МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему Проект автоматизації методичної печі. Система автоматичного управління температурою по зонам

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1512
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Папка С.Ю.

Керівник доцент, к. т. н. Барішенко О.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент _____

Запоріжжя 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (бакалаврський)
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код та назва)

Спеціалізація _____
(код та назва)

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ
Папка СтаніславЮрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проект автоматизації методичної печі. Система автоматичного управління температурою по зонам _____.
керівник роботи Барішенко О.М., доцент к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1833-с
2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз існуючого рівня автоматизації; розробка схеми інформаційних потоків; розробка технічного завдання; структура програмно-технічного комплексу; проєктування системи управління температури по зонам; розробка технічної документації; техніко-економічних показники; охорона праці, пожежна безпека
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): функціональна схема автоматизації, принципові електричні схеми, монтажно-комутаційна схема, схема зовнішніх з'єднань креслень) презентація роботи

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доцент, Барішенко О.М.		
2	доцент, Барішенко О.М.		
3	доцент, Барішенко О.М.		
4	доцент, Барішенко О.М.		
5	доцент, Барішенко О.М.		
6	доцент, Барішенко О.М.		

7 Дата видачі завдання 14.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючого рівня автоматизації	21.04-27.04.26	
2	Розробка схеми інформаційних потоків	28.04-04.05.26	
3	Розробка технічного завдання	05.05-07.05.26	
4	Вибір структури та складу програмно-технічного комплексу	08.05-10.05.26	
5	Проєктування системи регулювання температури по зонам	08.05-14.05.26	
6	Розробка технічної документації	15.05-18.05.26	
7	Розрахунок системи автоматизації та показників її надійності	19.05-21.05.26	
8	Розрахунок техніко-економічних показників	22.05-23.05.26	
9	Розгляд питань охорони праці та техногенної безпеки	24.05-25.05.26	
10	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю, підготовка доповіді	26.05 – 10.06.26	

Студент _____ Станіслав ПАПКА
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Олена БАРІШЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Андрій КОЛОСОК
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Папка С. Ю. Проект автоматизації методичної печі. Система автоматичного управління температурою по зонам.

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології», науковий керівник О. М. Барішенко, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2026.

Метою роботи є проєктування автоматизованої системи управління температурою по зонам методичної печі.

У ході виконання роботи було проведено аналіз методичної печі як об'єкта автоматичного керування, визначено основні технологічні збурення та керуючі впливи. Розроблено математичну модель процесу керування температурою по зонах печі. Запропоновано функціональну структуру системи автоматизації та обґрунтовано вибір контурів регулювання температури для кожної зони. Виконано вибір сучасних технічних засобів автоматизації, зокрема мікропроцесорного контролера, первинних вимірювальних перетворювачів температури та виконавчих механізмів. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для реалізації системи автоматичного регулювання температурного режиму печі. Розраховано техніко-економічні показники впровадження системи автоматизації та підтверджено економічну доцільність проєкту.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, шести розділів, висновків, переліку джерел посилання з 51 найменування, викладена на 75 сторінках машинописного тексту, включаючи 20 рисунків, 3 таблиці та 9 аркушів графічного матеріалу.

Ключові слова: методична піч, автоматизація технологічного процесу, система автоматичного регулювання, температура, зони нагріву, термопара

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1. ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ 9
1.1 Технологічний опис об’єкта автоматизації 9
1.2 Режими нагрівання металу 12
1.3 Постановка задачі проєктування системи автоматизації 16
2 ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 20
2.1 Обґрунтування цілей створення проекту автоматизації 20
2.2 Вибір та обґрунтування системи автоматизації 22
2.3 Принципи управління технологічними параметрами 24
2.4 Інформаційне забезпечення системи автоматизації 26
2.5 Обґрунтування схеми інформаційного забезпечення системи управління .. 28
2.6 Структура і метрологічні характеристики інформаційних каналів 29
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ 32
4. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПО ЗОНАМ 40
4.1 Схема інформаційних і матеріальних потоків САУ 40
4.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів САУ 42
4.3 Розробка програми контролера 50
4.4 Функціональні схеми автоматизації управління 53
5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 56
5.1 Охорона праці 56
5.2 Вимоги до обладнання 59
5.3 Заходи з електробезпеки 61
5.4 Пожежна безпека 65
6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ 67
ВИСНОВКИ 70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 71

ВСТУП

Сучасний етап розвитку металургійного виробництва характеризується інтенсифікацією технологічних процесів, підвищенням вимог до якості готової продукції та необхідністю жорсткої економії енергетичних ресурсів. Методична піч є одним із ключових та найбільш енергоємних об'єктів металургійного комплексу, який забезпечує нагрів металевих заготовок до заданої температури перед подальшою пластичною деформацією (прокаткою, куванням або штампуванням). Якість нагріву злитків безпосередньо визначає як експлуатаційні характеристики металу, так і техніко-економічні показники роботи всього прокатного стану.

Термічна обробка та нагрів потребують забезпечення високої точності відтворення заданих технологічних режимів, рівномірності температурного поля в повному обсязі робочого простору печі та на поверхні садки, а також мінімізації витрат палива. Будь-які коливання температури в робочому просторі агрегату призводять до виникнення дефектів металу (недогрів, перепал, нерівномірна структура), що збільшує відсоток браку. З огляду на складність динамічних процесів у печі, виконання цих вимог можливе лише за умови повної автоматизації теплового режиму.

Автоматизація металургійних процесів є головним і найбільш перспективним напрямком розвитку промисловості. Вона дозволяє звільнити людину від безпосередньої участі у керуванні небезпечними й важкими процесами, покращити умови праці та суттєво підвищити техніко-економічні показники виробництва. Сучасний підхід до автоматизації базується на впровадженні «гнучкого» обладнання та мікропроцесорних систем управління (МПСУ), які інтегрують передові принципи агрегатування і програмного керування.

Застосування мікропроцесорної техніки дозволяє значно розширити функціональні можливості систем управління за рахунок динамічного відображення інформації, оперативного формування графіків технологічних

параметрів, архівування даних, створення передісторії процесу та генерації звітних документів. Це суттєво спрощує ведення технологічного процесу оператором та підвищує надійність обладнання в умовах високої концентрації операцій.

Найкращі результати автоматизації досягаються завдяки системному підходу, що передбачає детальне вивчення властивостей об'єкта та побудову багатоконтурних систем керування. Для компенсації збурень і адаптації систем до параметричних змін доцільно впроваджувати складні структури типу каскадних систем із додатковими сигналами та сучасними алгоритмами регулювання. З огляду на зонну структуру методичних печей, де кожна зона має свої динамічні характеристики та вимоги до теплового потужності залежно від марки сталі й маси заготовок, задача розробки ефективної системи автоматичного управління температурою по зонах є надзвичайно актуальною.

Об'єкт дослідження – технологічний процес нагріву металевих заготовок у методичній печі металургійного виробництва.

Предмет дослідження – системи та алгоритми автоматичного керування і позонного регулювання температурного режиму методичної печі на базі мікропроцесорних засобів.

Метою дипломної роботи є розробка проекту автоматизації методичної печі із створенням високоефективної системи автоматичного управління температурою по зонах для забезпечення стабільної якості нагріву металу та оптимізації витрат палива.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– виконати аналіз методичної печі як об'єкта автоматичного керування, визначити основні технологічні збурення та керуючі впливи;

– розробити математатичну модель управління температурою по зонам печі;

– розробити функціональну структуру системи автоматизації та обґрунтувати вибір структури контурів регулювання температури для кожної

зони печі;

– здійснити вибір сучасних технічних засобів автоматизації, включаючи мікропроцесорні контролери, первинні перетворювачі та виконавчі механізми;

– розробити алгоритмічне та програмне забезпечення для реалізації каскадних або багатоконтурних систем регулювання.

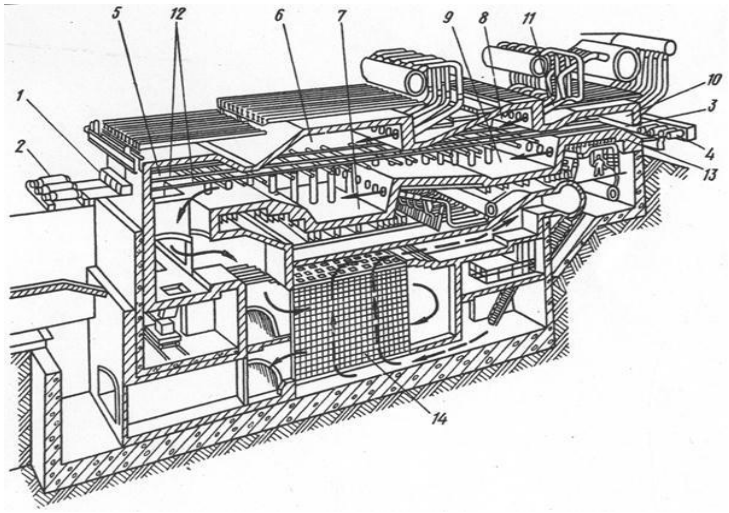
Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці комплексної технічної та алгоритмічної документації, яка може бути використана для модернізації діючих систем керування методичними печами з метою підвищення їх продуктивності, зменшення питомих витрат палива, зниження відсотку браку продукції та покращення екологічних показників виробництва.

1. ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Технологічний опис об’єкта автоматизації

Об'єктом дослідження у цьому дипломному проекті є методична піч безперервної дії, що призначена для високотемпературного нагріву металевих заготовок перед їх подальшою обробкою на прокатному стані. Конструктивно агрегат поєднує в собі робочий простір (де безпосередньо спалюється паливо та здійснюється теплопередача до металу) і комплекс допоміжних систем, серед яких: система опалення, механізми транспортування заготовок, контур охолодження елементів печі, а також підсистема автоматичного керування тепловим режимом.

У роботі розглядається конструкція п’ятизонної штовхальної методичної печі. Кількість опалювальних зон безпосередньо визначає назву та специфіку конфігурації агрегату.



1 – вікно посада металу; 2 – штовхач; 3 – вікно відачі металу; 4 – рольганг; 5 – методична зона; 6 – зварювальний зона; 7 – пальник нижнього топленого; 8 – томильную зона; 9 – пальник томильної зони; 10 – заслонка вікна видачі металу; 11 – газ і повітря верхніх пальників; 12 –димоходи (кабана); 13 –под томильної зони; 14– рекуператор

Рисунок 1.1 – П'ятизонна штовхальна методична піч у розрізі

Схема технологічного процесу та внутрішній устрій печі реалізовані за таким принципом.

Вихідні заготовки за допомогою завантажувального рольганга подаються до завантажувального вікна печі. Переміщення металу всередині робочого простору здійснюється за допомогою механічного штовхача. Заготовки розташовуються на поду впритул одна до одної (стикаючись бічними гранями), утворюючи суцільну лінію. Під дією зусилля штовхача вся партія заготовок синхронно просувається вздовж печі. При надходженні нової заготовки з протилежного боку через вікно видачі на приймальний рольганг скидається вже нагрітий до заданої температури метал.

Для забезпечення оптимального графіка нагріву внутрішній простір печі розділений на п'ять функціональних зон:

– методична зона (зона попереднього підігріву) – є неопалювальною;
– перша зварювальна зона (двостороння: верхня та нижня);
– друга зварювальна зона (двостороння: верхня та нижня);
– зона витримування (томління).

Усі зони, крім методичної, обладнані пальниковими пристроями, де спалюється паливо (природний або змішаний газ, мазут).

Тепловий режим нагріву: Нагрівання металу відбувається поступово (методично) у міру його просування через зони:

Спочатку заготовки потрапляють у методичну зону, де за відносно низьких температур відбувається їх м'який попередній підігрів газами, що відходять.

Далі метал проходить через зварювальні зони, де підтримується максимальна температура для забезпечення високої швидкості нагріву.

Фінальний етап проходить у зоні витримування (томління), де за стабільної температури відбувається вирівнювання температурного профілю по всьому перерізу заготовки.

Технологічний режим роботи досліджуваної методичної печі є безперервним. Динаміка споживання палива безпосередньо залежить від етапу

знаходження металу в робочому просторі: максимальні обсяги витрати газу фіксуються в зварювальних зонах під час інтенсивного нагріву заготовок. У міру просування садки до зони витримування (томління) та досягнення злитками заданих температурних параметрів, питома витрата газу поступово знижується, сягаючи свого технологічного мінімуму.

Проте існуюча схема опалення з одностороннім розташуванням пальникових пристроїв за умов штатної експлуатації не здатна забезпечити належну рівномірність прогріву заготовок. Це зумовлено високою нерівномірністю температурного поля всередині кожної з умовних зон печі.

Як свідчить виробничий досвід експлуатації аналогічних агрегатів на ПАТ «Запоріжсталь», градієнт температур за перерізом та довжиною заготовки може досягати значних величин – близько 100–120 °С.

Спроби нівелювати цей температурний перепад шляхом збільшення тривалості витримування металу в томильній зоні є неефективними й призводять до низки негативних наслідків:

– суттєвого зниження загальної продуктивності нагрівального агрегату та всього прокатного стану;

– перевитрати дефіцитного та дорогого паливного газу;

– інтенсифікації процесів окислення металу та підвищеного окалиноутворення, що погіршує якість поверхні заготовок.

Збереження зазначеного температурного перепаду перед видачею металу є критичним, оскільки воно призводить до появи внутрішніх дефектів, нерівномірності деформації та, як наслідок, до підвищеного браку готової продукції в процесі прокатки.

На даному етапі методична піч оснащена базовими засобами контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВПіА). Безпека експлуатації теплотехнічного агрегату забезпечується контурами технологічного захисту, що включають звукову та світлову сигналізацію, яка спрацьовує у випадках аварійного падіння тиску паливного газу або дутьового повітря нижче

допустимих меж. Проте наявний рівень автоматизації потребує модернізації в частині впровадження точного позонного мікропроцесорного керування для усунення виявлених теплових дисбалансів.

1.2 Режими нагрівання металу

Ефективність, продуктивність та економічні показники роботи сучасних прокатних цехів безпосередньо залежать від технічного стану та експлуатаційних характеристик нагрівальних агрегатів. Серед усього різноманіття теплотехнічного обладнання в металургії найбільшого поширення набули саме методичні нагрівальні печі безперервної дії.

Еволюція конструкцій методичних печей відбувалася шляхом інтенсифікації теплообміну для скорочення тривалості нагріву, нарощування одиничної теплової потужності й продуктивності, а також завдяки комплексній механізації та автоматизації як самого теплового режиму, так і супутніх трудомістких операцій.

З погляду теплотехніки, методична піч є складним агрегатом, у якому одночасно протікають взаємопов'язані процеси:

- хімічне спалювання палива;
- складна аеродинаміка руху димових газів;
- радіаційно-конвективний теплообмін;
- безпосередній нагрів масивної металевої садки.

Водночас як теплообмінні апарати методичні печі мають унікальні специфічні особливості, які відображаються в їх класифікації за температурним та тепловим режимами. Ця класифікація визначає насамперед режимні параметри роботи агрегату, які, хоч і зумовлені його конструкцією, описують саме динаміку теплотехнічних процесів.

Температурний режим методичної печі визначає характер зміни температури джерела тепла (безпосередньо продуктів згоряння та внутрішньої футеровки/кладки печі) у часі або вздовж довжини робочого простору агрегату.

Тепловий режим описує характер і динаміку зміни теплових потоків, що впливають на металеві заготовки під час їхнього нагріву або в міру переміщення по довжині печі. Графічно цей режим відображається у вигляді спеціальних теплових діаграм (рис. 1.2).

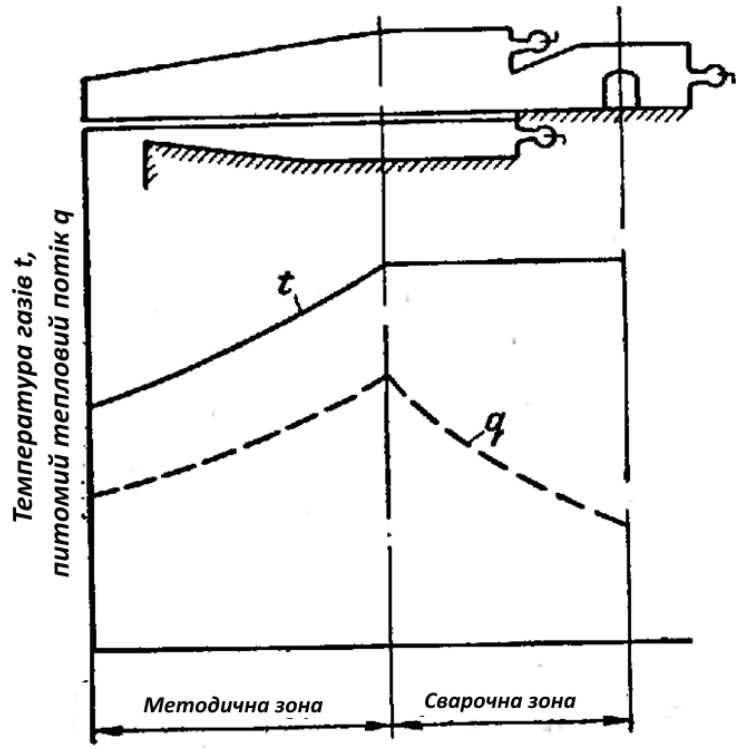


Рисунок 1.2 – Діаграми трьохзонного температурного й теплового режимів методичних печей

Розподіл робочого простору печі на окремі ділянки дозволяє гнучко керувати теплопередачею. На типових діаграмах тризонного температурного й теплового режимів робочий простір печі за довжиною чітко диференціюється на три функціональні зони:

Перша зона (методична) – ділянка, де нагрів садки здійснюється виключно за рахунок фізичного тепла продуктів згоряння, що відходять.

Друга зона (зварювальна) – ділянка інтенсивного нагріву, де використовується як фізичне тепло газів, так і хімічна енергія, що виділяється

безпосередньо при спалюванні палива. Саме тут забезпечується максимальний тепловий потік та досягається найвища температура на поверхні металу.

Третя зона (витримування) – ділянка гомогенізації теплового стану, призначена для мінімізації температурного градієнта по всьому об'єму виробів.

Кожній із зазначених теплотехнічних зон відповідають індивідуальні граничні умови та специфічні розв'язки диференціального рівняння теплопровідності Фур'є, що зумовлює застосування різних методів їх інженерного розрахунку.

Характерною особливістю такого режиму є те, що в зоні інтенсивного нагріву для забезпечення високої швидкості теплопередачі підтримується значно вищий рівень температури, ніж у фінальній зоні витримування, де тепловий потік знижується задля запобігання перегріву та оплавленню поверхні металу.

Головною функцією зони витримування (томління) є вирівнювання температурного профілю по перерізу металевої заготовки після її форсованого (інтенсивного) нагріву в зварювальній зоні. У досліджуваному проекті для термічної підготовки різних марок сталей перед прокаткою розглядається тризонна прохідна методична піч.

У реальних інженерних рішеннях кількість конструктивно відокремлених частин робочого простору може не збігатися з кількістю теплотехнічних зон:

Наприклад, верхня та нижня камери однієї й тієї самої зони розглядаються в розрахунках як окремі елементи, хоча вони виконують ідентичні теплотехнічні функції.

При торцевому розташуванні пальників верхні та нижні ділянки другої зони часто розділяють на кілька послідовних камер. Це необхідно для компенсації недостатньої довжини факела та забезпечення високої інтенсивності теплообміну по всій довжині ділянки.

Водночас трапляються випадки, коли за конструктивними ознаками піч виглядає як однозонний агрегат (без видимих внутрішніх меж або перетинок), проте функціонально в ній чітко реалізуються всі три теплотехнічні зони.

Для уникнення розбіжностей у подальшому аналізі та при розробці системи автоматизації буде використовуватися виключно теплотехнічний принцип розподілу робочого простору печі.

У зварювальній зоні відбувається активне спалювання палива, що забезпечує стабільну та високу температуру по її довжині. У методичній зоні здійснюється глибока утилізація тепла димових газів, внаслідок чого їх температура поступово знижується в напрямку до вікна завантаження (посаду).

Ключовою задачею процесу є досягнення нормативно допустимого перепаду температур по перерізу заготовки при забезпеченні заданої кінцевої температури її поверхні. При цьому виникає теплотехнічне протиріччя:

Щоб мінімізувати внутрішній температурний градієнт, температуру в зоні нагріву необхідно наближати до фінальної температури поверхні металу (що сповільнює процес).

Щоб підвищити продуктивність та інтенсивність нагріву, температуру в цій зоні, навпаки, слід максимізувати.

Це протиріччя ефективно вирішується саме в тризонному режимі завдяки впровадженню відокремленої зони витримування. У ній підтримується постійна та контрольована температура, яка є нижчою за температуру зварювальної зони (орієнтовно на 30–50 °C вища за необхідну середньомасову температуру металу). Це дозволяє швидко вирівняти температуру по перерізу заготовки без ризику перегріву її поверхні.

За умови стабільної продуктивності методична піч функціонує як агрегат безперервної дії з просторово розподіленими, але постійними у часі температурним і тепловим режимами. Кінцева температура нагріву металу визначається маркою сталі й для рядових вуглецевих сталей становить 1200–1250 °C. Для підвищення теплового ККД та утилізації тепла відхідних газів печі обов'язково комплектуються рекуператорами (металевими або керамічними) для високотемпературного підігріву дутьового повітря.

1.3 Постановка задачі проєктування системи автоматизації

Головною метою автоматизації методичної нагрівальної печі є кардинальне підвищення її техніко-економічних показників, забезпечення стабільності теплотехнічних режимів, підвищення якості нагріву заготовок (особливо з легованих та нержавіючих марок сталей), мінімізація собівартості готової продукції та полегшення умов праці оперативного персоналу.

Специфіка роботи нагрівальних печей у складі прокатного цеху полягає в тому, що декілька агрегатів одночасно забезпечують гарячий метал для одного загального рольганга, який транспортує заготовки безпосередньо до клітей прокатного стана. Внаслідок цього методичні печі змушені функціонувати в умовах постійних динамічних збурень, до яких належать:

– змінна продуктивність прокатного стана (затримки, технологічні паузи);

– коливання вихідних параметрів садки (зміна геометричних розмірів, початкової температури та марок сталі заготовок).

У цих нестаціонарних умовах основним завданням оптимального керування є прецизійна підтримка заданого температурного профілю вздовж робочого простору печі для забезпечення високої якості термічної підготовки металу.

На основі детального аналізу динамічних та технологічних характеристик об'єкта автоматизації сформульовано технічне завдання на проектування автоматизованої системи керування (АСК) тепловим режимом методичної печі:

1. Контур автоматичного регулювання температури в робочому просторі печі.

Регулюючий вплив: зміна витрати паливного (природного) газу на пальникові пристрої відповідної зони.

Основні технологічні збурення: зміна швидкості просування заготовок штовхачем, коливання геометричних розмірів садки, а також підсмоктування холодного атмосферного повітря через завантажувальні вікна.

Обґрунтування: температурний ландшафт у печі безпосередньо визначає інтенсивність радіаційно-конвективної тепловіддачі до металу, динаміку розподілу тепла по його масі, швидкість утворення окалини та термічний знос футеровки. Тому позонне регулювання температури є фундаментальним завданням проектованої системи.

2. Контур автоматичного регулювання тиску в робочому просторі печі

Регулюючий вплив: зміна ступеня розрідження в борові (димовому каналі) за допомогою шиберної заслінки.

Основні технологічні збурення: коливання сумарної витрати палива та, як наслідок, об'єму утворюваних продуктів згоряння.

Обґрунтування: Режим тиску визначає економічність та безпеку роботи. Надлишковий тиск викликає «вибивання» розпечених газів через нещільності кладки та робочі вікна у цех, що спричиняє втрати тепла, руйнування зовнішніх металоконструкцій печі та погіршення санітарно-гігієнічних умов. Натомість надмірне розрідження (низький тиск) призводить до інфільтрації холодного повітря всередину печі, що знижує температуру, зумовлює нерівномірне охолодження металу та інтенсифікує процеси окислення (чад металу).

3. Контур автоматичного регулювання співвідношення «паливо-повітря»

Регулюючий вплив: зміна витрати дутьового (вентиляторного) повітря, що подається до пальників.

Провідний (задавальний) параметр: поточна витрата природного газу в зоні.

Обґрунтування: Оптимальне співвідношення компонентів паливної суміші гарантує повноту хімічного згоряння газу, що мінімізує його питому витрату на тонну нагрітого металу. Дефіцит повітря призводить до неповного згоряння з виділенням токсичного чадного газу (CO) у димові труби, викликаючи перевитрату енергоносія та екологічні штрафи. Надлишок повітря підвищує концентрацію вільного кисню (O_2) у робочому просторі, що різко збільшує товщину шару окалини (брак по нагріву) та забирає корисне тепло з печі.

4. Забезпечення технологічної безпеки та протиаварійного захисту (ПАЗ)

Для попередження аварійних ситуацій у проекті необхідно передбачити такі автоматичні блокування та сигналізацію:

– аварійне швидкісне відсікання подачі природного газу на піч у разі падіння його тиску в магістралі нижче критичної межі з одночасною світлозвуковою сигналізацією на пульті оператора;

– автоматичне відсікання подачі природного газу при падінні тиску дутьового повітря (зупинка вентиляторів) нижче допустимого рівня з видачею відповідного аварійного сигналу.

Перелік технологічних параметрів, що підлягають контролю, реєстрації та регулюванню

Параметри, що підлягають безперервному автоматичному контролю та реєстрації (архівуванню):

– температура газу в робочому просторі по кожній із зварювальних зон нагріву;

– температура в зоні витримування (томління);

– температура димових газів та дутьового повітря на виході з рекуператора;

– температура дутьового повітря на вході в рекуператор;

– температура паливного (природного) газу в підвідному газопроводі;

– поточна температура металевих заготовок на виході з печі (перед видачею на рольганг);

– тиск паливного газу в загальному колекторі перед піччю;

– тиск дутьового повітря в трактах до та після рекуператора;

– поточна годинна витрата та сумарний інтегральний облік витрати газу в цілому на нагрівальну піч;

– хімічний склад продуктів згоряння (вміст O_2 та CO у димових газах для контролю екологічності та ефективності горіння).

Параметри, що підлягають автоматичному регулюванню (стабілізації):

– позонне регулювання температури в зварювальних зонах (зонах інтенсивного нагріву);

– регулювання температури в зоні витримування (томління);

– окреме регулювання та динамічна корекція співвідношення «газ-повітря» для кожної опалювальної зони нагріву;

– регулювання співвідношення «газ-повітря» в зоні витримування;

– стабілізація надлишкового тиску в робочому просторі печі (під склепінням).

Висновки. В даному розділі було проведено детальний аналіз методичної печі безперервної дії як складного, енергоємного об'єкта теплотехнічного підпорядкування із просторово розподіленими параметрами. На основі аналізу виробничих даних визначено критичні недоліки існуючої схеми опалення, що призводять до значного температурного градієнта в металі та підвищеного браку, а також обґрунтовано доцільність впровадження позонного мікропроцесорного керування.

Для вирішення виявлених технологічних суперечностей сформульовано комплексне технічне завдання на проектування АСУ ТП, яке передбачає створення замкнених контурів стабілізації позонних температур, надлишкового тиску під склепінням та оптимального співвідношення компонентів паливної суміші. Реалізація запропонованих рішень та алгоритмів протиаварійного захисту дозволяє забезпечити високу якість нагріву легованих сталей, суттєво знизити питомі витрати палива й окалиноутворення, а також гарантувати екологічну безпеку та надійність експлуатації всього нагрівального комплексу.

2 ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Обґрунтування цілей створення проекту автоматизації

Однім з основних завдань організації теплової роботи методичних печей прохідного типу є забезпечення технологічно необхідної точності й технологічної рівномірності нагрівання виробів. При східчастих температурних режимах якісна сторона нагрівання вирішується в основному наприкінці нагрівання. Вирівнювання температур по перетині виробів протікає при безупинно зменшуваних теплових потоках на поверхню виробу, при цьому навіть незначна нерівномірність розподілу температур у газовому обсязі може стати причиною нерівномірності нагрівання. Температурне поле формується газами, що гріють та рухаються. У нагрівальних методичних печах характер руху газів у робочих зонах визначається такими основними факторами: розміщенням по висоті - висотою стінок печей паливних пристроїв і каналів відводу відпрацьованих грубних газів; динамікою дії струменів від пальників або форсунок; тиском газів у грубному просторі.

Важливим фактором, що впливає на якість теплової роботи печі і якість нагрівання металу, є тиск пічних газів у робочому просторі печі. Тиск у робочому просторі печі залежить від характеру руху нагрітих пічних газів, а також від висоти димарів або роботи димососів.

Оптимальним тиском грубних газів у робочому просторі вважається деякий надлишковий тиск, який не більше 10...20Па атмосферного. Практично на це буде вказувати наявність невеликих язичків полум'я, які будуть вибиватися із щілин. Негативним явищем вважається, коли тиск на поді буде менше атмосферного. У цьому випадку холодне повітря буде засмоктуватися в робочу камеру печі, тобто температура печі буде знижуватися, витрата палива збільшиться, а вільний кисень збільшить інтенсивність окислювання металу. Також погано, коли тиск на поді набагато більше атмосферного. Надто високий

тиск у полум'яній печі приводить до вибивань газів через нещільності в кладці, завантажувальні вікна в навколишнє середовище. При цьому з робочого простору виноситься тепло, викликається прискорене зношування зовнішніх конструкцій печі, ускладнюється візуальний контроль і обслуговування агрегату й забруднюється атмосфера цеху. Таким чином, коливання тиску в печі приводять: до перевитрати палива й зниженню техніко-економічних показників.

Тиск у печі регулюють зміною аеродинамічного опору димоходів за допомогою шибера. Положення шибера перед димарем регулюється так, щоб на рівні поду підтримувався атмосферний тиск. У цьому випадку вище рівня поду тиск у робітникові просторі печі буде надлишковим, а нижче від поду з'явиться невелике розрідження, що створює ефект видалення відпрацьованих грубних газів через димоходи. Стабілізація методичного режиму дозволить підтримувати температуру у всіх точках робочого простору практично однакової й тим самим вирішити завдання забезпечення якості нагрівання.

Реалізація оптимальної програми зміни в часі теплового впливу на що нагріваються вироб неможлива без устаткування, необхідного для чіткої реалізації в часі зазначених впливів.

Існуюча автоматична система регулювання тиску в робочому просторі печі і її складові частини морально й фізично застаріли. Середній вік приладів 20-30 років, на їхнє обслуговування й ремонти слюсарями КВП та А витрачається значний час. Установлені датчики виміру витрат типу ДКО мають ряд істотних недоліків, зокрема одним з характерних недоліків є наповнення таких датчиків маслом. При різких коливаннях тиску в печі відбувається вибивання масла в імпульсні канали, що приводить до виходу зі строю всієї системи автоматичного регулювання. Також ці прилади не відповідають сучасним вимогам по обслуговуванню й точності вимірів, їх пропонується замінити сучасними мікропроцесорними програмованими датчиками типу Метран-100ДИ зі стандартним аналоговим струмовим вихідним сигналом і цифровим вихідним сигналом на базі HART- Протоколу.

Рішення завдань оптимального управління процесом термічної обробки металу, зводиться до створення розвинених систем автоматичного управління із застосуванням засобів електронно-обчислювальної техніки. ЕОМ здійснює контроль параметрів і управління ходом технологічного процесу. Впровадження ЕОМ у процес термічної обробки металу в методичній печі, дозволить вирішити ряд завдань:

– зниження витрати палива на нагрівання металу;

– максимальне зниження відхилення температури металу на виході від заданого значення;

– збільшення продуктивності агрегату.

Основним завданням, яку необхідно вирішити при автоматизації методичної печі, є забезпечення точного нагрівання металу й корекція рівня стабилизируемой температури по зонах печі, при зміні продуктивності агрегату й марок металу, що нагрівається.

Через складність управління температурним режимом нагрівання металу, доцільно виконувати управління технологічним процесом за допомогою контролера.

2.2 Вибір та обґрунтування системи автоматизації

Для створення умов надійної роботи в методичній печі необхідно забезпечити підтримку параметрів процесу на певному рівні.

Функції по керуванню процесом термічної обробки:

1. Контроль технологічних параметрів, їхня оцінка й сигналізація виходу параметрів за встановлені межі:

а) при зниженні тиску в трубопроводі вентиляторного повітря нижче встановленого рівня

б) при відхиленні температури в робочому просторі печі;

в) при зниженні тиску в трубопроводі природного газу;

г) при зниженні розрідження перед димососом.

2. Програмне регулювання температури за рахунок зміни співвідношення витрат природного газу й повітря в паливні пристрої.

3. Стабілізація розрідження перед димососом.

4. Підтримка необхідного співвідношення газ- повітря

5. Інформаційне обслуговування операторів технологічних постів.

6. Облік роботи системи автоматизації й видача повідомлень у випадку відмови технічних засобів автоматизації.

Метою створення системи є:

– поліпшення управління процесом нагрівання заготовок за рахунок надання оперативному персоналу повного обсягу обробленої інформації про хід і результати роботи об'єкта;

– одержання металу із заданими параметрами за рахунок зменшення відхилення температури димових газів у різні моменти процесу;

– скорочення витрати палива, за рахунок підвищення ефективності управління;

– контроль параметрів (зміна параметрів, порівняння поточного значення параметра із завданням; визначення й видача регулюючого впливу);

– дистанційне управління технологічним устаткуванням і виконавчими пристроями;

– вимірювальне перетворення;

– контроль і сигналізація стану устаткування (діагностика й пошук несправності, видача результатів на реєстрацію, видача причин і результатів порушення режиму роботи на реєстрацію й сигналізацію, визначення перевищення діапазонів зміни параметрів, розрахунок відхилень параметрів від що задають уставок);

– стабілізуюче регулювання;

– вибір режиму роботи регуляторів і ручне управління задатчиками;

– ручне уведення даних;

– реєстрація параметрів.

2.3 Принципи управління технологічними параметрами

У зв'язку з тим, що рівень автоматизації методичної печі прокатного стана не задовольняє вимогам, які пред'являються до технології, необхідно застосувати структурну схему автоматизації методичною піччю, представлену на рисунку 2.1.

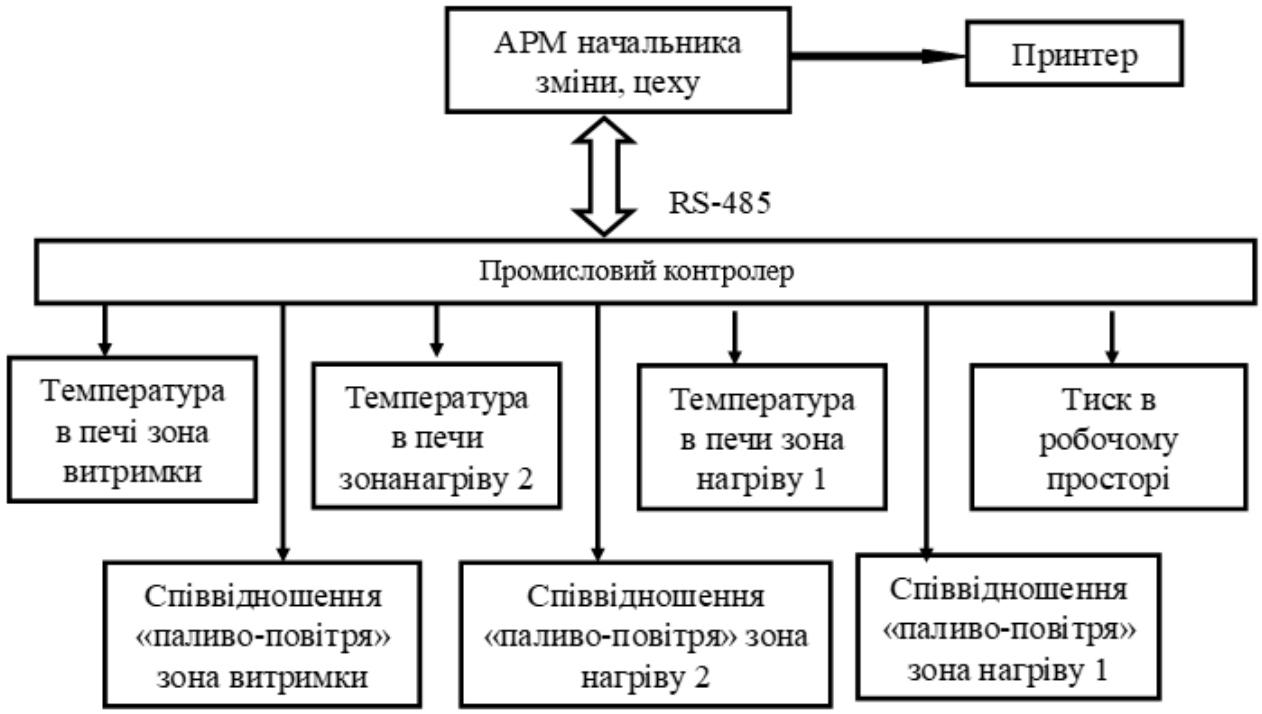


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизації методичної печі

Автоматизована система управління (далі АСУ) методичною піччю складається із трьох рівнів: рівень контролерів, операторський і адміністративний рівні.

На нижньому рівні управління технологічним процесом розташований контролер.

Нижній рівень системи також містить у собі первинні датчики температури, тиску, витратоміри, блоки живлення, пускачі й виконавчі механізми.

В АСУ методичною піччю, реалізовані наступні системи автоматичного регулювання:

– тепловим режимом печі (САР температури зон нагрівання й САР температури зони витримки);

– тиску в робочому просторі печі (САР тиску в печі);

– співвідношення «газ-повітря» (САР співвідношення зон нагрівання й САР співвідношення зони витримки).

Вибір технічних засобів обумовлений необхідними для роботи експлуатаційними параметрами: технологічними можливостями апаратури, простотою в установці й обслуговуванні, сумісністю технічних засобів, оптимальною відповідністю розв'язуваним завданням, надійністю й ін.. У даній системі передбачаються уніфіковані сигнали від датчиків по струму й напрузі й тому можуть бути заведені на контролер.

Як мікропроцесорний контролер обран, що являє собою компактний IBM PC сумісний програмувальний мікроконтролер, призначений для використання в локальних і розподілених системах автоматизації як автономний пристрій управління. Забезпечує прийом і видачу аналогових і дискретних сигналів, первинне перетворення сигналів по запрограмованим користувачем алгоритмам і обмін інформацією з послідовних каналів зв'язку на базі інтерфейсу RS- 485 або Ethernet. Контролер має відкриту архітектуру й може програмуватися як за допомогою традиційних мов програмування, так і за допомогою мов логічного програмування у відповідності зі стандартом IEC 61131. Вдало сполучить у собі якості програмувального логічного контролера із простій і відкриту архітектуру IBM PC сумісних комп'ютерів.

На робочій станції оператора встановлений монітор реального часу, з його допомогою здійснюється супервізорний контроль і управління технологічними

процесами в методичній печі. Під управлінням МРВ виконуються такі завдання, як:

– запит даних про стан технологічного процесу з контролера нижнього рівня по кожному з убудованих протоколів або через драйвер;

– передача на нижній рівень команд управління по кожному з убудованих протоколів або через драйвер;

– обмін даними із платами УСО;

– управління сервером документування;

– збереження даних в архівах;

– передача даних по мережі на наступний рівень АСУ;

– подання операторові графічної інформації про стан технологічного процесу;

– автоматичне й супервізорне управління технологічним процесом.

На адміністративному рівні перебуває АРМ диспетчера на основі процесора core-i7 і сервер документування.

Застосування запропонованої АСУ дозволяє істотно збільшити продуктивність методичної печі, поліпшити якість термообробки стали, забезпечити своєчасне одержання різної інформації про роботу печі й дозволить контролювати використання енергоресурсів.

2.4 Інформаційне забезпечення системи автоматизації

Аналіз потоків, використовуваної на виробництві інформації, є частиною комплексу робіт із проектування, тому що він формує базу для всіх наступних операцій проектування. Як основні поняття використовують інформацію й потік інформації.

Серед потоків інформації прийнято виділяти:

– мовну передачу інформації;

– передачу інформації за допомогою документів;

– передачу інформації з використанням технічних засобів;

– передачу інформації з автоматичним уведенням повідомлень.

При аналізі потоків інформації рекомендується використовувати дві основні методики:

– спочатку визначається функціональний зв'язок повідомлень, а потім здійснюється формування загального потоку інформації;

– спочатку враховується структура управління об'єктом, на основі якої визначаються потоки інформації.

При аналізі потоків інформації доцільно розділити її на змінну й постійну. Постійна робота характеризує роботу об'єкта протягом досить тривалого часу. З урахуванням можливої зміни цієї інформації, її прийнято називати умовно-постійною. Це означає, що протягом обраного інтервалу часу зазначені параметри можуть змінюватися не більше, ніж на 15%. Якщо зміни перевищують даний рівень, інформацію відносять до змінного.

Для зменшення обсягу інформації й зниження витрат на її обробку рекомендується впорядковувати її потоки. Під упорядочиванием потоків інформації мається на увазі проектування нових потоків даних. Часткове упорядочивание базується на зміні існуючих потоків інформації.

Також необхідно враховувати, що важливій складовій частиною цього процесу є раціоналізація й підпорядкування самої інформації. Як основні фактори, що забезпечують рішення поставленого задачі, зниження вартості інформації, рекомендуються наступні:

– зниження вартості отриманих даних;

– зменшення витрат, необхідних для вироблення рішень і виділення управляючих впливів.

При цьому необхідно враховувати наступні етапи перетворення інформації:

– виділення інформації;

– запам'ятовування й підготовка до передачі;

– передача інформації;

– прийом, фіксація й первинна обробка інформації.

Важливим параметром, що характеризує якість передачі інформації, є її вірогідність. Для її збільшення рекомендується користуватися трьома напрямками:

– поліпшення якості технічних засобів;

– збільшення кількості використовуваної апаратури;

– застосування спеціальних кодів для передачі й зберігання інформації.

2.5 Обґрунтування схеми інформаційного забезпечення системи управління

Інформаційне забезпечення в цілому являє собою сукупність матеріальних, енергетичних і інформаційних потоків, і дозволяє досить повно й глибоко проаналізувати хід виробничого процесу, що сприяє правильній постановці завдань, розв'язуваних при проектуванні АСУ ТП.

Призначення інформаційного забезпечення – створення єдиної інформаційної бази для рішення завдань управління технологічними процесами термічної обробки, здійснення періодичного контролю за станом технологічних процесів, своєчасна сигналізація оперативному персоналу про порушення технологічних режимів, а також періодичне подання облікової й аналітичної інформації керуючому персоналу цеху.

Основна мета – представити для управління технологічним процесом повний обсяг оперативної інформації про його стан у кожний момент часу, тим самим здійснити контроль за веденням технологічного процесу й за споживанням енергоресурсів.

Таким чином, для якісного ведення процесу термічної обробки необхідно мати дані про процес, як про систему технологічного встаткування й інформаційних потоків між ними.

Сировиною, що надходить на об'єкт управління, є метал, кінцева продукція – метал, що пройшов термічну обробку.

Крім сировини на об'єкт управління надходять природний газ, витрата й співвідношення палива та повітря, що визначає поточну теплову потужність печі.

Мікропроцесорний контролер взаємодіє з ЕОМ, що задає алгоритм управління термічною обробкою залежно від параметрів садки, таких, як марка металу, розміри, форма й маса заготівель. Паралельно з виконанням завдання мікропроцесорним контролером УВМ верхнього рівня розраховує теоретичне температурне поле заготівель і корегує час термічної обробки шляхом (видачі) певних командних сигналів. Таке ведення процесу можливо завдяки двосторонньому зв'язку між контролерами й ЕОМ верхнього й нижнього рівнів, тобто такого зв'язку при якій обмін інформацією йде у двох напрямках, що й дозволяє вводити корегування в хід процесу, а також вести спостереження за ходом технологічного процесу, не перебуваючи в безпосередній близькості від об'єкт управління.

2.6 Структура і метрологічні характеристики інформаційних каналів

Завдання метрологічного забезпечення полягає в забезпеченні необхідної точності виконуваних дій на всіх етапах технологічного процесу й на всіх рівнях управління.

Якісне ведення технологічного процесу є однієї з найважливіших завдань автоматизації технологічного процесу. У таблиці 2.1 наведені основні показники метрологічного забезпечення.

Таблиця 2.1 – Показники метрологічного забезпечення

№ п/п	Параметр	Величина
1	Температура на виході печі	700-800 °С
2	Температура в робочому просторі	0-1600 °С
3	Витрати газу на піч	6000 $Нм^3/год$
4	На першу зону	1700-1800 $Нм^3/год$
5	На другу зону	900-1100$Нм^3/год$
6	На третю і четверту зони	540-610 $Нм^3/год$
7	На п'яту зону	420-500 $Нм^3/год$
8	Витрати повітря на піч	6000 $Нм^3/год$
9	Тиск газу	11-14 $кгс/м^2$
10	Тиск повітря	850-900 $кгс/м^2$
11	Тиск димових газів	5.5-6.2 $кгс/м^2$
12	Температура дима до рекуператора	27-32 °С
13	Температура дима после рекуператора	40-45 °С
14	Температура підігрітого повітря	250-255
15	Температура димових газів	750-800

Науковою основою метрологічного забезпечення є метрологія - наука про виміри, методи й засоби забезпечення їхньої єдності й досягнення необхідної точності. Технічну основу метрологічного забезпечення становлять:

– система державних еталонів одиниць фізичних величин і система зразкових засобів вимірів;

– система обов'язкових державних випробувань і система обов'язкової державної й відомчої перевірки засобів вимірів.

Основні цілі метрологічного забезпечення: підвищення якості продукції, ефективності управління виробництвом і рівня автоматизації виробничих процесів; уніфікація вузлів, блоків і агрегатів для кооперування виробництва і

його спеціалізації; підвищення ефективності науково - дослідницьких і досвідчено – конструкторських робіт.

Метрологічне забезпечення встановлює наукові й організаційні основи, технічні й програмні засоби, правила й норми єдності заданої точності вимірів у процесі функціонування, налагодження й випробування АСУ.

Висновки. У ході виконання другого розділу було сформульовано комплексні вимоги до проектованої системи автоматизації п’ятизонної методичної печі та детально обґрунтовано необхідність повної модернізації морально й фізично застарілого парку приладів КВПіА шляхом впровадження сучасних інтелектуальних датчиків і мікропроцесорного контролера з відкритою архітектурою.

Розроблена трирівнева структура АСУ ТП дозволяє реалізувати прецизійне позонне керування температурним профілем, стабілізацію оптимального співвідношення компонентів паливної суміші та підтримання надлишкового тиску під склепінням печі, що унеможливлює інфільтрацію холодного повітря або вибивання газів у цех. На основі аналізу інформаційного забезпечення та метрологічних характеристик вимірювальних каналів створено єдину інформаційну базу для двостороннього зв'язку між нижнім та операторським рівнями керування за допомогою SCADA-системи.

У підсумку, інтеграція запропонованих технічних та програмних засобів автоматизації забезпечує суттєве зниження питомих витрат палива, мінімізацію окалиноутворення, підвищення продуктивності агрегату та гарантує високу якість термічної обробки заготовок в умовах змінної продуктивності прокатного стана.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ

Математичний опис та динамічні характеристики. Вихідною базою для отримання математичного опису досліджуваного об'єкта автоматизації є його експериментальна крива розгону (перехідна характеристика). Ця крива задається у вигляді дискретних значень ординат, розділених однаковими часовими інтервалами (кроками квантування). У цьому розділі розглядається динамічна характеристика контуру регулювання тиску в робочому просторі методичної печі, де вхідним збуренням є стрибкоподібна зміна положення регулюючого органу (шибера або витрати димових газів).

Мета дослідження: вивчення та практична реалізація методу параметричного синтезу системи автоматичного регулювання (САР) шляхом мінімізації інтегрально-квадратичного критерію якості за допомогою алгоритму багатокритеріальної оптимізації Хука-Дживса.

Актуальність автоматизації налаштування регуляторів. У сучасній інженерній практиці важливе значення має автоматизація процедури параметричного синтезу та адаптивного налаштування регуляторів як на стадії проектування, так і під час безпосередньої експлуатації промислових САР. Необхідність у цьому зумовлена тим, що фіксовані (статичні) параметри налаштування не здатні забезпечити нормативні показники якості керування в умовах нестаціонарності об'єкта: зміни режимів роботи металургійних агрегатів, коливання характеристик палива та деградації футеровки призводять до дрейфу статичних і динамічних властивостей системи. Зазначені проблеми ефективно вирішуються впровадженням автоматизованих систем оптимізації та адаптації.

Методологія моделювання та критерії оптимізації. Методи аналізу та синтезу, що базуються на комп'ютерному моделюванні й чисельній оптимізації, є універсальними інструментами.

Вони дозволяють оперувати будь-якими математичними описами систем:

– лінійними та нелінійними;

– неперервними (диференціальними) та дискретними (різницевими);

– змішаними структурами, що містять алгебраїчні та логічні рівняння.

Така гнучкість вимагає залучення додаткових обчислювальних ресурсів та спеціалізованого програмного забезпечення. Засоби комп'ютерного моделювання застосовуються для визначення сигналу похибки регулювання E(t) у замкненому контурі. На основі сигналу помилки або вихідної змінної обчислюється цільова функція (критерій оптимізації), за якою мінімізується відхилення. Це дозволяє здійснювати параметричний синтез для систем будь-якої складності із введенням додаткових обмежень кінцевої та нескінченної розмірності, що реалізуються через функції штрафу.

Варто підкреслити, що оптимізація є інструментом проектування — вона не розраховує структуру регулятора аналітично, а знаходить його оптимальні коефіцієнти (наприклад, K_p, K_i, K_d), які безпосередньо залежать від обраного цільового критерію, архітектури САР та фіксованих параметрів об'єкта.

Алгоритм прямого пошуку Хука-Дживса.

Для розв'язання задачі параметричного синтезу промислових регуляторів одним із найбільш ефективних і стійких безградієнтних методів є метод Хука-Дживса (метод «крок-пошук») та його модифікації. Суть цього алгоритму полягає у послідовному виконанні таких етапів.

Задається початкова базова точка O_0 у просторі варійованих параметрів налаштування регулятора (вектор параметрів).

Шляхом почергової зміни компонентів вектора параметрів обстежується локальна околиця поточної точки, в результаті чого визначається напрямок найшвидшого зменшення значення цільового критерію якості I.

У знайденому перспективному напрямку здійснюється переміщення (крок) доти, доки значення цільової функції продовжує зменшуватися.

Якщо в обраному напрямку подальше зниження критерію стає неможливим, величина робочого кроку пропорційно зменшується (дробиться).

Якщо послідовні дроблення кроку не приносять зменшення цільової функції, від поточного напрямку відмовляються, фіксують нову базову точку і повторюють локальне обстеження околиці. Процес завершується при досягненні заданої точності (мінімального кроку).

Для дослідження цього методу параметричного синтезу в дипломному проекті використовується спеціалізоване програмне забезпечення OptSim (або вбудовані інструменти оптимізації) в середовищі технічних обчислень MATLAB. Для ініціалізації середовища та запуску процедури оптимізації у командному вікні (Command Window) вводяться такі директиви:

slCharacterEncoding('cp1251')

OptSim_fig

bdclose all

slCharacterEncoding('cp1252')

Після вводу останньої команди відкривається вікно у котрому ми тепер можемо відкрити необхідну СА.

Дана програма дозволяє виконувати розрахунки оптимальних параметрів настроювання одноконтурних САР, каскадних, комбінованих, САР з введенням похідної з проміжної точки об'єкту, дослідження процесів оптимізації з використовуванням інтегральних критеріїв різного виду. В якості об'єкту керування обрану передавальну функцію:

$$W_{\text{ОБ}} = \frac{3{,}5}{54\text{p} + 1}, \qquad (3.1)$$

Для завдання параметрів об'єкта запускаємо програму, обираємо тип САР-одноконтурна. Після цього потрібно натиснути кнопку «Відкрити модель». У вікні, що з'явиться, розкрити блок ОУ та відредагувати потрібні елементи. В усіх системах в якості регуляторів оберемо ПІ-регулятори.

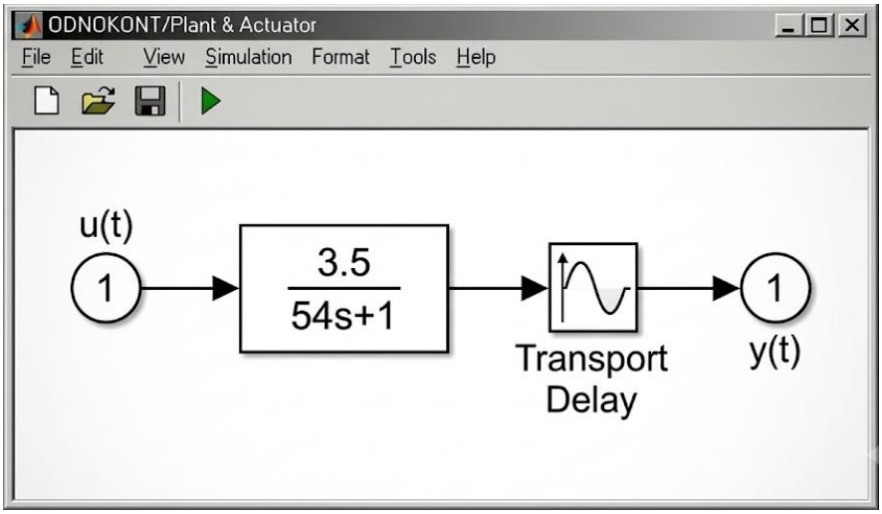


Рисунок 3.1 – Вікно програми MATLAB

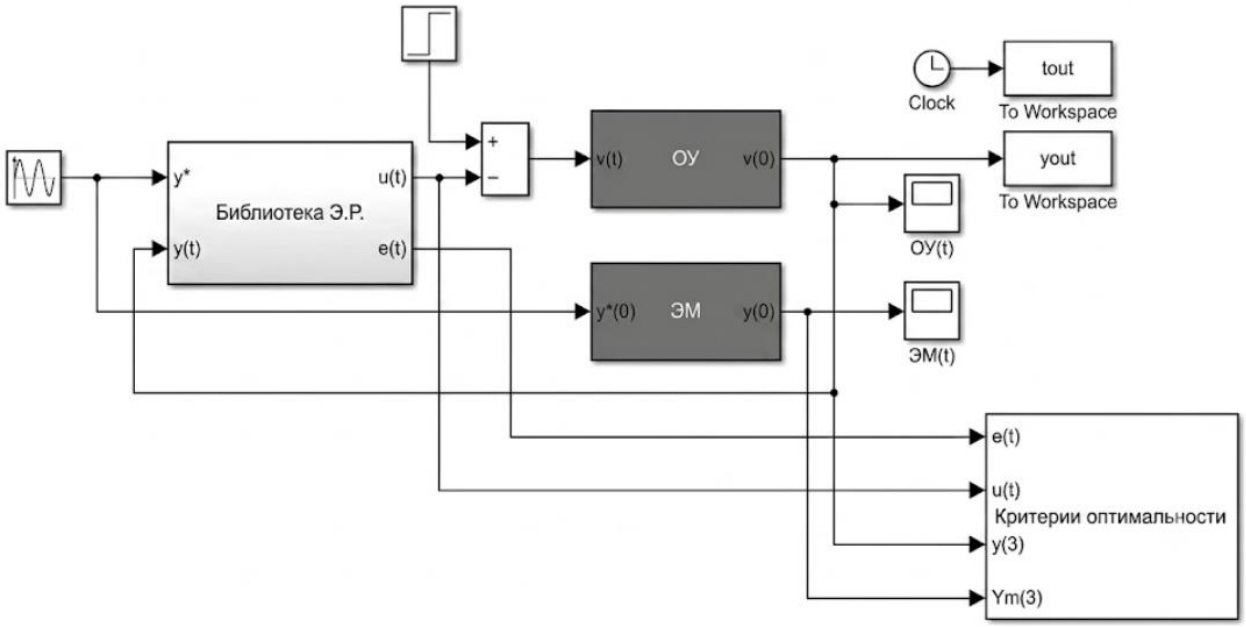


Рисунок 3.2 – Модель одноконтурної САР

Задамо наступний критерій оптимізації:

$$I = \int_{t_n}^{t_k} y^2 \cdot t^a \cdot dt, a = 2, \qquad (3.2)$$

Початковий крок оберемо рі**в**ним 0.3. Критерій зупинки виберемо |I(к+1)-1(к)|<eps. Точність встановимо рівною 1.

Задамося початковими параметрами ПІ-закону регулювання: K_p=1, T_i = 10.

Натиснувши на кнопку Оптимізувати, ми бачимо як у вікні Command Window вираховуються усі шаги оптимізації, та результати обчислень значення критерію виводяться у стовпчик. Це виглядає наступним чином.

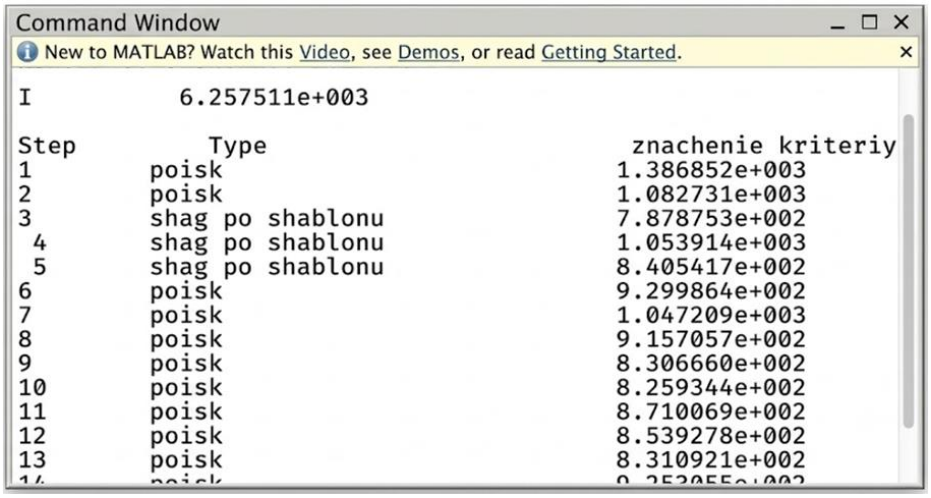


Рисунок 3.3 – Вікно Command Window

В результаті отримаємо наступний перехідний процес вже максимально оптимізованими критеріями.

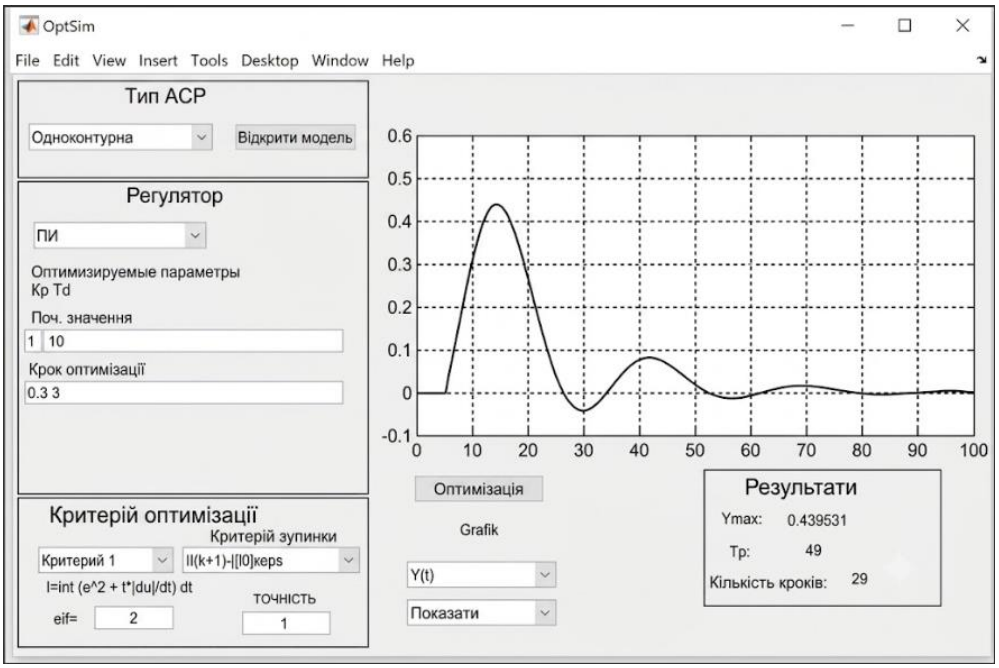


Рисунок 3.4 – Перехідний процес САР

При оптимізації параметрів Ш-регулятора отримали наступні значення:

$К_р$ = 0,657852;

$Т_і$ = 30.352411.

Кількість кроків: 29.

Знайдемо параметри при оптимізації двохімпульсної САР з введенням похідної. Модель двохімпульсної САР з введенням похідної виглядає наступним чином:

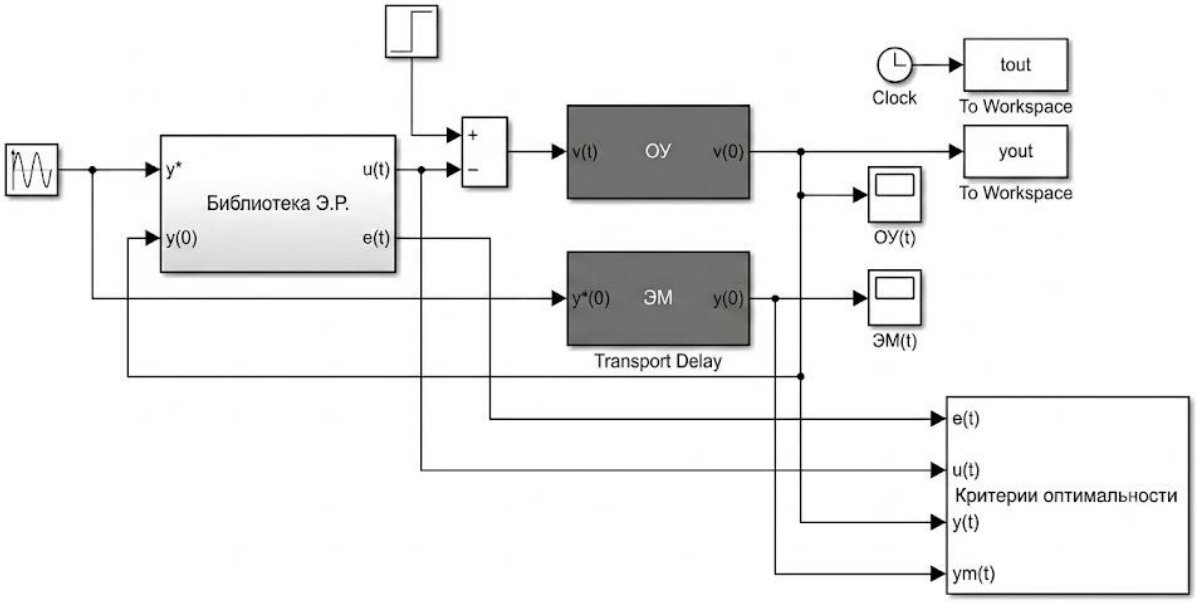


Рисунок 3.5 – Модель двохімпульсної САР

В якості об'єктів керування оберемо наступні функції:

$$W_{ШВ} = \frac{1}{48 \cdot p^2 + 26{,}2 \cdot p + 1}$$

$$W_{ІН} = \frac{1}{747{,}04 \cdot p^2 + 74{,}5 \cdot p + 1}$$

Задамося початковими параметрами Ш-закону регулювання:

$К_р$ = 1;

$Т_і$ =10.

Початковий крок оберемо рівним 0.3. Критерій зупинки виберемо |I(к+1)-1(к)|<eps. Точність встановимо рівною 1.

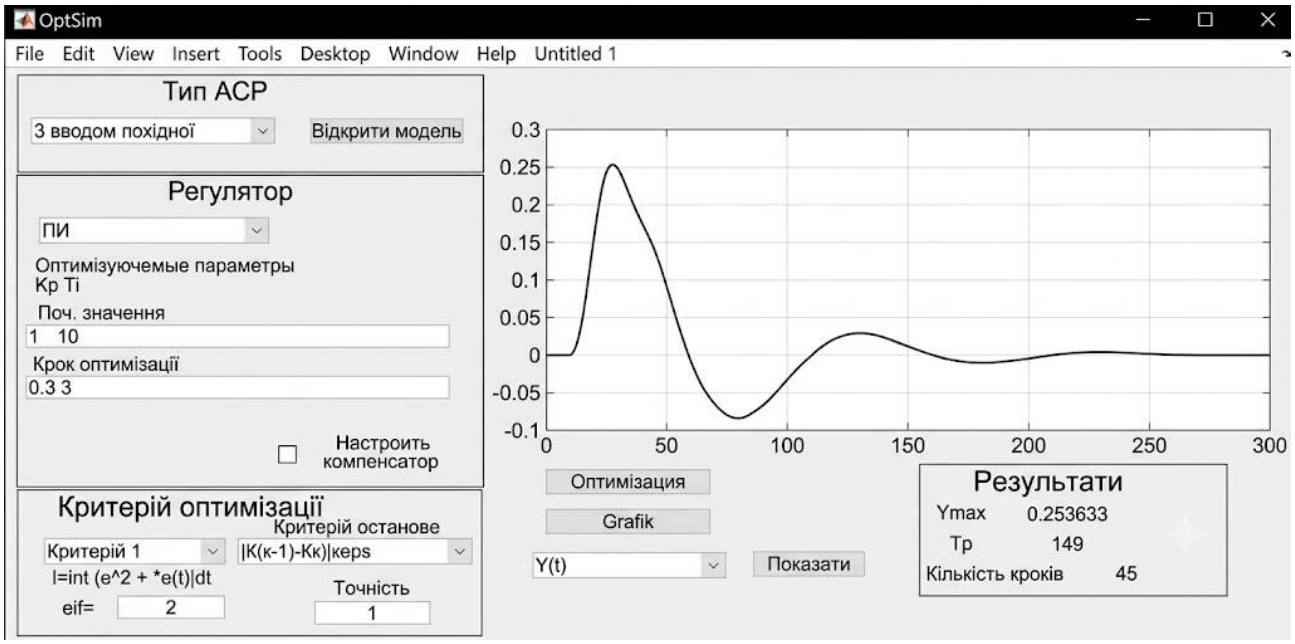


Рисунок 3.6 – Перехідний процес САР

Оптимізація параметрів Ш-регулятора двоімпульсної САР з введенням похідної дала наступні значення:

$K_p = 0{,}251364$;

$T = 5{,}425336$.

Кількість кроків: 45.

Якщо задамося початковими параметрами ПІ-закону регулювання:

$K_p = 1$;

$T_i = 40$, то побачимо що крива перехідного процесу приймає інщий вид, і оптимальні параметри теж змінюються

$K_p = 0.002813$;

$T = 3{,}833594$

Кількість кроків: 45.

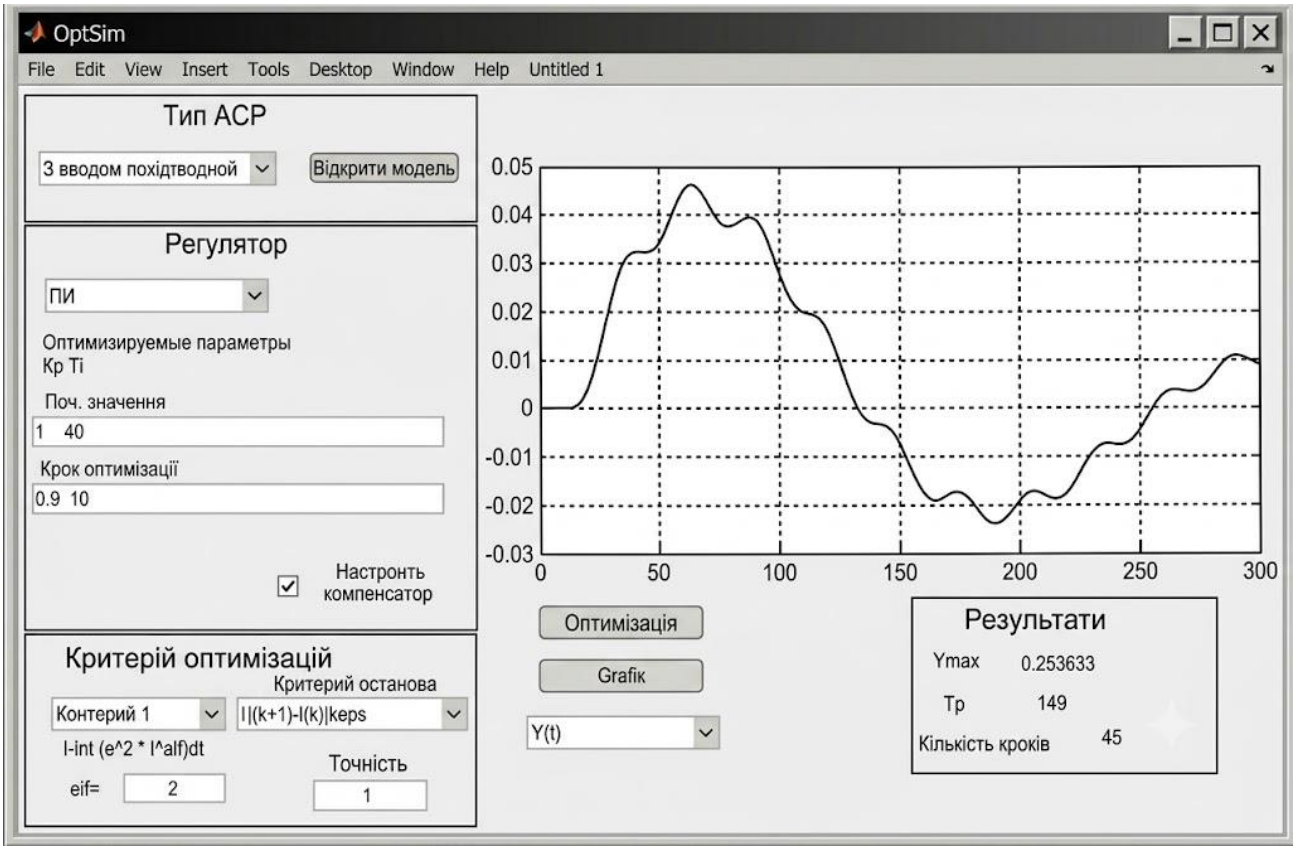


Рисунок 3.7 – Перехідний процес САР

Висновки. У третьому розділі дипломної роботи проведено комплексне комп'ютерне моделювання та параметричний синтез системи автоматичного регулювання тиску в робочому просторі методичної печі в середовищі MATLAB за допомогою спеціалізованого пакета OptSim. Використовуючи безградієнтний метод прямого пошуку Хука-Дживса, було реалізовано чисельну мінімізацію інтегрально-квадратичного критерію якості для одноконтурної та двохімпульсної архітектур САР.

На основі експериментальних перехідних характеристик визначено оптимальні налаштування коефіцієнтів ПІ-регуляторів, які забезпечують мінімальний час регулювання та перерегулювання в контурах. Порівняльний аналіз довів, що впровадження двохімпульсної схеми із введенням похідної з проміжної точки дозволяє ефективно нівелювати негативний вплив чистого запізнення об'єкта, гарантуючи високу динамічну точність та стійкість системи керування тепловим режимом печі при зміні її продуктивності.

4. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПО ЗОНАМ

4.1 Схема інформаційних і матеріальних потоків САУ

На схемі рис. 4.1 інформаційних і матеріальних потоків САУ температури методичної печі показано взаємодію технологічного обладнання, датчиків, виконавчих механізмів та мікропроцесорного контролера (МПК), який забезпечує автоматичне керування температурним режимом у різних зонах печі.

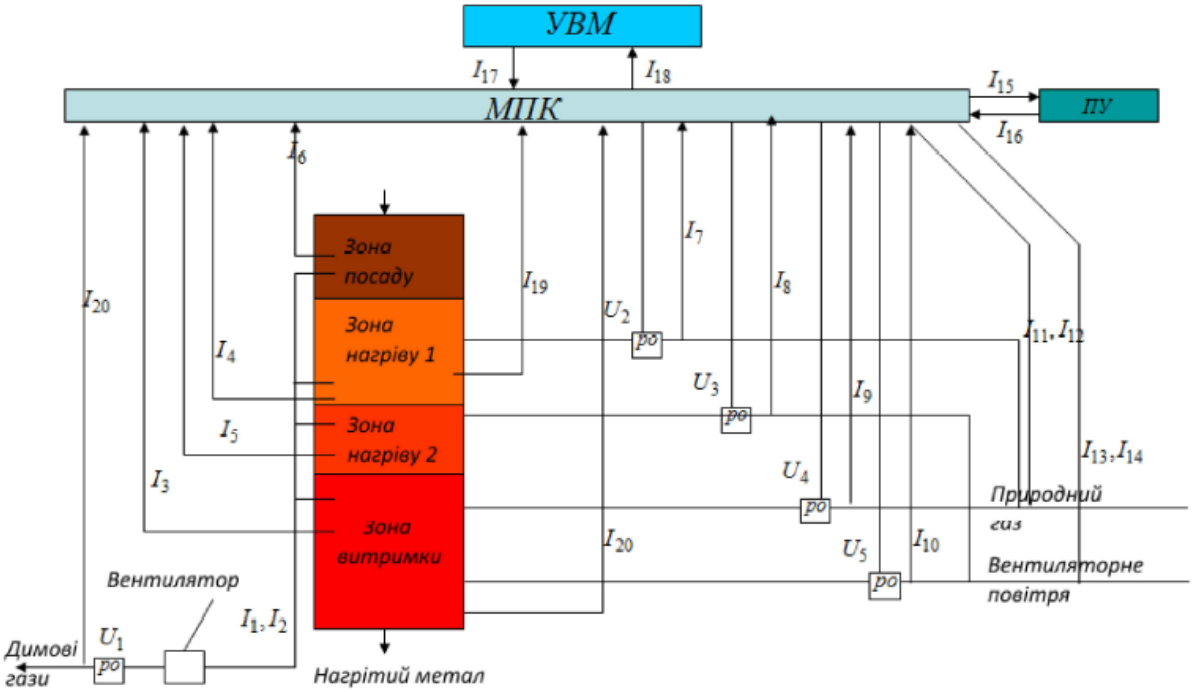


Рисунок 4.1 – Схема інформаційних і матеріальних потоків САУ

Система автоматичного керування температурою методичної печі побудована за багатозонним принципом і охоплює чотири технологічні зони: зону посаду, зону нагріву 1, зону нагріву 2 та зону витримки. Основним керуючим пристроєм є мікропроцесорний контролер (МПК), який здійснює збір інформації від датчиків, обробку сигналів, формування керуючих впливів та передачу інформації на верхній рівень управління.

Матеріальний потік у печі представлений металевими заготовками, які послідовно проходять через зону посаду, зону нагріву 1, зону нагріву 2 та зону витримки. У процесі переміщення метал нагрівається до необхідної температури та після завершення термообробки вивантажується з печі. Для забезпечення процесу нагрівання до печі подається природний газ і вентиляторне повітря, які утворюють паливоповітряну суміш. Продукти згоряння відводяться через систему димовидалення.

Інформаційні потоки формуються за рахунок сигналів від датчиків температури, встановлених у кожній технологічній зоні. Сигнали температури надходять до МПК по каналах I3–I6, забезпечуючи безперервний контроль температурного режиму в зоні посаду, зоні нагріву 1, зоні нагріву 2 та зоні витримки. Крім того, до контролера надходить інформація про температуру димових газів (канали I1, I2), що використовується для контролю ефективності роботи печі та оцінки теплових втрат.

На основі отриманих даних МПК формує керуючі сигнали U2–U5 для регулюючих органів подачі природного газу та повітря в кожну зону. Через канали I7–I10 контролюється виконання керуючих команд і стан виконавчих механізмів. Додатково контролюються параметри подачі природного газу та вентиляторного повітря (канали I11–I14), що забезпечує стабільність процесу горіння та безпечну експлуатацію печі.

Мікропроцесорний контролер взаємодіє з пультом управління (ПУ) через канали I15 та I16, що дозволяє оператору задавати необхідні режими роботи, змінювати уставки температури та отримувати інформацію про поточний стан технологічного процесу. Обмін даними між МПК та верхнім рівнем управління (УВМ) здійснюється через канали I17 та I18, забезпечуючи диспетчерський контроль, архівування технологічних параметрів і формування звітності.

Таким чином, система автоматичного керування забезпечує безперервний контроль температурного режиму в усіх зонах методичної печі, автоматичне регулювання подачі палива та повітря, підтримання заданих температурних

режимів і підвищення енергоефективності технологічного процесу нагрівання металу.

4.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів САУ

Для обґрунтування та вибору технічних засобів системи автоматичного керування (САК) температурою методичної печі необхідно враховувати складні умови її роботи: високу інерційність, наявність кількох температурних зон (нагрівальної, зварювальної, томільної) та суворі вимоги до точності.

Взаємодія між технологічним обладнанням методичної печі та засобами автоматизації відбувається за замкненим контуром:

Об'єкт керування (методична піч): зони методичної печі, де спалюється паливо.

Первинні перетворювачі (датчики): фіксують поточну температуру та передають сигнал на МПК.

Мікропроцесорний контролер (МПК): обробляє дані за ПІД-законом регулювання та формує керуючий сигнал.

Виконавчі механізми (ВМ) та регулюючі органи: змінюють витрату палива (газу) та повітря.

1. Первинні вимірювальні перетворювачі (Датчики)

Оскільки температура в зонах методичної печі варіюється від 800°С до 1400°С, звичайні датчики не підійдуть.

Термоелектричні перетворювачі (термопари).

Для зон із температурою до 1100°С: термопари типу ТХА (рис. 4.2) (хромель-алюмель, тип К). Вони надійні та мають лінійну характеристику.

Модель (тип): ТХА (Тип К, хромель-алюмель).

Конструктивне виконання: у захисному чохлі зі жароміцної сталі.

Основні характеристики:

Діапазон вимірювання: від -40 до +1100 °С.

Клас точності: 1 (допустиме відхилення ±1,5 °C в робочому діапазоні).

Вихідний сигнал: Термо-ЕРС (згідно з ДСТУ).



Рисунок 4.2 – Термопари типу ТХА

Для високотемпературних зон (до 1300–1400°C): термопари типу ТПП (рис. 4.3) (платинородий-платина, тип S) у захисній корундовій арматурі. Вони забезпечують найвищу точність у важких умовах.



Рисунок 4.3 – Термопари типу ТПП

Модель (тип): ТПП (Тип S, платинородий-платина).

Конструктивне виконання: термопара в подвійній захисній соломці та корундовому чохлі (для захисту від агресивного газового середовища печі).

Основні характеристики:

Діапазон вимірювання: від 0 до +1300 °С (короткочасно до +1600 °С).

Клас точності: 1 (допустиме відхилення ±1 °С або ±1 + 0,003 (t – 1100)]°С).

Інерційність ($T_{0,5}$): не більше 60 сек (у захисній арматурі).

Довжина занурювальної частини: 500 – 800 мм (залежно від товщини футеровки стіни печі).

Для захисту від завад сигнали від термопар перетворюються безпосередньо в головці датчика (або в шафі керування) в уніфікований аналоговий сигнал 4 – 20 мА.

Трансформація слабкого сигналу термо-ЕРС в уніфікований струмовий сигнал для захисту від лінійних завад.

Основні характеристики:

Вхідний сигнал: від термопар ТПП / ТХА.

Вихідний сигнал: струмова петля 4–20 мА.

Похибка перетворення: ±0,1 %.

Живлення: по струмовій петлі (DC 24 В).

2. Мікропроцесорний контролер.

МПК є «мозком» системи. Він має підтримувати багатоканальне ПІД-регулювання, роботу з аналоговими сигналами та промислові протоколи зв'язку.

Промисловий ПЛК (наприклад, серій Siemens S7-1500, Schneider Electric Modicon або вітчизняні аналоги, внесені до реєстру).



Рисунок 4.4 – Промисловий мікропроцесорний контролер Siemens S7-1500

Модульна архітектура дозволяє точно підібрати кількість модулів аналогового вводу (AI) для датчиків та аналогового/дискретного виводу (AO/DO) для керування клапанами.

Висока надійність (MTBF) та стійкість до промислових завад і пилу.

Підтримка протоколів Profinet/Modbus TCP для інтеграції в загальнозаводську систему SCADA.

Центральний процесорний модуль (наприклад, CPU 1511-1 PN).

Основні характеристики:

Час виконання логічної операції: 60 нс.

Робоча пам'ять: від 150 КБ для програм, 1 МБ для даних.

Вбудовані інтерфейси: Profinet (Ethernet), підтримка протоколів Modbus TCP, OPC UA.

Кількість підтримувальних ПІД-контурів: обмежена лише пам'яттю (реалізується програмно через стандартні блоки PID_Compact).

Модуль аналогового вводу (AI).

Основні характеристики:

Кількість каналів: 8 або 16 каналів.

Тип вхідних сигналів: 4–20 мА (від нормуючих перетворювачів термопар).

Роздільна здатність АЦП: 16 біт (забезпечує високу точність оцифрування температури).

Час циклу фільтрації: настроюється від 10 мс на канал.

Модуль аналогового / дискретного виводу (AO / DO).

Основні характеристики:

– AO (для плавного керування): 4–8 каналів, сигнал 4–20 мА або 0–10 В (для позиціонерів клапанів). Роздільна здатність ЦАП — 16 біт.

– DO (для імпульсного керування МЕО або відсікачами): релейні або транзисторні виходи, DC 24 В або AC 230 В, струм комутації до 2 А.

3. Текстовий дисплей для оператора.

Для перегляду значень параметрів на об’єкті по місцю установлені текстові дисплеї TD 200, зовнішній вигляд зображено на рис. 4.5. Поточні значення технологічних параметрів можуть відображатися на дисплеї і модифікуватися за допомогою його клавіш. Наприклад, модифікації можуть піддаватися задані значення регульованої температури, швидкості і т.д.

Установка станів входів і виходів з допомогою 8 програмованих клавіш: може використовуватися для виконання пуско-налагоджувальних робіт, а також реалізації операцій ручного управління.



Рисунок 4.5 – Текстовий дисплей TD 200

Додаткові функції і характеристики: виконання операцій з плаваючою комою, відображення спеціальних символів і гістограм, використання різних блоків даних для підключення до одного центрального процесора кількох текстових дисплеїв TD 200, використання парольного захисту для доступу до

меню, використання різних типів змінних.

Текстовий дисплей TD 200 є найбільш зручним засобом для створення інтерфейсу оператора з програмованим контролером Siemens S7-1500. Дисплей з'єднується з контролером з'єднувальним кабелем, що входить в його комплект поставки, по PPI інтерфейсу і не вимагає використання додаткового джерела живлення. TD 200 може бути використаний для вирішення наступних завдань: а) відображення повідомлень; б) зміна параметрів настройки програми; в) ручний запуск і зупинка машин і механізмів.

Текстовий дисплей TD 200 володіє наступними перевагами:

– зручність користування;

– оперативне управління і моніторинг: відображення текстових повідомлень, зміна параметрів налаштування системи, встановлення входів і виходів;

– безпосереднє підключення до інтерфейсу центрального процесора за допомогою вхідного в комплект поставки кабелю чи включення до PPI мережі;

– відсутність необхідності у використанні окремого блоку живлення;

– налаштування параметрів з STEP 7 Micro / WIN без використання додаткового програмного забезпечення;

– можливість виготовлення фронтальної панелі з урахуванням побажань замовника.

Виконання операцій адресації і настройки за допомогою системи меню.

Параметри настройки текстового дисплея TD 200 зберігаються в пам'яті центрального процесора програмуємого контролера Siemens S7-1500. Необхідні частини текстових повідомлень і параметри настройки текстового дисплея формуються інструментальними засобами пакета STEP7-Micro/WIN.

Додаткового програмного забезпечення для цих цілей не потрібно.

У пам'яті центрального процесора програмованого контролера резервується спеціальна область для зберігання даних, що використовуються для організації зв'язку з текстовим дисплеєм TD 200. При виконанні функцій

людино-машинного інтерфейсу TD 200 здійснює безпосереднє звернення до цієї області пам'яті центрального процесора.

Для визначення параметрів настройки TD 200 використовується спеціальний майстер, вбудований в середу STEP 7-Micro/WIN.

TD 200 виконує наступні функції.

Висновок текстових повідомлень: до 80 текстових повідомлень, що містять до 4 змінних, підтримка кирилиці. Висновок повідомлень з підтвердженням їх отримання або повідомлень, захищених паролем. Збереження текстів повідомлень на різних мовах в пам'яті дисплея.

TD 200 має такі конструктивні особливості:

Пластиковий корпус із ступенем захисту лицьової панелі IP 65.

Товщина корпусу 27мм: можливість установки в шафи і пульти управління, а також використання в якості ручної панелі.

LCD дисплей з внутрішньої світлодіодним підсвічуванням.

Ергономічний дизайн клавіш, можливість програмного визначення їх призначення.

Вбудований інтерфейс для підключення кабелю.

4. Виконавчі механізми (ВМ) та регулюючі органи

Керування температурою здійснюється зміною подачі газу та повітря на пальники.

Електричні виконавчі механізми (наприклад, типу МЕО або сучасні запірно-регулюючі клапани з електроприводом та позиціонером).

Електроприводи забезпечують плавне регулювання положення заслінки (кут повороту або ступінь відкриття клапана).

Наявність зворотного зв'язку за положенням (сигнал 4–20 мА) дозволяє контролеру точно знати, на скільки відсотків відкритий клапан газу.

Основні характеристики МЕО:

Номінальний крутний момент на валу: 250 Н·м (достатній для подолання опору великих поворотних заслінок на газопроводах та повітропроводах печі).

Номінальний час повного ходу валу: 25 або 63 секунди (оптимально для інерційної теплової системи методичної печі).

Повний хід валу: 0,25 або 0,63 оберту (90° або 226°).

Живлення: трифазна мережа АС 380 В або однофазна АС 220 В (50 Гц).

5. Датчик зворотного зв'язку виконавчого механізму (БСПИ чи БСПР).

Призначення: Контроль реального кута повороту заслінки та передача даних на МПК.

Основні характеристики:

Тип вихідного сигналу: уніфікований струмовий 4–20 мА.

Живлення: DC 24 В.

Похибка датчика положення: не більше ±1,0%.

Підсумкова таблиця 4.1 узгодження сигналів САК.

Таблиця 4.1 – Підсумкова таблиця узгодження сигналів САК

Елемент КТЗ	Вхідний сигнал	Вихідний сигнал	Тип зв'язку з МПК
Термопара ТПП/ТХА	Температура печі (∘С)	Термо-ЕРС (мВ)	Локальний (до нормувальника)
Нормуючий перетворювач	Термо-ЕРС (мВ)	4–20 мА	Аналогова лінія зв'язку
Модуль AI контролера	4–20 мА	Цифровий код (16 біт)	Внутрішня шина ПЛК
Модуль AO контролера	Цифровий код керування	4–20 мА (або 0-10 В)	Аналогова лінія до позиціонера
Виконавчий механізм (МЕО)	Керуючий сигнал / Імпульс	Механічний момент (Н·м)	Силовий кабель живлення

Цей набір технічних засобів повністю закриває завдання контролю, стабілізації температурних зон та гарантує точність ведення технологічного процесу нагріву металу перед прокаткою.

Алгоритм взаємодії в контурі керування.

1. Збір даних: термопара у зварювальній зоні фіксує відхилення температури (наприклад, зниження через завантаження нової холодної заготовки).

2. Передача сигналу: нормуючий перетворювач трансформує термо-ЕРС у сигнал 4–20 мА і передає його на модуль аналогового вводу МПК.

3. Обротка в МПК: контролер порівнює поточне значення із заданим (Set Point). Програмний ПІД-регулятор розраховує необхідний ступінь відкриття газового клапана.

4. Керуюча дія: МПК видає сигнал на виконавчий механізм (МЕО). Клапан відкривається сильніше, збільшуючи витрату газу. Одночасно (через співвідношення «газ-повітря») збільшується подача повітря для забезпечення повного згоряння палива.

5. Стабілізація: температура повертається до норми, цикл повторюється.

Окрім контуру регулювання температури, МПК обов'язково реалізує контур аварійного захисту (відсікання газу при згасанні смолоскипа пальника або падінні тиску повітря).

4.3 Розробка програми контролера

У редакторі бази каналів STEP-7 була створена структура автоматичної системи керування тиском в печі для чого був вибраний вузол типу Великий MPB з інформаційною потужність: Об'єкт = 2048 Канал = 32000 FBD = 16000. Для АРМ створені канали, які генеруються відповідно до алгоритмами і згідно з параметрами.

У редакторі надання даних для АРМ було створено три екрани. На першому екрані розроблена мнемосхема, що відображає параметри технологічного процесу роботи методичної печі. На другому екрані – тренди, що

відображають параметри температури печі, а також витрати природного палива. На третьому екрані – екран звіту тривог.

Робота екранів в режимі реального часу представлена на рисунках 4.6 – 4.8.

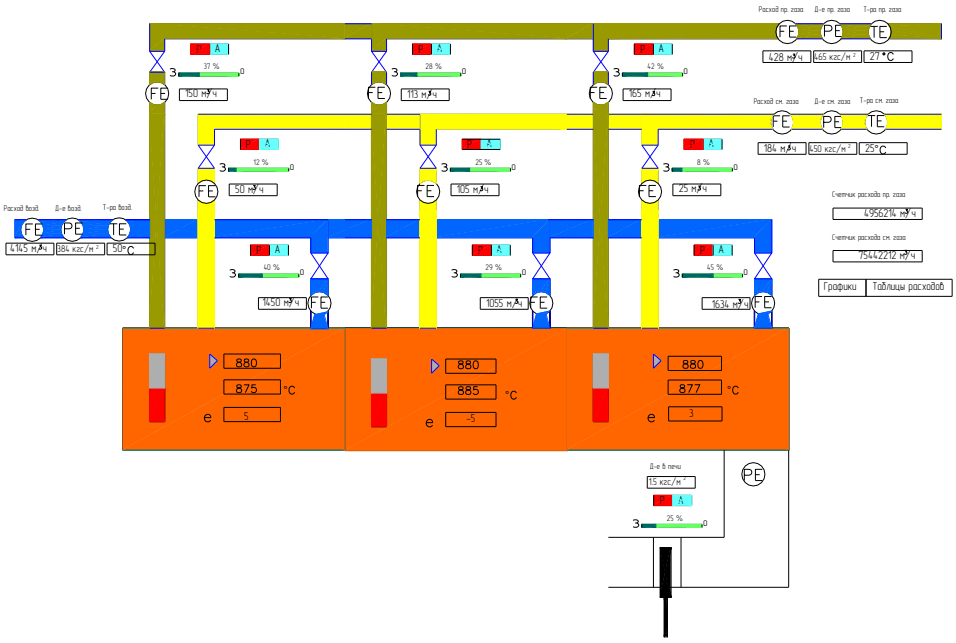


Рисунок 4.6 – Мнемосхема виробничого процесу



Рисунок 4.7 – Тренди

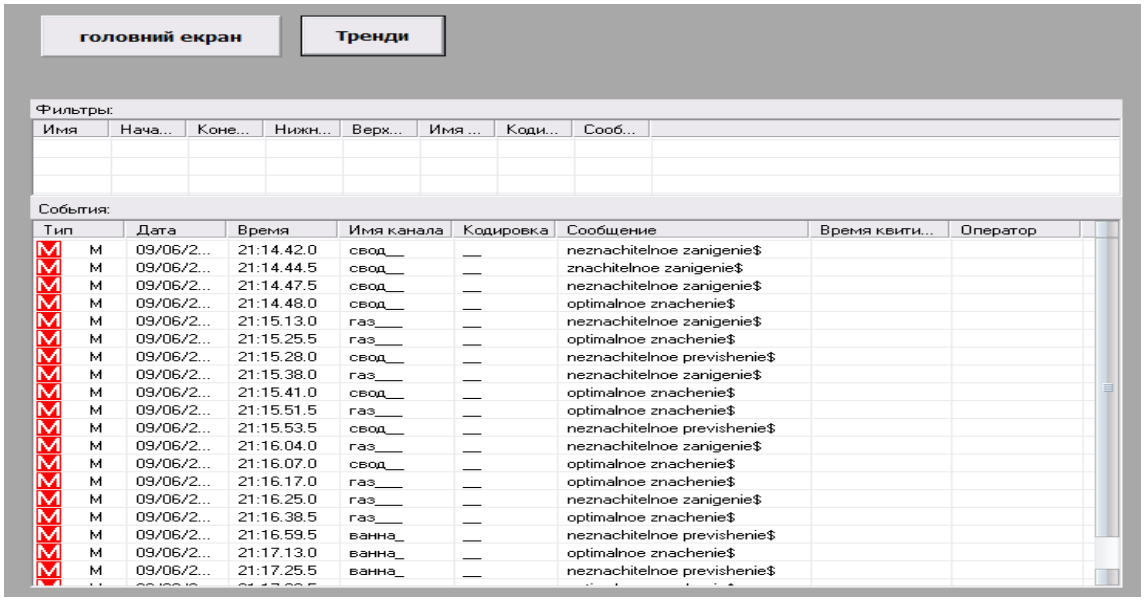


Рисунок 4.8 – Звіт тривог

Алгоритм роботи програми.

Для реалізації управління процесом нагріву сталі розроблена FBD-програма, що реалізує візуалізацію процесу роботи методичної печі. На головному екрані відображаються основні параметри які необхідно контролювати для забезпечення нормального процесу нагріву. На екрані «тренди» відображаються параметри температури, а також витрати природного палива. На екрані «звіт тривог» виводиться екран звіту тривог, який служить для запису інформації про зміну значень каналів, повідомлень, що містять тексти зі словників подій. Кожний рядок містить час і дату, а також ряд додаткових полів. Усі повідомлення у звіті тривог мають свій тип, що визначає ступінь відповідальності повідомлень. В аварійному режимі повідомлення для аналогових сигналів заносяться у звіт тривог при перетинанні реальним значенням аварійних меж.

На рисунку 4.9 наведена FBD – програма системи.

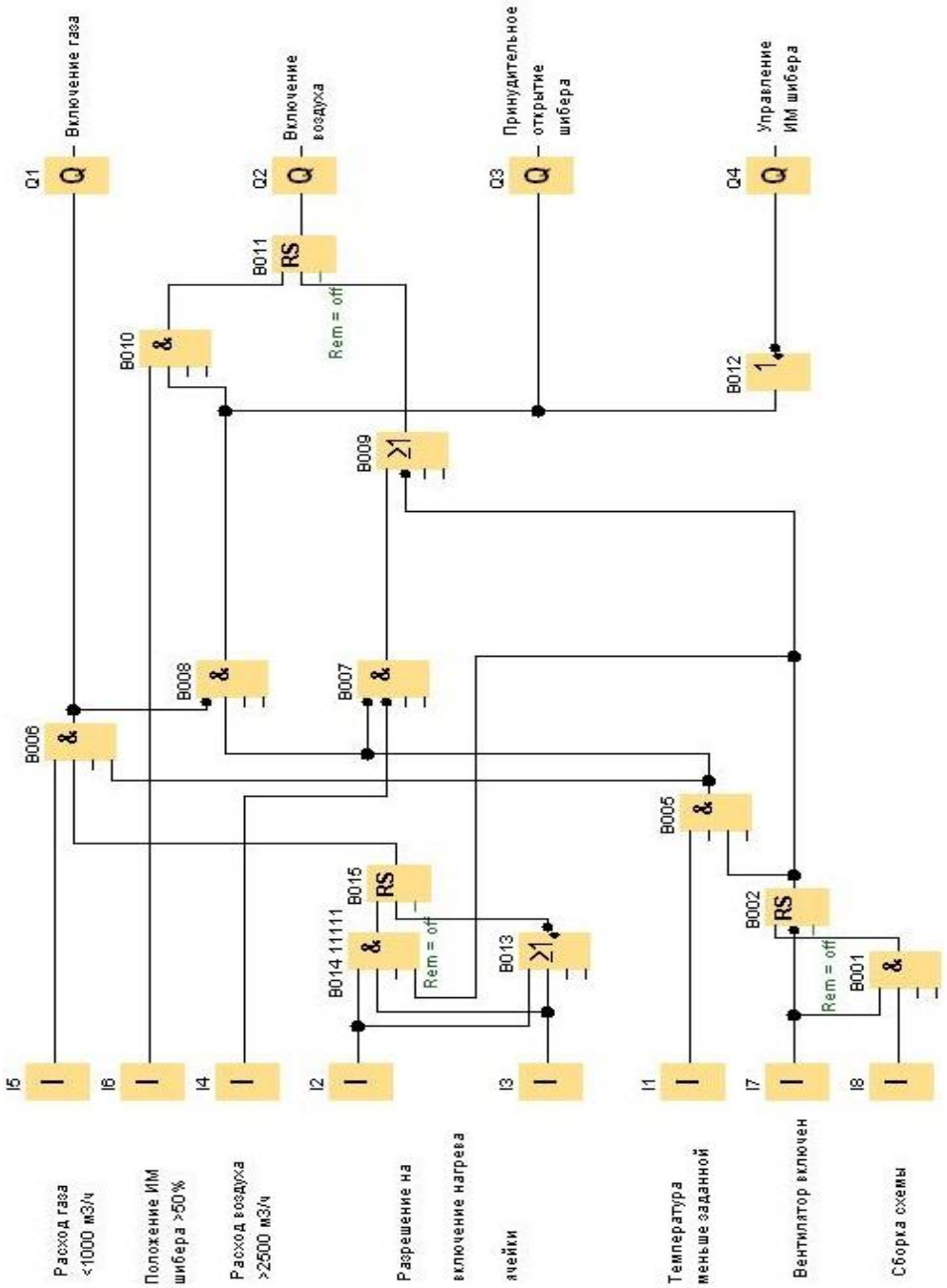


Рисунок 4.9 – FBD – програма системи

4.4 Функціональні схеми автоматизації управління

Функціональна схема автоматизації (ФСА) є одним із ключових документів під час проєктування систем автоматизації. Вона визначає функціональну структуру системи, обсяг автоматизації технологічного об’єкта

та відображає взаємодію між засобами автоматизації й об’єктом керування.

ФСА являє собою креслення, на якому за допомогою умовних графічних позначень відображаються:

– технологічне обладнання та комунікації;

– первинні вимірювальні прилади;

– місця встановлення засобів автоматизації;

– технічні засоби автоматизації та зв’язки між ними;

– граничні значення контрольованих і регульованих параметрів;

– пояснення нестандартних позначень трубопроводів.

Під час розроблення функціональної схеми автоматизації було вирішено такі основні завдання:

– отримання первинної інформації про стан технологічного процесу та обладнання;

– передавання і відображення отриманої інформації;

– формування керувальних впливів;

– безпосереднє керування технологічним процесом.

З урахуванням вимог технологічного процесу до рівня та обсягу автоматизації, а також відповідно до обраної структури керування і комплексу технічних засобів, розроблено функціональну схему автоматизації методичної печі, яка наведена в графічній частині проєкту.

На схемі представлено контур автоматичного регулювання температури в робочій камері електричної печі з викотним подом. Підтримання заданого температурного режиму здійснюється за допомогою електронагрівачів опору, потужність яких змінюється відповідно до сигналу, що надходить від датчика температури до інтелектуального контролера. У контролері поточне значення температури порівнюється із заданою уставкою, після чого формується керувальний сигнал, який визначає необхідну потужність електронагрівачів для забезпечення та підтримання встановленого температурного режиму в камері печі.

Висновки. У розділі виконано повний комплекс проектно-конструкторських робіт із розробки та технічного забезпечення системи автоматичного керування температурою в зонах методичної печі. На основі аналізу складних температурних режимів обґрунтовано та сформовано оптимальний комплекс технічних засобів, що базується на високоточних термопарах типу ТПП і ТХА та сучасному модульному мікропроцесорному контролері. Інтеграція датчиків із нормуючими перетворювачами дозволила уніфікувати вхідні сигнали до стандарту 4–20 мА, забезпечивши високу завадостійкість каналів зв'язку в умовах металургійного виробництва. Вибір виконавчих механізмів типу МЕО з плавним регулюванням та зворотним зв'язком гарантує точне відпрацювання керуючих впливів за ПІД-законом. Впровадження розробленої специфікації обладнання дозволить не лише стабілізувати тепловий стан печі, а й знизити питомі витрати палива та підвищити якість нагріву заготовок.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

5.1 Охорона праці

Персонал, який здійснює обслуговування технологічних ліній, засобів вимірювальної техніки та елементів промислової автоматики, зобов'язаний досконало знати та неухильно дотримуватися правил охорони праці, що діють на конкретній виробничій ділянці. До фахівців з експлуатації висуваються підвищені вимоги щодо безпечного ведення робіт.

Категорично забороняється проведення будь-яких ремонтних або налагоджувальних робіт на імпульсних лініях, запірній арматурі та регулюючих органах, які перебувають під тиском. Перед початком робіт на технологічних трубопроводах (паропроводах, лініях із високотемпературними, токсичними чи агресивними середовищами) запірні вентилі мають бути надійно заблоковані, а на них вивішено застережний плакат: «Не вмикати! Працюють люди» (або «Не вмикати, ремонт!»). Слід обов'язково перевірити точність і надійність відсікання необхідної ділянки. Після повного охолодження імпульсної лінії її внутрішній простір через продувний вентиль сполучають з атмосферою для скидання залишкового тиску.

Під час обслуговування та ремонту електричних приладів необхідно повністю вимкнути електроживлення, а на комутаційних апаратах (пускачах, автоматичних вимикачах) розмістити заборонний знак. Ремонт електрообладнання під напругою, а також перевірка наявності електричного потенціалу дотиком руки або методом короткого замикання дротів суворо заборонені. У виняткових випадках, коли технологічно неможливо знеструмити апаратуру, роботи дозволяється виконувати виключно інструментом з ізольованими ручками, у діелектричних рукавичках, стоячи на діелектричному гумовому килимку.

Пересування персоналу територією металургійного підприємства має здійснюватися суворо за затвердженими безпечними маршрутами прямування (з

якими кожен працівник ознайомлюється під розпис), використовуючи спеціальні пішохідні доріжки, тротуари, перехідні містки та тунелі із дотриманням правого боку. За їх відсутності рух дозволяється по узбіччю автодороги з лівого боку, назустріч транспортному потоку.

У разі виявлення несправностей у роботі обладнання, захисних огороджень, блокувальних або сигналізаційних пристроїв, а також за відсутності належного інструменту, сертифікованих засобів індивідуального (ЗІЗ) та колективного (ЗКЗ) захисту, працівник зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника і не приступати до виконання обов'язків до повного усунення порушень.

Експлуатаційні обмеження:

1. Забороняється здійснювати пуск або переналагодження механізмів, агрегатів та машин, обслуговування яких не входить до посадових обов'язків працівника.

2. Не допускається присутність або робота на закріплених об'єктах сторонніх осіб, які не мають відповідного допуску.

3. Перед запуском будь-якого технологічного агрегату або машини відповідальна особа повинна особисто переконатися у відсутності людей у небезпечній зоні та подати встановлений попереджувальний (звуковий або світловий) сигнал.

4. Забороняється перебувати поблизу механізмів, що діють в автоматичному режимі, заходити за захисні периметри, а також знімати чи встановлювати захисні кожухи під час роботи обладнання.

Виробники робіт (бригадири) та майстри дільниць КВПіА зобов'язані забезпечити:

– постійне підтримання чистоти й належного порядку на робочих місцях;

– своєчасну доставку до місця виконання робіт необхідного інструменту, пристосувань та матеріалів згідно з проектом виконання робіт (ПВР) або технологічною запискою;

– контроль справності систем електроживлення механізмів і зварювальних апаратів (перевірку правильності підключення, цілісності ізоляції, надійності захисного заземлення);

– ретельну перевірку технічного стану захисних огороджень, риштувань, настилів та лісів.

Проведення монтажних або ремонтних робіт у зонах, де можливе виділення, скупчення або утворення шкідливих і токсичних газів (що є характерним для районів розташування металургійних печей), допускається лише після попереднього узгодження з керівництвом газової служби підприємства. Газове господарство зобов'язане забезпечити комплекс захисних заходів: попередній відбір та хімічний аналіз проб повітряного середовища, а також безпосереднє чергування представників газорятувальної служби. Персонал у таких зонах обов'язково забезпечується промисловими протигазами, що відповідають специфіці та хімічному складу можливих газових виділень.

У приміщеннях із підвищеною або особливою небезпекою враження електричним струмом, а також під час виконання робіт поза приміщеннями, живлення ручного переносного електроінструменту має здійснюватися від джерела напруги, що не перевищує 42 В.

Перед початком експлуатації будь-якого електроінструменту обов'язковому контролю підлягають:

1. Справність і цілісність контуру захисного заземлення.

2. Надійність затягування гвинтів і кріпильних елементів вузлів та деталей.

3. Працездатність та чіткість функціонування вимикача.

4. Справність механічного редуктора (при вимкненому двигуні шпиндель повинен вільно провертатися вручну).

5. Фізичний стан переносних живильних кабелів (відсутність пошкоджень ізоляції, переломів або оголення струмопровідних жил).

6. Заземлюючі провідники для переносного інструменту повинні знаходитися в загальній захисній оболонці разом із робочими жилами і мати

ідентичну їм площу поперечного перерізу. Наявність та правильність підключення заземлюючого дроту перевіряється оператором щодня перед початком робочої зміни.

Під час прокладання й експлуатації живильних кабелів та проводів електроінструменту категорично забороняється їх безпосереднє зіткнення з гарячими, вологими, покритими мастилом або іншими нафтопродуктами поверхнями.

5.2 Вимоги до обладнання

1. Технологічні вимоги до основного обладнання методичної печі.

Методична піч як об'єкт автоматизації та теплотехнічний агрегат безперервної дії повинна відповідати суворим конструктивним і експлуатаційним вимогам для забезпечення безперебійного нагріву заготовок. Футеровка робочого простору та конструкція завантажувальних і видавальних вікон повинні мінімізувати теплові втрати. Механізми ущільнення заслонок робочих вікон мають унеможливлювати підсмоктування холодного атмосферного повітря та «вибивання» печних газів у цех. Штовхальний механізм повинен забезпечувати плавність ходу, точність позиціонування лінії заготовок і володіти достатнім зусиллям для переміщення всієї маси металу (садки) вздовж поду печі без перекосів. Трубні опорні конструкції, за якими рухається метал у зварювальних зонах, повинні мати безперервне і контрольоване водяне (або випарне) охолодження для запобігання їх деформації та прогару під дією високих температур. Газові та газомазутні пальники повинні забезпечувати стабільне факельне горіння в широкому діапазоні зміни тиску палива та дутьового повітря, стійкість до зашлаковування та рівномірне розсіювання тепла у відповідній зоні нагріву. Рекуператори (металеві радіаційні або керамічні) та боровні канали повинні бути стійкими до термічних ударів і газової корозії,

забезпечуючи підігрів повітря до нормативних 250 – 255 °С за рахунок тепла відхідних димових газів.

2. Проектована система автоматизованого керування повинна будуватися на базі сучасних мікропроцесорних засобів та відповідати принципам відкритості, живучості й промислової надійності:

– АСУ ТП повинна мати чітку трирівневу ієрархічну структуру. Нижній рівень (датчики, виконавчі механізми) має бути інтегрований із середнім рівнем (програмовані логічні контролери — ПЛК) за допомогою завадостійких промислових мереж (RS-485/Modbus, Profibus або Industrial Ethernet). Верхній рівень (АРМ оператора) повинен здійснювати супервізорний контроль на базі SCADA-системи;

– сумісність із архітектурою IBM PC та підтримка стандартних мов логічного програмування (IEC 61131-3);

– модульна структура модулів вводу-виводу (DI, DO, AI, AO) із можливістю «гарячої» заміни;

– наявність завадозахищених каналів зв'язку для двостороннього обміну даними з ЕОМ верхнього рівня;

– достатній об'єм оперативної та флеш-пам'яті для зберігання алгоритмів позонного регулювання та локальних архівів при тимчасовій втраті зв'язку з сервером;

3. Вимоги до первинних перетворювачів (датчиків):

– висока точність, швидкодія та завадостійкість в умовах сильних електромагнітних полів металургійного цеху;

– датчики тиску (типу Метран-100ДИ або аналогічні) повинні мати уніфікований вихідний струмовий сигнал (4 – 20 м) та підтримку цифрового HART-протоколу для віддаленої діагностики та налаштування. Вони мають бути стійкими до різких стрибків тиску для унеможливлення викиду розділового середовища (масла) в імпульсні лінії;

– термоперетворювачі (термопари) в робочій зоні печі повинні мати високоміцні захисні чохли, стійкі до тривалого впливу температур до 1600 °С та агресивного газового середовища.

4. Вимоги до виконавчих механізмів та систем регулювання

– поворотні заслінки на трубопроводах газу та повітря, а також шибер димоходу повинні мати стабільні видаткові характеристики без люфтів у з'єднаннях з електроприводами;

– Електричні виконавчі механізми (типу МЕО або аналогічні) повинні витримувати жорсткий короткочасно-реверсивний режим роботи, що є типовим для замкнених контурів ПІ-регулювання температур та тиску.

– усі критичні виконавчі механізми повинні мати можливість переходу на місцеве ручне керування штурвалами або дистанційне керування з пульта оператора у випадку відмови контролера або втрати живлення.

SCADA-система на АРМ оператора повинна відображати поточний стан печі у вигляді динамічних мнемосхем, будувати графіки (тренди) технологічних параметрів у реальному часі, фіксувати дії персоналу та вести довгостроковий архів роботи агрегату.

Програмне забезпечення контролера повинно здійснювати безперервну самодіагностику модулів. При виникненні аварійних ситуацій (падіння тиску газу чи повітря нижче критичних меж) система ПАЗ зобов'язана за час, що не перевищує 1с, задіяти швидкодійні відсічні клапани, повністю припинити подачу палива на піч та активувати світлозвукову сигналізацію.

5.3 Заходи з електробезпеки

При напрузі до 1200 В повинен здійснюватися захист:

а) трансформаторів та кожного відхідного від них приєднання від струмів короткого замикання - автоматичними вимикачами з максимальним

струмовим захистом - миттєво у межах до 0,2 с;

б) електродвигунів та кабелів, що їх живлять: від струмів короткого замикання – миттєвий або селективний у межах до 0,2 с;

в) від струмів перевантаження або від перегрівання (для електродвигунів, що працюють у режимі екстрених перевантажень - від перекидання та нездійсненого пуску); нульовий; від вмикання напруги при зниженому опорі ізоляції відносно землі;

г) іскронебезпечних кіл, що відходять від вторинних обмоток знижувального трансформатора, вбудованого в апарат, від струмів короткого замикання;

д) електричної мережі від небезпечних витікань струму на землю - автоматичними вимикачами або одним вимикальним апаратом у комплексі з одним апаратом захисту від витікання струму на всю електрично пов'язану мережу (підключену до одного або групи трансформаторів, що працюють паралельно); при спрацюванні апарата захисту від витікання струму повинна відключатися уся мережа, підключена до вказаних трансформаторів, за винятком відрізку кабелю довжиною до 10 м, що поєднує трансформатори із загальномережним автоматичним вимикачем.

Основні елементи системи електробезпеки зводяться до застосування:

– захисту від доторкання до токоведучих частин;

– пониженої напруги для ручних електроапаратів і машин;

– індивідуальних засобів захисту;

– захисного заземлення і занулення.

Згідно ПУЕ захисним заземленням повинні обладнуватися всі металічні частини електричних установок, які не знаходяться під напругою, але можуть виявитися під ним у випадку пошкодження ізоляції. ПУЕ обмежують найбільший опір заземлення:

– для електроустановок з V < 1000 В при сумарній потужності генераторів або трансформаторів у живлячої

– мережі потужністю не більше 100 кВт чи 100 кВ·А – 10 Ом; в інших випадках – 4 Ом;

– для електроустановок з V > 1000 В: при ефективно заземленій нейтралі живлячої мережі – 0,5 Ом; при ізольованій нейтралі живлячої мережі і умові, що заземлювач використовується тільки для електроустановок:

– для електроустановок з V > 1000 В: при ефективно заземленій нейтралі живлячої мережі – 0,5 Ом; при ізольованій нейтралі живлячої мережі і умові, що заземлювач використовується тільки для електроустановок:

$$V > 1000 \text{ В} – R_з \leq 10 \text{ Ом};$$

– -те ж, але при умові, що заземлювач використовується для електроустановок, $R_з$ при цьому приймається найменш розрахованим опором або потребуючим для електроустановок з V < 1000 В.

Таблиця 4.2 – Електроприймачі

Марка двигуна	Встановлена потужність, кВт	Об./хв.	Струм при 380В, А
АИР112МВ6	4	970	10
АИР160S4	15	1500	30
АИР315S4	160	1500	286

В робочому приміщенні використовується 3-х фазна електрична мережа з глухозаземленою нейтралью і з зануленням електрообладнання. Система заземлення складається з: головних заземлювачів, місцевих заземлювачів і заземляючої мережі. Розрахуємо захисне заземлення .Визначимо число електродів заземлення підстанції. Напруга 6/0,4кВ. На стороні з напругою 6кВ нейтраль ізольована, на стороні з 0,4 кВ – наглухо заземлена. Загальна протяжність кабельних ліній напругою 6кВ – $l_{каб}$ = 20 м, розрахунковий коефіцієнт Ψ_2 = 1,56. Вимірювання песку, вироблені в червні місяці, показали

значення питомого опору $\rho_{из}$ = 0,6* 10^4 (Ом * см) = 60 Ом*м при середній вологості.Струм однофазного замикання на землю в мережі 6 кВ:

$$I_з = U (35l_{каб} + l_в) / 350 = 6 (35 * 20 + 10) / 350 = 12,2А \quad (5.1)$$

Опір заземлювального пристрою для мережі 6 кВ при загальному заземленні:

$$R_з = U_з / I_з = 125 / 12,2 = 10,2 Ом \quad (5.2)$$

Опір заземлювального пристрою для мережі 0,4 кВ з наглухозаземленою нейтраллю повинен бути не більше 4 Ом. Приймаємо найменший опір заземлювального пристрою при загальному заземленні 4 Ом.

Розрахункова питомий опір піку по:

$$\rho = \rho_{из}\Psi_2 = 0,6 \cdot 10^4\ 1,56 = 0,94 \cdot 10^4 = 94 Ом \cdot м \quad (5.3)$$

Вибираємо в якості заземлювачів пруткові електроди довжиною l = 5 м.

Опір одиночного пруткового електрода:

$$R_{о.пр} = 0,00227\ \rho = 0,00227 \cdot 0,94 \cdot 10^4 = 21,3 Ом \quad (5.4)$$

Приймаємо розміщення заземлювачів в ряд з відстанню між ними α = 6 м.

Число заземлювачів:

$$n = R_{о.пр}/(R) = 21,3 / (0,8 \cdot 4) = 7 шт.$$

де η = 0,8 при a / *l*> 1, $R_з$ = 4Ом (за нормами).

5.4 Пожежна безпека

Небезпека виникнення пожежі на метало прокатних підприємствах визначається перш за все фізико-хімічними властивостями газу і газового конденсату та інших горючих речовин , що використовуються в процесі виробництва. При використанні газу можливе утворення вибухонебезпечних сумішей газу з повітрям що при наявності джерела спалаху може призвести до вибухів і пожеж. Причинами пожежі можуть бути :

– порушення технологічних процесів виробництва;

– недотримання вимог нормативних документів;

– несправність обладнання і неякісний його ремонт;

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно утримувати виробничі об’єкти в чистоті і систематично очищувати їх від відходів виробництва. Всі горючі і легкозаймисті речовини та матеріали зберігати в спеціально відведених місцях. Для забезпечення пожежної безпеки необхідно дотримуватись деяких правил:

– завантажувальні вікна печі закривають кришками, які щільно прилягають до віконних прорізів;

– підйом кришок робочих вікон повинен бути механізований. Кришки печей, які потребують зусиль менше 12 кг, допускається піднімати вручну;

– печі, в яких нагріваються заготовки, які виступають з завантажувального вікна, обладнуються пристроєм повітряної завіси, яка виключає викидання язиків полум'я;

– у місцях можливого скупчення газу повинні бути встановлені газоаналізатори, спеціальні звукові, світлові або інші прилади, які сигналізують про витік газу;

– мережа трубопроводів палива забезпечується вентилями в місцях відходу гілок від центральної магістралі і запобіжними пристосуваннями, які автоматично припиняють подачу палива в разі аварії. Вентилі і запобіжні

пристрої повинні розташовуватися або відгороджуватися так, щоб виключалося випадкове пошкодження їх.

Все струмонесучі частини електричних печей повинні бути ізольовані або огороджені. Огорожі та інші металеві нетоконесущіе частини повинні бути надійно заземлені.

Кожен технологічний об’єкт і транспорт повинен бути обладнаний первинними засобами пожежегасіння :

1) пінні вогнегасники – 6 штук ;

2) ящики з піском 0,5 $м^3$ – 2 штуки ;

3) сокири – 2 штуки ;

4) лопати – 2 штуки ;

5) пожежні відра – 4 штуки ;

6) азбестові і грубополотняні полотна.

Висновки. У ході виконання розділу було проведено всебічний аналіз питань охорони праці, промислової, пожежної енергетичної безпеки під час проектування, експлуатації та автоматизації вітроенергетичних установок і робочого місця оператора АСУ ТП. Систематизація нормативно-правової бази підтвердила, що створення безпечного виробничого середовища базується на суворому дотриманні вимог чинного законодавства України, зокрема Кодексу цивільного захисту, профільних інструкцій НПАОП та міжнародних інженерних стандартів серії ДСТУ EN 61400.

6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Метою даного розділу є оцінка економічної доцільності впровадження розробленої системи автоматичного керування (САУ) температурою зон методичної печі.

Капітальні вкладення (К) складаються з вартості обладнання, допоміжних матеріалів, а також витрат на монтаж і пусконалагоджувальні роботи:

$$K = K_{обл} + K_{мат} + K_{монт}, \quad (6.1)$$

Витрати на монтаж та пусконалагодження ($K_{монт}$) приймаються в розмірі 20% від вартості КТЗ:

$$K_{монт} = 60100 \cdot 0{,}20 = 12020 \text{ грн.}$$

Сумарні капітальні вкладення в проект:

$$K = 60100 + 12020 = 72120 \text{ грн.}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат.

Експлуатаційні витрати до і після впровадження проекту включають амортизаційні відрахування, витрати на поточний ремонт та обслуговування. Для автоматизованих систем мікропроцесорного типу річні витрати на обслуговування значно менші через відсутність рухомих контактів і високу надійність.

Норма амортизації для засобів обчислювальної техніки та автоматики становить $N_a = 15\%$.

$$A = K \cdot \frac{N_a}{100\%} = 72120 \cdot 0{,}15 = 10818 \ \frac{\text{грн.}}{\text{рік}}. \quad (6.2)$$

Витрати на поточне обслуговування та ТР (Р).

Приймаються в розмірі 5% від капітальних вкладень:

$$\text{Р} = 72120 \cdot 0{,}05 = 3606 \ \frac{\text{грн.}}{\text{рік}}. \qquad (6.3)$$

Разом річні експлуатаційні витрати на систему САР ($\text{С}_{\text{САР}}$):

$$\text{С}_{\text{САР}} = 10818 + 3606 = 14424 \ \frac{\text{грн.}}{\text{рік}}. \qquad (6.4)$$

Розрахунок економічного ефекту.

Економічний ефект досягається за рахунок двох факторів:

1. Зменшення витрат палива (енергоресурсів) завдяки підтриманню оптимального температурного режиму в кожній зоні печі. Автоматичне регулювання усуває перегрів або недогрів металу, зменшує втрати теплоти через нераціональне спалювання палива та забезпечує більш рівномірний тепловий режим.

2. Підвищення якості продукції та зниження втрат від браку**,** оскільки стабільна температура нагрівання забезпечує необхідні технологічні параметри обробки металу. Це зменшує кількість дефектів, повторного нагрівання заготовок та непродуктивних витрат виробництва.

Загальний річний економічний ефект (прибуток):

$$\text{П} = \ \text{Е}_1 + \text{Е}_2 - \text{С}_{\text{САР}} = 14400 + 12000 - 14424 = 11976 \ \frac{\text{грн.}}{\text{рік}}. \qquad (6.5)$$

Розрахунок показників ефективності інвестицій.

Термін окупності проекту ($\text{Т}_{\text{ок}}$) показує час, за який капітальні вкладення повністю повернуться за рахунок генерованого чистого прибутку:

$$T_{ок} = \frac{К}{П} = \frac{72120}{11976} = 6{,}02 \text{ років.} \quad (6.6)$$

Коефіцієнт економічної ефективності (E):

$$E = \frac{1}{T_{ок}} = \frac{1}{6{,}02} = 0{,}166 \quad (6.7)$$

Отримане значення E = 0,166 перевищує нормативний коефіцієнт ефективності для галузі автоматизації ($E_н$ = 0,12 – 0,15), що свідчить про доцільність капіталовкладень.

Висновок. Проведені техніко-економічні розрахунки підтвердили високу фінансову та експлуатаційну доцільність автоматизації методичної печі. При загальних капітальних витратах у розмірі 72120 грн. на придбання та монтаж обладнання нижнього рівня АСУ ТП (ПЛК Siemens, термопари, перетворювачі температури), чистий річний економічний ефект становить 11976 грн.

Проект має термін окупності 6 років, що є повністю прийнятним показником для систем енергетики середнього класу, а коефіцієнт ефективності інвестицій (0,166), це підтверджує ефективність застосування автоматизованого керування температурним режимом печі та забезпечує зниження енерговитрат і підвищення якості нагрівання металу.

ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної роботи здійснено розробку системи автоматизації трьохзонної методичної печі в умовах металургійного виробництва. Система автоматичного регулювання тиску у методичній зоні

Представлена характеристика методичної печі описаний технологічний процес нагріву злитків. Розглянуто існуючий рівень автоматизації з виявленням недоліків діючої системи.

Розроблена функціональна схема автоматизації методичної печі, вибрані технічні засоби автоматизації та приведені розрахунки регулюючого органу та виконавчого механізму.

Було обрано та обґрунтувано технічні засоби для нижнього рівня системи автоматизації. Розробили алгоритм сигналізації та протиаварійного захисту для технічного обладнання. Цей алгоритм передбачає вчасне виявлення потенційних небезпек та негайне втручання для запобігання аваріям. На основі цього алгоритму створили програмний код, який забезпечує ефективну роботу системи автоматизації і надійний захист обладнання від непередбачених ситуацій. Розроблені принципова електрична, монтажна комутаційна схеми, схема зовнішніх з’єднань і спроектовано приладову шафу КВПіА.

У розділі охорони праці проведений аналіз небезпечних та шкідливих факторів на території термічного цеху, розроблені заходи щодо їх запобігання.

Отримане значення коефіцієнта економічної ефективності 0,166 впровадження системи автоматичного регулювання температури зон методичної печі є економічно доцільним. Очікуваний річний економічний ефект становить 11976 грн, а термін окупності капітальних вкладень – 6,02 роки. Це підтверджує ефективність застосування автоматизованого керування температурним режимом печі та забезпечує зниження енерговитрат і підвищення якості нагрівання металу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.

2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII Голос України. 2017. 27 верес. (№ 178-179). С. 10–22.

3. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. Вид. офіц. Київ. 1998. 45 с. (Інформація та документація).

4. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с.

5. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. К. : Міненерговугілля України, 2021. 617 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с. (Інформація та документація).

7. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Чинний від 2002-01-01]. Київ : Мінпраці України, 2001. 45 с. (Інформація та документація).

8. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2014-12-30]. Київ : МВС України, 2014. 91 с. (Інформація та документація).

9. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [Чинний з 1997-10-06]. Київ : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Інформація та документація).

10. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [Чинний з 1998-01-09]. Київ : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Інформація та документація).

11. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроям. [Чинний від 2018-05-18]. Київ : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. (Інформація та документація).

12. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний з 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Інформація та документація).

13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. Київ : МОЗ України, 1999. 106 с. (Інформація та документація).

14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [Чинний з 01.01.2016]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Інформація та документація).

17. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Київ : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Інформація та документація).

18. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [Чинний від 2015-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Інформація та документація).

19. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [Чинний від 2018-02-23]. Київ : МВС України, 2018. 23 с. (Інформація та документація).

20. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем : навч. посібник. Черкаси : ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

21. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: справочник/ Под ред. Тимофеева Б.Б. Киев : Техника, 1983. 351 с.

22. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: http://wikipage.com.ua/1x400f.html (дата звернення: 13.02.2024).

23. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.11.2022).

24. Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: навч. посіб. : Суми, СумДУ, 2008. 212 с.

25. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с.

26. Збірник наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука – 2020» : у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя : ЗНУ, 2020. Т.5. 280 с.

27. Зінченко Ю. М., Барішенко О. М. Теорія автоматичного управління : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 35 с.

28. Ніколаєнко А. М. Технічні засоби автоматизації. Цифрові регулятори : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 84 с.

29. Манько О. О. Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп’ютерно – інтегровані технології» для студентів заочної форми навчання. Рівне, 2012. 40 с.

30. Манько О. О., Кутя В. М. Методичні вказівки до виконання розрахунково – графічної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп’ютерно – інтегровані технології». Рівне, 2010. 31 с.

31. Металургійна теплотехніка : збірник наукових праць Національної металургійної академії України. Дніпро : «ПП Грек О.С.», 2020. 364 с.

32. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Розрахунок ректифікаційної установки періодичної дії. Проектування насадкової колони.» з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів III–IV курсів; уклад. В. М. Задорожній, В. І. Зражевський, С. О. Опарін. Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2010. 38 с.

33. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності 151 «Автоматизація так комп’ютерно-інтегровані технології» / ред. А. М. Ніколаєнко. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 34 с.

34. Мочалін В. Н., Кочнев Н. В. Моделювання та дослідження систем автотичних управління з використанням ПЕОМ : нав. посіб. Череповець : ЧГІІ, 2005. 178 с.

35. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В., Зеркалов Д. В., Сабарно Р. В., Полукаров О. І., Коз’яков В. С., Мітюк Л. О. Основи охорони праці : підручник. 2-ге вид. Київ: Основа, 2006. 448 с.

36. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР : метод. вказ. до практ. зан. / уклад. В.Г. Трегуб. Київ : НУХТ, 2008. 67 с.

37. Ніколаєнко А.М. Програмування ПЛК у Softlogic-системі. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 203с.

38. Солодовников В.В., Коньков В.Г. Мікропроцесорні автоматичні системи регулювання. Київ: Вища школа, 2021. 255 с.

39. Полянський Г.О. Методичні вказання к розрахунку надійності систем автоматизованого керування. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 24с.

40. Пейсхахов А.Н., Кучер А.М. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» : учебник. Изд-во Михайлова., 2004. 407 с

41. Проектування систем керування : конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами»; уклад. М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленький, Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 279 с.

42. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html (дата звернення: 15.02.2026).

43. Рішан О. Й. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Курс лекцій для студентів спеціальностей: 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» ден. та заочн. форм. навчан. Київ : НУХТ, 2007. 162 с.

44. Свинолобов Н.П. Печи черной металлургии : Учебное пособие для вузов. Днепропетровск : Пороги, 2004. 54 с.

45. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації : навч. посіб. Київ : НМКВО, 2015. 80 с.

46. Тимофеев Б. Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Справочник/ ред. Б. Б. Тимофеева. Киев : Техника, 1983. С. 87 – 88.

47. Емпіріко-теотетичні методи дослідження систем управління. URL: http://examen.od.ua/upravlen/page117.html (дата звернення 22.02.26).

48. Інформаційні технології в металургії. URL: it.edu.ua/news/16-05- 2025-informatsijni-tekhnologiji-v-metalurgiji-ta-mashinobuduvanni-itmm-2025 (дата звернення 15.10.25).

49. Металургійні підприємства України. URL: http://www.steeltorg.com.ua/mp/mp_27.php (дата звернення 20.02.26).

50. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.03.2026).

51. Електрична піч опору. Матеріал з Вікіпедії – вільної енциклопедії: URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрична_піч_опору (дата звернення 13.05.2026).