

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет	<i>Навчально-науковий технологічний інститут</i>
Кафедра	<i>Електричної інженерії та автоматизації</i>
Спеціальність	<i>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</i>
Форма навчання	<i>денна</i>

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Нікішин Антон Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему *«Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система регулювання температури у зоні первинного нагріву методичної печі»»*

(повна назва теми)

за матеріалами

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

PhD

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Соломенко А.Г.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 20__ р. № _____

Завідувач кафедри

(підпис)

Наук. ступень, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Електричної інженерії і автоматизації

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Електричної інженерії і автоматизації

В.о. зав. каф.

Модло Є.О.

(підпис)

(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

«___»

2026__ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

Нікішин Антон Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система регулювання температури у зоні первинного нагріву методичної печі

керівник кваліфікаційної роботи PhD Соломенко А.Г.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06»04.2026 р. № 239-ст

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: статті, патенти, промислові дослідження

Об'єкт розробки і дослідження – Автоматизована система регулювання температури у зоні первинного нагріву методичної печі

Характер навантаження – робота в тривалому безперервному режимі, що вимагає високої надійності та стабільності алгоритмів керування.

Тип системи автоматизації: трирівнева розподілена система керування (DCS/SCADA).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1 Аналітична частина;

4.2 Основна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1 Загальний вигляд

2 Схема САР

3 Функціональна схема

4 Схема зовнішніх проводок

5 Структурна схема

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Соломенко А.Г., PhD		
2 Основна частина	Соломенко А.Г., PhD		

7. Дата видачі завдання «06» ____ 04 _____ 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	29.04.2026	
2.	Основна частина	06.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	13.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	25.05.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	19.06.2026	

Студент

(підпис)

Нікішин А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Соломенко А.Г.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Нікішин А.О. «Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система регулювання температури у зоні первинного нагріву методичної печі» – Бакалаврська робота. – Кривий Ріг, 2026. 73 с., 22 рис., 4 табл., 18 джерел.

Об'єктом дослідження є автоматизована система регулювання температури у зоні первинного нагріву методичних печей.

Об'єкт дослідження підданий модернізації, спрямованої на покращення роботи автоматизованої системи та спрощення її обслуговування. Ця автоматизована система застосовується для регулювання температури у зонах нагріву заготовок металу.

Мета роботи - розробка автоматизованої системи у зоні первинного нагрівання методичних печей із застосуванням ПЛК на основі обраної SCADA-системи.

У даному проекті була розроблена система контролю та управління технологічним процесом на базі промислових контролерів Siemens SIMATIC S7-200, із застосуванням SCADA-системи In Touch. Розроблена система може використовуватися в системах контролю, керування та збору даних на різних промислових підприємствах. Дана система дозволить підвищити продуктивність, збільшити точність і надійність вимірювань, скоротить кількість аварій.

МЕТОДИЧНА ПІЧ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ПІД-РЕГУЛЯТОР, ЛОКАЛЬНИЙ ПРОГРАМОВАНИЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР, ПРОТОКОЛ, SCADA-СИСТЕМА, ЕЛЕКТРОННІ ДАТЧИКИ, ЕКРАННІ ФОРМИ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Опис технологічного процесу	11
1.2 Характеристика об'єкта	18
1.3 Вибір архітектури АС	23
1.4 Розробка структурної схеми АС	19
1.4 Призначення та основні цілі створення АСУ ТП	26
1.5 Вимоги до метрологічного забезпечення	26
1.6 Вимоги до програмного забезпечення	27
1.7 Вимоги до математичного забезпечення. Вимоги до автоматики.	
Вимоги до технічного забезпечення	28
1.8 Мета і задачі дослідження	29
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	31
2.1 Розробка структурної схеми АС	31
2.2 Функціональна схема автоматизації	32
2.3 Розробка схеми інформаційних потоків системи управління методичної печі	34
2.3.1 Вибір засобів системи управління методичної печі	38
2.3.2 Вибір контролерного обладнання АСУ методичної печі	38
2.3.3 Вибір датчиків	41
2.3.4 Закладні деталі та встановлення приладу	51
2.3.5 Нормування похибки каналу виміру	51
2.3.6 Вибір виконавчих механізмів	53
2.4 Розробка схеми зовнішніх проводок	55
2.5 Вибір алгоритмів керування АС методичної печі	56
2.6 Алгоритм збору даних вимірів	57
2.6.1 Алгоритм автоматичного регулювання технологічним параметром	57

2.7 Розробка програмного забезпечення для програмованих логічних контролерів	62
2.8 Екранні форми АС методичної печі	63
2.9 Заходи із охорони праці та безпеки при роботі методичної печі	65
2.9.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників	65
2.9.2 Організаційні заходи	67
2.9.3 Екологічна безпека	71
2.9.4 Пожежна безпека	72
ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76
ДОДАТКИ	77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МП – методична піч.

АС – автоматизована система.

ТЗ - технічне завдання на АС.

ТП - технологічний процес.

СУБД - система управління базами даних

Архітектура АС - архітектура автоматизованої системи.

SCADA - інструментальна програма для розробки програмного забезпечення систем управління технологічними процесами в реальному часі та збору даних.

АСУ ТП - автоматизована система керування технологічним процесом.

ТП - термоелектричні перетворювачі.

ВСТУП

Сучасний розвиток металургійної промисловості безпосередньо пов'язаний із підвищенням ефективності технологічних процесів, зниженням енерговитрат та забезпеченням стабільної якості готової продукції. Одним із ключових етапів виробництва металопрокату є термічна обробка заготовок у методичних печах, де здійснюється їх поетапний нагрів перед подальшою прокаткою. Від точності підтримання температурного режиму в окремих зонах печі залежить рівномірність прогріву металу, зменшення втрат металу на окалину, зниження витрат палива та підвищення ресурсу технологічного обладнання.

Особливе значення має зона первинного нагріву методичної печі, у якій формується початковий температурний стан заготовки та створюються умови для її подальшого рівномірного нагрівання. Недостатній або надмірний нагрів у цій зоні призводить до порушення технологічного циклу, виникнення внутрішніх напружень у металі, перевитрати енергоресурсів і зниження продуктивності агрегату. У зв'язку з цим забезпечення стабільного автоматизованого регулювання температури у зоні первинного нагріву є важливим технічним завданням.

Актуальність теми бакалаврської роботи зумовлена необхідністю модернізації існуючих систем керування тепловими процесами на промислових підприємствах. Значна частина обладнання методичних печей експлуатується тривалий час та оснащена морально застарілими засобами контролю і регулювання, що не забезпечують достатньої точності, швидкодії та адаптивності до змін технологічного навантаження. Використання сучасних мікропроцесорних регуляторів, програмованих логічних контролерів, цифрових датчиків температури та інтелектуальних алгоритмів керування дозволяє істотно покращити показники роботи печі, зменшити вплив людського фактора та підвищити надійність функціонування системи.

Температура у печі визначається інтенсивністю підведення та спалювання палива і в цьому сенсі вона є регульованим параметром. Однак температура печі може розглядатися і як регулюючий вплив по відношенню, наприклад, до температури металу або температури кладки.

Вузли регулювання забезпечують підтримку заданої температури в робочому просторі нагрівальних печей; вони стабілізують температуру в камері запалювання агломераційної машини та температуру дуття, що подається в доменну піч та ін.

Якісне регулювання температури в робочому просторі печі передбачає вибір представницької точки контролю, правильне встановлення датчика температури, правильний вибір типу регулятора та відповідне налаштування його, правильний вибір регулюючого органу.

Датчиками температури найчастіше є термопари чи пірометри, межі вимірів яких відповідають значенням контрольованих температур. Термопару або пірометр встановлюють у склепінні або стіні печі у спеціальній арматурі; пірометр візують на дно вогнетривкої склянки. Термопара або вогнетривка склянка пірометра, занурені в робочий простір печі, в результаті теплообміну з факелом, гарячими газами і нагрітими поверхнями кладки та металу набувають температуру, що відповідає деякій середній температурі в робочому просторі або в даній зоні робочого простору печі.

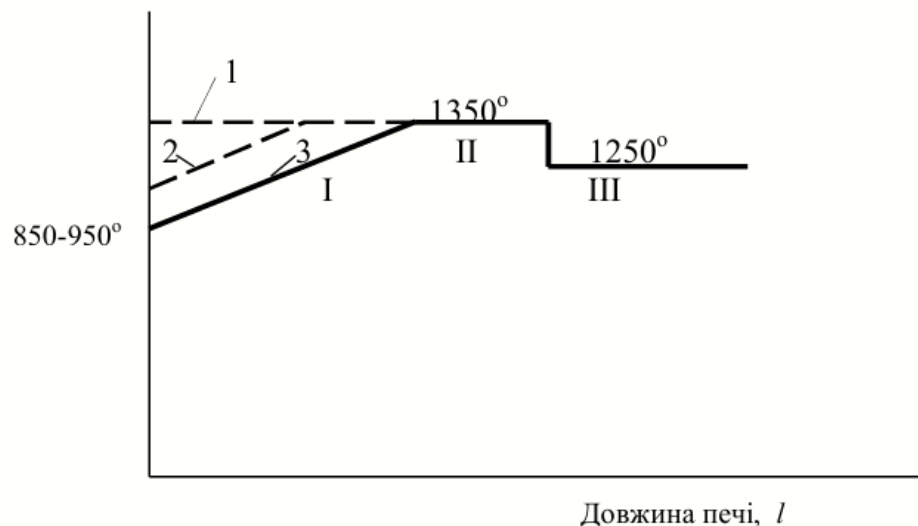
Тип виконавчого механізму залежить від типу обраного регулятора (електричний, пневматичний, гідравлічний) та виду регулюючого органу.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи у зоні первинного нагріву методичних печей ЛПЦ-1, її функціональної схеми автоматизації та її використання на базі необхідного контролерного обладнання та відповідного програмне забезпечення. Для розробки функціональної моделі та документації АСУ ТП використовуються сучасні програмні пакети, такі як VISIO та SCADA.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис технологічного процесу

Значна частка сталевого прокату (понад 80 %) проходить через стани гарячої обробки, де в умовах інтенсивного нагріву відбувається пластична зміна форми. Оптимальний термічний режим підбирається індивідуально: він залежить від рівня легування та товщини виробу, коливаючись у межах 1060–1350 °С. Для типових заготовок (0,45 % вуглецю) стандартом вважається температура 1200 °С (сортовий прокат), хоча для листової продукції допускаються межі 830-1250 °С. Під час нагрівання в металі виникають температури напруги, котрі не повинні досягати максимально припустимих. Цим обумовлене використання методичного температурного режиму печей (рис.1.1). Процеси, що проходять в методичній печі: в I (методичній зоні) – відбувається поступове нагрівання металу, в II-й (зварювальній зоні) – відбувається нагрівання металу до кінцевої температури нагріву; в III зоні (томильній зоні) – здійснюється вирівнювання температури по товщині металу.



I – камерний; II – проміжний; III – методичний 1 – температура в печі; 2 – температура в печі якщо садка гаряча; 3 – температура заготовки якщо садка гаряча

Рис.1.1. Температурний режим нагрівальних печей

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Для термічної підготовки металу перед обробкою на листових та сортових станах зазвичай використовують методичні полум'яні печі з різною кількістю зон (від двох до п'яти). Ключовою ознакою таких агрегатів є градієнт температур уздовж робочого простору та принцип протитоку: розігріті гази рухаються назустріч металу.

Конструктивні особливості та застосування:

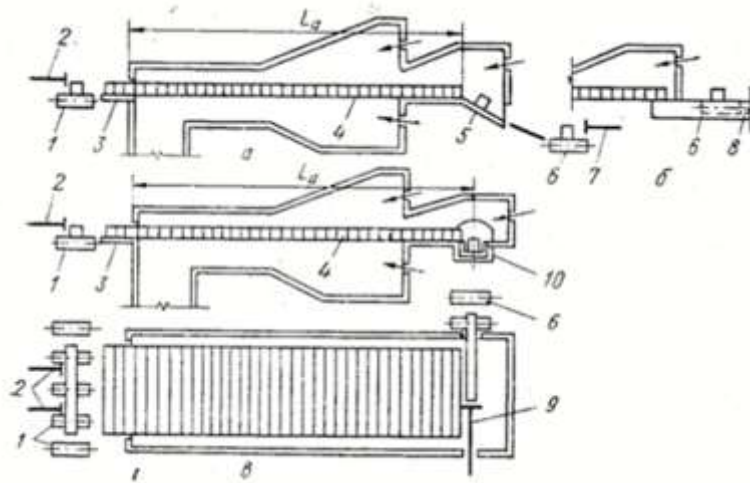
Двоступінні печі: Оптимальні для звичайних марок сталі. У зварювальній зоні високої температури тепло відхідних газів допомагає стабілізувати температуру по всьому об'єму деталі.

Багатозонні печі (4-5 зон): Призначаються для спеціальних сталей, чутливих до різких температурних перепадів. Тут методична зона виконує роль підготовчої фази, де поєднується тепло продуктів згоряння та робота індивідуальних пальників кожної ділянки.

Весь цикл переміщення заготовок повністю автоматизований. Мостові крани доставляють метал на решітки, звідки він потрапляє на вхідний рольганг. Спеціальні упори фіксують заготовку навпроти штовхачів. Механізм штовхання (один або пара агрегатів) переміщує весь масив металу всередині печі. Вивантаження відбувається за рахунок скочування нагрітого виробу по похилій площині на рольганг видачі, а для пом'якшення удару передбачено амортизаційний упор.

Згідно з рис. 1.2, транспортування й підготовка заготовок до нагрівання виконані механізованими. Мостові крани подають заготовки на приймальні решітки методичних печей, звідки їх переміщують на завантажувальний рольганг 1. Упори забезпечують зупинку виробу напроти штовхачів. Автоматизовано також завантаження в піч, пересування виробів під час нагріву та їх вивантаження. Штовхачем 2 заготовка з рольганга зсувається на стіл 3. Для немеханізованого пода печі зусилля штовхача (або двох) розраховують з урахуванням опору просування всієї партії заготовок. Вивантаження з печі відбувається за такими схемами: нагріті вироби 4 (рис. 1.2, а) одна за одною

скочуються по похилій площині 5 на видавальний рольганг 6. Щоб зменшити енергію падіння заготовки, передбачено пружинний упор 7.



1 – рольганг; 2 – штовхач; 3 - завантажувальний стіл; 4 - нагріті заготовки; 5 - похила площина; 6 - рольганг видачі; 7 - підпружинний упор; 8 - вихід заготовок з печі; 9 - рольганг (роликовий транспортер); 10 - поворотний або підйомний механізм

Рис. 1.2. Схеми транспортування заготовок у методичних печах

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Нагрівальні печі прокатного виробництва призначені для нагрівання злитків перед прокаткою на обтискних станах та заготовок (слябів та блюмов) – перед листовими та сортовими станами, такими печами зокрема є методичні печі. Методичні печі відносяться до категорії печей безперервної дії. Метал у послідовності свого руху проходить всі зони печі: методичну (зона попереднього нагрівання металу); зварювальну, (у ній здійснюється досить швидке нагрівання металу); та томільна (зона печі, в якій відбувається вирівнювання температури перерізу заготовок). Перевагою методичних нагрівальних печей є безперервний характер робіт та відносного стабільного завдяки цьому теплового режиму. Безперервний характер роботи методичних печей полегшує автоматичне регулювання теплового режиму. Загальний вигляд камерної печі з крокуючим подом представлено на рисунку 1.3, прохідної печі- на рисунку 1.4, методичної печі – на рисунку 1.5.



Рис. 1.3. Загальний вигляд печі з крокуючим подом

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]



Рис. 1.4. Загальний вигляд прохідної печі

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]



Рис. 1.5. Загальний вигляд методичної печі

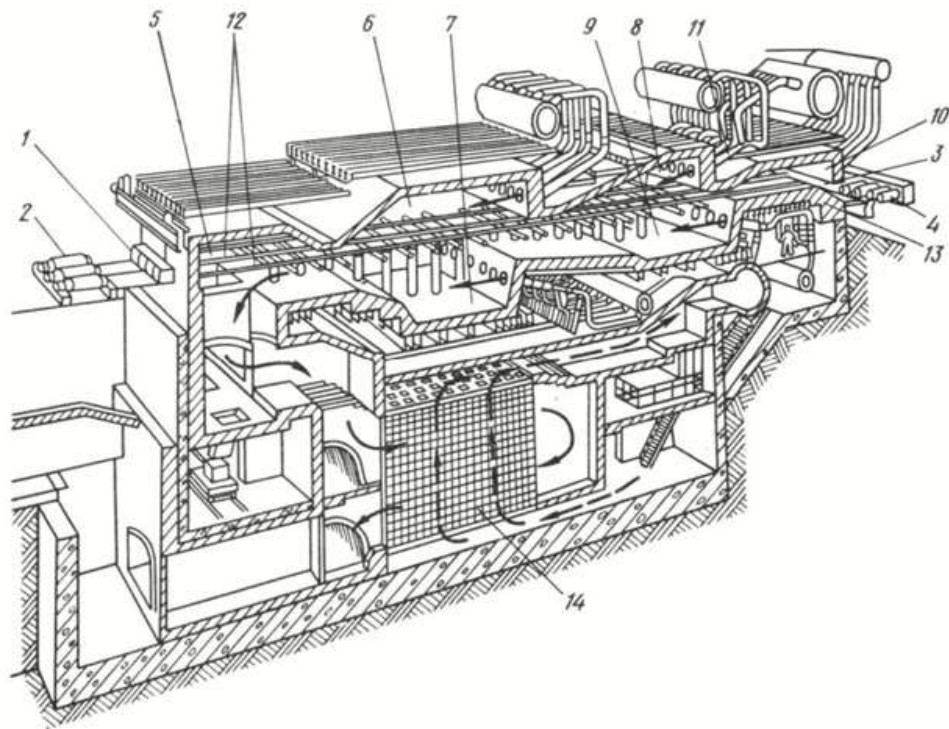
Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Методична піч ЛПЦ-1 призначена для рівномірного нагріву металевих заготовок до температури прокатки (1100-1250 °С). Після нагріву метал подається на стан гарячої прокатки.

Основні задачі печі: нагрів металу до заданої температури; забезпечення рівномірного прогріву по всьому перерізу; мінімізація окалиноутворення; економне використання газу або мазуту; синхронізація роботи з прокатним станом. У налагодженому технологічному процесі сляби доставляються зі складу цеху ЛПЦ-1, де температура металу залежно від пори року дорівнює від +30 до -30 °С. При завантаженні час витримки слябів у зонах варіюється від 10 до 20 хвилин через різницю температур. Піч має три ділянки за довжиною з п'ятьма технологічними зонами. Сляби штовхачами завантажують у методичну зону. Ця зона характеризується температурою, що змінюється по довжині, від 0 до 500 °С. Тут метал має поступовий підігрів, щоб уникнути виникнення надмірної термічної напруги до надходження його у зону високої температури (зварювальну). Метал витримують близько 15-20 хвилин. Потім, витримавши задану температуру, метал пересувається у зварювальну зону або зону високої температури. У цій зоні відбувається швидке нагрівання поверхонь заготовок до кінцевих температур. Для інтенсивного нагрівання поверхонь металів у зварювальних зонах необхідно підтримувати температуру на 150-250 °С вище температури металів на виході із печі. Час нагріву металу також залишається близько 15 – 20 хвилин. Після того, як метал простоїть необхідний заданий інтервал часу, знову штовхачами додається кілька слябів, які пересувають весь ряд до потрібної зони. У свою чергу метал із зварювальної зони пересувається в томільну зону чи зону витримки. Ця зона служить для вирівнювання температури металів. У зварювальній зоні до високої температури нагріваються лише поверхні металів. В результаті чого створюються значні перепади температур металу, неприпустимі за технологічними вимогами. Температуру в томільних зонах підтримують всього на 30-50 °С вище за необхідні температури нагрівання металів. Тому температури поверхонь металів у томільних зонах не змінюються, а здійснюється лише вирівнювання температури за товщиною

заготівель [6]. Транспортування слябів здійснюється штовхувачем на рольганг. Далі сляб вільно пересувається до прокатки (стану 1700). Режим роботи печі – безперервний. Цей вид печі забезпечує нагрівання металів до температури 1050-1300 °С.

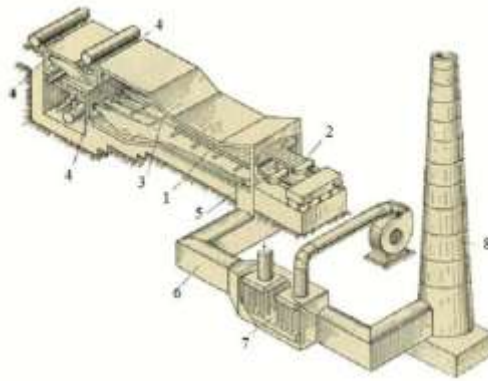
Загальний вид п'ятизонної штовхальної методичної печі наведено на рис. 1.6. Повздовжній розріз методичної печі з крокуючими балками (тип ЛПЦ) наведено на рис. 1.7-1.9.



1 - завантажувальне вікно; 2 - рольганг завантаження; 3 - вікно видачі; 4 – приймальний рольганг; 5 – методична зона печі; 6, 7 - верхня і нижня перші зварювальні зона печі; 8, 9 - верхня і нижня другі зварювальні зони печі; 10 – томильна зона печі; 11- пальники; 12 - водоохолоджувані подові труби; 13 - монолітна подина; 14 - рекуператор

Рис. 1.6. Пристрій методичної печі (п'ятизонна штовхальна піч)

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]



1 - метал, що нагрівається; 2 - штовхач; 3 - глісажні труби (водоохолодження);
4 - пальники (розташовані над і під поверхнею металу); 5 - димові канали;
6 - боров; 7 - рекуператор (гарячі продукти згоряння нагрівають повітря, що надходить до пальників); 8 - димова труба

Рис. 1.7. Загальний вигляд та розріз методичної печі

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

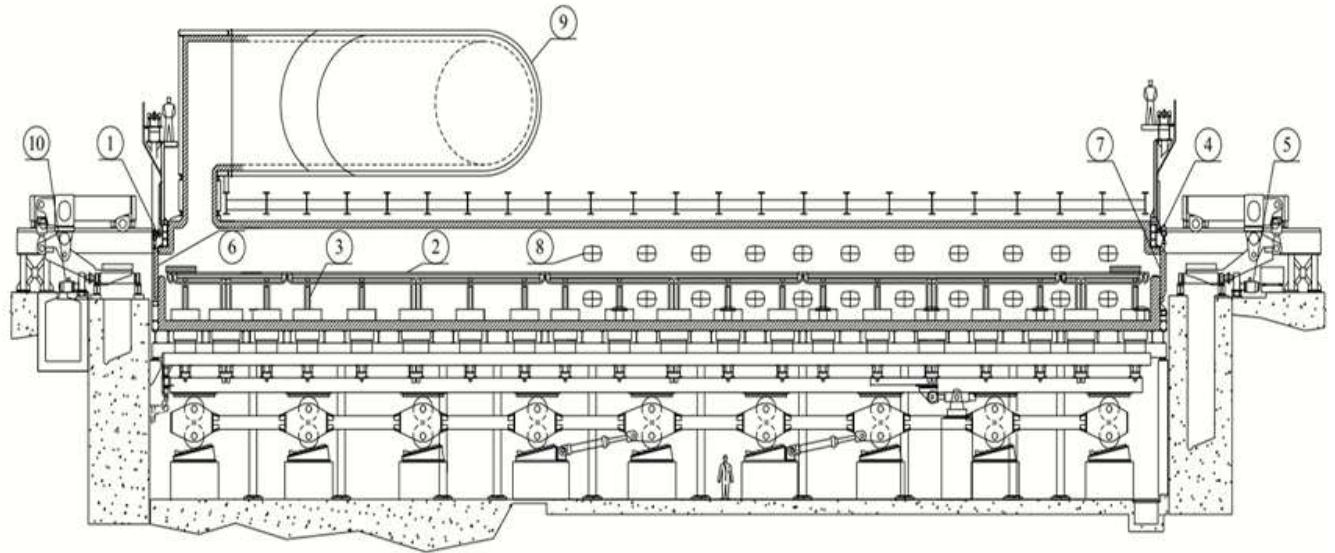
Метал 1, що зігрівається, штовхачем 2 направляється по глісажним (водоохолоджуваним) трубам 3. Паливо згоряє за допомогою пальників 4, що знаходяться над і під поверхнями металів. Сировина згоряння двома потоками - верхніми і нижніми рухаються строго по робочому простору печі у напрямках, протилежних руху металу, тобто протитечією. Через димові канали 5, сировина згоряння надходить до борова 6 і з нього через рекуператор 7, (у якому гаряча сировина згоряння нагріває повітря, спрямоване до пальників) і надходять у димову трубу 8 і далі в атмосферу. Нагрітий метал потрапляє через вікно виходу на рольганг і ним сліди - до стану.

Характеристика методичних пічей наведена у таблиці 1.1.

1.2 Характеристика об'єкта

Разом із традиційними штовхальними методичними печами останнє десятиліття в нашій країні і особливо за кордоном створювалися методичні печі з крокуючими балками. У цих печей більш висока якість нагріву, необмежена

довжина печі, а, отже і продуктивність та можливість швидкого завантаження і розвантаження. До недоліків таких печей можна віднести великі капітальні та теплові втрати. У випускній роботі розглядається методична піч із крокуючими балками, загальний вигляд якої зображено на рис.1.8.



1 - механізм завантажувальної машини; 2 - система крокуючих балок (рухливі та нерухомі); 3 - стояки подовгих труб; 4 - механізм розвантажувальної машини; 5 - розвантажувальний рольганг; 6 - завантажувальні дверцята печі; 7 - розвантажувальні дверцята печі; 8 - засклені оглядові вікна; 9 - рекуператор; 10 - завантажувальний рольганг

Рис. 1.8. Загальний вид методичної печі з крокуючими балками

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Таблиця 1.1

Характеристика методичних печей

Характеристика	Переріз виробу, що нагрівається, мм х мм, і його довжина, м							
	60х60, 11,8	80х80, 11, 0-12,0	80х80, 12,0	235х235- 260х260, 1,225	50-230х700- 1550, 3,0-6,3	200- 240х750- 1550, 4,6 та 9,5	250- 320х250- 330, 3,6-5,2	150- 300х900- 1850, 4,5-10,5
Розміри, м								
Ширини	12,5	12,64	12,64	3,36	6,70	10,30	5,8	11,25
Довжина активного поду	15,0	20,5	23,8	18,1	29,0	35,9	31,5	37,3
Площа поду								
Активного	177	234	106	44	183	332	164	400
Габаритного	190	260	-	61	194	370	183	435
Продуктивність, (т/ч), кг/с	(110) 30,5	(110) 30,5	(110) 30,5	(23) 6,4	(110) 30,5	(205) 57,0	(90) 25,0	(280) 77,8
Теплова потужність, кВт (ккал/ч)	73300 (63 · 10 ⁶)	76800 (66 · 10 ⁶)	76800 (66 · 10 ⁶)	19800 (17 · 10 ⁶)	83700 (72 · 10 ⁶)	176800 (152 · 10 ⁶)	72500 (62,5 · 10 ⁶)	215000 (185 · 10 ⁶)
Паливо	Природний газ	Змішаний газ		Мазут	Змішаний газ			Природний газ
Теплота згоріння палива, МДж/м ³ (ккал/м ³)	35,0 (8400)	9,2 (2200)		39,4 (9400)	7,55 (8400)	6,7 (1600)	10,5 (2500)	20,9 (5000)
Температура підігріву, °С								
Повітря	400			-	450	500	500	400
Газу	-	-	-	-	350	-	-	-

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Типова методична піч складається з таких зон:

- зона підігріву – попередній нагрів металу;
- зона нагріву – основний інтенсивний нагрів;
- томильна зона – вирівнювання температури металу;
- пальникові пристрої;
- димовідвідна система;
- механізм подачі та видачі заготовок;
- система автоматичного керування.

Основні параметри керування

До параметрів, які контролюються в печі, належать: температура в зонах печі; температура металу; тиск у робочому просторі; витрата газу; витрата повітря; співвідношення газ/повітря; швидкість просування заготовок; час перебування металу в печі.

Таблиця 1.2

Технічні характеристики печі

Параметри печей	Розмір
Загальна довжина печі по кладці, м	24,008
Корисна довжина печі, м	20,0
Габаритна площа пода, м ²	280
Активна площа пода, м ²	240
Довжина томильної зони, м:	
– габаритна	8,346
– активна	6,728
Довжина зварювальної зони, м:	
– габаритна	14,850
– активна	13,272
Максимальна висота, м:	
– томильної зони	1,980
– зварювальної зони	2,900
– перетискання між зона	0,620
Кут нахилу пальників, градус:	
– томильної зони	18
– зварювальної зони	15
Витрата води на охолодження обладнання печі (за проектом), м ³ /год	360
Тиск охолоджувальної води, кПа (кгс/см ²)	196 (2,0)
Температура, °С:	
– у томильній зоні	До 1340
– у зварювальній зоні	До 1290
Тиск під склепінням томильної зони, Па (мм вод. ст.)	27,4 (2,8)
Розрідження в борові перед рекуператором (за проектом), Па (мм вод. ст.)	35,5 (3,6)

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Система автоматичного управління

АСУТП включає: термопари та пірометри; датчики тиску; витратоміри газу та повітря; регулятори температури; PLC-контролер; операторську панель SCADA; виконавчі механізми клапанів.

Основні контури регулювання: Регулювання температури зон печі. Регулювання співвідношення газ/повітря. Підтримання тиску в печі. Керування транспортуванням заготовок.

Алгоритм управління: завантаження металу в піч. Вимірювання температури в кожній зоні. Подача сигналів на регулятори. Зміна відкриття газових клапанів. Корекція подачі повітря. Контроль тиску. Видача нагрітої заготовки на стан.

У технологічному процесі методичної печі ЛПЦ-1 спочатку був доданий додатковий трубопровід - це мазутний трубопровід для підігріву металу. Створено його через брак коксодоменного газу, оскільки у зв'язку з стрибками тиску в трубопроводі та малою калорійністю коксодоменний газ виявлявся малоефективним, метал не міг нагрітися до бажаної температури. Додатковий мазутний трубопровід, підведений до зон №1, 3. Мазутні форсунки розташовуються з боків методичної печі.

1.3 Вибір архітектури АС

У складі розробки архітектури використовуваного інтерфейсу проекту АС є визначення її профілів. Під профілями розшифровується загальний набір стандартів, спрямованих на виконання конкретної поставленої задачі. Головними цілями використання профілів є: зменшення трудомісткості проекту АС; збільшення якостей обладнання АС; здійснення розширення (масштабуємості) АС за набором прикладних функцій; організація можливостей функціональних інтеграцій інформаційної системи

Профілі АС містять у собі такі групи [1]: профілі прикладних програмних забезпечень; профілі середовищ АС; профілі захисту інформацій АС; профілі інструментальних засобів АС.

Профіль прикладного програмного забезпечення - відкрита та готова до використання SCADA-система InTouch. Профіль середовища АС базуватиметься на операційній системі Windows XP. Профіль захисту інформації може містити в собі загальні засоби захисту Windows. Профіль інструментальних засобів здійснюватиметься на базі OpenPCS та Simatic Step7.

В організованій системі використовуватимемо Fastwel Modbus OPC Server. Він є програмою Windows, що здійснює програмний доступ до вузлів мереж Modbus RTU/ASCII та Modbus TCP через інтерфейс OPC Data Access. Сервер здійснює функції майстра протоколів Modbus RTU/ASCII і Modbus TCP, виконуючи операції читання та запису даних між комп'ютером, на якому він

встановлений, та підлеглими вузлами мережі. Сервер дає можливість одноразового обміну даними з підлеглими вузлами мереж Modbus RTU/ASCII та Modbus TCP. Fastwel Modbus OPC Server:

- дозволяє користувачам створювати, зберігати та редагувати конфігураційну інформацію, що описує підлеглі вузли Modbus та об'єкти даних у вузлах, що підлягають читанню та запису.

- надає OPC-клієнтам можливість обмінюватися даними з вузлами мережі Modbus.

- оптимізує операції читання та запису груп регістрів та входів/виходів, що мають суміжні адреси в адресному просторі кожного підлеглого пристрою мережі.

- забезпечує пряме та зворотне перетворення мережевих даних у типи Integer, Long, Float, Bit, Word та String. Fastwel Modbus OPC Server підтримує інтерфейс OPC Data Access 2.0 і може використовуватись спільно з різними пакетами програм класу SCADA/HMI.

Профіль середовища розподіленого АС повинен містити стандарт протоколу транспортного рівня Modbus, а також стандарт у засобах сопряжених проєктованих АС з мережами передач даних загальних призначень (RS-485, HART).

Modbus - комунікаційний протокол, що базується на архітектурі «клієнт-сервер». Запущений єдиною фірмою Modicon для роботи в контролерах із програмованими логіками. Став стандартом де-факто в промисловостях і широко використовується для роботи зв'язків промислових електронних обладнання.

Використовується для передач даних послідовних ліній зв'язків RS-485, RS-422, RS-232, а також мережі TCP/IP.

Профілі захисту інформації повинні здійснювати організацію політики інформаційних безпек. Функціональні галузі захисту інформації містять у собі функції захисту, що використовуються різними компонентами АС: [5].

- функції захисту, що використовуються операційними системами;

- функції захисту від несанкціонованих доступів, що використовуються на

рівнях програмних забезпечень проміжних шарів;

- функції управління даними, що реалізуються СУБД (системи управліннь базами даних);
- функції захисту програмних засобів, а також засобів захисту від вірусів;
- функції захисту інформацій при обміні даних у розподільчій системі;
- функції адміністрування засобами безпеки.

Профілі інструментальних засобів, вбудовані в АС, можуть містити рішення щодо виборів методологій та технологій створення, супроводом та розвитком конкретних АС. Функціональну область профілів інструментальних засобів, вбудованих в АС, поєднують функції централізованих управліннь, що взаємодіють:

- зі контролюванням продуктивностей та функціонування систем загалом;
- веденням конфігурацій прикладних програмних забезпечень, тиражування версій;
- управління доступом користувача до ресурсів систем та конфігурацій ресурсу;
- переналаштування програми у зв'язку з коригуванням прикладних функцій АС;
- налаштування інтерфейсу користувача (генерації екранної форми та звіту);
- ведення бази даних систем;
- відновлення працездатності систем після збою та аварії.

1.4 Призначення та основні цілі створення АСУ ТП

Основними завданнями створення мікропроцесорної системи автоматизації методичних печей є:

1. Збільшення безпеки експлуатації методичних печей в умовах безперервного виробництва;

2. Збільшення надійності обладнання та засобів автоматизації; та «живучості» технологічного
3. Удосконалення функціональних можливостей системи автоматизації;
4. Поліпшення умов праці для обслуговуючого персоналу;
5. Відповідність усім екологічним нормам за гранично допустимими викидів в атмосферу шкідливих газів та пилу: CO, CO₂, NO₂, SO₂, а також інших вуглеводнів;
6. Зменшення часу на ремонт.

Призначення системи

Система автоматизації методичних печей спрямована для контролю та керування обладнанням методичних печей. Вона має організовувати безперервний моніторинг усіх технологічних процесів, автономне підтримка режимів роботи, що задаються, та їх зміна за командами з пульта оператора з місцевого диспетчерського пункту та з вищого рівня управління районного диспетчерського пункту

1.5 Вимоги до метрологічного забезпечення

1. Вимірювальні канали системи повинні організовувати доступність для отримання всіх результатів вимірювання з нормованими точності.
2. Технічні засоби, що становлять ІЧ повинні відповідати вимогам метрологічної сумісності, тобто мати загальний склад метрологічних характеристик.
3. Як єдина метрологічна характеристика використовується межі допустимих похибок ІЧ за нормальних умов експлуатації.

Формою подання метрологічної характеристики ІЧ - наведеної похибки, виражені у відсоткових відносних діапазонах виміру.

4. Основна похибка вимірювальних каналів не повинна перевищувати значень, у відсотках від діапазону виміру:

- тиск у трубопроводах та апаратах – 1,0;

- температура продукту в трубопроводах та апаратах;
- рівень рідини в апаратах та установках;
- витрата рідини у трубопроводах – 0,5; - 2,5; - 1,0.

Додаткові похибки не повинні бути більше половини основних похибок при зміні температур навколишнього середовища в діапазонах робочих температур та відхилення напруг живлення в дозволених норм.

1.6 Вимоги до програмного забезпечення

Програмні забезпечення (ПО) АС містять у собі:

- системне програмне забезпечення (операційні системи);
- інструментальне ПЗ;
- загальне (базове) прикладне ПЗ;
- спеціальне прикладне програмне забезпечення.

Програмне забезпечення, яке міститься у складі терміналу повинен мати україномовний інтерфейс, ліцензійний антивірус, причому доступ до терміналу доступний лише зареєстрованим користувачам, які пройшли аутентифікацію.

Засобами створення спеціальних прикладних програм повинні містити в собі універсальні та технологічні мови програмувань та відповідні кошти розробки (відладчики, компілятори).

Технологічні мови програмування повинні відповідати стандартів ІЕС 61131-3. Також програмне та інформаційне забезпечення має здійснювати такі функції:

1. Організація створення розподіленої бази даних та можливість доступності до неї;
2. Безперебійну обробку та зберігання параметрів та даних отримані з датчиків під час протікання технологічного процесу;
3. Відображення мнемосхем (відеокадрів) для наочності стану технологічних об'єктів у режимі теперішнього часу;
4. Існуюча можливість зміни параметрів технологічного процесу;

5. Можливість створення уніфікованої електронної документації (Рапортів, протоколів).

1.7 Вимоги до математичного забезпечення. Вимоги до автоматики.

Вимоги до технічного забезпечення

Математичне забезпечення АС має здійснювати комплекс математичних методів, моделі та алгоритми обробки інформацій, які працюватимуть при створення та експлуатації АС і дозволятимуть здійсненню різних компонентів АС за допомогою засобів загальних математичних апаратів. Система автоматики методичних печей має здійснювати наступне:

вимірювання та контроль:

1. Обсяг витрати пального для нагрівання зон методичної печі;
2. Температури контурів, у зонах нагріву методичних печей.

Вимоги до технічного забезпечення

Програмно-технічні комплекси АС повинні допускати можливість нарощування, модернізації та розвитку систем, а також мати резерви каналами вводу/вывода щонайменше 20 %.

Датчики, що працюють у системах, повинні відповідати вимогам вибухобезпеки. При підборі датчиків необхідно використовувати апаратури з іскробезпечними ланцюгами. Датчики із чутливими елементами, що контактують з агресивним середовищем, мають бути виготовлені з корозійностійкого матеріалу або для їх повного захисту необхідно ізолювати їх роздільниками середовищ.

Показниками надійності датчика загально-промислового призначення прийнято вибирати, ґрунтуючись на показниках світових рівнів та кращих зразки вітчизняного виробу, а саме:

1. Час напрацювання на відмову не менше 100 тис. год;
2. Термін служби щонайменше 10 років.

Контролери повинні мати модульну архітектуру, що дозволяє вільне компонування каналів введення/виводу. За необхідності ситуація введення сигналу з датчика, що у вибухонебезпечному середовищі, дозволяються використовувати як модуль з іскробезпечним входним ланцюгом, так і зовнішній бар'єр іскробезпеки, що знаходяться в окремому конструктиві.

1.8 Мета і задачі дослідження

Доцільність розробки автоматизованої системи регулювання температури у зоні первинного нагріву методичної печі полягає у можливості підтримання заданого температурного режиму в автоматичному режимі, оперативному реагуванні на зміну навантаження, зменшенні витрат палива та підвищенні якості нагріву металу. Крім цього, автоматизація дає змогу покращити умови праці обслуговуючого персоналу та підвищити загальний рівень надійності виробництва. Актуальність теми зумовлена необхідністю модернізації металургійних підприємств, впровадженням енергоощадних технологій та переходом до сучасних цифрових систем керування технологічними процесами.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи регулювання температури у зоні первинного нагріву методичної печі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз технологічного процесу роботи методичної печі;
- дослідити особливості температурного режиму зони первинного нагріву;
- обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації;
- розробити структурну та функціональну схеми системи;
- вибрати алгоритм автоматичного регулювання температури;
- розробити програмне забезпечення для контролера та операторського інтерфейсу.

Об'єктом дослідження є технологічний процес нагріву металевих заготовок у методичній печі. Предметом дослідження є методи та засоби автоматичного регулювання температури у зоні первинного нагріву.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структурної схеми АС

Як операційна система даної АСУ використовується Windows 7. Інформація з датчиків прибуває на середній рівень керування локального контролера (ПЛК). Він здійснює такі функції [1]:

- збирання, первинна обробка та зберігання інформацій про стани обладнання та параметри технологічних процесів;
- автоматичні логічні управління та регулювання;
- виконання команд із пунктів управлінь;
- обмін інформацією із пунктом управлінь.

Інформацію з локальних контролерів переправляють у мережі диспетчерський пунктів через комунікаційні контролери верхніх рівнів, що здійснюють наступні функції [1]:

- збирання даних з локального контролера;
- обробку даних, включаючи масштабування;
- підтримки єдиного часу у системах;
- синхронізацію робіт у підсистемах;
- організацію архівів за вибраним параметром;
- обмін інформацією між локальним контролером та верхніми рівнями.

Комп'ютерний екран диспетчерів визначено для зображення ходу технологічних процесів та оперативних управлінь. Кожен апаратний засіб систем управлінь з'єднаний між одним іншим каналами зв'язку. На нижніх рівнях контролери діють з датчиками та виконавчими пристроями. Взаємодія між локальними контролерами та контролерами верхніх рівнів забезпечуються на базі інтерфейсу Ethernet. Зв'язок автоматизованого робочого місця оперативного персоналу між собою, а також із контролерами верхніх рівнів визначаються безпосередньо у мережах Ethernet.

2.2 Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації відноситься до технічних документів, що організовують функціонально-блокові структури окремого вузла автоматичних контролів, управлінь та регулювання технологічних процесів, а також обладнання об'єктів управлінь приладами та засобами автоматизацій [1].

На функціональних схемах зазначаються система автоматичних контролів, регулювань, дистанційних управлінь, сигналізацій.

Усі елементи систем управління видаються у вигляді обумовлених картинок і з'єднуються у загальну систему лініями функціонального зв'язку.

При розробках функціональних схем автоматизації технологічних процесів поставлені такі завдання [1]:

1. Вилучення первинних інформацій про стани технологічні процесів та обладнання;
2. Контролювання та реєстрування технологічного параметра процесів та стану параметрів технологічного обладнання;
3. Стабілізація технологічного параметра процесів.
4. Прямий вплив на технологічні процеси для управління ними.

Ці питання вирішують на підставах аналізів робіт технологічних обладнання пошук законів та критерії управлінь об'єктами, а також вимогами, необхідні до точностей стабілізацій якості регулювання та надійності.

У процесі складання схем здійснюють:

2. Вибір методу вимірів технологічного параметра.
3. Вибір основного технічного засобу автоматизації повно відповідають вимогам та умовам робіт об'єктів.
4. Визначення приводів виконавчих механізмів, що регулює та запірних органів технологічних обладнання, керованими автоматично чи дистанційно.
5. Розміщення засобів автоматизації на щитках, пультах, технологічних обладнання, трубопроводів та знаходжень способу уявлень інформації технологічних процесів та обладнання.

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Функціональна схема автоматизації ANSI/ISA

Дана схема ФСА виконана згідно з ГОСТ 21.404–2013 та ANSI/ ISA-S 5.1 та наведена на рис. 2.2.

2.3 Розробка схеми інформаційних потоків системи управління методичної печі

Схема інформаційних потоків містить у собі три рівні збору та зберігання інформації [1]:

- нижній рівень (збір та обробка),
- середній (поточне зберігання),
- верхній рівень (архівне зберігання).

Автоматизована система управління МП складена за принципом ієрархічного поширення управління, тобто у вигляді трирівневої структурної системи:

1. Нижній рівень (обладнання КВП);
2. Середній рівень (контролерне устаткування);
3. Верхній рівень (інформаційно-обчислювальний) комплекс технічних заходів автоматизації робочої зони (АРМ) оператора.

Нижній рівень системи автоматизації містить датчики (датчики) температури), витратоміри, виконавчих пристроїв (заслінки та клапана з електроприводом) а також вторинні перетворювачі, які забезпечують формування вхідних електричних аналогових та дискретних сигналів системи автоматизації методичних печей, а також вказівні прилади та органи управління, застосовані за місцем. Середній (контролерний) рівень складається з локального контролера. Верхній рівень систем автоматизації містить у собі АРМ оператора - нагрівача, що здійснюється на базі п'яти IBM персональних комп'ютерів (ПК), з'єднаних у локальну обчислювальну мережа (ЛВС) Ethernet, що здійснюють зберігання та аналіз всієї доступної інформації, а також візуалізацію інформації та роботи з оператором.

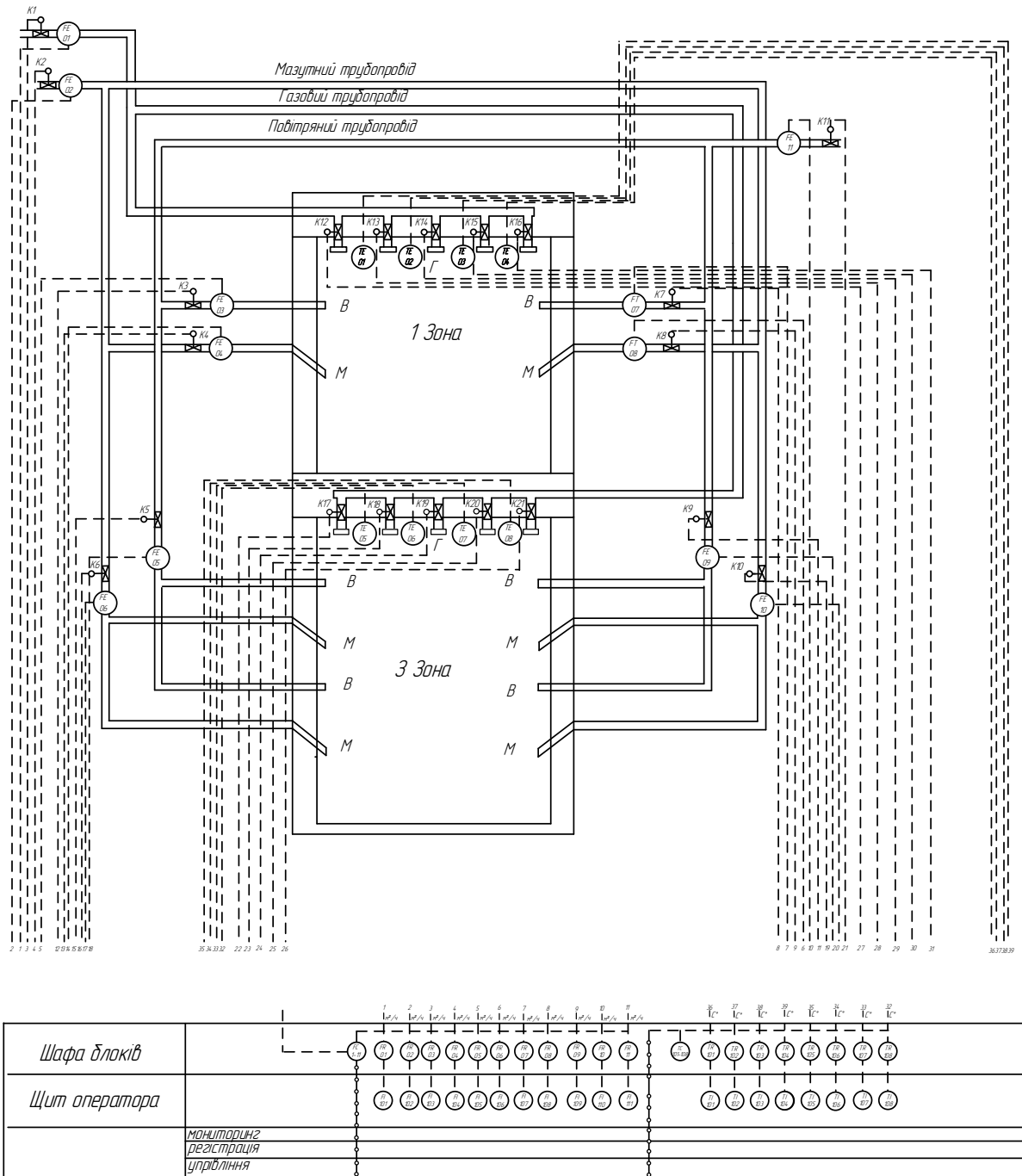


Рис. 2.2. Функціональна схема САУ тепловим режимом методичной печі ЛПЦ-1

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

У цій випускній роботі об'єктом автоматизації є методична піч.

На нижніх рівнях даються дані фізичного пристрою введення/виведення. Вони містять дані аналогового сигналу і дискретного сигналу, дані про обчислення та перетворення. Верхній рівень утворює собою буферні бази даних,

які виконують роль маршрутизаторів інформаційного потоку від системи автоматики та телемеханіки до графічної екранної форми АРМ-додатків. На даних рівнях з даних ПЛК з'єднує документаційні потоки інформації. Подача сигналу між контролерами середнього та контролерами верхніх рівнів та АРМ операторам передається за протоколами Ethernet.

Параметри, що перенаправляються в локальну обчислювальну мережу у форматі стандарту OPC, містять у собі:

- температуру в робочому просторі печі (за зонами);
- температуру закінчення прокатки;
- обсяг витрати газу по зонах;
- об'єм витрати повітря по зоні;
- температуру сировини, що відбуває згоряння;
- температуру повітря, що підігрівається;
- тиск газу в загальних газопроводах;
- тиск у робочих просторах печей (під склепінням томильної зони);
- розрідження в димовому борові печі.

Міститься ряд контурів регулювань:

- температуру у зоні печі;
- співвідношення газу-повітря у зонах печі;
- тиск у робочій зоні простору печі.

Кожні елементи контролю та управління мають свої ідентифікатори (ТЕГ), що містить символні рядки. Структура шифру містить наступний вид:

AAA_BBB_CCCC_DDDDD,

де

1. AAA – параметр, 3 символи, можуть застосовувати такі значення:

DAV – тиск;

TEM – температура;

RAS – витрата;

URV – рівень

2. BBB – код технологічного апарату (або об'єкта), 3 символи:

VN1 – димосос №1

VN₂ – димосос №2;

GOR – пальник;

3. CCCC - уточнення, не більше 5 символів:

G LINE – газовий трубопровід;

LINE – мазутний трубопровід;

VDX – повітря;

VODA – вода;

PECH – піч;

GAZ – газ;

4. DDDDD – примітка, трохи більше 5 символів:

OPEN – відкрито;

VwH – вихід;

VH – вхід;

HIGH – верхній;

LOW – нижній;

CLOSE – закрито;

UPR – керуючий сигнал;

REG – регулювання.

Кодування всіх сигналів у SCADA-системі представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Кодування сигналів у SCADA-системі

Кодування	Розшифровка кодування
RAS_G LINE_GOR	Витрата газу
RAS_O LINE_GOR	Витрата мазуту
HIGH_URV_VODA	Верхній рівень води у резервуарі
LOW_URV_VODA	Нижній рівень води у резервуарі
TEM_VwH_PECH	Температура на виході в піч
TEM_VH_PECH	Температура на вході в піч
UPR_GAS_REG	Управління засувкою тиску газу

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Верхній рівень є базою даних КІС та базою даних АСУ ТП. Інформація для фахівців структурується наборами екранних форм АРМ. На моніторі АРМ

оператора зображується різними інформаційними та керуючими елементами. На АРМ диспетчера автоматично утворюється різними видами звітів, всі звіти утворюються у форматі XML. Генерація звітів виконується за наступним розкладом: кожна парна/непарна година (двогодинний звіт); кожен день (двогодинний звіт о 24.00 кожної доби); щомісяця; на вимогу оператора (оперативний звіт).

Звіти створюються за стандартними шаблонами: зведення щодо поточного стану обладнання; зведення поточних вимірів.

Історична підсистема АС забезпечує безпеку інформації змін технологічних параметрів для сигналів із заздалегідь поставленою детальністю. Інформацію, що зберігається більше трьох місяців, проріджують для забезпечення необхідної дискретності.

2.3.1 Вибір засобів системи управління методичної печі

К функції вибору програмно-технічних засобів використання проекту АС відноситься аналіз варіантів, вибір компонентів АС та їх сумісність.

Програмно-технічні засоби АСУ ТП містять у собі: вимірювальні та виконавчі пристрої, контролерні обладнання, а також систему сигналізацій.

Вимірювальні пристрої організовують збір даних про технологічні процеси. Виконавчі пристрої перетворюють електричну енергію в механічну або іншу фізичну величину для організацій взаємодії на об'єктах управління у співвідношення із вибраними алгоритмами управління. Контролерне обладнання організовують виконання завдань обчислень та логічних операцій.

2.3.2 Вибір контролерного обладнання АСУ методичної печі

Так як дана система автоматизованого управління характеризується не високою складністю, має порівняно невелику кількість вхідних та вихідних сигналів, здійснивши порівняння характеристик контролерів фірми SIMATIC

серій S7-200, серій S7-300, серій S7-400, як програмовані логічних контролерів обираємо контролери сімейства S7-200 [3].

Відповідним вибором компонентів S7-200 можуть бути реалізовано майже будь-які завдання автоматизації. І відповідно наша система буде також поставлена на цій основі. Загальний зв'язок між локальними контролерами та контролерами верхніх рівнів (комунікаційним) визначаються на базах інтерфейсу Ethernet.

SIMATIC S7-200 – це модульні програмовані контролери, виготовлені для побудови системи автоматизацій середніх та високих ступенів складнощів. Модульна конструкція вирішує можливість використання контролером автоматичного керування у різноманітних галузях промислового виробництва.

Деякі типи центральних процесорів різної продуктивності та широкий спектр модулів з множинними вбудованими функціями суттєво спростили розробку систем автоматизації на основі SIMATIC S7-200.

Алгоритм управління має можливість перетворюватися на більш складний, контролер з легкістю організовує наростання своїх можливостей за рахунок встановлення додаткових наборів модулів.

Сімейство S7-200 включає широкий спектр модулів розширення CPU: S7-212, S7-214, S7-215 та S7-216. Потужність CPU цих контролерів розрахована на ємність, що підключається периферії входів/виходів. *Обираємо CPU SIMATIC S7-216*, у зв'язку з тим, що даний CPU відрізняється особливою гнучкістю від інших процесорів і обладнаний двома послідовними інтерфейсами, таким чином, може паралельно працювати в режимах PPI та "Freeport". Кожне з CPU може оперувати з 4-16 входами/виходами. CPU S7-216 може бути розширений до 128 входів/виходів, а через інтерфейс AS навіть до 400 входів/виходів. Модулі розширення дискретних виходів EM - 222 (цифровий висновок 8 x 24 В DC - 6ES7 222-1HF22-0XA0) дозволяють збільшити кількість дискретних виходів, що обслуговуються центральним процесором. Призначення: модулі виведення дискретних сигналів роблять перетворення внутрішніх логічних сигналів контролера вихідні дискретні сигнали 24 В. Модулі розширення аналогових

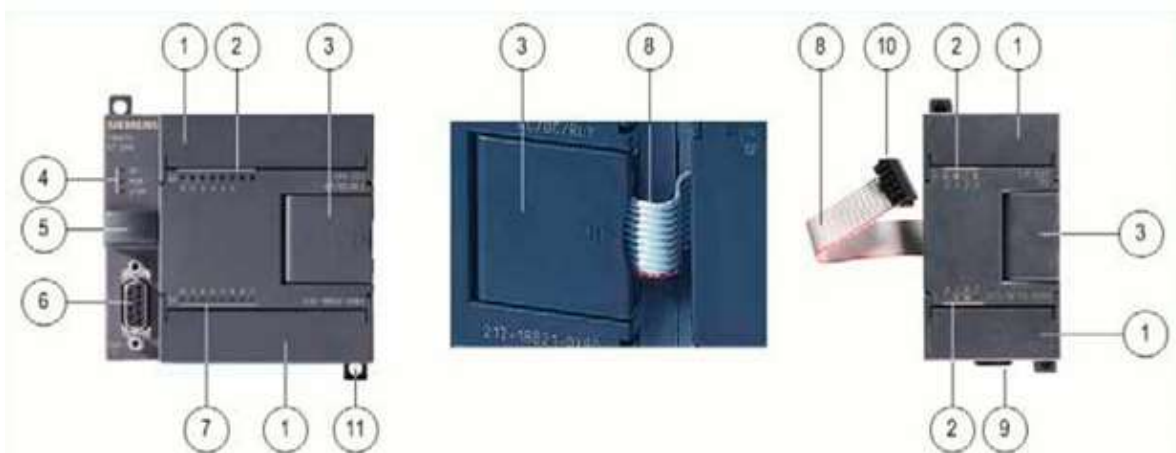
входів EM - 231 (аналогове введення, AI 3 x 12 біт - 6ES7 231-0HC22-0XAO) дозволяють збільшити кількість аналогових входів, що обслуговуються центральним процесором. Система регулювання нагріву металу вимагає наявності 13 аналогових вхідних каналів (з ІП - 6 штук; з датчиків витрати 4-20 мА - 4 штуки; з датчиків тиску 4-20 мА – 1 штуки.) та 5 дискретних вихідних каналів (DC 24V). Тому контролер потрібно укомплектувати модулями: модуль аналогових входів EM231 (4 входи) – 6ES7 231-0HC22-0XAO – 3 штуки; модуль дискретних виходів EM222 (4 виходи) - 6ES7 222-1H22-0XAO - 1 штука;

Таблиця 2.2

Специфікація обладнання

Найменування	Шт.
Блок живлення SITOP power 24 V/3,5 A	1
Програмований контролер SIMATIC серії S7-200	1
Модуль дискретних виходів EM222 (4 вих.) – 6ES7 222-1H22-0XAO	1
Модуль аналогових входів EM231 (4 вх.) – 6ES7 231-0HC22-0XAO	3
Персональний комп'ютер	1

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]



1 - захисна кришка; 2 - світлодіоди індикації вхідних дискретних сигналів; 3 - захисна кришка інтерфейсу внутрішньої шини; 4 - світлодіоди індикації станів та режимів роботи центрального процесора; 5 - відсік для встановлення опціональних модулів (пам'яті, батареї); 6 - вбудований порт RS 485; 7 - світлодіоди індикації вихідних дискретних сигналів; 8 - плоский кабель внутрішньої шини контролера; 9 - засувка для фіксації модуля на профільній шині DIN 10. З'єднувач для підключення до гнізда внутрішньої шини контролера; 11 - отвір для кріплення модуля гвинтами

Рис. 2.3. Контролер SIMATIC S7-200

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

2.3.3 Вибір датчиків

Вибір датчика температури. Температура у робочому просторі має вимірюватися термо-перетворювачами термоелектричними типів КТХА, КТХК, ТП та ТПРТ. Вибираємо тип перетворювача ТП 008. Термоелектричні

перетворювачі ТП 008 (ТП) призначені для вимірювання температури поверхні твердих тіл (зокрема металевих), рідких та газоподібних середовищ, які є хімічно неагресивними до захисної арматури [1]. Перетворювачі термоелектричні призначені для вимірювання температур у робочих просторах нагрівальних печей (6 шт.), оскільки цей тип підходить за градуванням.



Рис. 2.3. Перетворювач термоелектричний ТП 008

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Принцип дії. Функціонування ТП 008 базується на термоелектричному ефекті – перетворенні теплової енергії термопари на термоелектрорушійну силу (ТЕРС) [1]. Конструктивно пристрій складається з чутливого елемента у вигляді термопари, розміщеного всередині захисної металевої арматури [1].

Термопара – це два провідники з різномірних металів, з'єднаних на одному кінці (робочому спаї) [3]. При наявності різниці температур між робочим спаєм (гарячим кінцем) та вільними кінцями (холодним спаєм) виникає ТЕРС, величина якої залежить від типу термопари та градієнта температур [1][3].

Залежно від модифікації, ТП 008 може використовувати різні номінальні статичні характеристики: ТХА (К), ТХК (L), ТЖК (J), ТНН (N), ТПП (S), ТПР (В) [1]. Діапазони вимірювання варіюються від 0 до 1700 °С залежно від типу термопари та конструктивного виконання [1].

Основні переваги

Широкий температурний діапазон від -40 °С до +1700 °С.

Варіативність конструктивних виконань.

ТП 008 пропонує різноманітні варіанти: діаметр арматури від 4 до 20 мм, різні способи кріплення (нерухомий або рухомий штуцер, різьба), види комутації (клемна головка, провід, клемна колодка), матеріали захисної арматури (нержавіюча сталь 12X18H10T, AISI 310S, Inconel 601, латунь, кераміка)

Високий клас точності.

Стійкість до зовнішніх впливів.

Висока надійність. Середнє напрацювання на відмову ТП 008 становить не менше 20 000 годин [1]. Електричний опір ізоляції між ланцюгом чутливого елемента та захисною арматурою сягає 100 МОм за нормальних умов [3].

Вимірювальні перетворювачі (ІП) призначені для перетворень сигналу від термоелектричних перетворювачів та термоперетворювачів опорів в уніфікованих аналогових сигнали сили або напруги постійних струмів.

Обираємо ІП: ІП-Т10-09.

Функціонування перетворювача марки ІП-Т10-09 (рис. 2.4) полягає у трансформації сигналів термоперетворювачів опору (ТСП/ТСМ) у стандартний струмовий вихід типу 4-20 мА. В основу покладено принцип вимірювання варіацій опору, які генеруються чутливим елементом при зміні температури. Вбудована схема спочатку приймає вхідний сигнал, потім виконує його лінеаризацію (оскільки залежність опору терморезисторів не є строго лінійною) та підсилює. Після цього перетворений сигнал видається у вигляді струму в лінію живлення.



Рис. 2.4 Вимірювальні перетворювачі ІП-Т10-09

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Часто передбачена гальванічна ізоляція для усунення впливу перешкод. Модифікація у звичайному виконанні, градування ТП(S), межі виміру 0-1600 °C, вихідний сигнал 4-20 мА, клас 0,5.

Витратоміри Siemens SITRANS FX330 (рис. 2.5), - призначені для вимірювання об'ємних витрат середовища, а саме води, парів, газів та інших енергоносіїв.



Рис. 2.5. Витратомір Siemens SITRANS FX330

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Принцип дії.

Робота приладу Siemens SITRANS FX330 реалізує принцип перепаду тиску, що створюється профільованим тілом обтікання - так званою напірною трубкою Annubar® 485. Цей елемент розміщується всередині труби так, що його передня поверхня спрямована назустріч потоку. Щілини на передній панелі сприймають динамічний напір (p_1), а отвори на задній стороні - зону розрідження (p_2). Різниця $p_1 - p_2$ є мірою витрати.

Витратомір сконструйовано як єдиний блок: сенсорна трубка з'єднана з клапанним модулем, який безпосередньо стикується з датчиком перепаду тиску Siemens SITRANS FX330. В основі датчика лежить ємнісна комірка, яка

перетворює гідравлічний перепад у зміну електричної ємності. Після електронної обробки отриманий сигнал видається у вигляді струмової петлі 4–20 мА. За допомогою HART-протоколу можна додатково зчитувати цифрову інформацію (наприклад, діагностичні коди).

Датчик тиску АКУТЕК ПД310 (Україна) (рис.2.6).

Призначений для вимірювання тиску в різних середовищах (рідини, пар, газ, газові суміші) для безперервних перетворень в уніфікованих струмових виходах сигналів або цифрових сигналів у стандартах протоколів HART.

Управління параметрами датчика: за допомогою клавіатури; віддалено за допомогою програми HART Master, HART модему та комп'ютера або програмних засобів АСУТП. Вихідні сигнали: 4-20 мА з HART-протоколом; 0-5 мА. Основна наведена похибка до $\pm 0,075$ %; опція до $\pm 0,2$ %. Діапазон температури навколишнього середовища від -40 до 85°C .



Рис. 2.6. Датчик тиску-розрядження АКУТЕК ПД310 (Україна)

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

На основі проведеного пошуку джерел досвіду провідних сучасних виробництв, прямим та найкращим є витратомір Rosemount 3051SFA Annubar™ компанії Emerson. Нижче наведено детальне порівняння, чому саме цей пристрій є повним функціональним аналогом. Обидва пристрої побудовані за однаковою технологією, що підтверджується технічною документацією:

Однакова технологія вимірювання: Обидва прилади є витратомірами змінного перепаду тиску, які використовують усереднювальну напірну трубку (Annubar / Averaging Pitot Tube) як первинний перетворювач. Це ключовий принцип дії.

Оригінальна технологія: Оригінальна Т-подібна трубка Annubar, яка використовується в обох приладах, є запатентованою розробкою компанії Rosemount (Emerson). Метран-150RFA, по суті, є локалізованою версією цієї технології.

Таблиця 2.3

Порівняння датчиків тиску

Критерії вибору	Yokogawa EJX-A (Японія)	АКУТЕК ПДЗ10 (Україна)	WIKA DPT-10 / IPT-20 (Німеччина)
Вимірюване середовище	рідина, газ, пар	рідина, газ, пар	рідина, газ, пар
Діапазони меж вимірювань	0–15 МПа	0–10 МПа	0–16 МПа
Межа допустимої похибки	0,04% (або 0,025% в спец. викон.)	0,075% / 0,1%	0,065% (або 0,075%)
Середній час напрацювання на відмову	300 000 год	150 000 год	250 000 год
Вихідний сигнал	4–20 мА + HART	4–20 мА + HART	4–20 мА + HART
Вибухозахисність	Ex0ExiaIICT4 / IExdIICT6	1Ex d IIC T6 Gb / 0Ex ia IIC T6 Ga	1Ex d IIC T6 / 0Ex ia IIC T6
Ступінь захисту від пилу та води	IP 66 / IP 67	IP 65 / IP 67	IP 66 / IP 67

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

Інші можливі аналоги

Окрім оригінального Rosemount, на ринку існують інші витратоміри, які використовують ту саму технологію усереднювального напору (технологія "Аннубар" стала загальною назвою для цього типу приладів). Вони можуть бути розглянуті як більш бюджетна альтернатива:

- MicroFlow F6721 (Китай)
- Wellbar (Вілбар) (Австралія)

Хоча ці пристрої працюють за тим самим фізичним принципом, вони не є прямими функціональними аналогами в питаннях точності, надійності та наявності додаткових функцій (наприклад, багатозмінних вимірю-

вань). Rosemount 3051SFA Annubar є оригінальним продуктом, копією якого є Метран-150RFA.

Таким чином, для заміни витратоміра Метран-150RFA найкращим вибором буде оригінальний витратомір Rosemount 3051SFA Annubar™ від Emerson (рис.2.7). Він забезпечить кращу точність та функціональність. Якщо пріоритетом є нижча ціна, можна розглянути китайські аналоги (MicroFlow), але з меншими гарантіями щодо точності та довговічності.



Рис. 2.7. Витратомір Rosemount™ 3051SFA Annubar™

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Характеристики

Розроблено з вбудованими розрахунками витрати для безпосереднього звітування про повністю компенсовану масову витрату.

Розширена діагностика забезпечує діагностичне покриття для виявлення аномальних умов процесу та проблем з електричним контуром.

Узгодження датчиків Каллендара-Ван Дюзена покращує точність температури, що дозволяє отримувати найкращі в своєму класі розрахунки витрати. Клас продуктивності Ultra for Flow забезпечує оптимізоване вимірювання витрати з точністю зчитування $\pm 0,04\%$.

Т-подібна конструкція Annubar має дуже низькі постійні втрати тиску.

Вбудована термогільза датчика додає вимірювання температури процесу без додаткових проникнень у труби.

Цільнозварна конструкція SuperModule™ пропонує провідну в галузі точність у суворих умовах та застосуваннях.

Витратоміри постачаються повністю налаштованими, перевіреними на герметичність та готовими до встановлення одразу після розпакування для швидкої установки.

Зона застою датчика розташована для зменшення шуму, неточності вимірювання та запобігання засміченню частинками.

Сертифіковано SIL 2/3 за IEC 61508 (через сторонню компанію) та сертифікат попереднього використання даних FMEDA для безпечних установок. Технологія WirelessHART® є безпечною, економічно ефективною та забезпечує >99% надійність даних без вартість проводки.

Модуль SmartPower™ забезпечує до 10 років безтехнічної роботи та заміну в польових умовах без демонтажу передавача.

Діапазон трубопроводів: 50–2440 мм (2–96 дюймів).

Вихідні сигнали: 4-20 mA HART®, WirelessHART®, FOUNDATION™ Fieldbus

Матеріали: нержавіюча сталь 316, сплав C-276

Сертифікація: SIL 2/3 за IEC 61508

Методична піч - це складний тепловий агрегат, де важливо контролювати витрату пального, повітря або димових газів для забезпечення стабільного нагріву заготовок. Витратомір **3051SFA** ідеально підходить для таких умов завдяки наступним характеристикам:

1. Вимірювання трьох змінних одним приладом.

Пристрій одночасно вимірює перепад тиску, статичний тиск та температуру середовища за допомогою одного сенсора з інтегрованим термокарманом. Це дозволяє розраховувати повністю компенсовану масову витрату (наприклад, газу або пари) в реальному часі без потреби в окремих датчиках.

2. Висока точність та швидкодія.

Вбудовані обчислення виконуються 22 рази на секунду, що забезпечує швидку реакцію системи керування піччю на зміни навантаження . Доступний спеціальний клас точності *Ultra for Flow* з похибкою $\pm 0,04\%$ від показань .

3. Надійність у важких умовах.

Конструкція SuperModule™ є повністю зварною та герметичною, що захищає електроніку від вологи, вібрації та екстремальних температур . Це критично важливо для роботи поблизу промислової печі.

4. Мінімальні втрати енергії.

Патентований Т-подібний профіль сенсора створює дуже низький незворотний перепад тиску, що зменшує енерговитрати на роботу димососів або дугтьових вентиляторів .

Переваги для керування піччю

Спрощення монтажу: Оскільки датчик встановлюється безпосередньо в трубопровід через один отвір і не потребує окремих імпульсних ліній, кількість потенційних витоків (особливо небезпечних для газу або пари) зменшується до 70% .

Енергоефективність: Низькі постійні втрати тиску дозволяють економити електроенергію на приводах вентиляторів протягом усього терміну служби обладнання .

Легке налаштування: Витратомір постачається повністю сконфігурованим, зібраним та перевіреном на герметичність. Вам залишається лише встановити його на місце .

Для коректної роботи в газових середовищах (наприклад, природний газ для пальників), сенсор рекомендується встановлювати у верхній половині труби під кутом не менше 45° від горизонтальної осі . Це запобігає потраплянню конденсату в вимірювальні камери.

Оптичний газоаналізатор ПЕМ-2М - використовується для вимірювання масової концентрації оксиду азоту, оксиду вуглецю, діоксиду сірки, метану та об'ємної частки діоксиду вуглецю та кисню в димових газах

паливостпалювальних установок. Газоаналізатор ПЕМ-2М складається з блоку аналізатора, блоку пробопідготовки, лінії, що підігрівається, пробовідбірного зонда (рис.2.8-2.9).

Принцип дії газоаналізатора.

Сутність абсорбційного методу аналізу залежить від ослаблення потоку оптичного, що проходить кювету з димовим газом випромінювання у певному спектральному інтервалі від концентрації вимірюваного газу.



Рис. 2.8. Оптичний газоаналізатор ПЕМ-2М

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

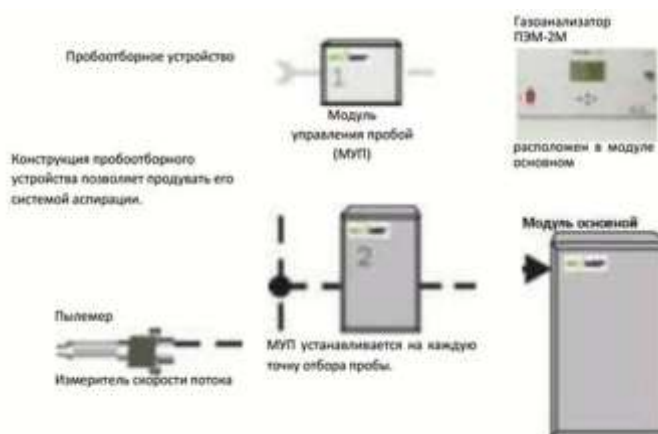


Рис. 2.9. Конфігурація газоаналізатора ПЕМ – 2М

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Оскільки кожна газова компонента аналізованої проби має свій унікальний спектр поглинання, вибором необхідних світлофільтрів можна пов'язати

поглинання (ослаблення) світла у заданому спектральному інтервалі з наявністю тієї чи іншої газової компоненти в аналізованій пробі.

Спосіб реєстрації світлового потоку - піроелектричний.

Одночасний вимір до 6 компонентів газової проби.

Можливість одночасного підключення до 1 газоаналізатора ПЕМ-2М до 8 точок відбору проби. Можливість підключення до комплексу інших засобів вимірювань (пилеміри, витратоміри, термопари та ін.). Цифровий прилад з аналоговими виходами 4-20мА та передачею даних по RS-485.

2.3.4 Закладні деталі та встановлення приладу

Установка приладу Метран-150RFA проводиться в трубопровід, наочно можна побачити рис.2.9.

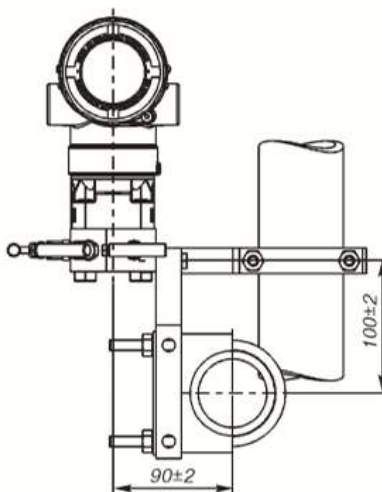


Рис. 2.9. Установка приладу Метран-150RFA

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

2.3.5 Нормування похибки каналу виміру

Нормування похибок каналів вимірювання виконуються відповідно до ДСТУ-Н РМГ 62:2006 Метрологія. Забезпечення ефективності вимірювань під

час керування технологічними процесами. Оцінення похибки вимірів у разі обмеженої вихідної інформації (РМГ 62-2003, IDT)

Як канали вимірів вибираємо канали виміру витрат. Вимоги до похибок каналів вимірів трохи більше 1 %. Розрядність АЦП становить 12 розрядів. Розрахунок допустимих похибок вимірювання витратоміра розраховується за формулою:

$$\delta_1 \leq \sqrt{\delta^2 - (\delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2 + \delta_6^2)}, \quad (2.1)$$

де $\delta = 1\%$ – потрібна сумарна похибка вимірювань каналів вимірювання за довірчої ймовірності 0,95;

δ_2 – похибки передач каналами виміру;

δ_3 - похибки, що вносяться АЦП;

$\delta_4, \delta_5, \delta_6$ - додаткова похибка, що додається відповідно навколишньої температури, температури вимірюваного середовища, електропровідністю вимірюваного середовища.

Похибки, що вносяться дванадцятирозрядним АЦП, розраховуються наступним чином:

$$\delta_3 = \frac{1 \cdot 100}{2^{12}} = 0,02 \%. \quad (2.2)$$

Похибки передач каналами вимірювання встановлюються рекомендаціями [4]:

$$\delta_2 = \frac{1 \cdot 15}{100} = 0,15 \%. \quad (2.3)$$

При розрахунках також враховується додаткова похибка, викликана такими впливами: – температура навколишнього повітря; – температура вимірюваного середовища; – електропровідність вимірюваного середовища.

Додаткову похибку, спричинену температурою навколишнього повітря, встановлюють згідно з рекомендаціями [4]:

$$\delta_4 = \frac{1 \cdot 27}{100} = 0,27 \%. \quad (2.4)$$

Додаткову похибку, викликану температурою вимірюваної середовища, що встановлюються згідно з рекомендаціями [4]:

$$\delta_5 = \frac{1 \cdot 27}{100} = 0,27 \%. \quad (2.5)$$

Додаткову похибку, спричинену електропровідністю вимірюваного середовища, встановлюють згідно з рекомендаціями [4]:

$$\delta_6 = \frac{1 \cdot 8}{100} = 0,08 \%. \quad (2.6)$$

Отже, основну похибку витратомірів, що допускається, не повинні перевищувати

$$\delta_1 \leq \sqrt{1 - (0,0004 + 0,0225 + 0,0729 + 0,0729 + 0,0064)} = 0,9. \quad (2.7)$$

У результаті бачимо, що основна похибка обраного витратоміра не перевищує допустимих розрахункових похибок. Отже, прилад придатний для використання.

2.3.6 Вибір виконавчих механізмів

Виконавчим механізмом (ВМ) позначається пристрій у системах управління, який безпосередньо організовує керуючий вплив з сторін регуляторів на об'єкти управління шляхом механічних перенаправлень регулюючого об'єкта.

Регулююча дія від ВМ забезпечує переміщення РВ від положення «Відкрито» до положення «Закрито», як правило, слідує приймати, що дорівнює 90° ; зменшення цього кута призводить до збільшення швидкості регулювання, що негативно впливає на якість регулювання.

Як виконуючий механізм для регулювання подачі пального палива вибираємо електрозасувку МЕО, (зовнішній вигляд якого наведено на рис. 2.10), яка встановлюється безпосередньо поруч із регулюючим органом (РО) та за допомогою свого важеля впливає на нього. МЕО найбільш недорогий із усіх варіантів, що задовольняє швидкості та якості роботи.



Рис. 2.10. Зовнішній вигляд МЕО

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Для регулювання витрати газу: МЕО 100/25-0,25У має наступні характеристики: 100 Нм - номінальний крутний момент на вихідному валу, номінальний час повного ходу вихідного валу: 25 сек, номінально повний хід вихідного валу: 0,25 г/хв, “У” – помірні кліматичні виконання, споживану потужність: 240 Ватт, тип електродвигуна: ЗДСОР 135-1,6-150). Тип електродвигуна – ЗДСОР 135 1,6-150 (напруга: 220 В, частота: 50 Гц, споживана потужність: 240 Ватт, частота обертання: 150 г/хв). [8].

Для регулювання витрати повітря: МЕО 250/25-0,25У (номінальний крутний момент на вихідному валу: 250 Нм, номінальний час повного ходу

вихідного валу: 25 сек, номінальний повний хід вихідного валу: 0,25 г/хв, —УІІ – помірне кліматичне виконання, споживана потужність: 250 Ватт, тип електродвигуна: ЗДСТР 135-4,0-150). Тип електродвигуна – ЗДСТР 135-4,0-150 (напруга: 380 В, частота: 50 Гц, споживана потужність: 250 Ватт, частота обертання: 150 г/хв). Для регулювання тиску в печі: МЕО МЕО 630/25-0,25У (номінальний момент, що крутить, на вихідному валу: 630 Нм, номінальне час повного ходу вихідного валу: 25 с, номінальний повний хід вихідного валу: 0,25 г/хв, “У” – помірне кліматичне виконання).

Електричне живлення механізмів МЕО-250-99К виконується від мережі трифазної напруги 220/380, 230/400, 240/415 В, частотою 50 Гц 220/380, частотою 60 Гц; механізмів МЕО-99 – від однофазної мережі напруги 220, 215, 230 В, частотою 50 Гц та 220 В, частотою 60 Гц.

Пускатчем безконтактного реверсивного типу ПБР-3А виконується управління МЕО, який призначений для безконтактного керування електричними виконавчими механізмами.

2.4 Розробка схеми зовнішніх підключень

Схема зовнішньої проводки наведена на рис.2.11

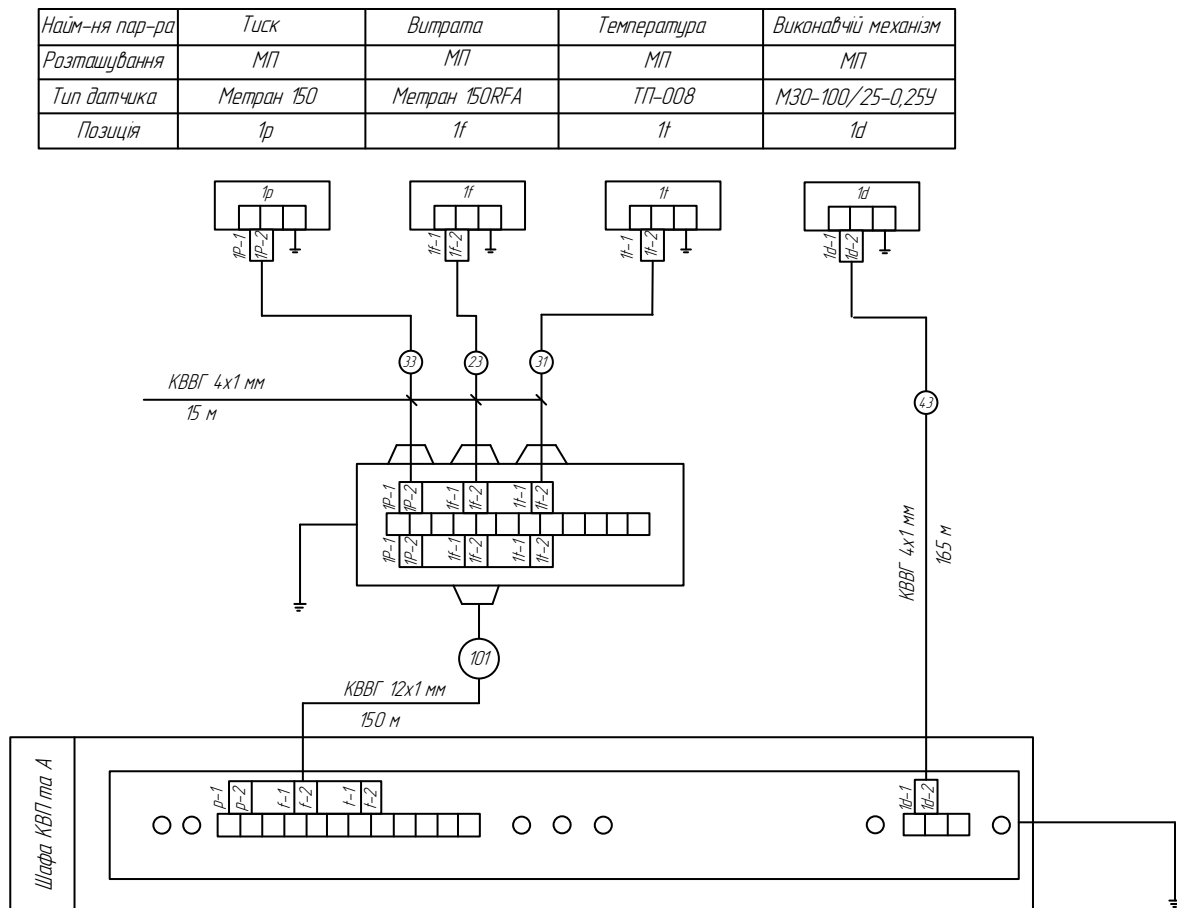


Рис. 2.10. Схема зовнішніх проводок

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Первинні та позащитові прилади включають первинний датчик температури «ТППТ-121-01», вторинний вимірювальний перетворювач «ІП-Т10-09», Датчик тиску-розрядження «Метран-150CDR» та датчик витрати "Метран-150RFA" з уніфікованим вихідним сигналом. Вихідним сигналом даних датчиків є стандартний струмовий сигнал 4-20 мА, який завдяки блоку перетворювачів сигналу, вбудованого в клемну коробку, перетворюється на сигнал промислового інтерфейсу RS-485 Напруга живлення датчиків – 24 VDC. Усі пристрої на схемах зовнішніх проводок розключені відповідно до їх схем. У основі кабелю обраний КВВГ. Це – кабель з мідними струмопровідними жилами з пластмасовою ізоляцією що знаходяться в пластмасових оболонках, з захисним покривом та виготовлений для нерухомих приєднань до електричному приладу, апарату та розподільчому пристрої номінальною змінною напругою до 660 В,

частотою до 100 Гц або постійними напругами до 1000 при температурі навколишнього середовища від -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Мідні струмопровідні жили кабелів КВВГ виготовлені однодротяними. Усі ізольовані жили скручені між собою. Кабель прокладається у трубі діаметром 20 мм [1].

2.5 Вибір алгоритмів керування АС методичної печі

В автоматизованій системі на різноманітних ступенях управління застосовується різні алгоритми [1]:

- Алгоритм запуску/зупинки технологічного обладнання (Релейні пускові схеми) (реалізуються на ПЛК і SCADA-формі),
- релейні або ПД-алгоритми автоматичного регулювання технологічними параметрами технологічного обладнання (управління положенням робочого органу, регулювання температури, витрати тощо) (реалізуються на ПЛК), алгоритми керування збором вимірювальних сигналів (алгоритми у вигляді універсальних логічно завершених програмних блоків, розміщених у ППЗУ контролерів) (використовуються на ПЛК),
- алгоритми автоматичного захисту (ПАЗ) (використовуються на ПЛК),
- алгоритми централізованого управління АС (використовуються на ПЛК та SCADA-формі) та ін.

У роботі були розроблені такі алгоритми АС:

- алгоритм пуску/зупинки технологічного обладнання,
- алгоритм збору даних вимірювань,
- алгоритм автоматичного регулювання технологічним параметром.

2.6 Алгоритм збору даних вимірів

2.6.1 Алгоритм автоматичного регулювання технологічним параметром

Регульованим параметром технологічного процесу є температура в зонах печі, регулювання яким здійснюється зміною витрати палива. Зміна витрати палива реалізується за допомоги зміни % відкриття паливного клапана.. У промислових АСР для управління об'єктом із самовирівнюваннями, незалежно від їх динамічних характеристик, як правило, застосовуються регулятори, що реалізують стандартний ПІ-алгоритм. Він забезпечують прийнятне якість регулювання та більшу стійкість до впливів зовнішніх обурень, ніж у разі використання складнішого алгоритму, особливо містять диференціальні складові. Тому для АСР, що розробляється, обраний ПІ-закон регулювання, налаштування якого мають забезпечити мінімум середньоквадратичних відхилень при допустимому запасі стійкості.

Передатна функція об'єкта по каналу % відкриття паливного клапана-витрата природного газу має вигляд:

$$W(s) = \frac{70}{1.1s^2 + 1.8s + 1} \quad (2.8)$$

Передатна функція об'єкта каналом витрата природного газу - температура продукту в зоні печі:

$$W(s) = \frac{7}{341018s^2 + 812s + 1} \quad (2.9)$$

Передатна функція об'єкта каналом витрата кисню -температура продукту в зоні печі:

$$W(s) = \frac{16}{5s + 1} \quad (2.10)$$

Тому можна скласти схему системи в Simulink.

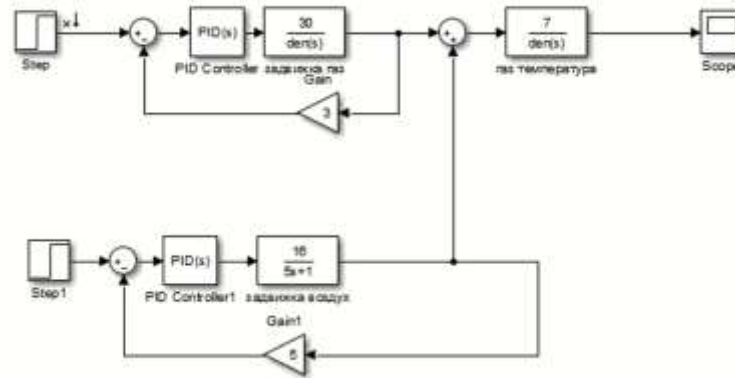


Рис. 2.12. Схема Simulink

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Система складається із двох підсистем. Перша з них реалізує ланцюг "регуляція подачі газу - температура в печі". Друга з них реалізує ланцюг «регуляція подачі кисню – температура печі». Кожна з ланцюжків керується окремим ПІД-регулятором. Внаслідок налаштування ПІД регулятора газової частини системи отримані такі параметри:

Proportional (P): 0.0167932276372551

Integral (I): 1.7082870730752e-05

Derivative (D): 3.3079810926832

В результаті налаштування ПІД регулятора кисневої частини системи отримані такі параметри:

Proportional (P): 0.0167197539224388

Integral (I): 0.00668388116609814

Derivative (D): -0.00303599322560499

Тобто припущення про те, що для печей більше підходить налаштування за допомогою ПІ-регулятора не підтвердилося.

На рисунку 2.13 представлено графік перехідного процесу у системі. Як видно з графіка, час перехідного процесу складає 771 секунд, що є адекватним значенням показника системи подібного виду.

Перерегулювання складає 9%.

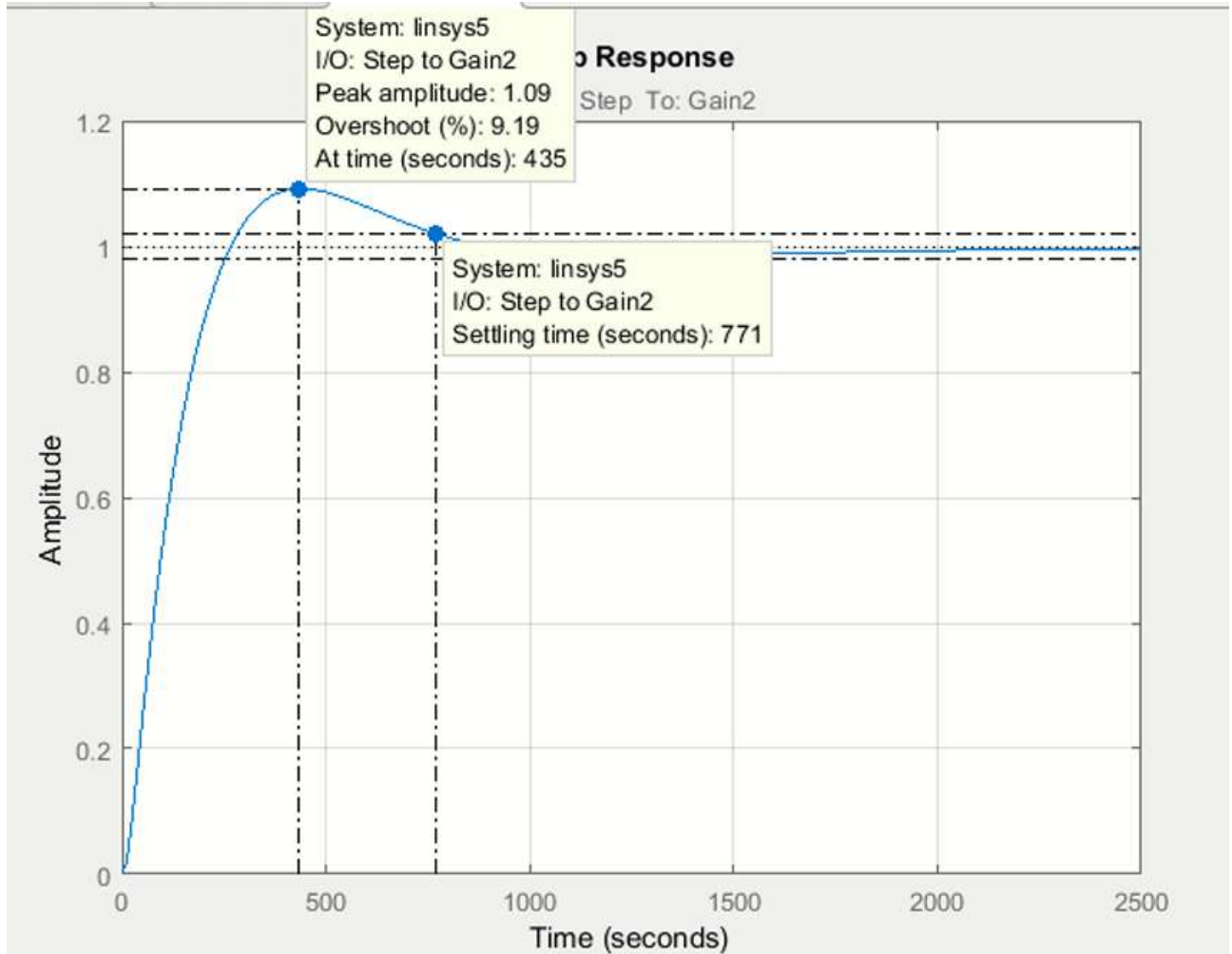


Рис. 2.13. Графік перехідного процесу

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

2.7 Розробка програмного забезпечення для програмованих логічних контролерів

Для програмування систем автоматизації SIMATIC S7/C7/WinAC може бути використано три мови: STL, LAD та FBD.

Мова STL (Statement List) дозволяє створювати найбільш компактні програми, що мають найбільш високу швидкість виконання. При використанні цієї мови

програма вводиться рядково з перевіркою синтаксису або у текстовому вигляді з подальшим перетворенням. Мови програмування контролерів LAD (Ladder Diagram - LAD) та FBD (Function Block Diagram) дозволяють створювати програми, що відповідають вимогам DINEN 6.1131-3.

У роботі розроблено програму серед InTouch (Wonderware, США), що реалізує візуалізацію технологічного процесу, збирання та архівацію даних, сигналізацію про виникнення позаштатних ситуацій, при необхідності, дистанційна зміна режимів роботи виконавчих пристроїв на контрольованому пункті.

SCADA-система InTouch - програмне забезпечення для розробки інтерфейсу людина-машина (HMI). HMI дозволяє контролювати та керувати всіма об'єктами та системами, використовуючи графічні об'єкти, та включає:

- відображення параметрів для керування сигналами;
- відображення поточних та історичних трендів;
- відображення та реєстрацію аварійних сигналів.

При автоматичному режимі керування з екрана монітора можна встановити зміну наступних параметрів: подачу змішаного газу, повітря, мазуту у всіх 5-ти зонах, витрата повітря, витрата мазуту та змішаного газу, тиск у зонах печі. До керуючих елементів на цій панелі відносяться ключі автомат-ручний (Авт/руч) та кнопки з трикутниками, призначені для управління заслінками. Ключі (Авт/руч) призначені для переключення контуру регулювання в автоматичний режим із ручного та назад. Для керування ключем необхідно підвести до нього курсор мишки та клацнути один раз лівою кнопкою. Ключ повинен змінити своє становище - засвітитися зеленим світлом. Якщо клацнути ще раз, ключ повернеться на колишнє місце.

Регулюванням параметрів можна керувати, як у положенні (ручний) так і (Авто). Поряд із кожним параметром, значення якого можна змінювати дистанційно є група із двох кнопок, на яких нанесені трикутники. Один трикутник дивиться вгору, а інший вниз. Якщо підвести курсор і натиснути на ліву кнопку миші, то буде подано сигнал на відкриття або закриття заслінки. Слід

пам'ятати, що з моменту посилки сигналу на відкриття або закриття заслінки до моменту приходу сигналу про зміну положення заслінки може пройти 2-3 секунди, що пов'язано із затримками в посилці та прийманні сигналів від системи та в систему, а також на вибірку люфтів під час роботи механізмів. У системі передбачено збір та архівування технологічної інформації. Доступ до цієї інформації здійснюється за кнопки (інші). Після натискання цієї кнопки повинен виникати екран з графіками, розмічені сіткою.

2.8 Екранні форми АС методичної печі

Головні можливості SCADA-систем:

- збирання бази даних від пристроїв нижнього рівня;
- архівування та зберігання бази даних для наступних обробок (створення архівів подій, аварійної сигналізації, зміни технологічних параметрів у часі, повне або часткове збереження параметрів через певні проміжки часу);
- наочність процесів;
- використання алгоритмів управління, математичних та логічних обчислень (є вбудовані мови програмування типу VBasic, Pascal, C та ін), передаються керуючі дії на об'єкти;
- документування як технологічного процесу, так і процесу управління (створення звітів), видача на друк графіків, таблиць, результатів обчислень та ін;
- мережеві функції (LAN, SQL);
- безпека від несанкціонованого доступу до системи;
- обмін інформацією з іншими програмами (наприклад, Outlook, Word та ін через DDE, OLE і т.д.).

Апаратна доступність пристроїв SCADA це можливість підтримці або можливості працювати з обладнанням різних виробників з використанням OPC технології.

Для приєднання драйверів введення-виводу до SCADA застосовуються базовий динамічний обмін даними OLE (Object Linking and Embedding), включення та вбудовування об'єктів. [2].

Управління в АС методичної печі виготовлено із застосуванням SCADA-систем InTouch. Ця SCADA-система призначена для використання на діючих технологічних установках у реальному часу та вимагає використання комп'ютерної техніки в промисловому виконанні, що несуть відповідальність жорстким вимогам у сенсі якості, ціни та надійності. SCADA-система InTouch, дає можливість роботи з обладнанням різних виробників із застосуванням OPC технології. Іншими словами, застосована SCADA-система має різноманітний вибір апаратури нижнього рівня, тому що дає можливість значного набору драйверів або серверів вводу/виводу. Ця система дає можливість підключитися до неї як зовні, незалежно від працюючого компонента, так і в числі розроблених окремо програмних та апаратних модулів сторонніх виробників.

2.9 Заходи із охорони праці та безпеки при роботі методичної печі

2.9.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Ділянка обслуговування методичних печей має поруч небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Охорона праці – система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують безпеку зберігання здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

До фізичних небезпечних виробничих факторів у прокатному виробництві належать:

- рухомі машини та механізми; рухомі частини обладнання;

- рухомі вироби, заготівлі, матеріали (валки, шпинделі, муфти станів, викиди петлі матеріалу, що прокатується, осколки металу, окалини і шлаку, що прокочуються, що відлітають);

- підвищена температура поверхонь;

- висока напруга в силовій електричній мережі, замикання котрого може відбутися через тіло людини;

- гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготівель, інструментів та обладнання;

- висока ймовірність виникнення спалаху.

До фізичних шкідливих виробничих факторів відносять:

- підвищену запиленість повітря;

- підвищена температура повітря робочої зони;

- підвищену вологість повітря;

- знижену рухливість повітря;

- підвищений рівень інфрачервоної радіації;

- підвищений рівень шуму, інфразвукових коливань, ультразвуку та вібрації;

- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;

- підвищену напруженість електричного та магнітного поля;

- недостатню освітленість робочої зони;

- підвищену яскравість світла;

- знижену контрастність.

Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори підрозділяються:

- характером на організм людини на: токсичні; дратівливі; сенсibiliзуючі; канцерогенні; мутагенні (впливають на репродуктивну функцію);

- шляхом проникнення в організм людини через: органи дихання;

- шлунково-кишковий тракт; шкірний покрив та слизові оболонки.

Виділення шкідливих речовин у повітря (токсичного пилу, газів) відбувається при проведенні технологічних процесів прокату металу та проведення робіт, пов'язаних із застосуванням хімічних речовин та матеріалів

(масло, технічна олія та ін.). У листопрокатних цехах перед холодною прокаткою листів, перед нанесенням захисних покриттів метал очищають від шару окалини шляхом травлення у розведених ваннах сірчаної, соляної чи азотної кислоти.

При прокаті металу найімовірніше проникнення в організм речовин у вигляді пари та пилу через органи дихання (близько 95 % всіх отруєнь).

Процес нагрівання заготовок перед прокаткою на сортових і листових прокатних станах пов'язан з високими температурами (1060-1350 °C), застосуванням електродвигунів, насосів з електричним приводом. З вищепереліченого можна зробити висновок, що це виробництво є небезпечним і потребує суворого дотримання норм техніки безпеки та виробничої санітарії.

Можна особливо виділити такі небезпечні фактори та шкідливості:

- електричний струм – надає шкідливий механічний, тепловий та фізіологічний вплив на організм людини;
- пил, що містить 70 % SO_2 , пил металів та їх неорганічних з'єднань – справляє шкідливий вплив на дихальну систему;
- газ справляє шкідливий вплив на дихальну систему (SO_2 , CO_2 , CO);
- шум та вібрації – погіршують самопочуття працюючих, сприяє придбання професійних хвороб;
- підвищена температура (170-220 °C) - погіршує самопочуття працюючих.

Мікроклімат у прокатних цехах визначається наявністю надмірного конвекційного та променевого тепла, у зв'язку з чим вони належать до групи гарячих цехів. Джерелами тепла є метал, нагріте обладнання, механізми та комунікації, відкриті отвори або кришки нагрівальних пристроїв, горючі гази. Найбільша інтенсивність випромінювання спостерігається на робочих місцях біля нагрівальних печей, прокатних станів. Нагрітий метал є джерелом тепла, яке поширюється цехом. Енергія випромінювання на відстані 1 м від прокату становить до 4-5 кал на 1см^2 за хвилину. Рухаючись цехом, прокат на своєму шляху нагріває все металеве обладнання цеху, та нагріті предмети самі стають джерелом тепла та швидко нагрівають повітря. На робочих місцях нагрівачів металу температура повітря в літній період досягає 40-45 °C, на робочих місцях

вальцівників ливарних станів-35-40 °С. Висока температура повітря спостерігається також на постах управління операторів, у кабінах кранівників, працюючих у головному прольоті табору. Метеорологічні умови в прокатних цехах характеризуються також наявністю ділянок з високою та низькою вологістю повітря, що негативно впливає на самопочуття та здоров'я людини.

2.9.2 Організаційні заходи

З метою забезпечення сприятливих умов праці в цеху передбачено низку організаційних заходів. Відповідальним за стан охорони праці та безпеку роботи в цех є начальник цеху. Головний механік та енергетик відповідають за справне стан електричних вентиляційних установок, контрольної апаратури. Майстер цеху проводить у встановлені терміни інструктаж робітників щодо дотримання безпечних методів роботи, слідкує за виконанням чинними правил та інструкцій з техніки безпеки та виробничої санітарії, правил внутрішнього трудового розпорядку, використанням спецодягу та захисних пристроїв, а також роботою санітарно-гігієнічних установок, чистотою та порядком. Майстер також бере участь у розслідуванні причин нещасного випадку та професійному управлінні, у розробці заходів щодо усунення причин та попередження нещасних випадків. На металургійних підприємствах існують відділи техніки безпеки, основними завданнями яких є: щодо працюючого обладнання – перевірка безпеки експлуатації, якості контролю та ремонту; щодо персоналу – забезпечення технічної інформації, інструктаж та пропаганда. Усі ІТП перед призначенням на роботу проходять атестацію в загальнозаводської атестаційної комісії у складі головного інженера, заступника головного інженера з техніки безпеки, начальника відділу техніки безпеки, головного механіка, представників правового відділу та відділу кадрів.

Існує такі види інструктажу робочого персоналу: вступний інструктаж на робочому місці, поточний інструктаж, повторний та оперативний. Також велике значення має пропаганда безпечних методів роботи у обчислювальному цеху.

Проводяться лекції, бесіди, присвячені заходам боротьби з травматизмом, питанням гігієни праці та ін.

2.9.3 Забезпечення електробезпеки

Широке використання електричного струму надає питанням безпеки важливе значення, так як, вплив електричного струму на організм може викликати небезпечні наслідки і навіть призвести до смерті. За небезпеки поразки людей електричним струмом металургійні підприємства належать до ІІ категорії, це зумовлює застосування електрообладнання у захищеному виконанні. У цехах працюють електродвигуни високої напруги. Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачені: діелектричні боти, рукавички, килимки. Проведення ремонту електричних агрегатів дозволяється лише особам, які мають на це право. Ураження електричним струмом є небезпечним фактором для працюючих. На ділянці використовується напруга 380, частота струму 50 Гц. Все електроустаткування та всі металеві конструкції підлягають обов'язковому заземленню. Заземлені об'єкти до магістрального заземлення приєднуються паралельно. Магістраль заземлення прокладена по території будівлі на всіх відмітках та з'єднана у двох місцях із контурами заземлення підстанції цеху. У зв'язку з тим, що при впровадженні АСУТП для обчислювально керуючих машин виділено приміщення безпосередньо в цеху, то контур її заземлення з'єднується із контуром заземлення підстанції цеху. Усі заходи щодо електрозахисту відповідає ПУЕ. Проектований груповий заземлювач-контурний, складається з чотирьох вертикальних трубоподібних заземлювачів довжиною 5 м і діаметром 100 мм і горизонтального заземлювача, у вигляді сталевий смуги довжиною 10 м площею перерізу 4×40 мм, заглиблених на 1 м.

Організація припливно-витяжної вентиляції

У відділенні плавки вміст шкідливих газів та пилу не перевищує ГДК. У цеху здійснюється природний повітрообмін із рухом повітря у робочій зоні зі

швидкістю руху до 0,5 м/с. У дверних отворів встановлюється калорифер КФСО-8, який регулює взимку гаряче, а влітку – холодне повітря температури +19 °С. Вологість повітря не перевищує 75 %. Відповідно до СН 245-2001 при категорії середньої тяжкості робіт допускається температура повітря до 17-22 °С, відносна вологість не більше 75 %. Таким чином, відхилення від СІ немає. У цеху передбачена система вентилявання повітря. Для вентилявання повітря також застосовують центральні системи (однотональні, багатотональні) місцеві кондиціонери, системи з роздільною обробкою повітря.

Кондиціонери застосовують для обслуговування одного приміщення, зокрема обчислювального цеху.

Захист від механічних травм

Для організації планомірної боротьби з травматизмом організовується суворий облік та документація нещасних випадків. Усі майданчики та перехідні містки у відділенні плавки, що знаходяться на висоті більше 0,5 м, забезпечені сходами та поручнями з висотою 1,2 м і з поперечиною на висоті 0,5 м. майданчики, розташовані на висоті понад 0,3 м над рівнем підлоги, забезпечені сходами. Кут нахилу сходів 45°, ширина 0,7 м. Всі частини агрегатів, що обертаються, мають огороження і відповідні написи: «обережно», «небезпечно».

Шнеки, сполучні муфти мають закриті та закріплені огорожі.

Забезпечення метеорологічних умов

Для характеристики умов праці важливе значення має виробничий мікроклімат – комплекс значень фізичних характеристик метеорологічних факторів в обмеженому просторі виробничого приміщення. До метеорологічним характеристикам відносяться температура повітря, вологість, швидкість руху.

Мікроклімат впливає на самопочуття людини, її працездатність та перебіг фізіологічних процесів, від яких залежить підтримка постійної температури тіла. Теплові дії на організм можуть бути причиною швидкої втоми, зниження працездатності, ослаблення опору організму до шкідливих впливів, різних захворювань. Способи захисту від променистого потоку: теплоізоляція нагрітих поверхонь; екранування теплового випромінювання; застосування захисного

одягу; використання повітряного душу з підкачуванням свіжого повітря; організація раціонального відпочинку в період роботи.

Захист від шуму та вібрації

Джерелами шуму в приміщенні цеху двигуни, витяжна вентиляція, мостові крани та ін. Шум перешкоджає зосередженню уваги, ускладнює виконання робіт, що викликає зміни в нервовій системі, впливає на психіку, на серцево-судинною систему, травлення людини, погіршується сон. Робота в умовах шуму та вібрацій може викликати головний біль, запаморочення та ін., безпосередніми ініціаторами вібрації та шуму є двигуни, вентилятори.

Усі джерела шуму та вібрації враховані. Їхній загальний рівень складає трохи більше 25 ГЦ. Для зниження шуму в цеху в безпосередній близькості від печі необхідно використовувати навушники, а стіни приміщення операторного зали облицьовані шумопоглинаючим матеріалом.

Приміщення, де розташовані персональні обчислювальні машини, відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки [31]. Однак, небезпечний та шкідливий вплив на людей електричного струму та електричної дуги виявляються у вигляді електротравм та професійних захворювань [24]. До заходів щодо запобігання можливості ураження електричним струмом слід зарахувати:

- при виконанні монтажних робіт необхідно використовувати тільки справний інструмент, атестований службою КВП;
- з метою захисту від ураження електричним струмом, що виникає між корпусом приладів та інструментом при пробі мережевої напруги на корпус, корпуси приладів та інструментів повинні бути заземлені;
- при увімкненій мережній напрузі роботи на задній панелі повинні бути заборонені;
- усі роботи з усунення несправностей повинен виконувати кваліфікований персонал;
- необхідно постійно стежити за справністю електропроводки [31].

Перед початком роботи слід переконатися у відсутності тих, що звисають зі стола або проводів електроживлення, що висять під столом, в цілісності вилки та дроти електроживлення, у відсутності видимих пошкоджень апаратури та робочих меблів, у відсутності пошкоджень та наявності заземлення приєднаного фільтра. Струми статичної електрики, наведені в процесі роботи комп'ютера на корпусах монітора, системного блоку та клавіатури, можуть призводити до розрядів при дотику до цих елементів. Такі розряди небезпеки для людини не становлять, але можуть призвести до виходу з ладу комп'ютера. Для зниження величин струмів статичної електрики використовуються нейтралізатори, місцеве та загальне зволоження повітря, використання покриття підлог з антистатичною просоченням.

2.9.4 Забезпечення пожежної безпеки

За пожежну безпеку відповідальність несе начальник інформаційно-обчислювального центру ІОЦ. Приміщення, де розміщуються засоби обчислювальної техніки в відповідно до протипожежних норм будівельного проектування промислових підприємств за рівнем вогнестійкості відносяться до 111 групи, але пожежної небезпеки – до категорії Р (СН та П 11-М2-72).

Інформація ІОЦ – пакети магнітних дисків, дискети тощо, розташовуються у відокремлених приміщеннях. Виходячи з розрахунку один вогнегасник на 600 м для гасіння пожежі встановлюють один переносний вогнегасник ОХП-10.

У протипожежних цілях за проектом передбачається автоматизована пожежна сигналізація: для повідомлення про пожежу передбачено встановлення двох телефонів – один у приміщенні ОЦ, інший (телефон-автомат) – у коридорі.

Використовують установку СТПХ-1, датчики якої реагують на дим, тепло і світло полум'я. У разі виникнення пожежі передбачається такі шляхи евакуації: - дверні отвори, які ведуть із приміщень безпосередньо в назовні; - перехід або коридор з безпосереднім виходом назовні або на сходові майданчики; - запасні виходи, які не використовують при нормальному русі,

але можуть бути використані у разі необхідності при вимушеній евакуації.

Для гасіння пожежі застосовується зовнішній трубопровід, який розташований на території заводу за кільцевою схемою. Оповіщення про пожежу здійснюється через телефон, гучномовний зв'язок. У цеху передбачається блискавкозахисту регламентується вказівками проектування та влаштування блискавкозахисту будівлі та споруд (СН та П 11-4-79) «Протипожежні норми проектування».

9.4.5. Екологічна безпека

Охорона довкілля зводиться до усунення відходів побутового сміття та відходів життєдіяльності людини. У разі виходу з ладу ПК, вони списуються і вирушають на спеціальний склад, який при необхідності вживає заходів щодо утилізації списаної техніки та комплектуючих [32]. Одним із найпоширеніших джерел ртутного забруднення є люмінесцентні лампи, що вийшли з експлуатації. Кожна така лампа, крім скла та алюмінію, містить близько 60 мг ртуті. Тому люмінесцентні лампи, що відслужили свій термін, а також інші прилади, містять ртуть, є небезпечним джерелом токсичних речовин [32]. Утилізація ламп передбачає передачу використаних ламп підприємствам – переробникам, які за допомогою спеціального обладнання переробляють шкідливі лампи в нешкідливу сировину – сорбент, яке в подальшому використовують як матеріал для виробництва, наприклад, тротуарної плитки.

Під зберіганням відходів розуміється тимчасове розміщення їх у спеціально відведених для цього місцях або об'єктів до їх утилізації [32]. Відпрацьовані люмінесцентні лампи належать до відходів, які сортуються та збираються окремо, тому утилізація люмінесцентних ламп та їх зберігання повинні відповідати певним вимогам.

ВИСНОВКИ

У поданій випускній роботі запропоновано реалізувати систему автоматичного регулювання температури у зоні первинного нагріву методичної печі ЛПЦ-1. В даний час обладнання контролю та регулювання технологічним процесом методичних печей морально застаріло. Розробка автоматичної системи регулювання дозволяє підвищити рівень безпеки в цехах та забезпечувати збереження здоров'я обслуговуючого персоналу лінії виробництва. Удосконалення поточної системи регулювання температури методичних печей дозволить забезпечити надійний та якісний захист на тривалий термін. Що означає надійну та значиму актуальність цієї системи та у майбутньому.

У першій частині: поставлено технічне завдання, описані цілі та завдання АС, призначення та склад досліджуваного об'єкта, а також основні вимоги до

схеми, що розробляється. Дано опис технологічного процесу методичної печі, склад та сфера застосування, пристрій та робота.

У другій частині: розроблено структурну та функціональну схеми АС, схему інформаційних потоків. Здійснено вибір засобів реалізації, вибір алгоритмів управління АС, а також розроблено схему зовнішніх проводок.

Було вирішено наступні завдання:

1. Розроблено структурну та функціональну схеми автоматизованої системи регулювання температури в зоні первинного нагріву методичної печі, що дає можливість визначити склад необхідного обладнання та кількість каналів передачі даних та сигналів.
2. Розроблено схему зовнішніх проводок, що дає зрозуміти систему передачі сигналів від датчиків пристроїв на щит КВП і АРМ оператора та, у разі виникнення несправностей, можливо було їх легкого усунення.
3. Розроблені алгоритми пуску/зупинки технологічного обладнання, для управління технологічним обладнанням та збиранням даних.
4. Для розроблених алгоритмів було розроблено програмне забезпечення для ПЛК. Розроблено мнемосхеми системи регулювання та відображення загальної інформації.

Таким чином, спроектована САР температури у зоні первинного нагрівання методичної печі не тільки задовольняє поточним вимогам до системи автоматизації, має високу гнучкість, що дозволяє змінювати та модернізувати розроблену САУ в відповідно до зростаючих вимог протягом усього терміну експлуатації. Ця система також є економічно вигідною та надійною, розглядаючи її рівень безпеки обслуговуючого персоналу лінії виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кравцов О.Ф., Зайцев Є.В., Чуйко Ю.М. Розрахунок автоматичних систем контролю та регулювання металургійних процесів. Київ-Донецьк: Вища школа, 1981.-252с.
2. Конспект лекцій з дисципліни «Металургійні печі» для студентів підготовки напряму 6.050401 Металургія /Укл.: Крячко Г.Ю. – Кам'янське; ДДТУ, 2016р., 36 стор.
3. Kukhtik, M. P. Automatized slab heating control system in A continuous furnace [electronic resource] / Y. P. Serdobintsev, M. P. Kukhtik // international journal of applied and fundamental research. - 2013. - № 2. - USB: [HTTP://www.science-sd.com/455-243I4](http://www.science-sd.com/455-243I4)
4. Автоматизація технологічних процесів у металургії: підручник / В. М. Моргунов, С. В. Плотніков, О. А. Серих. Дніпро : Журфонд, 2021. 364 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/151021>
5. Теплотехніка нагрівальних та термічних печей : навч. посіб. / О. В. Кузнєцов, Ю. Г. Серостан. Харків : НТУ «ХПІ», 2022. 210 с.
URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/>
6. Розрахунок та проектування автоматизованих систем керування тепловими об'єктами : метод. вказівки до викон. магістер. роб. та диплом. проектів / уклад. А. М. Макаренко. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 88 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37521>
7. Оптимізація режимів роботи методичних печей прокатного виробництва : монографія / В. І. Тимошпольський, М. П. Решетняк. Кривий Ріг : Видавець, 2021. 192 с.
8. Сучасні датчики та виконавчі механізми в системах автоматизації металургійного виробництва: навч. посіб. / Р. П. Стріхар. Львів: Новий Світ-2000, 2023. 256 с.
9. Правила технічної експлуатації металургійних печей: державний нормативний акт з охорони праці. Київ: Основа, 2020. 144 с.

10. Програмні логічні контролери в системах керування промисловими печами : техн. довідник / О. М. Ткаченко. Вінниця: ВНТУ, 2022. 115 с.
URL: <https://iq.vntu.edu.ua/>
11. Системи автоматичного регулювання температури в зонах нагріву методичних печей: стаття / І. В. Коновалов // Металургійна та гірничорудна промисловість. 2023. № 2. С. 45-52. URL: <https://metallurgy-mining.org/>
12. Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях: методичні вказівки до виконання розділу у дипломних проектах для студентів спеціальностей МО всіх форм навчання/уклад. І. Л. Марченка. - Краматорськ: ДДМА, 2015. – 133с.
13. Моделювання та автоматизація теплових процесів у металургійних печах : навч. посіб. / О. В. Серих, В. П. Губинський, Ю. Г. Серостан. Дніпро : Журфонд, 2022. 284 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/>
14. Інтелектуальні системи керування в металургії : монографія / В. М. Куцин, М. О. Жаботинський. Запоріжжя : ЗНТУ, 2021. 216 с. (корисно для опису сучасних алгоритмів регулювання температури).
15. Енергоефективність нагрівальних печей прокатних станів : підручник / І. В. Коновалов. Кривий Ріг : КНУ, 2023. 176 с. URL: <http://knu.edu.ua/>
16. Сенсори та системи вимірювання в екстремальних умовах металургійного виробництва : навч. посіб. / М. П. Пилипенко, С. В. Волков. Харків : ХНУРЕ, 2024. 190 с. (ідеально для вибору датчиків у зону первинного нагріву).
17. Методи та засоби автоматизації технологічних об'єктів : навч. посіб. / С. О. Федоритенко, В. В. Кухарчук. Вінниця : ВНТУ, 2023. 152 с. URL: <https://iq.vntu.edu.ua/>
18. Проектування автоматизованих систем керування на базі промислових контролерів : метод. вказівки до диплом. проектування / уклад. О. С. Герасименко. Київ : НТУУ «КПІ», 2021. 74 с. URL: <https://ela.kpi.ua/>

ДОДАТКИ



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

151-17д-2026врб

Автор

151-17д-2026врб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є.О.

ІД документу

334249757

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/10/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



11063

КІЛЬКІСТЬ СЛІВ



85815

КІЛЬКІСТЬ СИМВОЛІВ

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		1
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		158

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відірвати кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Копіювати текст

НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА (URL, НАЗВА БАЗИ)

КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ
(ФРАГМЕНТІВ)

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, Нікішин Антон Олександрович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система регулювання температури у зоні первинного нагріву методичної печі» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував не дозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований, що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений з умовами такого розміщення.

Дата 01.06.2026

Підпис