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

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

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____Володимир ВОЛОЩУК
«___»_____20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**» на тему: «Автоматизована система керування опаленням виробничих приміщень»**

Виконав:
студент IV курсу, групи ТА-91
Куцоконь Микита Романович

Керівник:
Старший викладач
Гікало Павло Валерійович

Консультант з охорони праці:
Доцент, к.т.н
Каштанов Сергій Федорович

Рецензент:

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

Київ-2023 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____Володимир ВОЛОЩУК
«___»_____2023 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту

Куцоконя Микити Романовича

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування опаленням виробничих приміщень» керівник проєкту Гікало Павло Валерійович, старший викладач, затверджені наказом по університету від «29» травня 2023 р. № 2039-с

2. Термін подання студентом проєкту «__»____2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту : Цехове приміщення загальною площею 300 кв. м. та висотою стелі 6 м. Підтримка температури в зоні опалення здійснюється за допомогою тепловентиляторів з водяним теплообмінником.

4. Зміст пояснювальної записки: Проєктування АСУТП, Інженерний розрахунок САР, Опис графічної частини проєкту, Програмування ПТКЗА, Імітаційне моделювання АТК, Охорона праці, Техніко-економічний розрахунок

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов’язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Схема автоматизації функціональна, Схема принципова електрична, Креслення загального виду щита автоматизації, Монтажна схема щита, Схема з’єднань та підключень зовнішніх проводо

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доцент, Каштанов С.Ф.		

7. Дата видачі завдання «__» _____ 20___ р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації ТОУ. Обґрунтування та аналіз.	20.04.2023	
2	Структурна ПТК	22.04.2023	
3	Схема автоматизації функціональна	30.04.2023	
4	Креслення загального виду щита	05.05.2023	
5	Синтез САР і аналіз її функціонування.	13.05.2023	
6	Розрахунок вимірювальних та виконавчих каналів АТК	15.05.2023	
7	Схема електрична підключень	16.05.2023	
8	Розрахунок надійності функціонування АСУ	18.05.2023	
9	Схеми підключень кабелів, клем, приладів	21.05.2023	
10	Полігонні випробування імітаційної моделі і аналіз функціонування АСУ	24.05.2023	
11	Охорона праці	25.05.2023	
12	Розрахунок техніко-економічної ефективності	28.05.2023	
13	Оформлення пояснювальної записки	04.06.2023	
14	Передзахист ДП	10.06.2023	
15	Захист ДП	20.06.2023	

Студент Микита КУЦОКОНЬ

Керівник Павло ГІКАЛО

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота "Автоматизована система керування опаленням виробничих приміщень за допомогою тепловентиляторів" розглядає розробку та впровадження системи опалення для цехового приміщення, де опалення здійснюється зонально з використанням тепловентиляторів. Дослідження включало аналіз роботи системи опалення, встановлення оптимальних параметрів регулятора та проведення техніко-економічного розрахунку.

Аналіз роботи системи дозволив визначити оптимальні параметри регулятора, що контролює температуру в кожній зоні приміщення. Це дозволяє досягти ефективного та комфортного опалення виробничого цеху, оскільки температура може бути регульована відповідно до потреб кожної зони.

Техніко-економічний розрахунок підтвердив економічну доцільність використання автоматизованої системи опалення. За результатами розрахунків, система повністю окупиться протягом 3 років. Це свідчить про те, що вартість установки та експлуатації системи буде компенсована в найближчому майбутньому, а потім вона принесе економічну вигоду підприємству.

ANNOTATION

The work on the topic: "Automated heating control system for industrial premises using fan heaters" considers the development and implementation of a heating system for a workshop building where heating is carried out in zones using fan heaters. The study included an analysis of the heating system, setting the optimal controller parameters, and conducting a feasibility study.

The analysis of the system allowed us to determine the optimal parameters of the controller that controls the temperature in each zone of the room. This allows for efficient and comfortable heating of the production hall, as the temperature can be adjusted to meet the needs of each zone.

The feasibility study confirmed the economic feasibility of using an automated heating system. According to the calculations, the system will fully pay for itself within 3 years. This indicates that the cost of installing and operating the system will be compensated shortly, and then it will bring economic benefits to the enterprise.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматична система керування

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АСР – автоматична система регулювання

АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика

РАФХ – розширена амплітудно-фазова характеристика

ВК – вимірювальний канал

ДБН – державні будівельні норми

ДСТУ – Державний стандарт України

ЕУ – електроустановки

ІМ – імітаційна модель

ІТП – індивідуальний тепловий пункт

ГВП – гаряче водопостачання

НПАОП – нормативно-правові акти по охороні праці

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор

ПК – персональний комп’ютер

ПЛК – програмно-логічний контролер

ПТК - програмно – технічний комплекс

ПУЕ - правила улаштування електроустановок

РО - регулюючий орган

САР – система автоматичного регулювання

ЧП - частотний перетворювач

ЕУ - електроустановка

ISO - Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization) SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

на тему: «Автоматизована система керування опаленням виробничих приміщень»

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ВСТУП 11
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП 12
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління 12
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ 15
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ 16
1.4 Функції АСУТП 17
1.5 Схема автоматизації функціональна 18
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу 19
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ 20
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК АСУТП 21
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР 21
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів 21
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів 21
2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів 24
2.1.4 Монтаж технічних засобів автоматизації вимірювальних каналів 25
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод 25
2.1.6 Схеми структурної надійності вимірювальних каналів 26
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів 26
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів 29
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК 30
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР 31
2.2 Інженерний розрахунок регуювально-виконачих каналів САР 32
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання 32
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР 33
2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР 34
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР 35
2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР 36

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР 37
2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління 38
2.2.8 Розрахунок регуляторі САР 40
2.2.9 Функціональне моделювання САР 48
2.2.10 Висновок щодо роботоздатності РВК САР 54
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ 55
3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ 55
3.2 Схема структурна ПТК 55
3.3 Схема принципова електрична АСР 55
3.4 Креслення загального виду щита 59
3.5 Схема монтажна щита 61
3.6 Схема зовнішніх з'єднань 62
3.7 Специфікація обладнання 63
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА 69
4.1 Програмування функціональності ПЛК 69
4.2 Програмування функціональності SCADA-системи 75
РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК 78
5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ 78
5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink 79
5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys 79
5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standart функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio 80
5.5 Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA – системі WebStudio 81
5.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі 83
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ 85
РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНОК 99
ВИСНОВКИ 103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 104

ВСТУП

Мета дипломного проєкту полягає в розробці автоматизованої системи керування опаленням, що забезпечує оптимальні умови температури в виробничих приміщеннях площею 300 кв. м та висотою стелі 6м, розділених на зони. Кожна зона опалюється тепловентиляторами з водяним теплообмінником.

Автоматизована система керування опаленням має на меті забезпечити ефективне використання енергії, підвищити комфорт працівників і знизити загальні витрати на опалення.

Завдання розробки дипломного проєкту включають:

1. Проаналізувати вимоги до системи опалення для виробничого приміщення з урахуванням її специфіки.
2. Розробити концепцію автоматизованої системи керування опаленням, враховуючи необхідність зонування.
3. Розробити технічні рішення для імплементації системи, включаючи вибір і розташування тепловентиляторів з водяними теплообмінниками.
4. Розробити програмне забезпечення для автоматизованого контролю і управління системою опалення.
5. Розробити план впровадження системи, включаючи оцінку витрат.
6. В результаті успішного виконання цього проєкту буде розроблена автоматизована система керування опаленням, яка дозволить оптимізувати процеси опалення в виробничих приміщеннях і покращить умови праці.

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об’єкту управління

Технологічний процес у твердопаливному котлі починається з завантаження палива, такого як дерево, вугілля, брикети або пелети, в спеціальний контейнер або камеру котла. Під час завантаження необхідно дотримуватися рекомендацій виробника щодо оптимальної кількості та типу палива. Після завантаження палива, відбувається попереднє спалювання, де паливо нагрівається, легкі компоненти зневолюються, а вміст вологи випаровується. Цей процес допомагає підвищити ефективність спалювання та знизити викиди шкідливих речовин.

Після попереднього нагрівання настає головне спалювання. Паливо потрапляє в основну камеру котла, де відбувається його повне спалювання. Під час цього процесу топка котла забезпечується достатньою кількістю повітря для горіння, а також створюється оптимальна температура.

Твердопаливний котел часто оснащений системою контролю температури, яка допомагає забезпечити оптимальну роботу котла. Ця система утримує температуру в топці котла на необхідному рівні, щоб забезпечити ефективну роботу котла.

Тепло, яке виробляється під час спалювання палива, передається через теплообмінник до системи опалення або гарячого водопостачання.

Рисунок 1.1 - Технологічна схема твердопаливного котла [15]

Перерахуємо вхідні, проміжні та вихідні матеріали даного агрегату:

Вхідні матеріали:

1. Тверде паливо - вугілля, деревина, пелети тощо.
2. Вода - використовується для опалення.

Проміжні матеріали:

1. Теплова енергія - використовується для нагрівання води

Вихідні матеріали:

1. Зола - це відходи, які утворюються після спалювання твердого палива.
2. Димові гази - вивід в атмосферу після процесу горіння.
3. Нагріта вода - це основний продукт процесу, який використовується для опалення.

Кількісні характеристики параметрів і режимів роботи ТОУ можуть включати температуру горіння, температуру води, кількість води, яка нагрівається за одиницю часу, ефективність котла та інше. Розглянемо характеристики

твердопаливного котла ALTEP DUO UNI PLUS, який може використовуватись для нагріву води у системі:

Таблиці 1.1 – Технічні характеристики твердопаливного котла [16]

Назва параметра	Одиниці виміру	Значення параметру
Номінальна потужність котла	кВт	75
Площа теплообмінника	$м^2$	6.5
Об’єм топки	$дм^3$	305
Температура продуктів згорання	°C	100-180
Рекомендована мінімальна температура води	°C	58
Максимальна температура води	°C	90
Номінальний робочий тиск	МПа	0.2

Твердопаливний котел може працювати в двох режимах: автоматичному і ручному. В автоматичному режимі котел має вбудовану автоматику, яка контролює процесс спалювання. Ця система допомагає забезпечити оптимальне використання палива та ефективність роботи котла. Вона автоматично регулює подачу повітря, для підтримання номінальної температури продуктів згорання. Крім того, автоматика може бути підключена до системи управління опаленням.

У ручному режимі користувач самостійно контролює процес горіння. Він може регулювати подачу повітря та палива, встановлювати температуру та режим роботи котла вручну. Цей режим корисний у випадках, коли необхідно

змінити параметри роботи котла вручну, враховуючи зовнішні умови або особливості палива.

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

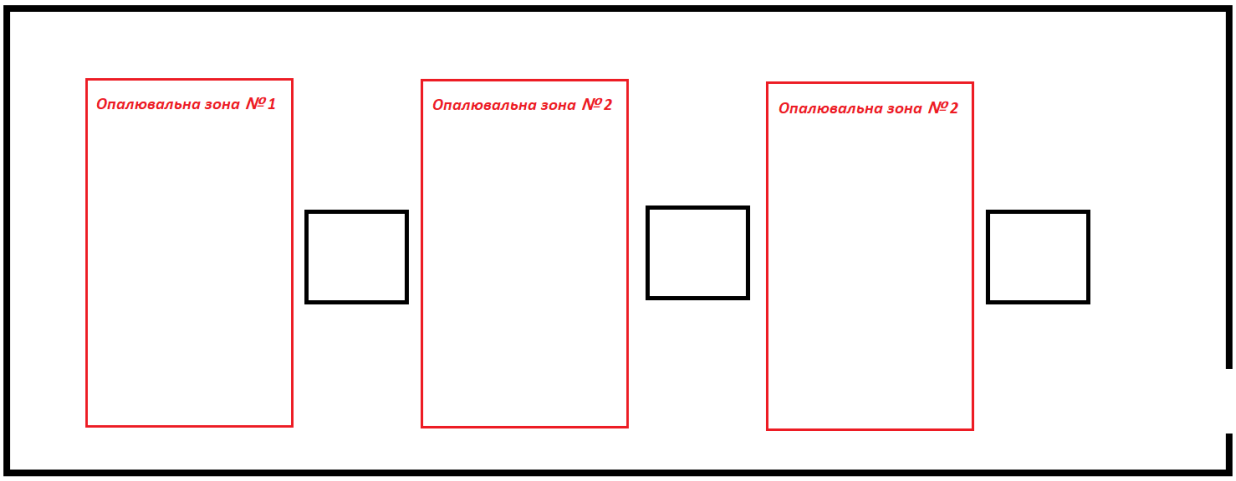


Рисунок 1.2 – Принцип опалення цехового приміщення

Система опалення з тепловентиляторами Volcano має численні переваги, які роблять її ефективним вибором для опалення цехових приміщень, так як вона забезпечує швидке і рівномірне розподілення тепла по всьому приміщенню. Тепловентилятори ефективно розподіляють потік гарячого повітря за допомогою потоку гарячого повітря і конвекції, що дозволяє швидко нагрівати приміщення та уникнути нерівномірного теплового розподілу. Також система з тепловентиляторами Volcano є простою в установці та обслуговуванні.

Така система не вимагає складних трубопроводів або радіаторів, які потребують регулярного обслуговування і очищення. Простота встановлення дозволяє швидко впровадити систему опалення у цехове приміщення та зменшити витрати на ремонт і обслуговування в майбутньому.

Переваги використання тепловентиляторів Volcano в порівнянні з класичними радіаторами [2]:

Тривалість часу, необхідного для підвищення температури в центрі приміщення на 5°C, має значний вплив на рівень експлуатаційних витрат. Це впливає як на вартість опалення, так і на комфорт користувачів, оскільки при використанні радіатора час очікування на підвищення температури становить не менше 100 хвилин (повільне вирівнювання температури), у той час як при використанні теплових вентиляторів Volcano цей час скорочується до менше ніж 40 хвилин завдяки активному перемішуванню повітря.

Якщо обігрівати цехове приміщення за допомогою радіаторів, їх потрібно встановлювати з інтервалом в 3 метри. Однак такий підхід займатиме багато місця і обмежить можливості для облаштування робочого простору. Але дану проблему можна вирішити використовуючи тепловентилятори Volcano, які монтуються під стелю, що дозволяє їм не займати цінний простір. Даний підхід дає більше волі при облаштуванні приміщення.

Найголовніше, застосування тепловентиляторів Volcano забезпечує активне переміщення та циркуляцію повітря, що допомагає досягти рівномірного розподілу температури в приміщенні. Крім того, вони можуть бути використані влітку для створення прохолоди через рух повітря та охолодження приміщення.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Режимні параметри:

1. Температура повітря в опалювальній зоні №1
2. Температура повітря в опалювальній зоні №2
3. Температура повітря в опалювальній зоні №3

Захисні параметри:

1. Температура продуктів згорання

Контрольні параметри:

1. Температура прямої води в контурі нагріву води

2. Температура прямої води в контурі опалення
3. Температура зворотної води в контурі опалення

1.4 Функції АСУТП

Управляючі функції:

1. Стабілізація температури повітря в 1-шій опалювальній зоні, шляхом зміни кількості витрати гарячого теплоносія, що проходить через теплообмінник тепловентилятора.
2. Стабілізація температури повітря в 2-гій опалювальній зоні, шляхом зміни кількості витрати гарячого теплоносія, що проходить через теплообмінник тепловентилятора.
3. Стабілізація температури повітря в 3-ій опалювальній зоні, шляхом зміни кількості витрати гарячого теплоносія, що проходить через теплообмінник тепловентилятора.

Захисні функції:

1. У разі перевищення номінального значення температури прямої води, сформувати команду, яка сповістить оператора і активує захисні механізми для безпечного вимкнення котла та запобігання подальшому перегріву.

Інформаційні функції:

1. Вимірювання температури продуктів згорання
2. Вимірювання температури прямої води в контурі нагріву води
3. Вимірювання температури прямої води в контурі опалення
4. Вимірювання температури зворотної води в контурі опалення
5. Вимірювання температури повітря в 1-шій опалювальній зоні
6. Вимірювання температури повітря в 2-гій опалювальній зоні
7. Вимірювання температури повітря в 3-ій опалювальній зоні

1.5 Схема автоматизації функціональна

В даній системі опалення існує два окремих контури: контур, призначений для нагрівання води, і контур, відповідальний за опалення. Основною задачею контуру нагріву води є підігрів води у баці акумулятора до заданої температури. Після досягнення цієї температури, контур опалення активується для забезпечення опаленням цехового приміщення. Датчики які видають аналоговий сигнал потрібно зчитувати контролером за допомогою аналогово входу

На баці акумуляторі, в верхній та нижній частині, встановлено два занурювальних термостати, які керують роботою насоса контура опалення. Дані термостати з'єднані між собою за принципом самопідхвату та забезпечують проходження лише гарячого теплоносія, що створює комфортні умови в опалювальних зонах.

Датчики температури повітря розташовані на висоті 3.5 м, що дозволяє отримувати вимірювання температури на середньому рівні приміщення. Це корисно для визначення загального температурного режиму в опалювальній зоні, також вимірювання на цій висоті може забезпечити краще уявлення про середню температуру, що допомагає приймати рішення щодо керування системою опалення. Попри цього на даній висоті можуть бути менші коливання температури, оскільки на цій висоті дифузія тепла може бути більш рівномірною, так як на дані вимірювання датчика не будуть впливати інші джерела тепла.

Так як регулювання температури повітря в опалювальній зоні здійснюється за допомогою зміни витрати гарячого теплоносія було вирішено встановити привід LR24A-SR. Belimo LR24A-SR - це привід клапана, який має широкий діапазон робочих температур і може бути керований аналоговими сигналами, що робить його використання в даній системі доцільним.

Задання бажаної температури для кожної зони здійснюється через графічний інтерфейс, де оператор, також може відстежувати значення інших реж.имних параметрів.

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

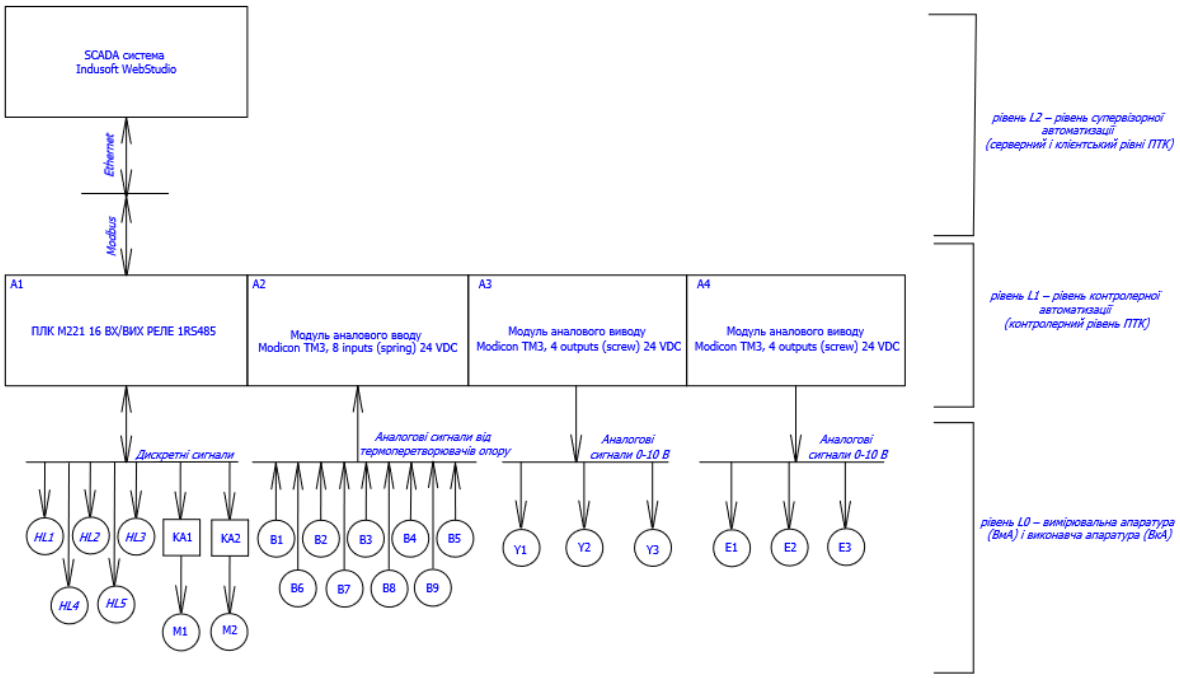


Рисунок 1.3 – Структурна схема програмно-технічного комплексу

На нульовому рівні системи розташована вимірювальна та виконавча апаратура, яка включає різноманітні датчики та виконавчі механізми, такі як: термоперетворювачі опору, приводи, занурювальні термостати та тепловентилятори. Вони відповідають за вимірювання режимних параметрів та забезпечення приміщення опаленням.

На першому рівні розташований контролер і його розширювальні модулі. Контролер обробляє вхідні дані з нижчого рівня і приймає рішення щодо регулювання системи опалення. Розширювальні модулі підключаються безпосередньо до основного блоку контролера і передають дані через внутрішній шинний протокол. Після підключення система автоматично визначає ці модулі.

Оскільки контролер не має власних аналогових входів та виходів, аналогові сигнали з датчиків під'єднуються до спеціального розширювального модуля, який здатен приймати такі типи сигналів. Цей модуль передає зібрані дані до основного блоку контролера для подальшої обробки. Після аналізу та обробки цих даних, контролер може відправляти аналогові команди виконавчим

механізмам з використанням розширювального модуля, який має додаткові виходи, призначені саме для цього.

На другому рівні знаходиться SCADA система, яка отримує виміряні дані від контролера за допомогою протоколу обміну даними Modbus. Ця система контролю та збору даних використовується для моніторингу та керування процесом опалення в реальному часі. Дана система дозволяє збирати дані з різних датчиків і пристроїв, аналізувати їх, відображати на графіках та інтерфейсах, виявляти аварії та реагувати на них.

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ

Впровадження автоматизації до системи опалення має низку переваг, які можна досягнути за допомогою використання сучасних технологій та компонентів:

1. Автоматичне керування температурою забезпечує комфортну обстановку в приміщенні. Система може підтримувати постійну температуру або автоматично регулювати її в залежності від установлених параметрів та зовнішніх умов, забезпечуючи оптимальний комфорт для користувачів.
2. Впровадження автоматизації до системи опалення веде до зменшення необхідності в присутності персоналу для нагляду за системою. Завдяки автоматичному моніторингу та управлінню, більшість операцій можуть бути виконані без необхідності постійного присутності оператора.
3. Автоматизація дає змогу відстежувати рівень палива, стан датчиків, насосів та інших компонентів, що спрощує моніторинг і планування технічного обслуговування.

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК АСУТП

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів

Дана система вимірює температури в 7-ми точках, що дозволяє отримати інформацію про температурні параметри в різних частинах системи. Нижче наведений перелік усіх вимірювальних каналів:

1. ВК температури продуктів згорання
2. ВК температури прямої води у контурі нагріву води
3. ВК температури прямої води у контурі опалення
4. ВК температури зворотної води у контурі опалення
5. ВК температури повітря в опалювальній зоні №1
6. ВК температури повітря в опалювальній зоні №2
7. ВК температури повітря в опалювальній зоні №3

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

Рисунок 2.1 - Структурна схема ВК температури продуктів згорання

Рисунок 2.2 - Структурна схема ВК прямої води у контурі нагріву води

Рисунок 2.3 - Структурна схема ВК прямої води у контурі опалення

Рисунок 2.4 - Структурна схема ВК зворотної води у контурі опалення

Рисунок 2.5 - Структурна схема ВК температури повітря в опалювальній зоні №1

Рисунок 2.6 - Структурна схема ВК температури повітря в опалювальній зоні №2

Рисунок 2.7 - Структурна схема ВК температури повітря в опалювальній зоні №3

Давач PT1000 є типом датчика температури, який використовує платиновий резистор для вимірювання температури. Принцип роботи цього датчика базується на залежності опору платинового елемента від температури

Модуль аналогового вводу Modicon TM3 з 8 входами (spring) і напругою 24 VDC призначений для підключення датчиків з аналоговим вихідним сигналом до ПЛК. Цей модуль дозволяє зручно підключати датчики до системи контролю і отримувати аналогові дані для подальшого аналізу та обробки. Використовуючи спеціальні входи зі зручним пружинним кріпленням, модуль забезпечує надійне з'єднання з датчиками і забезпечує стабільне отримання аналогового сигналу для ПЛК.

ПЛК M221 може бути використаний для програмування логіки регулювання температури в системі опалення. Хоча сам ПЛК M221 не має власних аналогових входів, для отримання аналогових сигналів від датчиків температури використовується модуль розширення, який згадувався вище. Після отримання аналогових сигналів від датчиків температури за допомогою модуля розширення, ПЛК M221 може приймати рішення щодо регулювання, для досягнення бажаної температури в кожній зоні опалення.

Таблиця 2.1 – Номенклатура давачів та обчислювальної апаратури

Призначення пристрою	**Модель**
Вимірювання температури продуктів згорання	TE/S2
Вимірювання температури прямої води в контурі нагріву води	TE/S2
Вимірювання температури в акумуляторі у верхній точці	SD348

Призначення пристрою	Модель
Вимірювання температури в акумуляторі у нижній точці	SD348
Вимірювання температури прямої води в контурі опалення	TE/S2
Вимірювання температури зворотної води в контурі опалення	TE/S2
Вимірювання температури повітря в опалювальній зоні №1	TCM-304
Вимірювання температури повітря в опалювальній зоні №2	TCM-304
Вимірювання температури повітря в опалювальній зоні №3	TCM-304
Модуль аналового вводу	Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC
ПЛК	ПЛК M221

Кінець таблиці 2.1

2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

Термоперетворювачі опору, використовуються для вимірювання температури шляхом визначення зміни опору провідника залежно від температури. Це досягається завдяки тому, що опір металевих провідників зазвичай збільшується з температурою, і це значення можна виміряти й використовувати для визначення температури. Для підключення цих давачів використовується 2-провідне підключення, що передбачає підключення двох проводів давача до модуля розширення, який підтримує цей тип сигналів. Для забезпечення точного виміру кожен провід екранується, оскільки це допомагає уникнути впливу зовнішніх перешкод на сигнал і зберегти якість вимірювання.

2.1.4 Монтаж технічних засобів автоматизації вимірювальних каналів

Для виміру температури води в трубопроводі безпосередньо встановлюються датчики, які мають спеціальні різьбові з'єднання або фланцеві з'єднання. Це дозволяє їх прямо встановити у трубопроводі без потреби в додаткових пристроях або кріпленнях. Такий спосіб монтажу дозволяє зручно вимірювати температуру рідини. Для правильного розташування датчика потрібно встановити його в місці, де температура рідини є представницькою для системи. Зазвичай рекомендується розташовувати датчик у зоні з притоком рідини, де температура має стабільні характеристики. Розмір датчика повинен відповідати діаметру трубопроводу, щоб забезпечити правильний контакт з рідиною.

Для датчиків температури повітря важливо розмістити їх на відкритій площі або у місці, де їх роботу не спотворять зовнішні чинники. Варто уникати місць з надмірним нагріванням від інших джерел тепла або прямих сонячних променів. Кабель датчика повинен бути правильно прокладений і захищений від пошкоджень та погодних умов при підключенні до контролера або системи збору даних.

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

Для екранізації давача PT1000 можна використовувати екранований кабель, який має металеву фольгу для захисту передаваних сигналів від електромагнітних перешкод. Крім того, можна використовувати екранований кабель або фольгу для додаткового захисту сигнальних ліній модуля розширення. Цей екранований матеріал обгортає сигнальні лінії і підключається до заземлення, що допомагає знизити вплив електромагнітних перешкод.

Для фільтрації внутрішніх сигналів застосовується фільтр нижньої частоти, який дозволяє пропускати низькочастотні складові сигналу, а одночасно

блокує високочастотні складові, що виникають як шуми від блока живлення. Це допомагає згладжувати сигнали та поліпшувати їх стабільність.

2.1.6 Схеми структурної надійності вимірювальних каналів

У якості погодженої САР для розгляду була узгоджена САР регулювання температури у приміщенні. Функція даної САР регулювання температури повітря шляхом зміни витрати гарячого теплоносія, що проходить через теплообмінник тепловентилятора. Дана САР складається з двох ВК: ВК температури прямої води у контурі опалення і ВК температури повітря у приміщенні. Розглянемо їх структурні схеми які зображені на рис. 2.1.6.1 та рис. 2.1.6.2:

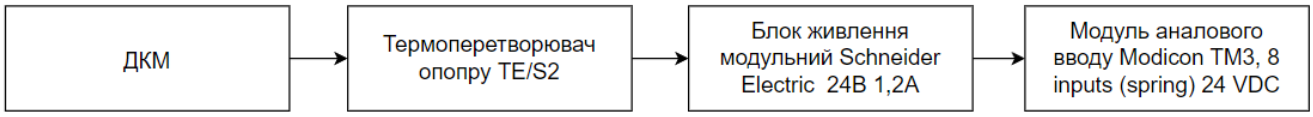


Рисунок 2.8 - Структурна схема надійності ВК прямої води в контурі опалення

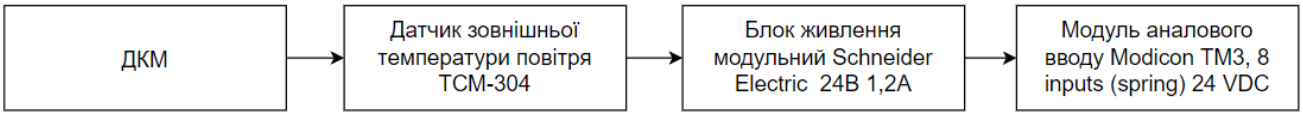


Рисунок 2.9 - Структурна схема надійності ВК температури повітря в приміщенні

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Для кожного елементу ВК визначимо клас точності, діапазон вимірювання та межу допустимої похибки:

Таблиця 2.2 – Метрологічні показники елементів вимірювальних каналів

ВК	Елемент ВК	Клас точності	Діапазон вимірювання	Межа допустимої похибки
1	Датчик зовнішньої температури повітря ТСМ-304	0.3	-40...150 °С	± 1 °С
	Модуль аналового вводу Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC	0.01	-	-
2	Термоперетворювач опопру TE/S2	0.15	-40...150 °С	$\pm 2\ °C$
	Модуль аналового вводу Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC	0.01	-	-

Розрахуємо абсолютну похибку кожного елемента який входить до відповідного вимірювального каналу. Розраховані значення занесемо до таблиці:

Розрахунок абсолютної похибки елементів ВК температури повітря:

$$\Delta_1 = \frac{\varepsilon_{\text{кл}}(x_{max} - x_{min})}{100} = \frac{0.3 \cdot (150 + 40)}{100} = 0.57\ °C$$

$$\Delta_2 = \frac{\varepsilon_{\text{кл}}(x_{max} - x_{min})}{100} = \frac{0.01 \cdot (150 + 40)}{100} = 0.019\ °C$$

Розрахунок абсолютної похибки елементів ВК температури води:

$$\Delta_1 = \frac{\varepsilon_{\text{кл}}(x_{max} - x_{min})}{100} = \frac{0.15 \cdot (150 + 40)}{100} = 0.285\ °C$$

$$\Delta_2 = \frac{\varepsilon_{кл}(x_{max} - x_{min})}{100} = \frac{0.01 \cdot (150 + 40)}{100} = 0.019\ °C$$

Таблиця 2.3 – Значення абсолютної похибки елементів вимірювальних каналів

ВК	Елемент ВК	Абсолютна похибка
1	Датчик зовнішньої температури повітря ТСМ-304	$0.57\ °C$
	Модуль аналового вводу Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC	$0.019\ °C$
2	Термоперетворювач опору TE/S2	$0.285\ °C$
	Модуль аналового вводу Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC	$0.019\ °C$

Розрахуємо абсолютну похибку кожного вимірювального каналу:

Абсолютна похибка ВК температури повітря:

$$\Delta_{вк1} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2} = \sqrt{0.57^2 + 0.019^2} = 0.57\ °C$$

Абсолютна похибка ВК температури води:

$$\Delta_{вк1} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2} = \sqrt{0.285^{\ 2} + 0.019^2} = 0.286\ °C$$

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Визначимо з технічної документації для кожного елементу системи середнє напрацювання на відмову та заповнимо таблицю 2.1.8.1

Таблиця 2.4 – Середній час напрацювання елементів вимірювального каналу

Назва елементу	$T_{ср}$, год	$\lambda \cdot 10^{-6}, 1/год$
Датчик зовнішньої температури повітря ТСМ-304	43800	22.8
Термоперетворювач опопру TE/S2	43800	22.8
Модуль аналового вводу Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC	35040	28.5
Блок живлення модульний Schneider Electric 24В 1,2А	35040	28.5
ДКМ	667000	1.4

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов та середнє напрацювання на відмову для кожного ВК:

ВК температури води:

$$\lambda = 22.8 + 28.5 + 28.5 + 1.4 = 81.2\ \frac{1}{год} \cdot 10^{-6}\ 1/год$$

$$T_{ср} = 43800 + 35040 + 35040\ +\ 667000 = 780.88 \cdot 10^{3}\ год$$

ВК температури повітря:

$$\lambda = 22.8 + 28.5 + 28.5 + 1.4 = 81.2\ \frac{1}{\text{год}} \cdot 10^{-6}$$

$$\mathrm{T_{ср}} = 43800 + 35040 + 35040 = 780.88 \cdot 10^{3}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи для кожного ВК:

ВК температури води:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - 0.798 \cdot 10^{-6} = 0.99\ \%$$

ВК температури повітря:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - 0.798 \cdot 10^{-6} = 0.99\ \%$$

Фіксуємо отримані дані у таблиці:

Таблиця 2.5 – Розрахунки параметрів надійності вимірювальних каналів

Функція	$\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$	$\mathrm{T_{ср}}, \text{год}$	$P(\tau)$
Інформаційна	0.798	$113.88 \cdot 10^{3}$	0.99
Керуюча	0.798	$113.88 \cdot 10^{3}$	0.99

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Програмовані логічні контролери використовуються для обробки вхідних сигналів, які надходять з датчиків або інших джерел інформації. Ці вхідні сигнали можуть бути аналоговими або цифровими. Аналогові сигнали вимірюють фізичні величини, такі як температура чи тиск, і зазвичай виражаються у вигляді неперервних значень. Цифрові сигнали, з іншого боку, представлені дискретними значеннями, які вказують на стан пристроїв, таких як вмикання або вимикання.

ПЛК може мати вбудовані можливості для обробки аналогових сигналів. Це означає, що вони можуть виконувати різні операції для покращення якості вимірювань. Наприклад, ПЛК може виконувати функції підсилення сигналу,

фільтрації, лінійної компенсації та інших операцій, які допомагають забезпечити точність і надійність вимірювань. Підсилення сигналу дозволяє збільшити амплітуду слабкого аналогового сигналу для поліпшення його розпізнаваності та стабільності. Фільтрація використовується для видалення шумів та збурень з вхідного сигналу, що забезпечує чистіші та більш точні результати обробки даних. Лінійна компенсація використовується для корекції неточностей або зміщень, що можуть виникнути в аналогових сигналах, забезпечуючи більш точні вимірювання. Загалом, ці функції допомагають досягти більшої точності та надійності вимірювань

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Так як абсолютна похибка кожного вимірювального каналу не перевищує межі допустимого, то можна вважати що вимірювальні канали задовольняють умовам точності і придатні для вимірювання технологічних параметрів.

Порівняємо середній час напрацювання ВК з мінімально допустимими значеннями з нерівності :

$$T_{ср} \geq 1000$$

ВК температури повітря:

$$780.88 \cdot 10^3 \geq 1000$$

ВК температури води:

$$780.88 \cdot 10^3 \geq 1000$$

Після результату розрахунку значеннь та порівнялись з мінімально допустимими, можна зробити висновки, що дана САР досить надійна.

2.2 Інженерний розрахунок регуювально-виконачих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

В системі опалення з тепловентиляторами використовується одноконтурна система автоматичного регулювання температури в опалювальній зоні. Ця система проста у використанні і вимагає менше ресурсів і датчиків порівняно з багатоконтурними системами. Вона також може бути економічно вигідною через зменшену кількість компонентів і датчиків. Управляючою функцією даної САР є – стабілізація температури повітря в опалювальній зоні, шляхом зміни витрати гарячого теплоносія до теплообмінника тепловентилятора.

Об’єкт що розглядається є об’єкт з самовирівнюванням - це означає, що під час регулювання він може автоматично компенсувати зміни властивостей або умов середовища, що впливають на його роботу. Наприклад, при зміні температури в опалювальній зоні система змінює положення клапана для забезпечення бажаної температури.

Однак, у такій системі відсутні резервні системи регулювання, тому в разі виходу з ладу контуру регулювання може виникнути втрата функціональності системи. Також одноконтурні системи можуть бути менш точними у регулюванні порівняно з багатоконтурними системами.

Регулювання кількості гарячого теплоносія до теплообмінника здійснюється за допомогою регулюючого органа Belimo LR24A-SR, який керується аналоговим сигналом в діапазоні 0...10 В. Час повного ходу цього сервоприводу становить 90 секунд.

Для кожної зони опалювання установка бажаної температури здійснюється через графічний дисплей, що розташований на щиті автоматизації.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

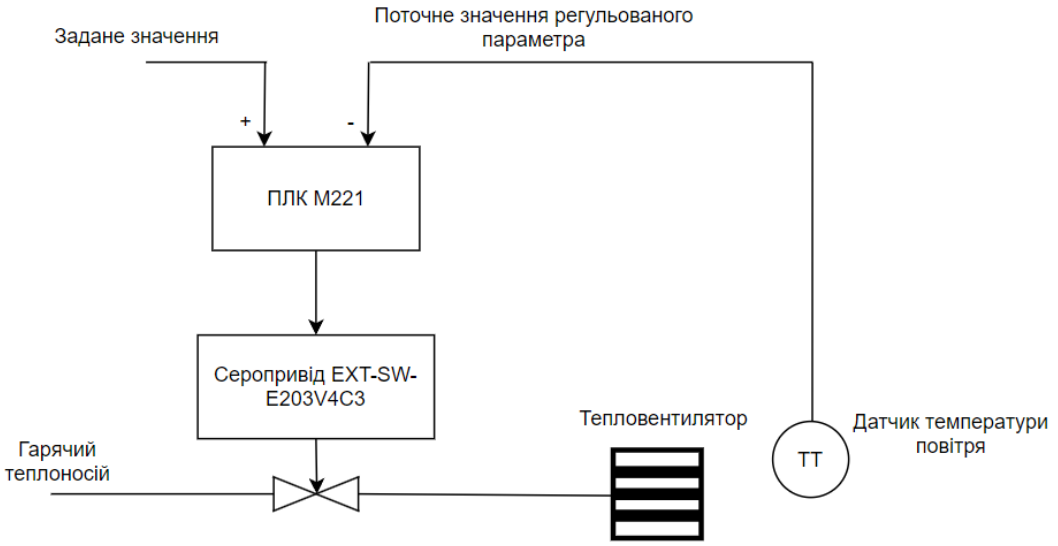


Рисунок 2.10 - Функціональна схема САР

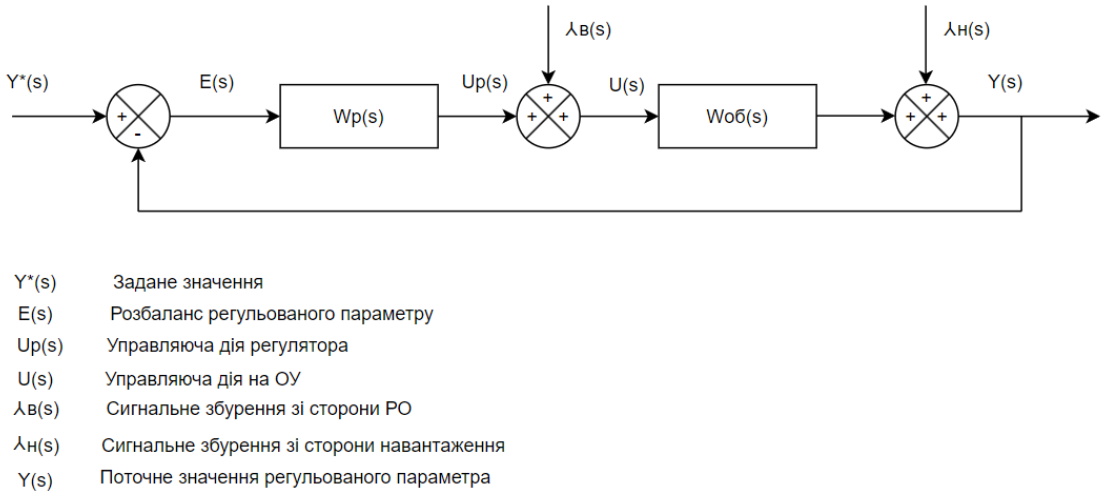


Рисунок 2.11 - Структурна схема САР

На функціональній схемі можна побачити, що для реалізації одноконтурної САР потрібно мінімальна кількість пристроїв. Для реалізації системи автоматичного регулювання температури в опалювальній зоні знадобились: один датчик температури, програмовано-логічний контролер та регулюючий орган. Також можна одразу побачити мінус який було перераховано

у пункті 2.1, у разі відмови будь-якого компонента даної системи - система може втратити свою функціональність.

На структурній схемі САР зображені збурення які можуть впливати на функціональність системи: збурення зі сторони РО та збурення зі сторони навантаження. Наведемо конкретні приклади збурень зі сторони РО та навантаження:

Сигнальне збурення зі сторони РО – зміна витрати теплоносія при незмінному положені РО внаслідок підключення або відключення споживачів.

Сигнальне збурення зі сторони навантаження – зміна продуктивності тепловентиляторів або зміна теплообміну з навколишнім середовищем внаслідок відкриття або закриття дверей або вікон.

2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

Рисунок 2.12 - Структурна схема регулювально-виконавчого каналу САР

VM LR24A-SR - це електричний привід, який використовується для керування клапанами у системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Даний привід є трипозиційним приводом, це означає, що він може приймати три різні положення: відкрите, закрите та проміжне положення. Завдяки цьому, привід може керувати клапаном, регулюючи пропускання повітря або рідини в системі.

Управління приводом VM LR24A-SR здійснюється за допомогою сигналу управління 0-10 В. Цей сигнал управління подається на привід, що викликає переміщення приводу у відповідне положення: відкрите, закрите або проміжне.

Сигнал управління може надходити від системи автоматизації або контролера, який керує роботою приводу.

Лінійність витратної характеристики РО в робочому діапазоні регулювання досягається завдяки використанню точних сенсорів, налагодженню пристрою та застосуванню відповідних алгоритмів та компенсаційних методів. Це дозволяє забезпечити точність та надійність вимірювань в робочих умовах та забезпечити регулювання.

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

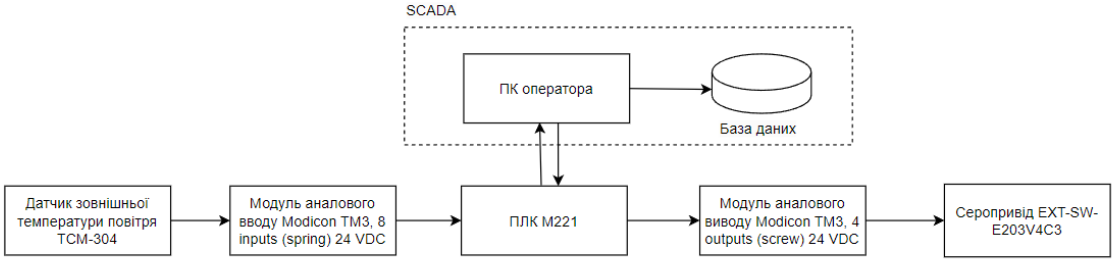


Рисунок 2.13 - Схема структурна програмно-технічних засобів САР

Процес регулювання температури в опалювальній зоні розпочинається з вимірювання значення температурного параметра. Датчики або прилади зчитують це значення і генерують відповідний сигнал. Сигнали з датчиків потрапляють до системи збору даних, де вони піддаються обробці. Ця обробка може включати фільтрацію, калібрування або компенсацію для отримання точних значень параметрів.

На основі оброблених сигналів система автоматизації генерує керуючий сигнал, який відправляється до регулюючого органа, в даному випадку сервоприводу. Цей керуючий сигнал контролює роботу регулюючого органа з метою досягнення бажаних значень регульованого параметра.

Отримані дані процесу вимірювання та обробки можуть бути відображені в системі SCADA для моніторингу та керування процесами. SCADA-система

надає графічний інтерфейс, на якому можна спостерігати стан параметрів, керувати пристроями та виконувати інші керуючі дії.

Для зберігання даних та створення архівних записів система може використовувати систему управління базами даних (СУБД). Це дозволяє зберігати історичні дані про вимірювані параметри, їх зміни в часі та іншу важливу інформацію для подальшого аналізу, статистики, звітності та розробки стратегій управління.

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

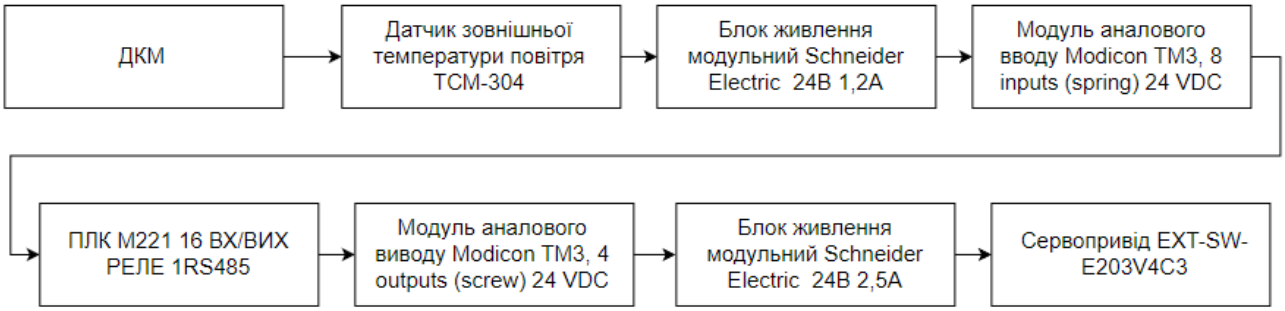


Рисунок 2.14 - Структурна схема надійності реалізації управляючої функції САР

Компоненти системи представлені у вигляді блоків на схемі. Кожен блок представляє окремий компонент системи, такий як датчик, пристрій керування, механізм або інше обладнання. Зв'язки показують залежність між компонентами. Вони вказують, як сигнали або дії переходять від одного компонента до іншого.

Схема надійності дозволяє проводити аналіз надійності системи, визначати критичні компоненти, ідентифікувати потенційні проблеми та розробляти стратегії для поліпшення надійності. Вона є важливим інструментом при проектуванні та управлінні системами, де надійність є критичним аспектом.

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Визначимо з технічної документації для кожного елементу системи середнє напрацювання на відмову та заповнимо таблицю 2.2.6.1:

Таблиця 2.6 - Середній час напрацювання елементів управляючої функції САР

Назва елементу	$T_{ср}$, год	$\lambda \cdot 10^{-6}, \frac{1}{год}$
Блок живлення модульний Schneider Electric 24В 1,2А	26280	38
Блок живлення модульний Schneider Electric 24В 2,5А	26280	38
ПЛК M221 16 ВХ/ВИХ РЕЛЕ 1RS485	35040	28
Модуль аналового вводу Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC	35040	28
Модуль аналового виводу Modicon TM3, 4 outputs (screw) 24 VDC	35040	28
Датчик зовнішньої температури повітря TCM-304	30660	28
Сероприв́ід EXT-SW-E203V4C3	43800	22
ДКМ	667000	1.4

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов на середнє напрацювання на відмову

$$\lambda = 38 + 38 + 38 + 38 + 28 + 28 + 22 + 1.4 \ = 231.4 \cdot 10^{-6} \ \frac{1}{\text{год}}$$

$$\text{Т}_{\text{ср}} = \ 26280 + 26280 + 35040 + 35040 + 35040 + 30660 + 43800 + 667000 = 8.9 \cdot 10^{5}\text{год}$$

Задаємося середнім часом відновлення працездатності $\text{Т}_{\text{в}} = 2\text{год}$ та допустимим часом функціонування об'єкту при невиконанні керуючої функції $\text{Т}_{\text{дод}} = 6$ год, для розрахунку ймовірності відновлення працездатності.

$$P_{\text{в}}(\tau) = \frac{6}{2} = 3\text{год}$$

Розрахуємо ймовірність для безвідмовної роботи для даного САР. Задамося часом напрацювання систем в опалювальний сезон $\tau = 5040$ год.

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - \frac{5040}{8.9 \cdot 10^{5}} = 0.99$$

2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління

Для ідентифікації роботи системи опаленні проведемо наступні операції:

1. Переводимо систему у ручний режим да дочекаємось доки регульований параметр не вийде на задану уставку та не буде змінюватись в продовж часу.
2. Змінимо положення РО та зробимо виміри протягом часу, як будуть змінюватись температура в приміщені.

Час, с	Температура, °С	Положення РО, %
0	15	30
5	15	30
10	15	30
15	15	30
20	15	30
25	15	30
30	15	30
35	15	30
40	15	30
45	15	30
50	15	30
55	15	30
60	15	30
65	15	30
70	15	30
75	15	30
80	15	30
85	15	30
90	15	30
95	15	30
100	15	30
105	15	30
110	15,1	30
115	15,1	30
120	15,1	30
125	15,1	30
130	15,1	30
135	15,1	30

Рисунок 2.15 - Виміряне значення температури в зоні опалення при нанесені збурення зі сторони РО

3. Коли температура знову перестане змінюватись закінчимо вимірювання та оримаємо розгінну характеристику

Рисунок 2.16 - Розгінна характеристика роботи системи опалення

4. За допомогою метода логарифмування визначимо парамтери об’єкта T та τ:

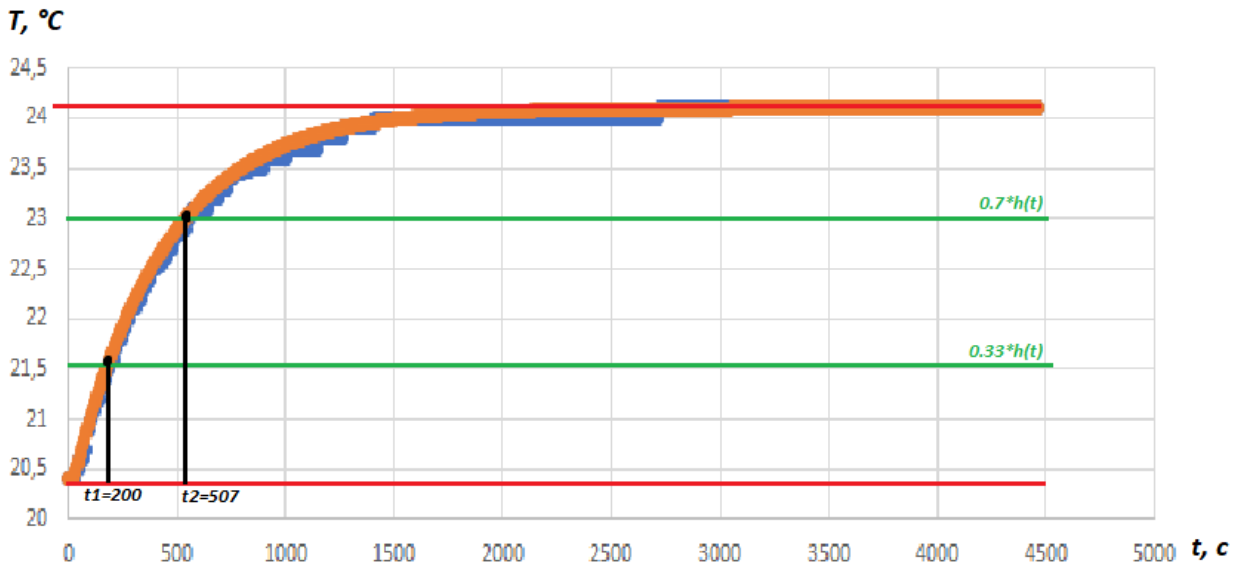


Рисунок 2.17 - Визначення параметрів об’єкта за допомогою метода логарифмування

$$K = \frac{\Delta t}{\Delta \text{PO}} = \frac{(24.1 - 20.4)}{40} = 0.0925\ \frac{°\text{C}}{\%}$$

$$T = 1.25 \cdot (t_2 - t_1) = 1.25 \cdot (507 - 200) = 383.75\ \text{с.}$$

$$\tau = 0.5 \cdot (3 \cdot t_1 - t_2) = 0.5 \cdot (3 \cdot 200 - 507) = 46.5\ c.$$

Після проведеної ідентифікації системи опалення, отримуємо перевальну функцію, що описує процес нагріву повітря в опалювальній зоні:

$$W(p) = \frac{0.0925 \cdot e^{-46.5p}}{383.75p + 1}$$

2.2.8 Розрахунок регуляторі САР

Передаточна функція об’єкта управління має наступний вигляд:

$$W(p) = \frac{0.0925 \cdot e^{-46.5p}}{383.75p + 1}$$

Графік перехідного процес отримаємо за допомогою Simulink:

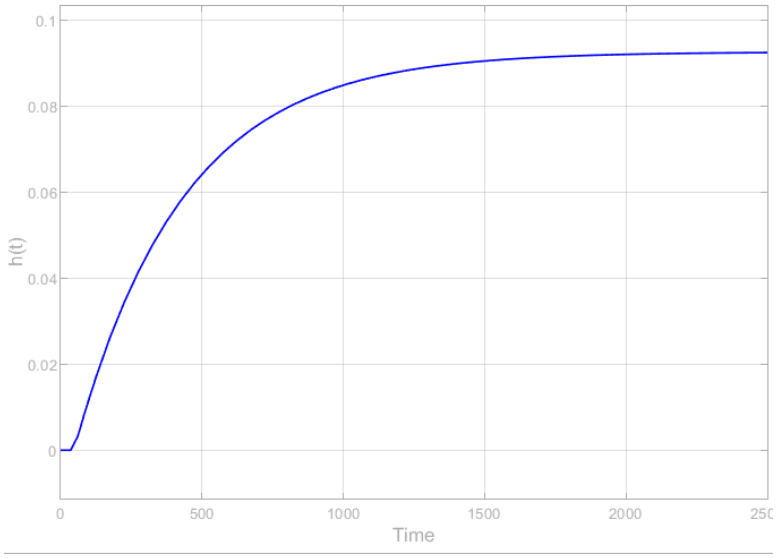


Рисунок 2.18 - Графік перехідного процесу опалення

Розрахуємо параметри налаштувань для регулятора. Для побудови кривої заданого степеня коливальності (m=0.366) скористаємось формулами для ПІ-регулятора:

$$\begin{cases} K_p = -\dfrac{\mathrm{p}^{\text{розш}}(m,\omega) + Q^{\text{розш}}(m,\omega)}{(A^{\text{розш}}(m,\omega))^2} \\ K_i = -\dfrac{\omega(m^2+1)\cdot Q^{\text{розш}}(m,\omega)}{(A^{\text{розш}}(m,\omega))^2} \end{cases}$$

Код m-файлу для побудови кривої коефіцієнтів:

```
w=0:0.0001:0.03;
m=0.366;
p=w*(1j-m);
W=(0.0925.*exp(-46.5*p))./(383.75*p+1);
Re=real(W);
Im=imag(W);
Kp=-(m*Im+Re)./(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki,'k');
ylabel('Ki' );
xlabel('Kp');
grid on;
```

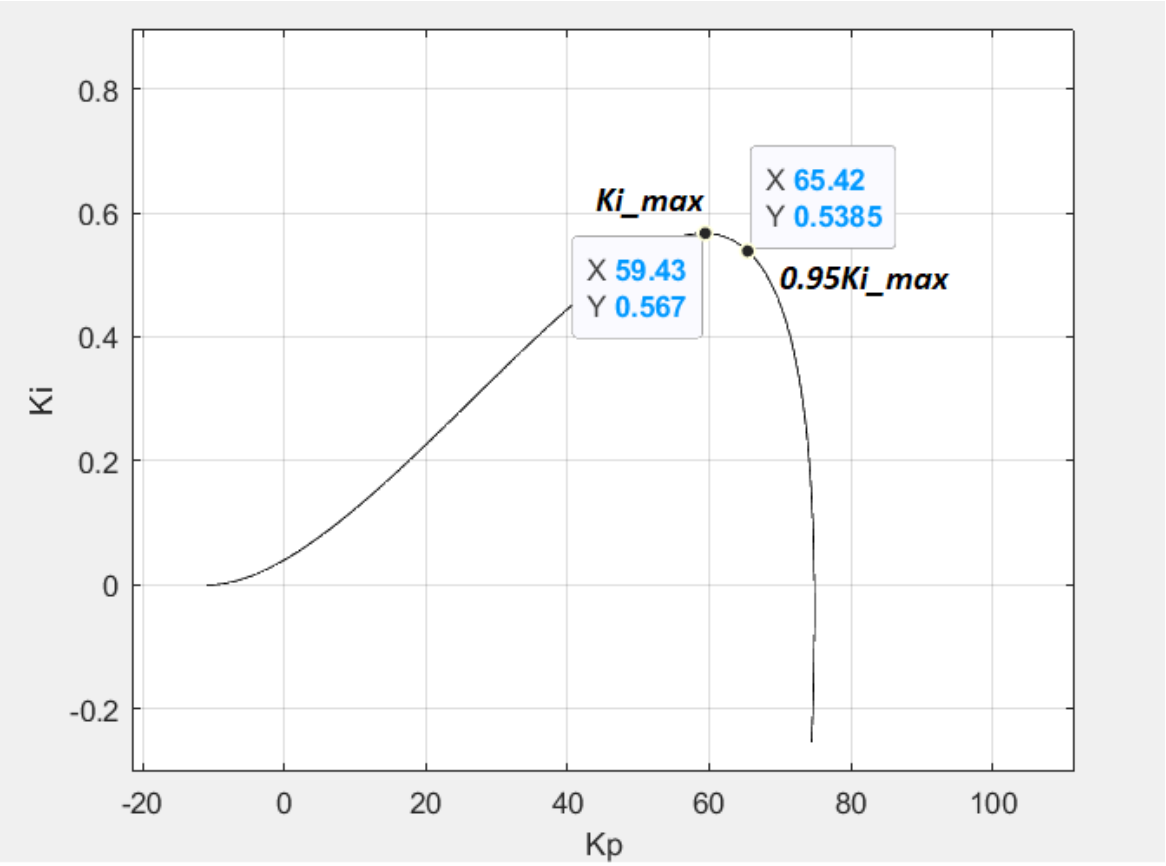


Рисунок 2.19 - Крива заданого степеня коливальності з позначеними точками Ki_max(максимальне значення Ki), 0.95Ki_max

На кривій оберемо параметри налаштувань ПІ-регулятора при Ki=0.95max(Ki):

$$K_p = 65.42\ \frac{\%_{\text{відкр.РО}}}{°\text{C}}$$

$$T_i = 121.5\ \text{с.}$$

Розрахуємо параметри регулятора за допомогою одного з інженерних методів для порівняння та вибору кращих параметрів:

Для розрахунку параметрів регулятора оберемо метод часткової компенсації:

$$K_p = \frac{1}{K_{об}} \cdot \left(0.739 \cdot \frac{T_{об}}{\tau_{об}} \cdot \left(1 + \frac{\tau_{об}}{T_{об}}\right)^2 - 1\right)$$

$$= \frac{1}{0.0925} \cdot \left(0.739 \cdot \frac{383.75}{46.5} \cdot \left(1 + \frac{46.5}{383.75}\right)^2 - 1\right) = 72 \frac{\%_{відкр.РО}}{°C}$$

$$T_i = \tau_{об} \cdot \frac{6.36 \cdot K_{об} \cdot K_p}{\frac{T_{об}}{\tau_{об}} \cdot \left(1 + \frac{\tau_{об}}{T_{об}}\right)^3} = 46.5 \cdot \frac{6.36 \cdot 0.0925 \cdot 72}{\frac{383.75}{46.5} \cdot \left(1 + \frac{46.5}{383.75}\right)^3} = 169.3 \text{ с.}$$

Порівняємо параметри розрахованих регуляторів за показниками якості:

Для регулятора параметри якого розраховані за допомогою метода РАФХ, маємо наступні розрахунки:

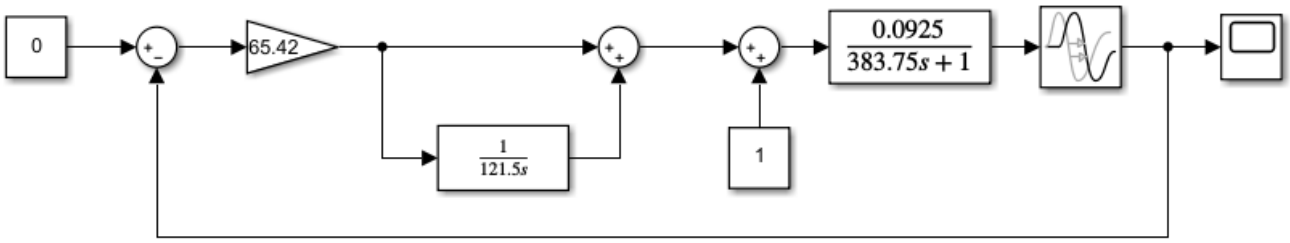


Рисунок 2.20 - Структурна схема канала збурення-вихід

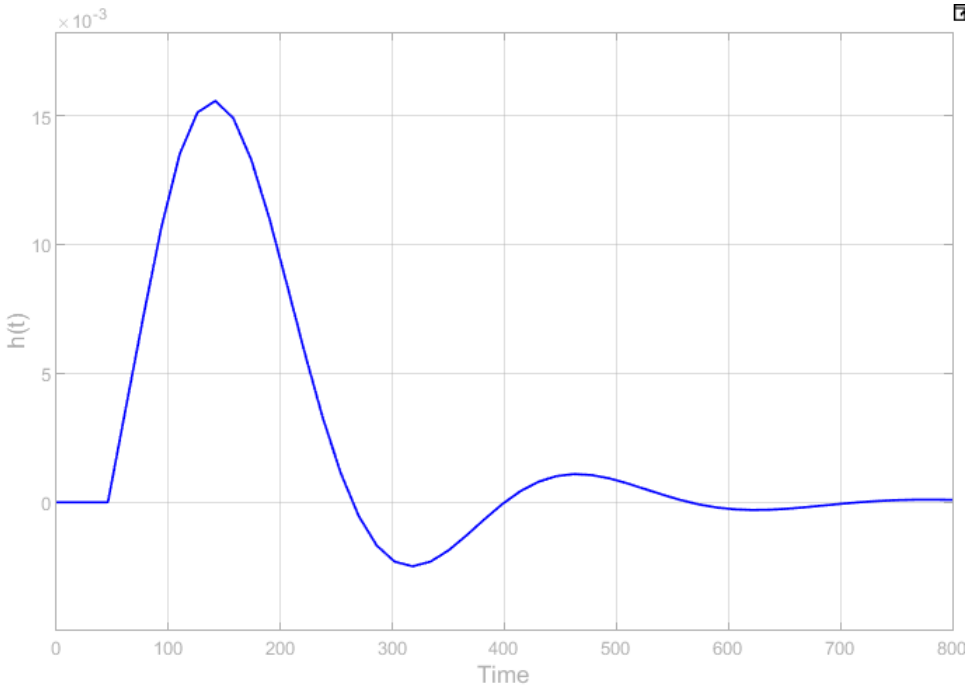


Рисунок 2.21 - Перехідний процес за каналом збурення-вихід

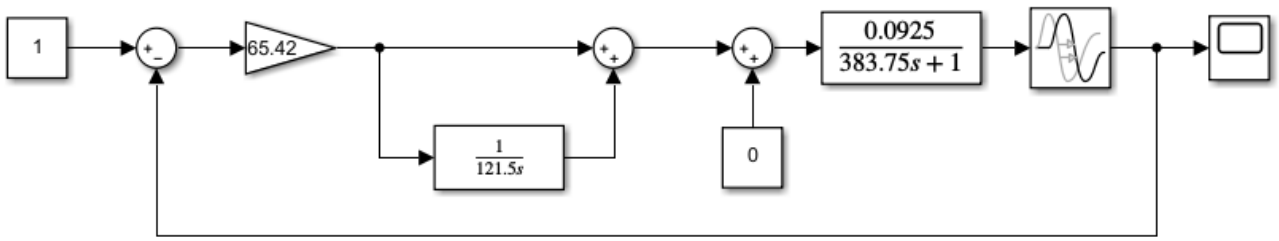


Рисунок 2.22 - Структурна схема канал завдання-вихід

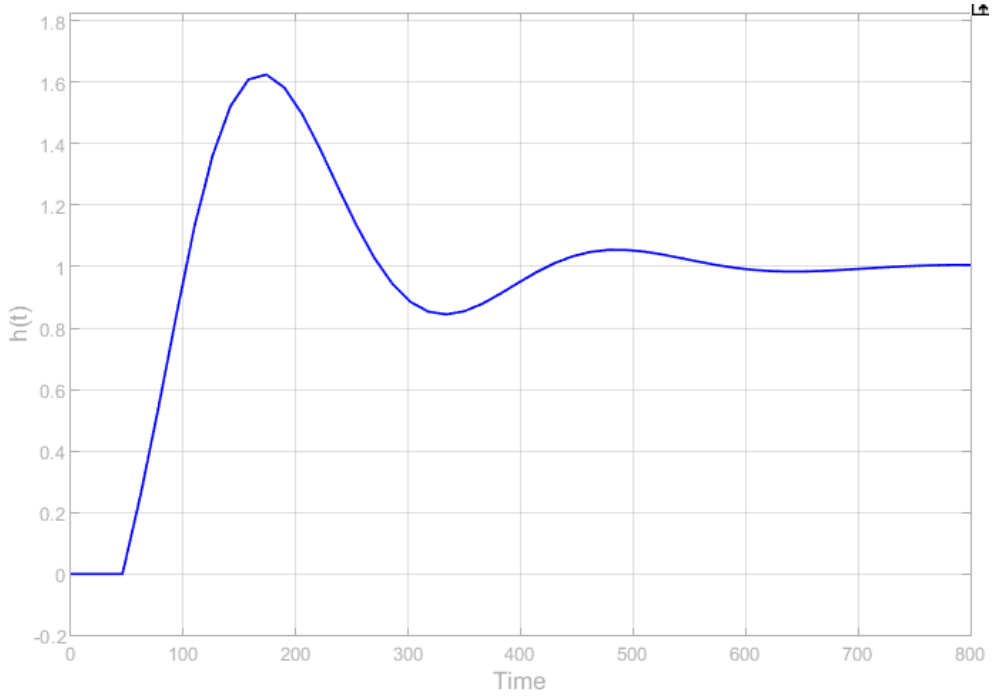


Рисунок 2.23 - Перехідний процес за каналом завдання-вихід

Розрахунок показників якості регулятора за каналом «збурення-вихід»:

$$\Delta_{ст} = y(\infty) = 0$$

$$\Delta_{дин} = y_{макс} - y(\infty) = 0.015 - 0 = 0.015$$

$$\sigma = \frac{y_2}{y_1} \cdot 100\% = \frac{0.002}{0.015} \cdot 100\% = 13.3\ \%$$

$$\psi = 1 - \frac{y_3}{y_1} = 1 - \frac{0.001}{0.015} = 0.93$$

$$t_{пп} = 610\ c$$

Розрахунок показників якості регулятора за каналом «завдання-вихід»:

$$\Delta_{ст} = 1 - y(\infty) = 1 - 1 = 0$$

$$\Delta_{дин} = y_{макс} - y(\infty) = 1.6 - 1 = 0.6$$

$$\sigma = \frac{y_1}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{0.6}{1} \cdot 100\% = 60\ \%$$

$$\Psi = 1 - \frac{y_3}{y_1} = 1 - \frac{0.07}{0.6} = 0.88$$

$$t_{пп} = 580\ c$$

Заповнимо підсумкову таблицю з розрахованими показниками якості для даного регулятора:

Таблиця 2.7 - Показники якості регулятора розрахованим за методом РАФХ

Канал	**Завдання-вихід**	**Збурення-вихід**
Статистична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.6	0.015
Перерегулювання σ, %	60	13.3
Степінь затухання Ψ	0.88	0.93
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	580	610

Для регулятора, параметри якого розраховані за допомогою експрес методів, розрахунки будуть мати наступний вигляд:

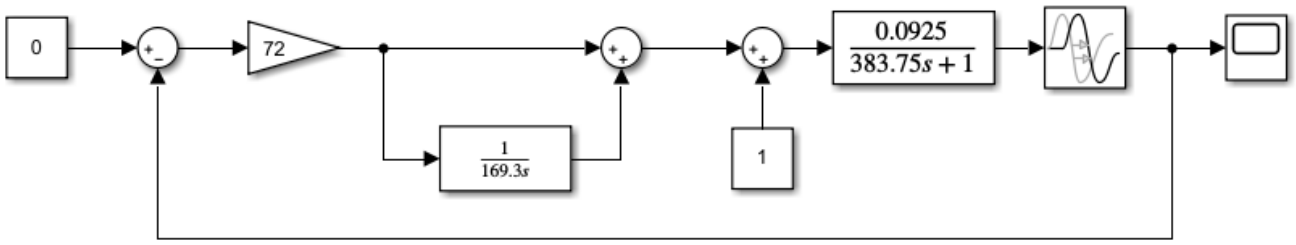


Рисунок 2.24 - Структурна схема за канала збурення-вихід

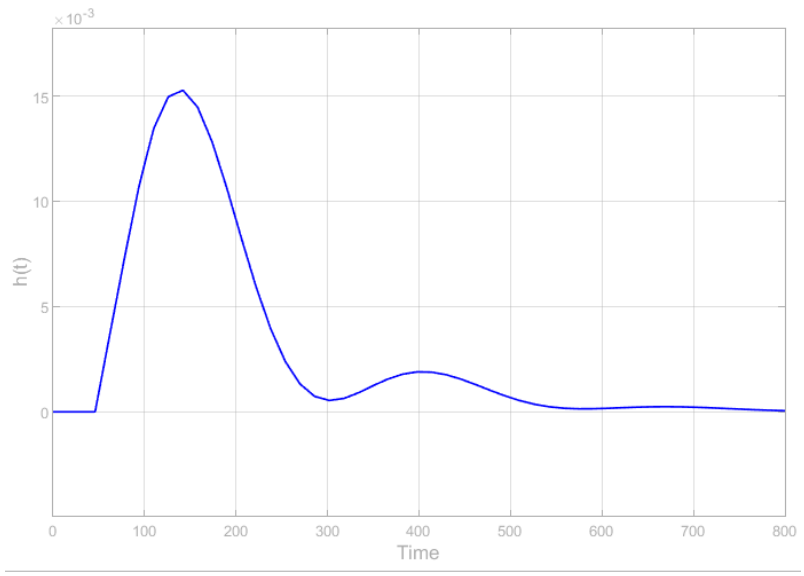


Рисунок 2.25 - Перехідний процес за каналом збурення-вихід

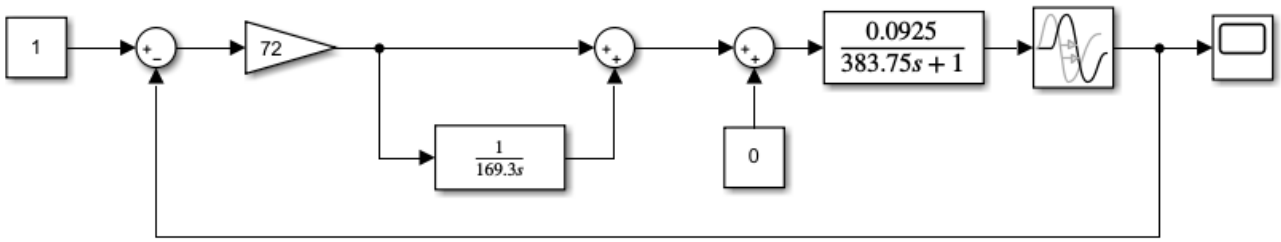


Рисунок 2.26 - Структурна схема канала завдання-вихід

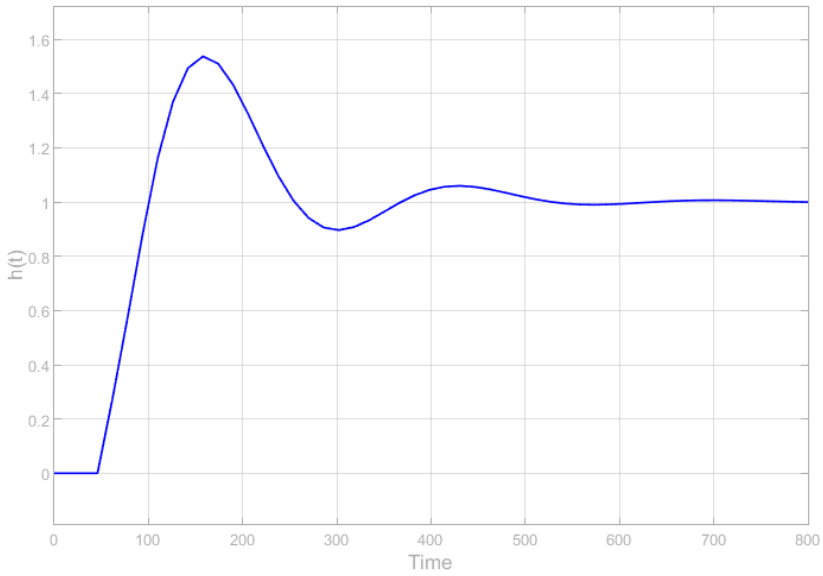


Рисунок 2.27 - Перехідний процес за каналом завдання-вихід

Розрахунок показників якості регулятора за каналом «збурення-вихід»:

$$\Delta_{ст} = y(\infty) = 0$$

$$\Delta_{дин} = y_{макс} - y(\infty) = 0.015 - 0 = 0.015$$

$$\sigma = \frac{y_2}{y_1} \cdot 100\% = \frac{0}{0.015} \cdot 100\% = 0\ \%$$

$$\psi = 1 - \frac{y_3}{y_1} = 1 - \frac{0}{0.015} = 1$$

$$t_{пп} = 560\ c$$

Розрахунок показників якості регулятора за каналом «завдання-вихід»:

$$\Delta_{ст} = 1 - y(\infty) = 1 - 1 = 0$$

$$\Delta_{дин} = y_{макс} - y(\infty) = 1.47 - 1 = 0.47$$

$$\sigma = \frac{y_1}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{0.47}{1} \cdot 100\% = 47\ \%$$

$$\psi = 1 - \frac{y_3}{y_1} = 1 - \frac{0.05}{0.47} = 0.89$$

$$t_{пп} = 510\ c$$

Заповнимо підсимкову таблицю з розрахованими показниками якості для регулятора параметри якого розраховані за експресс методом:

Таблиця 2.8 - Показники якості регулятора за двома каналами

Канал	**Завдання-вихід**	**Збурення-вихід**
Статистична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.47	0.015
Перерегулювання σ, %	47	0
Степінь затухання Ψ	0.89	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	510	560

При порівнянні параметрів регуляторів можна помітити, що регулятор з розрахованими параметрами за методом РАФХ поступається показникам якості регулятора розархованого за інженерним методом часткової компенсації, тому при подальших розрахунках системи на чутливість оберемо саме цей регулятор.

2.2.9 Функціональне моделювання САР

Для того, щоб визначити наскільки розроблена система є чутливою, змінимо параметр $К_{об}$:

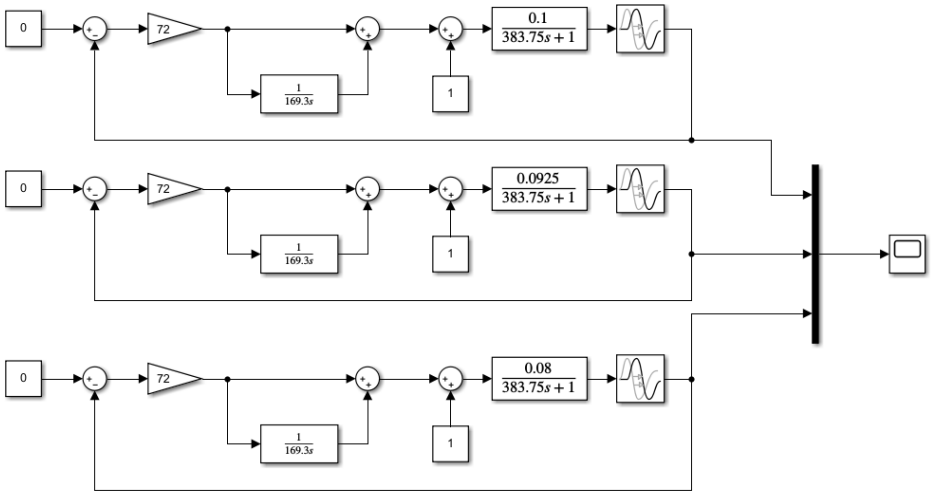


Рисунок 2.28- Структурна схема каналу збурення-вихід

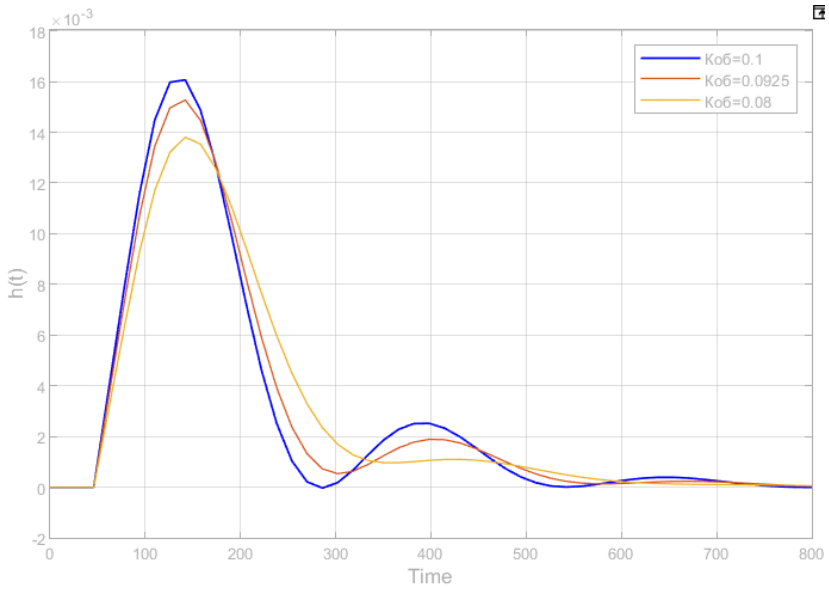


Рисунок 2.29 - Перехідні процеси за каналом збурення-вихід

Розрахунок показників якості за каналом збурення-вихід:

При Коб = 0.1:

$$\Delta_{\text{ст}} = y(\infty) = 0$$

$$\Delta_{\text{дин}} = \text{у}_{\text{макс}} - y(\infty) = 0.016 - 0 = 0.016$$

$$\sigma = \frac{\text{у}_2}{\text{у}_1} \cdot 100\% = \frac{0}{0.016} \cdot 100\% = 0\%$$

$$\psi = 1 - \frac{\text{у}_3}{\text{у}_1} = 1 - \frac{0}{0.016} = 1$$

$$t_{\text{пп}} = 620$$

При Коб = 0.0925:

$$\Delta_{\text{ст}} = y(\infty) = 0$$

$$\Delta_{\text{дин}} = \text{у}_{\text{макс}} - y(\infty) = 0.015 - 0 = 0.015$$

$$\sigma = \frac{\text{у}_2}{\text{у}_1} \cdot 100\% = \frac{0}{0.015} \cdot 100\% = 0\ \%$$

$$\psi = 1 - \frac{\text{у}_3}{\text{у}_1} = 1 - \frac{0}{0.015} = 1$$

$$t_{\text{пп}} = 550\ c$$

При Коб = 0.08:

$$\Delta_{\text{ст}} = y(\infty) = 0$$

$$\Delta_{\text{дин}} = \text{у}_{\text{макс}} - y(\infty) = 0.014 - 0 = 0.014$$

$$\sigma = \frac{y_2}{y_1} \cdot 100\% = \frac{0}{0.014} \cdot 100\% = 0\ \%$$

$$\Psi = 1 - \frac{y_3}{y_1} = 1 - \frac{0}{0.014} = 1$$

$$t_{пп} = 570c$$

Заповнимо підсумкову таблицю з розрахованими показниками якості за каналом «збурення-вихід»:

Таблиця 2.9 - Показники якості регулятора за каналом «збурення-вихід»

	Коб=0.1	**Коб=0.0925**	**Коб=0.08**
Статистична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.016	0.015	0.014
Перерегулювання σ, %	0	0	0
Степінь затухання Ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	620	550	570

Проведемо розрахунок за каналом «завдання-вихід»:

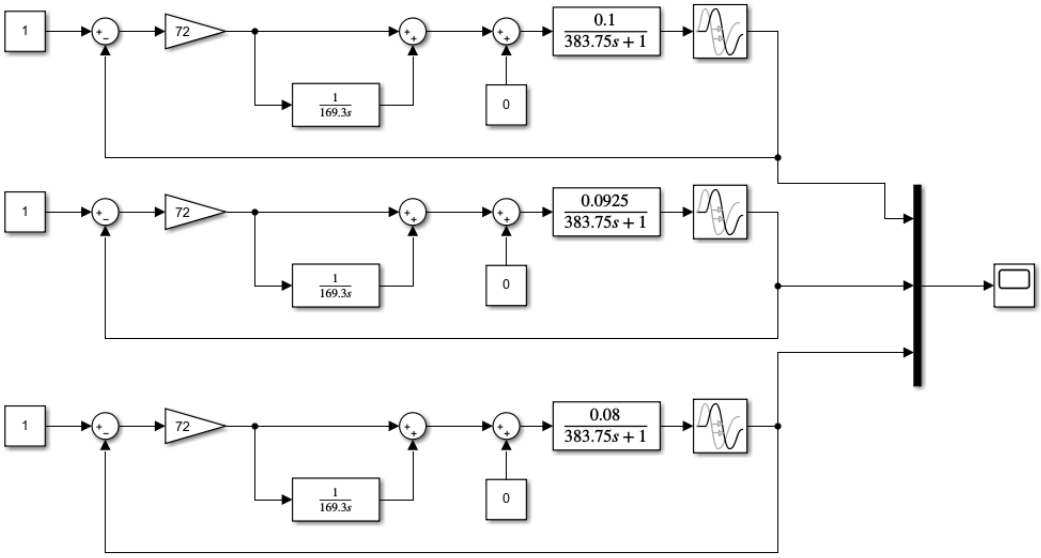


Рисунок 2.30 - Структурна схема каналу завдання-вихід

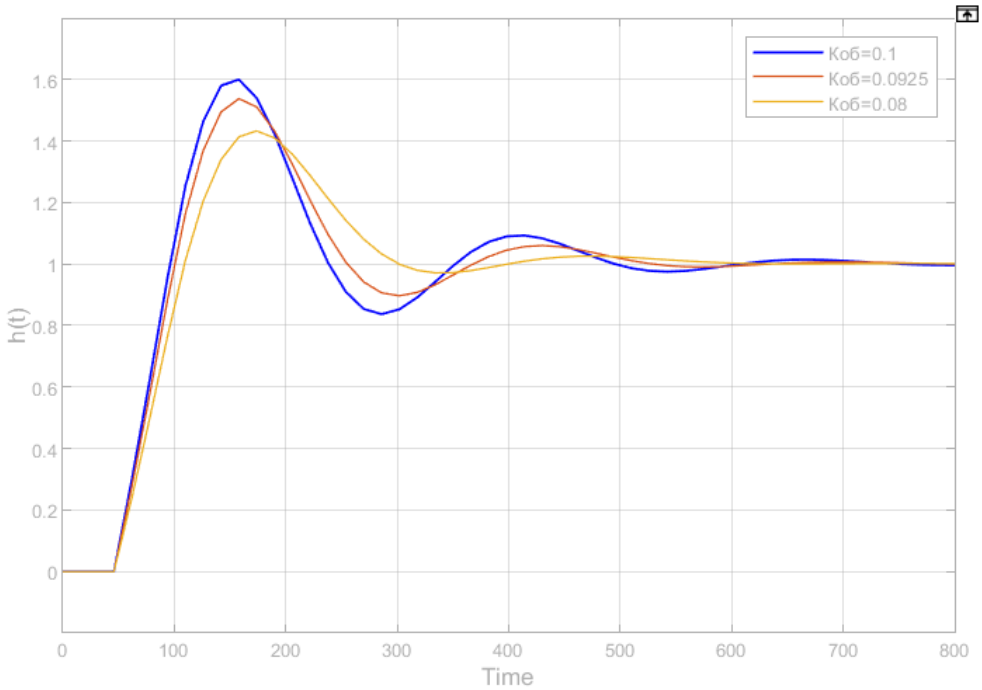


Рисунок 2.31 - Перехідна характеристика каналу завдання-вихід

При Коб = 0.10175:

$$\Delta_{\text{ст}} = 1 - y(\infty) = 1 - 1 = 0$$

$$\Delta_{\text{дин}} = \text{у}_{\text{макс}} - y(\infty) = 1.6 - 1 = 0.6$$

$$\sigma = \frac{\text{у}_1}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{0.6}{1} \cdot 100\% = 60\ \%$$

$$\psi = 1 - \frac{\text{у}_3}{\text{у}_1} = 1 - \frac{0.18}{0.6} = 0.7$$

$$t_{\text{пп}} = 550\ c$$

При Коб = 0.0925:

$$\Delta_{\text{ст}} = 1 - y(\infty) = 1 - 1 = 0$$

$$\Delta_{\text{дин}} = \text{у}_{\text{макс}} - y(\infty) = 1.5 - 1 = 0.5$$

$$\sigma = \frac{\text{у}_1}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{0.5}{1} \cdot 100\% = 50\ \%$$

$$\psi = 1 - \frac{\text{у}_3}{\text{у}_1} = 1 - \frac{0.1}{0.5} = 0.8$$

$$t_{\text{пп}} = 510\ c$$

При Коб = 0.0835:

$$\Delta_{\text{ст}} = 1 - y(\infty) = 1 - 1 = 0$$

$$\Delta_{\text{дин}} = \text{у}_{\text{макс}} - y(\infty) = 1.4 - 1 = 0.4$$

$$\sigma = \frac{\text{у}_1}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{0.4}{1} \cdot 100\% = 40\ \%$$

$$\psi = 1 - \frac{\text{у}_3}{\text{у}_1} = 1 - \frac{0.03}{0.4} = 0.92$$

$$t_{пп} = 500\ c$$

Заповнимо підсумкову таблицю з розрахованими показників якості за каналом «Завдання вихід»:

Таблиця 2.10 - Показники якості регулятора за каналом «завдання-вихід»

	Коб=0.1075	**Коб=0.0925**	**Коб=0.08325**
Статистична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.6	0.5	0.4
Перерегулювання σ, %	60	50	40
Степінь затухання Ψ	0.7	0.8	0.92
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	550	510	500

На основі вирахованих показників якості, розрахуємо коефіцієнти чутливості та перевіримо чи дана САР являється малочутливою по показнику якості $\Delta_{дин}$:

$$К_{чут} = \frac{\frac{p_n - p_{n-1}}{p_{n-1}}}{\frac{a_n - a_{n-1}}{a_{n-1}}} \cdot 100\%$$

$$К_{ч-1-1} = \frac{\frac{0.016 - 0.015}{0.015}}{\frac{0.1 - 0.0925}{0.0925}} = 0.82,$$ коефіцієнт чутливості за каналом "збурення – вихід"

$$К_{ч-1-2} = \frac{\frac{0.014 - 0.015}{0.015}}{\frac{0.08 - 0.0925}{0.0925}} = 0.5,$$ коефіцієнт чутливості за каналом "збурення – вихід"

$$К_{ч-2-1} = \frac{\frac{0.6-0.5}{0.5}}{\frac{0.1-0.925}{0.925}} = 2.5,$$ коефіцієнт чутливості за каналом "завдання – вихід"

$$К_{ч-2-2} = \frac{\frac{0.4-0.5}{0.5}}{\frac{0.08-0.0925}{0.925}} = 1.5,$$ коефіцієнт чутливості за каналом "завдання – вихід"

2.2.10 Висновок щодо роботоздатності РВК САР

Можна сказати, що система швидко стабілізується після зміни вхідного сигналу через те, що коефіцієнт затухання близький до одиниці. З розрахунків видно, що всі коефіцієнти чутливості за каналом збурення-вихід менше одиниці, що не можна сказати про канал завдання-вихід. Щодо САР, вона виявляє малу чутливість лише за каналом збурення-вихід.

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

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

3.2 Схема структурна ПТК

Опис схеми структурної ПТКЗА наведений в підрозділі 1.6 ПЗ ДПБ.

3.3 Схема принципова електрична АСР

Основна мета принципової електричної схеми полягає в графічному відображенні та описі структури та зв'язків між електричними компонентами у системі. Вона надає загальний огляд про функціональність та працездатність системи, вказує на шляхи переміщення електричного струму, визначає послідовність операцій та взаємодію між компонентами.

Джерелами живлення 24В для компонентів системи являються два блока живлення від компанії Schneider Electric. Перший блок живлення забезпечує електроенергією всю контролерну групу, а саме ПЛК та його модулі розширення. Також від даного блока живлення живляться лампочки які встановлені на щиті автоматизації. Другий блок живлення забезпечує електроенергією усі зовнішні прилади, які живляться від напруги 24В, а саме: сервоприводи та термостати.

З технічної документації приладів встановимо загальну потужність приладів контрольної групи:

Таблиця 3.1 – Споживання потужності приладів контролерної групи

Назва приладу	**Споживана потужність**	**Кількість**
ПЛК	35 Вт	1 шт.
Модуль розширення для аналогових входів	8 Вт	1 шт.
Модуль розширення ПЛК для аналогових виходів	4 Вт	2 шт.
Графічний дисплей	1 Вт	1шт.
Світловий індикатор	0.5Вт	5 шт.

Отже сумарна споживана потужність приладів контролерної групи дорівнює:

$$W_к = 35 + 8 + (4 * 2) + 1 + (0.5 * 5) = 54.5 \text{ Вт}$$

З технічної документації приладів встановимо загальну потужність зовнішніх датчиків та виконавчих механізмів:

Таблиця 3.2 - Споживана потужність зовнішніх приладів

Назва приладу	**Споживана потужність**	**Кількість**
Сервопривід LR24A-SR	1.5 Вт	3 шт.
Занурювальний термостат для води SD348	1 Вт	2 шт.
Малогабаритний контактор	2 Вт	2 шт.

Отже сумарна споживана потужність зовнішніх приладів складає:

$$W_з = (1.5 * 3) + (1 * 2) + (2 * 2) = 10.5 \text{ Вт}$$

За розрахованим значенням загальної потужності кожної групи, порахуємо який струм повинен бути на кожній лінії:

$$I_к = \frac{W_к}{24} = \frac{54.5}{24} = 2.2 \text{ А}$$

$$I_з = \frac{W_з}{24} = \frac{10.5}{24} = 0.43 \text{ A}$$

Отже для контролерної групи потрібно підібрати блок живлення зі струмом не менший 2.2А а для групи зовнішніх приладів не менше за 0.43 А.

ПЛК який використовується у даній системі не має власних аналогових входів, тому було вирішено під’єднати до нього модуль розширення Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC, за допомогою якого контролер зможе отримувати інформацію від давачів. Для підключення давачів температури води та температури повітря в опалювальній зоні достатньо під'єднати дані датчики безпосередньо до даного модуля розширення не використовуючи БЖ, так як даний модуль підримує сигнали від термоперетворювачів. Для того, щоб під’єднати занурювальний термостат до цифрових входів ПЛК, потрібно спочатку подати живлення на датчик, який живиться від напруги 24В, та під’єднати вихідне реле до відповідного цифрового входу ПКЛ.

Виконавчою апаратурою на даній схемі являються тепловентилятора Volcano VR1 та сервоприводи Belimo LR24A-SR. Щоб дізнатися як підключити дані пристрої можна звернутися до їх документації та знайти електричну схему підключення:

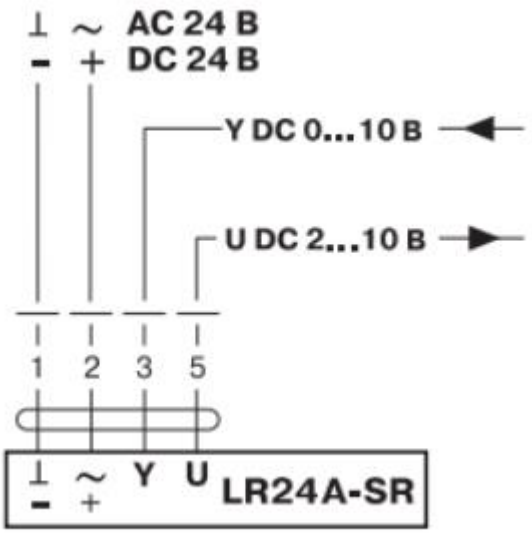


Рисунок 3.1 - Схема підключення Belimo LR24A-SR [18]

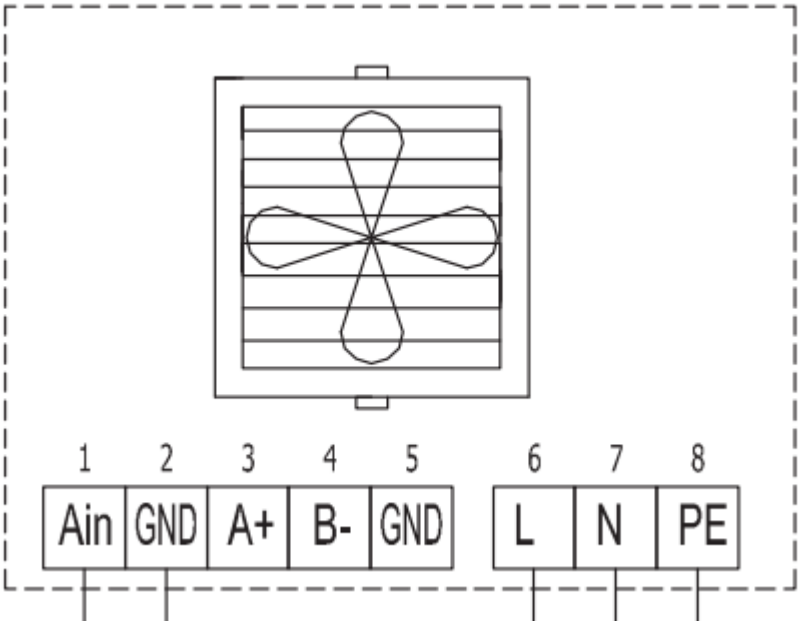


Рисунок 3.2 - Схема підключення Volcano VR1 [19]

Для знеструплення лінії перед кожним блоком живлення було встановлений автоматичний вимикач(SF1, SF2), це дає змогу легко знеструмити ділянку та провести заміну або обслуговування апаратури, дані вимикачі також встановлені біля насосів(SF3, SF4) для виконання тієї ж функції. Для знеструмленя усієї системи встановлений вимикач навантаження (QF1).

Для дискретного керування двигунів були встановлені контактори які живляться від напруги 24В блока живлення (PS2) також до даного БЖ підключені усі зовнішні прилади, як було зазначено раніше.

Процес проходження сигналу від давача до регулюючого органу, виконується в декілька етапів. Спочатку модуль розширення Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC приймає сигнал який надходить від давача температури повітря, оцифровує його та передає до ПЛК. ПЛК за певним алгоритмом обробляє дану інформацію та приймає рішення на скільки потрібно змінити положення РО та передає сигнал на Модуль аналового виводу Modicon TM3, 4 outputs (screw) 24 VDC, який в свою чергу перетворює дану команду у уніфікований сигнал 0-10, який використовується для управління Belimo LR24A-SR.

3.4 Креслення загального виду щита

Розроблений щит автоматизації має габарити 700x500x200, на фасаді якого розташовані світлові індикатори та графічний дисплей.

Завдяки світловим індикаторам оператор та технічний персонал можуть швидко оцінити стан різних процесів системи. Вони можуть побачити, які процеси працюють, які знаходяться у відхиленні або потребують уваги. Це дозволяє швидко реагувати на проблем, виявляти несправності та забезпечувати ефективну діагностику системи. На розробленому фасаді щита розташовані 5 світлових індикаторів. Дані індикатори розташовані у два ряди. В першому ряді розміщені два індикатора жовтого кольору які ідентифікують роботу контурів системи, інші індикатори мають зелений колір та ідентифікують зони які опалюються.

Також на фасаді розташований графічний дисплей за допомогою якого здійснюється керування системою. Даний графічний дисплей підключається до ПЛК через Ethernet та живиться від нього, так як даний пристрій має підтримку

Power over Ethernet (PoE). PoE є технологією, яка дозволяє передавати живлення та комунікацію по одному кабелю Ethernet. У випадку графічного дисплея, який підключається до програмованого логічного контролера Modicon M221, використання PoE дає змогу живити дисплей та передавати дані через один Ethernet кабель. Це забезпечує спрощену і зручну інсталяцію, оскільки не потрібно прокладати окремі проводи для живлення дисплея.

Монтаж апаратури на щиті включає кілька етапів, що допомагають забезпечити правильну і безпечну роботу всіх компонентів системи. Важливо дотримуватись стандартів і правил електробезпеки під час монтажу апаратури на щиті. Ось загальний порядок монтажу апаратури на щиті:

1. Перш ніж приступити до монтажу, важливо ретельно спланувати розташування апаратури на щиті, врахувати необхідний простір для кожного компонента та необхідність додаткових заходів безпеки, наприклад, розташування виключень чи запобіжників.
2. Встановити кріплення, такі як рейки, шини або планки, на які будуть кріпитися компоненти. Важливо правильно виміряти і встановити кріплення, щоб забезпечити точне розташування компонентів.
3. Провести електричні проводи від кожного компонента до відповідних точок підключення на щиті, використовуючи належні методи заземлення.
4. Установити кожен компонент на відповідному кріпленні і зафіксувати його, забезпечити надійне кріплення, щоб уникнути вібрації та руху компонентів під час експлуатації.

Апаратура в щиті розташована логічно та систематично, з урахуванням функціональних зв'язків між компонентами. Забезпечений легкий доступ до кожного пристрою та зручну робочу зону для операторів. Кожен пристрій або компонент на щиті має чітке та читабельне позначення, що вказує на його

призначення та функцію, це спрощує ідентифікацію та уникнення помилок при налаштуванні та обслуговуванні. Уся Апаратура розташована на достатній висоті та відстані одна від одної, щоб забезпечити зручний огляд, інспекцію та відладку. Важливо, щоб оператор мав чіткий огляд всіх компонентів і не зазнавав перешкод при виконанні своїх обов'язків.

При розташуванні клемників на щиті автоматизації важливо дотримуватись ергономічних принципів, які сприяють зручності і безпеці підключення та обслуговування. Усі клемники на розробленому щиті мають позначення, що вказує на призначення та підключення, що спрощує ідентифікацію та уникнення помилок при підключенні. Також клемники розташовані на достатній відстані від апаратури для зручного обслуговування. Ці ергономічні вимоги сприяють зручності роботи з клемниками на щиті автоматизації, забезпечують швидкий доступ, зменшують ризик помилок та покращують загальну ефективність обслуговування.

Усі проводи в щиті прокладені у коробі. Основною причиною впровадження даної ідеє – це захист проводів. Також прокладання проводів у коробі дозволяє структурувати їх і забезпечити організований вигляд щита. Це спрощує ідентифікацію та трасування проводів, зменшує сплутання та полегшує обслуговування та ремонт.

3.5 Схема монтажна щита

Основна мета створення даної схеми – надати зрозумілу інформацію про фізичні з’єднання між різними компонентами системи. Схема відображає фізичні з’єднання між компонентами, що дозволяє операторам, електромонтерам або іншим фахівцям легко ідентифікувати елемент та визначити їх з’єднання між собою. Дані схеми є важливим інструментом для діагностики та обслуговування електричних систем. Вони допомагають локалізувати проблеми, виявити відхилення в з’єднаннях та шукати відповідні рішення. Оператори та технічний

персонал можуть легко використовувати схему для швидкого виявлення, перевірки та ремонту проблемних зон.

На розробленій монтажній схемі щита зображені усі прилади, які входять до складу щита автоматизації. Кожен прилад ідентифікований панельним номером та має реальну кількість клем, для легкого монтажу у майбутньому. Зовнішні прилади під'єднані через клемники, кількість яких можна також побачити на даному кресленику.

Монтажна схема щита є необхідним інструментом для зрозумілого представлення та розуміння електричних з’єднань та компонентів у щиті. Вона допомагає забезпечити ефективну експлуатацію, безпеку та обслуговування щита.

3.6 Схема зовнішніх з’єднань

Схема зовнішніх з’єднань є графічним зображенням зовнішніх з’єднань апаратури, пристроїв або систем з іншими елементами. Основною метою цієї схеми є надання зрозумілої інформації про фізичні підключення та зв’язки між різними компонентами.

Схема зовнішніх з'єднань дозволяє чітко вказати, які компоненти або пристрої пов'язані між собою. Вона відображає фізичні підключення, наприклад, проводами, кабелями, роз'ємами або іншими з'єднувачами. Це полегшує розуміння взаємодії між компонентами та їх правильне підключення. Схема показує, як система працює в цілому і які зовнішні компоненти можуть бути підключені до неї.

На розробленій схемі зовнішніх з’єднань показані усі прилади які під’єднуються до щита автоматизації, також дана схема показує типи проводів за допомогою яких здійснюється з’єднання апаратури. Над кожним приладом розташований стовпчик таблиці ідентифікації обладнання, який допомагає краще орієнтуватися в обладнанні.

3.7 Специфікація обладнання

Для вимірювання температури в системі використовується термоперетворювач опору типу Pt1000. Дані типи датчику відносяться до класу високої точності і мають дуже малий допустимий відхил вимірювання, це дозволяє отримувати досить точні результати вимірювання. Також Pt1000 відрізняється високою надійністю так як виготовляється з платини, яка є стійкою до корозії і має високу механічну міцність, це дозволяє датчику витримувати фізичні навантаження і удари, забезпечуючи тривалий термін служби. Pt1000 видає аналоговий сигнал представлений зміною опору Pt1000 при зміні температури. Отриманий опір може бути перетворений в цифрове значення температури для подальшої обробки також Pt1000 відповідає міжнародним стандартам, таким як Міжнародна практична температура шкали (ITS-90), що робить його сумісним з багатьма іншими приладами та системами вимірювання. Перерахуємо які моделі датчиків використовуються в системі та який параметр вони вимірюють:

Таблиця 3.3 -Специфікація датчиків температури системи опалення

Модель приладу	**Вимірювальна величина**
TE/S2	Температура прямої води в контурі нагріву води
TE/S2	Температура прямої води в контурі опалення
TE/S2	Температура зворотної води в контурі опалення
TE/S2	Температура продуктів згорання
TCM-304	Температура повітря в опалювальній зоні №1
TCM-304	Температура повітря в опалювальній зоні №2

Модель приладу	**Вимірювальна величина**
ТСМ-304	Температура повітря в опалювальній зоні №3

Кінець таблиці 3.3

Для контролю температури води в термоакумуляторі використовується термостат моделі SD348. Даний термостат має зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що спрощує налаштування параметрів та контролю температури. Мета встановлення термостатів на термоакумуляторі, інформувати систему про рівень загрузки даного агрегата .

Для регулюванням кількості гарячого теплоносія в теплообмінник вентилятора використовується сервопривід Belimo LR24A-SR. Цей привід призначений для використання у системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря для керування клапанами. Даний привід отримує сигнал керування від контролера або системи управління, який вказує приводу, яким чином переміщати клапан. Основні технічні характеристики вказані в таблиці № 3.4:

Таблиця 3.4 - Технічні характеристики сервопривода Belimo LR24A-SR

Назва параметру	**Значення**
Напруга живлення	24 В
Споживана потужність	1.5 Вт
Електричне підключення, кабель	$4x0.75мм^2$
Час повного ходу	35 с.
Момент сили	5 Нm
Вага	0.55 кг

Для дискретного керування насосами використовуються контактори КМИ-10910. Контактори є електромеханічними пристроями, що використовуються для керування електричними навантаженнями. Вони включають та вимикають

електричну потужність на основі сигналів керування. Дані пристрої зазвичай мають котушки, що при включенні створюють магнітне поле, яке відтягує контакти та забезпечує електричний замикання або відключення. Керування даними контакторами здіюснюється за допомогою ПЛК.

Пристроями теплопередачі в даній системі являється тепловентилятори Volcano R1. Перш за все, вони забезпечують швидке і ефективне нагрівання приміщень, що робить їх ідеальними для тимчасового або додаткового опалення. Також можуть бути легко переносними, що дозволяє їх використовувати в різних приміщеннях або місцях за потреби. Крім того, тепловентилятори Volcano VR1 зазвичай мають вбудовані захисні функції, такі як автоматичне вимкнення у разі перегріву або відключення при падінні, що робить їх безпечними для використання. Використання тепловентиляторів Volcano R1 дозволяє забезпечити індивідуальний контроль над температурою в кожній зоні, так як приміщення може мати свій власний тепловентилятор, що дозволяє настроювати температуру згідно з вимогами користувача. Даний підхід ефективний для опалення окремих робочих місць або для забезпечення комфорту в різних зонах в одному приміщенні.

Для забезпечення циркуляції води в системі опалення використовуються циркуляційні насоси компанії “Grundfos”. Особливу увагу слід звернути на насос контура опалення, який дозволяє утримувати необхідний тиск теплоносія, що забезпечує рівномірне та ефективне опалення в усіх точках системи. Також даний насос має низьке споживання електроенергії завдяки ефективному електродвигуну. Він допомагає знизити витрати на опалення та електроенергію, що є важливим фактором для забезпечення економії та екологічності. Технічні характеристик даних насосів представлені у таблиці № 3.5:

Таблиця 3.5 - Технічні характеристики циркуляційних насосів систем опалення

Назва моделі	**Розташування**	**Назва параметру**	**Значення параметру**
ALPHA2 L 25-60 N 180	Контур опалення	Робоча рідина	Вода
		Діапазон температур рідини	2...110 °C
		Споживана потужність	5...45 Вт
		Максимальний гідростатичний напір	60 дм
		Максимальний робочий тиск	10 Бар
		Номінальна напруга	220 В
Comfort PM	Контур нагріву води	Робоча рідина	Вода
		Діапазон температур рідини	2...110 °C
		Споживана потужність	
		Максимальний гідростатичний напір	12 дм
		Максимальний робочий тиск	10 Бар
		Номінальна напруга	220 В

Дисплей Graphic Display, 240 x 160 пікселів, є частиною контролера Modicon M221, який використовується для керування системою автоматизації. Цей дисплей можна використовувати для зручного та інтуїтивного відображення інформації про систему та її стану, а також для керування різними функціями системи. Ось декілька способів використання цього дисплею для керування системою.

ПЛК Modicon M221 має ряд характеристик і функцій, які роблять його відмінним вибором для використання у системі опалення. Контролер має потужність і продуктивність, необхідні для ефективного керування системою опалення. Вона забезпечує швидку обробку даних, точність вимірювання і реагування на зміни умов опалення. Також однією з причин обрання даного контролера є його гнучкість, так як має можливості розширення, що дозволяє додавати додаткові модулі в майбутньому, якщо це необхідно.

Так як даний контролер не має власний аналогових входів та виходів для керування системи використовуються модулі розширення повний перелік апаратури та модулів розширення можна побачити на таблиці № 3.6:

Таблиця 3.6 – Перелік обчислювальної апаратури системи опалення

Назва приладу	**Модель**	**Кількість**
ПЛК	M221	1 шт.
Модуль розширення аналогових входів (8шт.)	Modicon TM3	1 шт.
Модуль розширення аналогових виходів(4шт.)	Modicon TM3	2 шт.

Модуль аналогового вводу Modicon TM3 з восьми входами (spring) 24 VDC є компонентом серії модулів вводу-виводу, розроблених для контролерів Modicon серії M221 та інших промислових автоматизаційних систем. Цей модуль дозволяє підключати аналогові сигнали від різних датчиків, пристроїв або інших джерел інформації до контролера для подальшої обробки та керування процесами. Модуль має вбудований захист від перевантаження, що дозволяє уникнути пошкодження модуля або відключення пристроїв у разі виникнення надмірного струму або напруги.

Модуль аналогового виводу Modicon TM3 забезпечує керування аналоговими пристроями у системах автоматизації та має чотири виводи, які перетворюють цифрові сигнали в аналогові сигнали напруги 24 В. Цей модуль дозволяє ефективно керувати прилади які у якості керування використовують аналогові сигнали.

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

	Область	Имя	Адрес	Тип данных	Инициализация	Комментарий	Атрибуты
1	VAR	PID_0		PID			
2	VAR	ADC_0		ADC			
3	VAR	rMaxAirTemperatureSensorSignal		REAL	1500	Максимальний аналоговий сигнал термоперетворювача	
4	VAR	rMinAirTemperatureSensorSignal		REAL	1000	Мінімаль аналоговий сигнал термоперетворювача	
5	VAR	rMaxAirSensorValue		REAL	150	Верхня межа вимірювання датчика температури	
6	VAR	rMinAirSensorValue		REAL	-40	Нижня межа вимірювання датчика температури	
7	VAR	rAirSensor2Value		REAL		Значення температури повітря в опалювальній зоні 2	
8	VAR	rAirSensor1Value		REAL		Значення температури повітря в опалювальній зоні 1	
9	VAR	rAirSensor3Value		REAL		Значення температури повітря в опалювальній зоні 3	
10	VAR	rKd		REAL		Значення параметра Kd регулятора для регулюванням кількістю гарячого теплоносія	
11	VAR	rKi		REAL		Значення параметра Ki регулятора для регулюванням кількістю гарячого теплоносія	
12	VAR	rKp		REAL		Значення параметра Kп регулятора для регулюванням кількістю гарячого теплоносія	
13	VAR	bStartHeatingInZone1		BOOL		Команда увікнути опалення в зоні 1	
14	VAR	bStartHeatingInZone2		BOOL		Команда увікнути опалення в зоні 2	
15	VAR	bStartHeatingInZone3		BOOL		Команда увікнути опалення в зоні 3	
16	VAR	rZone1DesirableTemperature		REAL		Уставка в 1-шій опалювальній зоні	
17	VAR	rZone2DesirableTemperature		REAL		Уставка в 2-шій опалювальній зоні	
18	VAR	rZone3DesirableTemperature		REAL		Уставка в 3-шій опалювальній зоні	
19	VAR	ADC_1		ADC			
20	VAR	ADC_2		ADC			
21	VAR	DAC_0		DAC			
22	VAR	PID_1		PID			
23	VAR	PID_2		PID			
24	VAR	rMinPIDValue		REAL	0	Обмежуюче мінімальне значення регулятора	

	Область	Имя	Адрес	Тип данных	Инициализация	Комментарий	Атрибуты
24	VAR	rMinPIDValue		REAL	0	Обмежуюче мінімальне значення регулятора	
25	VAR	rMaxPIDValue		REAL	100	Обмежуюче максимальне значення регулятора	
26	VAR	DAC_1		DAC			
27	VAR	DAC_2		DAC			
28	VAR	RS_0		RS			
29	VAR	bStartPump1		BOOL		Комнда на увімкнення насосу 1	
30	VAR	rSensorFlueGasTemperature		REAL		Температра продуктів згорання	
31	VAR	bStartPump2		BOOL		Команда на увімкнення насосу 2	
32	VAR	bTermorele1		BOOL		Спрацювання термореле у верхній частині бака акумулятора	
33	VAR	bTermorele2		BOOL		Спрацювання термореле у верхній частині бака акумулятора	
34	VAR	rBelimoMinControlSignal		REAL	0	Мінімальний аналоговий сигнал керування Belimo	
35	VAR	rBelimoMaxControlSignal		REAL	10	Максимальний аналоговий сигнал керування Belimo	
36	VAR	rMaxOpenningValue		REAL		Максимальне положення клапану у %	
37	VAR	rMinimumOpenningValue		REAL		Мінімальне положення клапану у %	
38	VAR	HL1		BOOL		Ідентифікація роботи контуру нагріву води	
39	VAR	HL2		BOOL		Ідентифікація роботи контуру опалення	
40	VAR	HL3		BOOL		Ідентифікація процесу опалення в зоні 1	
41	VAR	HL4		BOOL		Ідентифікація процесу опалення в зоні 2	
42	VAR	HL5		BOOL		Ідентифікація процесу опалення в зоні 3	
43	VAR	bZone1HeatingPermission		BOOL		Дозвіл на роботу опалювальної апаратури в зоні 1	
44	VAR	bZone2HeatingPermission		BOOL		Дозвіл на роботу опалювальної апаратури в зоні 2	
45	VAR	bZone3HeatingPermission		BOOL		Дозвіл на роботу опалювальної апаратури в зоні 3	
46	VAR	DAC_3		DAC			
47	VAR	rFanMinControlSignal		REAL	0	Мінімальний сигнал керування тепловентилятора	

47	VAR	rFanMinControlSignal		REAL	0	Мінімальний сигнал керування тепловентилятора
48	VAR	rFanMaxControlSignal		REAL	10	Максимальний сигнал керування тепловентилятора
49	VAR	rDesiredFan1Power		REAL		Уставка потужності тепловентилятора 1
50	VAR	rMaxFanPower		REAL		Максимальна потужність тепловентиляторів
51	VAR	rMinFanPower		REAL		Мінімальна потужність тепловентиляторів
52	VAR	DAC_4		DAC		
53	VAR	rDesiredFan2Power		REAL		Уставка потужності тепловентилятора 2
54	VAR	rDesiredFan3Power		REAL		Уставка потужності тепловентилятора 3
55	VAR	bManulModeZone1		BOOL		Сигнал на увімкнення ручного режиму для опалювання зони №1
56	VAR	rManualSignalZone1		REAL		
57	VAR	rManualSignalZone2		REAL		
58	VAR	bManulModeZone2		BOOL		Сигнал на увімкнення ручного режиму для опалювання зони №2
59	VAR	rManualSignalZone3		REAL		
60	VAR	bManulModeZone3		BOOL		Сигнал на увімкнення ручного режиму для опалювання зони №3

Рисунок 4.1 - Змінні що використовуються у програмі

Для перетворення аналогового сигналу в цифровий використовується аналого-цифрового перетворювача. За дану логіку відповідає функціональний блок ADC. DCA – цифрово-аналоговий перетворювач працює за тим же принципом:

	Область	Имя	Адрес	Тип данных	Инициализация	Комментарий	Атрибуты
1	VAR_INPUT	**rInputSignal**		REAL		Аналоговий сигнал датчика	
2	VAR_INPUT	**rMinInputSignal**		REAL		Мінімальний аналоговий сигнал датчика	
3	VAR_INPUT	**rMaxInputSignal**		REAL		Максимальний аналоговий сигнал датчика	
4	VAR_INPUT	**rMinOutValue**		REAL		Мінімально допустипе значення цифрового сигналу	
5	VAR_INPUT	**rMaxOutValue**		REAL		Максимально допустиме значення цифрового сигналу	
6	VAR_OUTPUT	**rOutValue**		REAL		Вихідне цифрове значення	
7	VAR	**linTrafo**		UTIL.LIN_TRAFO			

Рисунок 4.2 - Використані зміні для реалізації аналого-цифрового перетворювача

```
1  linTrafo(
2      IN_MIN := rMinInputSignal,
3      IN_MAX := rMaxInputSignal,
4      OUT_MIN := rMinOutValue,
5      OUT_MAX := rMaxOutValue,
6  );
7
8  linTrafo.IN := rInputSignal;
9  rOutValue := linTrafo.OUT;
```

Рисунок 4.3 - Реалізація алгоритму перетворення аналового сигналу в цифровий

У Codesys, функція LINTRFO використовується для виконання лінійної інтерполяції. Функція LINTRFO обчислює проміжні значення на основі лінійної функції, що інтерполює між граничним лівим та правим значеннями відповідно до заданого інтервалу.

Насос контура нагріву води працює разом з котлом. Для ідентифікації роботи котла встановлений датчик температури продуктів згорання. Як тільки температура продуктів згорання досягне значення більше 90 °C, система буде вважати що котел працює та увімкне насос. Реалізацію даного алгоритма можна побачити нижче:

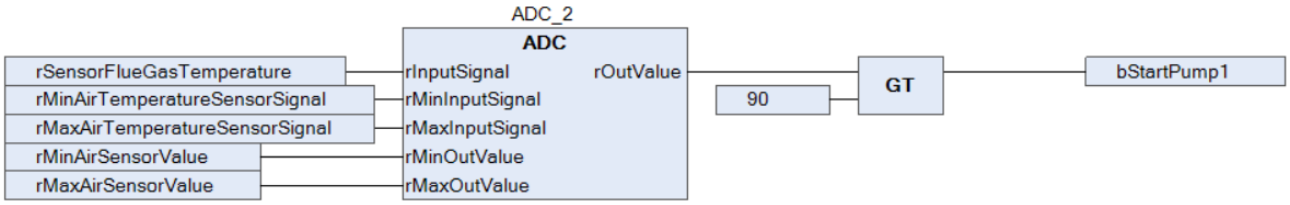


Рисунок 4.4 - Реалізація увімкнення насосу контура нагріву води

Роботу насоса контура опалення контролюють два термореле, що розташовані у верхній та нижній частині теплоакумулятора. Дані реле під'єднані за принципом самопідхвату, алгоритм реалізації даної поведінки можна побачити нижче:

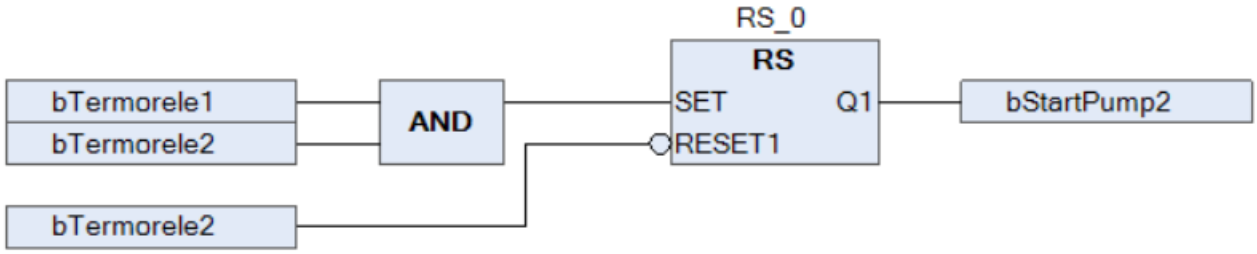


Рисунок 4.5 - Реалізація увімкнення насосу контура опалення

Для забезпечення правильної роботи опалення в певній зоні необхідно мати дозвіл від оператора і переконатися, що теплоакумулятор заряджений. Для цього необхідно реалізувати перевірку:

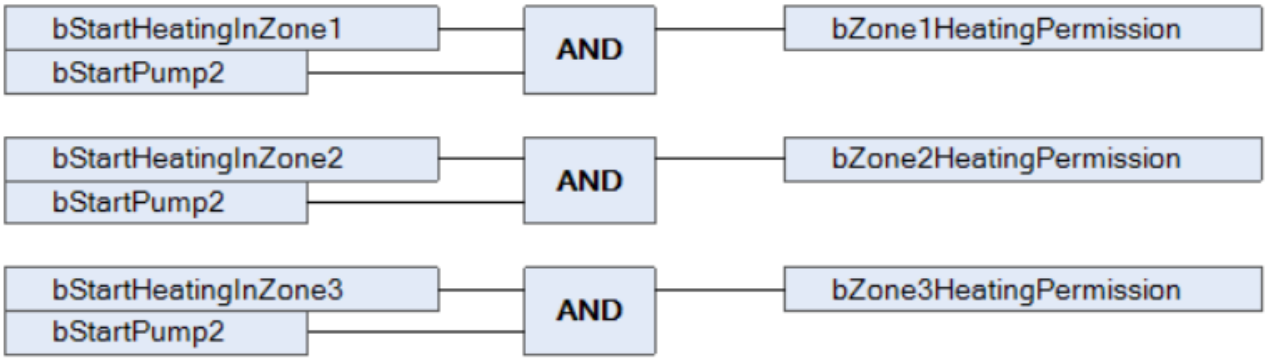


Рисунок 4.6 - Реалізація дозволу увімкнення опалення

Для регулюванням температури повітря в опалювальній зоні використовується закон ПІД-регулювання. В реалізації даної САР використовується 3 функціональні блоки:

1. ADC – аналогово-цифровий перетворювач
2. PID – функціональний блок PID регулятора
3. DCA – цифрово-аналоговий перетворювач

Контролер отримує сигнал про температуру від аналогового датчика, який перетворює його на цифрове значення. Цифровий сигнал потім надходить до блоку PID-регулятора, де обчислюється різниця між встановленою температурою (уставкою) та фактичним значенням температури. На основі цієї похибки блок PID регулятора приймає рішення щодо корекції положення виконавчого механізму. Оскільки виконавчий механізм працює з аналоговим сигналом, після блоку PID регулятора встановлений цифро-аналоговий перетворювач, який перетворює цифровий сигнал на аналогове значення. Це аналогове значення використовується для управління виконавчим механізмом. Реалізуємо 3 САР для кожної зони опалювання:

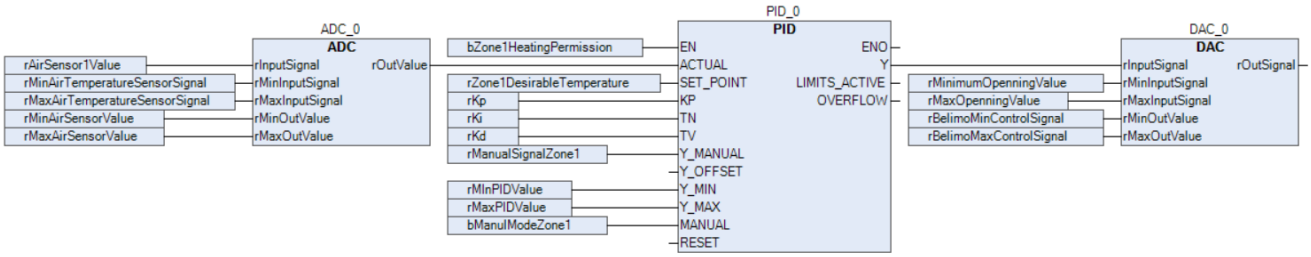


Рисунок 4.7 - Реалізація САР температури повітря в опалювальній зоні №1

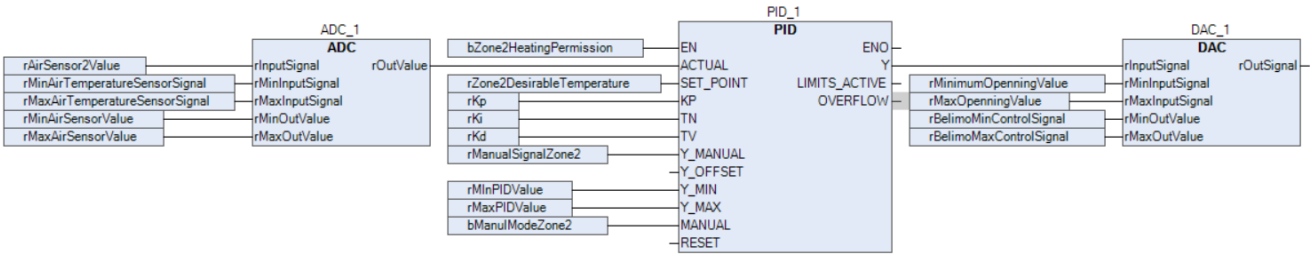


Рисунок 4.8 - Реалізація САР температури повітря в опалювальній зоні №2

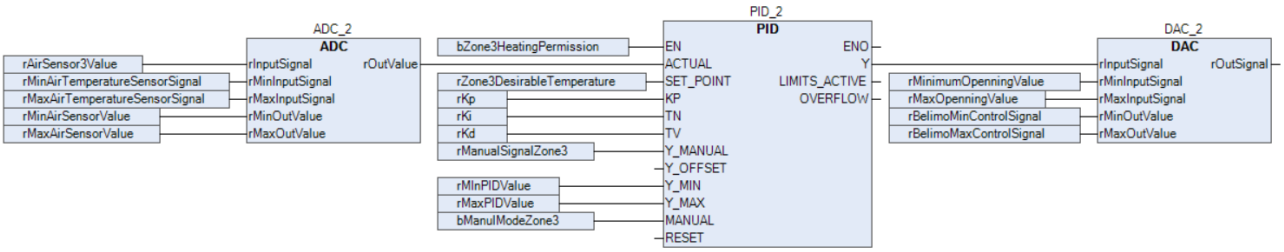


Рисунок 4.9 - Реалізація САР температури повітря в опалювальній зоні №3

Контролер вентилятора отримує цифровий сигнал від оператора через графічний дисплей, який визначає потужність вентилятора. Контролер перетворює це цифрове значення в аналоговий сигнал, який використовується для керування потужністю вентилятора, даний алгоритм зображений на рисунку нижче:

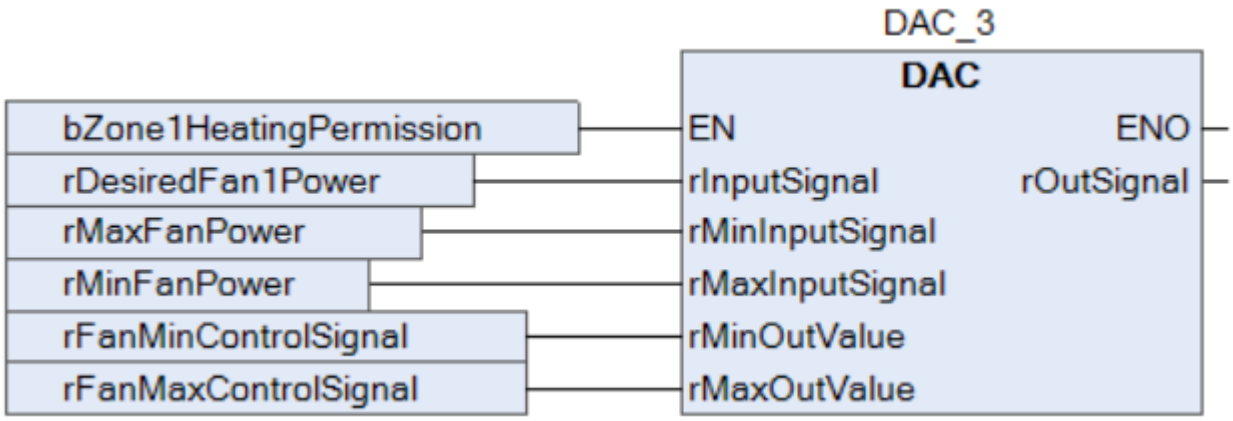


Рисунок 4.10 - Реалізація керування потужністю вентилятора в опалювальній зоні №1

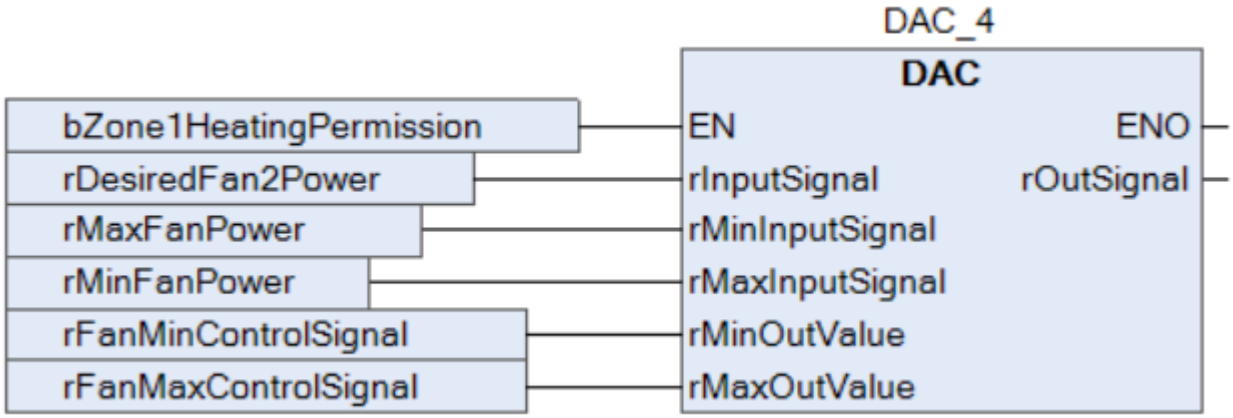


Рисунок 4.11 - Реалізація керування потужністю вентилятора в опалювальній зоні №2

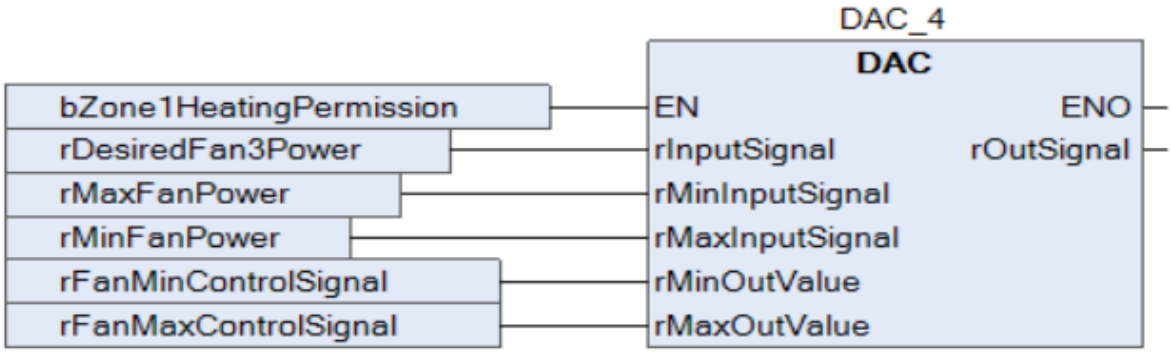


Рисунок 4.12 - Реалізація керування потужністю вентилятора в опалювальній зоні №2

Наступний алгоритм ідентифікує операторів про роботу системи запалюючи лампочки на щиті автоматизації:

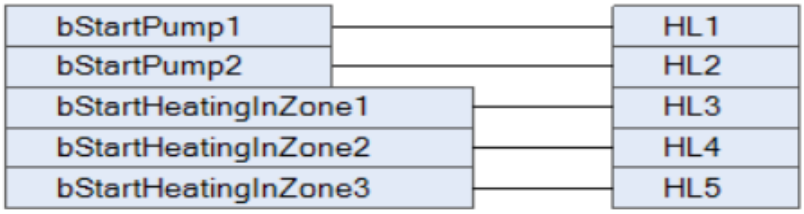


Рисунок 4.13 - Реалізація ідентифікації роботи системи

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

Однією з головних цілей MLI є забезпечення зручного та простого використання системи або пристрою. Це може включати в себе розробку інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів, уникнення складних команд та навантаження на користувача, а також пристосування до індивідуальних потреб та можливостей користувача.

Рисунок 4.14 - Реалізація вікна Меню

Для того щоб обмежити доступ до користування даним інтерфейсом впроваджена авторизація.

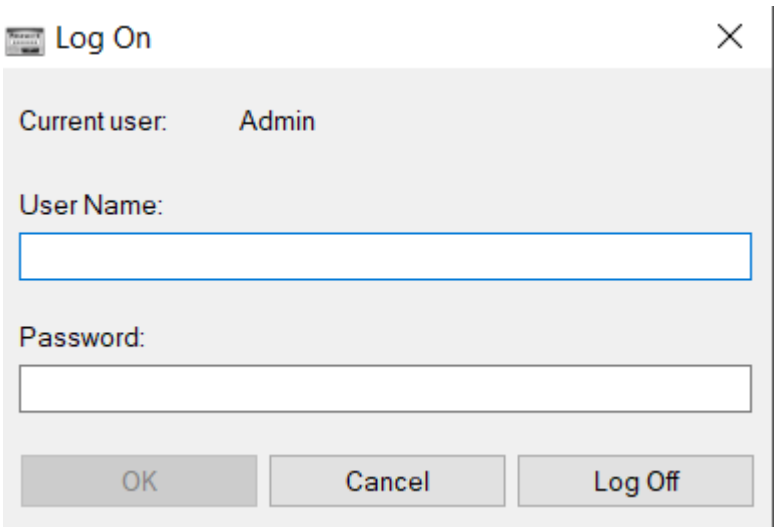


Рисунок 4.15 - Авторизація до панелі HMI

Для поліпшення сприйняття роботи системи було розроблено вікно "MyMimics", яке забезпечує чітку та інтуїтивно зрозумілу візуалізацію технологічного процесу. Воно використовує графічні елементи, кольори, символи та інші візуальні ефекти для того, щоб інформація була легко сприйнятною для операторів.

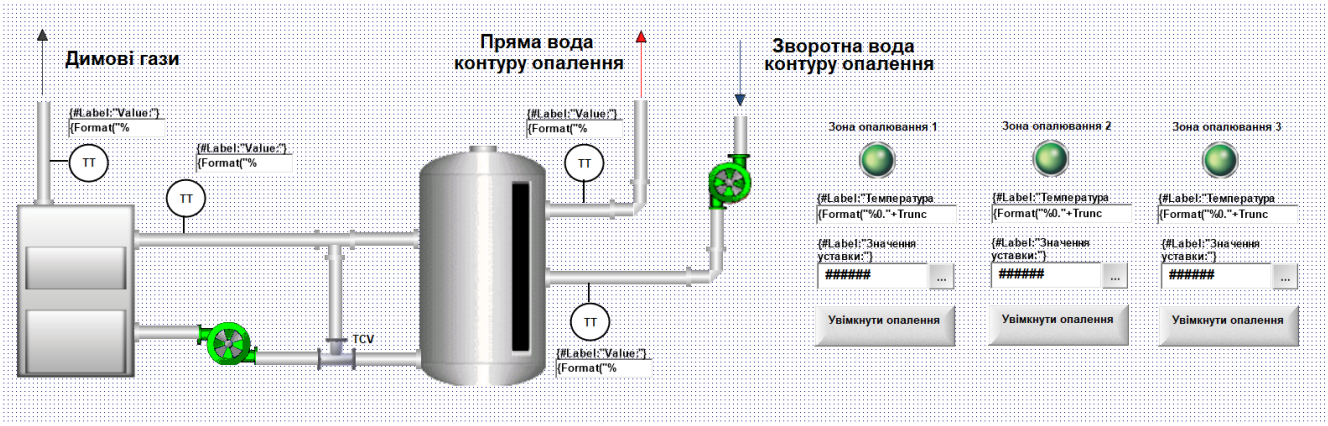


Рисунок 4.16. - Реалізація вікна MyMimics

Тренди даних візуалізують зміну значень певного параметра або набору параметрів в часовому аспекті. Це допомагає операторам аналізувати динаміку технологічного процесу та виявляти потенційні проблеми або відхилення.

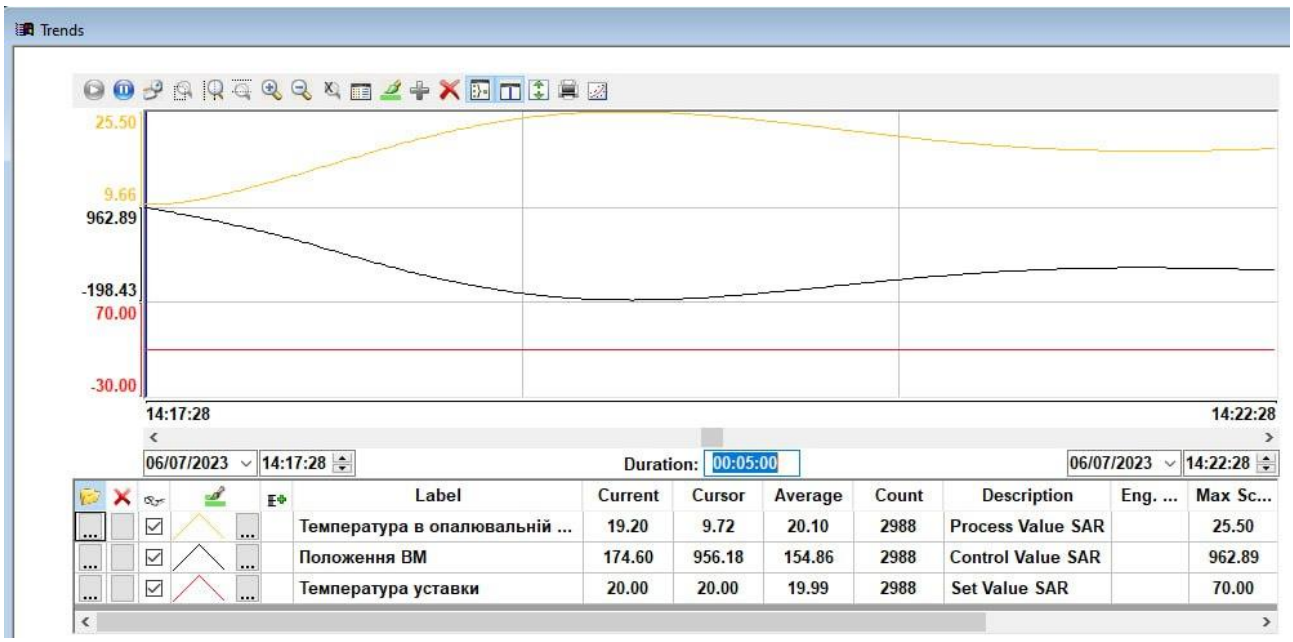


Рисунок 4.17 - Реалізація вікна Trends

За архівацію усіх подій в системі SCADA та ідентифікування аварій, відповідає вікно «Alarms»

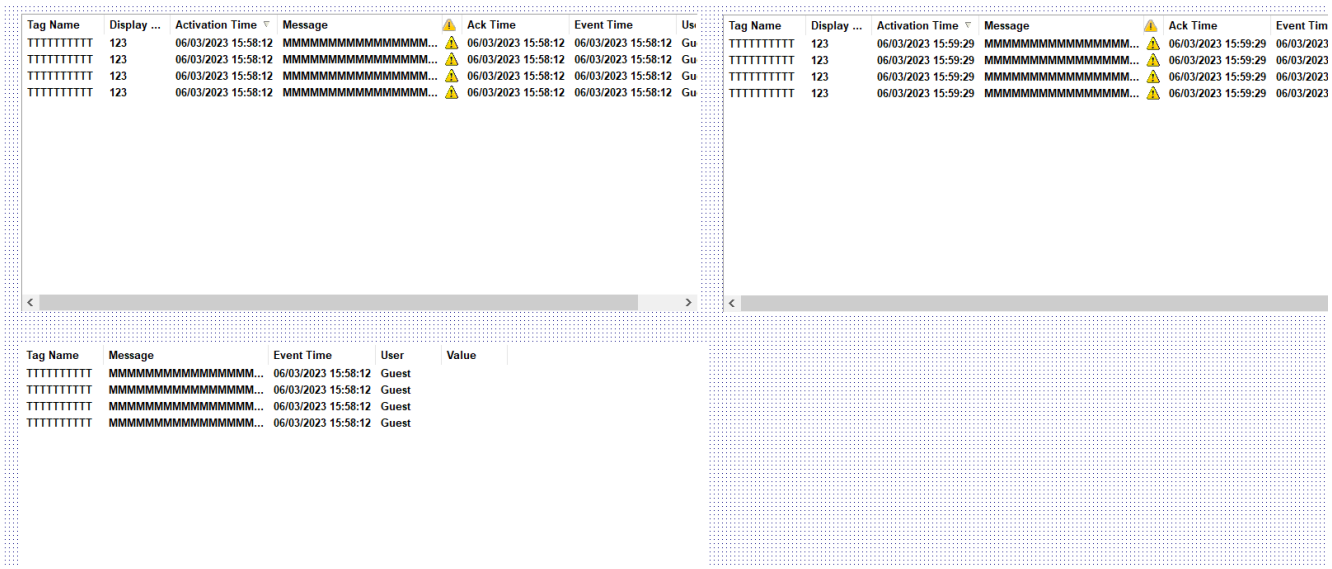


Рисунок 4.18 - Реалізація вікна Alarms

РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

Матлаб використовується для розробки моделей імітації та аналізу даних. В якості OPC-клієнта, Матлаб відправляє дані на OPC-сервер CodeSys за допомогою OPC-з'єднання. CoDeSys OPC-сервер отримує ці дані від Матлаб, обробляє їх і передає наступному OPC-клієнту. Цей другий OPC-клієнт отримує дані і передає їх до WebStudio для візуалізації та подальшої обробки.

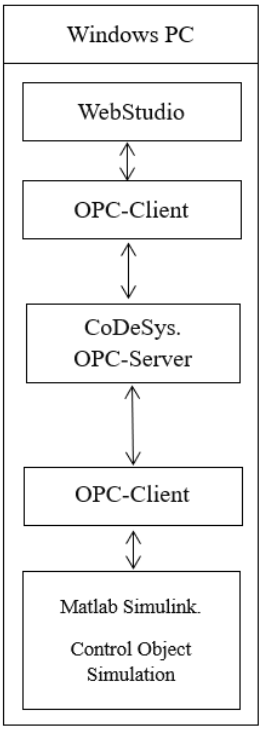


Рисунок 5.1 - Схема структурна полігону імітаційного SIL-моделювання АТК інженерних систем

5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

Так як моделювання дозволяє тестувати алгоритм керування на віртуальній моделі перед їх реалізацією в реальній системі було створено модель в середовищі Matlab Simulink:

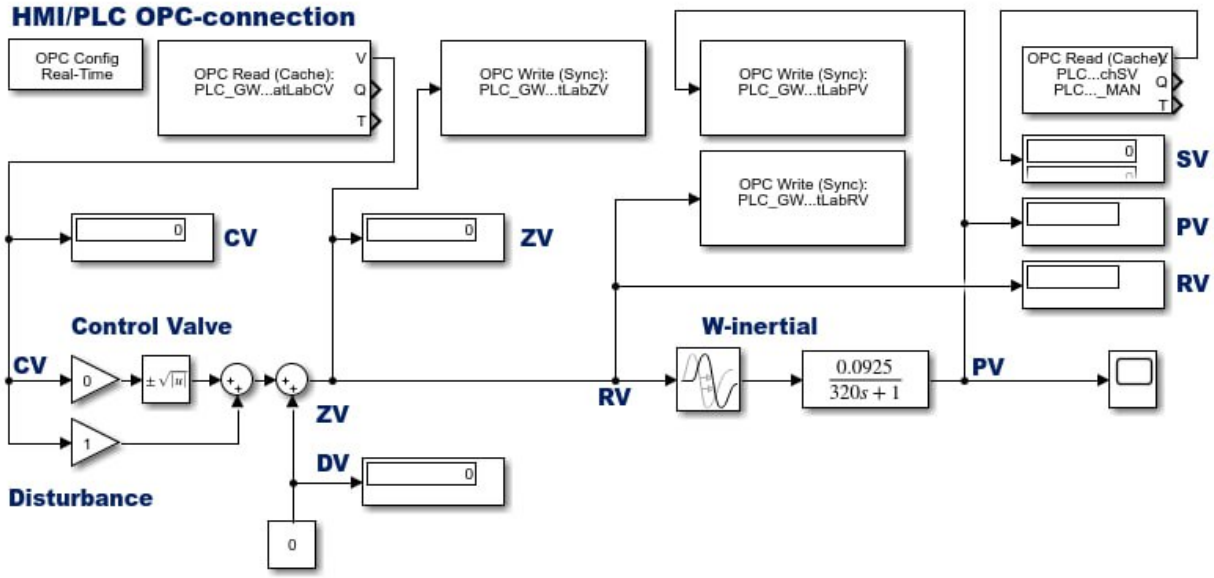


Рисунок 5.2 - Функціональна модель ОУ в СКМ Matlab Simulink

5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys

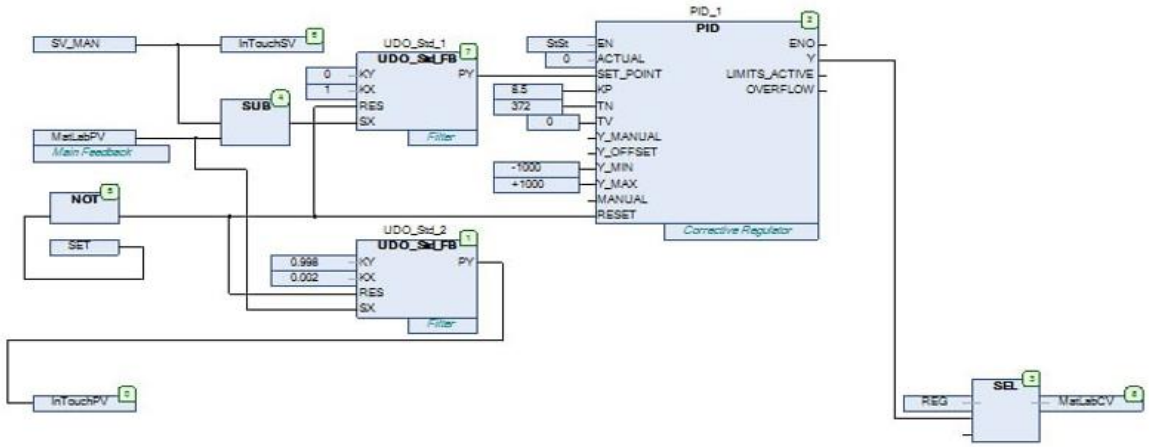


Рисунок 5.3 - Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys, для регулювання температури повітря в опалювальній зоні

5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standart функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio

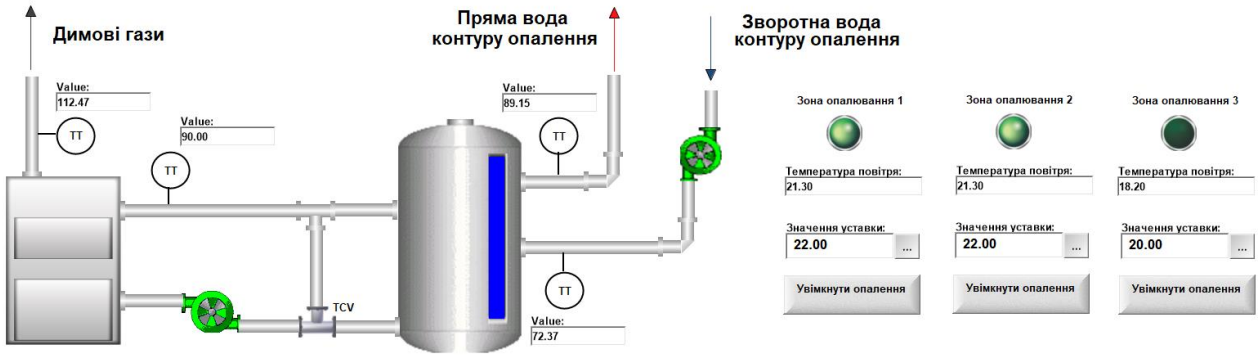
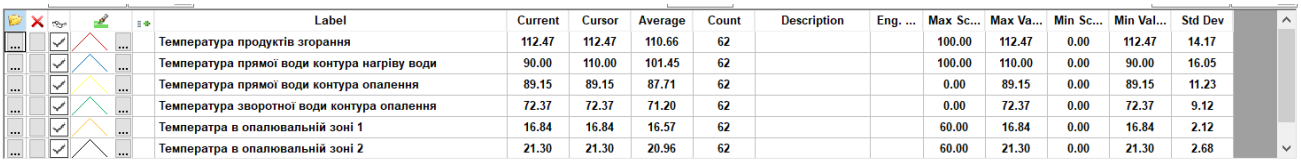
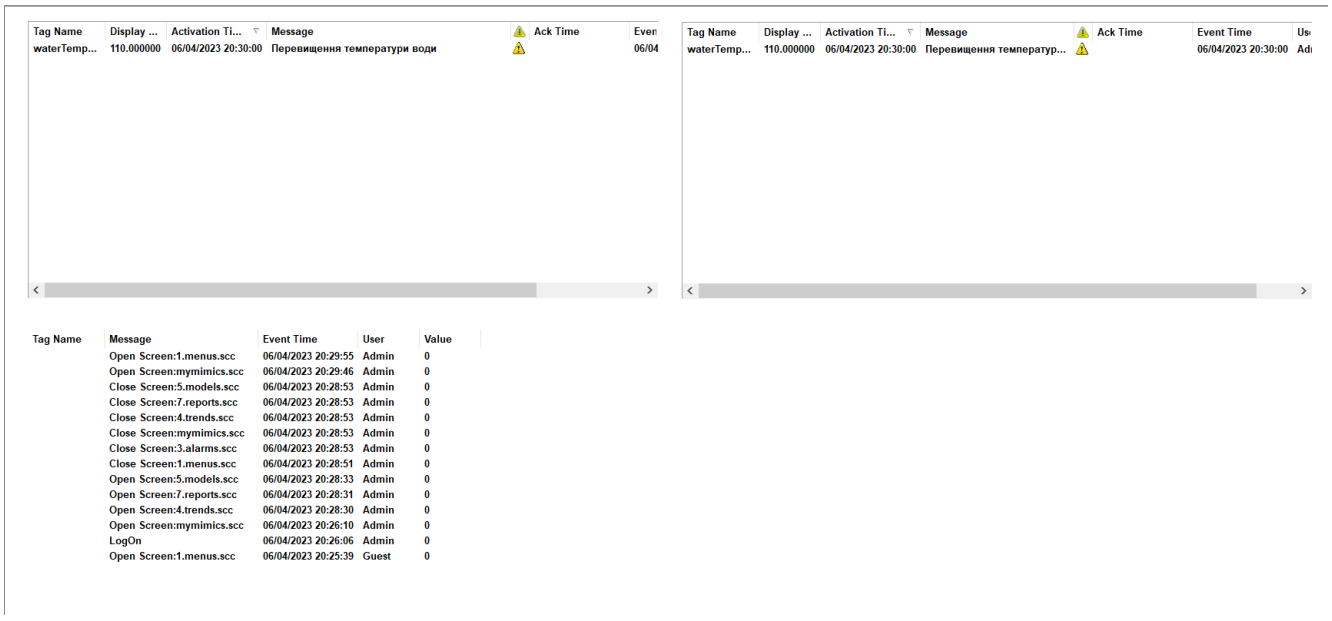


Рисунок 5.4 - Реалізація вікна “Mimics”, під функціональність спроектованої САР



Label	Current	Cursor	Average	Count	Description	Eng. ...	Max Sc...	Max Va...	Min Sc...	Min Val...	Std Dev
Температура продуктів згорання	112.47	112.47	110.66	62			100.00	112.47	0.00	112.47	14.17
Температура прямої води контура нагріву води	90.00	110.00	101.45	62			100.00	110.00	0.00	90.00	16.05
Температура прямої води контура опалення	89.15	89.15	87.71	62			0.00	89.15	0.00	89.15	11.23
Температура зворотної води контура опалення	72.37	72.37	71.20	62			0.00	72.37	0.00	72.37	9.12
Температра в опалювальній зоні 1	16.84	16.84	16.57	62			60.00	16.84	0.00	16.84	2.12
Температра в опалювальній зоні 2	21.30	21.30	20.96	62			60.00	21.30	0.00	21.30	2.68

Рисунок 5.5 - Реалізація вікна “Trends”, під функціональність спроектованої САР



Tag Name	Display ...	Activation Ti...	Message	Ack Time	Even
waterTemp...	110.000000	06/04/2023 20:30:00	Перевищення температури води		06/04

Tag Name	Display ...	Activation Ti...	Message	Ack Time	Event Time	Us
waterTemp...	110.000000	06/04/2023 20:30:00	Перевищення температур...		06/04/2023 20:30:00	Ad

Tag Name	Message	Event Time	User	Value
	Open Screen:1.menus.scc	06/04/2023 20:29:55	Admin	0
	Open Screen:mymimics.scc	06/04/2023 20:29:46	Admin	0
	Close Screen:5.models.scc	06/04/2023 20:28:53	Admin	0
	Close Screen:7.reports.scc	06/04/2023 20:28:53	Admin	0
	Close Screen:4.trends.scc	06/04/2023 20:28:53	Admin	0
	Close Screen:mymimics.scc	06/04/2023 20:28:53	Admin	0
	Close Screen:3.alarms.scc	06/04/2023 20:28:53	Admin	0
	Close Screen:1.menus.scc	06/04/2023 20:28:51	Admin	0
	Open Screen:5.models.scc	06/04/2023 20:28:33	Admin	0
	Open Screen:7.reports.scc	06/04/2023 20:28:31	Admin	0
	Open Screen:4.trends.scc	06/04/2023 20:28:30	Admin	0
	Open Screen:mymimics.scc	06/04/2023 20:26:10	Admin	0
	LogOn	06/04/2023 20:26:06	Admin	0
	Open Screen:1.menus.scc	06/04/2023 20:25:39	Guest	0

Рисунок 5.6 - Реалізація вікна “Alarms”, під функціональність спроектованої САР

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

Рисунок 5.7 - Реалізація вікна “Schedules”, під функціональність проектованої САР

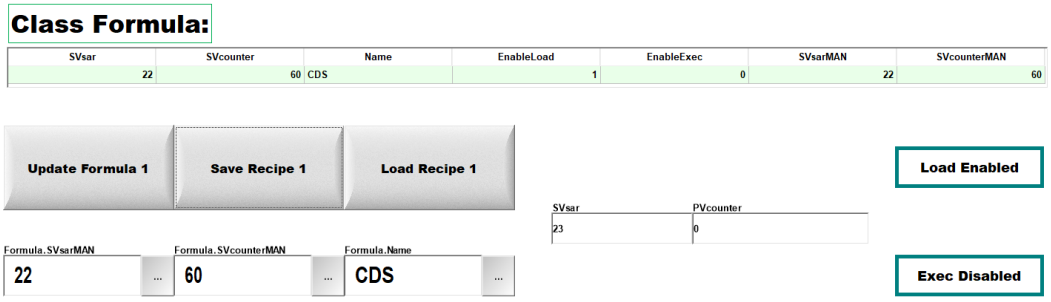


Рисунок 5.8 - Реалізація вікна “Recipes”, під функціональність проектованої САР

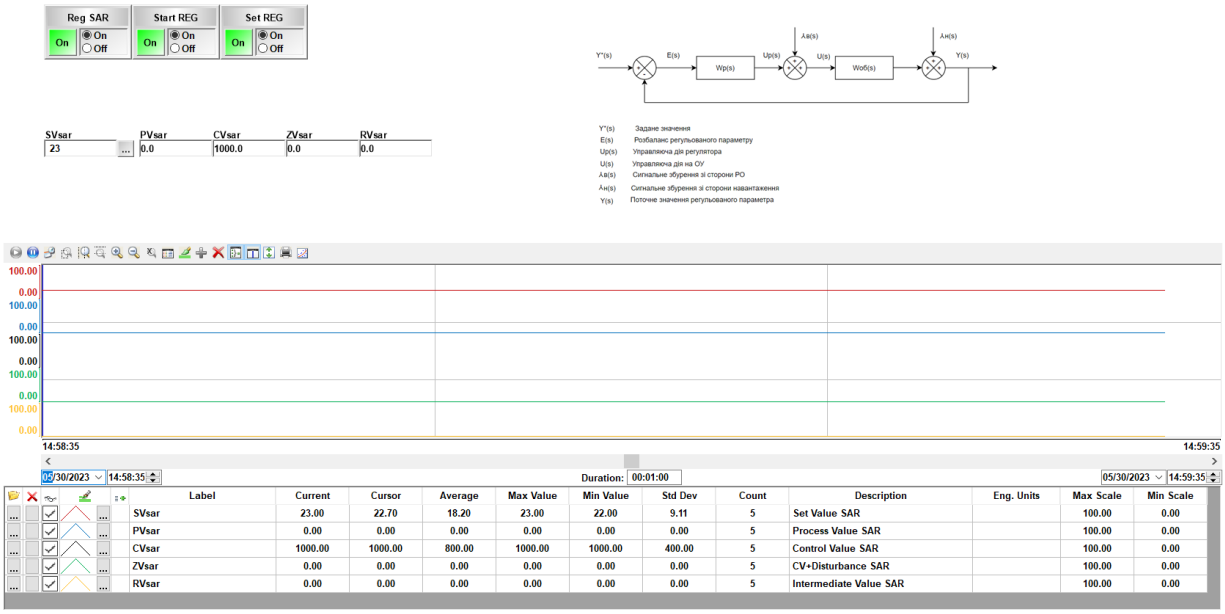


Рисунок 5.9 - Реалізація вікна “Models”, під функціональність проектованої САР

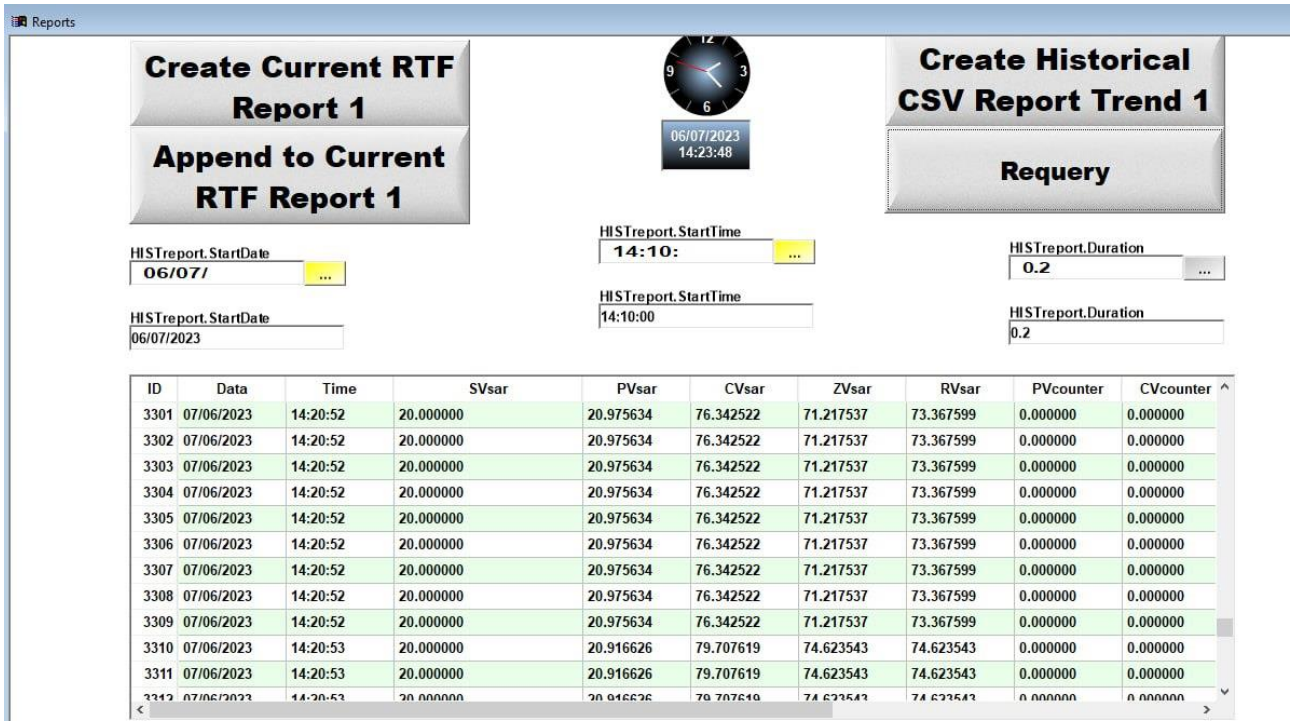


Рисунок 5.10 - Реалізація вікна “Reports”, під функціональність проектованої САР

5.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

За допомогою Matlab Simulink змоделюємо роботу системи задавши уставку температури в опалювальній зоні 22 °С. Під час модуляції можна відслідковувати зміну технологічного параметру за допомогою елемента Scope. Дочекавшись доки система вийде на задане значення, можна отримати наступну розгінну характеристику:

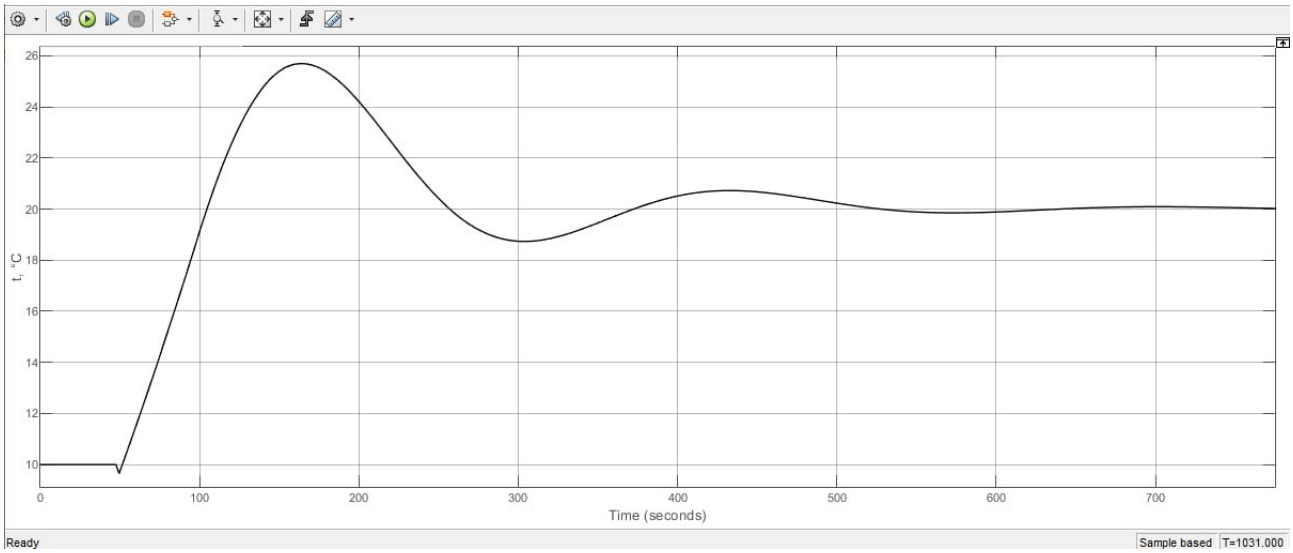


Рисунок 5.11 - Розгіна характеристика змодельованої САР

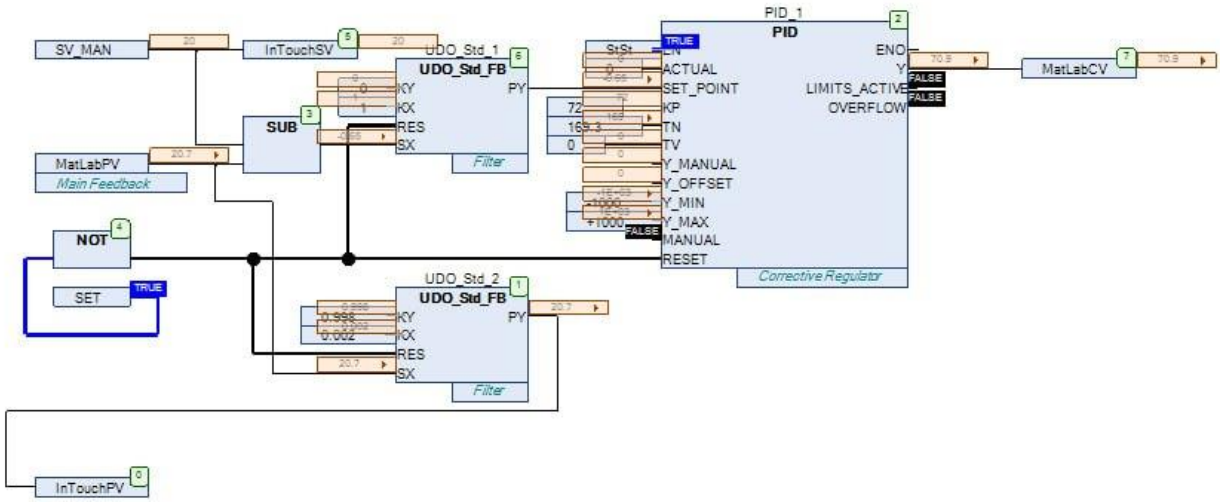


Рисунок 5.12 - Змодельована САР в софтПЛК CoDeSys

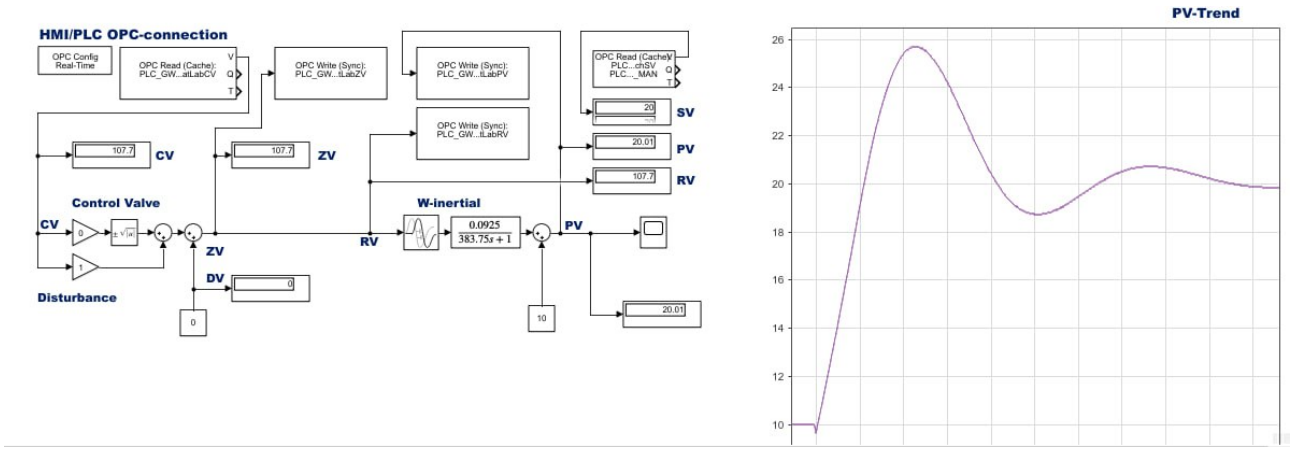


Рисунок 5.13 - Змодельована САР в середовищі Matlab Simulink

Для регулювання значення технологічної змінної, використовується програма, розроблена у середовищі CoDeSys. Ця програма використовує ПІД закон регулювання для керування клапаном, який регулює подачу гарячого теплоносія. У програмі, реалізовані алгоритми, які використовують ПІД-регулятор для контролю технологічного параметру. Цей регулятор враховує різницю між заданим значенням (уставкою) і фактичним значенням. Використовуючи парамтери налаштування регулятора, розраховує оптимальну величину сигналу керування для клапана, щоб підтримувати технологічну змінну на заданому рівні.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці відіграє значну роль як соціальний чинник на політичному та економічному рівнях суспільства. Професійні захворювання та нещасні випадки на виробництві призводять до значних матеріальних збитків, втрати робочої сили та зниження продуктивності праці.

Все це що потребує запровадження в будь-якій організації високоефективної системи управління в сфері охорони праці (СУОП), а також вимагає розробки відповідних заходів щодо забезпечення максимально можливого рівня безпеки на робочих місцях.

Діючі вимоги з охорони праці забезпечуються чинною системою правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних та захисних заходів та засобів, які гарантують збереження життя, здоров'я і працездатності людини під час виконання нею трудової діяльності.

Права та обов’язки працівників в сфері охорони здоров’я та безпеки праці гарантуються конституцією України тв. існуючою нормативно-правовою базою у цій сфері, і в першу чергу законом України «Про охорону праці» [1], який регламентує трудові відносини між власниками і робітниками.

Виконання будь-яких робіт, що пов’язані з підвищеними рівнями ризиків, повинні суворо регламентуватися відповідно до існуючої в сфері охорони праці нормативно-правової бази.

Твердопаливний котел, який розглядається у даному дипломному проекті і відноситься до технологічного обладнання підвищеного рівня небезпеки, є опалювальним пристроєм, який використовує тверді палива, такі як дрова, вугілля або пелети, для створення тепла. Дані котли мають специфічні складові елементи, такі як спалювальна камера, топкова решітка, система подачі повітря і система відведення димових газів, ці елементи повинні бути правильно

виготовлені та змонтовані, забезпечуючи необхідний рівень безпеки під час експлуатації котла.

Умови експлуатації твердопаливного котла також впливають на стан охорони праці, тому важливо дотримуватись правил зберігання та розміщення палива, забезпечувати належну вентиляцію приміщення, знати процедури розпалу та гасіння котла, а також регулярно обслуговувати його для попередження можливих небезпек. Параметри котла, такі як його потужність, температура та тиск, також важливі для забезпечення безпеки, так як необхідно враховувати ці параметри при проектуванні та використанні котла, а також дотримуватись рекомендацій виробника щодо максимально безпечних значень.

Електробезпека є ключовим аспектом безпеки при використанні твердотопливних котлів. Для забезпечення електробезпеки необхідно дотримуватися кількох основних принципів. Перш за все, всі електричні компоненти котла повинні бути належно ізольовані та заземлені, щоб уникнути ризику електричного удару. Котел також має бути правильно підключений до електричної мережі з використанням відповідного обладнання. Ремонтні роботи та обслуговування електричних компонентів повинні проводитися фахівцями, а перед початком робіт необхідно вимкнути електроенергію. Додатково, котел повинен мати захисні системи, що запобігають перегріву та перевантаженню, а також належну вентиляцію для розсіювання надлишкового тепла. Необхідно також уникати проникнення води до електричних компонентів. Дотримання цих принципів допоможе забезпечити безпечну та ефективну роботу твердопаливного котла.

Враховуючи всі ці фактори, охорона праці повинна забезпечити безпечне та ефективне використання твердопаливного котла. Це включає розробку правильних процедур безпеки, навчання персоналу, застосування необхідного захисного обладнання та регулярне технічне обслуговування для забезпечення найвищого рівня безпеки працівників, які працюють з цим обладнанням.

В даному розділі дипломного проекту запропоновані необхідні технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та котлового обладнання, а також визначені основні заходи з пожежної безпеки та профілактики.

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та котлового обладнання

Твердопаливні котли використовуються для виробництва тепла шляхом згоряння твердого палива, такого як дрова або вугілля. Для забезпечення безпеки їх експлуатації необхідно вживати відповідні технічні рішення та організаційні заходи.

Важливо щоб котел був виготовлений з високоякісних матеріалів, які витримують високі температури та тиск. Камера для згоряння повинна бути добре провітрюваною для забезпечення ефективного згоряння палива та видалення продуктів горіння. Також необхідно мати систему або персонал для збору та видалення утвореної золи. Встановлення систем автоматичного контролю та безпеки, які автоматично вимикають котел у разі перевищення температури або тиску, також є важливим кроком. Корпус котла повинен бути гарно ізольованим для зменшення втрат тепла та ризику опіків.

Щодо організаційних заходів, персонал, що працює з котлом, повинен пройти спеціальне навчання з безпеки експлуатації. Регулярне технічне обслуговування та ремонт котла необхідні для попередження можливих несправностей. Також бажано мати наявність відповідних засобів пожежогасіння біля місця розташування котла. Встановлення безпечного периметру навколо котла є ще одним важливим заходом для уникнення нещасних випадків з персоналом та відвідувачами.

Передбачені проектом засоби автоматизації та силове електротехнічне устаткування котлового обладнання повинні експлуатуватися відповідно до

паспортних даних, які визначають номінальні значення струмів і напруг живлення.

Для живлення засобів автоматизації, а також окремих складових котлового обладнання використовується трифазна електромережа з заземленою нейтраллю, з робочою напругою 220/380 В та частотою 50 Гц. Застосована система захисного заземлення TN (підсистеми TN-C та TN-S).

Застосована система захисного заземлення типу TN (підсистеми TN-C та TN-S) виключає можливість ураження персоналу електричним струмом при пробої на корпус ЕУ однієї з фаз електромережі, що забезпечується завдяки швидкому вимиканню ділянки електромережі, на якій виникло замикання фази на корпус ЕУ, за рахунок використання пристроїв максимального струмового захисту.

Для виконання діючих вимог з електробезпеки, все технологічне котлове електроустаткування згідно з ДСТУ IEC 61140:2015 має I клас за електрозахистом, а засоби автоматизації (блоки живлення, контролери, екранні пристрої, давачі тощо) системи управління мають відповідно I, II та III класи.

ЕУ повинні мати затискач заземлювальний та знак заземлення, що відповідають вимогам. Значення опору між заземлювальним затискачем та кожною доступною до дотику металевою не струмовідною частиною ЕУ, яка може опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції, не повинно перевищувати 0,1 Ом.

Для захисту людей від помилкових дій та випадкового дотику до струмовідних частин ЕУ при їх монтажі, обслуговуванні та експлуатації застосовані розподільні щити в металевих шафах в закритому виді, клемні колодки мають бути захищеними спеціальними щитками, електрокабелі з різнокольоровою ізоляцією провідників та відповідне кольорове маркування комутаційних елементів БЩУ, таблички та написи з позначенням робочих напруг, попереджувальні знаки.

Згідно ДСТУ 7237:2011 для забезпечення захисту від випадкового дотику людини до струмовідних частин ЕУ застосовують такі види захисту:

- основне (робоче) ізолювання струмовідних частин (захисне ізолювання);
- додаткове, посилене, подвійне ізолювання струмовідних частин;
- захисні оболонки;
- захисні огорожі (тимчасові або стаціонарні);
- безпечне розташування струмовідних частин;
- ізолювання робочого місця;
- мала напруга;
- захисне вимкнення;
- попереджувальна сигналізація (звукова, світлова тощо);
- блокування;
- встановлення знаків безпеки;
- електрозахисні засоби; засоби індивідуального захисту.

Для запобігання ураженню електричним струмом під час дотику до металевих не струмовідних частин, які можуть бути під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, застосовують окремо або в поєднанні такі види захисту:

- захисне заземлення;
- автоматичне вимкнення живлення;
- зрівнювання потенціалів;
- застосування обладнання відповідного класу за електрозахистом;
- захисний електричний поділ кіл;
- ізолювальні (непровідні) приміщення, зони, майданчики;
- системи наднизької напруги (безпечної, захисної).

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

У приміщенні, де використовується твердопаливний котел, необхідно приділити увагу наступним аспектам для забезпечення гігієни праці та виробничої санітарії:

Технічні рішення:

1. Забезпечення ефективної системи витяжної вентиляції для видалення диму та газів, що утворюються під час згоряння.
2. Розгляд можливості шумоізоляції, якщо котел виробляє значний шум під час роботи.
3. Регулярне видалення золи з котла, що є важливим для збереження чистоти приміщення.
4. Встановлення автоматичних датчиків та систем контролю, що дозволяють відстежувати рівні шкідливих викидів та регулювати режим роботи котла.

Організаційні заходи:

1. Забезпечення регулярного прибирання приміщення працівниками з метою підтримки санітарних умов.
2. Оснащення працівників відповідним захисним одягом, таким як рукавиці, маски для обличчя та протипилові респіратори.
3. Надання працівникам регулярних інструкцій та навчань щодо правильного обслуговування котла та забезпечення гігієни праці.
4. Проведення періодичних медичних обстежень, які допоможуть виявити можливі проблеми зі здоров'ям, пов'язані з роботою з твердопаливним котлом.

6.2.1 Мікроклімат робочої зони

Таблиця 6.1 - Параметри мікроклімату відповідно до ДСН 3.3.6.042.-99[9]

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	t °C	W, %	V, м/с	t °C	W, %	V, м/с
Теплий	20-24	40-60	0.1	18-27	30-70	0.1
Холодний	18-24	30-50	0.1	16-27	25-70	0.1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату передбачено:

1. Контроль рівня вологості повітря шляхом використання вологопідтримуючих систем або зволожувачів, а також вентиляції для відведення зайвої вологи
2. Впровадженні заходи для зменшення та покращення циркуляції повітря. За допомогою вентиляторів.
3. Регулярний технічний огляд та обслуговування системи мікроклімату, включаючи очищення фільтрів, перевірку роботи обладнання та виявлення можливих проблем.
4. Навчання та інформування працівників про важливість дотримання параметрів мікроклімату та правильне використання доступного обладнання для забезпечення комфортних умов праці.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

В умовах роботи з твердопаливним котлом можливими забруднювачами повітря можуть бути: діоксид вуглецю (CO2) та пил, включаючи частинки золи

ГДК цих речовин відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 дорівнюють:

- Діоксид вуглецю (CO2) - 5000 мг/м³
- Пил - 6 мг/м³

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 проектом передбачені наступні рішення:

1. Забезпечення адекватної вентиляції. Необхідно забезпечити достатню обіг повітря, щоб діоксид вуглецю, моноксид вуглецю та інші гази не накопичувалися в робочій зоні.
2. Використання відповідних фільтрів, щоб зменшити вміст пилу та вуглеводнів у повітрі.
3. Регулярне технічне обслуговування та контроль котла, щоб забезпечити його безперебійну роботу та уникнути витоку діоксиду вуглецю.

Ці рішення спрямовані на забезпечення безпечних умов праці, запобігання накопиченню шкідливих газів та продуктів згоряння, а також на вчасне виявлення та усунення можливих проблем, які можуть призвести до виникнення пожежі. Правильна організація та технічне обслуговування системи забезпечення повітря робочої зони допоможуть знизити ризик пожежі та забезпечити безпеку працівників.

6.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення:

Розрахуємо коефіцієнт природного освітлення:

$$КПО = e = ЕвнЕзовн \cdot 100\ \% = 200150 = 1.3$$

Евн-внутрішня природна освітленість у приміщенні, яка вимірюється

в місці, що розглядається, лк;

Езовн - зовнішня природна освітленість дифузним світлом

Визначимо нормативне значення КПО для даного робочого приміщення:

$e_{нр}=e_н \cdot m=500 \cdot 0.8=400$

Для забезпечення нормативного значення КПО передбачено:

1. Встановлення вікон оптимального розміру, так як розмір вікон впливає на кількість природного світла, яке проникає в приміщення. Оптимальні розміри вікон можуть бути визначені на підставі нормативних вимог.
2. При плануванні розміщення робочих місць було враховане природне освітлення і уникненні блоки доступу до світла.
3. Встановлення світлорозсіювачах пристроїв, таких як рефлектори або світлорозсіювальні панелі, сприяє розсіюванню світла і забезпечує більш рівномірне освітлення.

Штучне освітлення:

Визначимо абсолютну величину освітленості для зорових робіт середньої точності:

$Е_н=200$ люкс

Для забезпечення наведеного значення Ен в приміщенні передбачено:

1. Для досягнення освітленості в 200 люкс були обрані джерела світла, які мають достатню потужність для забезпечення даного нормованого значення освітленості.
2. Розрахована необхідна кількість світильників, виходячи з їхньої світлової потужності та характеристик приміщення.
3. Розташування світильників виконано таким чином, щоб розподілення світлового потоку було рівномірним по всій площині приміщення. Правильне розташування світильників може забезпечити рівномірне освітлення без зон з недостатньою або зайвою освітленістю.

6.2.4 Виробничий шум

Таблиця 6.2 - Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму згідно з [10]

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньогеометричними значеннями (Гц)									Допустимий рівень звуку (дБА)
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Основні виробничі приміщення	96	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Приміщення щитових, кабін керування, спостереження тощо	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Джерелами шуму в умовах, що розглядаються в проекті (роботі) є: твердопаливний котел, циркуляційні насоси, тепловентилятори.

Очікувані рівні звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел дорівнюють:

1. Твердопаливних котел – від 50 до 70 дБА
2. Тепловентилятори - від 40 до 60 дБА
3. Циркуляційні насоси – 20 дБА

Для покращення шумового клімату в робочих приміщеннях і забезпечення допустимих параметрів виробничого шуму, проект може включати такі заходи:

1. Використання додаткових технічних рішень для зменшення шуму на самому джерелі, застосування акустичних панелей та звукоізоляційних матеріалів навколо машин і обладнання.
2. Проведення регулярних перевірок та обслуговування обладнання, яке може бути джерелом шуму, щоб виявляти і усувати можливі проблеми з шумом.
3. Розташування робочих місць та обладнання з урахуванням шумового фактора, мінімізація взаємодії між джерелами шуму та співробітниками.
4. Навчання працівників про можливі наслідки шуму, розуміння правильного використання

6.2.5 Виробничі вібрації

Джерелами вібрації в умовах котельні з твердопаливним котлом та системи опалення з тепловентиляторами можуть бути наступні фактори: твердопаливний котел, тепловентилятори.

Можливі параметри вібрацій, виходячи із вібраційних характеристик (ВХ) відповідного технологічного обладнання, знаходяться в межах:

Твердопаливний котел:

1. Горизонтальна вібрація: до 2.5 мм/с при частоті 10-100 Гц.
2. Вертикальна вібрація: до 4.5 мм/с при частоті 10-100 Гц.
3. Осьова вібрація: до 5 мм/с при частоті 10-100 Гц.

Тепловентилятори:

1. Горизонтальна вібрація: до 1.5 мм/с при частоті 10-100 Гц.
2. Вертикальна вібрація: до 2.5 мм/с при частоті 10-100 Гц.
3. Осьова вібрація: до 3 мм/с при частоті 10-100 Гц.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом можуть бути передбачені такі заходи:

1. Вибір якісного та добре збалансованого обладнання.
2. Правильний монтаж обладнання .
3. Регулярне обслуговування та підтримка.
4. Використання амортизаційних матеріалів. Встановлення амортизаційних матеріалів або віброізоляційних подушок під обладнанням може допомогти зменшити передачу вібрацій на будівлю та оточуючі конструкції. Це може бути особливо корисно при встановленні на роздільній амортизуючій підставці.

6.3 Пожежна безпека та профілактика

Потенційні ризики виникнення пожежі на об'єкті з твердопаливним котлом можуть бути обумовлені наступними факторами:

1. Помилки в роботі або неналежне використання котельного обладнання, які можуть спровокувати перегрів, коротке замикання та інші технічні збої.
2. Відсутність адекватної вентиляції, що може спричинити накопичення небезпечних газів та продуктів згоряння.
3. Неправильна електропроводка або дефекти електричних компонентів, таких як пошкоджені кабелі, що можуть викликати коротке замикання та, як наслідок, пожежу.
4. Недотримання правил пожежної безпеки, включаючи зберігання вогненебезпечних матеріалів біля котла або перешкоди доступу до протипожежних засобів, що можуть сприяти розповсюдженню вогню.

6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для системи запобігання пожежі можуть бути застосовані наступні технічні рішення:

1. Встановлення згідно вимог ДБН В.2.5-56-2014 автоматичних систем пожежної сигналізації із датчиками, які реагують на зміну температури або наявність диму і повинні бути розташовані на стелі або стінах на відповідній висоті.
2. Використання матеріалів високої термічної стійкості у системі опалення.
3. Застосування захисних пристроїв, які автоматично відключають систему опалення у разі небезпечної температури.
4. Регулярна перевірка та обслуговування системи опалення з метою виявлення та усунення можливих проблем.
5. Встановлення системи вентиляції для забезпечення адекватного видалення тепла та запобігання його накопиченню.
6. Забезпечення електричної безпеки шляхом належної ізоляції та захисту всіх електричних пристроїв та кабелів згідно з вимогами безпеки.

6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Щоб запобігти пожежі в приміщенні де використовується твердопаливний котел, рекомендується:

1. Вибір, обслуговування та використання вогнегасників у відповідності до вимог ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-2007, що забезпечує ефективну та швидку реакцію у разі виникнення пожежі.
2. Установити детектори диму та тепла на місцях, де може виникнути дим або збільшитися температура, щоб отримувати попередження про пожежу заздалегідь.
3. Використовувати згідно вимог ДБН В.2.5-56-2014 автоматичні системи пожежогасіння, які можуть бути встановлені над котлом та баком-акумулятором, щоб автоматично припинити розповсюдження пожежі.

4. Застосовувати теплову ізоляцію, особливо для твердопаливних котлів, щоб зменшити ризик загоряння внаслідок високої температури.
5. Забезпечити захисний стан електрообладнання в робочій зоні, щоб уникнути контакту з вогнем або перегріванням.
6. Встановити системи вентиляції, що забезпечить ефективне видалення надлишкового тепла від системи опалення і знизить ризик перегріву та пожежі.
7. Встановити аварійну систему димовидалення на випадок виникнення пожежі.
8. Регулярно проводити сервісні огляди та обслуговування систем опалення, щоб виявляти та усувати можливі проблеми, які можуть спричинити пожежу.
9. Навчати персонал правильному використанню обладнання та навичкам дій у разі пожежі, зокрема використанню первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників тощо).
10. Застосовувати додаткові пожежозахисні бар'єри та двері, щоб запобігти поширенню вогню на інші частини будівлі у разі пожежі

РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНОК

Враховуючи особливості об’єкту автоматизації, задамося допустимим терміном окупності $T^*_{ок} = 5$ років.

Для визначення капітальної вартості заповнимо таблицю:

Таблиця 7.1 - Таблиця вартості обладнання на створення АСК

№ п/п	Назва обладнання	Одиниці виміру	Кіль.	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
1	Термопертворювач опору TE/S2	шт	3	399	1197
2	Термопертворювач опору TCM-304	шт	3	511	1533
3	Занурювальний термостат для води SD348	шт	2	363	726
4	Група безпеки	шт	1	3800	3800
5	Циркуляційний насос контуру нагріву води Comfort	шт	1	5109	5109
6	Циркуляційний насос контуру опалення ALPHA2 L N	шт	1	16102	16102
7	Сервопривід Belimo LR24A-SR	шт	3	3500	10500
8	Водяні тепловентелятори Volcano VR1	шт	3	16000	48000
9	Малогабаритний контактор КМИ-10910	шт	2	437	874
10	Графічний термінал для M221	шт	1	4739	4739,04
11	Теплове реле VJ Parts 2 A	шт	2	5	10
12	ПЛК M221 16 BX/BИХ РЕЛЕ 1RS485	шт	1	8588	8588
13	Модуль аналового вводу Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC	шт	1	9000	9000
14	Модуль аналового виводу Modicon TM3, 4 outputs (screw) 24 VDC	шт	2	7580	15160
15	Резистор 0.25 Вт 1 кОм	шт	2	10	20
16	Блок живлення модульний Schneider Electric 24В 1,2А	шт	1	2042	2042
17	Блок живлення модульний Schneider Electric 24В 2,5А	шт	1	2642	2642
18	Автоматичний вимикач Schneider Electric 16А	шт	4	125	500
19	Автоматичний вимикач Schneider Electric 25А	шт	1	405	405
20	Світлодіодний індикатор жовтий 24В AC/DC IEK (BLS10-ADDS-024-K0	шт	2	66	132
21	Світлодіодний індикатор зелений 24В AC/DC IEK (BLS10-ADDS-110-K(	шт	3	66	198
22	Щит ЩШМ 700x500x200	шт	1	3923	3923
23	ПВХ короб 25x16	шт	10	72	722
24	DIN-рейка	шт	2	16	32
25	Кабель силовий ВВГнгдп 3x1.5	м	5	24	117,7
26	Кабель контрольний ШВВП 2x0.5	м	30	8	237,6
27	Кабель контрольний ПВС 3x0.75	м	15	18	270
28	Кабель контрольний ПВС 4x0.75	м	8	25	200
29	Провід контрольний ПВ-3 0.5	м	3	4	12
30	Провід контрольний ПВ-1 1	м	2	7	14
31	Провід силовий ПВ-1 1.5	м	1	9	9
32	Гофротруба d16 мм	м	60	4	228
33	Маркування провідників	шт	150	1	150
				Загальна вартість:	**137192**

Визначимо капітальну вартість впровадження АСК $\Delta К_{авт}$. Для цього розрахуємо:

1. Загальну вартість складових АСК $В_{об}$, тис. грн, як суму вартості всіх комплектуючих системи автоматизації, які наведені у таблиці №.
2. Вартість на проектування, розробку алгоритмів управління та програмування системи верхнього рівня $В_{пр}$, тис. грн.
3. Витрати на пакування та транспортування $В_{т}$, тис. грн.
4. Витрати на монтаж складових систем $В_{м}$, тис. грн.
5. Витрати на виконання пусконалагоджувальних робіт $В_{пн}$, тис. грн

$$\Delta К_{авт} = В_{об} + В_{пр} + В_{т} + В_{м} + В_{пн}$$

Загальна вартість складових АСК:

$$В_{об} = 137192$$

Вартість на проектування:

$$В_{пр} = В_{об} \cdot 5\% = 137192 \cdot 0.05 = 6859$$

Витрати на пакування та транспортування

$$В_{т} = В_{об} \cdot 3\% = 137192 \cdot 0.03 = 4115$$

Витрати на монтаж складових систем:

$$В_{м} = В_{об} \cdot 20\% = 137192 \cdot 0.2 = 27438$$

Витрати на виконання пусконалагоджувальних робіт:

$$В_{пн} = В_{об} \cdot 10\% = 137192 \cdot 0.1 = 13719.2$$

$$\Delta К_{авт} = 137192 + 6859 + 4115 + 27438 + 13719.2 = 189323$$

Визначимо додаткові витрати на обслуговування системи $\Delta B_{авт}$, для цього розрахуємо:

1. Додаткові витрати на електроенергію B_e, тис.грн/рік
2. Витрати на реновацію B_a, тис.грн/рік
3. Витрати на поточний ремонт і обслуговування системи B_p, тис.грн/рік за формулою
4. Додаткові витрати на зарплату експлуатаційного персоналу $B_з$, тис. грн/рік.

$$\Delta B_{авт} = B_e + B_a + B_p + B_з$$

Для визначення витрат на електроенергію, визначимо потужність засобів автоматизації:

Таблиця 7.2. Потужність засобів автоматизації

№ п/п	Назва обладнання	Кіль, шт	Потужність одиниці, Вт	Загальна потужність, Вт
1	Занурювальний термостат для води SD348	2	2	4
2	Циркуляційний насос контуру нагріву води Comfort	1	45	45
3	Циркуляційний насос контуру опалення ALPHA2 L N	1	45	45
4	Сервопривід Belimo LR24A-SR	2	1,5	3
5	Водяні тепловентелятори Volcano VR1	2	280	560
6	Малогабаритний контактор КМИ-10910	2	2	4
7	Графічний термінал для M221	1	1	1
8	ПЛК M221 16 ВХ/ВИХ РЕЛЕ 1RS485	1	46	46
9	Модуль аналового вводу Modicon TM3, 8 inputs (spring) 24 VDC	1	8	8
10	Модуль аналового виводу Modicon TM3, 4 outputs (screw) 24 VDC	2	4	8
11	Блок живлення модульний Schneider Electric 24В 1,2А	1	28	28
12	Блок живлення модульний Schneider Electric 24В 2,5А	1	60	60
13	Світлодіодний індикатор жовтий 24В AC/DC IEK (BLS10-ADDS-024-K05)	2	0,5	1
14	Світлодіодний індикатор зелений 24В AC/DC IEK (BLS10-ADDS-110-K06)	3	0,5	1,5
15	Запас потужності для розширення системи		500	700
			Загальна споживана потужність:	1500

Додаткові витрати на електроенергію:

$$B_e = C_e \cdot N \cdot T = 5.5 \cdot 1.5 \cdot 3650 = 30112$$

C_e – тариф на електроенергію, тис. грн/кВт · грн

N – потужність засобів автоматизації, кВт

T – час роботи обладнання за рік, год

Витарати на реновацію:

$$В_а = \Delta К_{авт} \cdot 0.2 = 189323 \cdot 0.2 = 37864.6$$

Витрати на поточний ремонт:

$$В_р = \Delta К_{авт} \cdot 0.5 = 189323 \cdot 0.5 = 94661.2$$

Додаткові витрати на зарплату персоналу:

$$В_з = В_{зп} \cdot T \cdot N = 15000 \cdot 5 \cdot 2 = 150000$$

$В_{зп}$- заробітна плата працівникам в місяць, тис.грн

Т – час роботи АСР за рік

N – кількість працівників, чол

$$\Delta В_{авт} = 30112 + 37864.6 + 94661.2 + 150000 = 312637$$

Задамося величиною $Е_к = 375000$ грн

Розрахуємо економічну ефективність:

$$Е_ф = \Delta U - \Delta К_{авт} \cdot Е_н = 40000 - 189323 \cdot 0.15 = 11600$$

Де ΔU – економія експлуатаційних витрат від введення АСР у дію.

$$\Delta U = Е_к - \Delta В_{авт} = 375000 - 312637 = 62363$$

$Е_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень

Розрахуємо термін окупності:

$$Т_{ок} = \frac{\Delta К_{авт}}{\Delta U} = \frac{189323}{62363} = 3 \text{ р}$$

Так як $Т_{ок} > T^*_{ок}$, можна зробити висновок, що система є економічно вигідною

ВИСНОВКИ

Дослідження, проведене в рамках даної роботи, підтвердило, що використання зонального опалення з тепловентиляторами є ефективним і комфортним рішенням для виробничих приміщень.

Аналіз роботи системи опалення та визначення оптимальних параметрів регулятора підтвердив, що розроблена система забезпечує ефективне і рівномірне розподілення тепла по зонам приміщення. Це дозволяє досягти оптимального температурного режиму в кожній зоні, забезпечуючи комфортні умови праці.

Техніко-економічний аналіз підтвердив економічну доцільність використання автоматизованої системи опалення. За розрахунками, система повністю окупиться протягом 3 років, що робить її вигідним вибором для виробничих підприємств. Крім того, зменшення витрат на опалення та підвищення енергоефективності сприяють поліпшенню економічних показників та стимулюють ефективність виробництва.

Отже, розроблена автоматизована система керування опаленням виробничих приміщень з використанням тепловентиляторів є перспективним рішенням, яке забезпечує ефективне, комфортне і економічно вигідне опалення. Вона покращує умови праці і сприяє підвищенню ефективності виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kenneth E. Heselton P.E. Boiler Operator`s Handbook, 2005.
2. Siegenthaler J. Modern hydronic heating for residential and light commercial buildings, 2011 .
3. Закон України «Про охорону праці», с. 668.
4. ДСТУ ISO 9241-6-2004_Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 6. Вимоги до робочого середовища.
5. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».
6. ДСТУ CEN/TS 54-14:2021 «Системи пожежної сигналізації та оповіщення».
7. НПАОП 40.1-1.21-98 «ПРАВИЛА БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК СПОЖИВАЧІВ.
8. НПАОП 40.1-1.01-97 «ПРАВИЛА БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК».
9. Технічний регламент знаків безпеки і захисту здоров’я працівників (постанова Каб. Міністрів України №1262 від 25.11.2009 р.).
10. ДБН В.2.5 – 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».
11. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
12. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
13. Твердопаливні котли. Види, типи, паливо. URL: https://romstal.ua/uk/info/351-tverdotoplivnye-kotly (дата звернення: 20.04.2023).
14. Паспорт твердопаливного котла Kraft серії L. URL: https://www.kraft.co.ua/kraft_l.html (дата звернення: 20.04.2023).
15. Паспорт до сервопривода Belimo LR24A-SR. URL: http://belimo.com.ua/shop/zaporno-reguliruyushhaya-armatura-s-

elektroprivodami/privody-dlya-zapornoj-armatury/privody-sharovyx-klapanov/belimo-lr24a-sr-3/ (дата звернення: 21.05.2023).

16. Паспорт до тепловентилятора Volcano. URL: http://www.volcano.com.ua/pdf/volcano-controllers.pdf (дата звернення: 21.05.2023).