснюють захист людини від ураження струмом шляхом ведення безупинного вимірювання опору ізоляції з метою підтримки його значення на рівні, при якому при дотику людини до струмопровідних частин ЕУ, струм через тіло не буде перевищувати безпечних для людини значень. Достатньою умовою є підтримка опору на рівні не вище критичного.

Також передбачено застосування додаткових електрозахисних засобів: захисні екрани, діелектричні рукавички, боти, килимки, штанги, струмовимірюючі кліщі і показчики напруги, сходи-драбини, монтерський інструмент з ізолюючими рукоятками. Усі захисні засоби з гуми зберігаються в спеціальній шафі, що захищає їх від впливу тепловипромінення.

6.1.3. Технічні рішення по запобіганню електричних травм при переході напруги на нормально неструмоведучі частини ЕУ

В процесі експлуатації людина може доторкнутися до металевих частин щита управління, блоку контролера, що опинився при пробі ізоляції під напругою. Тому для запобігання електротравм при переході напруги на

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						75
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нормально не струмоведучі частини обладнання застосовується система захисного заземлення TN (підсистема TN-C-S).

Застосування даної системи захисного заземлення виключає можливість ураження персоналу електричним струмом при пробії на корпус обладнання однієї з фаз електромережі. Це досягається завдяки швидкому вимиканню ділянки електромережі, на якій виникло замикання фази на корпус ЕУ, за рахунок використання автоматів максимального струмового захисту. Пробій фази на корпус приводить до короткого замикання (контур: фаза – корпус споживача – «PEN» або «PE» провідник – нейтраль електромережі – фаза), що гарантує надійне спрацювання автоматів максимального струмового захисту і відключення від аварійної ЕУ напруги живлення.

6.1.4. Розрахунок електромережі на вимикаючу здатність

Проведемо розрахунок на вимикаючу здатність автомату максимального струмового захисту.

Визначемо величину струму короткого замикання $i_{кз}$:

$$i_{кз} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(R_{\phi} + R_o + R_T \cdot 3^{-1})^2 + (X_{\phi} + X_o + X_T \cdot 3^{-1})^2 + Z_T / 3}}, \quad (6.1)$$

де $R_{\phi}=2,0$ (Ом), $R_o=2,0$ (Ом), $R_T=0,5$ (Ом) - активні опори відповідно фази, нульового проводу («PEN» або «PE»), обмотки трансформатора;

X_{ϕ} , X_o , X_T - індуктивні опори відповідно фази, нульового проводу, обмотки трансформатора;

U_{ϕ} - фазна напруга;

$Z_T / 3$ - еквівалентний опір трансформатора ($Z_T / 3 = 0,16$)

Так як розраховується занулення для мережі малої довжини, то застосовується формула:

$$i_{кз} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_o + R_z / 3} = \frac{220}{2 + 2 + 0,16} = \frac{220}{4,167} = 52,8(A)$$

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						76
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо кратність струму короткого замикання до номінального струму спрацювання автомату струмового захисту:

$$n = \frac{i_{кз.}}{i_{відкл.}}, \quad (6.2)$$

Для надійної роботи автомату максимального струмового захисту необхідне виконання наступної умови: $n > 1,4$ ($I_{кз.} < 100$ А). Умова виконуються, якщо $I_{спр} < 10$ А.

Проведемо розрахунок на максимальне значення величини напруги на корпусі ЕУ U_{max} :

$$U_{max} = i_{кз.} * Z_H; \quad (6.3)$$

$$U_{max} = 52,8 \cdot 2 = 105,6 \text{ В}$$

Таким чином, $U_{max} < U_{доп}$,

де $U_{max} = 500$ В за [10].

6.2. Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат робочої зони

Основними параметрами мікроклімату є:

- температура повітря;
- відносна вологість повітря;
- швидкість руху повітря;
- інтенсивність теплового випромінювання.

Згідно оптимальними параметрами мікроклімату з урахуванням того, що категорія роботи оператора щита керування І-а (легка, енерговитрати менше 120 ккал/ч), є:

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						77
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 – Нормовані та фактичні параметри мікроклімату

Період року	Холодний період року	Теплий період року
Параметр	Нормовані	Фактичні
Температура, °C	22-24	23-25
Відносна вологість, %	40-60	40-60
Швидкість повітряного потoku, м/с	0,1	0,1

Інтенсивність теплового випромінювання повинна складати не більш 70Вт/м². У приміщенні інтенсивність теплового випромінювання складає 60Вт/м². Передбачено систему водяного опалення в холодний час року.

Фактична температура в приміщенні в холодний період року 22 °C, а в теплий - 23 °C, швидкість руху повітря 0,1 м/с, відносна вологість 50%. Нормовані параметри знаходяться в межах норми. У приміщенні щитової виконується індивідуальне кондиціонування повітря. Для операторів під час перерв передбачений відпочинок у спеціально обладнаній кімнаті відпочинку, де забезпечується заданий сприятливий мікроклімат. Завдяки вентиляції, яку здійснює кондиціонер, що охолоджує (підігріває) і вентилює повітря приміщення, очищуючи його від пилу і відбираючи вологу.

6.2.2. Склад повітря робочої зони

Для визначення змісту шкідливих речовин, за [11], добір проб повинний проводитися в зоні подиху при характерних виробничих умовах з обліком основних технологічних процесів, джерел виділення шкідливих речовин і функціонування технологічного устаткування. Протягом зміни повинна бути відібрана така кількість проб (але не менше п'яти), щоб було достатнім для достовірної гігієнічної характеристики стану повітряного середовища.

При періодичному санітарному контролі змісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони допускається обмежуватися визначенням максимально-

разової концентрації. Ступінь поглинання шкідливої речовини фільтром або поглиначем повинна бути не менше 95 %. Метод повинний забезпечувати виборче визначення - зміст шкідливої речовини у відібраній пробі повітря на рівні не більше 0,5 граничнодопустимої концентрації (ГДК). Тривалість добору проб при визначенні максимально-разової ГДК не повинна перевищувати 30 хв. Метод повинний забезпечувати визначення змісту шкідливих речовин у проточному повітрі на рівні 0,3 ГДК при необмеженому часі добору проби. Метод визначення повинний забезпечувати специфічне визначення змісту шкідливої речовини в пробі в присутності інших речовин, що знаходяться в цей час у повітрі робочої зони.

6.2.3 Виробниче освітлення

Для штучного освітлення, нормованими параметрами є:

- освітленість E , лк;
- коефіцієнт пульсації освітленості K_p , %;
- показник дискомфорту M ;
- показник засліпленості P .

У приміщенні використовується загальне штучне рівномірне робоче освітлення. В якості джерел освітлення використовуються світильники УСП-35 з двома люмінесцентними лампами типу ЛБ-40 в кожному. Світильники розташовані над робочими поверхнями два ряди вздовж довгої сторони приміщення. Немає погано освітлених зон, ламп, що сліплять, відблисків від них, різких тіней. Для усунення стробоскопічного ефекту від люмінесцентних ламп використані спеціальні пускові пристосування. Розташування світильників виключає влучення прямого світла в очі і можливість відблисків відображення не екрані монітора. Для цього застосовуються спеціальні сітки. Нормовану освітленість визначають три характеристики: точність зорової роботи, контраст об'єкта з тілом і коефіцієнт відображення робочої поверхні. Зорова робота

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						79
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідає 1 розряду найвищої точності. Контраст об'єкта спостереження з фоном $K = 0,3$, коефіцієнт відбиття $\rho = 0,3$. Підрозряд зорової роботи "б".

Нормоване значення освітленості (згідно) для І-б - системи загального освітлення повинне складати більше 300 лк, що відповідає вимогам.

Також передбачене аварійне освітлення. Живлення світильників аварійного освітлення здійснюється від незалежного джерела електроенергії (акумуляторні батареї).

6.2.4 Виробничий шум

При нормуванні виробничих шумів застосовують наступні варіанти оцінки шуму:

- Встановлюють припустимі рівні сили звуку в дБ в октавних смугах частот В залежності від виду робіт.
- Встановлюють припустимі рівні звуку L_a , дБА.

У щитовому приміщенні шум непостійний, тому в якості нормованого параметру буде еквівалентний рівень звуку.

Головне джерело шуму - це принтер і вентилятор системного блоку ІКОК, а також вентилятори приточно-витяжної системи і системи кондиціонування. Для боротьби із шумом передбачене поліпшення режиму роботи й експлуатації устаткування, центрування й балансування механізмів.

Реальний еквівалентний рівень звуку складає 36 дБА при припустимому рівні звуку 75 дБА. Для зменшення шуму стіни покриті плиткою, що поглинає звук.

Передбачено зниження шуму у виконавчих двигунах (за місцем), за рахунок заміни їх на малошумні, а також застосування звукопоглинаючих та звукоізолюючих матеріалів.

6.3. Протипожежна безпека та профілактика

Так як в приміщенні щитової розташовані контроллери, прилади і тверді пальні матеріали (підлога - паркет, столи, стільці, шафи, фарба покриттів і т.ін.), то

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						80
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

згідно з існуючою класифікацією робочі зони у цьому приміщенні відносяться за пожежонебезпекою до класу П-Па. За вибухопожежною безпекою приміщення щитової згідно [14] відноситься до категорії В.

В приміщенні знаходяться тверді пальні і важкогорючі речовини і матеріали. Пальними речовинами в електроустановках є в основному ізоляційні матеріали: гума, пластмаси, папір, гетинакс, вінілпласт. Горіння цих речовин і матеріалів супроводжується значним виділенням диму і часто має вид тління, тобто без полум'я. Кабельні компаунди, мостики, пропитки горять полум'ям зі значним виділенням продуктів неповного згорання у виді окису вуглецю СО. Небезпеку пожежі являють собою коротке замикання, перевантаження, невиконання вимог пожежної безпеки, застосування несправних освітлювальних приладів, порушення правил експлуатації електрообладнання в несправному стані.

Протипожежна профілактика забезпечується, в першу чергу, дотриманням норм і правил пожежної безпеки.

Джерелами загорання в приміщенні можуть бути: коротке замикання, перевантаження електромереж, несправність освітлювальних приладів, діяльність оператора.

Тому для запобігання пожежі прийняті наступні заходи:

- застосовуються плавкі запобіжники, електромагнітні розщиплювачі для захисту від короткого замикання і струмів тривалих перевантажень; мережа з напругою 220 В виконана проводами у вінілпластових трубах, прокладена в підлозі і стінах;
- освітлювальні установки піддаються постійному нагляду: регулярному очищенню освітлювальних приладів, своєчасній заміні перегорілих ламп, поточному і профілактичному ремонту;
- проводиться контроль за справністю електропроводки;
- виконавчі пристрої виконані у вибухозахищеному виконанні.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						81
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні рішення системи протипожежного захисту спрямовані на обмеження поширення пожежі, захист людей і матеріальних цінностей.

Приміщення, згідно вимог [17], обладнане первинними засобами пожежогасіння. Також використовується стаціонарна установка порошкова з автоматичним пускачем, приєднана до щитів. Також маються вуглекислотні вогнегасники типу ВВ-8, призначені для гасіння пожежі, що виникла в електроустановках, які знаходяться під напругою – клас пожежі «Е» (тривалість випуску заряду близько 15 с, довжина струменя 4 м, дозволяють вести гасіння без відключення установки).

Також є пожежний зв'язок і автоматична пожежна сигналізація, які виконані відповідно до вимог [17], та сповіщають про виникнення пожежі і забезпечує оперативне керування пожежними командами під час пожежі. До складу автоматичної пожежної сигналізації входять автоматичні сповіщувачі (димові та теплові), що встановлених у робочих приміщеннях і підключені до прийомної станції з живленням від мережі змінного струму 220В. У випадку виникнення пожежі за допомогою світлових і звукових сигналів ведеться повідомлення обслуговуючого персоналу і пожежної команди.

Передбачений, також, протипожежний водопровід. Споруджено протипожежні стіни з неспалюваних матеріалів (червона цегла, залізобетон) з межею вогнестійкості 4 години.

Відповідно до плану ліквідації аварій, передбачено можливість негайного відключення електроживлення вентиляційної системи та електрообладнання, при виникненні пожежі.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						82
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Розрахуємо вартість (кошторис) встановлення АСК, яку ми розглядали в цьому ДП, на деаераційну установку.

Таблиця 7.1 – Кошторис створеної АСР

№ п/п	Найменування обладнання	Од. вим.	К- сть	Вартість одиниці, грн			Загальна вартість, грн		
				Облад- нання	Монтажних робіт		Обла д- нання	Монтажних робіт	
					Усього	Заробітня плата		Усього	Заробітня плата
1	Центральний процесор Siemens CPU 1516-3	шт.	1	12977 9	25956	12978	1297 79	25956	12978
2	Модуль введення аналогових сигналів Siemens SM 1531	шт.	2	17696	3539	1770	3539 2	7 078	3540
3	Модуль виведення аналогових сигналів Siemens SM 1532	шт.	1	18311	3662	1831	1831 1	3662	1831
4	Модуль виведення дискретних сигналів Siemens SM 1522	шт.	1	15343	3068	1534	1534 3	3068	1534
5	Блок живлення Siemens PM 1505	шт.	1	6504	1301	650	6504	1301	650
6	Панель оператора Siemens KTP400 Basic color PN	шт.	1	14256	2851	1426	1425 6	2851	1426
7	Датчик витрати Siemens FM MAG 5100 W	шт.	3	50400	10080	5040	1512 00	30240	15120
8	Датчик рівня Siemens LC 300	шт.	1	34558	6912	3456	3455 8	6912	3456
9	Датчик тиску Siemens Sitrans P500	шт.	5	30800	6160	3080	1540 00	30800	15400
10	Датчик температури Siemens Sitrans TS500	шт.	4	21340	4268	2134	8536 0	17072	8536
11	Виконавчий механізм Belimo EVC24A-SR	шт.	3	29280	5856	2928	8784 0	17568	8784

Кінець таблиці 7.1

№ п/п	Найменування обладнання	Од. вим.	К- сть	Вартість одиниці, грн			Загальна вартість, грн		
				Облад- нання	Монтажних робіт		Обла д- нання	Монтажних робіт	
					Усього	Заробітня плата		Усього	Заробітня плата
12	Реле Schneider Electric Harmony 1CO	шт.	11	2000	400	200	22000	4400	2200
13	Автоматичний вимикач двохполюсний Schneider BA63 C63 A/1+N	шт.	1	1047	209	105	1047	209	105
14	DIN-Рейка Drail	шт.	3	220	44	22	660	132	66
15	Профільна шина Siemens Profibus	шт.	1	5685	1137	569	5685	1137	569
16	Короб кабельний 40х40х800	шт.	1	164	33	16	164	33	16
17	Короб кабельний 40х25х700	шт.	4	158	32	16	632	32	63
18	Клема Wago 280-901, 2.5 мм ²	шт.	42	88	18	9	3696	756	369
19	Клема Wago 281-901, 2.5 мм ²	шт.	72	96	19	10	6912	1368	691
20	Щит 800х700х250 мм	шт.	1	4310	862	431	4310	862	431
21	Кабель силовий ВВГ 3х1.5	м.	250	40	8	4	3000	2000	300
22	Кабель силовий ВВГ 5х2.5	м.	50	47	9	5	705	450	70,5
23	Кабель контрольний КВВГ 5х1,5	м.	100	35	7	3	3500	700	350

Отже, загальна вартість обладнання становить 784 854 грн, монтажних робіт – 237 073 + грн і загальна вартість САР – 1 021 927 грн.

Розрахуємо економічну ефективність встановлення АСК. В результаті розрахунку економічної ефективності визначаються такі показники:

Річний економічний ефект:

$$E_{\phi} = \Delta U - E_{\text{н}} \cdot \Delta K_{\text{авт}}, \text{ грн/рік} \quad (7.1)$$

де $E_n = 0.15$ - коефіцієнт ефективності, є нормативною величиною; ΔU – економія експлуатаційних витрат по управлінню об'єктом при наявності АСР, грн/рік;
 $\Delta K_{авт}$ - одноразові капіталовкладення на створення АСР, грн.

Термін окупності:

$$T_{ок} = \Delta K_{авт} / \Delta U, \text{ рік} \quad (7.2)$$

Для створення АСР потрібні одноразові витрати у розмірі 1 021 927 грн.

$$\Delta K_{авт} = 1\,021\,927 \text{ грн.}$$

АСР вважається економічно ефективною, якщо $T_{ок} < T_{ок}^*$.

Приймаємо:

$$T_{ок}^* = 7 \text{ роки.}$$

Економія витрат ΔU розраховується за формулою (7.3):

$$\Delta U = E_k - \Delta B_{авт} \quad (7.3)$$

де $\Delta B_{авт}$ - додаткові витрати на обслуговування системи; E_k - економія від введення автоматизації.

Джерела економії у нас такі:

- Підвищиться якість вихідного продукту, що є дуже важливим показником, адже деаераторна установка виступає більше, як допоміжна частина більшої установки.
- Економія на обслуговуванні АСК. Наша система буде більш надійною ніж попередні можливі варіанти, що може надати більше число робочих годин в рік та набагато менші витрати на обслуговування.
- Також має місце економія в кількості людей, які будуть обслуговувати нашу систему керування. Наша система потребує лише одного працівника, а саме оператора, який буде контролювати систему через SCADA. Тепер не потрібно ходити і щось налаштовувати біля самої установки.

$$E_k = 180\,000 \text{ грн/рік.}$$

Величина $\Delta B_{авт}$ розраховується за формулою (7.4)

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						85
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta B_{\text{авт}} = B_e + B_a + B_p + B_z \quad (7.4)$$

де B_e - додаткові витрати на електроенергію, грн/рік; B_a - амортизаційні відчислення, грн/рік; B_p - витрати на ремонт та обслуговування системи, грн/рік; B_z - витрати на заробітну платню, грн/рік.

$$B_a = 0.12 \cdot \Delta K_{\text{авт}} \quad (7.5)$$

$$B_p = 0.15 \cdot \Delta K_{\text{авт}} \quad (7.6)$$

$$B_z = n \cdot T \cdot ЗП \quad (7.7)$$

де n – кількість робітників ($n = 1$ чол.); T - час роботи в місяцях ($T = 1$ місяців); $ЗП$ – заробітна плата робітника ($ЗП = 15000$ грн/міс.).

$$B_e = C_e \cdot N \cdot T \quad (7.8)$$

де C_e – тариф на електроенергію ($C_e = 2.56$ грн/кВт·ч); N – сумарна потужність приладів ($N = 0.68$ кВт·ч); T – час роботи системи за рік ($T = 7500$ год/рік).

Згідно з формулами (7.4 - 7.8) маємо:

$$B_a = 0.12 \cdot 1021927 = 122\,631 \text{ грн/рік}$$

$$B_p = 0.15 \cdot 1021927 = 153\,289 \text{ грн/рік}$$

$$B_e = 2,56 \cdot 0,68 \cdot 15000 + 2,56 \cdot 0,4 \cdot 4000 = 27616 \text{ грн/рік}$$

$$B_z = 1 \cdot 1 \cdot 15000 = 15000 \text{ грн/рік}$$

За формулою (7.4) маємо:

$$\Delta B_{\text{авт}} = 122\,631 + 153\,289 + 27616 + 15000 = 318\,536 \text{ грн/рік}$$

За формулою (7.3) маємо:

$$\Delta U = 470000 - 318\,536 = 171\,464 \text{ грн/рік}$$

За формулою (7.1) маємо:

$$E_{\phi} = 171\,464 - 0,15 \cdot 1\,021\,927 = 18\,174 \text{ грн/рік}$$

За формулою (7.2) маємо:

$$T_{\text{ок}} = 1\,021\,927 / 171\,464 = 5,9 \text{ років}$$

Тобто маємо :

$$E_{\phi} = 18\,174 \text{ грн/рік}$$

$$T_{\text{ок}} = 5,9 \text{ років}$$

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						86
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівнюючи прийнятий термін окупності $T_{ок}^*$ з отриманим $T_{ок}$, маємо, що $T_{ок} < T_{ок}^*$ ($5,9 < 7$).

Таким чином, розрахунок показав, що введення АСР рівня води в баку деаератора за проектом є доцільним. Період окупності АСР – 5,9 років.

ВИСНОВКИ

В рамках атестаційної роботи бакалавра на тему "АСК деаераторною установкою" були проведені детальні дослідження та аналіз літературних джерел. Результатом було ознайомлення з конструкцією та принципом роботи об'єкта, а також принципом технологічного процесу.

В процесі дослідження була визначена передаточна функція об'єкта управління. На основі цього був обраний контур регулювання рівня води в баку шляхом регулювання подачі конденсату та відводу живильної води з баку деаератора.

Для досягнення мінімального перерегулювання було проведено розрахунок параметрів регулятора двома методами: інженерним методом зі значенням перерегулювання 20% та методом РАФХ. Останній метод показав більш оптимальні результати. Перехідний процес при оптимальних налаштуваннях регулятора задовольняє вимогам щодо якості регулювання. Крім того, проведено перевірку системи автоматичного регулювання на грубість, яка показала, що система є негрубою.

Для вибору виконавчого механізму були здійснені розрахунки виконавчих та вимірювальних каналів автоматичної технологічної комплексної (АТК). Результати розрахунків підтвердили відповідність спроектованої системи вимогам та надійність її функціонування.

Для візуалізації автоматизованої системи регулювання було розроблено ряд схем, включаючи структурну схему ПТКЗА, функціональну схему автоматизації, принципову електричну схему, креслення загального виду щита, монтажну схему щита та схему зовнішніх з'єднань.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						87
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для реалізації супервізорного рівня було використано програмне забезпечення фірми Indusoft. Об'єктом управління виступала програма в Matlab Simulink, а контролер програмно реалізувався в CoDeSys.

Також була проведена робота з охорони праці, в якій описані необхідні норми та вимоги, яких слід дотримуватись при роботі з даним об'єктом.

Був складений кошторис для даної АСР, а також проведені розрахунки економічної ефективності. Результати розрахунків підтвердили доцільність введення АСР процесу деарації живильної води за запропонованим проектом.

Загалом, розроблена автоматизована система регулювання відповідає всім поставленим вимогам та може бути успішно впроваджена в експлуатацію.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						88
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: «Либідь», 2007 – 656 с.
2. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра – К, 2014. – 344 с.
3. Bansawal, A., & Jain, S. K. (2015). Design and implementation of a PLC-based control system for deaerator in thermal power plant. International Journal of Scientific and Research Publications, 5(3), 1-6.
4. Програмовані контролери S7-1500 . URL: http://adasim.com.tr/dosyalar/dokumanlar/s71500_system_manual_en-US_en-US.pdf (дата звернення: 14.05.2023)
5. Датчик витрати Siemens SITRANS FM MAG 5100 W. Паспорт продукту датчику витрати. URL: http://www.eleten.com.ua/MAGFLO_S.pdf (дата звернення: 15.05.2023)
6. Датчик рівня Siemens SITRANS LC 300. Паспорт продукту датчику рівня. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/296/109807296/att_1096415/v1/A5E51539840ru_LC300_OI_ru-RU.pdf (дата звернення: 18.05.2023)
7. Датчик тиску Siemens SITRANS P500. Паспорт продукту датчику тиску. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/567/49922567/att_71461/v1/A5E02307338-02ru_P500_HART_OI_compact_de-DE.pdf (дата звернення: 14.05.2023)
8. Датчик температури Siemens SITRANS TS 500. Паспорт продукту датчику температури. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/320/109781320/att_1029652/v1/A5E03920348-AFru_TS_COI_ru-RU.pdf (дата звернення: 17.05.2023)
9. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.
10. ПУЕ-2017 Правила улаштування електроустановок.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						89
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
12. ГОСТ 12.1.005-88 Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітряної робочої зони.
13. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх споруд за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
14. ДСТУ Б В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Загальні вимоги.
15. ДСТУ 3875-98 Необхідна кількість вогнегасників та їх тип.
16. ДСТУ Б А.2.4-10:2009 СПДБ. Правила виконання специфікації обладнання, виробів і матеріалів.
17. ISO 3941-2007 Класифікація пожеж. Засоби пожежної безпеки і боротьби з вогнем.

					ТА-91408.0016.000.АТХ.П	Арк.
						90
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		