

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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси
в гірничо-металургійному виробництві»
за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка

**на тему «Модернізація АСУ паровим котлом
барабанного типу в умовах електро-силового цеху
коксохімічного підприємства»**

Керівник роботи

Олексій РАЗЖИВІН

Консультант від
бази практики

Євген ШТЕФАН

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

Здобувач

Сергій ПОТОЦЬКИЙ

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

Голова ЕК

Андрій ЛЕОНОВ

Запоріжжя 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>автоматизації виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>автоматизації, електро- та робототехнічних систем</u>
Освітньо-кваліфікаційний рівень	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка</u>
ОПП	<u>Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в гірничо-металургійному виробництві</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

27.11.2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

ПОТОЦЬКОГО Сергія Вікторовича
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Модернізація АСУ паровим котлом барабанного типу в умовах електро-силового цеху коксохімічного підприємства
керівник роботи Разживін Олексій Валерійович, доцент, канд. техн. наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету від 14.10.2024 р. №238/14.10.2024
2. Термін подання роботи 03.02.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи управління та сигналізації технологічних параметрів (Основні задачі АСУТП, концепція роботи системи, обґрунтування та вибір технічних рішень). 3. Реалізація запропонованої системи (3.1. Вибір засобів автоматизації; 3.2. Розробка математичної моделі автоматизованої системи регулювання тиску та температури пару котлоагрегату; 3.3. Розробка структури програмного забезпечення автоматизованої системи котла; 3.4 Розробка блок-схем системи автоматичного керування котлом; 3.5 Програмна реалізація запропонованої системи управління) 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Схема функціональна автоматизації. 2. Взаємозв'язок функціональних завдань. 3. Схема структурна комплексу технічних засобів. 4. Блок-схеми алгоритмів керування та програмного забезпечення. 5. Презентація магістерської роботи.

Плакати (за вибором): результати розрахунків, розрахунок економічного ефекту, графіки, екранні форми тощо.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Усі розділи	Разживін О.В., доцент кафедри АБЕРС

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи (проєкту)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	31.12.2024	
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління	03.01.2025	
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	17.01.2025	
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	27.01.2025	
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	31.01.2024	
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.2025	
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.02.2025	
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	17.02.2025	

Здобувач

(Сергій ПОТОЦЬКИЙ)

Керівник роботи

(Олексій РАЗЖИВІН)

АНОТАЦІЯ

Потоцький Сергій Вікторович. Модернізація автоматизованої системи управління паровим котлом барабанного типу, у котельному відділенні енергосилового цеху. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». ОПП «Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в гірничо-металургійному виробництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Об'єктом дослідження є автоматизована система управління технологічним процесом регулювання температури та тиску перегрітої пари.

Предметом дослідження технологічний процес пароутворення у котлу БКЗ-50-39Ф.

У першому розділі проаналізований технологічний процес пароутворення у котлу БКЗ-50-39Ф та наявної системи автоматизації. Проведено аналіз існуючих систем автоматичного регулювання тиску та температури перегрітої пари. В результаті проведеного аналізу визначена необхідність впровадження автоматизованої системи регулювання тиском та температури перегрітої пари для підвищення продуктивності та зменшення витрати коксового газу для пароутворення.

У другому розділі розглянуті основні вимоги до системи автоматизації, визначені задачі управління, контролю та регулювання технологічних параметрів котла. Розроблена схема автоматизації.

У третьому розділі обґрунтовано вибір апаратного забезпечення автоматизації для всіх рівнів. Проведено математичне моделювання контурів регулювання, та виконано аналіз роботи класичного ПІД-регулятора та нечіткого регулятора в режимі супервізора. Розроблена структура програмного забезпечення автоматизованої системи котла. Розроблено програмне забезпечення для контролера для виконання основних функцій алгоритму роботи котла. Розроблено програмне забезпечення верхнього рівня SCADA системи.

У четвертому розділі проведено аналіз техніко-економічних показників, що підтвердив ефективність впровадження модернізованої автоматизованої системи керування.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ПІД-РЕГУЛЯТОР, НЕЧІТКА СУПЕРВІЗОРНА СИСТЕМА, ТЕМПЕРАТУРА ПЕРЕГРІТОЇ ПАРИ, АЛГОРИТМ РОБОТИ

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	8
1.1 Опис технологічного процесу котла	8
1.2 Основні вимоги до технологічного процесу котла	13
1.3 Аналіз існуючої системи регулювання технологічних параметрів ..	15
1.4 Літературний огляд наукових досліджень та технічних рішень автоматизації котлоагрегатів	20
1.5 Постановка завдань на проектування	21
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	23
2.1 Загальні вимоги до системи автоматизації котла	23
2.2 Розробка функціональної схеми автоматизації котла	24
2.3 Обґрунтування технічних рішень автоматизації котла	29
2.4 Алгоритмічне забезпечення сигналізації та теплового захисту котла	32
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ	34
3.1 Вибір засобів автоматизації	34
3.2 Розробка математичної моделі автоматизованої системи регулювання тиску та температури пару котлоагрегату	40
3.3 Розробка структури програмного забезпечення автоматизованої системи котла	64
3.4 Розробка блок-схем системи автоматичного керування котлом	66
3.5 Програмна реалізація запропонованої системи управління	68
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ..	73
4.1 Основні результати при впровадженні системи автоматичного керування котла	73
4.2 Техніко-економічна оцінка результатів впровадження системи автоматичного керування котла	74
ВИСНОВОК	82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83
ДОДАТОК А Схема технологічний процес котлу як об'єкт управління ...	86
ДОДАТОК Б Перелік обраних датчиків та виконавчих механізмів	87
ДОДАТОК В Знімки екранів розробленої SCADA системи	92



ВСТУП

На сьогоднішній день автоматизація охоплює майже всі виробничі процеси, сприяючи підвищенню якості продукції, зниженню її собівартості та підвищенню надійності виробництва. Автоматизовані системи значно спрощують контроль і управління технологічними об'єктами, а також підвищують рівень безпеки їхньої експлуатації.

Водяний пар є основним теплоносієм у виробництві електроенергії, підігріванні колон під час отримання бензолу, системах пароінжекції в коксовому виробництві, а також для підігріву бойлерів опалювальних систем. Його отримання здійснюється за допомогою парового котла.

Складність автоматизації парового котла обумовлена великою кількістю взаємопов'язаних вхідних і проміжних параметрів, значними коливаннями витрати пари споживачами, високими вимогами до точності підтримання вихідних параметрів та великою швидкістю протікання процесів у пароводяному тракті. Через це в перехідних режимах управління котлоагрегатом часто здійснюється досвідченими операторами вручну.

Найважливішим завданням автоматизації є регулювання тиску та температури перегрітої пари. Пар використовується для вироблення електроенергії, та для технологічних потреб підприємства. Генерацію електроенергії необхідно підтримувати на постійному рівні для виконання договірних зобов'язань перед споживачами та власних потреб. Для виконання цього необхідно підтримувати постійний тиск пари перед турбіною генератору, незважаючи на збурення по витраті пари на технологію.

З огляду на це, актуальність роботи полягає у розробці нових алгоритмів регулювання та математичних моделей контролю тиску та температури перегрітої, який враховує випадкові коливання температури та витрати води на пароохолоджувач.


Предмет дослідження технологічний процес пароутворення у котлу БКЗ-50-39Ф.

Об'єкт дослідження автоматизована система управління технологічним процесом регулювання температури та тиску перегрітої пари.

Метою роботи є підвищення продуктивності та зменшення витрати коксового газу при пароутворенні у котлу, шляхом впровадження автоматизованої системи регулювання тиском та температури перегрітої пари.

Задачі дослідження наступні:

- проведення аналізу технологічного процесу виробництва пари, з метою обґрунтування доцільності модернізації системи автоматичного керування котлом;
- визначення основних регульованих та керуючих параметрів для автоматизації технологічного процесу пароутворення у котлу;

- 
- розроблення математичної моделі контурів регулювання котла, як об'єкта керування;
 - здійснення вибору технічних засобів автоматизації та розробка технічної структури системи керування котлом;
 - розроблення електричних схем підключення засобів автоматизації до модулів станції програмованого логічного контролера;
 - розробка алгоритмів керування, що забезпечують підвищення ефективності функціонування автоматизованої системи регулювання технологічних параметрів пароутворення;
 - побудова графічного інтерфейсу автоматизованого робочого місця оператора котельні на базі SCADA-системи;
 - обґрунтування економічної доцільності та інвестиційної привабливості розробки.

Наукова новизна:

1) дістало подальшого розвитку математична модель парового котла, яка відрізняється тим що для регулювання технологічних параметрів застосована нечітка супервізорна система корекції передаточних коефіцієнтів ПІД-регулятора;

2) удосконалено структура та алгоритм керування технологічними параметрами пароутворення, які відрізняються тим що дозволяють здійснювати застосування запровадженої АСУ для інших парових котлів барабанного типу.

Практичне значення результатів: запропоноване технічне рішення реалізації контурів регулювання технологічними параметрами парового котла барабанного типу дозволило підвищити паропродуктивність котла на 6,5%.

Апробація результатів

Основні положення та результати роботи викладено в науковій статті:

1.Разживін О.В., Олійник І.О., Потоцький С.В., Бобов Г.Р. НЕЧІТКА СУПЕРВІЗОРНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ ПАРУ КОТЛОАГРЕГАТУ. Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія технічні науки, № 1 . - Видавничий дім «Гельветика». – Запоріжжя, 2024. – С. 54-62. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-9>

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Опис технологічного процесу котла

Паровий котел – це пристрій для вироблення водної пари. Цей пристрій складається з багатьох теплообмінних пристроїв, пов'язаних між собою, де відбувається передача тепла від згорання палива до води та пару.

Котел типу БКЗ-50-39Ф - однобарабанный, П-образною компоновкою з природною циркуляцією. Складається з топкової камери, перехідного газоходу, та опускної конвективної шахти. В перехідному газоході розташований пароперегрівач, в опускній шахті розташований економайзер та повітря підігрівач. У котлу відбувається підігрів води, утворення насиченої пари, та перегрів утвореної пари. В якості палива використовується коксовий газ. Коксовий газ є штучним газоподібним паливом, одержаним у вигляді побічного продукту коксового виробництва. Теплота згорання коксового газу 4000 ккал/м³, густина 0,45 кг/м³. Щільність коксового газу значно нижча за щільність повітря, тому при виотах він може накопичуватися вгорі приміщень.

Основні технічні характеристики:

- паропроодуктивність котла – 50 т/год;
- розрахунковий тиск у барабані котла – 44 кгс/см²;
- температура перегрітої пари – 450°С.

Топка котла має призматичну форму з розмірами світла 6000 x 4200 мм. Стіни камери згорання екрановані трубами діаметром 83x3,5 мм. Ступінь екранізації топки котла – 96%. У верхній частині топки труби заднього екрану утворюють чотирирядний конвективний пучок (фестон). Структурна схема котлоагрегату БК350-39Ф зображена на рисунку 1.1.

Топкова камера згорання об'ємом 310 м³ оснащена чотирьома трубчастими пальниками коксового газу, розташованими по два на бічних стінках камери згорання. Продуктивність пальників - 2500 м³/год коксового газу. До пальників подається повітря яке попередньо підігрівається у трубчастому повітряпідігрівачі розташованого у вертикальній конвективній шахті. Повітря до котла нагнітається за допомогою дуттьового вентилятору продуктивністю 54000 м³/ч. Теплоносієм у котлу є продукти згорання палива – димові гази. Горіння палива відбувається у вертикальній топковій камері утвореної екранними трубами.

Для ефективного підвищення якості пари, скорочення об'єму безперервної продувки є застосування ступінчатого випаровування. Сутність даного метода полягає у розподіленні випарної системи на ряд ступенів по воді, та з'єднанні по парі. Живлення першого ступеня здійснюється живильною водою, а підживлення наступних ступенів здійснюється котловою водою з попередніх ступенів. Періодична продувка здійснюється з першого ступеня. Безперервне продування котла здійснюється з останнього ступеня. Перший ступінь називається

«чистий відсік», бо в ньому мінімальний солевміст у воді, останній відсік називається «сольовий відсік».

У даному котлу екранні труби формують вісім окремих циркуляційних контурів випаровування 6 - першої ступені, 2 - другої ступені.

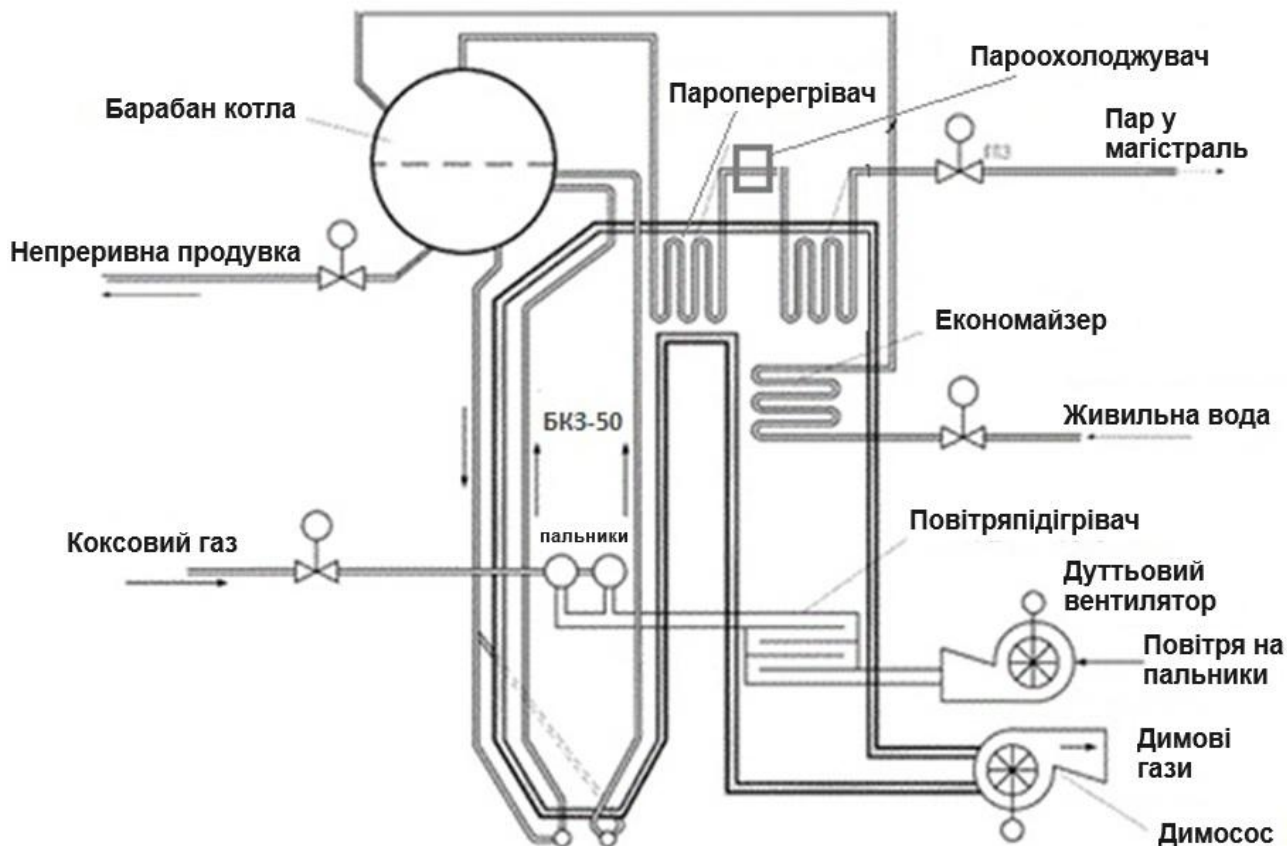



Рисунок 1.1 – Структурна схема парового котла

Кожен контур першої ступені складається із водо-опускних труб, нижнього колектору, та підйомних труб вальцьованими у барабан котла під сепараційними пристроями. Кожен контур другої ступені випаровування складається із водо-опускних труб, нижнього колектору, виносний циклон та підйомних труб вальцьованими у барабан котла під сепараційними пристроями. У першому контурі з нижніх точок барабана вода опускається по опускним трубам і далі потрапляє у збірні колектори розташовані внизу топки, далі вода по підйомним трубам нагрівається, утворюється пароводяна суміш (емульсія), піднімається та повертається під сепараційні пристрої вверху барабану котла де і утворюється перша ступінь випаровування - «чистий відсік».

У другому контурі випаровування з нижніх точок барабана по трубам вода потупає у виносні циклони (лівий та правий) далі з циклонів по опускним трубам вода спускається до нижніх колекторів а з них по підйомним трубам пароводяна суміш емульсія повертається у виносні



циклони де відбувається відділення пару від води – друга ступінь випаровування – «солоний відсік», і далі пар з верхніх труб циклонів повертається у барабан під сепараційні пристрої утворюючи другу ступінь випаровування.

Котел має барабан із внутрішнім діаметром 1500 мм, товщиною стінки 40 мм та довжиною циліндричної частини 8200 мм. Барабан виготовлений із листової сталі 20 і лежить на двох роликів опорах, що допускають його вільне подовження при розширенні.

Внутрішньобарабанний пристрій складається з коробів, що розподіляють пароводяну суміш, 20-ти внутрішньобарабанних циклонів, жалюзійних сепараторів і дірчастого листа. Пароводяна суміш з роздавальних коробів поступово поступає в циклони, де відбувається первинне відділення води від пари. На циклонах встановлені жалюзійні сепаратори. Пара, пройшовши їх, надходить у паровий об'єм барабана і через верхній жалюзійний сепаратор і пароприймальний дірчастий лист прямує з барабана в пароперегрівач. Сепараційні пристрої розташовані зверху барабану котла призначені для відділення крапельок води та розчинених у парі речовин для покращення якості насиченого пару.

Пара з виносних циклонів надходить у барабан під верхній жалюзійний сепаратор. Таким чином, вся пара з барабана в пароперегрівач надходить лише з "чистого відсіку".

Водоопускні труби усіх контурів не обігріваються. Нижні колектори циркуляційних контурів мають дренажні пристрої для періодичної продувки (видалення шламу).

На барабані є штуцера для приєднання водовказівних колонок, приладів автоматики та безпеки, контрольно-вимірювальних приладів, відбору проб води. Середній рівень води в барабані на 50 мм нижче його геометричної осі. На водовказівних приладах цей рівень прийнято за нульовий. Найвищий і нижчий рівень знаходиться на 50 мм вище і нижче від середнього. Для запобігання переживлення котла передбачено трубопровід аварійного зливу води з барабана.

На котлу встановлено конвективний пароперегрівач вертикального типу. Насичений пар із барабану котла відводиться трубами, які закривають стелю топки та горизонтального газоходу. Стельові труби безпосередньо переходять у змійовики першого ступеня пароперегрівача (другий по ходу газів) де він перегрівається за рахунок руху гарячих димових газів, а потім подається у виносний пароохолоджувач поверхневого типу з площею 9,5 м², де охолодження пару відбувається живильною водою яка подається після вузла живлення. Пар після пароохолоджувача поступає у другу ступінь пароперегрівача і далі в парозбірний колектор, а далі поступає в колектор перегрітої пари цеху ЕСЦ.

Технічна характеристика котла та його допоміжного обладнання наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики котла БКЗ-50-39Ф


№ п/п	Найменування величини	Позначення одиниці	Значення величини
1	2	3	4
1	Типи котлів		БКЗ-50-39Ф однобарабанный вертикально- водотрубный середнього тиску
2	Поверхня нагріву: а) повна променевосприймаюча б) фестону	м ² -//-	250 40
3	Паропродуктивність котла	т/год	50
4	Тиск пари в барабані котла	кгс/см ² (МПа)	44 (4,4)
5	Температура перегрітої пари	°С	450
6	Температура живильної води	-//-	105
	Пароперегрівач		
7	Тип		протиточно-прямотковий з фестонуванням
8	Поверхня нагрівання I-ої частини	м ²	160
9	Діаметр трубок пароперегрівача	мм	38x3
10	Поверхня нагрівання II-ої частини	м ²	310
11	Діаметр трубок пароперегрівача	мм	42x3,5
	Пароохолоджувач		
12	Тип		поверхневий виносний
13	Межі регулювання	°С	0 ... 35
	Водяний економайзер		
14	Тип		Киплячий (встановлений у розсічку з повітропідігрівачем)
15	Поверхня нагрівання I-ої частини	м ²	495
16	Поверхня нагрівання II-ої частини	м ²	175
17	Діаметр труб економайзера	мм	32x3
	Повітропідігрівач		
18	Тип		Трубчастий, 3-х ходовий, встановлений у розсічку з економайзером
19	Поверхня нагрівання I-ої частини	м ²	1295

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
20	Поверхня нагрівання II-ої частини	м ²	960
	Топка котла		
21	Тип		Камерна
22	Об'єм камери згоряння	м ³	310
23	Ступінь екранування	%	0,96
	Пальники коксового газу		
24	Тип		трубчаста
25	Кількість на котел	шт.	4
26	Продуктивність	м ³ /год	2500
	Дуттьовий вентилятор		
27	Тип вентилятора		ВД-15,5
28	Продуктивність	м ³ /год	54000
29	Натиск	мм.вд.ст.	146
30	Кількість на котел	шт.	1
31	Число оборотів	об./хв	585
	Димосос		
32	Тип		Д-18
33	Натиск	мм.вд.ст.	191
34	Продуктивність	м ³ /год	92000
35	Кількість на котел	шт.	1
36	Число оборотів	об./хв	535
	Електродвигун вентилятора		
37	Тип		До 2 – АТ2-92-8 До 5 – ГАМ6-115-8
38	Потужність	кВт	55
39	Частота обертання	об./хв	До 2 – 735 До 5 – 730
	Електродвигун димососу		
40	Тип		До 2 - АТ3-3155-873 До 5 – ГАМ6-117-8У2
41	Потужність	кВт	До 2 – 90 До 5 – 80
42	Частота обертання	об./хв	740

Живильна вода що надходить до барабану котла попередньо підігрівається у двухступінчатому водяному економайзері кип'ячого типу. Змійовики економайзера горизонтальні, розташовані паралельно фронту котла у конвективній шахті. Водяний економайзер призначений для зменшенню витрати палива за рахунок попереднього підігріву живильної води, та зменшенню температури відхідних газів.

Рух та видалення димових газів по тракту котла здійснюється за рахунок роботи димососу.



Котел обладнаний чотирма запобіжними клапанами прямої дії. Один клапан встановлений на барабані котла, налаштування спрацьовування по тиску 42кгс/см^2 . Три запобіжні клапани встановлені на вихідному колекторі пароперегрівача 2-го ступеня та налаштовані на спрацювання по тиску $41,2\text{кгс/см}^2$.

1.2 Основні вимоги до технологічного процесу котла


Тиск і температура пару повинні підтримуватися на постійних рівнях, встановлених при проектуванні котлоагрегату, і не повинні залежати від парового навантаження [1]. Метал парових магістралей та екранних труб пароперегрівача піддається особливо важким умовам експлуатації. Підвищення тиску і температури пари понад допустимі значення призведе до збільшення теплового розширення і руйнування металевих поверхонь конструкцій паропроводу.

Підтримувати співвідношення паливо-повітря, яке відповідає найбільш ефективній роботі котла. При зменшеному нагнітанні повітря у топку котла, паливо не буде згорати повністю. Це призводить до зниження ККД котла, перегріву і забруднення поверхонь нагріву, а в подальшому може призвести до зниження тепловіддачі до поверхонь обігріву. Надлишок повітря знижує температуру газів згорання, що, у свою чергу, знижує температуру перегрітої пари.

Стабілізація розрідження в топці котла. Якщо розрідження недостатнє, конвективний теплообмін у топці та димоході погіршиться через низьку швидкість димових газів, а поверхні нагріву будуть заростати залишками незгорілого палива (сажею). Надмірне збільшення розрідження зменшує променистий теплообмін за рахунок швидкого видалення продуктів згорання. Сильне розрідження в печі також може спричинити до відриву полум'я від пальникових пристроїв.

Підтримання рівня води в барабані котла і солоність котлової води постійними в заданих межах. Зниження або підвищення рівня води в барабані істотно знижує ефективність котла і може призвести до виходу його з ладу та пошкодження обладнання споживачів. Якщо рівень підвищиться занадто сильно, ефективність внутрішнього барабанного сепаратора знизиться, що призведе до відкладення солі на поверхнях пароперегрівача. Велике збільшення рівня води в барабані призводить до закиду котлової води в паропроводи що може призвести до механічного пошкодження лопаток парової турбіни генератора. Якщо рівень води в барабані знижується надто сильно, опускні труби не будуть рівномірно заповнені водою, що погіршить їх охолодження. В результаті порушується міцність з'єднання труби з барабаном котла, а також можливе перепалення підйомних труб у топці котла.

Парові котли, як об'єкт автоматизації, мають особливості, що ускладнюють їх автоматизацію. Велика кількість взаємопов'язаних вхідних і проміжних параметрів, наявність великих збурень по споживанню пари споживачами, високі вимоги до точності дотримання



вихідних параметрів і висока швидкість протікання процесів у тракті котла. З урахуванням особливостей технологічного процесу можна виділити наступні групи параметрів:

1) вхідні параметри:

- витрата повітря;
- витрата газу;
- частота обертів димососу;
- витрата пари з барабану;
- витрата води на пароохолоджувач;
- розрідження у топці котла;
- витрата води на котел;
- витрата води на продувку.

2) вихідні параметри:

- концентрація кисню у димових газів;
- витрата перегрітої пари;
- розрідження у топці котла;
- тиск перегрітої пари;
- температура перегрітої пари;
- рівень води у барабані;
- солевміст котлової води.


3) обурюючі впливи:

- калорійність газу;
- підсмоктування повітря;
- зміна парового навантаження зі сторони споживачів.

На схемі «Технологічний процес як об'єкт управління» в додатку А, графічно зображено паровий котел із зазначенням груп вхідних і вихідних параметрів і обурюючих впливів.

Детально розглянемо конкретні зв'язки між кожним вихідним параметром і вхідними параметрами, які на нього впливають, та обурюючі впливи. Паровий котел як об'єкт керування є складною динамічною системою з великою кількістю взаємозалежних вхідних і вихідних змінних.

На концентрацію кисню у димових газах безпосередньо впливає витрата повітря на пальники котла та навантаження димососу. У разі негерметичної кладки обмуровки котла виникають підсмоктування повітря – це обурюючий вплив. Зі зменшенням подачі повітря в котел знижується концентрація кисню. Якщо кількість повітря недостатня, газ згоратиме не повністю. Зі збільшенням подачі повітря концентрація кисню у димових газах зростає. Зменшення навантаження димососу зменшує швидкість руху димових газів це призводить до зміни концентрації кисню. Дефекти кладки або ущільнення призводять до підсмоктування повітря та підвищення концентрації кисню. Крім того, на концентрацію кисню впливає витрата газу. Чим менше газу, тим більша концентрація кисню.



На тиск перегрітої пари на пряму впливає витрата насиченої пари з барабана та витрата газу на котел. Зі зміною витрати пари відповідно змінюється і тиск.

На розрідження в топці котла безпосередньо впливає навантаження на димососі, витрата повітря на пальники котла, обурюючий вплив підсмоктування повітря. Зі зменшенням навантаження димососу розрідження в топці котла зменшується, відповідно при зменшенні подачі повітря на пальники, розрідження в топці збільшується. Якщо в кладці є дефекти, негерметична газохідна труба, буде засмоктуватися повітря, що призведе до зниження розрідження.

На витрату перегрітої пари на пряму впливає не тільки витрата пари з барабана, а й витрата газу. Коли збільшується витрата газу, нагрівання циркуляційних контурів підвищується, і всередині барабана збільшується швидкість утворення пара. Це підвищує тиск і витрату пари від барабана до пароперегрівача. Обурюючий вплив на витрату перегрітої пари з котла це зміна навантаження зі сторони споживачів.

На температуру перегрітої пари безпосередньо впливає витрата води на пароохолоджувач. При зменшенні витрати води через пароохолоджувач температура перегрітої пари зростає, а при збільшенні витрати води температура перегрітої пари навпаки зменшується. На температуру перегрітої пари впливає розрідження в топці котла. При високому розрідженні гарячі гази швидко видаляються, зменшуючи радіаційний теплообмін і знижуючи температуру перегріву пари. Температура перегрітої пари залежить від витрати пари, зі зменшенням витрати температура пари збільшується.

На рівень води в барабані безпосередньо впливає витрата живильної води на котел. Зі зменшенням подачі живильної води на котел зменшується і рівень води в барабані. Зі зміною парового навантаження (споживання пари з барабана) буде змінюватися і рівень води. Зі збільшенням витрати пари тиск у барабані знижується, а рівень води в барабані підвищується за рахунок «ефекту набухання». На рівень води в барабані також впливає витрата кількості води на непереривну та періодичну продувку.

На солоність котлової води безпосередньо впливає витрата води на непереривну продувку, чим вона більша, тим менша концентрація солі у котлової води. Обурюючий вплив для цього параметра не показаний на схемі, оскільки він залежить від багатьох змінних, таких як: якість та ступінь очищення живильної води, частота та кількість введення фосфату та ін.

1.3 Аналіз існуючої системи регулювання технологічних параметрів

Автоматизована систему управління на котлоагрегаті відсутня. Регулювання основних параметрів (крім рівня води в барабані) здійснюється вручну. Досягти економічної роботи котла без урахування

швидких змін технологічного процесу не можливо. Для підвищення економічності, надійності а також безпеки експлуатації пропонується розробка автоматизованої системи керування котлоагрегатом.

Котел БКЗ-50-39Ф обладнаний електронним регулятором живлення водою - Р25. Структурна схема регулювання зображена на рисунку 1.2.

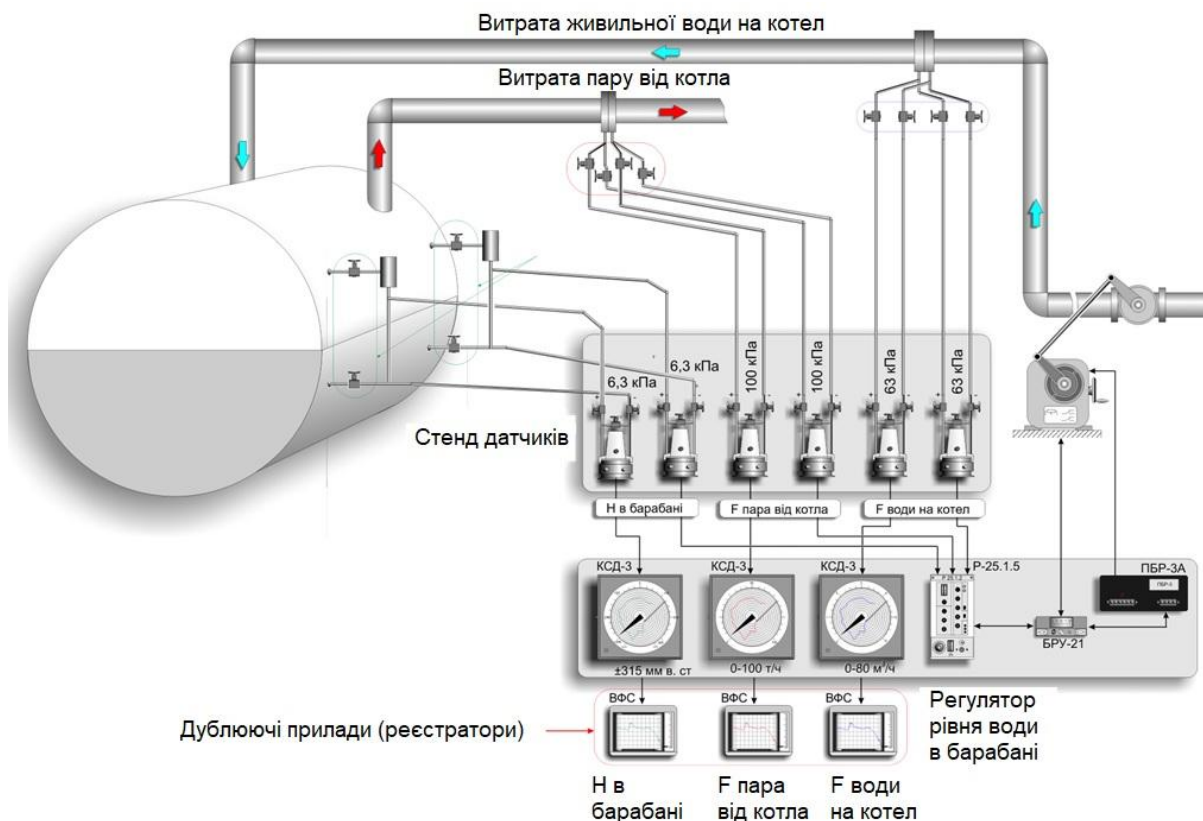


Рисунок 1.2 – Структурна схема існуючої системи контролю та регулювання рівня води в барабані котла

Регулятор живлення 3-х імпульсний. На вхід регулятора надходять сигнали з датчиків по витраті живильної води, рівня води в барабані та витрати перегрітої пари з котла. Сигнал по витраті пари та витраті води на котел в регулятор надходять з протилежними знаками, та у сталому режимі компенсують один одного. Сигнал по рівню води компенсує сигнал по завданню. При різкій зміні навантаження зі сторони споживачів різко змінюється сигнал по витраті пари на вході в регулятор, в свою чергу, регулятор пропорційно змінює витрату живильної води на котел, не чекаючи зміни рівня в барабані. Сигнал по рівню в барабані необхідний для точного підрегулювання рівня, виключаючи статичну помилку.

Сформований вихідний сигнал з регулятора надходить в блок ручного керування (БРУ-21) де відбувається вибір ручного/автоматичного режиму. При ручному режимі сигнал керування надходить з кнопок на панелі, а при автоматичному режимі сигнал

напряму йде з регулятора. Далі сигнал керування з БРУ надходить до безконтактного реверсивного пускача. Сформований трьох фазний сигнал подається на виконавчий пристрій (МЕО) який керує заслінкою клапану подачі води встановлений на вузлі живлення. Також для відслідковування положення використовується сигнал 0-10В з блоку встановленому на виконавчому механізмі.

Для регулювання та для реєстрації технологічних параметрів використовуються окремі датчики.

Для виміру та реєстрації витрати живильної води, витрати пару, рівня води в барабані використовуються індуктивні датчики ДМІ. Вихідний сигнал 0-10 мГн з датчиків подається на вторинні прилади – паперові реєстратори КСД-3 та ВФС.

Вимірювання температурних параметрів відбувається за допомогою термопар (ТХК), для відображення використовуються вторинні прилади КСП-3.

Температура перегрітої пари регулюється вручну за допомогою клапану, який подає частину живильної води в водяний економайзер через пароохолоджувач. Для контролю тиску повітря та розрідження в топці використовуються датчики ДМІ та вторинні прилади КСП-3. Перелік вимірюваних параметрів та використовуваних датчиків представлений у таблиці 1.2.

Регулювання подачі повітря на пальники відбувається за рахунок направляючих апаратів встановлених перед пальниками, та змінюючи навантаження на частотному перетворювачі дуттьового вентилятору.

Розрідження у топці котла регулюють за допомогою шибери, та змінюючи навантаження частотного перетворювача димососу.

Регулювання парового навантаження відбувається в ручну за допомогою регулюючого клапану. Сигнал на клапан подається з місцевого пульта керування з блоку ручного керування БРУ-21.

Таблиця 1.2 – Перелік вимірюваних параметрів та використовуваних датчиків

Аналогові датчики				
№ п/п	Параметр	Модель	Діапазон	Сигнал
1	2	3	4	5
1	Витрата перегрітої пари	Датчик диференційного тиску ДМ3583	0...5000 мбар	0-10 мГн
2	Тиск перегрітої пари	Датчик тиску МЕД 22364	0...63 бар	0-10 мГн
3	Температура перегрітої пари	Термопара ТХК	-40...1000°C	мВ


Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
4	Температура пари до пароохолоджувачів	Термопара ТХК	-40...1000°C	мВ
5	Температура пари після пароохолоджувачів	Термопара ТЖК	-40...1000°C	мВ
6	Тиск насиченої пари	Датчик тиску МЕД 22364	0...63 бар	0-10 мГн
7	Витрата поживної води	Датчик диференційного тиску ДМ3583	0-1600 бар	0-10 мГн
8	Тиск поживної води	Датчик тиску МЕД 22364	0...63 бар	0-10 мГн
9	Температура живильної води	Термопара ТХК	-50...400°C	0-10 мГн
10	Тиск поживної води перед трактом	Датчик тиску ДМ3583	0...63 бар	0-10 мГн
11	Рівень води у барабані 3 шт.	Датчик диференційного тиску ДМ3583	0-250 мбар	0-10 мГн
12	Витрата коксового газу	Датчик диференційного тиску ДМ3583	0-20 мбар	0-10 мГн
13	Витрата повітря на котел	Датчик диференційного тиску ДМ3583	0-20 мбар	0-10 мГн
14	Тиск повітря після вентилятора	Датчик тиску МЕД 22364	1...50 мбар	0-10 мГн
15	Розрідження в топці	Датчик тиску МЕД 22364	1...1 бар	0-10 мГн
16	Розрідження перед димососом	Датчик тиску МЕД 22364	1...50 мбар	0-10 мГн
17	Температура димових газів трактом	Термопара ТХК	-40...600°C	мВ
20	Тиск коксового газу	Датчик тиску МЕД 22364	0...250 мбар	0-10 мГн

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
21	Положення клапану по воді	Блок реєстрації положення у МЕО	0-100%	4-20мА
22	Положення клапану по газу	Блок реєстрації положення у МЕО	0-100%	4-20мА
23	Положення шибера подачі повітря	Показчик по місту	0-100%	-
24	Положення шибера перед димососом	Показчик по місту	0-100%	-
25	Положення клапану витрати води на пароохолоджувач	Показчик по місту	0-100%	-
26	Положення клапану безперервної продувки	Показчик по місту	0-100%	-
Дискретні датчики				
27	Датчики наявності полум'я 4 шт.	УКФ 2 М	-	0 або 1
28	Тиск коксового газу	Датчик-реле тиску ДН-40	2-10 мбар	0 або 1
29	Рівень води в барабані (знижений)	Диференціальний Манометр дсп-4сг-м1	0-500 мм.в.ст.	0 або 1
30	Рівень води в барабані (збільшений)	Диференціальний Манометр дсп-4сг-м1	0-500 мм.в.ст.	0 або 1
31	Кнопка «Аварійний стоп»	КЕ 011	-	0 або 1
Дискретні виконавчі механізми				
32	«Більше» на вм подачі води	МЕО	-	0-380 В
33	«Більше» на вм клапану по газу	МЕО	-	0-380 В
34	Відсічний клапан газу	ПКЕН(В)-200	-	0-220 В
35	Дзвінок «Сигналізація»			0 або +24В

Основною проблемою у технологічному процесі даного котла, є те що керування основними параметрами (крім рівня води в барабані), проводиться в ручну, без урахування швидких змін технологічних процесів. Завдяки цьому не можливо досягти економічної роботи котлоагрегату.



Підтримання температури перегрітої пари є одним із найважливіших завдань в системах автоматизації котла. До основних факторів забезпечення точного підтримання температури перегріву пари відносять:

- метал екранних труб та магістралей пароперегрівача знаходиться в особливо важких умовах роботи, великі температури можуть призводити до руйнування теплообмінних конструкцій котла та паропроводів;

- при збільшенні температури пари надійність роботи парових турбін залежить від допустимого граничного розширення їх елементів;

- зниження температури перегрітого пара знижує ККД котла та енергосилових установок в цілому, велике зниження температури перегрітої пари призводить до підвищення вологості пара в останніх ступенях турбіни і як наслідок до ерозії лопаток ротора турбіни, збільшення питомої витрати пару, і навіть до аварійних зупинок турбоагрегатів.

Відповідно до технологічної інструкції котла необхідно підтримувати температуру перегрітої пари з відхиленням від нормальної у межах $\pm 5^{\circ}\text{C}$.


Другим найважливішим завданням є регулювання тиску перегрітої пари. Пар використовується для вироблення електроенергії, та для технологічних потреб підприємства. Генерацію електроенергії необхідно підтримувати на постійному рівні для виконання договірних зобов'язань перед споживачами та власних потреб. Для виконання цього необхідно підтримувати постійний тиск пари перед турбіною генератору, незважаючи на збурення по витраті пари на технологію (зміни навантаження підігріву бензольних колон, спрацювання систем пароінжекції на коксових батареях та ін.).

1.4 Літературний огляд наукових досліджень та технічних рішень автоматизації котлоагрегатів

У роботі [2] авторами розглядається модель класичної САР підтримання тиску пари в барабані котла в умовах дії збурень. Для підвищення динамічної точності регулювання пропонується модель в якій параметр витрати пари розглядається як контрольоване збурення.

Для підвищення якості регулювання парового навантаження авторами статті [3] розглядається каскадна схема регулювання де однією з ланок зворотного зв'язку використовується внутрішня модель об'єкта, це дозволило зменшити час перехідних процесів на понад 10 % при зменшенні перерегулюванні при зміні завдання більше, ніж в 3 рази.

У статті [4] були порівняні три методи управління теплого навантаження: звичайний ПІ-регулятор, нечіткий логічний (FL)-регулятор та нечіткий пропорційно-інтегральний (FGPI)-регулятор з передбаченням коефіцієнта посилення. Порівняння параметрів контролера показує, що перерегулювання та час встановлення контролера FGPI краще, ніж у інших.



У статті [5] розглядається застосування методу керованими даними, для регулювання температури пари. Для зменшення коливань температури пари було впроваджено метод на основі довгострокової та короткострокової пам'яті (LSTM), що дозволяє моделювати динаміку зміни температури пари. Авторами було запропоновано удосконалений контролер, який поєднує динамічну модель на основі LSTM з архітектурою управління, що базується на передбаченнях моделі (model predictive control, MPC). Запропонований метод показав високу ефективність у стабілізації температур пари під час перехідних процесів при широкому діапазоні змін навантаження.

В роботі [6] розглядається принципи побудови керування котлом з використанням класичних ПІД регуляторів, проводиться аналіз недоліків регулювання при перехідних процесах. У роботі пропонується використовувати методи керування на основі нечіткої логіки, для ведення роботи котла в автоматичному режимі.

Автори робіт 2-6 приділили основну увагу регулювання тиску та температурі перегрітого пару, однак слід відмітити що регулювання цих параметрів безпосередньо залежить від стабілізації в автоматичному режимі наступних параметрів рівня води в барабані котла та концентрації кисню у димових газах.

Автори Рура А.С., Тарахтій О.С. [7] розглядають методи підвищення ефективності роботи регулятора рівня в барабані котла. Серед методів пропонується об'єднання методів нечіткого регулятора з неймережею. Слід зауважити що використання такої системи дає кращу стабільність, та більш швидкий відгук системи в порівнянні зі звичайним ПІД-контролером.

Питання економічності процесу горіння у топичній камері котла розглянуто в роботі [8]. Авторами пропонується контролювати мікроконцентрації хімічного недопалу у димових газах – оксиду вуглецю CO, який має високу чутливість до процесу спалювання і майже не чутливий до підсосів повітря у газовому тракті.


1.5 Постановка завдань на проектування

Для досягнення поставленої мети підвищення ефективності процесу керування вироблення пари в котлоагрегаті БК350-39Ф шляхом розробки системи автоматичного керування тиску та температури перегрітої пари необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз технологічного процесу виробництва пари, з метою обґрунтування доцільності модернізації системи автоматичного керування котлом;

- визначити основні регульовані та керуючі параметри для автоматизації технологічного процесу пароутворення у котлу;

- розробка математичних моделей контурів регулювання котла, як об'єкта керування;

- 
- здійснити вибір технічних засобів автоматизації та розробити технічну структуру системи керування котлом;
 - розробка електричних схем підключення засобів автоматизації до модулів станції програмованого логічного контролера;
 - розробка алгоритмів керування, що забезпечують підвищення ефективності функціонування та динамічної точності стабілізації регульованих змінних у часі технологічних параметрів пароутворення;
 - побудова графічного інтерфейсу автоматизованого робочого місця оператора котельні на базі SCADA-системи;
 - розробка програмного забезпечення реалізації алгоритмів цифрового керування технологічним процесом пароутворення у котлу;
 - обґрунтування економічної доцільності та інвестиційної привабливості розробки, аналіз питань техніки безпеки та охорони праці при експлуатації котла.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

2.1 Загальні вимоги до системи автоматизації котла

Перед запуском котла система повинна здійснювати:

- діагностику технологічного обладнання (наприклад датчиків тиску живильної води, датчиків рівня води в барабані, термопари);
- перевірити дію теплового захисту та блокування;
- справність виконавчих механізмів.

При запуску котла система повинна забезпечувати:

- перевірку герметичності трубопроводів та керуючої арматури подачі коксового газу;
- заповнення живильною водою циркуляційної системи до необхідного рівня води у барабані котла;
- ввімкнення в роботу димососу та дуттьового вентилятора, перевіряти створення необхідного тиску повітря перед пальниками, та необхідного розрідження у топці котла;
- вентилювати топку котла у визначених межах часу;
- відкриття головної газової засувки при закритих засувках на пальники, заповнення газом газопроводів до пальників;
- продування газом газопроводів через відкриті свічки у межах визначеного часу;
- провести перевірку спрацювання головного запобіжного запірною клапану (ПЗК);
- перевірити щільність закриття ПЗК так запірної арматури перед пальниками;
- перед початком розпалу активувати технологічний захист;
- розпалення пальників;
- плавний вивід котла на робочі параметри.


При роботі котла в основному режимі система повинна забезпечувати контроль та регулювання:

- рівня води в барабані;
- температури перегрітої пари;
- тиску перегрітої пари;
- розрідження в топці;
- співвідношення паливо/повітря.

При зупинці котла система повинна забезпечувати:

- плавне зниження парового навантаження;
- відключення котла від парової магістралі;
- припиняти подачу палива;
- припиняти подачу повітря на пальники;
- підтримувати розрідження для вентилювання топки;
- після вентилювання топки зупиняти димосос.

Для запобігання пошкодження котлоагрегату та допоміжного обладнання в результаті порушення технологічного процесу внаслідок



значного відхилення параметрів від нормальних система керування повинна ініціювати спрацювання захисту для закриття керуючої арматури, припиненню подачі коксового газу на пальники. Система захисту спрацьовує відповідно до наступних критичних параметрів:

- підвищеному або збільшеному рівню води в барабані;
- зниженому або підвищеному тиску коксового газу;
- припиненню подачі повітря на пальники;
- підвищеному тиску у барабані котла;
- збільшеної або зменшеної температури перегрітої пари;
- зупинки димососу;
- погасання факелу;
- вихід з ладу датчиків на критичних параметрів;
- припиненню подачі напруги та несправності ланцюгів захисту.

2.2 Розробка функціональної схеми автоматизації котла

З огляду на функції, які покладаються на систему управління, дозволяє зробити висновок, що для забезпечення збору даних про параметри технологічного процесу котельний агрегат та його технологічне обладнання повинні бути оснащені датчиками, а для регулювання параметрів — виконавчими механізмами. Для обробки значень контрольованих параметрів, виконання регулюючих функцій формування керуючих впливів та виявлення позаштатних ситуацій необхідний обчислювальний пристрій – контролер. Контролер виконує функції з регулювання порівнюючи отримані значення параметрів із заданими уставками, які відповідають нормальному ходу процесу.

На основі результатів порівняння регулятор генерує керуючі впливи на виконавчі механізми для корекції відхилень та відновлення значень параметрів до нормального рівня.

Для оснащення датчиками та виконавчими механізмами котлоагрегата та технологічного обладнання потрібно скласти перелік вимірюваних параметрів з визначенням діапазонів вимірювання, мінімальних та максимальних значень параметрів для нормального перебігу технологічного процесу та аварійного. Для вибору виконавчих механізмів необхідно скласти перелік параметрів якими потрібно керувати, та виконувати регулювання. Далі необхідно сформулювати схему керуючих впливів на виконавчі механізми від впливу системи при зміні технологічних параметрів які вимірюються датчиками, коли ці параметри виходять за встановлені межі. Після формування переліку вхідних та вихідних сигналів, схеми формування керуючих впливів можна розробити алгоритм роботи системи. Із переліку вимірюваних параметрів легко визначити склад і типи датчиків (аналогові, дискретні) а із схеми керуючих впливів типи виконавчих механізмів.

Як було визначено раніше для управління технологічними процесами САР котла повинна включати такі регулятори тиску пари,

рівня води в барабані, температури перегрітої пари, розрідження в топці, співвідношення паливо/повітря.

Функціональна схема регулювання температури перегрітої пари представлена на рисунку 2.1.

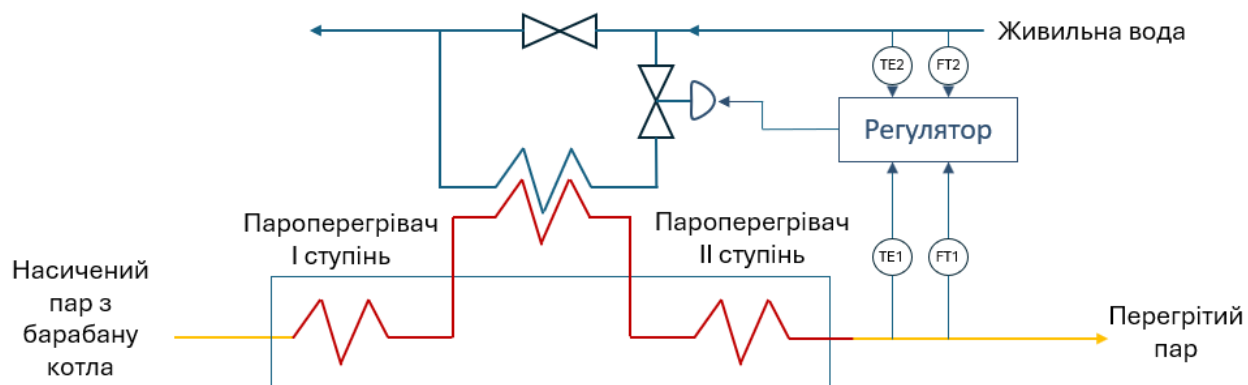


Рисунок 2.1 – Функціональна схема регулювання температури перегрітого пару

Підтримка температури пари здійснюється регулюванням подачі частини живильної води на пароохолоджувач за допомогою регулюючого клапану. Сигнал для клапану формує регулятор на вхід якого надходять сигнали заданої температури, температури перегрітого пару, а також витрата пару та температура живильної води.

Функціональна схема регулювання співвідношення паливо/повітря представлена на рисунку 2.2.

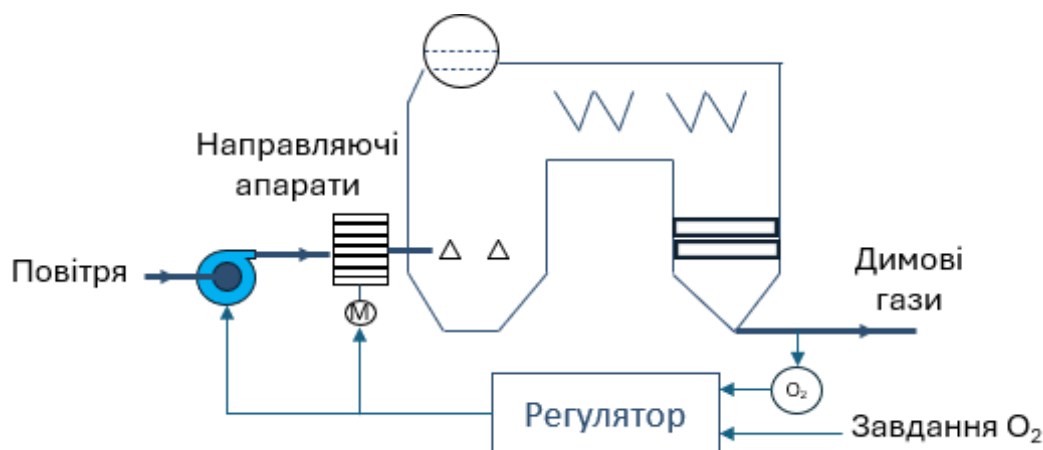


Рисунок 2.2 – Функціональна схема регулювання співвідношення паливо/повітря

Підтримка співвідношення паливо/повітря здійснюється регулюванням подачі повітря на пальники за допомогою регулюючого направляючого апарату та зміни навантаження дуттьового вентилятору.

Сигнал керування навантаженням вентилятору та ступінь відкриття направляючого апарату формує регулятор на вхід якого надходять сигнал заданої концентрації O_2 , та вимірної концентрації O_2 у димових газів.

Функціональна схема регулювання рівня води в барабані котла представлена на рисунку 2.3.

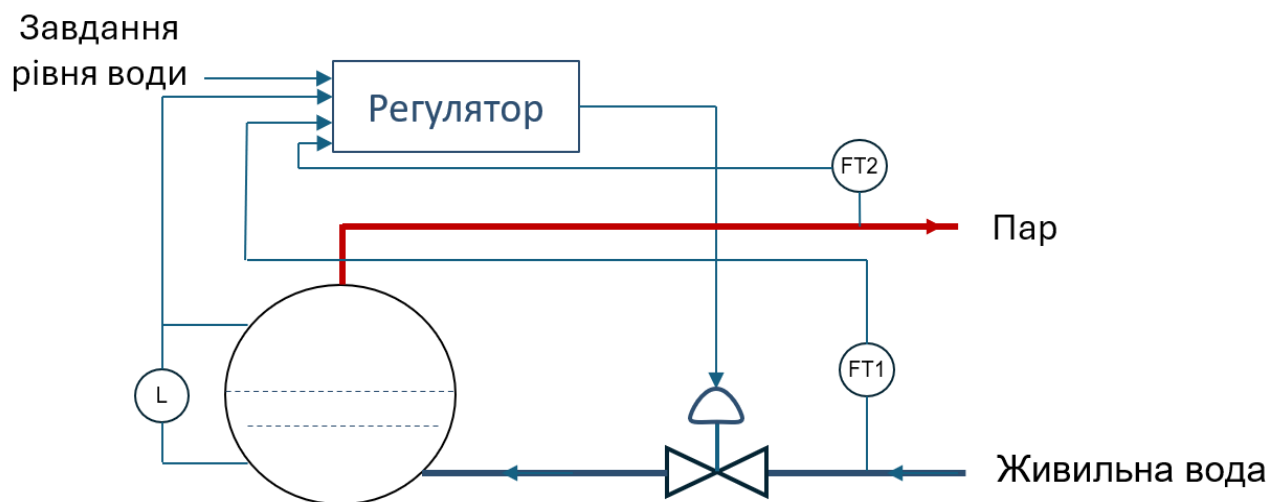


Рисунок 2.3 – Функціональна схема регулювання рівня води в барабані

Підтримка рівня води в барабані котла здійснюється за рахунок регулюючого клапану подачі живильної води. Сигнал керування клапану надходить від регулятора, на вхід регулятора подається три сигнали – по витраті пару з котла, по витраті живильної води на котел, сигнал по рівню води в барабані та сигнал заданого рівня. У стаціонарному режимі сигнал по витраті пари компенсує сигнал по витраті води, а сигнал по рівню компенсує сигнал по завданню. При зміні парового навантаження регулятор пропорційно змінює витрату води, не чекаючи зміни рівня води в барабані, сигнал по рівню води точно доводить рівень до заданого.

Функціональна схема регулювання рівня води в барабані котла представлена на рисунку 2.4.

Підтримка тиску пари здійснюється регулюванням подачі газу на пальники за допомогою регулюючих клапанів. Сигнал керування для клапанів по газу формує регулятор на вхід якого надходять сигнал заданого тиску пари, та заданого значення тиску пари.

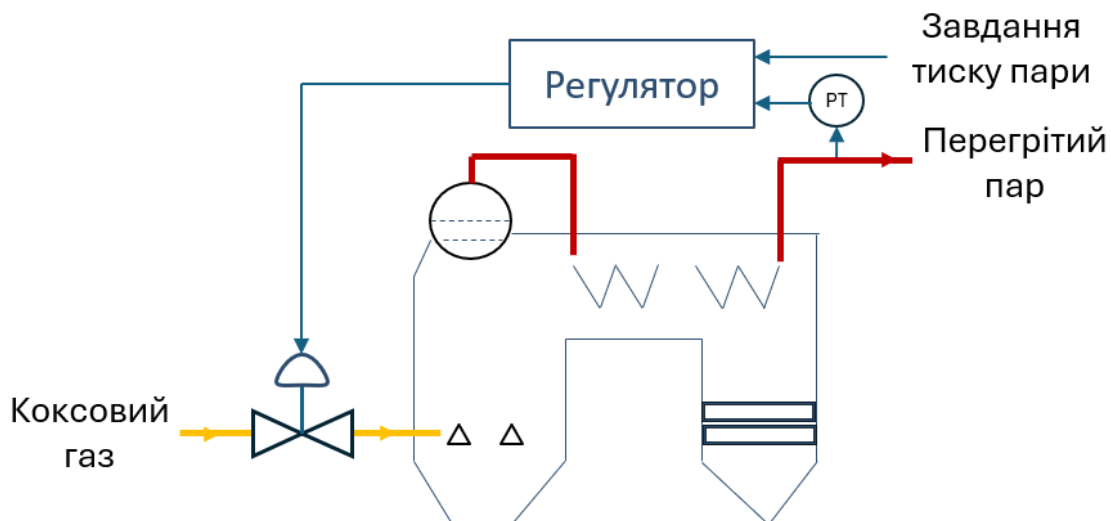


Рисунок 2.4 – Функціональна схема регулювання тиску пари

Функціональна схема регулювання розрідження в топці котла представлена на рисунку 2.5.

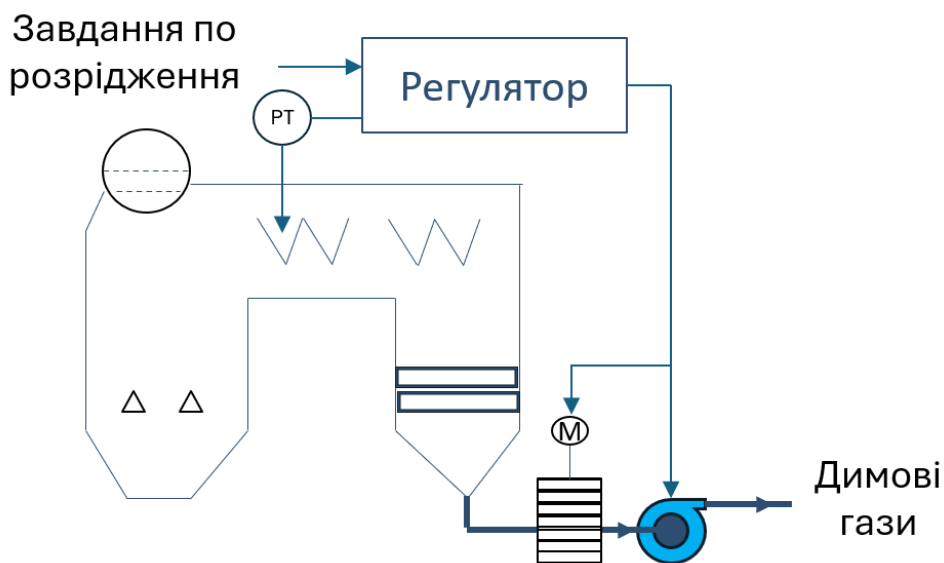



Рисунок 2.5 – Функціональна схема регулювання розрідження в топці котла

Підтримка розрідження в топці котла здійснюється регулюванням подачі повітря на пальники за допомогою регулюючого шиберу перед димососом та зміни навантаження димососу. Сигнал керування навантаженням вентилятору та ступінь відкриття шиберного апарату формує регулятор на вхід якого надходять сигнал заданого значення розрідження, та вимірного розрідження у топці котла.

Після проведеного аналізу була розроблена загальна схема автоматизації котла, яка приведена на кресленні «Схема автоматизації» та на рисунку 2.6.




Розроблена функціональна схема автоматизації дозволяє здійснити обґрунтований вибір засобів контролю та регулювання технологічними параметрами процесу пароутворення у котлу.

2.3 Обґрунтування технічних рішень автоматизації котла

Для забезпечення надійної роботи котла, контролювання найважливіших параметрів необхідно використовувати дублювання точок вимірювання, при виході з ладу одного з датчиків, технологічний процес можливо контролювати резервними датчиками, без аварійної зупинки. Один із найважливіших параметрів котла є рівень води у барабані. Для контролю та регулювання рівня води у барабані використовується 3 датчики LT1, LT2, LT3. Один з датчиків використовується для вимірювання, другий у схемі регулювання, третій датчик резервний. У програмі верхнього рівня передбачається можливість обирати один з трьох датчиків у схемі регулювання в разі виходу з ладу одного із датчиків. Ці датчики встановлені на рівномірних колонках котла. Регулювання рівня води в барабані відбуваються за допомогою регулюючого клапану YM20 подачі води. Параметри живильної води яка подається на котел вимірюється відповідними датчиками – тиск PT15 (встановлений у приміщення КВП), температура - датчик TE7 встановлений по місту на колекторі подачі води, витрата води вимірюється на витратомірній шайбі датчиком перепаду тиску FT4 (приміщення КВП). Контроль за температурою живильної води після економайзера здійснюється термометром опору TE6 встановлений на трубопровід по місту. Тиск пароводяної суміші в барабані контролюється двома датчиками PT5, PT6. При виникненні перепитки котла водою та недопущенню попадання котлової води в паропровід знизу барабану котла встановлений клапан YMZ10 аварійного скидання надлишку води у барабані.

Регулювання розрідження у топці котла, у разі коли димосос працює напряму від мережі, відбувається за допомогою шибєрного пристрою – виконавчий механізм YM21. Зворотній зв'язок по розрідженню у топці надходить від двох датчиків PT7 та PT8. Датчики встановлені у приміщенні КВП. Завдання для регулятора встановлюється оператором у межах від -25 до -35 мм.вд.ст. відповідно до режимної карти котла. При роботі димососу від перетворювача частоти (ПЧ) шибєрний пристрій YM21 відкривається повністю, а регулювання розрідження здійснюється за рахунок зміни навантаження ПЧ. Для контролю за цілісністю кладки котла, підсосами повітря, наростами на змійовиках повітряпідігрівача економайзера та пароперегрівача встановлений датчик PT16 (приміщення КВП), для вимірювання розрідження перед димососом.

Повітря для горіння на котел нагнітається за допомогою дуттьового вентилятора MB1. Перед повітряпідігрівачем вимірюється температура повітря датчик TE9 встановлений по місту, тиск повітря PT17




(приміщення КВП) та витратомірна шайба, за допомогою датчика перепаду тиску FT5 (приміщення КВП), вимірюється витрата повітря на котел. Параметри підігрітого повітря вимірюються за допомогою датчика температури TE4 встановленого по місту, та датчика тиску PT13 (приміщення КВП), далі повітря надходить у направляючі апарати кожного пальника.

Відповідно до технологічної інструкції котла при пуску із «холодного» стану коли температура поверхонь нагріву близька до температури навколишнього середовища, для рівномірного розігріву топки спочатку розпалюються пальники BS1 та BS3 та гріються у продовж 30 хвилин, а потім розпалюються пальники BS2 та BS4. Тому керування кожним пальником необхідно робити окремо, як по подачі газу так і подачі повітря. Тому у схемі автоматизації кожен направляючий апарат по подачі повітря на пальник керується окремо. Для пальника BS1 положення шиберів апарату контролюється датчиком YM9, тиск повітря перед пальником датчиком PT9 (приміщення КВП), для пальника BS2 положення шиберів апарату контролюється датчиком YM11, тиск повітря перед пальником датчиком PT10 (приміщення КВП), для пальника BS3 положення шиберів апарату контролюється датчиком YM14, тиск повітря перед пальником датчиком PT11 (приміщення КВП), для пальника BS4 положення шиберів апарату контролюється датчиком YM15, тиск повітря перед пальником датчиком PT12 (приміщення КВП). Після розігріву котла і включення його у парову магістраль, регулювання подачі повітря на пальники відбувається одночасно направляючими апаратами кожного пальника, при роботі дуттьового вентилятора напряму від мережі. При роботі дуттьового вентилятора через перетворювач частоти (ПЧ), направляючі апарати відкриваються повністю, а подача повітря регулюється завданням навантаження на ПЧ.

Для регулювання співвідношення паливо/повітря у димових газів регулюється подача повітря на пальники. Контроль за концентрацією кисню у димових газах проводиться датчиком Q11, встановленим по місту у вертикальному газоході.

Коксовий газ на котел подається через витратомірну шайбу де за допомогою датчика перепаду тиску FT1 (встановленого в приміщенні КВП) вимірюється його витрата. Газ подається далі через головний запобіжний запірний клапан YMZ1, сигнал контролю положення клапану дискретний. В робочому режимі він перекриває подачу газу на пальники при спрацюванні системи захисту котла. Далі через ручну запірну арматуру яка призначена для відсікання подачі газу при проведенні технічного обслуговування трубопроводів, пальників регулюючої арматури, газ подається на відсічну запірну арматуру відповідно кожного пальника YMZ6, YMZ7, YMZ8, YMZ9 (сигнал контролю положення дискретний) і далі подається на регулюючу арматуру YM1, YM2, YM5, YM6 призначену для точного регулювання тиску перед пальниками. Сигнал контролю положення аналоговий. При розпалі пальників та




робочому режимі ручна арматура відкрита. На газопроводах встановлені продувні свічки (CB1, CB2, CB3, CB4) які призначені при пуску котла для заповнення газом трубопроводів – вивільнення залишку кисню з газопроводів, а при зупинці котла для вентилявання трубопроводів від залишку газу. Керування продувними свічками виконано відсічною запірною арматурою YMZ2, YMZ3, YMZ4, YMZ5, сигнал контролю положення арматури дискретний.

При пуску котлу розпал основних пальників відбувається за допомогою запальних пристроїв, встановлених на кожному пальнику. подача газу на запальні пристрої проводиться через запірну арматуру YM3, YM4, YM7, YM8. Керування запірною арматурою виконує автомат керування пальником IFD258. Цей пристрій проводить внутрішню схему діагностики, діагностику датчика наявності полум'я UVS 10. Через витримку часу проводиться перевірка на сторонні випромінювання. Якщо несправності не виявлено відбувається подача напруги на запірну арматуру та запальні трансформатори, відбувається розпал запальника. наявність полум'я запальника контролюється фотодатчиком UVS 10. Після цього починається відлік часу безпеки для перевірки надійності горіння запальника. При успішній перевірці автомат безпеки дає сигнал дозволу до розпалу основних пальників. Відбувається відкриття запірних клапанів YMZ6, YMZ7, YMZ8, YMZ9, та при-відкривання регулюючих клапанів YM1, YM2, YM5, YM6, проходить запал основних пальників. подача газу на запальники припиняється. Контроль за полум'я продовжується фотодатчиками UVS 10. При погасанні одного із факелу автомат безпеки закриває подачу газу на основні пальники.

Регулювання температури перегрітої пари відбувається за рахунок подачі частини живильної води на виносний пароохолоджувач, через регулюючий клапан YM18 та підпірний клапан YM19. Ці клапани пов'язані між собою для витримки балансу живлення котла водою. Коли температура пари починає зростати клапан YM18 починає відкриватися більше, а клапан YM19 прикривається, втрата води збільшується через пароохолоджувач. І навпаки коли температура пари знижується клапан YM18 прикривається, а клапан YM19 відкривається більше, витрата живильної води на котел через пароохолоджувач зменшується. Температура перегрітої пари вимірюється термопарою TE2 встановленою по місту на паропроводі, сигнал з датчика слугує зворотнім зв'язком для регулятора. Температура води після пароохолоджувача контролюється термометром опору TE3. Витрата води на пароохолоджувач вимірюється на витратомірній шайбі датчиком перепаду тиску FT3 (приміщення КВП).

Параметри перегрітої пари контролюються відповідними датчиками – витрата пари вимірюється на витратомірній шайбі датчиком перепаду тиску FT2 (приміщення КВП), температура вимірюється термопарою TE2 встановленою на паропроводі, тиск пари вимірюється датчиком PT19 (приміщення КВП). На паропроводі перегрітої пари встановлений



запобіжний клапан YMZ11, який спрацьовує у разі підвищення тиску пари до аварійної межі, відповідно стан його положення повинен контролюватися системою. Для контролю найважливіших параметрів технологічного процесу, паралельно з системою керування планується встановлення відеографічного реєстратора, який буде дублювати виміряні параметри, які необхідні для безпечної зупинки котлу, у разі виходу з ладу автоматизованої системи.

2.4 Алгоритмічне забезпечення сигналізації та теплового захисту котла

Тепловий захист котлоагрегату призначений для запобігання руйнування або пошкодження його та обладнання при порушенні технологічного процесу внаслідок значного відхилення параметрів від нормальних. Захист діє на закриття запірної арматури. На котлі встановлена технологічна попереджувальна сигналізація, має призначення сповістити обслуговуючий персонал, про відхилення параметрів від нормально допустимих, які можуть призвести до пошкодження обладнання або аварійного зупинення котла. Схема блокування забороняє неправильну послідовність в операціях чергового персоналу під час пуску, зупинки або ведення режиму роботи котла, які можуть призвести до пошкодження або аварійної зупинки котла.

Вставки спрацьовування попереджувальної сигналізації:


- тиск газу до пальників менше 100 мм.вд.ст;
- тиск газу до пальників понад 1000 мм.вд.ст;
- рівень води в барабані менший - 50мм;
- рівень води у барабані більше + 100мм;
- тиск у барабані більше 40 кгс/см²;
- температура пари від котла менше 410°C;
- температура пари від котла понад 445°C;
- від датчиків факела про відсутність факела увімкненого пальника.

Під час спрацьовування попереджувальної сигналізації вмикається звуковий сигнал і миготлива світлова сигналізація на пульті керування котлом.

У системі теплового захисту котла передбачені такі уставки:

- захист за рівнем у барабані менше -100мм;
- захист за рівнем у барабані більше 150мм;
- захист тиску газу менше 50 мм.вд.ст;
- захист тиску газу більше 1200 мм.вд.ст;
- захист за температури пари від котла менше 370°C;
- захист за температури пари від котла більше 455°C;
- захист погасання факела в топці;
- захист від вимкнення димососа або вентилятора.

У системі керування котлом повинні бути передбачені такі блокування:

- 
- блокування між дуттьовим вентилятором та головною газовою засувкою з електроприводом на газопроводі до котла, тобто неможливо виконати подачі газу на пальники без включення дуттьового вентилятора;
 - при відключенні димососа повинен вимикатися дуттьовий вентилятор;
 - відкриття вентиля аварійного зливу води з барабана котла при рівні +100 мм;
 - закриття вентиля аварійного зливу води при відновленні рівня – 50 мм.

Під час спрацювання будь-якої уставки захисту або натискання кнопки «Зупинка котла» повинна припинятися подача палива на котел. При цьому вмикається звукова сигналізація, безперервно світиться світлова сигналізація. Повинен спрацювати запобіжний запірний клапан YMZ1 відбудеться припинення подачі газу, після чого закриється головна парова засувка (ГПЗ) YM17 та засувки на паливо проводах до пальників YMZ6, YMZ7, YMZ8, YMZ9, сформується сигнал "Зупинка котла".

Під час пуску котла тепловий захист вводиться послідовно щоб не запобігати процесу пуску, коли технологічні параметри ще не вийшли на робочий режим. Основний алгоритм введення/виведення захисту:

- 1) захист за рівнем води в барабані вводиться при досягненні середнього рівня в барабані під час розпалу котла. Вимикається під час зупинки при закритих засувках на живильній лінії;
- 2) захист по тиску коксового газу вводиться перед розпалюванням пальників, після проведення вентиляції топки. Вимикається під час зупинки котла та при закритті головної газової засувки на газопроводі до котла;
- 3) захист за температурою перегрітої пари від котла вводиться після прийняття 30% навантаження котла та увімкнення автоматичного регулятора температури. Вимикається при зупинці котла та при закритому положенні головної парової засувки;
- 4) захист від згасання факела, вводиться відразу після розпалу будь-якого пальника. Вимикається при зупинці котла за відсутності факела в топці.

Введення та виведення захистів проводиться вручну операторами котлу.

Тепловий захист повинен бути увімкнений постійно під час роботи котла. Тепловий захист виводиться із роботи тільки в наступних випадках:

- на час проведення теплотехнічних випробувань;
- при наявності несправності у схемі захисту. Після проведення ремонту, тепловий захист вводиться в роботу;
- для проведення періодичної перевірки системи захисту.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Вибір засобів автоматизації

Розроблена функціональна схема автоматизації забезпечує можливість вибору засобів контролю та управління технологічними параметрами парового котла, враховуючи його технічні характеристики.

За допомогою стандарту АСУТП [9] та мережі Internet, обираємо первинні датчики та перетворювачі, виходячи з необхідних діапазонів. Сформований перелік наведено у таблиці Б.1.


Вимірювання диференційного тиску (для виміру витрати) та надлишкового тиску обираємо датчики тиску серії P320 від Siemens. Ці датчики призначені для промислового використання, зокрема в хімічній промисловості та енергетиці. Вони здатні працювати в екстремальних умовах, таких як підвищені температури, і забезпечують високу точність вимірювань до 0,065%. Датчики можуть бути налаштовані локально за допомогою вбудованих кнопок або дистанційно через HART-протокол. Завдяки малому часу відгуку до 105 мс, вони оперативно реагують на зміни в технологічному процесі. Для використання в газовій промисловості датчики оснащені іскробезпечним електричним колом та вибухозахищеним корпусом [10].

Для вимірювання розрідження у топці котла обираємо датчики серії SmartLine STG73L від HONEYWELL. Вони мають широкий діапазон вимірювання від -1 бар до 1 бар та оснащені вбудованим температурним сенсором для компенсації, що забезпечує високу точність вимірювань. Завдяки малому часу відгуку до 100 мс, датчики оперативно реагують на зміни в технологічному процесі. Налаштування можливе як локально за допомогою вбудованого трьох-кнопочкового інтерфейсу, так і дистанційно через HART-протокол [11].

Для вимірювання температури ми застосовуємо термопари та термометри опору Siemens SITRANS серії TS500 з уніфікованим перетворювачем сигналу 4-20 мА. Ці прилади призначені для промислового використання і можуть працювати в жорстких умовах, таких як високі температури. Для роботи у газовій промисловості вони оснащені іскробезпечною схемою, вибухозахищеним корпусом і мають клас захисту IP68. Модульна структура дозволяє змінювати датчики та перетворювачі без зупинки роботи [12].

Для вимірювання вмісту кисню в димових газах обираємо високотемпературний цирконієвий аналізатор вологості та кисню Yokogawa ZR-202G-100. Цей аналізатор оптимізує процес горіння в котлах та промислових печах [13].

Для контролю за горінням факела у топці котла обираємо датчики UVS 10. Сенсор датчика вловлює ультрафіолетовий спектр випромінювання полум'я та не реагує на сонячне світло, світло електричних ламп або інфрачервоне випромінювання від розпечених деталей топки котла [14].



Для контролю за тиском газу у схемі сигналізації будемо використовувати датчики-реле тиску газу серії SGPS призначені для контролю низького, високого та диференціального рівня тиску газу в промислових установках, блочних пальниках та інших газових системах. Вони забезпечують надійний моніторинг та безпечну експлуатацію обладнання [15].

Для керування виконавчими механізмами, такими як крани та заслінки, обираємо неповнооборотні електроприводи з блоком керування AUMA MATIC AMExC 01.1. Вони дозволяють здійснювати керування процесом за допомогою дискретних сигналів +24В, не потребують додаткових підсилювачів (безконтактних реверсивних пускачів ПБР) та мають тонкий діапазон налаштувань. Керування приводом можливе вручну за допомогою «колеса штурвала» або кнопок на панелі [16].

Для керування запальними пристроями для розпалу пальників використовуємо автомат керування пальником IFD 258. Він призначений для автоматичного розпалювання та контролю полум'я газових пальників різної потужності. Запалювання здійснюється за допомогою високовольтного виносного трансформатора, а контроль факела – через іонізаційний електрод або ультрафіолетовий датчик. Важливою перевагою цього блоку є можливість регулювання порога чутливості вхідного сигналу контролю факела, що забезпечує гнучкість у налаштуванні системи [17].

У додатку Б наведено перелік підібраних датчиків та виконавчих механізмів.

Після проведеного аналізу та складеного переліку сигналів необхідно виконати вибір програмованого логічного контролера, модулів вводу/виводу, комунікаційних модулів.

Для вибору відповідного типу програмованого логічного контролера (ПЛК) необхідно врахувати такі вимоги до його функціональних можливостей:

- 1) забезпечення високої швидкості обробки логічних і математичних операцій із вхідними сигналами, а також швидкої реакції на формування сигналів керування для корекції технологічних параметрів;
- 2) здатність обробляти як аналогові, так і дискретні інформаційні та керуючі сигнали;
- 3) можливість використання комунікаційних мереж для організації віддаленого керування системою;
- 4) можливість підключення до перетворювачів частоти димососу та дуттьового вентилятору.

Враховуючи що обладнання котлоагрегату розташовано компактно, було прийнято рішення впровадити централізовану систему управління з одним головним програмованим логічним контролером. Робоча станція керування та дублююча панель розміщені в операторській кімнаті.

При аналізі функціональних вимог до ПЛК порівнювались дві серії контролерів S7-1200 та S7-1500. При використанні максимально доступної версії ПЛК S7-1200 CPU 1217C (6ES7217-1AG40-0XB0) можливо встановити максимально тільки 8 периферійних модулів, для обробки усіх вхідних/вихідних сигналів це замало. Однак можливо використовувати додатково станцію ET 200MP розподіленого вводу/виводу для розширення кількості оброблюваних сигналів. Але для підвищення надійності системи будимо використовувати центральний процесор серії Siemens S-1500, Контролер призначений для автоматизації середнього та високого рівня продуктивності. Автоматизація котла відноситься до середнього рівня, де використовуються паралельна робота 5 регуляторів, з використанням обчислення корекції коефіцієнтів. Також контролер повинен підтримувати достатню кількість модулів вводу-виводу, так як кількість вхідних сигналів велика. Використовуємо модифікацію CPU 1515-2 PN (6ES7515-2AN03-0AB0), центральний процесор з робочою пам'яттю 1 МБ для програми та 4,5 МБ для даних, з 2-портовим комутатором, 1-й інтерфейс: PROFINET IRT, 2-й інтерфейс: PROFINET RT, продуктивність 6 нс. Контролер підтримує до 32 периферійних модулів та обробку до 8192 сигналів.

Для конфігурування апаратної частини використовуємо програмне забезпечення TIA Selection Tool. Це безкоштовне програмне забезпечення для вибору та конфігурації компонентів автоматизації Siemens. Використовуємо онлайн версію [18]. На рисунку 3.1 зображений вибраний контролер.

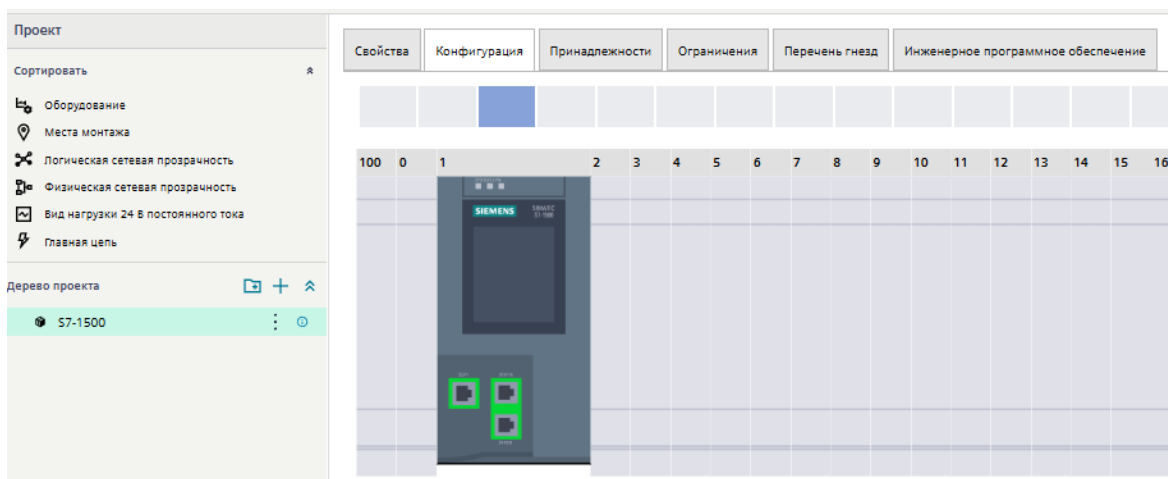


Рисунок 3.1 – Інтерфейс вікна TIA Selection Tool

Модулі аналогового вводу. У проекті використовується 54 аналогових сигналів від датчиків, нам потрібно 8 аналогових модулів вводу по 8 входів. Так як усі сигнали уніфіковані 4-20мА, обираємо модулі Analog input, SM 1531, 8 AI, 1-5 V, +/-5 V, 0-20 mA/4-20 mA, 14 bit. Ці модулі призначені для аналого-цифрового перетворення вхідних

аналогових сигналів у цифрові величини які використовуються центральним процесором для обробки вхідної інформації. Таким чином залишається в резерві 10 аналогових входів. Конфігурація апаратної частини зображена на рисунку 3.2.

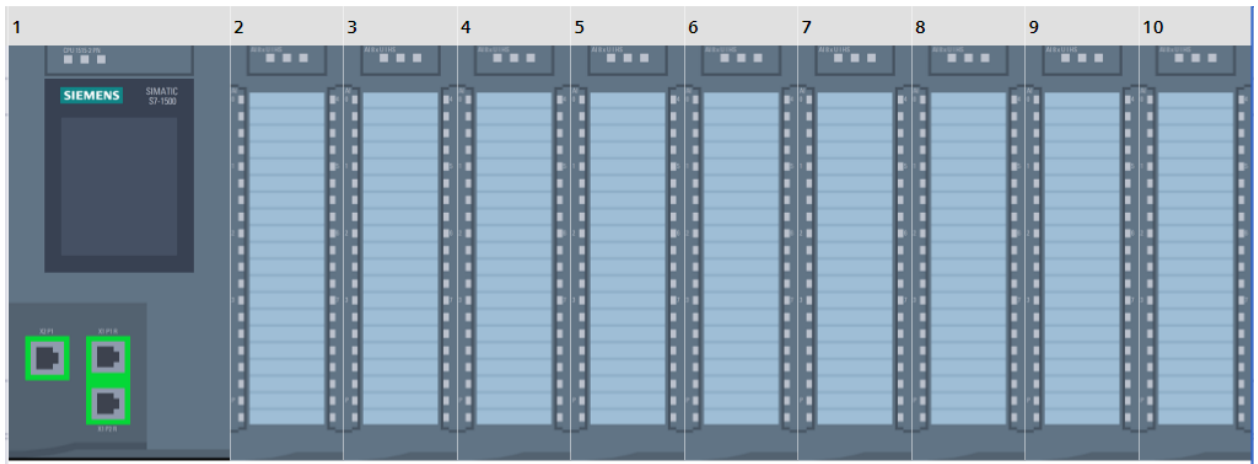


Рисунок 3.2 - Конфігурація вибору контролера та модулів аналогового вводу

Модулі дискретного вводу. У проекті використовується 25 дискретних сигналів від датчиків. Тип сигналу 0 або 24В. Для обробки дискретних сигналів нам необхідно 3 модулі дискретного вводу на 16 входів, обираємо модуль Digital input SM 1521, 16 DI, 24 V DC. Ці модулі призначені для перетворення вхідних дискретних сигналів контролера на його внутрішні логічні сигнали, що використовуються центральним процесором для обробки вхідної інформації. Таким чином в резерві залишається 26 дискретних входи. Конфігурація апаратної частини зображена на рисунку 3.3.

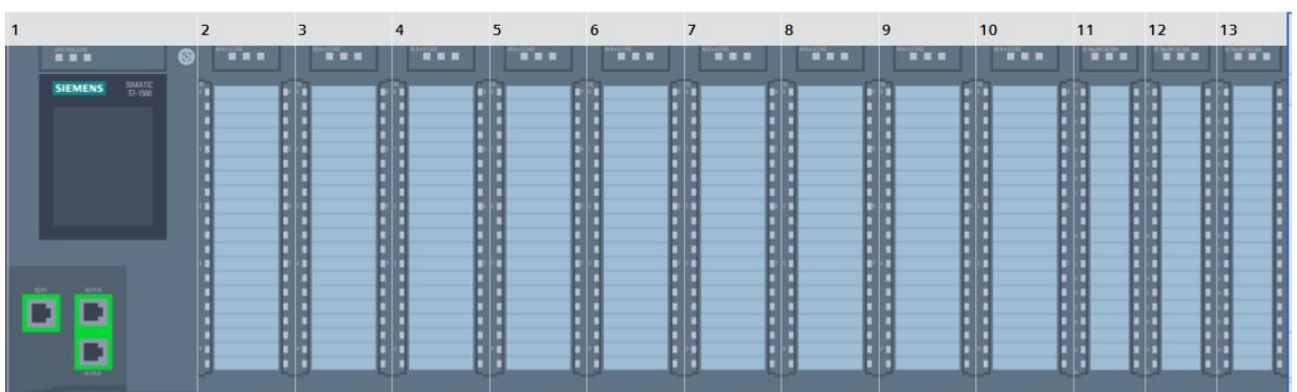


Рисунок 3.3 - Конфігурація вибору контролера та модулів аналогового, дискретного вводу

Модулі дискретного виводу. У проекті використовується 32 дискретних сигналів управління для створення сигналу 0 або 24В. Нам

необхідно 3 модулі дискретного виводу на 16 каналів релейного виходу, обираємо модуль Digital output SM 1522 ST, 16 DO, relay 2 A. Ці модулі призначені для перетворення внутрішніх логічних сигналів контролера на його вихідні дискретні сигнали. Для керування виконавчими механізмами регулювання параметрів вихідний струм сигналу згідно характеристик менше/дорівнює 100mA. Для інших сигналів керування додатково будемо використовувати проміжні реле. Таким чином в резерві залишається 2 дискретних виходи у модулі, та 10 виходів у резерві на ПЛК. Конфігурація апаратної частини зображена на рисунку 3.4.

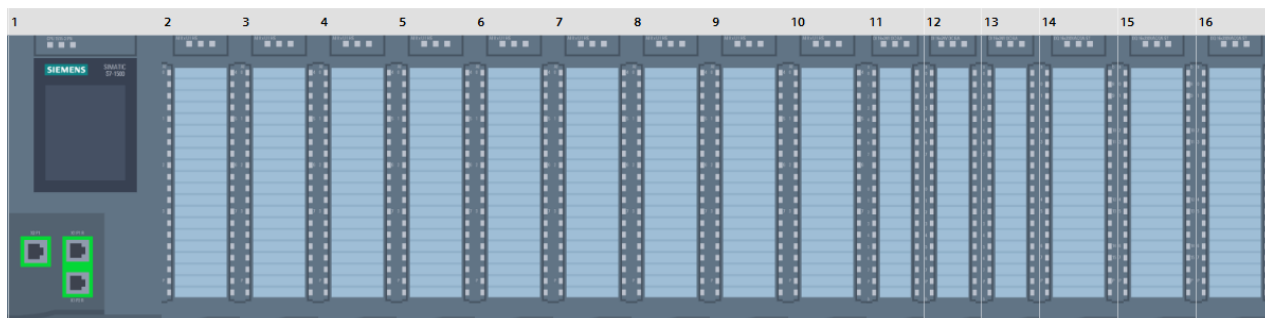


Рисунок 3.4 - Конфігурація вибору контролера та модулів аналогового, дискретного вводу та дискретного виводу

Блок живлення. Для живлення контролера усіх модулів вводу-виводу та комунікаційного модуля будемо використовувати стандартний БЖ PS 1505 з вихідною напругою 24 V та потужністю 60 Вт. Проведений розрахунок показав що цей блок живлення з 20% запасом по потужності відповідно до максимальної споживаної потужності усіх модулів та контролера. Вхідна напруга даного блоку 24В, тому для його живлення та для живлення датчиків будемо використовувати два ввімкнені паралельно БЖ Mean Well 120W 5A 24V SDR-120-24, які дозволяють працювати паралельно, і при виході з ладу одного з блоків система продовжить працювати штатно. Конфігурація апаратної частини зображена на рисунку 3.5.

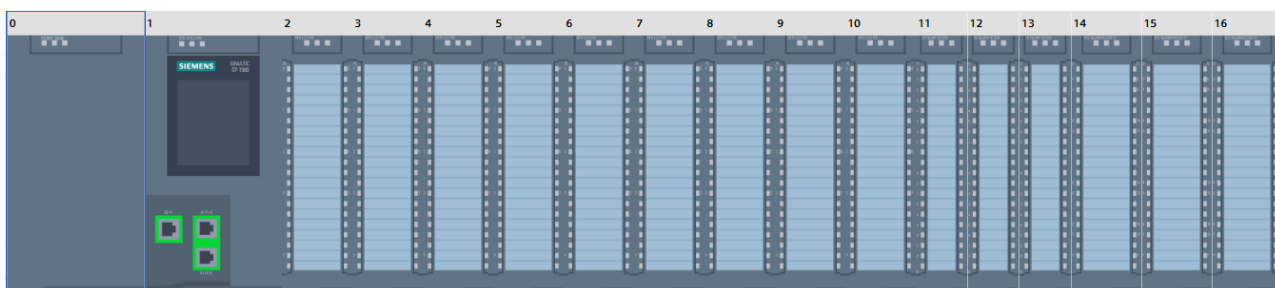


Рисунок 3.5 - Конфігурація вибору блоку живлення контролера та модулів аналогового, дискретного вводу та дискретного виводу

Комунікаційний модуль. Для керування перетворювачами частоти дуттьового вентилятора та димососа нам необхідний комунікаційний інтерфейс RS-485, який підтримує протокол ModbusRTU. Для цього будемо використовувати комунікаційний модуль CM PTP RS422/485 BA. Конфігурація апаратної частини зображена на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 - Конфігурація апаратної частини

Структура автоматизованої системи керування (АСК) котла розроблена за принципом централізованого управління з використанням програмованого логічного контролера (ПЛК) на базі Simatic S7-1500. Структурна схема автоматизації котла приведена на кресленні «Схема структурна технічних засобів автоматизації».

Система автоматизації має трьохрівневу структуру.

До першого рівня входять датчики та перетворювачі фізичних величин та технологічних параметрів, виконавчі механізми, модулі перетворення сигналу. На першому рівні в схемі автоматизації проводиться збір інформації з первинних перетворювачів, та видача керуючих сигналів на виконавчі механізми для регулювання технологічного процесу. На цьому рівні використовуються аналогові сигнали 4-20мА, дискретні сигнали 0В або +24В від датчиків до модулів вводу сигналу, а для керування виконавчими механізмами застосовуються дискретні сигнали 0 або 1 (релейні виходи) модулів виводу.

До другого рівня автоматизації входять центральний блок обробки логічної інформації побудований на ПЛК серії S7-1500, а також перетворювачі частоти для управління навантаженням дуттьового вентилятору та димососу. На другому рівні керування технологічним процесом відбувається по заданим алгоритмам програмного забезпечення ПЛК та від видачі команд оператора через робочі станції, які під'єднані через мережевий комутатор до ПЛК по мережі Ethernet. Інформація яка поступає від датчиків з першого рівня, оброблюється у ПЛК та відповідно до алгоритмів формуються керуючі або коригуючі сигнали для виконавчих механізмів.

До третього рівня автоматизації входять резервована SCADA система, яка розгорнута на двох робочих станціях, побудована на базі програмного забезпечення WinCC. Вона виконує функції відображення

поточного стану системи за допомогою мнемосхем, графіків, трендів, забезпечує повне керування технологічним процесом котла. Ця система виконує архівування протікання технологічного процесу та дій оператора. Дозволяє налаштовувати параметри каналу вводу при заміні датчиків, формувати техніко економічні показники роботи котла.

До комутатора під'єднаний програматор з програмним забезпеченням Tia Portal, для виконання програмування контролера, та налагодження алгоритмів роботи програми ПЛК.

3.2 Розробка математичної моделі автоматизованої системи регулювання тиску та температури пару котлоагрегату

Автоматична система управління технологічними процесами котла представляє повнофункціональну закінчену систему, яка призначена для виконання всіх функцій управління котлом в автономному режимі і в складі системи MES.

Паровий котел – це складний енергетичний об'єкт, у якому в процесі експлуатації з високою швидкістю змінюються взаємопов'язані між собою технологічні параметри. Впровадження комплексу АСУТП дозволить оптимізувати ці параметри що позитивно вплине на економічні, екологічні, ергономічні, та інші показники [19].

Котельна установка є складним взаємопов'язаним об'єктом. Функціональна схема установки наведена на рисунку 2.6.

Для виконання ідентифікації технологічних параметрів котлоагрегату як об'єкта керування, розглянемо контури регулювання, та взаємозв'язок між ними, та окремо виконаємо ідентифікацію за кожним контуром. Для цього були зняті перехідні характеристики (криві розгону) на реальному об'єкті та які наведені у паспорті котла.

На рисунку 3.7 представлена структурна схема системи управління паровим котлом за каналами управління.

Одним із популярних методів ідентифікації об'єктів керування є графічний підхід, який базується на аналізі перехідної характеристики або кривої розгону. Крива розгону являє собою графік, що відображає реакцію об'єкта на вхідний сигнал у вигляді ступінчастого збурення.

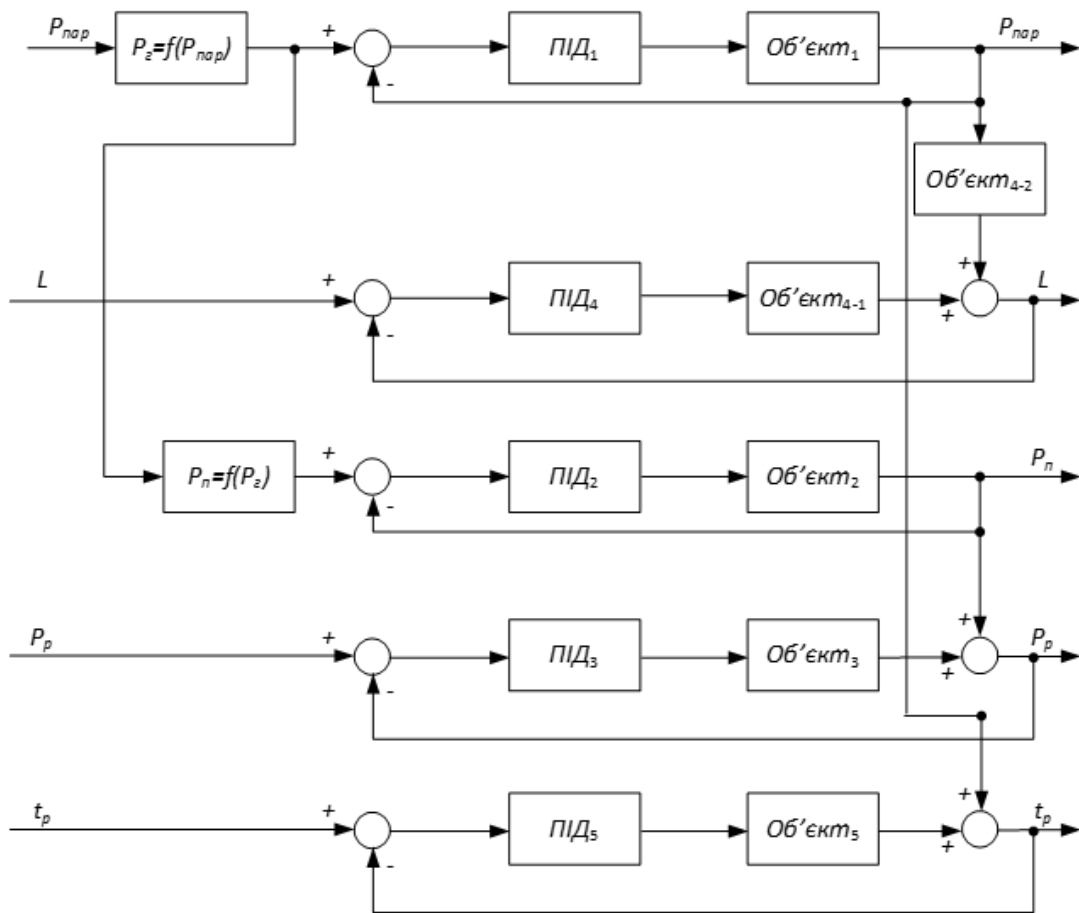
При виконанні аналізу кривих розгону об'єкта видно, що по всіх каналах регулювання, об'єкт може бути ідентифікований як аперіодичне ланка першого порядку з чистим запізненням, тобто об'єкт, що описується диференціальним рівнянням першого порядку із запізненням [20, 21].

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_0 u(t - \tau), y(0) = 0. \quad (3.1)$$

Реакція на вхідне ступеневе збурення такого об'єкта

$$u(t) = U * 1(t) \quad (3.2)$$

де U - амплітуда одиничного ступінчастого впливу.



$P_{пара}$ – тиск пара; L – рівень води в барабані котла; $P_з$ – тиск газу; $P_п$ – тиск повітря; $P_р$ – розрядження в топці котла; ПІД1,2,3,4 – ПІД-регулятори; $P_з=f(P_{пара})$ – залежність тиску пара від тиску газу; $P_п=f(P_з)$ – залежність тиску повітря від тиску газу (крива співвідношення «газ/повітря»); $t_р$ – температура перегрітого пару

Рисунок 3.7 – Схема структурна математичної моделі системи регулювання котла

Необхідно визначити параметри об'єкта - транспортне запізненням τ , коефіцієнта передачі K_0 , постійну часу T об'єкта.

Рішення рівняння 3.3 має вигляд:

$$y(t) = h(t) = K_0 \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right), t \geq \tau. \quad (3.3)$$

Методика дослідження з роботи [22] була використана при моделюванні залежності тиску пари від тиску газу та залежності тиску повітря від тиску газу. Для встановлення зв'язку $P_з=f(P_{пара})$ було виконано декілька досліджень, зміст яких полягає у визначенні реакції зміни тиску

газу на тиск перегрітої пари.

При постійному оптимальному паровому навантаженні, що визначається як витрата пари, та постійному тиску пари ($P_{пара} = const$) змінюємо тиск газу. При цьому системи регулювання, які пов'язані з витратою газу, працюють в штатному режимі. Через проміжок часу після перехідного процесу, було зафіксована нова точка залежності тиску пари від тиску газу, дані представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність тиску перегрітої пари від тиску газу

Назва параметра	Одиниця виміру	Вимір	
Тиск газу перед пальниками	кгс/м ²	420	490
Тиск пара в барабані	кгс/см ²	37,2	38

Було визначено, що зв'язок між тиском пари описується лінійним виразом:

$$P_{пара} = A + BP_{г} = 30,48 + 0,016P_{г}. \quad (3.4)$$

Для узагальненої моделі необхідно знайти вираз, що встановлює зв'язок між паровим тиском та газовим тиском.

$$P_{г} = 62,5(P_{г} - 30,48). \quad (3.5)$$

Для ідентифікації моделі об'єкта по каналу регулювання тиску пари була знята перехідна характеристика (крива розгону). При постійній витраті пари ступінчато збільшили тиск газу (близько на 7% сигнал по управлінню клапаном газу) перед пальниками, при цьому регулювання тиску пари знаходиться у ручному режимі. Через рівні проміжки часу записували показання тиску пари, отримали перехідну характеристику на рисунку 3.8.

Для визначення часу запізнення - $\tau_{об}$, та постійної часу об'єкта - $T_{об}$, використовуємо «Метод 28,3% + 63,2%» [23].

На початку знаходимо максимальне відхилення тиску пари за графіком $X_m = 37,8$ кгс/см², відповідно до методики знаходимо діапазон зміни параметру.

$$\Delta X_m = 37,8 - 37 = 0,8 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.6)$$

Далі знаходимо відповідні точки $0,632\Delta X_m$ та $0,283\Delta X_m$

$$0,632\Delta X_m = (0,632 * 0,8) + 37 = 37,5 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.7)$$

$$0,283\Delta X_m = (0,283 * 0,8) + 37 = 37,2 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.8)$$

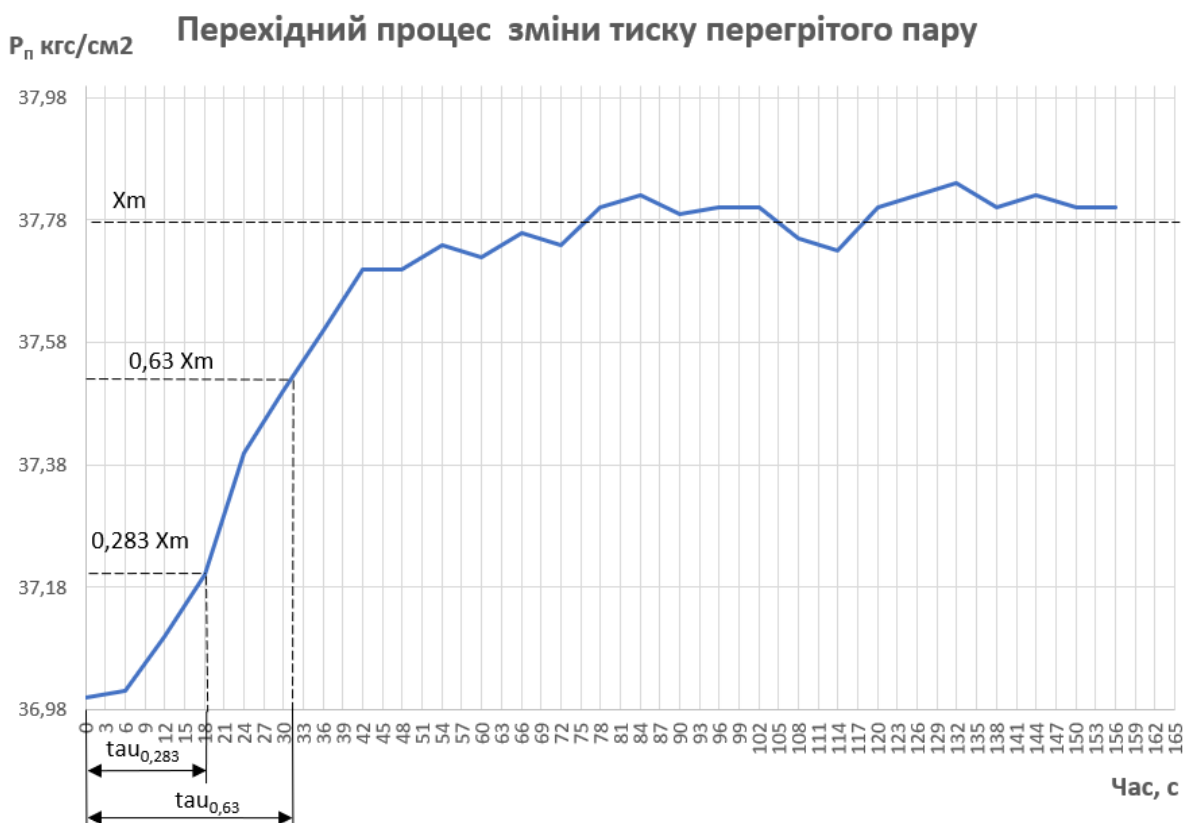


Рисунок 3.8 – Експериментальна крива розгону об'єкта регулювання тиску пари

На графіку відмічаємо відповідні значення X_m , та знаходимо $\tau_{0,283}=18\text{с}$ та $\tau_{0,632}=32\text{с}$.

За формулою 3.9 визначаємо постійну часу $T_{об}$, за формулою 3.10 визначаємо час запізнення $\tau_{об}$.

$$T_{об} = \frac{3}{2} (\tau_{0,632} - \tau_{0,283}) = \frac{3}{2} (32 - 18) = 21 \text{ с} \quad (3.9)$$

$$\tau_{об} = \tau_{0,632} - T_{об} = 32 - 21 = 11 \text{ с} \quad (3.10)$$

Далі знаходимо коефіцієнт передачі об'єкта управління $K_{об}$, який характеризує підсилювальні властивості об'єкта за формулою 3.11.

$$K_{об} = \frac{\Delta X_m}{\Delta Y} \quad (3.11)$$

де ΔX_m – зміна вихідної величини, ΔY – зміна вхідної величини

$$K_{об} = \frac{0,8}{7} = 0,11 \quad (3.12)$$

Отримаємо передатну функцію по каналу регулювання тиску пари:

$$W(p) = \frac{K_{об}}{T_{об}+1} * e^{-\tau_{об}p} = \frac{0,11}{21p+1} * e^{-11p} \quad (3.13)$$

Співвідношення повітря/газ, яке вказано в паспорті котла наведено на рисунку 3.9, в діапазоні робочого тиску повітря (10-95) можна апроксимувати з високою точністю за допомогою відповідної залежності.



Рисунок 3.9 – Характеристика залежності тиску повітря від тиску газу

$$P_{п} = -9,3638 + 0,1128P_{г}. \quad (3.14)$$

Для ідентифікації моделі об'єкта по каналу регулювання тиску повітря була знята перехідна характеристика. На цьому контурі система регулювання відсутня. При сталому режимі збільшили тиск газу з 600 кгс/м² до 650 кгс/м², і відповідно збільшили тиск повітря з 50 кгс/м² до 55 кгс/м². На рисунку 3.10 отримали перехідну характеристику.

Для визначення часу запізнення - $\tau_{об}$, та постійної часу об'єкта - $T_{об}$, використовуємо раніше описаний метод.

Знаходимо максимальне відхилення тиску повітря за графіком X_m – 61,2 кгс/см², відповідно діапазон зміни

$$\Delta X_m = 61,2 - 52 = 9,2 \text{ кгс/м}^2 \quad (3.15)$$

Далі знаходимо $0,632\Delta X_m$ та $0,283\Delta X_m$.

P_b кгс/см²

Перехідний процес зміни тиску повітря

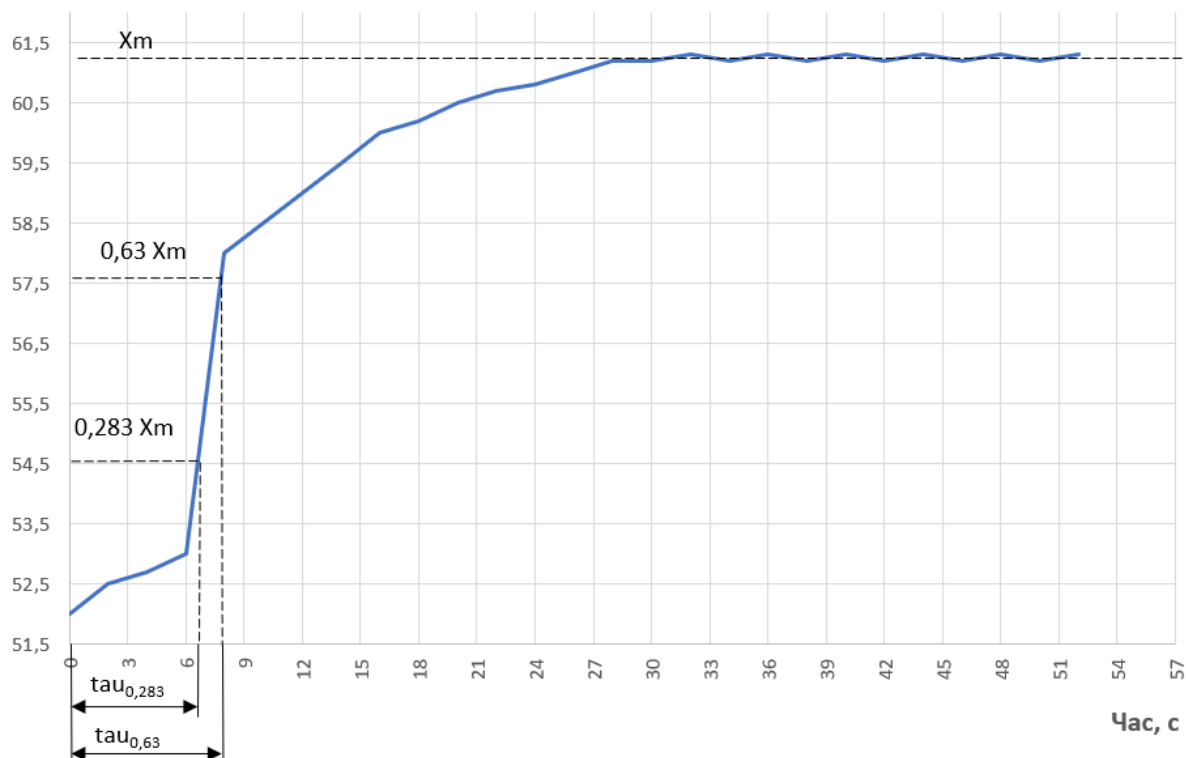


Рисунок 3.10– Експериментальна крива розгону об'єкта регулювання тиску повітря

$$0,632\Delta X_m = (0,632 * 9,2) + 52 = 57,8 \text{ кгс/м}^2 \quad (3.16)$$

$$0,283\Delta X_m = (0,283 * 9,2) + 52 = 54,6 \text{ кгс/м}^2 \quad (3.17)$$

На графіку відмічаємо відповідні значення X_m , та знаходимо $\tau_{0,283}=6,5\text{с}$ та $\tau_{0,632}=8\text{с}$.

За формулою 3.18 визначаємо постійну часу $T_{об}$, за формулою 3.18 визначаємо час запізнення $\tau_{об}$.

$$T_{об} = \frac{3}{2}(\tau_{0,632} - \tau_{0,283}) = \frac{3}{2}(8 - 6,5) = 2,25 \text{ с} \quad (3.18)$$

$$\tau_{об} = \tau_{0,632} - T_{об} = 8 - 2,25 = 5,75 \text{ с} \quad (3.19)$$

Далі знаходимо коефіцієнт передачі об'єкта управління $K_{об}$, який характеризує підсилювальні властивості об'єкта за формулою 3.20.

$$K_{об} = \frac{\Delta X_m}{\Delta Y} \quad (3.20)$$

де ΔX_m – зміна вихідної величини, ΔY – зміна вхідної величини

$$K_{об} = \frac{9,2}{10} = 0,92 \quad (3.21)$$

Отримаємо передатну функцію по каналу регулювання тиску повітря:

$$W(p) = \frac{K_{об}}{T_{об}p+1} * e^{-\tau_{об}} = \frac{0,92}{2,25p+1} * e^{-5,75p} \quad (3.22)$$

Для ідентифікації моделі об'єкта по каналу регулювання розрідження у топці котла, була знята перехідна характеристика. При стабільному навантаженні, постійному тиску повітря на пальники 40 кгс/м², розрідження у топці котла відповідно -25 кгс/м², збільшили навантаження дуттьового вентилятору на 5%, при цьому тиск повітря збільшився до 45 кгс/м². Спостерігали зміну розрідження і зняли перехідну характеристику на рисунку 3.5.

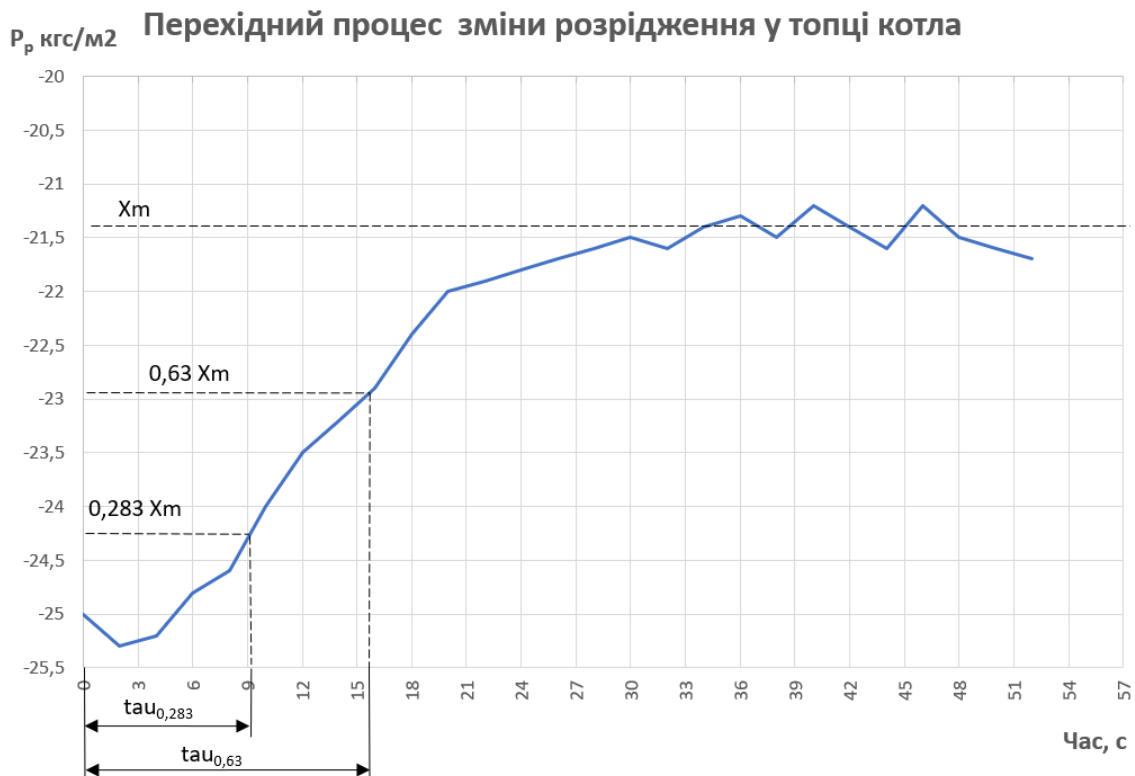


Рисунок 3.11 – Експериментальна крива розгону об'єкта регулювання розрідження у топці котла

Для визначення часу запізнення - $\tau_{об}$, та постійної часу об'єкта - $T_{об}$, використовуємо раніше описано методику.

Максимальне відхилення розрідження за графіком X_m – -21,6 кгс/м², відповідно діапазон зміни

$$\Delta X_m = -21,6 - (-25,3) = 3,7 \text{ кгс/м}^2 \quad (3.23)$$

Далі знаходимо $0,632\Delta X_m$ та $0,283\Delta X_m$

$$0,632\Delta X_m = (0,632 * 3,7) + (-25,3) = -22,9 \text{ кгс/м}^2 \quad (3.24)$$

$$0,283\Delta X_m = (0,283 * 3,7) + (-25,3) = -24,25 \text{ кгс/м}^2 \quad (3.25)$$

На графіку відмічаємо відповідні значення X_m , та знаходимо $\tau_{0,283}=6\text{с}$ та $\tau_{0,632}=15,5\text{с}$.

За формулою 3.26 визначаємо постійну часу $T_{об}$, за формулою 3.26 визначаємо час запізнення $\tau_{об}$.

$$T_{об} = \frac{3}{2}(\tau_{0,632} - \tau_{0,283}) = \frac{3}{2}(15,5 - 6) = 14,25 \text{ с} \quad (3.26)$$

$$\tau_{об} = \tau_{0,632} - T_{об} = 15,5 - 14,25 = 1,25 \text{ с} \quad (3.27)$$

Далі знаходимо коефіцієнт передачі об'єкта управління $K_{об}$, який характеризує підсилювальні властивості об'єкта за формулою 3.28.

$$K_{об} = \frac{\Delta X_m}{\Delta Y} \quad (3.28)$$

де ΔX_m – зміна вихідної величини, ΔY – зміна вхідної величини

$$K_{об} = \frac{3,7}{10} = 0,37 \quad (3.29)$$

Отримаємо передатну функцію по каналу регулювання розрідження у топці:

$$W(p) = \frac{K_{об}}{T_{об}p+1} * e^{-\tau_{об}} = \frac{0,37}{14,25p+1} * e^{-1,25p} \quad (3.30)$$

Для ідентифікації моделі об'єкта по каналу регулювання температури перегрітого пару, була знята перехідна характеристика. При стабільній температурі перегрітого пару, зменшили витрату живильної води на пароохолоджувач, прикривши клапан подачі води на 10%. Спостерігали зміну температури перегрітого пару і зняли перехідну характеристику на рисунку 3.12.

Для визначення часу запізнення - $\tau_{об}$, та постійної часу об'єкта - $T_{об}$, використовуємо раніше описаний метод.

Максимальне відхилення температури за графіком X_m - 451°C , відповідно діапазон зміни температури

$$\Delta X_m = 451 - 424 = 27^\circ\text{C} \quad (3.31)$$

Перехідний процес зміни температури перегрітого пару

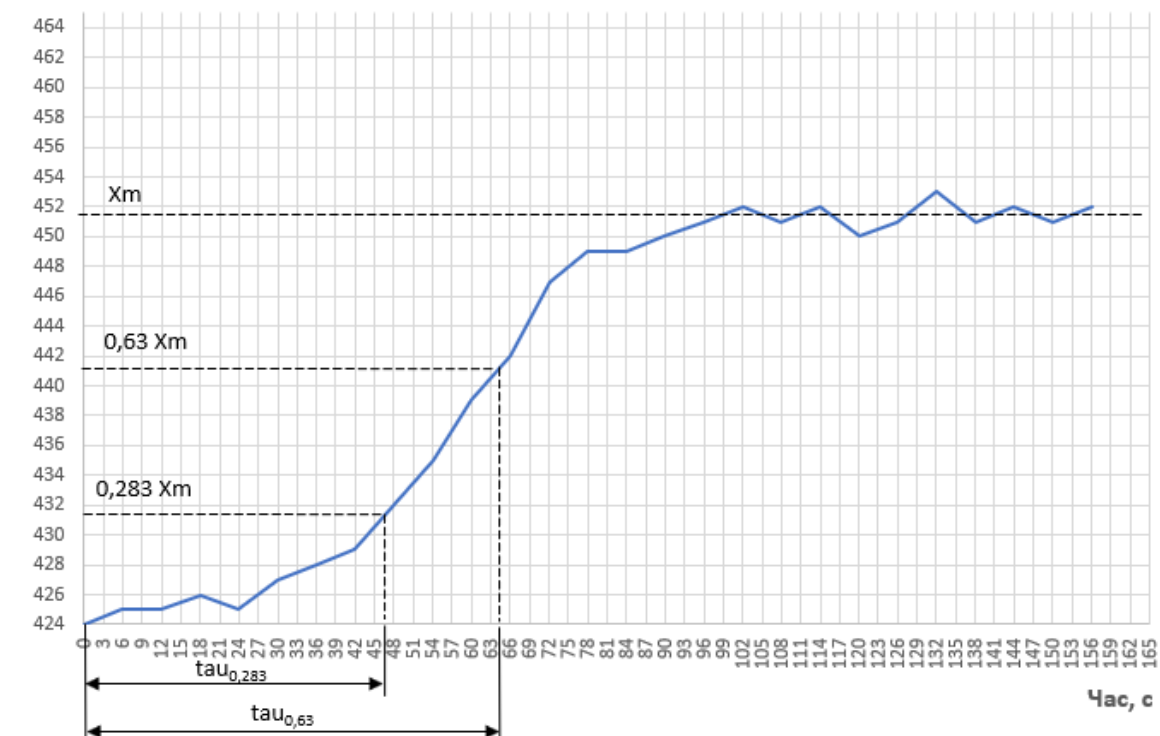


Рисунок 3.12 – Експериментальна крива розгону об’єкта регулювання температури перегрітого пару

Далі знаходимо $0,632\Delta X_m$ та $0,283\Delta X_m$

$$0,632\Delta X_m = (0,632 * 27) + 424 = 441,06^\circ\text{C} \quad (3.32)$$

$$0,283\Delta X_m = (0,283 * 27) + 424 = 431,6^\circ\text{C} \quad (3.33)$$

На графіку відмічаємо відповідні значення X_m , та знаходимо $\tau_{0,283}=46\text{с}$ та $\tau_{0,632}=65\text{с}$.

За формулою 3.34 визначаємо постійну часу $T_{об}$, за формулою 3.34 визначаємо час запізнення $\tau_{об}$.

$$T_{об} = \frac{3}{2}(\tau_{0,632} - \tau_{0,283}) = \frac{3}{2}(65 - 46) = 28,5 \text{ с} \quad (3.34)$$

$$\tau_{об} = \tau_{0,632} - T_{об} = 65 - 28,5 = 36,5 \text{ с} \quad (3.35)$$

Далі знаходимо коефіцієнт передачі об’єкта управління $K_{об}$, який характеризує підсилювальні властивості об’єкта за формулою 3.36.

$$K_{об} = \frac{\Delta X_m}{\Delta Y} \quad (3.36)$$

де ΔX_m – зміна вихідної величини, ΔY – зміна вхідної величини.

$$K_{об} = \frac{27}{20} = 1,35 \quad (3.37)$$

Отримаємо передатну функцію по каналу регулювання температури перегрітої пари:

$$W(p) = \frac{K_{об}}{T_{об}+1} * e^{-\tau_{об}p} = \frac{1,35}{28,5p+1} * e^{-36,5p} \quad (3.38)$$

Таким чином після проведення ідентифікації об'єкта регулювання отримаємо наступні моделі:

- канал регулювання тиску пари (Об'єкт 1):

$$W_{пара}(p) = \frac{0.11}{21p + 1} e^{-11p}. \quad (3.39)$$

- канал регулювання тиску повітря (Об'єкт 2):

$$W_{п}(p) = \frac{0.92}{2,25p + 1} e^{-5,75p}. \quad (3.40)$$

- канал регулювання розрідження (Об'єкт 3):

$$W_{р}(p) = \frac{0,37}{14,25p + 1} e^{-1,25p}. \quad (3.41)$$

- канал регулювання температури перегрітої пари (Об'єкт 5):

$$W_{р}(p) = \frac{1,35}{28,5p + 1} e^{-36,5p}. \quad (3.42)$$

Модель об'єкта для каналу регулювання рівня.

Модель для барабана котла (Об'єкт 4-1) відповідно представлена у вигляді аперіодичного ланки із запізненням:

$$W_{4-1}(p) = \frac{12}{100p + 1} e^{-3p}. \quad (3.43)$$

Модель також включає ланку, що імітує явище "набухання" рівня (Об'єкт 4-2):

$$W_{4-2}(p) = \frac{0,046}{p + 1}. \quad (3.44)$$

де K_n – швидкість "розширення"; T_n – постійна часу "розширення",
с.

На основі результатів ідентифікації параметрів математичної моделі котла, представленої на рисунку 3.1, було проведено аналіз системи управління котельною установкою. Дослідження охоплювало параметри управління в рамках математичної моделі автоматизованої системи управління (АСУ) котельною установкою, використовуючи ПІД-регулювання та нечіткий регулятор в режимі супервізора для корекції коефіцієнтів передачі ПІД-регулятора.

Моделювання системи контурів регулювання у котельній установці, виконано у програмному пакеті MATLAB Simulink. Налаштування коефіцієнтів ПІД-регуляторів було виконано методом Циглера – Нікольса.

На рисунку 3.13 зображена математична модель системи регулювання котла з ПІД-регуляторами, створена відповідно до структурної схеми, показаної на рисунку 3.7, а також на основі ідентифікованих передаточних функцій для управлінських каналів (3.39...3.44).

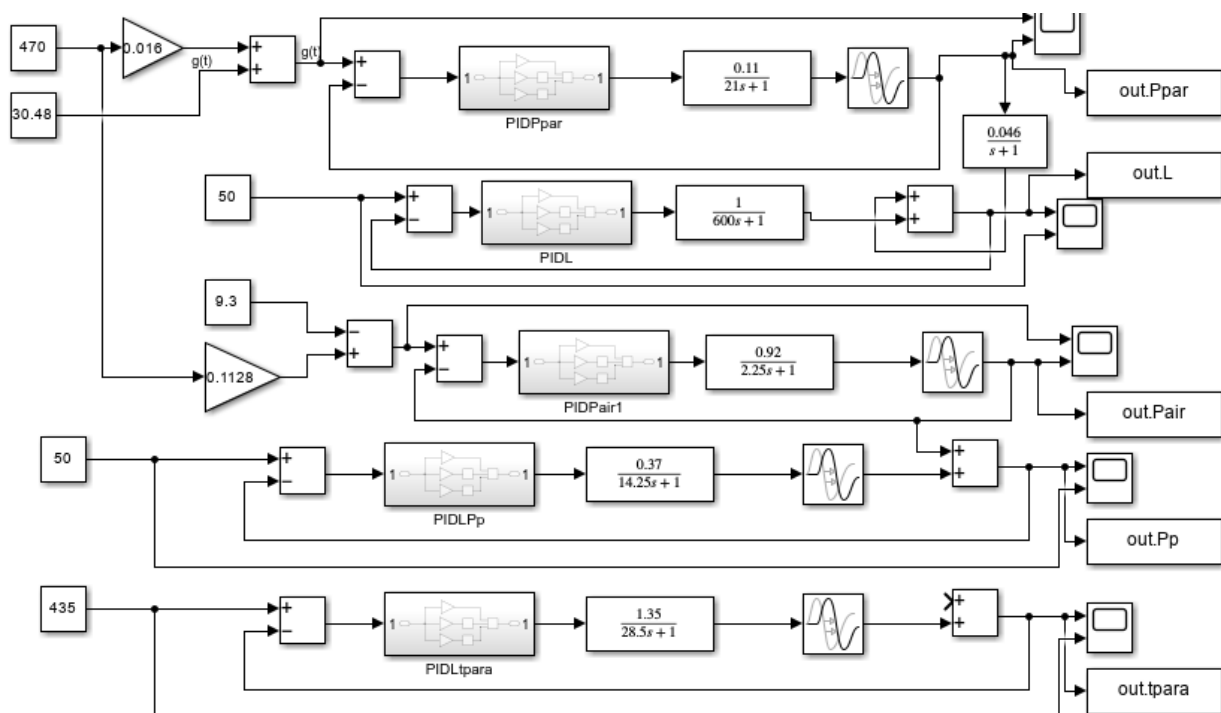


Рисунок 3.13 – Математична модель АСУ котельною установкою

У класичній теорії автоматичного керування вибір структури регулятора базується на моделі керованого об'єкта. Для складних об'єктів керування зазвичай потрібні більш складні регулятори. Проте, на практиці в більшості випадків регулювання здійснюється за допомогою ПІД-регуляторів, які мають наступну форму [19,20, 21]:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (3.45)$$

де k_p – пропорційний коефіцієнт підсилення регулятора; k_i – інтегральний коефіцієнт підсилення регулятора; k_d – диференціальний коефіцієнт підсилення регулятора.

Налаштування параметрів ПІД-регулятора для контурів регулювання тиску пари, співвідношення повітря/паливо, розрідження в топці котла, рівня води в барабані котла та температури перегрітого пару було виконано за методом Циглера – Нікольса [24] для розімкненої системи. Відповідно до методики визначення граничного підсилення та періоду регулятора, I та D складові вимикаються, а коефіцієнт підсилення регулятора поступово збільшується, починаючи з $k_p=0.1$. Процес триває до тих пір, поки не спостерігатимуться стабільні автоколивання регульованої змінної. Визначений період коливань використовується для розрахунку коефіцієнтів : k_p , k_i , k_d . Розраховані значення коефіцієнтів регуляторів наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку коефіцієнтів регуляторів

Контур регулювання	Передаточна функція	k_p	k_i	k_d
Тиску пари	$W(p) = \frac{0,11}{21p + 1} e^{-11\tau p}$	$1.2T/(K_0\tau)=20,8$ 6	$0.9T/(K_0\tau^2)=1,41$	$0,5T/K_0=95,4$
Рівня в барабані котла	$W(p) = \frac{1}{600p + 1}$	$1.2T/(K_0\tau)=3,3$ 3	$0.9T/(K_0\tau^2)=0,8$	$0,5T/K_0=4,2$
ГПС	$W(p) = \frac{0,92}{2,25p + 1} e^{-5,7\tau p}$	$1.2T/(K_0\tau)=3,2$ 6	$0.9T/(K_0\tau^2)=0,6$	$0,5T/K_0=1,22$
Розрідження в топці	$W(p) = \frac{0,37}{14,25p + 1} e^{-1,25\tau p}$	$1.2T/(K_0\tau)=37,$ 1	$0.9T/(K_0\tau^2)=22,$ 5	$0,5T/K_0=19,2$
Температури перегрітого пару	$W(p) = \frac{1,35}{28,5p + 1} e^{-36,5\tau p}$	$1.2T/(K_0\tau)=0,6$	$0.9T/(K_0\tau^2)=0,0$ 1	$0,5T/K_0=10,5$

Після розрахування параметрів регуляторів були промодельовані перехідні процеси для замкнутої системи, результати яких представлені на рисунку 3.14–3.18.

Після проведеного математичного моделювання технологічних

параметрів котельного агрегату, було з'ясовано, що для ефективної роботи класичного ПІД-регулятора необхідно виконати додаткове коригування коефіцієнтів підсилення.

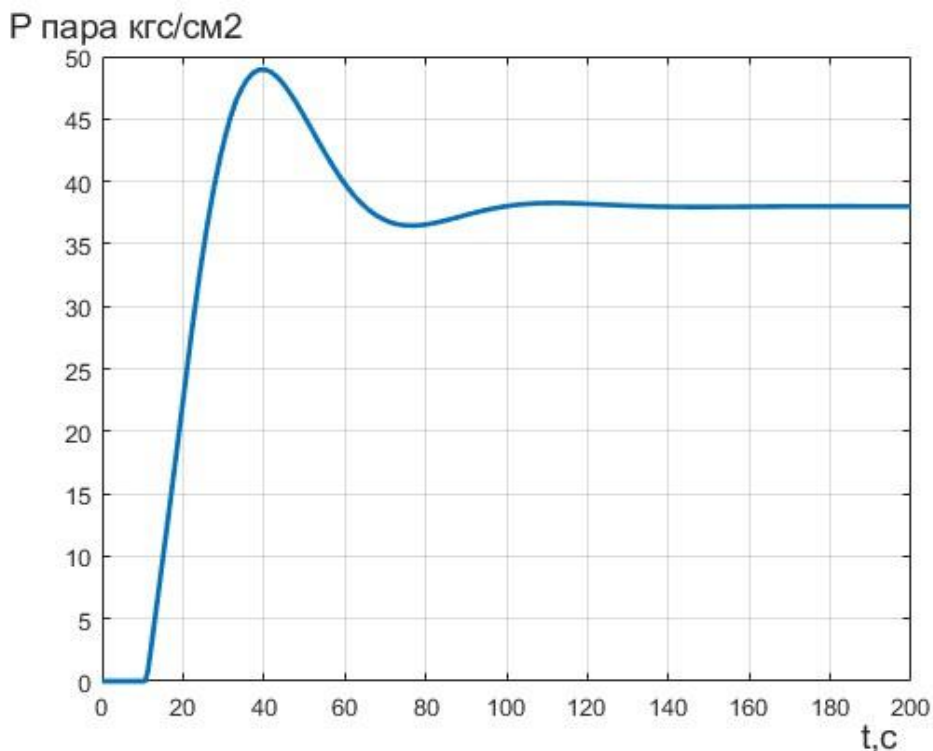


Рисунок 3.14 – Графік перехідного процесу в замкненому контурі регулювання тиску пари, реалізованому на ПІД-регуляторі

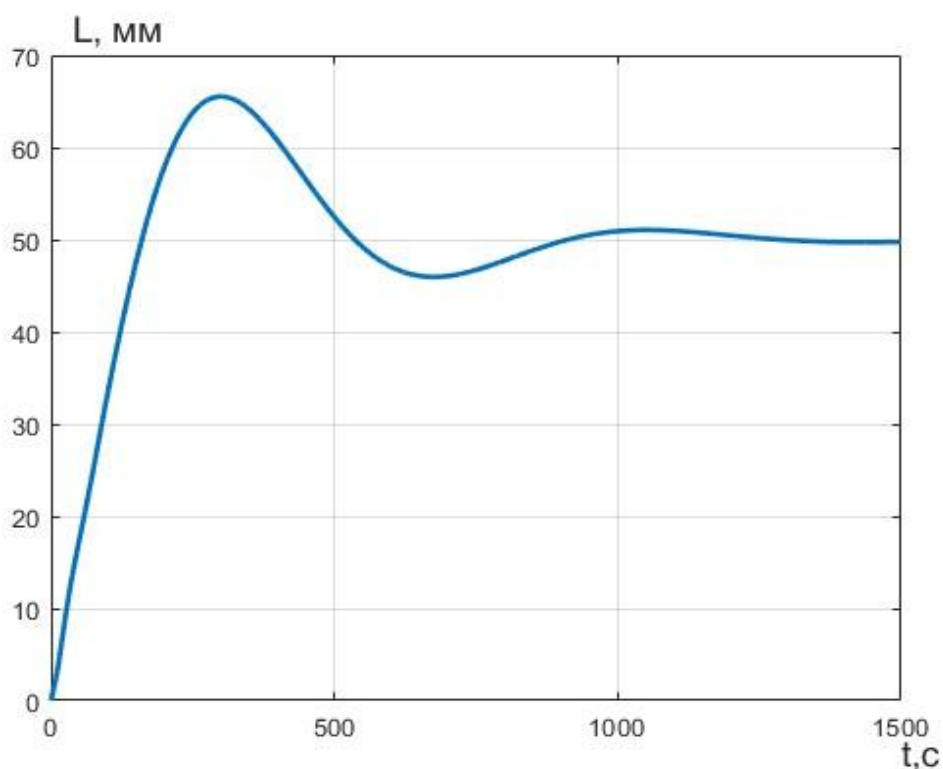


Рисунок 3.15 – Графік перехідного процесу в замкненому контурі регулювання рівня води в барабані котла, реалізованому на ПІД-регуляторі

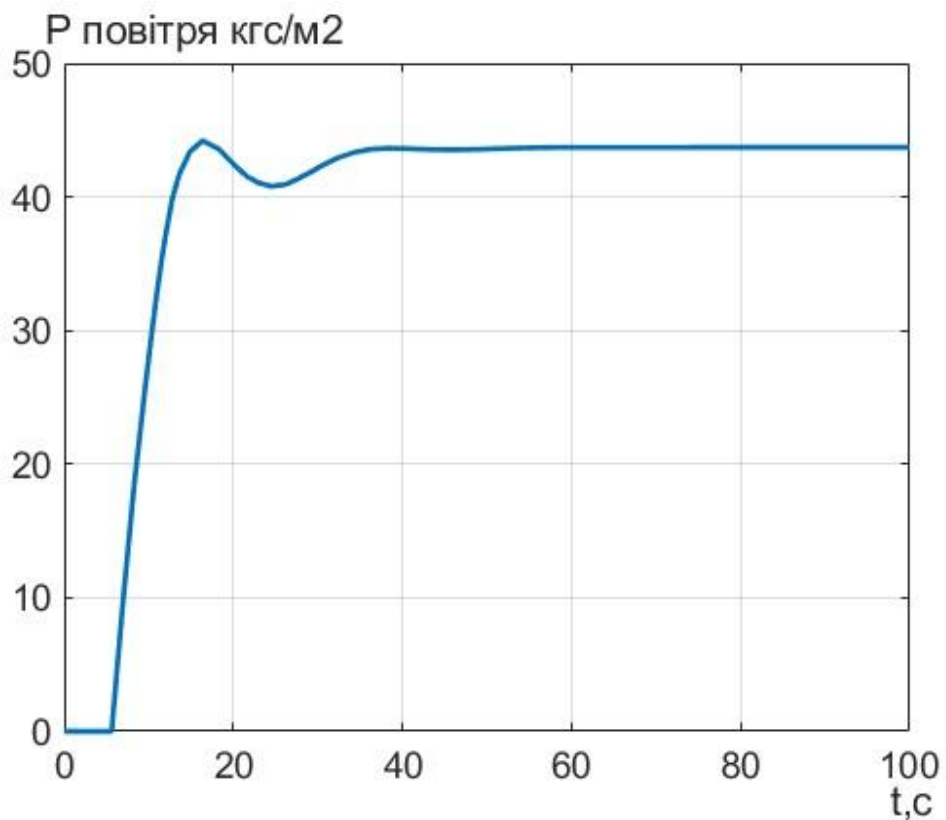


Рисунок 3.16 – Графік перехідного процесу в замкнутому контурі регулювання тиску повітря ГПС, реалізованому на ПІД-регуляторі

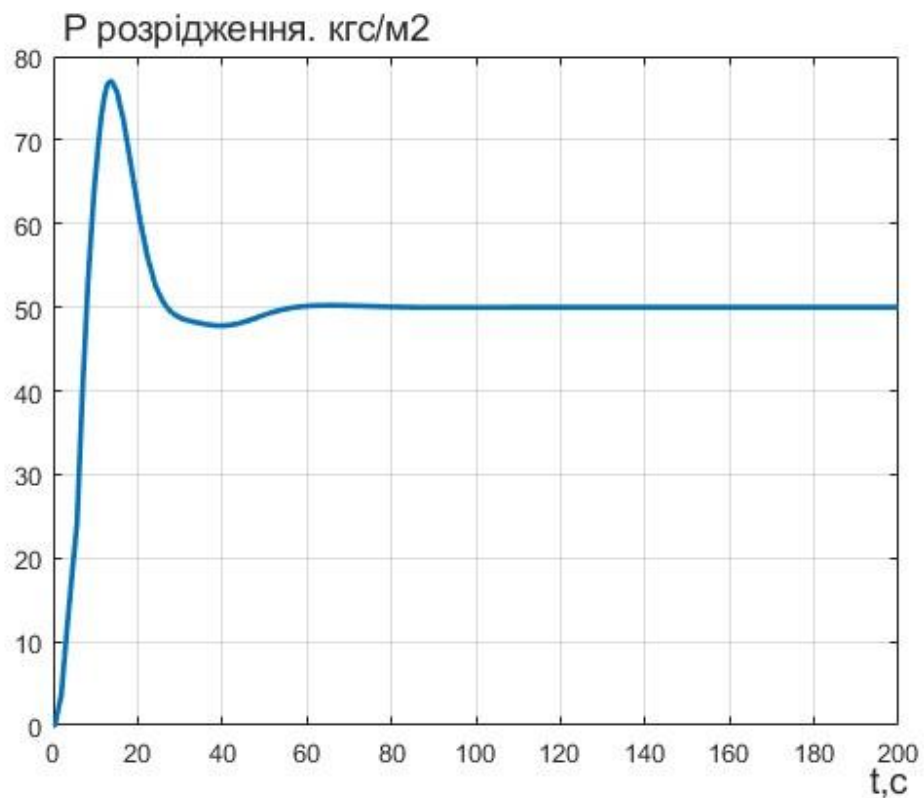


Рисунок 3.17 – Графік перехідного процесу в замкнутому контурі регулювання розрідження в топці котла, реалізованому на ПІД-регуляторі

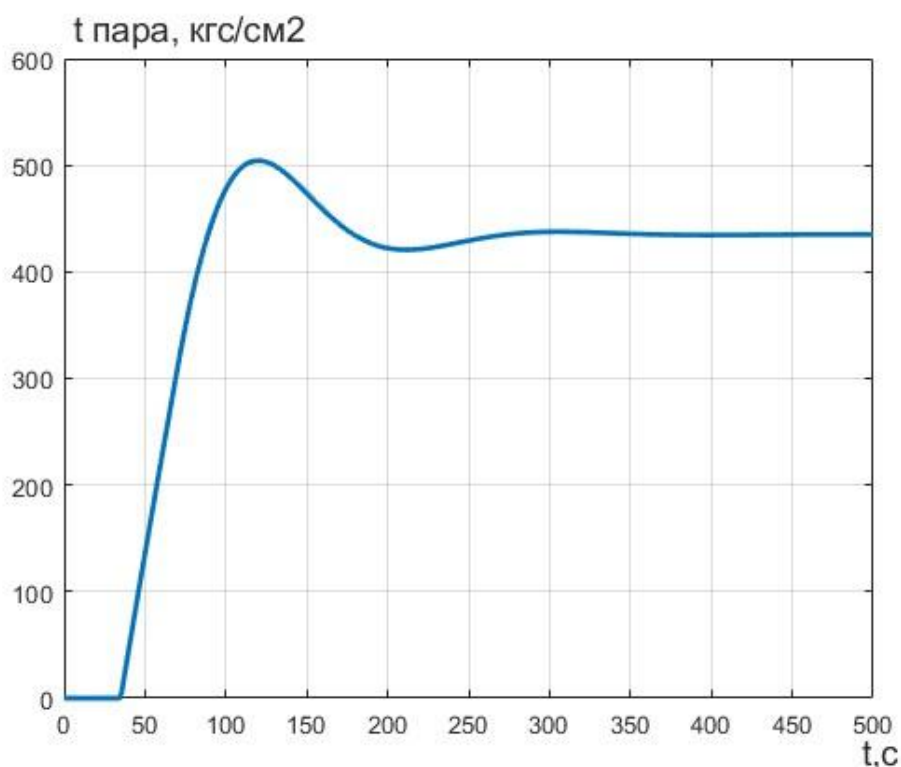


Рисунок 3.18 – Графік перехідного процесу в замкненому контурі регулювання температури перегрітого пару, реалізованому на ПІД-регуляторі

На перехідному процесі регулювання тиску пари видно велике перегулювання. Щоб покращити перехідний процес, необхідно зменшити коливання перехідної характеристики та підвищити швидкодію процесу. Це вимагає внесення змін до інтегрального коефіцієнта ПІД-регулятора.

Отриманий перехідний процесу регулювання рівня в барабані котла показує велике перегулювання, та великий час стабілізації процесу. Щоб покращити перехідний процес, необхідно зменшити коливання перехідної характеристики та зменшити динамічну похибку, що потребує корегування інтегрального коефіцієнту ПІД-регулятора;

Для перехідного процесу тиску повітря (газоповітряної суміші) та розрідження в топці котла необхідно зменшити коливання перехідної характеристики та зменшити динамічну похибку. Це вимагає внесення змін до інтегрального та пропорційного коефіцієнтів ПІД-регулятора.

Для перехідного процесу регулювання температури перегрітої пари необхідно зменшити коливання перехідної характеристики та зменшити динамічну похибку. Це вимагає внесення змін до інтегрального та пропорційного коефіцієнтів ПІД-регулятора.

Для реалізації зазначених корекцій пропонується використати нечіткий регулятор, який буде підключений паралельно до класичного ПІД-регулятора. Вихідні значення нечіткого регулятора повинні слугувати коригувальними параметрами для коефіцієнтів ПІД-регулятора.

Ідея використання нечіткого супервізора полягає у створенні

дворівневої системи управління, де на нижньому рівні функціонує стандартний ПІД-регулятор, а на верхньому рівні – нечіткий логічний регулятор (НЛР) рисунок 3.19. [19, 24].

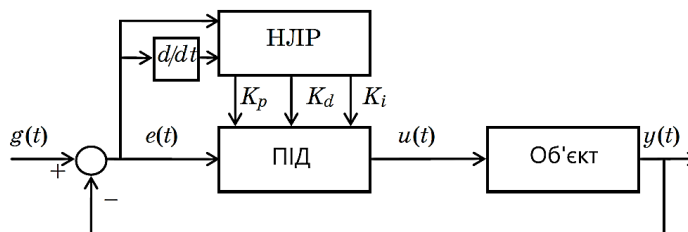


Рисунок 3.19 – Структурна схема нечіткого супервізора

Призначення нечіткого регулятора, що працює в режимі супервізора, полягає в автоматичному коригуванні коефіцієнтів ПІД-регулятора на різних етапах перехідного процесу. Оскільки в ПІД-регуляторі використовуються три вхідні змінні, вважається, що його коефіцієнт підсилення складається з трьох окремих компонентів. [25]

$$K_{PID} = K_P + K_I + K_D. \quad (3.46)$$

Помилка управління та її похідна описуються відповідно до рисунка 3.20.

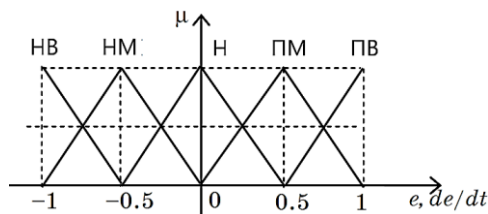


Рисунок 3.20 – Лінгвістичний опис вхідних змінних ПІД-регулятора

Лінгвістичні значення нормалізованих коефіцієнтів ПІД-регулятора можна подати за допомогою семи термів: «нульовий (Н)», «малий 1 (M1)», «малий 2 (M2)», «середній 1 (C1)», «середній 2 (C2)», «великий 1 (B1)» і «великий 2 (B2)», рисунок 3.15.

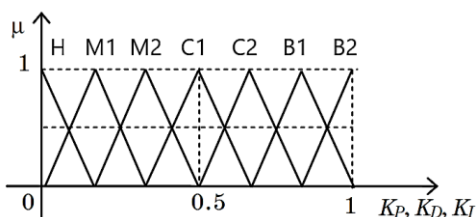


Рисунок 3.21 – Лінгвістичний опис коефіцієнтів підсилення

Для визначення вимог до коефіцієнтів ПІД-регулятора проаналізуємо типовий графік перехідного процесу, рисунок 3.22

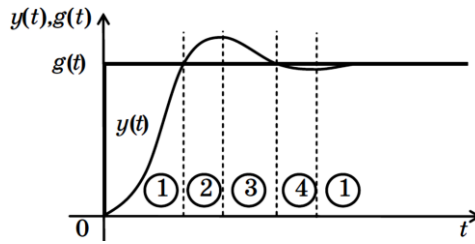


Рисунок 3.22 – Графік типового перехідного процесу

Розглядаючи знак помилки та її похідної, на графіку можна виділити 4 різні області:

$$\begin{aligned}
 1: e(t) > 0, de/dt < 0; \\
 2: e(t) < 0, de/dt < 0; \\
 3: e(t) < 0, de/dt > 0; \\
 4: e(t) > 0, de/dt > 0.
 \end{aligned}
 \tag{3.47}$$

Найпростіше описати вимоги до коефіцієнта K_I , який відповідає за сталу помилку. Його зміну можна охарактеризувати так: «Якщо помилка велика, то K_I також має бути великим». Оскільки йдеться про стабільну помилку, значення похідної не має впливу. Проте для зменшення коливаний в області нульової помилки важливо використовувати малі значення K_I , коли похідна не нульова. Таким чином, змінний K_I можна описати наступним чином рисунок 3.23. Коефіцієнт K_P відповідає за помилку відстеження вхідного сигналу e , і вимогу до його значення можна описати правилом: "Якщо e велика, то K_P великий".

Таблиця правил		$(de/dt)^*$				
		НВ	НМ	Н	ПМ	ПВ
Δe^*	НВ	С1	С1	С1	С1	С1
	НМ	М1	М1	М1	М1	М1
	Н	М2	М2	Н	М2	М2
	НМ	М1	М1	М1	М1	М1
	Н	С1	С1	С1	С1	С1

Рисунок 3.23 – Лінгвістичні правила опису K_I

За нульової помилки з додатною похідною необхідно трохи збільшити K_P , щоб скоротити тривалість переходного процесу. Рисунок 3.24 описує ці правила. Коефіцієнт K_D відповідає за перерегулювання рисунок 3.25.,

Таблиця правил		$(de/dt)^*$				
		НВ	НМ	Н	ПМ	ПВ
Δe^*	НВ	В2	В2	В2	В2	С1
	НМ	В1	В1	В1	С2	В2
	Н	Н	Н	М2	М1	М1
	НМ	В1	В1	В1	С2	В2
	Н	В2	В2	В2	В2	В2

Рисунок 3.24 – Правила опису K_P

Таблиця правил		$(de/dt)^*$				
		НВ	НМ	Н	ПМ	ПВ
Δe^*	НВ	Н	М1	С1	С2	В2
	НМ	М1	В1	С2	В2	В2
	Н	С1	С2	С2	В2	В2
	НМ	В1	В2	В2	М1	М1
	Н	В2	В2	В2	В2	В2

Рисунок 3.25 – Правила опису K_D

Значення коефіцієнта K_D визначається за правилом: «Якщо перерегулювання значне, то K_D має бути великим». Перерегулювання виникає, коли $y(t)$ наближається до $g(t)$, а помилка та її похідна мають протилежні знаки (зони 1 і 3 на рисунку 3.22). У таких випадках K_D повинен бути високим, в іншому ж разі він поступово зменшується до нуля рисунок 3.25.

Лінгвістичні правила для роботи нечіткого регулятора в режимі супервізора зведені в одну таблицю і наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Правила корекції коефіцієнтів ПІД-регулятора нечітким супервізором

№	e	de/dt	K_p	K_D	K_I	№	e	de/dt	K_p	K_D	K_I
1	НВ	НВ	B2	H	C1	14	H	ПМ	M1	B2	M2
2	НВ	НМ	B2	M1	C1	15	H	ПВ	M1	B2	M2
3	НВ	H	B2	C1	C1	16	ПМ	НВ	B1	B2	M1
4	НВ	ПМ	B2	C2	C1	17	ПМ	НМ	B1	B2	M1
5	НВ	ПВ	B2	B2	C1	18	ПМ	H	B1	B2	M1
6	НМ	НВ	B1	M1	M1	19	ПМ	ПМ	C2	B2	M1
7	НМ	НМ	B1	B1	M1	20	ПМ	ПВ	B2	B2	M1
8	НМ	H	B1	C2	M1	21	ПВ	НВ	B2	B2	C1
9	НМ	ПМ	C2	B2	M1	22	ПВ	НМ	B2	B2	C1
10	НМ	ПВ	B2	B2	M1	23	ПВ	H	B2	B2	C1
11	H	НВ	H	B1	M2	24	ПВ	ПМ	B2	B2	C1
12	H	НМ	H	B2	M2	25	ПВ	ПВ	B2	B2	C1
13	H	H	M2	B2	H						

Для налаштування нечіткого регулятора використовується «FIS editor» із системою нечіткого логічного висновку «Mamdani». У створюваній системі визначаються наступні параметри: тип логічного зв'язку («І» метод – мінімум, «АБО» метод – максимум), метод імплікації, спосіб агрегування результатів правил, та метод дефазифікації рисунок 3.26.

На рисунку 3.27 показана схема моделювання АСУ з нечітким супервізором ПІД-регуляторів з контурами регулювання технологічних параметрів.

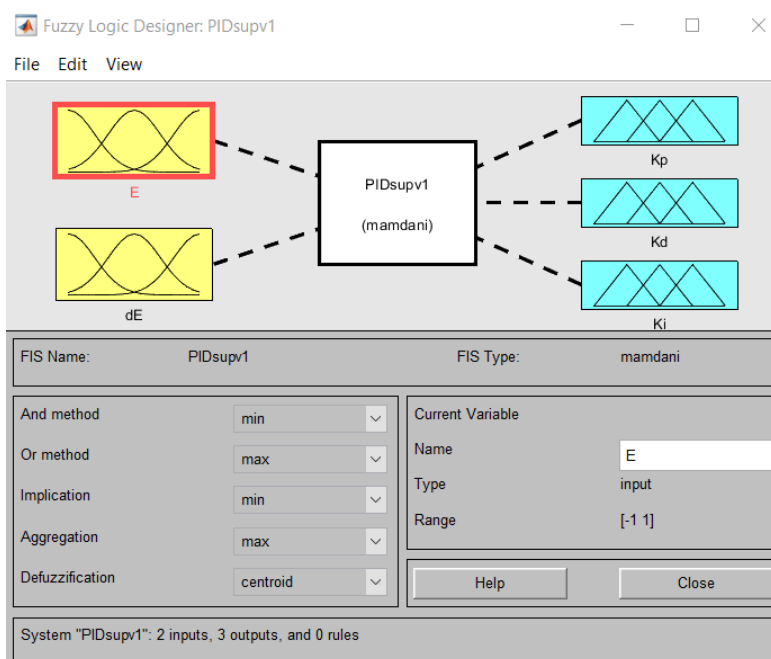


Рисунок 3.26 – Налаштування інтерфейсу FIS editor

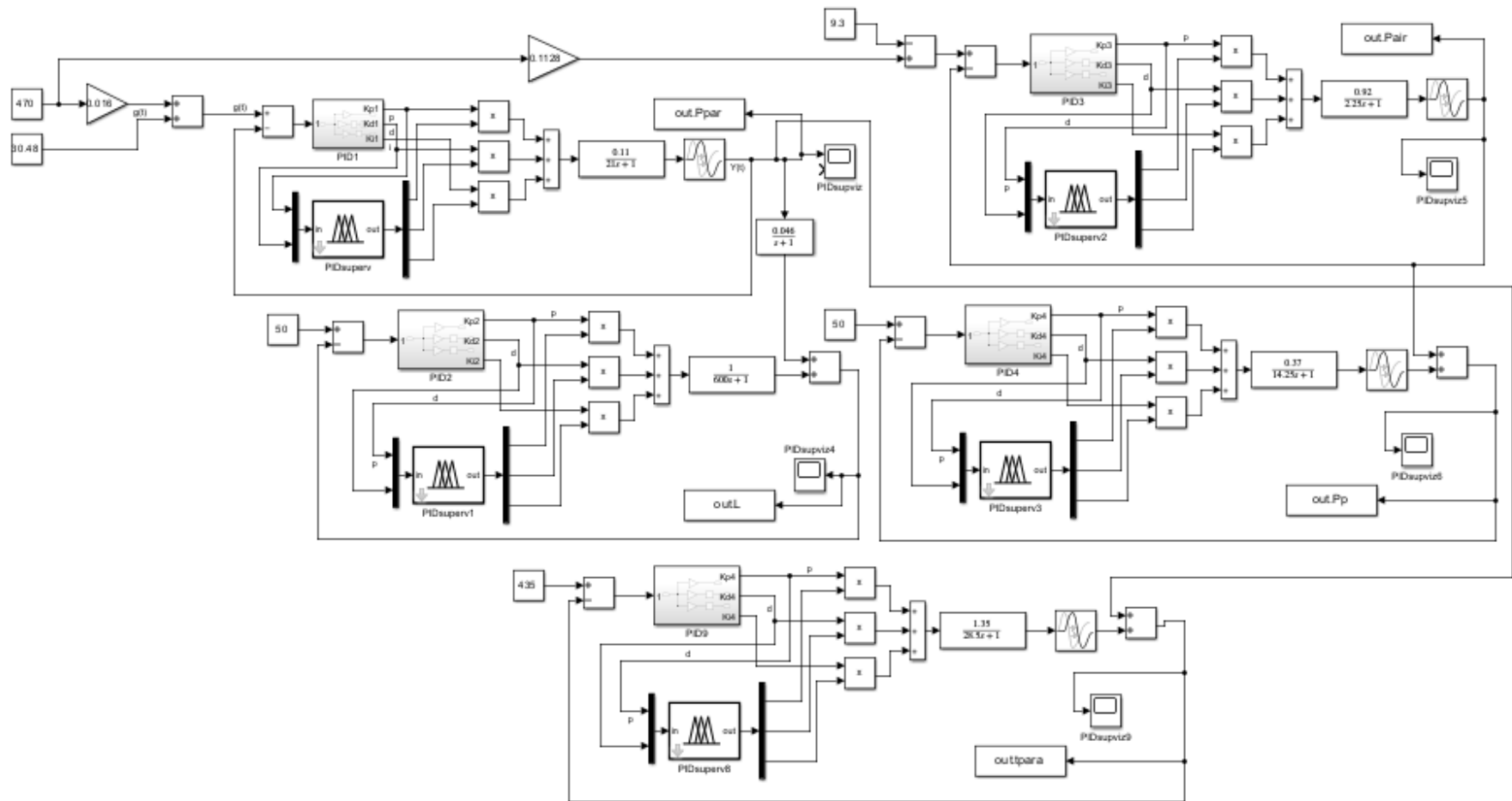


Рисунок 3.27 – Математичного моделювання системи управління з нечітким супервізором ПІД регулятора

У меню Edit по черзі додаються дві вхідні змінні з такими діапазонами базової шкали: (Range = [-300 200] для «похідної помилки управління» та Range = [-800 800] для «помилки управління»), а також три вихідні змінні з діапазоном базової шкали (Range = [0 1]).

Для визначення вхідних логічних змінних у редакторі функцій приналежності для кожної змінної використовується трикутна функція приналежності. На основі роботи нечіткого регулятора створено графічне зображення закону управління (рисунк 3.28).

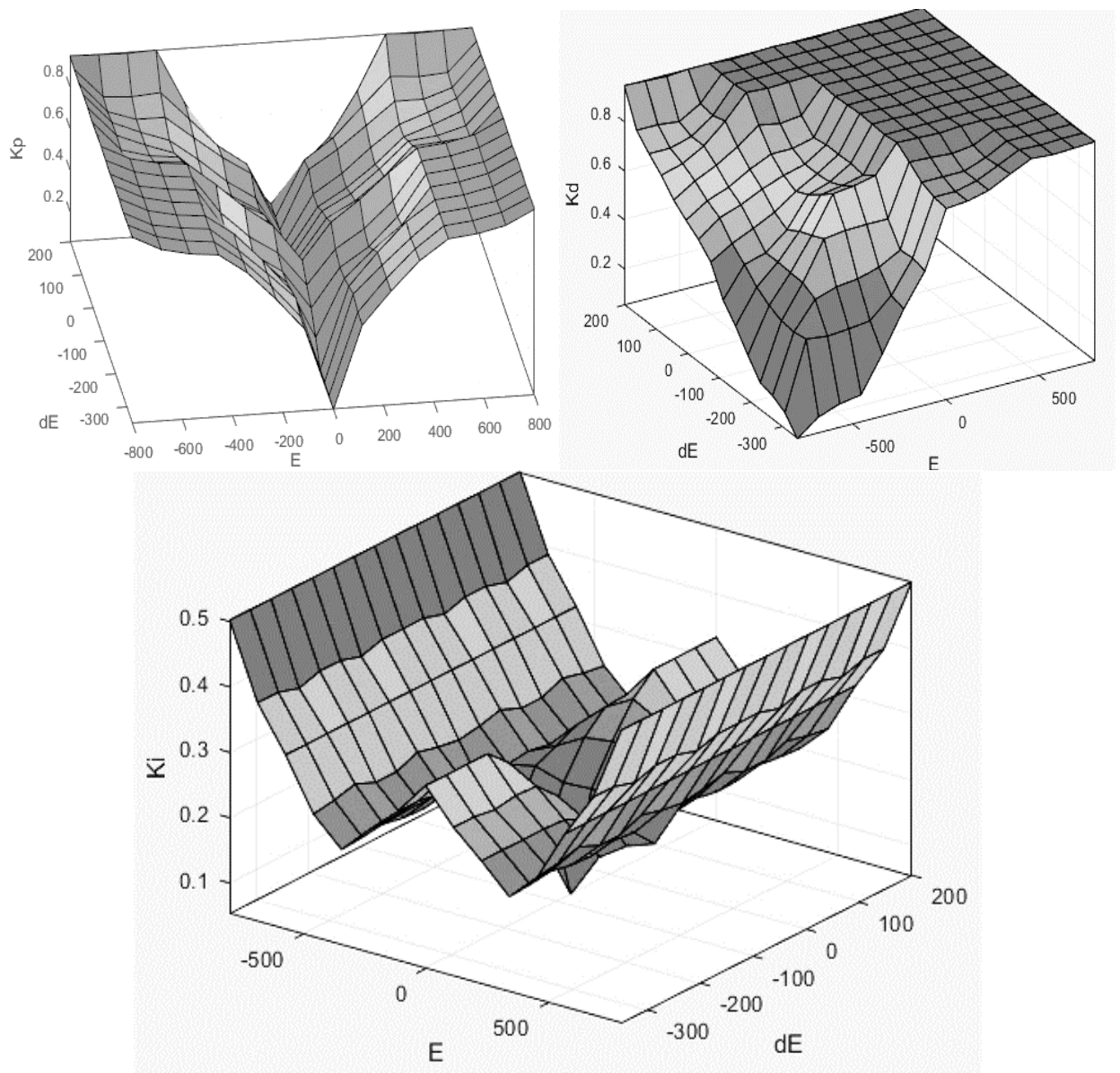


Рисунок 3.28 – Поверхні управління системою нечіткого висновку

На рисунках 3.29 - 3.33 показаний перехідний процес у системі управління з нечітким супервізором.

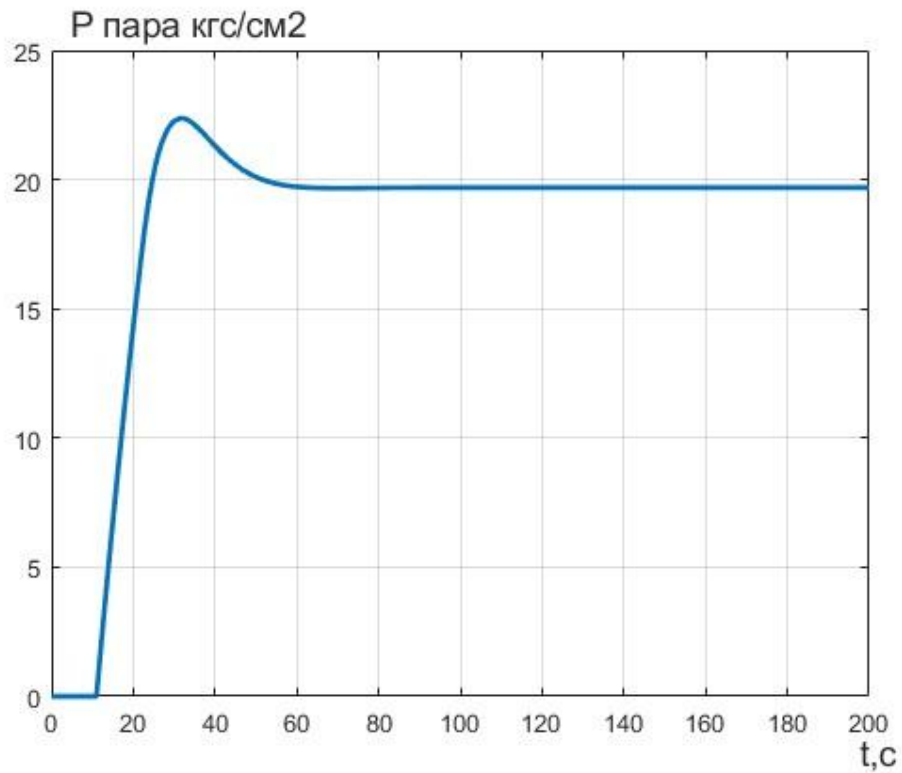


Рисунок 3.29 - Графік перехідного процесу в замкненому контурі регулювання тиску пари із використанням нечіткого супервізора для ПІД-регулятора.

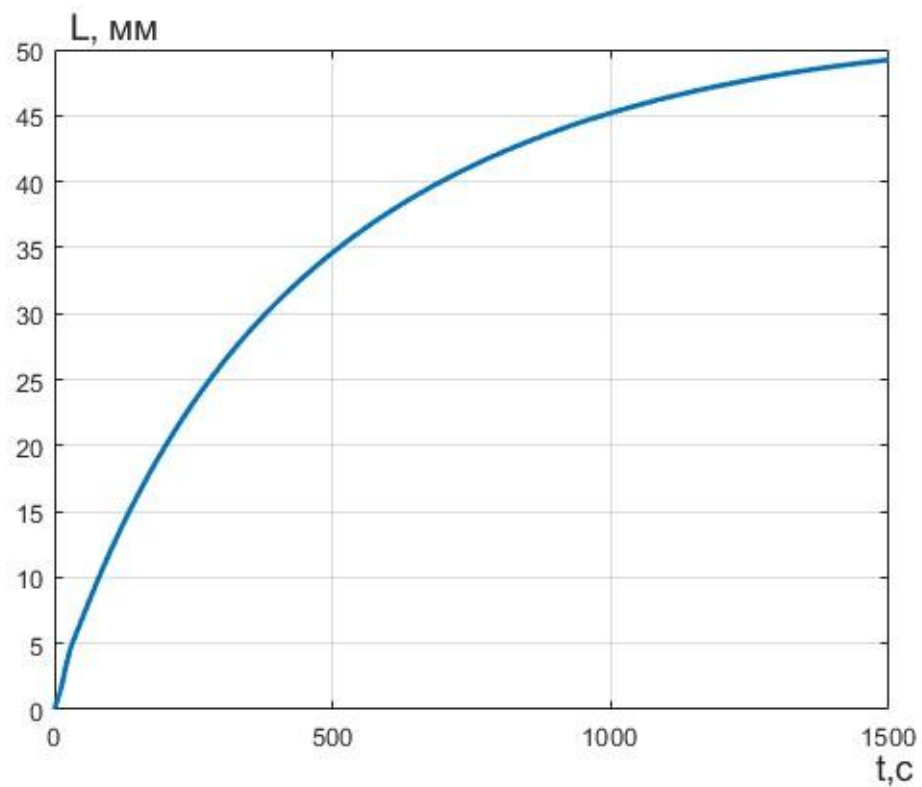


Рисунок 3.30 - Графік перехідного процесу в замкненому контурі регулювання рівня води в барабані із використанням нечіткого супервізора для ПІД-регулятора.

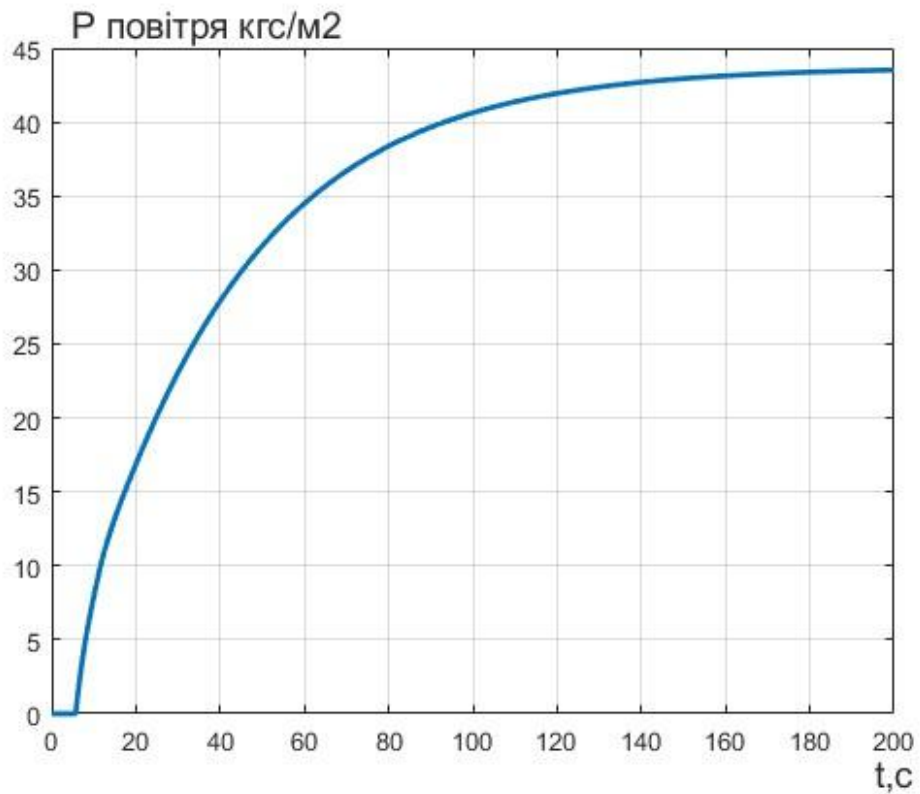


Рисунок 3.31 - Графік перехідного процесу в замкнутому контурі регулювання тиску повітря ГПС із використанням нечіткого супервізора для ПІД-регулятора.

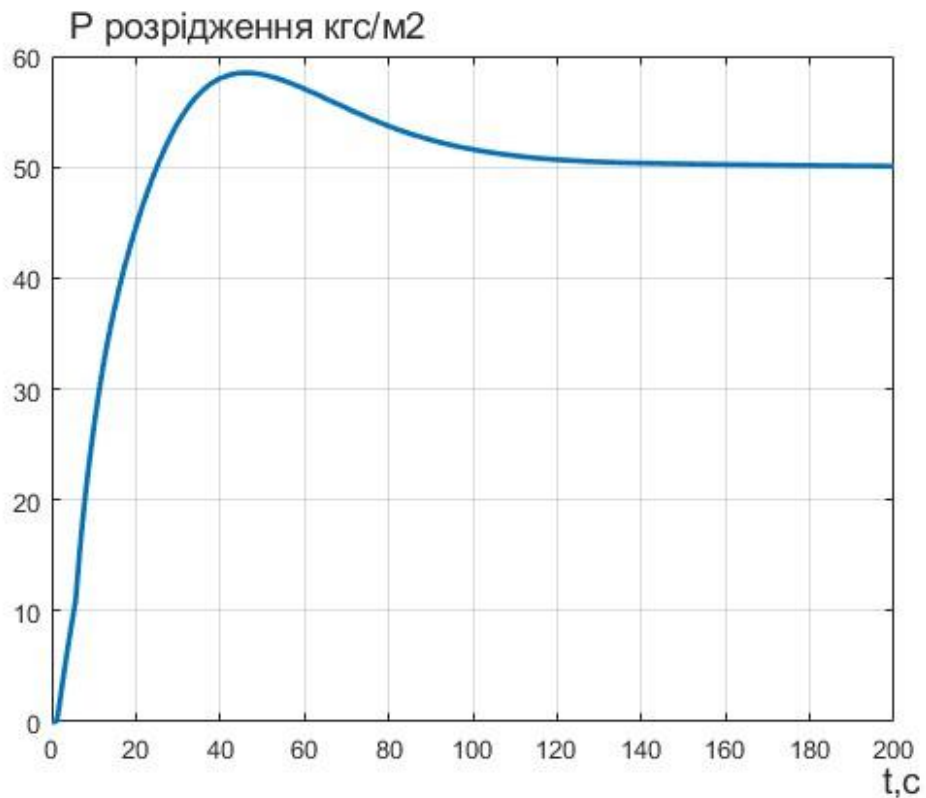


Рисунок 3.32 - Графік перехідного процесу в замкнутому контурі регулювання розрідження в топці котла із використанням нечіткого супервізора для ПІД-регулятора.

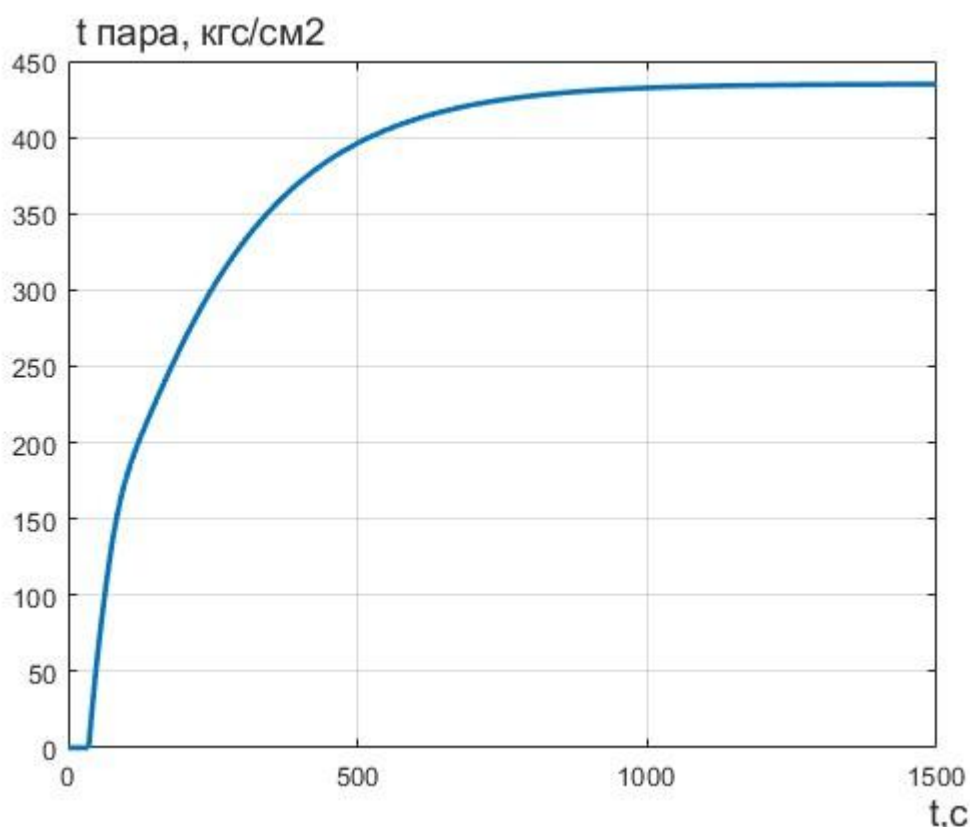


Рисунок 3.33 - Графік перехідного процесу в замкненому контурі регулювання температури перегрітого пару із використанням нечіткого супервізора для ПІД-регулятора.

Результати математичного моделювання технологічних параметрів котельного агрегату показали, що застосування нечіткого регулятора в супервізорному режимі дозволило оптимізувати коефіцієнт підсилення класичного ПІД-регулятора.

В результаті використання нечіткого регулятора в супервізорному режимі покращено наступні показники регулювання:

1) для перехідного процесу регулювання тиску пари знизили рівень коливань перехідної характеристики та підвищили швидкодію процесу, забезпечивши більш стабільний і швидкий вихід системи на задане значення;

2) для перехідного процесу регулювання рівня в барабані котла мінімізували коливання перехідної характеристики та зменшили динамічну похибку, забезпечуючи більш стабільну роботу системи та точніше утримання заданого рівня;

3) для перехідного процесу тиску повітря та розрідження в топці котла дозволило зменшити коливання перехідної характеристики та зменшити динамічну похибку.

4) для перехідного процесу регулювання температури перегрітого пару знизили ступінь перерегулювання, підвищили стабільну роботу системи та точніше утримання заданої температури.

3.3 Розробка структури програмного забезпечення автоматизованої системи котла

До основного програмного забезпечення автоматизованої системи управління відноситься:

- програма нижнього рівня - керуюча програма контролера;
- програма верхнього рівня SCADA система.

Програма контролера реалізує алгоритми управління, регулювання та захист технологічного обладнання котла, а також забезпечує обмін даними з верхнім рівнем - SCADA системою. Основні задачі які виконує в програма контролеру:

- зчитування даних з модулів введення;
- обробка та фільтрація сигналів;
- приведення сигналів до необхідного масштабу;
- алгоритм технологічної сигналізації;
- механізм захисту та блокування;
- алгоритм керування та регулювання;
- обмін даними з обладнанням і програмним забезпеченням верхнього рівня.

Цикл сканування програмного забезпечення контролера розпочинається з опитування модулів введення. Під час конфігурації ці модулі оснащуються вбудованими програмними фільтрами, які забезпечують усунення «зашумлення» сигналу.

Отримане з АЦП значення необхідно привести до відповідної шкали параметра, тобто виконати масштабування цифрового коду відповідно до діапазону датчика.

Спочатку отримане значення порівнюється з уставками сигналізації та блокування. Якщо умови виконуються, система негайно формує сповіщення або активує алгоритм захисту, блокує подачу газу до пальників, ініціює вентиляцію топки котла тощо.


Згідно з алгоритмом роботи контролера обчислюються нові керуючі значення, наприклад, вихідний сигнал ПІД-регулятора, які передаються на виконавчі механізми через модулі виводу.

Однією з основних задач є також забезпечення зв'язку між обладнанням та програмним забезпеченням верхнього рівня, а саме передача даних між ПЛК та робочою станцією оператора в обох напрямках.

До ключових підсистем верхнього рівня належать:

- інформаційна підсистема;
- керуюча підсистема;
- підсистема візуалізації;
- підсистема збереження даних;
- підсистема диспетчеризації.

До інформаційної системи входять такі задачі:

- 
- отримання даних від нижнього рівня (контролера) та реалізація алгоритмів обміну інформацією з ПЛК;
 - обмін даними з підсистемою збереження інформації;
 - виконання розрахунків техніко-економічних та експлуатаційних показників;

- централізоване управління;
- взаємодія з підсистемою візуалізації.

До підсистеми візуалізації належать такі задачі:

- відображення мнемосхем у реальному часі;
- показ графіків технологічного процесу та архівних трендів зміни параметрів за минулі періоди, що зберігаються в базі даних;
- відображення журналу аварій та подій, що містить попередні дії оператора та всі події, які виникають у системі;
- показ діагностичних даних, таких як стан системи (зв'язок з ПЛК, модулями вводу-виводу);
- відображення техніко-економічних показників у вигляді таблиць та звітів.

До керуючої підсистеми належать такі задачі:

- алгоритм розпалу пальників котла;
- математична модель регулювання тиску пари;
- математична модель регулювання температури перегрітої пари;
- розрахунок та передача керуючих впливів (встановлення нового завдання для регулятора, активація захисту);
- реалізація алгоритму запуску та перезапуску системи.

До підсистеми збереження даних належать такі задачі:

- запит даних від інформаційної системи (поточних та розрахованих);
- запис даних у поточну базу даних;
- запит даних від підсистеми візуалізації для побудови графіків, архівних трендів та звітів техніко-економічних показників;
- копіювання даних у архів для забезпечення їх цілісності;
- реалізація запитів від системи диспетчеризації.

Підсистема диспетчеризації призначена для передачі та відображення даних для технологічного персоналу заводу. До її задач належать:

- сервер запиту даних від системи збереження даних;
- поточна база даних системи диспетчеризації;
- моніторинг та відображення звітності.

Схема взаємозв'язку функціональних задач автоматизованої системи керування котла зображена на кресленні «Взаємозв'язок функціональних завдань».

3.4 Розробка блок-схем системи автоматичного керування котлом

Автоматизована система керування котлом має працювати відповідно до заданого алгоритму для ефективного підтримання технологічного процесу. Блок-схема основного алгоритму роботи системи представлена на рисунку 3.34.

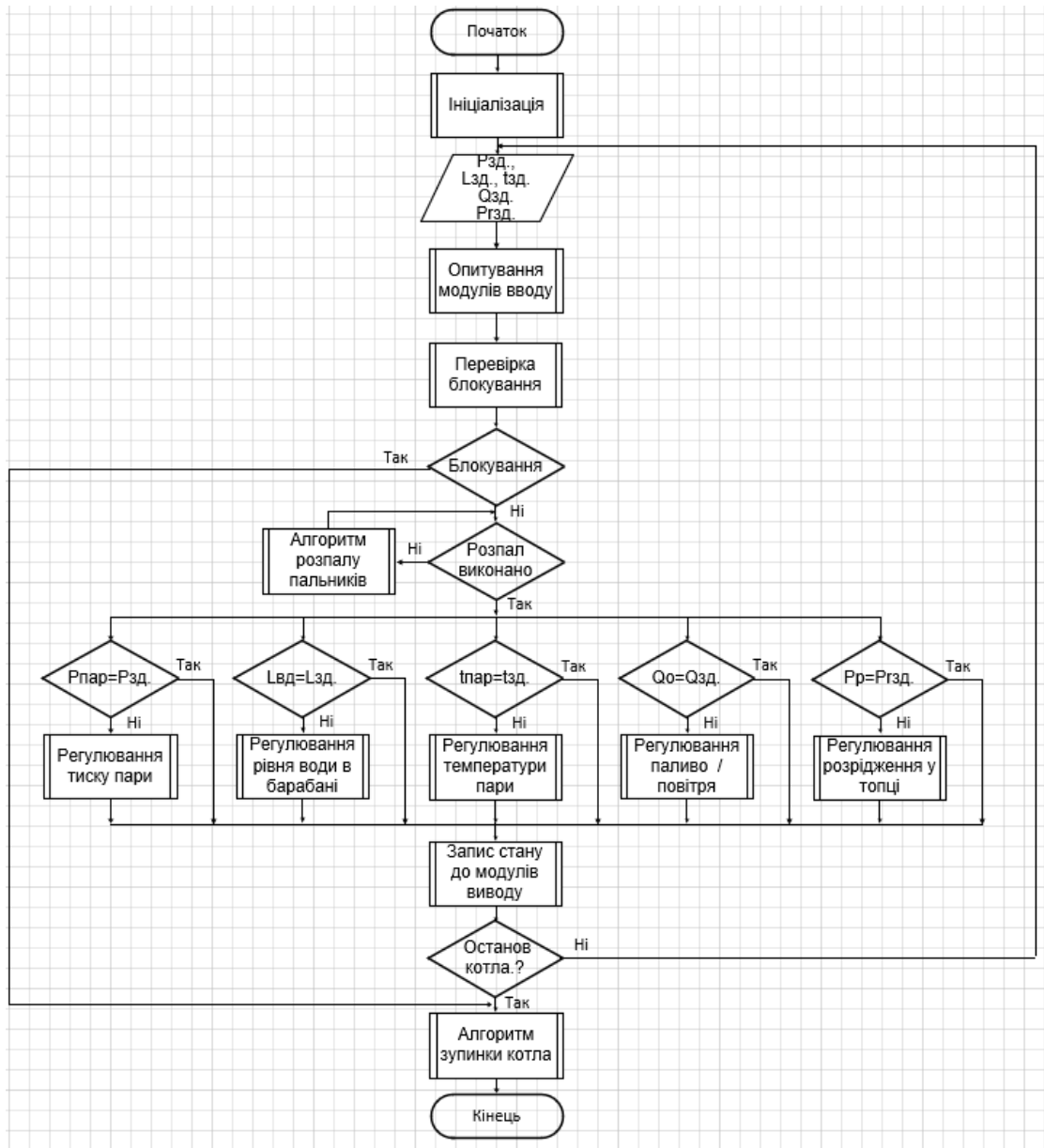


Рисунок 3.34 – Основний алгоритм роботи програми АСУ котла

На початку роботи системи виконується ініціалізація (діагностика модулів вводу/виводу, комунікаційних модулів). Далі виконується цикл сканування програми. В процесі виконання програми оператор здійснює введення режиму роботи котла, блокує/деблокує уставки для спрацювання теплового захисту, та встановлює завдання для регулюючих параметрів. Цикл сканування програми завжди починається

з опитування модулів вводу. Отримані вхідні значення спочатку порівнюються у програмі перевірки сигналізації та блокування, і у разі виявлені порушення програма переходить до алгоритму аварійної зупинки. Якщо порушення не виявлені у програмі перевіряється режим роботи (Розпал котла чи основний режим). Якщо вибраний режим розпал пальників тоді виконується алгоритм пуску котла - розпалу пальників. При основному режимі виконується регулювання технологічних параметрів. Порівнюється виміряне значення параметру із заданим і у разі відхилення цикл програми розраховує нове значення керування виконавчими механізмами для компенсування відхилення параметрів. Розраховані значення записуються у модулі виводу. Після цього алгоритм починається заново з опитування модулів вводу.

Алгоритм роботи перевірки блокування роботи котла представлений на рисунку 3.35.

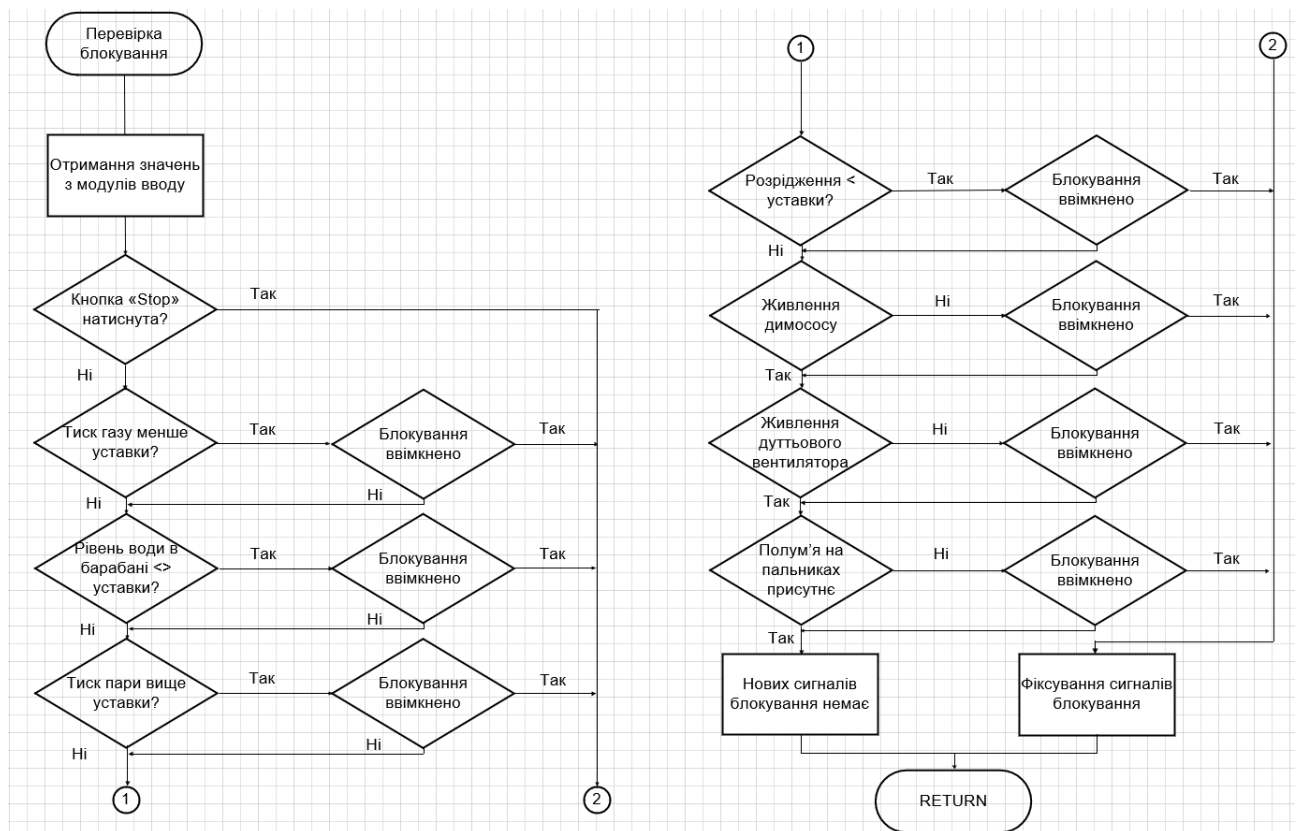


Рисунок 3.35 – Алгоритм роботи блоку програми перевірки сигналізації та блокування котла

Як було розглянуто вище у системі теплового захисту котла передбачені такі уставки:

- рівень води у барабані менше -100мм;
- рівень води у барабані більше 150мм;
- тиску коксового газу менше 50 мм.вд.ст.;
- розрідження у топці котла менше -10мм.вд.ст.;

- тиск пари більше 42кгс/см²;
- погасання факела в топці котла;
- захист від вимкнення димососа або вентилятора.

Алгоритм теплового захисту повинен передбачати вимкнення блокування при розпалу пальників та прогріву топки котла, коли технологічні параметри не вийшли на робочі режими. Також вимкнення блокування проводиться під час перевірки системи теплового захисту, та проведенню теплотехнічних випробувань.

3.5 Програмна реалізація запропонованої системи управління

На основі обраних апаратних засобів автоматизації лінійки S7-1500 та розробленої принципової електричної схеми, виконаємо конфігурацію проекту автоматизації у програмному забезпеченні Tia Portal [26]. На початку конфігуруємо центральну стійку керування з використанням центрального модулю – програмованого логічного контролера до якої потім додаємо модулі вводу, виводу та комунікаційний модуль. На рисунку 3.36 зображена налаштована стійка.

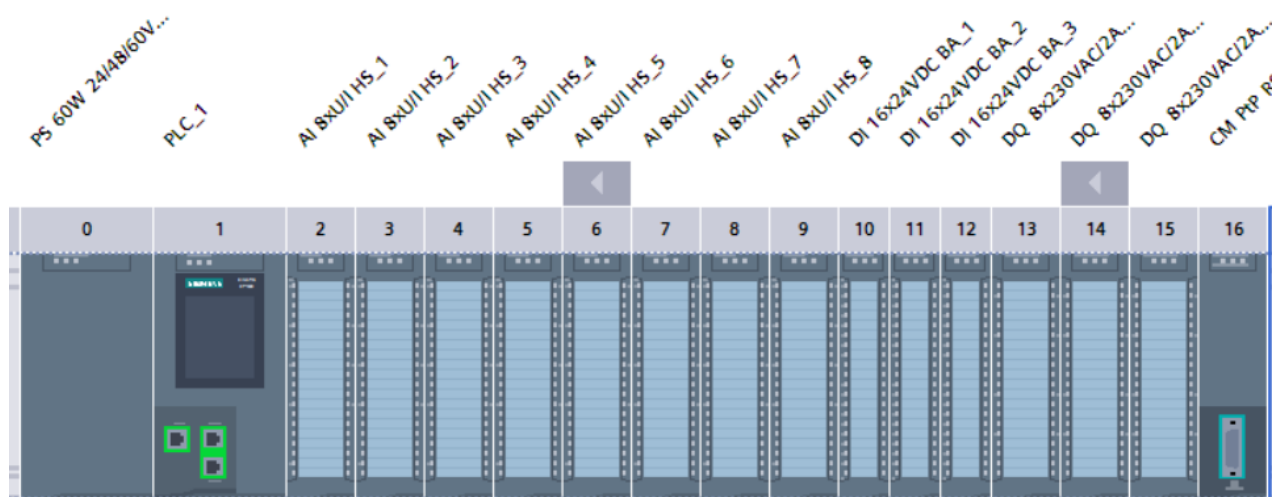


Рисунок 3.36 – Конфігурування апаратного забезпечення у Tia Portal

Склад обладнання:

- блок живлення PS 60W (6ES7505-0RA00-0AB0) – 1 шт;
- ПЛК CPU 1515 PN (6ES7515-2AN03-0AB0) – 1 шт;
- модуль аналогового вводу AI 8xU/I HS (6ES7531-7NF10-0AB0) – 8 шт;
- модуль дискретного вводу DI 16x24VDC BA – 3 шт;
- модуль дискретного виводу релейний DQ 8x230 VAC 2A (6ES7521-1BH10-0AA0) – 3шт;
- комунікаційний модуль CM PtP RS422/485 BA – 1 шт.

На рисунку 3.37 зображено мережеве під'єднання контролера до двох робочих станцій, з доданим програмним забезпеченням WinCC RT.

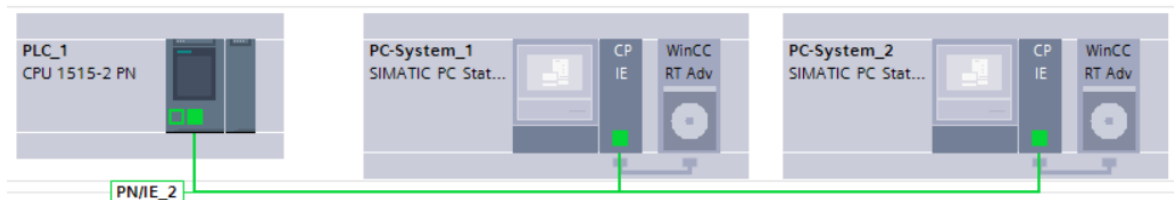


Рисунок 3.37 - Мережеве під'єднання контролера до робочих станцій

Робимо налаштування адресного простору для модулів вводу виводу на рисунку 3.38. На рисунку 3.39 створили теги проекту.

Module	Rack	Slot	I address	Q address	Type	Article no.	Firmware	Co
PLC_1	0	1			CPU 1515-2 PN	6ES7 515-2AM02-0AB0	V2.8	
PROFINET interface_1	0	1 X1			PROFINET interface			
PROFINET interface_2	0	1 X2			PROFINET interface			
AI 8xUII HS_1	0	2	0...15		AI 8xUII HS	6ES7 531-7NF10-0AB0	V2.1	
AI 8xUII HS_2	0	3	16...31		AI 8xUII HS	6ES7 531-7NF10-0AB0	V2.1	
AI 8xUII HS_3	0	4	32...47		AI 8xUII HS	6ES7 531-7NF10-0AB0	V2.1	
AI 8xUII HS_4	0	5	48...63		AI 8xUII HS	6ES7 531-7NF10-0AB0	V2.1	
AI 8xUII HS_5	0	6	64...79		AI 8xUII HS	6ES7 531-7NF10-0AB0	V2.1	
AI 8xUII HS_6	0	7	80...95		AI 8xUII HS	6ES7 531-7NF10-0AB0	V2.1	
AI 8xUII HS_7	0	8	96...111		AI 8xUII HS	6ES7 531-7NF10-0AB0	V2.1	
AI 8xUII HS_8	0	9	112...127		AI 8xUII HS	6ES7 531-7NF10-0AB0	V2.1	
DI 16x24VDC BA_1	0	10	128...129		DI 16x24VDC BA	6ES7 521-1BH10-0AA0	V1.1	
DI 16x24VDC BA_2	0	11	130...131		DI 16x24VDC BA	6ES7 521-1BH10-0AA0	V1.1	
DI 16x24VDC BA_3	0	12	132...133		DI 16x24VDC BA	6ES7 521-1BH10-0AA0	V1.1	
DQ 16x230VAC/1A ST_1	0	13		0...1	DQ 16x230VAC/1A...	6ES7 522-5FH00-0AB0	V1.0	
DQ 16x230VAC/1A ST_2	0	14		2...3	DQ 16x230VAC/1A...	6ES7 522-5FH00-0AB0	V1.0	
DQ 16x230VAC/1A ST_3	0	15		4...5	DQ 16x230VAC/1A...	6ES7 522-5FH00-0AB0	V1.0	
CM PtP RS422/485 BA_1	0	16	134...141		CM PtP RS422/485 ...	6ES7 540-1AB00-0AA0	V1.0	

Рисунок 3.38 – адресний простір для модулів вводу виводу

PLC tags										
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervis...	Comment
1	F_para	Default tag table	Int	%IW0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Витрата перегрітої пари
2	P_para	Default tag table	Int	%IW1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Тиск перегрітої пари
3	t_para	Default tag table	Int	%IW2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Температура перегрітої пари
4	t_para_inoh	Default tag table	Int	%IW3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Температура пари до парохолоджувач...
5	t_para_outh	Default tag table	Int	%IW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Температура пари після парохолоджу...
6	Pl_para_nash	Default tag table	Int	%IW5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Тиск насиченої пари
7	F_water	Default tag table	Int	%IW6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Витрата поживної води
8	P_water	Default tag table	Int	%IW7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Тиск поживної води
9	t_water	Default tag table	Int	%IW8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Температура живильної води
10	P_water_itr	Default tag table	Int	%IW9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Тиск поживної води перед трактом
11	H_water_1	Default tag table	Int	%IW10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Рівень води у барабані 1.
12	H_water_2	Default tag table	Int	%IW11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Рівень води у барабані 2.
13	H_water_3	Default tag table	Int	%IW12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Рівень води у барабані 3.
14	F_KG	Default tag table	Int	%IW13	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Витрата коксового газу
15	F_vozd	Default tag table	Int	%IW14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Витрата повітря на котел
16	P_vozd	Default tag table	Int	%IW15	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Тиск повітря після вентилятора
17	P_in_topk	Default tag table	Int	%IW16	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Розрідження в топці
18	P_in_dm	Default tag table	Int	%IW17	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Розрідження перед димососом
19	t_dym_gaz	Default tag table	Int	%IW18	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Температура димових газів трактом
20	Q_O2	Default tag table	Int	%IW19	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Вміст кисню в газах, що йдуть
21	F_produvka	Default tag table	Int	%IW20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Витрата безперервної продування з ци...
22	P_KG	Default tag table	Int	%IW21	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Тиск коксового газу
23	IM_water	Default tag table	Int	%IW22	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Положення клапану по воді
24	IM_gaz	Default tag table	Int	%IW23	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Положення клапану по газу
25	IM_vozduh	Default tag table	Int	%IW24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Положення шибери подачі повітря
26	IM_in_dm	Default tag table	Int	%IW25	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Положення шибери перед димососом
27	IM_parohl	Default tag table	Int	%IW26	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Положення клапану витрати води на па...

Рисунок 3.39 – Створені теги проекту

Після проведення мережевого з'єднання налаштуємо відповідні IP адреси контролеру та мережевих карт робочих станцій. Модулі

аналогового вводу налаштовуємо на тип вхідного сигналу відповідно струм 4-20мА.

Створені теги проекту призначені для збереження стану та значень виміряних параметрів з модулів вводу, а також для збереження проміжних результатів при виконанні програми. Кожен тег має відповідний формат зберігання даних. Для збереження цифрового коду з АЦП аналогового модулю використовуємо формат зберігання – ціле число (Int). Отримане значення необхідно перетворити в відповідне значення що відповідає фізичному числу параметру. Для цього треба перетворити ціле число до дійсного використовуючи блок NORM_X а потім отримане число перерахувати до відповідного діапазону зміни параметру, використовуючи блок Scale_X. Фрагмент програми обробки аналогового вводу представлено на рисунку 3.40

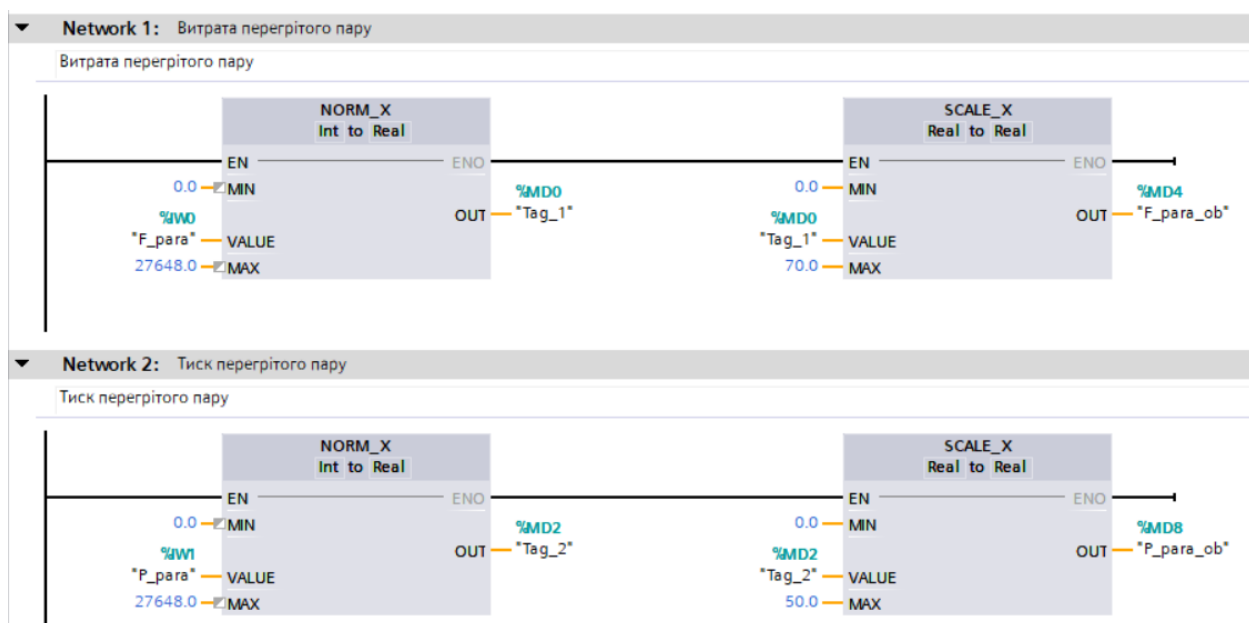


Рисунок 3.40 – Програма обробки сигналів аналогового вводу

Для реалізації вище приведенного алгоритму перевірки блокування необхідно порівнювати виміряні параметри з уставками. Фрагмент програми представлено на рисунку 3.41. Для цього створюємо дата блок в якому записані наші уставки, в програмі використовуємо блоки порівняння – компаратори які порівнюють відповідно умові вхідні сигнали з уставками і формують на виході або лог. 1 – умова виконалась, або лог. 0 – умова не виконалась. Далі ці сигнали використовуються у програмі блокування на рисунку 3.42. Кожне блокування можна вмикати або вимикати, для цього у програмі використовується «нормально відкриті» контакти які підв'язані до відповідних тегів. Далі усі сигнали поєднуються і надходять до таймеру «включення» TON з уставкою 2с, для виключення ефекту «брязкіт контакту» коли виміряні параметри знаходяться близько до уставки. Далі сигнал з таймеру надходить до

SR тригеру де фіксується та буде утримуватись поки не буде натиснута кнопка «скидання аварії». При наявності сигналу блокування(високому рівні на вході S) тригер SR не буде реагувати на сигнал скидання.

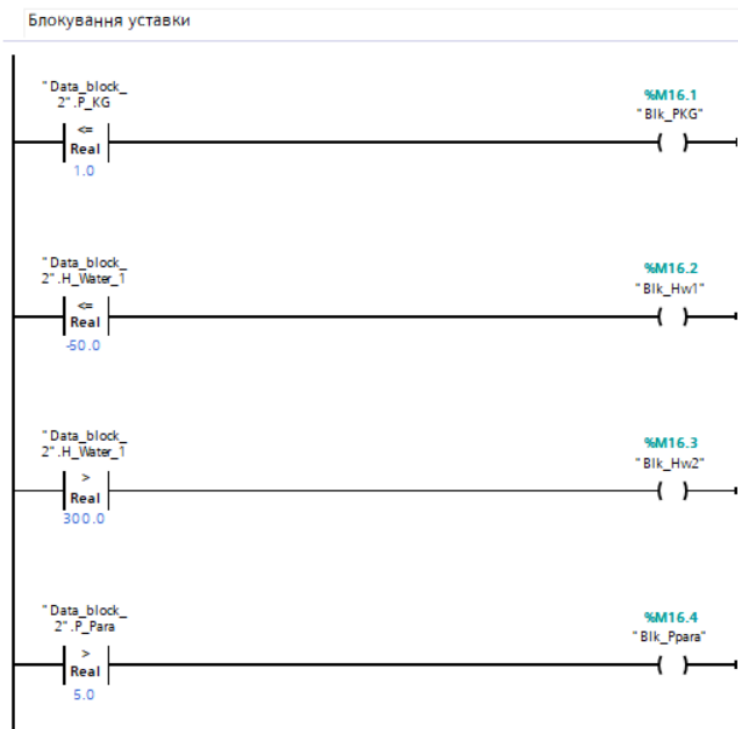


Рисунок 3.41 – Фрагмент програми перевірки уставок блокування

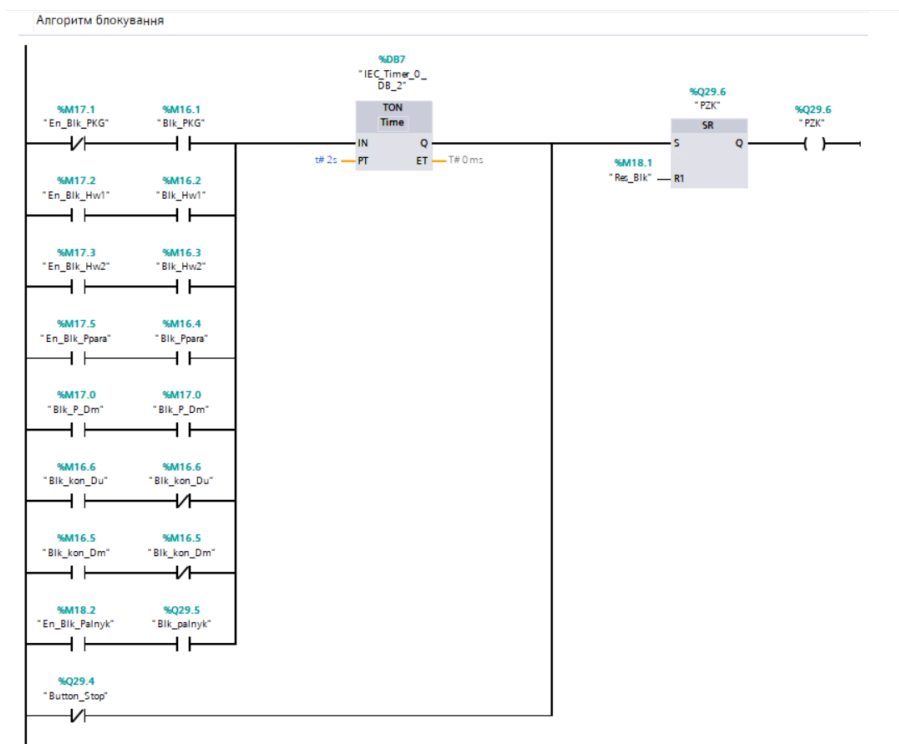


Рисунок 3.42 – Фрагмент програми блокування

Для регулювання температури перегрітого пару у програмі будемо використовувати ПІД регулятор блок PID_3Step, який призначений для управління виконавчими механізмами (ВМ) і має два дискретні виходи відповідно для відкриття та закриття ВМ. Регулятор має вхід Input - на який подається зворотній зв'язок з датчика, вхід Setpoint – на який подається завдання для регулюючого параметру, вхід Manual/Enable для переведення регулятора у ручний режим роботи. На рисунку 3.43 представлений фрагмент програми з ПІД регулятором температури перегрітої пари.

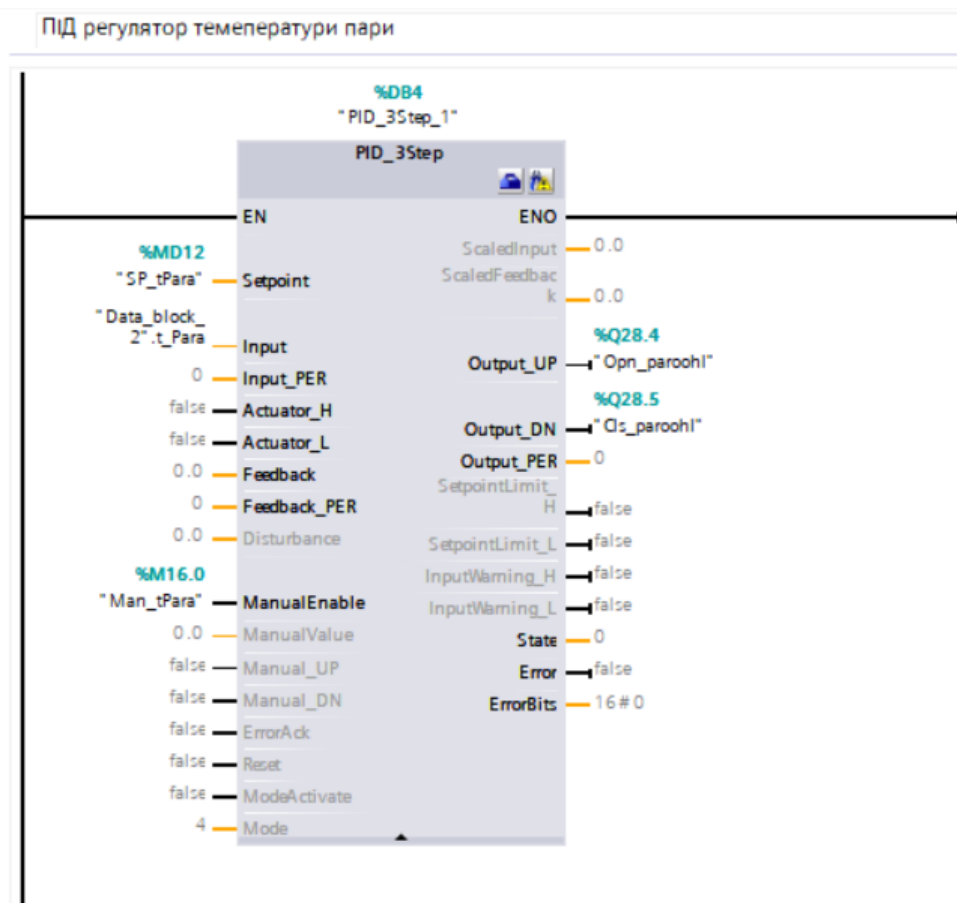


Рисунок 3.43 – Фрагмент програми ПІД регулятора температури перегрітої пари

У програмному забезпеченні Simatic WinCC, розроблена Scada система що дозволяє керувати технологічним процесом котла, взаємодіє з контролером. Інтерфейс головного вікна проекту для робочої станції представлений у Додатку В на рисунку В.1, інтерфейс вікна для перегляду трендів представлений на рисунку В.2, інтерфейс вікна налаштування регулятора на рисунку В.3.



4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПАНОВАНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Основні результати при впровадженні системи автоматичного керування котла

Впровадження системи автоматичного регулювання парового навантаження дозволить досягти значний економічний ефект, знижуючи витрати на енергоносії через оптимальне регулювання параметрів, а також зменшуючи експлуатаційні витрати. Підвищення якості регулювання забезпечується можливістю точного встановлення витрати та тиску пара для конкретних технологічних процесів.

Запропонована система передбачає отримання економічного ефекту за рахунок зниження витрат коксового газу. Управління паровим котлом буде здійснюватися з комп'ютера оператора в автоматичному режимі це підвищить точність підтримання параметрів, швидкодію на збурюючі впливи, а також підвищить рівень безпечної експлуатації котла, який має розширену зону видимості.

Система автоматизації – багаторівнева та виконує такі основні функції:

- регулювання та індикація технологічних параметрів;
- ручне коригування технологічного процесу;
- зберігання оптимальних налаштувань для подальшого використання;
- ведення архіву з побудовою графіків та трендів для зручного відображення процесу;
- ведення журналу подій та дій оператора;
- розрахунок техніко-економічних показників.

Режими роботи системи включає:

- наладку та тестування;
- режим пуску котла;
- автоматичний режим.

Організація праці в котельні включає комплекс заходів щодо впровадження нових умов праці на основі наукового аналізу трудових процесів. Основні завдання наукової організації праці:

- скорочення витрат праці на ремонт;
- підвищення кваліфікації працівників та зниження фізичного навантаження працівників;
- поліпшення умов праці, що виключає негативний вплив виробничого середовища на здоров'я.

Модернізація системи управління знижує витрати праці, підвищує кваліфікацію працівників, оскільки обслуговування системи потребує додаткових навичок роботи з обчислювальною технікою та електроавтоматикою. Очікувані результати проекту: збільшення продуктивності, зниження собівартості, скорочення витрат на ремонт та енергоносії.

Економічна оцінка системи управління передбачає комплексне порівняння витрат і результатів модернізації, що дозволяє визначити доцільність обраної системи управління.

На сьогодні найбільш поширеним методом вимірювання економічної ефективності є метод приведених витрат. Оцінка економічного ефекту від модернізації включає розрахунок економії за рахунок зниження поточних і одноразових витрат, що досягається шляхом удосконалення різних управлінських функцій.

4.2 Техніко-економічна оцінка результатів впровадження системи автоматичного керування котла

Вихідні дані для оцінки економічної ефективності модернізації системи управління наведені в таблиці 4.1. Усі розрахунки виконуються з урахуванням річного обсягу виробництва [27].

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показники	Позначення	До модернізації	Після модернізації
Виробнича навантаження пара, тон/рік	<i>A</i>	307561	376320
Тривалість роботи обладнання на рік, діб.	<i>T_{доб}</i>	320	320
Кількість змін на добу	<i>n_{зм}</i>	2	2
Тривалість зміни, час	<i>t_{зм}</i>	12	12
Вартість 1 м ³ пара	<i>Ц_Е</i>	28,9	28,9
Норма амортизації, %	<i>Н_А</i>	15	15
Норма відрахувань на ремонт, %	<i>Н_Р</i>	3	3
Норма обслуговування, чел. в зміну	<i>Н_{ОБС}</i>	3	3
Годинна тарифна ставка, грн.	<i>ЧТС</i>	97	106
Додаткова зарплата, грн.	<i>%Дз</i>	30	30
Нарахування на зарплату в соціальні фонди, %	<i>%Осф</i>	22	22
Ціна циклу, грн.	<i>Ц_п</i>	380	380

Вихідні дані по витраті на обладнання представлений у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Витрати на обладнання системи

Найменування	Кіл.	Ціна, грн	Разом, грн
1	2	3	4
Блок живлення PS 1505, 6ES7505-0RA00-0AB0	1 шт.	38500	38500
Центральний процесор SIMATIC S7-1500, CPU 1515-2 PN 6ES7515-2AN03-0AB0	1 шт.	169843	169843
Модуль аналогового вводу SM 1531 6ES7531-7NF10-0AB0	8 шт.	55898	447184
Модуль дискретного вводу SM 1521 6ES7521-1BH10-0AA0	3 шт.	15854	47562
Модуль дискретного виводу SM 1522 ST 6ES7522-5HH00-0AB0	3 шт.	25262	75786
Комунікаційний модуль CM PTP RS422/485 BA 6ES7540-1AB01-0AA0	1 шт.	42087	42087
Датчик тиску Датчик тиску SITRANS P320 7MF0300-1PB01-5AF2	1 шт.	44600	44600
Датчик тиску SITRANS P320 7MF0300-1TB01-5AF2	4 шт.	42450	169800
Датчик диференційного тиску SITRANS P320 7MF0310-1ML01 -5AF2	4 шт.	48355,2	193420,8
Датчик диференційного тиску SITRANS P320 7MF0310-1DL01 -5DF2	1 шт.	56357,7	56357,7
Термопара К з перетворювачем SITRANS TS500 7MC751- 10NB14-0AK1T24	8 шт.	3670	29360
Датчик тиску STG73L-E1G000-1-C-BHD	4 шт.	42157	168628
Датчик тиску SITRANS P320 7MF0300-1FB01-5AF2	4 шт.	57453	229812
Газоаналізатор Yokogawa ZR-202G-100	1 шт.	257000	257000
Автомат управління пальником IFD 258	4 шт.	5500	22000

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
Виконавчий механізм AUMA SQREx07.2-FS	8 шт.	125126	1001008
Блок живлення Mean Well SDR-480-24	2 шт.	9833,2	19666,4
ББЖ APC smart-ups 1500va/1000w (SMT1500RMI2UC)	2 шт.	61674	123348
Кабель КВВГнг 4х1	850м	31,8	27030
Сервер ARTLINE Business R17v14	1 шт.	12734	12734
Комутатор CISCO CBS250-8P-E-2G-EU	1 шт.	27,5	27,5
Шафа контролеру управління ШхВхГ 800х2000х400	1 шт.	7 500	7500
Шафа робочих станцій та ДБЖ ШхВхГ 590х1600х890	1 шт.	6 200	6200
Разом ($C_{пр}$)			3189454,4

Результати розрахунку капітальних витрат наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок капітальних витрат при впровадженні системи

Витрати	Позначення	Сума, грн	Опис
Вартість обладнання із залишковою вартістю	$C_{пр}$	3224454,4	3 табл.5.2+ $C_{пр.Б}$
Витрати на доставку	$З_{тр}$	257956,352	8 % от $C_{пр}$
Витрати на монтаж	$M_{пр}$	967336,32	30 % от $C_{пр}$
Невраховані витрати на монтаж	$НЗ_{пр}$	48366,816	5 % от $M_{пр}$
Витрати на демонтаж/перекомутацію	$C_{д}$	257956,352	8 % от $C_{пр}$
Разом	$K_{авт}$	4756070,24	$K_{авт} = C_{пр} + З_{тр} + M_{пр} + НЗ_{пр} + C_{д}$

Як показано в таблиці 4.3, капітальні витрати, пов'язані з модернізацією АСУ, становили 4 756 070,24 грн. Це значення використовується для оцінки економічної ефективності модернізованої АСУ ТП.

Далі проведемо розрахунок виробничої програми, а отримані результати представимо у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Результати розрахунку виробничої програми до і після модернізації

Показник	Познач.	До модернізації	Після модернізації	Примітка
Виробнича потужність котла, т / рік	A	322560	360960	3 табл. 4.1
Тривалість роботи обладнання, діб.	$T^{доб}$	320	320	3 табл. 4.1
Число змін в сутки	$n_{зм}$	2	2	3 табл. 4.1
Тривалість зміни, час	$t_{зм}$	12	12	3 табл. 4.1
Тривалість роботи обладнання, год	$T^{год}$	7680	7680	$T^{год} * n_{зм} * t_{зм}$

Проведемо розрахунок експлуатаційних витрат, використовуючи дані таблиць 4.1–4.3 та відповідні формули.

Розрахунок витрат на амортизацію (A), грн розраховується за формулою:

$$P_A = \frac{C_{ПР} * H_A}{100}, \quad (4.1)$$

де $C_{ПР}$ – вартість обладнання, грн; H_A – норма амортизації, %.
Розрахунок витрат на ремонт складають, грн:

$$P_P = \frac{C_{ПР} * H_P}{100}, \quad (4.2)$$

де H_P – норма витрат на ремонт, %.
Розрахунок витрат на енергоносії, грн:

$$P_E = A * H_E * Ц_E, \quad (4.3)$$

де H_E – норма витрати на одиницю продукції, тон;
 $Ц_E$ – ціна однієї т/година, грн; A – річний об'єм, тон.

Розрахунок тарифного фонду заробітної плати, грн:

$$З_T = T_{\text{годин}} * ЧТС * N_{\text{ОБС}} * n, \quad (4.4)$$

де ЧТС – тарифна ставка за годину, до модернізації 95 грн, після 105 грн;

$N_{\text{ОБС}}$ – кількість персоналу в зміну, до та після модернізації 3.

Розрахунок додаткової заробітної плати:

$$З_D = \frac{З_T * \%З_D}{100} \quad (4.5)$$

Розрахунок фонду заробітної плати, грн:

$$\Phi ЗП = З_T + З_D \quad (4.6)$$

Розрахунок відрахувань на соціальні потреби (соцстрахування), грн:

$$O_{\text{сф}} = \frac{\Phi ЗП * \%O_{\text{сф}}}{100} \quad (4.7)$$

Розрахунок заробітної плати з відрахуваннями на соціальні потреби, грн:

$$P_З = \Phi ЗП + O_{\text{сф}} \quad (4.8)$$

Таблиця 4.5 - Результати розрахунку витрат на експлуатацію

Тип витрат	До модернізації	Після модернізації
1	2	3
Витрати на амортизацію, грн	5400	483668,16
Витрати на ремонт, грн	39600,2	96733,632
Витрати на генерацію пару, грн	9321984	10431744
Витрати на зарплату, грн:		
Тарифний фонд заробітної платні, грн	2234880	2442240

Продовження таблиці 4.5

1	2	3
Додаткова зарплата, грн	670464	732672
Фонд заробітної платні, грн	2905344	3174912
Відрахування в соціальні фонди, грн	639175,68	698480,64
Зарплата з відрахуванням в соц. фонди, грн	3544519,68	3873392,64

Розрахунок собівартості одиниці продукції після виконання модернізації системи:

$$C_2 = C_1 + \frac{\pm \Delta P_A \pm \Delta P_P \pm \Delta P_T \pm \Delta P_3 \pm \Delta P_3}{A} \quad (4.9)$$

Розрахунок абсолютного зниження, грн:

$$\Delta C_{ABC} = C_1 + C_2 \quad (4.10)$$

Розрахунок відносного зниження (%):

$$\Delta C_{OTH} = \frac{\Delta C_{ABC} * \%O_{CF}}{C_1} \quad (4.11)$$

Результати проведених розрахунків представимо в таблиці 4.6. Обчислення показників економічної ефективності. В результаті проведення модернізації отриманий додатковий прибуток, грн.

$$\Delta \Pi = (C_{\Pi} - C_2)A_2 - (C_{\Pi} - C_1)A_1 \quad (4.12)$$

Таблиця 4.6 - Підсумкові показники для аналізованих варіантів.

Показник	Позначення	До модернізації	Після модернізації	Зміна показників Δ
1	2	3	4	5
Річний випуск продукції, т	A	307561	376320	38400
Витрати на амортизацію системи управління, грн.	P_A	5400	483668,16	478268,2

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5
Витрати на ремонт системи управління, грн.	P_P	39600,2	96733,632	57133,43
Витрати на генерацію пару, грн.	P_E	9321984	10431744	1109760
Витрати на зарплату, грн.	P_3	3544519,68	3873392,6 4	328873
Собівартість, грн.	C	41,9	39,4	-2,5

Розрахунок терміну окупності витрат при модернізації, років:

$$T_{OK} = \frac{K_{ABT}}{\Delta\Pi} \quad (4.13)$$

Розрахунок річного ефекту від економії, грн.:

$$E_{\Phi} = \Delta\Pi - E_H * K_{ABT} \quad (4.14)$$

де $E_H = 0,3$ 1/рік – показник нормативної ефективності.


Розрахунок коефіцієнту рентабельності від вкладення капіталу:

$$\gamma_K = \frac{\Delta\Pi}{K_{ABT}} \quad (4.15)$$

Результати проведених розрахунків у таблиці 4.7

Таблиця 4.7 – Показники економічної ефективності при впровадженні системи

Найменування показника	Позначення	Значення
1	2	3
Капітальні витрати на модернізацію, грн.	K_{ABT}	4756070,24
Додатковий прибуток, грн.	$\Delta\Pi$	1580890,2
Термін окупності витрат, років	T_{OK}	3,0
Зниження собівартості тони продукції:		
а) абсолютне за тис. м ³ , грн,	ΔC_{ABC}	2,5
б) відносне, %.	$\Delta C\%$	5,9
Річний економічний ефект, грн.	E_{Φ}	154068,928



Оскільки коефіцієнт рентабельності капіталовкладень є позитивним $r_k \geq E_H$, модернізація АСУ ТП котлоагрегата є доцільною та економічно вигідною.

ВИСНОВОК

Було досліджено технологічний об'єкт та виявлені недоліки у технологічному процесі регулювання температури та тиску перегрітої пари. Проведено аналіз існуючих систем автоматичного регулювання тиску та температури перегрітої пари. На основі проведеного аналізу визначено способи усунення виявлених недоліків.

Запропоновано розробку автоматизованої системи регулювання пароутворення котла БКЗ-50-39Ф на основі сучасних приладів автоматизації. Розроблено схему автоматизації.

Обрано апаратне забезпечення автоматизації на основі програмованого логічного контролера Simatic S7-1500, а також датчики та виконавчі механізми, які забезпечують підтримку необхідного тиску та температури перегрітого пару на виході з котла, відповідно до технологічного процесу.

Експериментальним методом були отримані перехідні характеристики технологічних параметрів, виконано розрахунок коефіцієнтів налаштування регуляторів, та проведено порівняльний аналіз роботи класичних ПІД-регуляторів та системи нечіткого супервізора.

Розроблено програмне забезпечення нижнього рівня для контролера, що реалізує запропоновані алгоритми керування, та програмне забезпечення верхнього рівня, SCADA систему, для операторів, яка призначена для контролю та управління технологічним процесом котла.

Впровадження контурів регулювання температури та тиску перегрітої пари, спрямовано на підвищення продуктивності котла та зменшення витрати коксового газу і повітря для горіння. Оптимальне спалювання коксового газу досягається за рахунок впровадження контролю вмісту кисню в димових газах, і слугує коригуючим зв'язком для підтримання співвідношення паливо/повітря. Підвищення продуктивності котла у відносному значенні може досягати до 6,5%.

Аналіз техніко-економічних показників підтвердив ефективність впровадження модернізованої САР. Внаслідок реалізації системи управління економічний ефект становить 154068,928 грн., а період окупності складає 3 роки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анастасенко С.М. Бугрім Л.І. Білюк І.С., Гаврилов С.О. Жигуліна В.В. Семенов М.М., Шостак О.В. Основи автоматизації об'єктів теплоенергетики: Навчальний посібник для студентів спеціальності 144 "Теплоенергетика". - Миколаїв: НУК, – Львів, «Новий Світ-2000», 2020. - 111 стор.
2. Світий І.М., Черняк О.І. ПРО ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КОТЛОМ ДКВР-10-13 // ВІСНИК ХНТУ. Інженерні науки № 2, Херсон, 2024. С 72-78.
3. Степанець О.В., Мовчан А.П. Регулювання теплового навантаження котлоагрегата на основі оцінки моделі об'єкта // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2011. № 52. С. 42–45.
4. A FUZZY PI CONTROLLER APPLICATION IN BOILERS OF THERMAL POWER PLANTS / Ertuğrul Çam et. al. Energy Conversion and Management. 2006 Vol. 47, no 4. P. 442-458 URL: https://www.academia.edu/54753908/A_Fuzzy_Pi_Controller_Application_in_Boilers_of_Thermal_Power_Plants
5. Modelling and regulation of steam temperatures of a 1000-MW double-reheat boiler with long short-term memory / Hengyi Zhu et al. IET Control Theory & Applications. 2023. Vol.17. P. 2190–2204. URL: https://www.researchgate.net/publication/373257484_Modelling_and_regulation_of_steam_temperatures_of_a_1000-MW_double_reheat_boiler_with_long_short-term_memory
6. Effective Boiler Automation System / S. S. Dhavale et al. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. 2016. Vol. 5, no. 1. P. 84-88. URL: https://www.academia.edu/26795203/Effective_Boiler_Automation_System
7. Рупа А.С., Тарахтій О.С. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СХЕМ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ В БАРАБАНІ ПАРОВОГО КОТЛА. «Young Scientist» • No 11 (75) • November, 2019. С. 163-166.
8. Лисюк Г.П., Єрмакова Д.Г. АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА В ТОПЦІ ПАРОВОГО КОТЛА // Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація, Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 2020. С.91-98
9. Стандарт АСУТП. Метінвест Діджитал. 2020 р., 50 с.
10. Перетворювачі для процесів з підвищеними вимогами SITRANS P320/P420. Режим доступу: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:4564678f-ff40-402e-9556-751729e4d5e0/p320-p420-ua.pdf>
11. Датчик надлишкового тиску STG700 серії SmartLine. Режим доступу: <https://prompribor.com.ua/userfiles/Honeywell/STG700.pdf>
12. Вимірювання температури SITRANS TS. Режим доступу:

http://tekhar.com/Programma/Siemens/KIPiA/Sensors/temperature/pdf/FI012013_%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F-TS-sensorent_ru.pdf

13. Цирконієвий аналізатор кисню інтегрованого типу. Модель ZR202G. Режим доступу:

https://web-material3.yokogawa.com/23/33950/files/IM%2011M12A01-04R_6_%20ZR202G.pdf

14. Фотодатчик ультрафіолетовий UVS10 ZR202G. Режим доступу: https://www.promgas.com.ua/wp-content/uploads/2017/11/iti_UVS_10_08.09-1.pdf

15. Датчики-реле тиску газу серії SGPS. Режим доступу: <https://www.furnace.kiev.ua/ua/datchiki-rele-davleniya-gaza-sgps-i-vozdusha-saps>

16. Виконавчі механізми AUMA SQREx07. Режим доступу: https://www.auma.com/ru_RU/Downloads/dokumentenfinder/Dokumentenfinder?product_name=SQREx&product_id=35489&general_filter=Actuator,SQ;Actuator%20generation,.2;Applications,Ex%20%28ATEX%29;Applications,Ex%20%28FM%20und%20CSA%29&page=1

17. Автомат керування пальником IFD258. Режим доступу: <https://www.promgas.com.ua/ru/product/avtomaty-upravleniya-gorelkami-ifd-258/>

18. Програмне забезпечення TIA Selection Tool. Режим доступу: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/topic-areas/tia/tia-selection-tool.html>

19. Разживін О.В., Олійник І.О., Потоцький С.В., Бобов Г.Р. НЕЧІТКА СУПЕРВІЗОРНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ ПАРУ КОТЛОАГРЕГАТУ. Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія технічні науки, № 1 . - Видавничий дім «Гельветика». – Запоріжжя, 2024. – С. 54-62. DOI: [10.32782/3041-2080/2024-1-9](https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-9)

20. Taiwo O. Comparison of four methods of on-line identification and controller tuning [Текст] / O. Taiwo // IEE Proc., Control Theory Appl. – 2006. – №140(5). – P. 323-327

21. Ковриго Ю.М. Методи забезпечення стійкості систем регулювання на базі ПІ та ПІД регуляторів [Текст] / Ю.М. Ковриго, Т.Г. Баган, О.С. Бунке // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2013. - №3/3 (63). - С. 58-63.

22. Баган Т. Г. Робастне керування інерційними контурами котлоагрегату зі змінними параметрами на базі внутрішньої моделі : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 / Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". Київ, 2016. 152 с.

23. Béla G. Lipták , Instrument Engineers' Handbook, Vol. 2: Process Control and Optimization, 4th Edition, 2005, 2464 p.

24. Нейронні мережи в системах автоматизації: курс лекцій з дисципліни «Нейронні мережи в системах автоматизації» / Уклад. О.В.



Разживін. Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023. 296 с.

25. Штіфзон О.Й. Розробка адаптуючого fuzzy-logic пристрою для керування в умовах параметричної нестаціонарності / О.Й. Штіфзон, П.В. Новіков, Т.Г. Баган / Східно-європейський журнал передових технологій – Харків, 2018. – Том 1№ 2.

26. Програмне забезпечення Tia Portal. Режим доступу: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/prohramne-zabezpechennya-dlya-promyslovosti/prohramne-zabezpechennya-dlya-avtomatyzatsiyi/tia-portal/prohramne-zabezpechennya-v-tia-portal.html>

27. Методичні вказівки до економічної частини дипломного проекту бакалаврів за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О.В.Суботін. – Краматорськ: ДДМА, 2012. – 38 с.



ДОДАТОК А

СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС КОТЛУ ЯК ОБ'ЄКТ УПРАВЛІННЯ

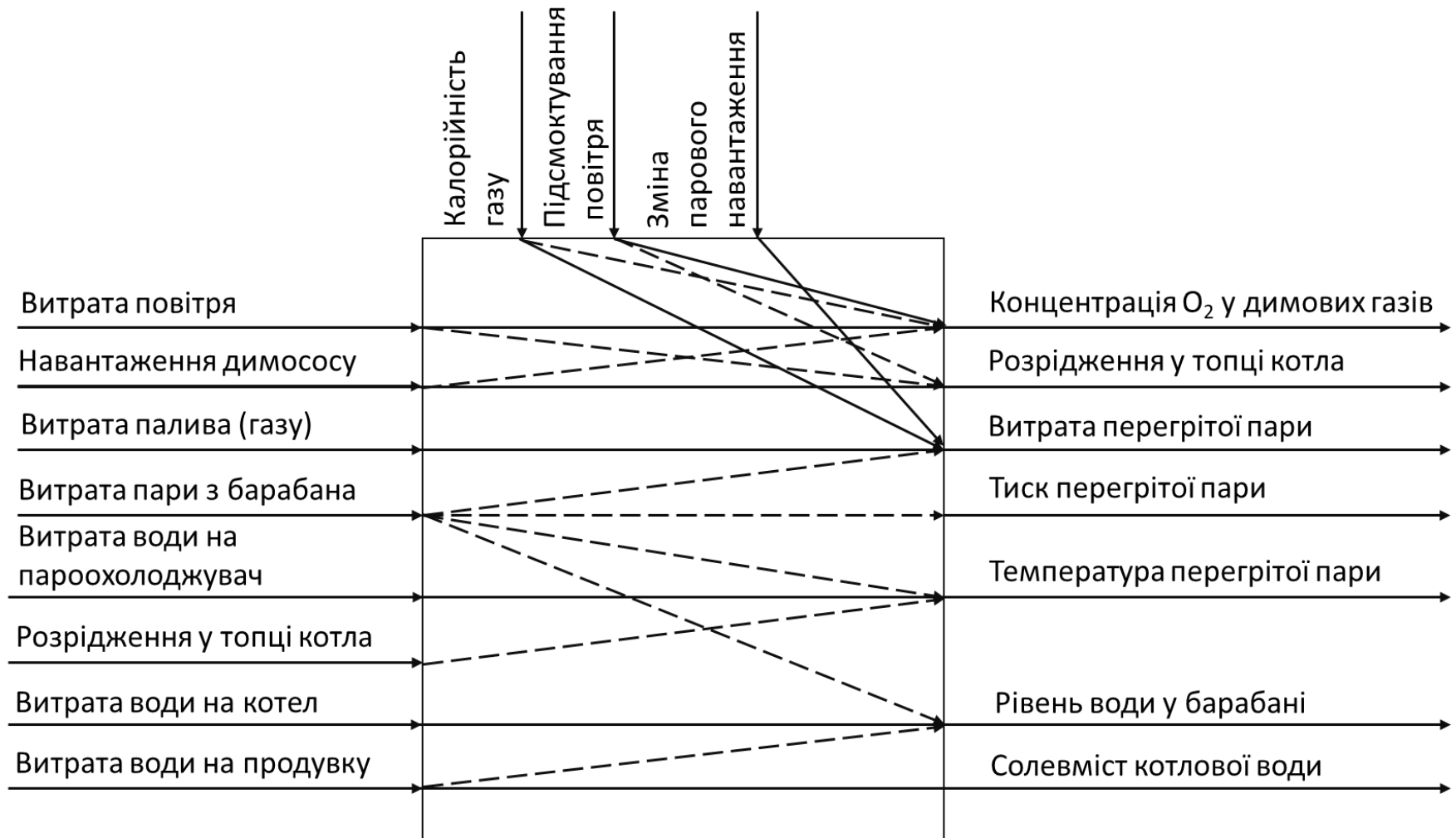


Рисунок А.1 - Технологічний процес котлу як об'єкт управління

ДОДАТОК Б
ПЕРЕЛІК ОБРАНИХ ДАТЧИКІВ ТА ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ

Таблиця Б.1- Перелік обраних датчиків та виконавчих механізмів

Аналогові датчики				
№ п/п	Параметр	Модель	Діапазон	Сигнал
1	2	3	4	5
1	Витрата перегрітої пари	Датчик тиску SITRANS P320 7MF0300– 1PB01–5AF2	0...5000 мбар	4-20мА
2	Тиск перегрітої пари	Датчик тиску SITRANS P320 7MF0300–1TB01– 5AF2	0...63 бар	4-20мА
3	Температура перегрітої пари	Термопара К з перетворювачем SITRANS TS500 7MC751- 10NB14-0AK1T24	-40...1000°C	4-20мА
4	Витрата поживної води на пароохолоджувач	Датчик диференційного тиску SITRANS P320 7MF0310-1ML01 - 5AF2	0-1600 бар	4-20мА
5	Температура пари після пароохолоджувачів	Термопара К з перетворювачем SITRANS TS500 7MC751- 10NB14-0AK1T24	-40...1000°C	4-20мА
6	Тиск у барабані 2шт.	Датчик тиску SITRANS P320 7MF0300–1TB01– 5AF2	0...63 бар	4-20мА
7	Витрата поживної води	Датчик диференційного тиску SITRANS P320 7MF0310-1ML01 - 5AF2	0-1600 бар	4-20мА

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
8	Тиск поживної води	Датчик тиску SITRANS P320 7MF0300-1TB01- 5AF2	0...63 бар	4-20мА
9	Температура живильної води	Термометр опору з перетворювачем SITRANS TS500 7MC751- 10NB14- 0AK1T24	-50...400°C	4-20мА
10	Температура живильної води після економайзера	Термометр опору з перетворювачем SITRANS TS500 7MC751- 10NB14- 0AK1T24	-50...400°C	4-20мА
11	Тиск поживної води перед трактом	Датчик тиску SITRANS P320 7MF0300-1TB01- 5AF2	0...63 бар	4-20мА
12	Рівень води у барабані 3 шт.	Датчик диференційного тиску SITRANS P320 7MF0310-1DL01 - 5DF2	0-250 мбар	4-20мА
13	Витрата коксового газу	Датчик диференційного тиску SITRANS P320 7MF0310-1BL01 - 5DF2	0-20 мбар	4-20мА
14	Витрата повітря на котел	Датчик диференційного тиску SITRANS P320 7MF0310-1BL01 - 5AF2	0-20 мбар	4-20мА
15	Тиск повітря після вентилятора	Датчик тиску SITRANS P500 7MF5403 -1CA0	1...50 мбар	4-20мА
16	Розрідження в топці 2шт.	STG73L-E1G000-1- C-BHD	1...1 бар	4-20мА

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
17	Розрідження перед димососом	STG73L-E1G000-1-C-BHD	1...50 мбар	4-20мА
18	Температура димових газів трактом	Термопара К з перетворювачем SITRANS TS500 7MC751- 10NB14-0AK1T24	-40...600°C	4-20мА
19	Вміст кисню в димових газах	Газоаналізатор Yokogawa ZR-202G-100	0-25%	4-20мА
20	Тиск повітря на пальник після направляючого апарату 4 шт.	Датчик тиску SITRANS P500 7MF5403 –1CA0	1...50 мбар	4-20мА
21	Тиск коксового газу перед пальником 4 шт.	Датчик тиску SITRANS P320 7MF0300–1FB01–5AF2	0...250 мбар	4-20мА
22	Тиск коксового газу	Датчик тиску SITRANS P320 7MF0300–1FB01–5AF2	0...250 мбар	4-20мА
23	Положення клапану по живленню котла	AUMA SQREx07.2-FS	0-100%	4-20мА
24	Положення підпірного клапану	AUMA SQREx07.2-FS	0-100%	4-20мА
25	Положення клапану регулювання тиску газу перед пальником 4 шт.	AUMA SQREx07.2-FS	0-100%	4-20мА
26	Положення підпірного клапану	AUMA SQREx07.2-FS	0-100%	4-20мА
27	Положення клапану по газу	AUMA SQREx07.2-FS	0-100%	4-20мА
28	Положення шиберу подачі повітря 4 шт.	AUMA SQREx07.2-FS	0-100%	4-20мА
29	Положення шиберу перед димососом	AUMA SQREx07.2-FS	0-100%	4-20мА
30	Положення клапану витрати води на пароохолоджувач	AUMA SQREx07.2-FS	0-100%	4-20мА

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
31	Положення клапану безперервної продувки	AUMA SQREx07.2-FS	0-100%	4-20мА
Дискретні датчики				
32	Датчики наявності полум'я 4 шт.	Фотодатчик UVS10DOG	-	0 або 1
33	Сигнал «готовність» автомату керування пальником 4 шт.	IFD 258	-	0 або 1
34	Дозвіл на подачу газу від автомату керування пальником 4 шт.	IFD 258	-	0 або 1
35	Тиск коксового газу	Датчик-реле тиску газу SGPS-10V SHINEUI	2-10 мбар	0 або 1
36	Положення ПЗК головного	ПКHe-600	-	0 або 1
37	Положення ПЗК перед пальником 4 шт.	ПКHe-400	-	0 або 1
38	Положення клапану продувної свічки 4 шт.	ПКHe-50	-	0 або 1
39	Положення клапану аварійного зливу	-	-	0 або 1
40	Положення запобіжного клапану по пару	-	-	0 або 1
41	Кнопка «Аварійний стоп»	3su1152	-	0 або 1
Дискретні виконавчі механізми				
42	«Більше» на вм подачі води	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
43	«Менше» на вм подачі води	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
44	«Більше» на вм подачі повітря (4 шт.)	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
45	«Менше» на вм подачі повітря (4 шт.)	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
46	«Більше» на вм витрати води на пароохолоджувач	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
47	«Менше» на вмі витрати води на пароохолоджувач	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
48	«Більше» на вмі підпірний клапан	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
49	«Менше» на вмі підпірний клапан	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
50	«Більше» на вмі шиберу перед димососом	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
51	«Менше» на вмі шиберу перед димососом	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
52	«Більше» на вмі клапану по газу (4 шт.)	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
53	«Менше» на вмі клапану по газу (4 шт.)	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
54	«Більше» на вмі клапану аварійного зливу	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
55	«Менше» на вмі клапану аварійного зливу	AUMA SQREx07.2-FS	-	0 або +24В
56	Управління клапаном продувної свічки 4 шт.	ПКЕН(В)-50	-	0 або +24В
57	Відсічний клапан газу	ПКЕН(В)-600	-	0 або +24В
58	Дзвінок «Сигналізація»			0 або +24В

ДОДАТОК В ЗНІМКИ ЕКРАНІВ РОЗРОБЛЕНОЇ SCADA СИСТЕМИ

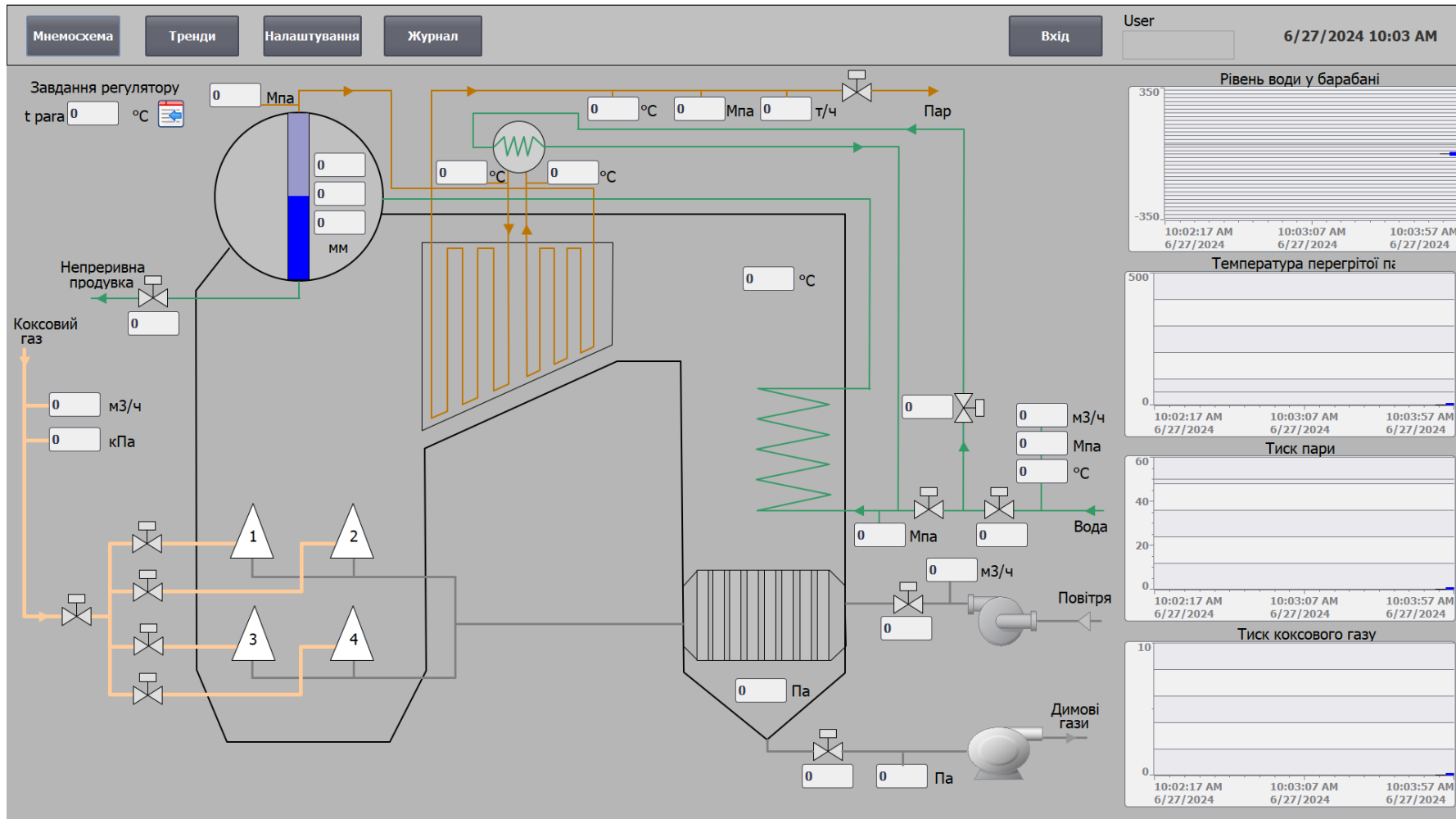


Рисунок В.1 – Інтерфейс головного вікна SCADA системи

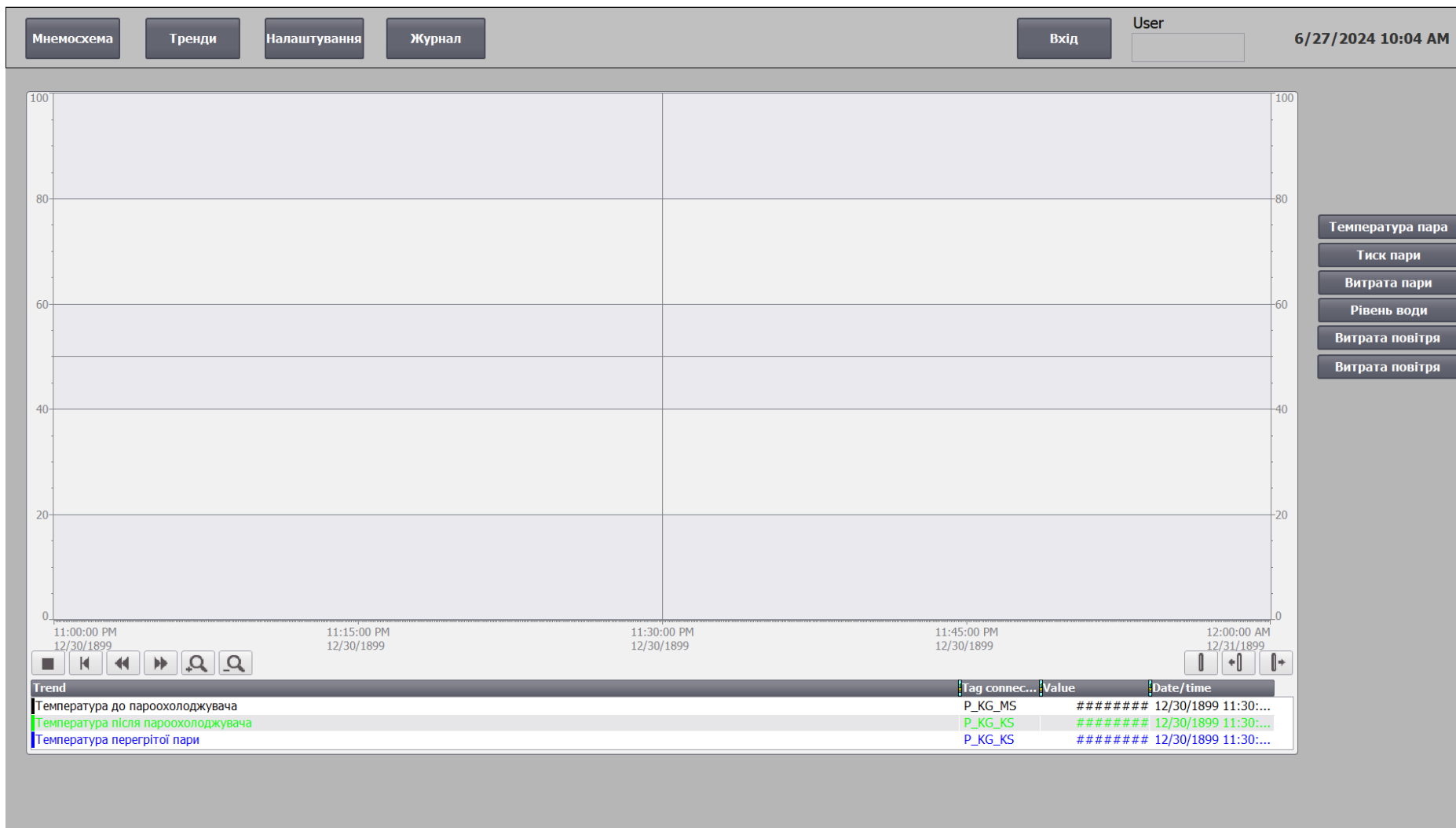


Рисунок В.2 – Інтерфейс вікна перегляду трендів SCADA системи

Close

Налаштування Р температури

Режим роботи **Ручний**

КР

Час інтегрування сек.

Час диференц. сек.

Налаштування механізму

Мін час імпульсу сек.

Час механізму сек.

Рисунок В.3 – Інтерфейс вікна налаштування регулятора температури SCADA системи