

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеню вищої освіти-магістр
за освітньо-професійною програмою

«Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті»

зі спеціальності

*174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка*

тема роботи:

*«Автоматизація процесу гарячого дуття доменної печі для підтримки
оптимального теплового стану»*

Виконав ст. гр.АКІТР-23-1м

Резніков Р.О.

Керівник

Тиханський М.П.

Нормоконтроль

Маринич І.А.

Завідувач кафедри

Рубан С.А.

Кривий Ріг – 2024

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**Факультет:** інформаційних технологій**Кафедра:** автоматизації, комп'ютерних наук і технологій**Ступінь вищої освіти:** Магістр**Спеціальність:** 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка**ЗАТВЕРДЖУЮ**Зав. кафедри: к.т.н. Рубан С.А.

«29» червня 2024 р.**ЗАВДАННЯ****на кваліфікаційну роботу магістра**студенту групи АКІТР-23-1м Резнікову Роману Олександровичу**1. Тема роботи:** «Автоматизація процесу гарячого дуття доменної печі для підтримки оптимального теплового стану»затверджено наказом по університету № 595с від 04.07.2023.**2. Термін здачі завершеної роботи:** «01» грудня 2024 р.**3. Склад кваліфікаційної роботи:** Пояснювальна записка, додаток, презентація у Microsoft PowerPoint в електронному та друкованому вигляді**4. Консультанти кваліфікаційної роботи:**Розділ 1-3 доц. Тиханський М.П.Нормоконтроль доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>10.07.24</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>15.07.24</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>18.08.24</i>
4	<i>Розділ 3</i>	<i>19.09.24</i>
5	<i>Висновки</i>	<i>15.10.24</i>
6	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>20.11.24</i>
7	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>28.11.24</i>
8	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>01.12.24</i>

6. Дата видачі завдання: 29.06.2024р.

Керівник _____ /Тиханський М.П. /

7. Запевнення: Я, Резніков Роман Олександрович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету з метою запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти ознайомена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ /Резніков Роман Олександрович /

АНОТАЦІЯ

Резніков Р.О. Автоматизація процесу гарячого дуття доменної печі для підтримки оптимального теплового стану.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеню вищої освіти магістр за освітньо-професійною програмою «Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті» зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології та робототехніка. – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом дослідження є процес гарячого дуття доменної печі.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизації процесу гарячого дуття для підтримки оптимального теплового стану доменної печі.

Метою даної роботи є розробка та системи автоматизації процесу гарячого дуття доменної печі для підтримки оптимального теплового стану.

У роботі розглядаються основні принципи автоматичного регулювання, аналізуються існуючі методи та засоби автоматизації, а також пропонуються нові підходи до вирішення поставлених завдань.

Розроблено схеми автоматизації локальних систем контролю та керування: температури гарячого дуття, співвідношення "природний газ - холодне дуття", витрати природного газу за фурмами, вологості гарячого дуття, тиску змішаного газу. Розроблена SCADA процесу гарячого дуття доменної печі.

Очікувані результати роботи включають підвищення ефективності роботи доменної печі, зниження витрат енергії та покращення якості чавуну. Впровадження розробленої системи автоматизації дозволить забезпечити стабільний тепловий режим роботи печі, що є важливим фактором для досягнення високих показників продуктивності та якості продукції.

Ключові слова:

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ДОМЕННА ПІЧ, НЕЙРОРЕГУЛЯТОР, НЕЙРО-НЕЧІТКИЙ РЕГУЛЯТОР, ПОВІТРЕНАГРІВАЧ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ.

ANNOTATION

Reznikov R.O. Automation of the hot blast process of a blast furnace to maintain an optimal thermal state.

Qualification work for the degree of higher education master in the educational and professional program "Cyber-physical systems in industry, business and transport" in the specialty 174 - Automation, computer-integrated technologies and robotics. - Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2024.

The *object of the study* is the hot blast process of a blast furnace.

The *subject of the study* is methods and means of automating the hot blast process to maintain the optimal thermal state of a blast furnace.

The *purpose of this work* is to develop and automate the hot blast process of a blast furnace to maintain the optimal thermal state.

The work considers the basic principles of automatic regulation, analyzes existing methods and means of automation, and also offers new approaches to solving the tasks set.

Automation schemes for local control and management systems have been developed: hot blast temperature, natural gas - cold blast ratio, natural gas flow rate through the lances, hot blast humidity, mixed gas pressure. SCADA for the blast furnace hot blast process has been developed.

The expected results of the work include increasing the efficiency of the blast furnace, reducing energy consumption and improving the quality of cast iron. The implementation of the developed automation system will ensure a stable thermal mode of the furnace, which is an important factor for achieving high productivity and product quality.

Keywords:

AUTOMATIZATION, BLAST FURNACE, NEURO-FUZZY REGULATOR, AIR HEATER, CONTROL SYSTEM, THERMAL PROCESSES

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ	11
1.1 Загальні відомості про доменну піч.....	11
1.2 Аналіз існуючих технічних рішень автоматизації технологічного процесу нагріву дуття в повітрянагрівачі доменної печі.....	16
1.3 Аналіз результатів патентного пошуку автоматизованої системи керування повітрянагрівачем доменної печі.....	21
1.4 Основні задачі та принципи побудови системи автоматичного керування тепловими режимами повітрянагрівачів	27
Висновки до розділу	30
РОЗДІЛ 2. ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ	31
2.1 Структурна модель доменного процесу доменної печі.....	31
2.2 Математична модель теплових процесів доменної печі та структура автоматизованого контролю та керування тепловим станом.....	33
2.3 Визначення параметрів і керуючих впливів математичної моделі нагріву повітрянагрівачів та та теплового стану доменної печі.....	36
2.4 Математична модель об'єктів керування локальних систем.....	39
2.5 Розрахунок регулятора витрат газу та моделювання системи керування нагрівом повітря.....	40
2.6 Моделювання процесу стабілізації температури купола повітрянагрівача.....	44
2.7 Синтез автоматичної системи керування на базі нейрорегулятора....	47

2.8 Синтез автоматичної системи керування на основі нейро-нечіткого регулятора.....	54
Висновки до розділу	60
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ	61
3.1 Принципи побудови SCADA доменної печі.....	61
3.2 Опис функцій АСУ	63
3.3 Контроль технологічних параметрів теплового стану.....	65
3.4 Автоматичне регулювання технологічних параметрів.....	67
3.5 Технологічна сигналізація, захист та блокування в системі.....	69
3.6 Схем автоматизації локальних систем контролю та керування.....	70
3.7 Алгоритму роботи САР температури повітря.....	77
3.8 Розробка SCADA процесу гарячого дуття доменної печі.....	82
Висновки до розділу	87
ВИСНОВКИ	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	91

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування;

АСКП – автоматизована система керування підприємством;

АСК ТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

ВМ – виконавчий механізм;

НЕ – нейроемулятор;

НМ – нейронна мережа;

ОК – об'єкт керування;

ПІД-регулятор – пропорційний інтегральний та диференціальний регулятор;

ПЛК – програмований логічний контролер;

САР – система автоматичного регулювання;

САК – система автоматизованого керування;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

ТК – технологічний комплекс;

ТП – технологічний процес;

ВСТУП

У сучасній металургійній промисловості доменні печі відіграють ключову роль у виробництві чавуну, який є основною сировиною для виготовлення сталі. Одним із найважливіших аспектів ефективної роботи доменної печі є підтримка оптимального теплового стану, що забезпечується за рахунок гарячого дуття. Автоматизація цього процесу дозволяє значно підвищити продуктивність, знизити витрати енергії та покращити якість кінцевого продукту.

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю вдосконалення систем автоматичного керування тепловими процесами в доменних печах. Сучасні технології автоматизації, зокрема використання систем штучного інтелекту та нечіткої логіки, відкривають нові можливості для підвищення ефективності та стабільності роботи доменних печей. В умовах зростаючої конкуренції на ринку металургійної продукції, підприємства змушені шукати нові шляхи підвищення своєї конкурентоспроможності, і автоматизація процесів є одним із найперспективніших напрямків.

Об'єктом дослідження є процес гарячого дуття доменної печі.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизації процесу гарячого дуття для підтримки оптимального теплового стану доменної печі.

Метою даної роботи є розробка та системи автоматизації процесу гарячого дуття доменної печі для підтримки оптимального теплового стану.

У роботі розглядаються основні принципи автоматичного регулювання, аналізуються існуючі методи та засоби автоматизації, а також пропонуються нові підходи до вирішення поставлених завдань. Особлива увага приділяється питанням інтеграції сучасних інформаційних технологій у процеси керування доменними печами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *задачі*:

1. Провести огляд літератури та аналіз існуючих систем автоматизації процесу гарячого дуття.

2. Розглянути основні принципи роботи доменних печей, а також методи контролю та регулювання теплових процесів.
3. Розробити систему автоматизації, включаючи вибір апаратного та програмного забезпечення, розробку алгоритмів керування та їх моделювання.
4. Провести та аналіз отриманих результатів.
5. Розробити SCADA для контролю і керування тепловими процесами в доменній печі.

Очікувані результати роботи включають підвищення ефективності роботи доменної печі, зниження витрат енергії та покращення якості чавуну. Впровадження розробленої системи автоматизації дозволить забезпечити стабільний тепловий режим роботи печі, що є важливим фактором для досягнення високих показників продуктивності та якості продукції.

Таким чином, дана робота має важливе практичне значення для металургійної промисловості та може бути використана для вдосконалення існуючих систем автоматизації на підприємствах.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Загальні відомості про доменну піч

Доменна піч — це найбільший і найскладніший плавильний агрегат у металургійній промисловості, який працює безперервно протягом тривалого періоду, зазвичай від п'яти до семи років. Вона виконує одну з ключових функцій у виробництві чавуну, забезпечуючи перетворення залізородних матеріалів у рідкий чавун через складні термохімічні процеси. Весь цикл роботи в доменну піч безперервно завантажуються залізородні матеріали (залізовмісні руди, агломерати або окатиші) і кокс, а також подається повітряне дуття — нагрійте повітря, яке покращує процес горіння палива. У результаті цього горіння утворюється тепло, яке необхідне для нагрівання, розплавлення та перетворення шихтових матеріалів у кінцеві продукти: чавун, шлаки та доменний газ. Доменний процес включає в себе комплекс взаємопов'язаних механічних, фізичних та фізико-хімічних явищ, які відбуваються на різних рівнях доменної печі. Від розплавлення руди до виходу готового продукту проходить безліч етапів, де кожен з них збільшує важливу роль у загальній ефективності процесу.

Повна схема доменної печі дуже складна і включає численні технологічні елементи, які працюють у взаємодії для досягнення оптимальної продуктивності та безпеки експлуатації (рис.1.1). Сучасна доменна піч — це високотехнологічний агрегат, який споживає величезні об'єми повітряного дуття, що нагрівається до температури від 1100°C до 1200°C. Потужність подачі повітря досягає 4000–4500 м³/хв, що дозволяє підтримувати необхідну температуру та забезпечує максимальну ефективність плавання. [1].

Для зниження витрати дорогого коксу в якості фізичного джерела тепла використовують гаряче дуття. Температура повітря задається в межах 1150-

1250 °С. Для нагрівання повітря використовується спеціальний апарат — повітрянагрівач (Каупері). Каупер є регенеративним теплообмінником, що представляє собою високу камеру, заповнену спеціально укладеною цегляною насадкою. Ця насадка формує вертикальні канали для проходу продукту згоряння або повітря. Одна частина апарату виконує функцію камери горіння. Повітрянагрівач працює циклічно: у першому циклі насадка з цегли нагрівається, у другому через неї пропускається холодне повітря, яке нагрівається під час проходження через гарячі елементи. Процес нагрівання повітря відбувається за рахунок конвективного теплообміну між гарячою цегляною насадкою та повітрям, що подається.

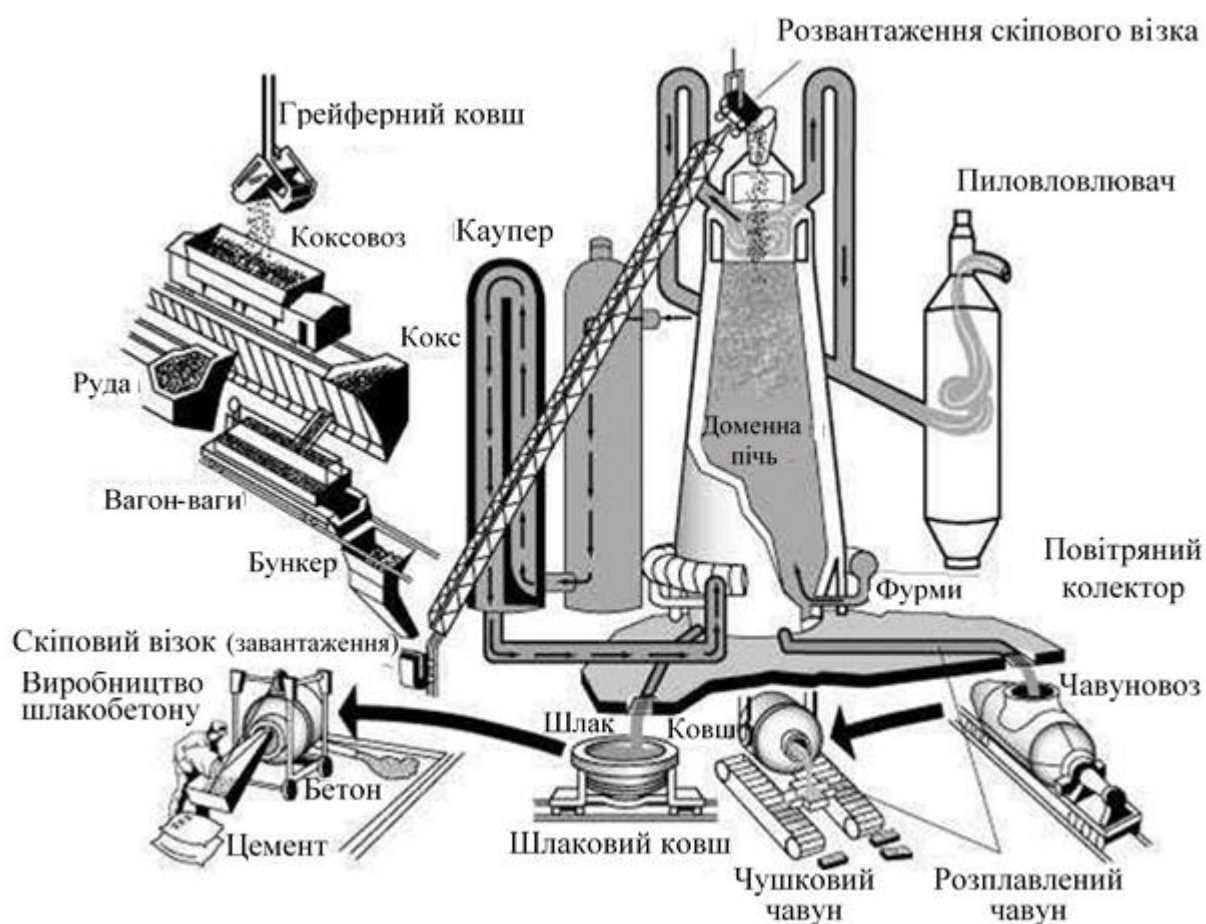


Рисунок 1.1 – Повна схема роботи доменної печі

Основним завданням при управлінні тепловим режимом в період нагріву є забезпечення максимально можливої акумуляції тепла насадкою.

У фазі дуття основна увага приділяється максимізації теплообміну між нагрітими елементами насадки та повітрям ($O_2 + N_2 + H_2O$ у пропорціях 21% та 79%).

Опалюється повітрянагрівач змішаним газом, який складається з коксового газу (до 15%) та доменного газу. Теплотворна здатність коксового газу ($Q_{к.г.}$) становить 3700-4000 ккал/м³, тоді як доменного газу ($Q_{д.г.}$) — 800-1000 ккал/м³.

Досягнення високої температури дуття забезпечується за рахунок повітрянагрівачів, які є регенеративними пристроями циклічної дії. Зазвичай їх розміри досягають висоти 40-50 м і діаметра 9-10 м. Сучасний повітрянагрівач зображено на рис. 1.2.

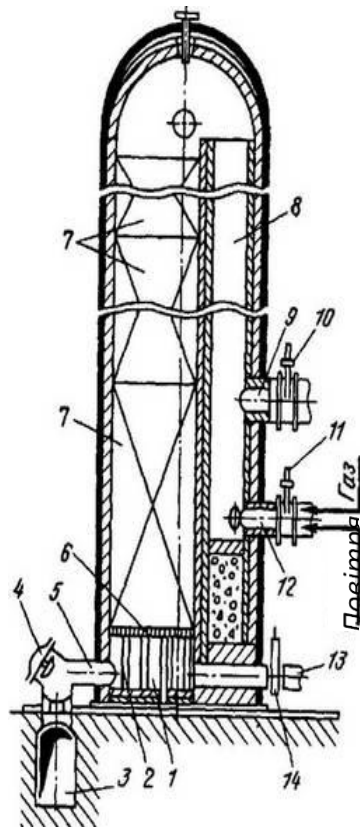


Рисунок 1.2 - Загальний вигляд повітрянагрівачів з внутрішньою камерою горіння

На рисунку 1.2 прийняті наступні позначення: 1 - піднасадочний простір; 2 - колони; 3 - борів; 4 - тарілчасті димові клапани; 5 - патрубки; 6 - чавунна решітка; 7 - насадка; 8 - камера горіння; 9 - патрубок для відведення гарячого дуття; 10 - клапан; 11 - клапан пальника; 12 - пальник; 13 - трубопровід холодного дуття; 14 – клапан.

Для забезпечення постійного підігріву дуття, доменна піч забезпечена трійкою або чотирма вітронагрівачами, які працюють поперемінно: один режим передбачає акумуляцію тепла в насадках регенераторів (режим нагріву), інший — нагрівання повітря (режим дуття). Перемикання між режимами здійснюється п'ятьма основними, трьома додатковими клапанами.

Блок повітронагрівачів має кілька технологічних режимів. При послідовному режимі потрібно задіяти не менше двох повітронагрівачів. Перший повітронагрівач завжди працює на дуття, а другий або інші перебувають у фазах нагрівання або охолодження. Температура дуття, регулюється шляхом зміни співвідношення між гарячим повітрям, що виходить з цього повітря під дією повітронагрівача, і холодним повітрям, яке надходить через змішувальний повітропровід. Після охолодження нагрівача на дуття перекладається черговий нагрітий і тільки після цього остиглий ставиться на нагрів.

При попарно-паралельному режимі роботи під час усього періоду подачі повітря одночасно функціонують два повітронагрівачі, робочі цикли яких зміщені в часі. Під час регулювання пропорції потоків повітря, що надходять від повітронагрівачів з різною температурою нагріву відбувається контроль температура дуття. Якщо режим перехідний, то вирівнювання температури гарячого дуття відбувається шляхом додавання холодного повітря.

У змішаному режимі на початку періоду подачі повітря використовуються два повітронагрівачі: один щойно підключений, нагрітий, а інший – той, що поступово охолоджується і продовжує працювати певний час разом із новим нагрівачем. Спосіб стабілізації температури подібний до того, який застосовується в попарно-паралельному режимі. Після завершення заданого періоду охолоджений повітронагрівач переводиться в режим нагріву, і на подачу

повітря залишається лише один нагрівач. стабілізується шляхом Додаючи холодне повітря підтримується стабільною температура гарячого дуття. Повітрянагрівач із послідовним режимом роботи вважається більш ефективним з технологічної точки зору [10].

На сьогоднішній день зміна режиму нагріву на режим подачі повітря та назад відбувається автоматично. Це виключає можливість помилок з боку персоналу. Як наслідок, підвищується ефективність всієї системи нагріву дуття.

У момент переведення повітрянагрівача в режим дуття насадка має максимальну ентальпію. $t_{\text{купола}}$ і $t_{\text{вер.час.насадки}}$ також досягають максимуму. Під час роботи в дуттьовому режимі насадка поступово віддає тепло, що призводить до зниження її температури. Коли $t_{\text{вер.рядів.насадки}}$ досягає встановленого значення для режиму дуття, слід переключити на цей режим інший нагрітий повітрянагрівач, а охолоджений перевести назад у режим нагріву. Перехід здійснюється за встановленим графіком: 60 хвилин в режимі дуття і 120 хвилин в режимі нагріву.

Існує ряд заводів на яких перехід повітрянагрівачів виконується за сигналом повного закриття змішувального клапана. Подібний метод призводить до непередбачуваності часу перемикавання, що ускладнює планування розподілу газу між повітрянагрівачами всіх доменних печей цеху. У процесі нагрівання вітрянагрівач обігрівачається доменним газом, який пропускається до камери горіння через спеціальний пальник. Повітря подається в камеру вентилятора під тиском, а витрати газу регулюються заслінкою в газопроводі. Витрат повітря на вихід здійснюють шляхом положення заслінок направляючого апарата на вході вентилятора або використанням жалюзійних заслінок на виході для подачі повітря. [4].

САУ нагрівом повітрянагрівачів повинна виконувати завдання:

1. Під час режиму нагріву забезпечити накопичення достатньої кількості тепла в насадках повітрянагрівачів, щоб під час режиму дуття отримати необхідну кількість повітря.

2. Забезпечувати накопичення необхідної кількості тепла визначеного поточного часу, при цьому мінімізуючи витрати палива. Або ж використовувати цей процес за найкоротший час, за умов обмежених витрат палива та повітря

3. Захищати купол, верхній ряд насадок і нижні конструктивні елементи вітронагрівача від перегріву. Максимальна температура купола і верхніх насадок обмежується стійкістю вогнетривких матеріалів, а температура нижніх конструкцій — міцністю.

1.2 Аналіз існуючих технічних рішень автоматизації технологічного процесу нагріву дуття в повітронагрівачі доменної печі

На схемі існуючої АСУ нагрівом повітронагрівача, зображеній на рис. 1.3, показано наступний алгоритм роботи: у газопровід 1, в якому встановлена вимірювальна діафрагма надходить газ для опалення повітронагрівачів доменної печі. Комплект приладів 2 забезпечує облік загальної кількості газу, що витрачається для нагріву всіх повітронагрівачів конкретної доменної печі. За допомогою локальної типової системи регулювання 3 стабілізується тиск газу. Витрата газу на всі повітронагрівачі контролюється інструментами 4. Витрата газу підтримується на необхідному рівні регулятором витрати 5. Цей регулятор керує виконавчим механізмом 6 на регулюючій заслінці, що встановлена на вході газу до пальника.

Температура купола ($t_{\text{купола}}$) стабілізується системою 7, яка включає в себе датчик температури, вторинний прилад, регулятор і виконавчий механізм 8. Ця система впливає на заслінки жалюзі 10 у тракті 11. $t_{\text{диму}}$ вимірюється за допомогою термомпари та вторинного приладу 12.

В цій системі керування відбувається через зміну коефіцієнта витрати повітря.

3 системи автоматичного управління повітрянагрівачами

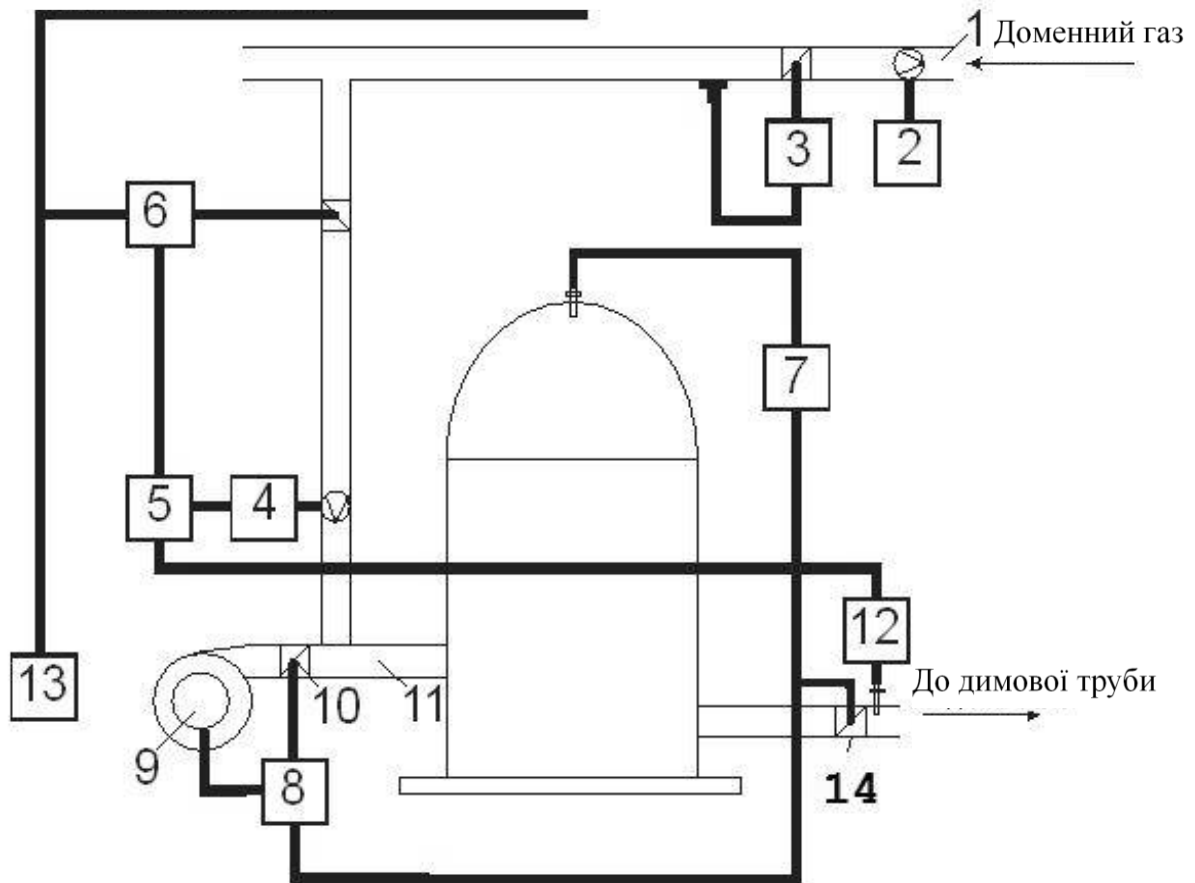


Рисунок 1.3 - Схема управління нагрівом повітрянагрівача

На рисунку 1.3 прийняті наступні позначення: *1* - газопровід; *2* - стандартний комплект приладів для реєстрації загальної кількості газу; *3* - система стабілізації тиску газу; *4* - прилад для контролю витрати газу; *5* - регулятор витрати; *6* - виконавчий механізм; *7* - система стабілізації температури купола; *8* - виконавчий механізм; *9* - лопаті вентилятора; *10* - заслінки жалюзі; *11* - повітряний тракт пальника; *12* - вторинний прилад; *13* - датчик контролю факела; *14* - дросельний клапан подачі дуття в піч.

Система керування нагрівом повітрянагрівача працює наступним чином: надходять сигнали для увімкнення вентилятора та часткового відкриття клапана на газопроводі, який веде до пальника. У разі виникнення полум'я в камері згоряння повітрянагрівача, датчик *13* дозволяє активацію автоматичного

регулятора 5, задача якого утримувати необхідний рівень витрати газу. На цьому етапі витрата повітря регулюється таким чином, щоб коефіцієнт витрати повітря був наближений до 1. $t_{\text{купола}}$ повітрянагрівача починає підвищуватися і, досягнувши максимально допустимого рівня, регулятор 7 відкриває лопатки направляючого апарата і таким чином збільшує витрату повітря. Це призводить до стабілізації $t_{\text{купола}}$ через зниження $t_{\text{прод.згор}}$.

Насадка поступово прогривається, зростає температура димових газів, які виходять із повітрянагрівача. При досягненні максимально можливого рівня, система контролю $t_{\text{диму}}$ - 12 змінює завдання регулятору витрати газу - 5, так, щоб $t_{\text{диму}} < t_{\text{диму_макс}}$. При цьому витрата повітря не змінюється, що забезпечує ефективність роботи системи корекції.

Перевіривши роботу СУ нагрівом повітрянагрівачів відзначимо вразливість системи стабілізації $t_{\text{купола}}$ - 7, що складається з датчика температури, вторинного приладу, регулятора і виконавчого механізму – 8. [5].

Для стабілізації $t_{\text{купола}}$ повітрянагрівача під час нагріву в цій системі використовується лопатки направляючого апарату.. Однак аналіз роботи системи виявив кілька недоліків:

- втрати електроенергії через постійну роботу двигуна, незалежно від положення жалюзі;
- сильний знос двигуна через безперервну роботу, що призводить до передчасних поломок і додаткових витрат на ремонт;
- низька швидкість реакції та надійність системи управління.

Функціональна схема регулювання теплового режиму повітрянагрівачів доменної печі представлена на рис.1.4.

На рисунку 1.4 прийняті наступні позначення: 1,5 – вимірювання тиску коксового та доменного газів відповідно. Передбачена можливість встановлення аварійної сигналізації у разі падіння тиску будь-якого з цих газів; 2,4,3 – окреме вимірювання витрат коксового та доменного газів. Калорійність (теплотворна здатність) суміші газів регулюється через об'ємне пропорціонування витрат

коксового газу, який є висококалорійною складовою; 7,6 – вимірювання та регулювання тиску змішаного газу, що подається до повітрянагрівача.

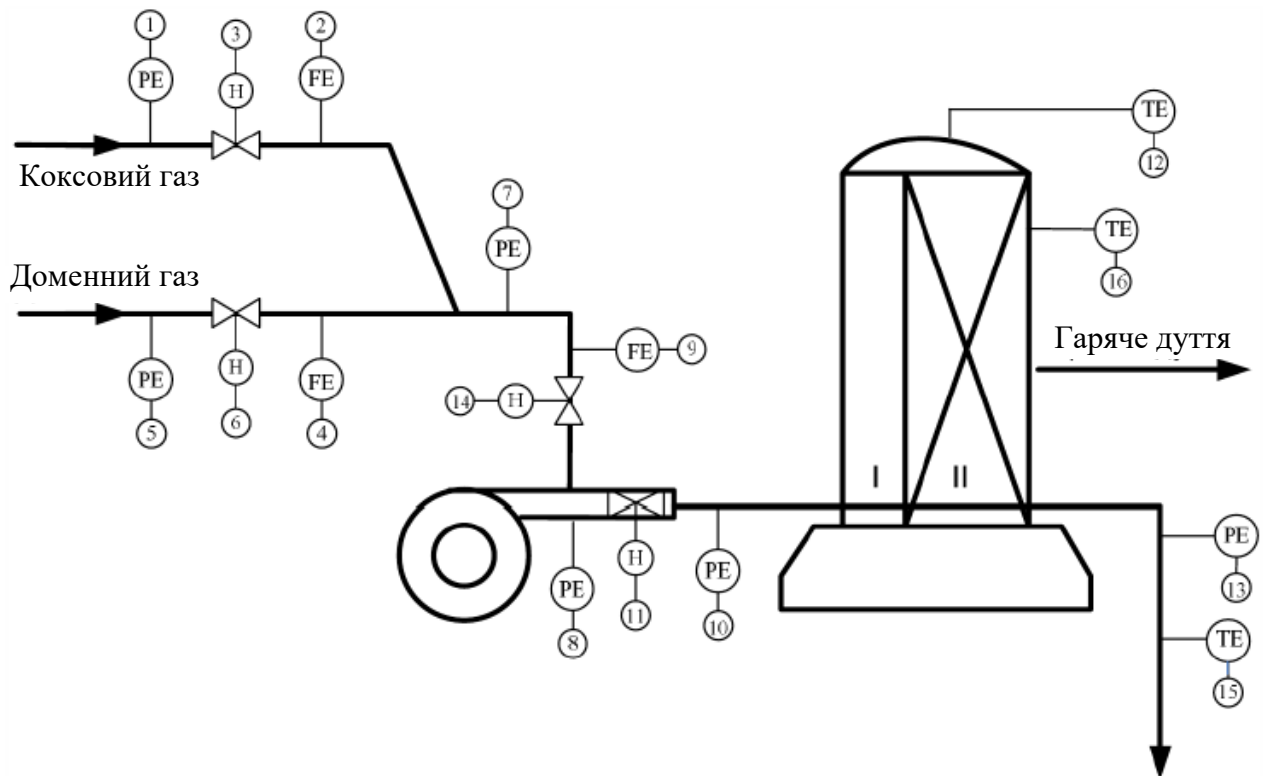


Рисунок 1.4 - Функціональна схема регулювання теплового режиму повітрянагрівачів доменної печі

Тиск регулюється зміною витрати доменного газу, оскільки він є основною об'ємною складовою суміші; 9,14 – вимірювання та регулювання витрат змішаного газу для кожного повітрянагрівача. Основною задачею в період нагріву є максимальне накопичення тепла, тому витрата змішаного газу встановлюється на максимально допустимому рівні, обмеженому можливостями апарату. Зазвичай у послідовному режимі один апарат працює на дуття, а два або три – на нагріванні. Проте можливі й попарно-паралельні та змішані режими роботи повітрянагрівачів; 8 – вимірювання тиску повітря, що подається вентилятором на пальник. Передбачена аварійна сигналізація при падінні тиску; 10 – вимірювання тиску гарячого дуття; 12,11 – вимірювання та регулювання температури купола повітрянагрівача. Зазвичай температура підтримується на

граничному рівні, допустимому за проектом. У цій схемі є специфічна особливість: для підвищення температури дається команда на зменшення витрати повітря, а для зниження – на її збільшення. Збільшення витрати повітря шляхом розведення продуктів згоряння призводить до підвищення їх швидкості в каналах, що інтенсифікує конвективний теплообмін і сприяє кращому прогріву насадки по висоті; 13,15 – вимірювання $t_{\text{диму}}$ та розрідження на вході в димову трубу; 16 – вимірювання $t_{\text{диму}}$ в піднасадковому просторі. Насадка в нижній частині спирається на чавунні колони, тому для забезпечення їхньої термічної міцності $t_{\text{диму}}$ не повинна перевищувати 400-450 °С.

У теплотехнічному плані блок повітрянагрівачів є складним об'єктом управління. Основні завдання автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП) полягають у:

- визначенні оптимальної тривалості циклу роботи блоку повітрянагрівачів. Цикл роботи визначається сумою тривалостей дуття кожного з повітрянагрівачів блоку;
- виборі раціональних параметрів температури хоча б в одній точці по висоті повітрянагрівача (якщо така точка відсутня, використовується температура диму);
- визначенні режиму роботи блоку (послідовний, попарно-паралельний або змішаний).

У послідовному режимі один повітрянагрівач працює на дуття, а інші – на нагріванні.

При попарно-паралельному режимі на дуття одночасно працюють два повітрянагрівача: новий, більш нагрітий, і старий, що вже остигає. У міру охолодження старого повітрянагрівача, він переводиться на нагрів, а до нового додається наступний.

У змішаному режимі спочатку один повітрянагрівач працює на дуття, а в міру його охолодження до нього підключається другий, при цьому поступово збільшується витрата повітря через нього. Охолоджений повітрянагрівач потім переводиться на режим нагріву.

1.3 Аналіз результатів патентного пошуку автоматизованої системи керування повітрянагрівачем доменної печі

Існує система управління повітрянагрівачами доменної печі, що має тільки один рівень автоматизації, який включає блок вхідних сигналів, блок завдань, блок сигналізації, блок управління клапанами, регулятор, блок вихідних сигналів [9]. Дана система має кілька суттєвих недоліків. Основним є те, що вона побудована на жорсткій логіці управління і використовує локальні блоки, реалізовані за допомогою контакторних електричних схем. Це знижує надійність технічних засобів, не забезпечує стабільної роботи повітрянагрівачів і обмежує можливості оперативного контролю та управління.

Також система представлена лише одним рівнем автоматизації, що значно ускладнює отримання повної та актуальної інформації про перебіг технологічного процесу в повітрянагрівачі та стан технологічного обладнання. Така обмеженість суттєво звужує функціональні можливості управління повітрянагрівачами, особливо при необхідності адаптації до змінних умов експлуатації.

Крім того, існує автоматизована система контролю і управління повітрянагрівачем доменної печі, яка більш ефективно виконує свої функції. Вона включає два рівні: рівень керуючої підсистеми та рівень візуалізації. У керуючу підсистему додані блок діагностики системи, координатор технологічного процесу та блок міжрівневого обміну, що значно підвищує ефективність роботи та дозволяє отримувати більш точну і своєчасну інформацію про стан повітрянагрівача.

На рис.1.5 представлена функціональна блок-схема автоматизованої системи контролю та управління повітрянагрівачем доменної печі.

Система має дворівневу структуру: перший рівень представляє керуючу підсистему, а другий рівень відповідає за візуалізацію технологічного процесу.

Керуюча підсистема включає в себе кілька основних компонентів. По-перше, це блок вхідних сигналів *1*, який отримує дані про стан обладнання.

Координатор технологічного процесу (КТП) 2 аналізує ці дані та формує завдання для управління повітрянагрівачем на основі його поточного стану. Блок управління клапанами 3 відповідає за безпосереднє керування клапанами, а регулятор 4 підтримує оптимальне співвідношення "повітря-газ", що забезпечує стабільну температуру купола повітрянагрівача. Блок діагностики системи 5 перевіряє точність і коректність вхідних сигналів, тоді як блок сигналізації 6 контролює передаварійні та аварійні ситуації, формуючи відповідні повідомлення. Блок вихідних сигналів (ВС) 7 передає команди на виконавчі механізми, а блок міжрівневого обміну даними 8 забезпечує взаємодію між різними підсистемами.

Другий рівень, відповідальний за візуалізацію, містить блок завдань 9, який управляє процесом у відповідності з вимогами технології. Блок технологічного інтерфейсу (ТІ) 10 дає можливість операторам спостерігати за станом системи в реальному часі, а блок зберігання даних процесу 11 накопичує інформацію для подальшого аналізу або звітності.

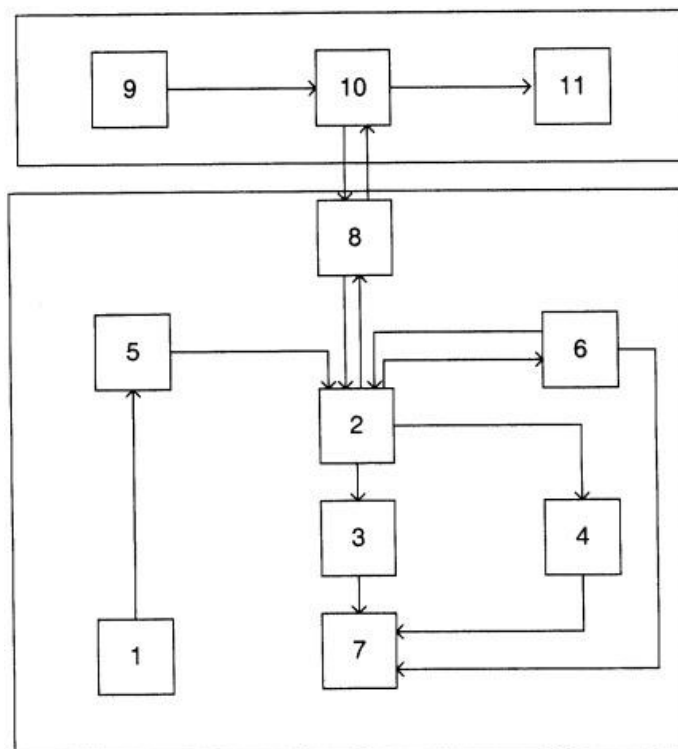


Рисунок 1.5 - Функціональна блок-схема автоматизованої системи контролю та управління повітрянагрівачем доменної печі

Система працює таким чином. Дані з датчиків, виконавчих механізмів, електроприводів клапанів і ключів управління повітрянагрівача надходять до блоку вхідних сигналів 1, де здійснюється перетворення аналогових сигналів у фізичні величини за спеціально розробленим алгоритмом, а також прийом дискретних сигналів. Оброблені сигнали з цього блоку передаються на вхід блоку діагностики 5, де вони перевіряються на достовірність і правильність за допомогою апаратно-програмного методу. Після цього дані надходять до КТП 2, який, на основі отриманої інформації та даних із блоку міжрівневого обміну даними 8, визначає поточний стан та режим роботи повітрянагрівача.

Оброблена та проаналізована координатором 2 інформація передається на вхід блоку сигналізації 6 для подальшого контролю та формування набору повідомлень, що сигналізують про передаварійний або аварійний стан повітрянагрівача. Після обробки, сформований масив повідомлень виходить з блоку сигналізації 6 і надходить знову до КТП 2. Далі, через блок міжрівневого обміну даними 8, цей масив передається в систему візуалізації, де відображається на ТІ 10. Одночасно інформація з другого виходу блоку сигналізації 6 надходить на третій вхід блоку вихідних сигналів 7, де дані про аварійний або передаварійний стан передаються на пости керування у вигляді звукової та світлової сигналізації.

Якщо в системі виникають передаварійні ситуації або спрацьовують технологічні блокування, відповідна інформація від блоку сигналізації 6 передається до КТП 2. На основі отриманих даних і алгоритму його роботи координатор формує команди для заборони роботи певних клапанів повітрянагрівача. У випадку, коли такі ситуації або блокування не виявлені, координатор створює завдання на керування клапанами, яке направляється до блоку управління клапанами 3. Окрім цього, він формує завдання для регулювання температури купола з підтримкою оптимального співвідношення "повітря/газ", яке надсилається до регулятора 4.

Блок управління клапанами 3, діючи за спеціальними алгоритмами для різних типів клапанів і приводів, генерує керуючі сигнали, які передаються в

блок вихідних сигналів 7 для подальшого управління механізмами. Регулятор 4, відповідно до завдання від КТП 2 та розробленого алгоритму, здійснює двоконтурне регулювання температури купола, визначаючи й підтримуючи оптимальне співвідношення "повітря/газ". На основі цього регулятор формує керуючі впливи, які через блок ВС 7 змінюють поточне співвідношення "повітря/газ" шляхом коригування витрати повітря.

Блок міжрівневого обміну даними 8 виконує функцію організації двостороннього обміну інформацією між керуючою підсистемою та рівнем візуалізації технологічного процесу. Це забезпечує безперервну передачу актуальних даних до блоку ТІ 10, що дозволяє своєчасно оновлювати та відображати інформацію про стан процесу. Блок ТІ 10 отримує параметри налаштувань і завдання для управління технологічними операціями від блоку завдань 9. На основі цих даних блок ТІ 10 генерує динамічні екрани, які відображають поточний стан системи на технологічних серверах у режимі реального часу, дозволяючи операторам стежити за роботою обладнання та своєчасно реагувати на будь-які зміни в процесі.

Через блок ТІ 10 усі необхідні дані для подальшого аналізу надходять у блок зберігання даних процесу 11, де організоване архівування інформації. Це дає можливість зберігати великий обсяг даних про роботу системи, що може бути використано для довгострокового аналізу, оптимізації процесів або виявлення потенційних проблем у роботі повітрянагрівача.

На рисунку 1.6 представлена технічна структура автоматизованої системи контролю та управління повітрянагрівачем доменної печі. Ця структура описує ключові компоненти системи та їх взаємодію. Основні функції керуючої підсистеми виконуються за допомогою логічного вільно програмованого пристрою управління. Він складається з центрального модуля, оснащеного керуючим процесором і програмною пам'яттю 1, а також модулів введення/виведення 2, які підключені до датчиків контрольно-вимірювальних приладів 3, виконавчих механізмів 4, електроприводів клапанів 5 і ключів керування 6.

Зв'язок між центральним модулем і модулями введення/виведення здійснюється через мережу PROFIBUS-DP, що забезпечує надійну передачу даних. За допомогою цього логічного програмованого пристрою управління 1 система збирає дані з датчиків, виконавчих механізмів і електроприводів клапанів повітрянагрівача. Крім того, цей пристрій організовує фізичний обмін інформацією з рівнем візуалізації процесу, що дозволяє операторам отримувати актуальні дані про роботу системи.

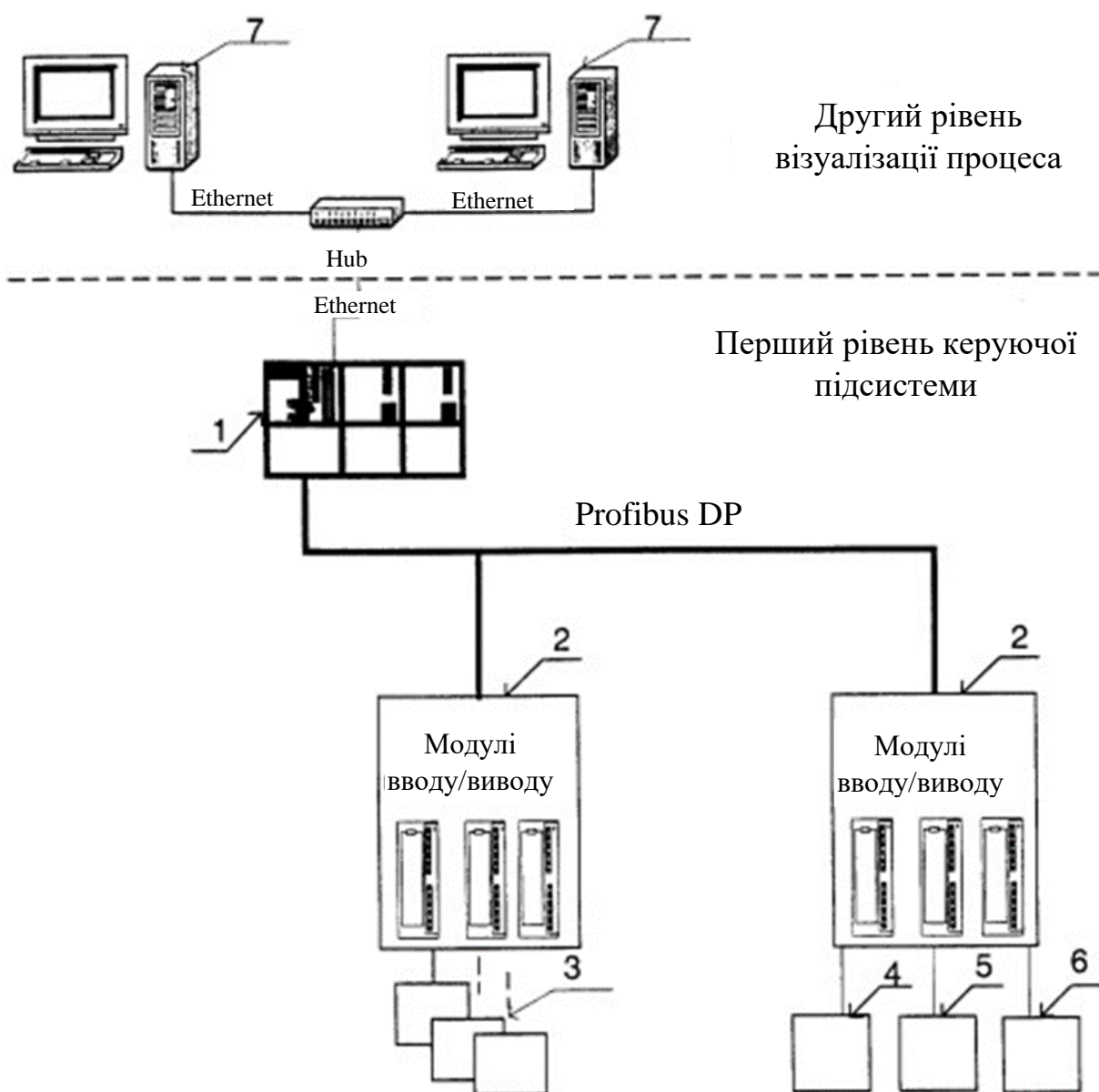


Рисунок 1.6 - Технічна структура автоматизованої системи контролю та управління повітрянагрівачем доменної печі

Розроблене програмне забезпечення відіграє важливу роль в автоматизації управління. Воно дозволяє формувати керуючі сигнали для виконавчих механізмів 4 і електроприводів клапанів 5, відповідно до заданого режиму роботи повітрянагрівача. Система також підтримує оптимальне співвідношення "повітря/газ", що є ключовим фактором для ефективної роботи. Окрім цього, програмне забезпечення готує дані для подальшого обміну інформацією з рівнем візуалізації процесу, що дозволяє операторам здійснювати моніторинг і контроль у реальному часі.

Функції візуалізації технологічного процесу реалізуються на персональному комп'ютері 7, який виконує роль технологічного сервера і підключений до інформаційно-технологічної мережі цеху. Це дає змогу оперативно відображати та аналізувати дані про роботу системи, забезпечуючи ефективне керування технологічним процесом.

Розроблене ПЗ забезпечує прийом завдань і налаштувань від технологічного персоналу, відображення поточної інформації в зручному і зрозумілому вигляді. Це включає цифрові показники, графіки та мнемосхеми, які точно відображають реальні технологічні процеси повітрянагрівача, максимально наближені до його технологічних схем. Окрім цього, програмне забезпечення дозволяє архівувати результати вимірювань, реєструвати технологічні дані і параметри налаштування конфігурації системи, що забезпечує надійний контроль та можливість подальшого аналізу.

Зв'язок між логічним вільно програмованим пристроєм управління та підсистемою візуалізації реалізований через мережу Industrial Ethernet, що забезпечує швидку і надійну передачу даних. Завдяки цьому система функціонує цілодобово і в реальному часі, дозволяючи безперервно контролювати всі аспекти роботи повітрянагрівача.

Запропонована автоматизована система контролю і управління повітрянагрівачем доменної печі не тільки промислово застосовна, але й забезпечує високу ефективність у керуванні повітрянагрівачем. Вона дає можливість оперативно надавати інформацію технологічному персоналу, що

дозволяє своєчасно реагувати на зміни у процесі. Ефективність спалювання палива підвищується завдяки автоматизованому управлінню температурним режимом повітрянагрівача, при цьому підтримується оптимальне співвідношення "повітря/газ", що сприяє економії енергії та покращенню роботи системи.

1.4 Основні задачі та принципи побудови системи автоматичного керування тепловими режимами повітрянагрівачів

Основними завданнями автоматизованої системи керування тепловими режимами вітрянагрівачів є забезпечення максимально ефективного та економічного спалювання палива, а також нагрівання насадки до необхідної температури з обмеженням граничної температури купола. Це запобігає руйнуванню вогнетривких матеріалів. Крім того, система автоматизації відповідає за автоматичне перемикання між режимами нагріву та подачі повітря (дуття) у відповідні моменти часу (рис. 1.7). Система також контролює низку важливих параметрів, таких як вологість, витрати, концентрація доменного газу та кількість повітря у паливній суміші, яка використовується для нагріву повітрянагрівача. Таким чином, автоматизація дозволяє ефективно регулювати процес горіння і підтримувати потрібні умови для забезпечення стабільної та безпечної роботи повітрянагрівача. [7, 8].

Газ, який використовується для нагріву повітрянагрівачів доменної печі, подається через газопровід 1, обладнаний вимірювальною діафрагмою для контролю витрат. Стандартний набір приладів 2 забезпечує фіксацію загальної кількості газу, що споживається для нагріву всіх повітрянагрівачів на даній доменній печі. Стабілізація тиску газу здійснюється локальною типовою системою регулювання 3.

Витрата газу на кожен окремий повітрянагрівач контролюється за допомогою вимірювальних перетворювачів 4 і підтримується на заданому рівні

за допомогою регулятора витрати 5. Цей регулятор керує виконавчим механізмом 6, який впливає на заслінку, що регулює подачу газу до пальника. Температура купола стабілізується спеціальною системою 7, яка включає датчик температури, вторинний прилад, регулятор і виконавчий механізм 8. Останній управляє положенням жалюзі 10 на повітряному тракті пальника 11, тим самим регулюючи потік повітря.

Крім цього, дросельний клапан 13 відповідає за регулювання подачі гарячого повітря (дугтя) до доменної печі, а температура димових газів контролюється за допомогою термопари та вторинного приладу 12. Ці системи працюють разом для забезпечення оптимальних умов горіння та стабільного функціонування повітрянагрівачів, підвищуючи їх ефективність і знижуючи енергетичні витрати. [7,8].

Аналіз технологічного об'єкта та умов експлуатації повітрянагрівачів доменної печі виявив кілька факторів, що негативно впливають на ефективність роботи системи стабілізації температури купола повітрянагрівача 7. Зокрема, вентилятор 9 функціонує у безперервному режимі, при цьому кількість холодного повітря, яке подається до повітрянагрівача, регулюється за допомогою жалюзійних заслінок 10. Основними чинниками, що знижують ефективність системи, є невиробничі втрати енергії у заслінках, дроселях та інших регулюючих пристроях. Це призводить до підвищеного споживання електроенергії технологічним обладнанням та збільшення зносу двигуна вентилятора.

Крім того, важливим фактором є складний режим запуску вентилятора, пов'язаний з пусковими струмами, які в 6–7 разів перевищують номінальні значення, а також тривалим часом розгону через значну інерцію робочого колеса вентилятора. Такі режими експлуатації призводять до електричних та механічних перевантажень двигуна, а також до підвищених теплових навантажень під час запуску, що значно знижує його надійність. Хоча пристрої плавного пуску частково вирішують проблему, вони не усувають її повністю. Для розгону вентилятора за допомогою такого пристрою, навіть за умови

закритих заслінок, потрібен 3–3,5-кратний пусковий струм у тривалому режимі роботи, що не дозволяє суттєво збільшити ресурс електродвигуна.

Для підвищення ефективності та зниження енергоспоживання пропонується використовувати систему автоматичного управління з частотно-регульованим електроприводом вентилятора. Це рішення не тільки зменшить витрати електроенергії, але й дозволить спростити механічну систему, підвищити надійність роботи вентиляційної системи загалом та знизити експлуатаційні витрати. Застосування частотного регулятора дозволяє запускати двигун плавно, без високих пускових струмів та динамічних перевантажень у механічній системі вентилятора, що забезпечує більш тривалий термін служби обладнання та підвищену надійність всієї системи.

З системи автоматичного управління

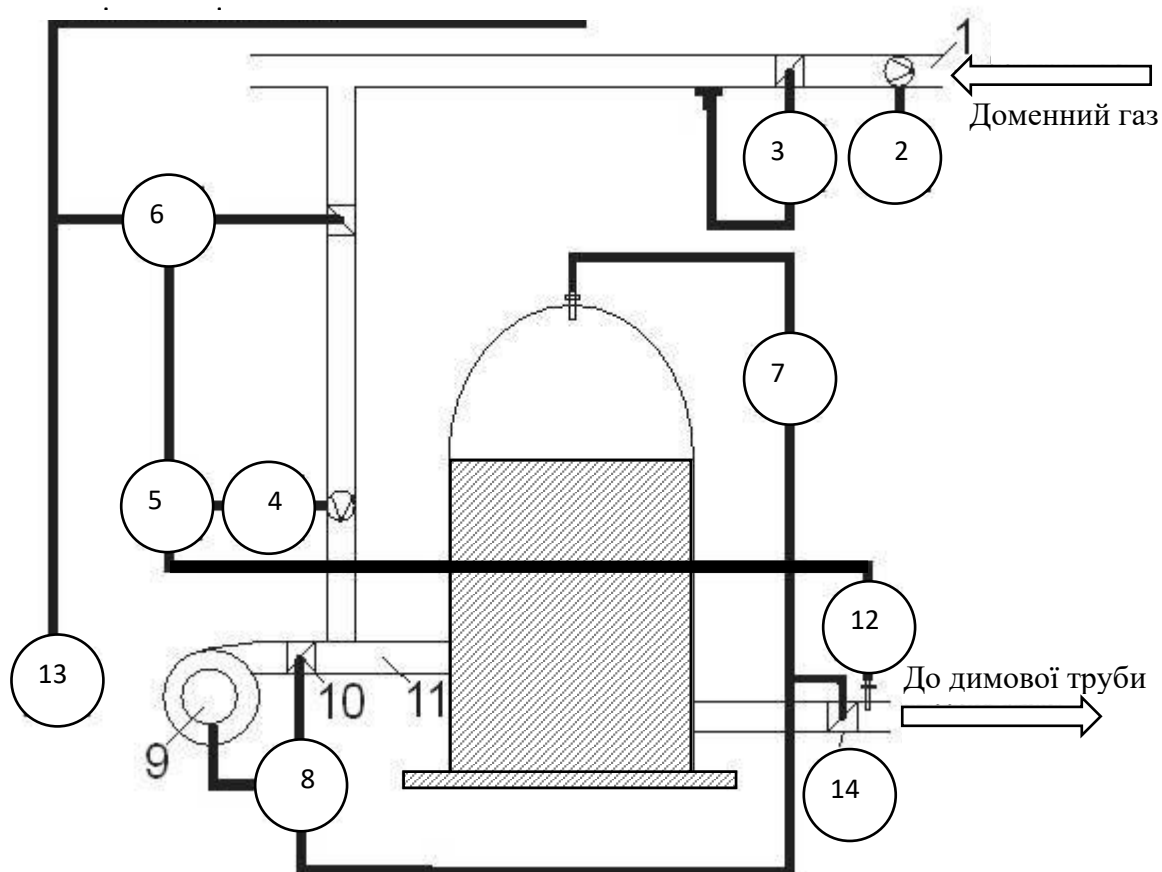


Рисунок 1.7 - Схема управління нагрівом повітрянагрівача доменної печі

Висновки до розділу

Основним завданням при управлінні тепловим режимом в період нагріву є забезпечення максимально можливої акумуляції тепла насадкою.

Виконано аналіз існуючих технічних рішень автоматизації технологічного процесу нагріву дуття в повітрянагрівачі доменної печі.

Виконано аналіз результатів патентного пошуку автоматизованої системи керування повітрянагрівачем доменної печі.

Сформовані основні задачі та принципи побудови системи автоматичного керування тепловими режимами повітрянагрівачів. Основними завданнями автоматизованої системи керування тепловими режимами вітрянагрівачів є забезпечення максимально ефективного та економічного спалювання палива, а також нагрівання насадки до необхідної температури з обмеженням граничної температури купола.

Для підвищення ефективності та зниження енергоспоживання пропонується використовувати систему автоматичного управління з частотно-регульованим електроприводом вентилятора. Це рішення не тільки зменшить витрати електроенергії, але й дозволить спростити механічну систему, підвищити надійність роботи вентиляційної системи загалом та знизити експлуатаційні витрати.

РОЗДІЛ 2

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

2.1 Структурна модель доменного процесу доменної печі

Сучасний доменний процес належить до класу нелінійних і виключно складних систем, які мають розподілену структуру як у просторі, так і в часі. Системи характеризуються великою кількістю внутрішніх і зовнішніх збурень, що мають цінні випадковий (стохастичний) характер, а також складною взаємодією окремих процесів між собою.

Математична модель такої системи представлена у вигляді багаторівневої конструкції, яка включає взаємопов'язані елементи, згруповані в підсистеми різних рівнів. Кожна підсистема або елемент взаємодіють як між собою, так і з зовнішнім середовищем. [15-17].

Аналіз доменного процесу як об'єкта моделювання свідчить, що для розв'язання задач з аналізу і прогнозування показників доменної плавки з урахуванням реальної інформації про роботу печі необхідно виконати декомпозицію вихідної системи (S_0) на три основні підсистеми:

- теплового стану доменної печі (S1);
- дутьового та газодинамічного режимів доменної плавки (S2);
- шлакового режиму (S3).

Зазначені підсистеми на укрупненому рівні охоплюють основні явища, що характерні для доменного процесу.

Функціональні зв'язки між підсистемами тісно взаємопов'язані й взаємозалежні. З урахуванням цього, узагальнена модель доменного процесу може бути продеманстрована як граф (рис. 2.1). Вершини графа представлені підсистеми S_i , а їх взаємодія описується зв'язками, які визначаються вектором

A_{ij}^0 . Вектор A_{ij}^0 характеризує сукупність явищ, що виникають при взаємодії між підсистемами i та j .

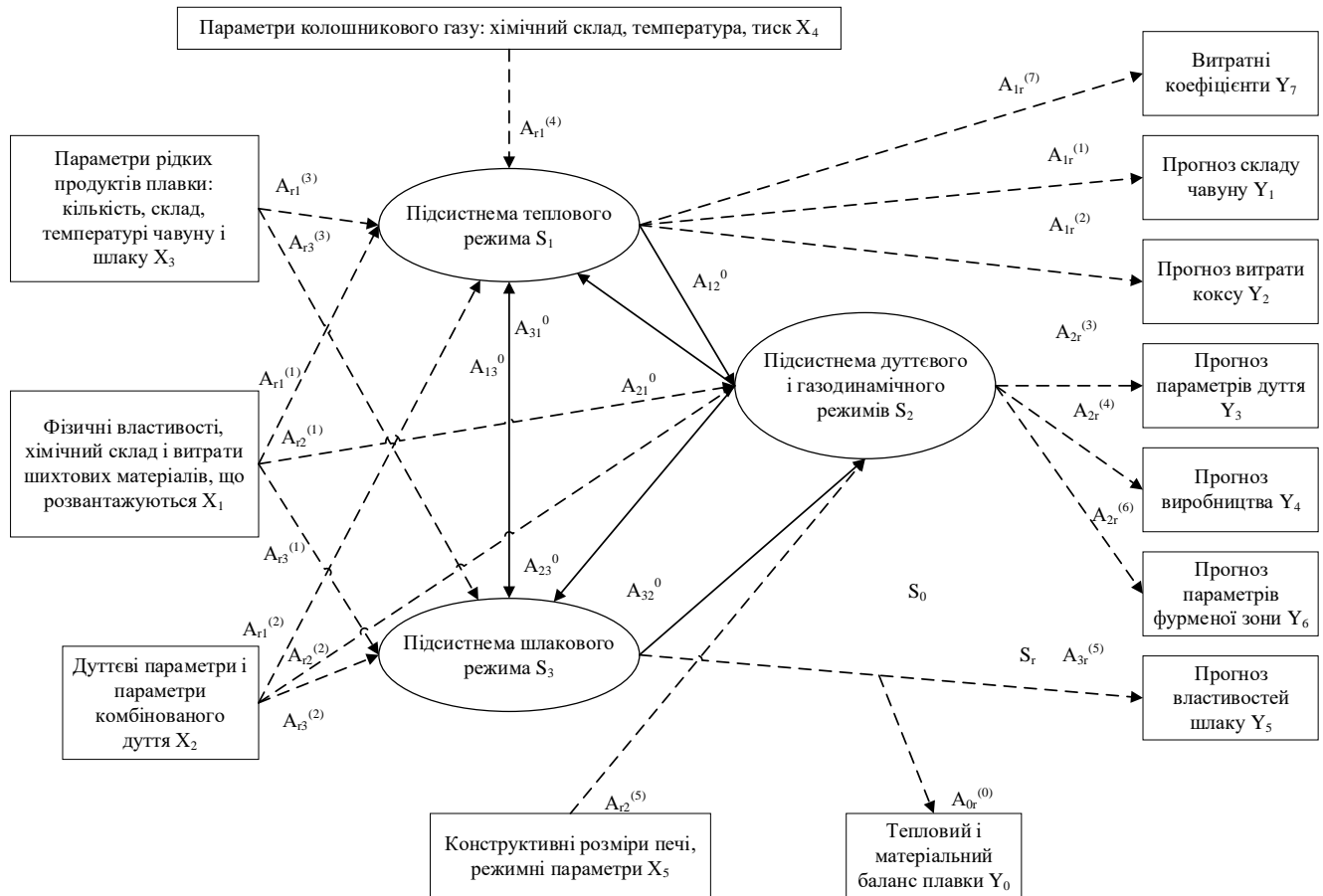


Рисунок 2.1 - Структура моделі доменного процесу

Основними цілями моделювання теплового стану доменної печі є:

- аналіз впливу паливно-сировинних умов і параметрів комбінованого дуття на продуктивність печі та витрату коксу;
- прогнозування змін у хімічному складі продуктів плавки при зміні характеристик завантажуваної шихти та параметрів комбінованого дуття.

Для вирішення завдань поточного аналізу, прогнозування та управління тепловим станом доменної печі використовується натурно-модельний підхід, заснований на концепції двоетапного розвитку процесів теплообміну, запропонованій проф. Б.І. Китаєвим [20, 22-25].

2.2 Математична модель теплових процесів доменної печі та структура автоматизованого контролю та керування тепловим станом

Згідно з цією концепцією, теплообмін між шихтовими матеріалами та газами в доменній печі відбувається послідовно у двох зонах — верхній і нижній, які розділені зоною уповільненого теплообміну (див. рис. 2.2). Верхня зона тепла забезпечує інтенсивність процесів непрямого відновлення, тоді як нижня зона визначає витрати тепла на пряме відновлення, а також на фізичне та хімічне нагрівання продуктів плавки.

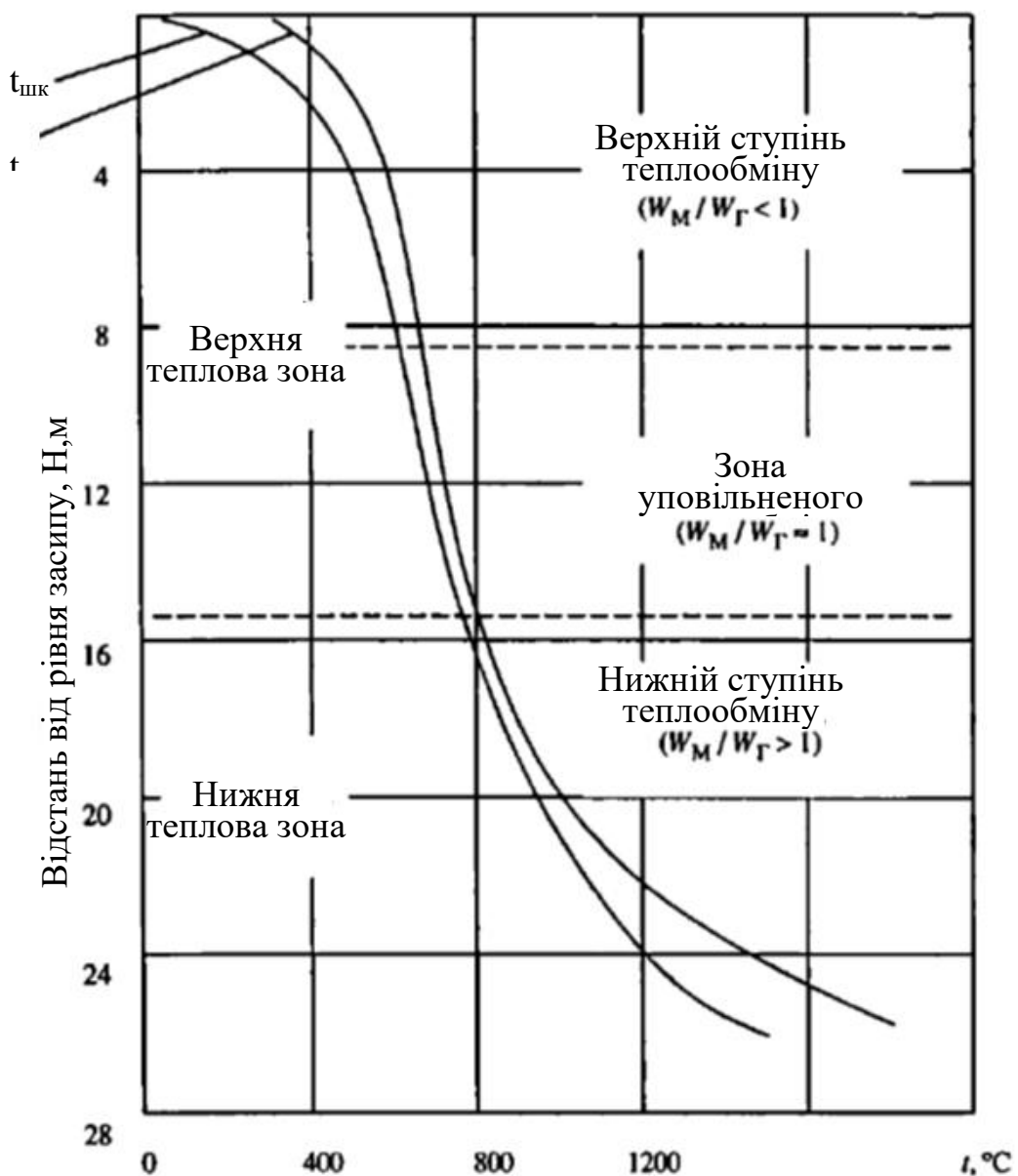


Рисунок 2.2 - Схема температурного поля доменної печі

Для кількісного оцінювання теплового стану доменної печі використовується показник, що відображає питомі витрати тепла в області високих температур на утворення та нагрівання рідких продуктів плавки. Розрахунок узагальнених параметрів, що характеризують тепловий стан нижньої частини доменної печі, базується на аналізі теплового балансу цієї зони, який може бути представлений у вигляді відповідного рівняння.

$$Q_{mn} = Q_{\Sigma} + Q_{us} - Q_d - Q_{\phi} - Q_n$$

де Q_{mn} — питома ентальпія продуктів плавки, включаючи теплоту плавлення чавуну, за вирахуванням теплоти утворення шлаку. Вона охоплює витрати тепла на фізичний нагрів продуктів плавки та відновлення оксидів важковідновних елементів у чавун під час реакцій прямого відновлення, вимірюється в кДж/т чавуну; Q_{Σ} — сумарний прихід тепла в нижню зону печі. Це тепло, що виділяється під час спалювання коксу та інжектowanego палива, розраховане з урахуванням вологості дуття, зміни теплоємності газоповітряного потоку, а також включає витрати тепла на розкладання вуглеводнів і тепло, що виноситься газом, який залишає нижню зону теплообміну при температурі (t_{20}), кДж/т чавуну; Q_{us} — кількість тепла, що надходить до нижньої зони печі з шихтою при температурі, кДж/т чавуну; Q_d — витрати тепла на пряме відновлення заліза, кДж/т чавуну; Q_{ϕ} — витрати тепла на розкладання та відновлення флюсів, кДж/т чавуну; Q_n — теплові втрати у навколишнє середовище через фурмовий пояс, розпар та заплечики, кДж/т чавуну.

Використовуючи загальновідомі співвідношення для розрахунку теплового балансу нижньої зони доменної печі, рівняння теплового балансу цієї зони можна представити в такій формі: [17, 25]

$$Q_z / P + Q_{us} - 31750 [\text{Fe}]_{rd} - Q_{\phi} - Q_n = Q_{mn}$$

де q_e — корисна теплова потужність газового потоку, що враховує: фізичне тепло дуття, тепло горіння вуглецю до CO , тепло, витрачене на конверсію природного газу та дисоціацію водяної пари, втрати тепла з газовим потоком, що залишає нижню зону печі, $кДж/хв$; P - продуктивність печі (інтенсивність плавки), $т/хв$; r_d — ступінь прямого відновлення заліза, частки од.; 31750 - тепловий ефект реакції прямого відновлення заліза, $кДж/т$ чавуну; $[Fe]$ - вміст заліза в чавуні, %.

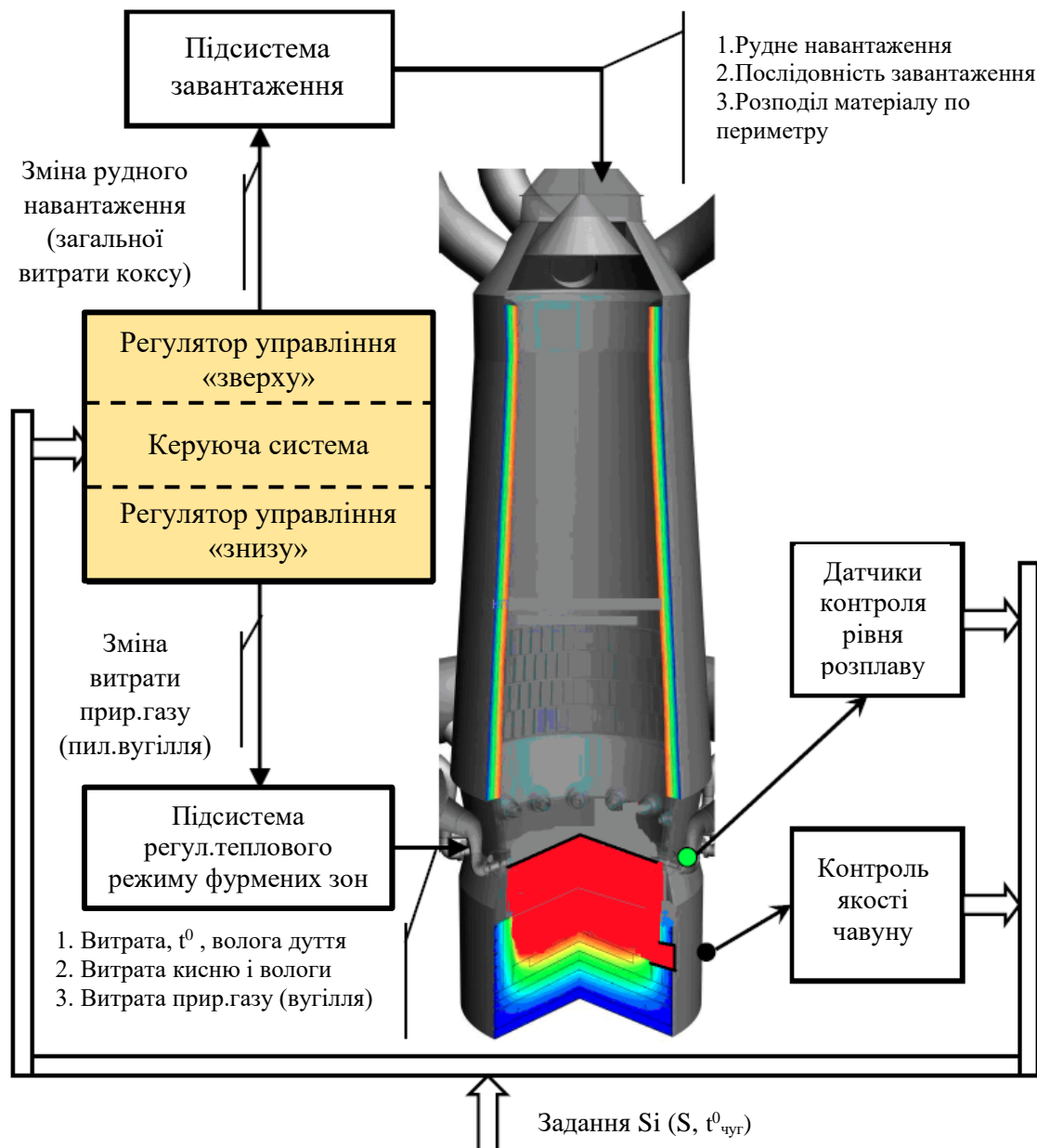


Рисунок 2.3 – Структура автоматизованого контролю та керування тепловим станом доменної печі

2.3 Визначення параметрів і керуючих впливів математичної моделі нагріву повітрянагрівачів та теплового стану доменної печі

Щоб визначити оптимальну тривалість періоду нагрівання T_{opt} скористаємося рівнянням теплового балансу для окремого повітрянагрівача дані для якого представлені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Рівняння теплового балансу для повітрянагрівачів

$Q_{усв} \sim Q_{прих} - Q_{пот.дим} - Q_{пот.ност} - Q_{пот.пер};$	$Q_{усв}$ - кількість тепла, засвоєного насадкою
$Q_{прих} = Q_{НР} \cdot V_m \cdot t$	$Q_{НР}$ - теплотворна здатність (калорійність) суміші; V_m - витрата; t - поточний час.
$Q_{пот.дим} = V_{п.г.} \cdot C_{п.г.} \cdot t_{п.г.} \cdot m$	$V_{п.г.}$ - витрата продуктів згорання, розрахована за методикою горіння палива; $C_{п.г.}$ - теплоємність продуктів згорання; $t_{п.г.}$ - температура продуктів згорання; m - час.
$Q_{пот.ност} = const = 3 \div 5\% \text{ від } Q_{прих}$	постійні втрати тепла через насадку повітрянагрівача, які приймаються постійними і в межах одного нагрівання не змінюються
$Q_{пот.пер} = Q_{НР} \cdot V_m \cdot \Delta t_{пер}$	теплові втрати при перекиданні повітрянагрівача з нагріву на дуття або з дуття на нагрів; Вони оцінюються як частина тепла, яку недоотримає повітрянагрівач за час перекладу з нагріву на дуття.
$Q_{усв} = I - q_{пот.дим} \cdot - q_{пот.ност} \cdot - q_{пот.пер} \cdot \Delta t_{пер} / m$	тепловий баланс в умовних одиницях, приведених до тепла, що надходить

Керуючими параметрами для регулювання теплового стану доменного процесу є витрата коксу K , рівень вологості дуття та кількість вапняку в шихті.

Рекомендація щодо коригування кількості коксу складається з трьох основних компонентів:

1. Перша складова ΔK_1 враховує зміни в складі та обсягах шихтових матеріалів, а також зміну параметрів дуття.

$$\Delta K_1^{(0)} = K_1^{(0)} - K_1^{(1)}$$

$$K_1 = \frac{509 \cdot AFe - (78\Gamma + 3,8Q_{д\varphi})A/n_1 v_{ш} + 19800 И}{C_K - W_K}$$

де W_K - вологість коксу, %; C_K - вміст вуглецю в коксі, %; $K_1^{(0)}$ відноситься до поточного інтервалу усереднення; $K_1^{(1)}$ – до попереднього інтервалу.

2. Друга складова ΔK_2 компенсує вплив неконтрольованих збурень, які впливають на відновлювальну здатність газу у верхній зоні печі. Ця частина пропорційна сумарним змінам у відновлювальній роботі компонентів CO та H₂

$$\Delta K_2 = a_2 (\Delta H_2 + \Delta CO),$$

де a_2 – константа.

3. Третя складова ΔK_3 враховує рівень дотримання попередніх рекомендацій оператором доменної печі.

$$\Delta K_3 = \sum_{i=1}^3 (\Delta K_1^{(i)} + \Delta K_2^{(i)} - \Delta K_д^{(i)}) \Delta q^{(i)}$$

де

$$\Delta q^{(i)} = \begin{cases} 1 - F_3 & \text{при } 1 - F_3 > 0 \\ 0 & \text{при } 1 - F_3 \leq 0 \end{cases}$$

$$F_3^{(i)} = \frac{a_1}{V_0} \sum_{i=0}^i v_{\text{III}}^{(i)}$$

V_0 - об'єм печі, у якому закінчується відновлення оксидів заліза до чистого заліза; обсяг вимірюється числом подач; ΔK_d - дійсна зміна кількості коксу в подачі, що дорівнює

$$\Delta K_d^{(i)} = \sum_{j=1}^i \Delta K_d^{(j)}$$

Таким чином, загальна зміна витрати коксу враховує як технологічні зміни, так і непередбачувані фактори, а також дії персоналу.

$$\Sigma \Delta K = \Delta K_1^{(0)} + \Delta K_2^{(0)} + \Delta K_3^{(0)} - \Delta K_d^{(0)}$$

Рекомендація щодо коригування вологості дуття складається з трьох основних частин: $\Delta \varphi_1$, $\Delta \varphi_2$ та $\Delta \varphi_3$.

Перша складова, $\Delta \varphi_1$ враховує зміну відновлювальних процесів у нижній частині печі та розраховується за відповідною формулою

$$\Delta \varphi_1 = a_3 v_{\text{III}}^{(0)} - \frac{a_4 R (CO^{(0)} + CO_2^{(0)} - \Delta CO_2^{(1)}) - a_5 \Gamma^{(0)}}{100 W_K^{(3)} - A_K^{(3)}}$$

де

$$R = \begin{cases} V_{\text{к.г.}}^{(0)} & \text{(якщо вимірюється),} \\ a_6 Q_D^{(0)} \frac{100 - O_2^{(0)}}{100 - CO^{(0)} - CO_2^{(0)} - H_2^{(0)}} & \text{(якщо } V_{\text{к.г.}} \text{ не вимірюється).} \end{cases}$$

Друга складова $\Delta\varphi_2$ відображає стан нагрівання печі та враховує тенденцію змін її температурного режиму.

Третя складова аналізує зміни вмісту кремнію у чавуні, ґрунтуючись на порівнянні величини ΔSi за останні 2-3 випуски продукції.

2.4 Математична модель об'єктів керування локальних систем

Об'єкт керування описано передаточною функцією:

$$W_{об}(p) = \frac{K_{об}}{T_{об}p + 1} \times e^{-\tau_{об}p}$$

де $K_{об}$ - коефіцієнт підсилення об'єкта регулювання; $T_{об}$ - постійна часу об'єкта регулювання; τ - час чистого запізнювання об'єкта.

Таблиця 2.2 – Динамічні характеристики об'єктів доменної печі

Вихідна величина	Вхідна величина	Параметри динамічних ланок		
		τ	T	K
Температура гарячого дуття (термопара у сталевому чохлі)	Положення змішувального клапана	20 с	80 с	6
Вологість дуття (психрометричний датчик вологості)	Витрата пари на зволоження дуття	45 с	135 с	0,006

Тиск колошникового газу (сільфонний, компенсаційний манометр)	Положення регулюючої заслінки на дросельній групі	3 с	32 с	0,35
Перепади тиску за висотою шахти печі:	Витрата дуття			
а) верхній перепад		2 с	48 с	38,3
б) нижній перепад (сільфонний дифманометр)		2 с	39 с	42,2
Витрата дуття через фурму (сільфонний дифманометр)	Положення дросельної заслінки у фурменному рукаві	0,26 с	1 с	6
Температура бані повітрянагрівача (термопара в сталевому чохлі)	Коефіцієнт витрати повітря	18 с	88 с	1,3
Вміст кремнію в чавуні на випусках	Температура гарячого дуття	1 год.	5 год.	0,025
Вміст кремнію в чавуні на випусках	Вологість дуття	1,5 год.	5 год.	0,022
Вміст кремнію в чавуні на випусках	Рудне навантаження на кокс	4,5 год.	6 год.	0,06

2.5 Розрахунок регулятора витрат газу та моделювання системи керування нагрівом повітря

Структурна схема САУ представлена на рис. 2.4.

Вихідні дані для розрахунку регулятора включають статичні та динамічні характеристики об'єкта, зокрема коефіцієнт об'єкта $K_{об}$, чисте запізнювання $\tau_{об}$ й постійну часу $T_{об}$. Тип регулятора обирають відповідно до рекомендацій на основі цих характеристик:

$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} < 0.2$ - релейний;

$0.2 < \frac{\tau_{об}}{T_{об}} < 1$ - безперервний;

$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} > 1$ - безперервний

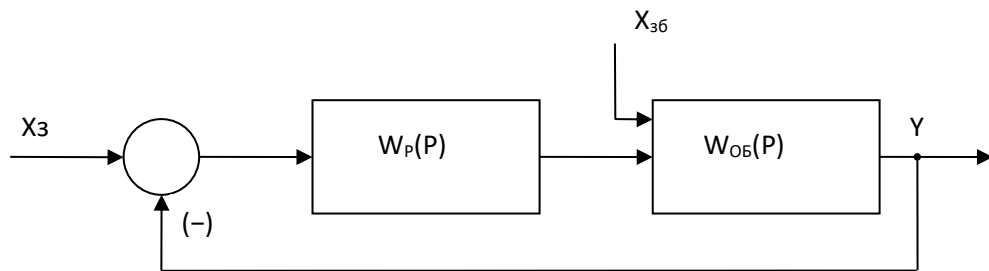


Рисунок 2.4 – Структурная схема САУ регулювання витрат газу

Таблиця 2.3 - Вихідні дані для розрахунку регулятора

Найменування параметру	Значення
Постійна часу, сек: $T_{об}$	10
Час запізнювання, сек: $\tau_{об}$	4
Коефіцієнт передачі об'єкта регулювання: $K_{об}$	0,25

Параметри об'єкта визначено з урахуванням технологічних налаштувань контуру. Розраховуємо співвідношення $\tau_{об}/T_{об}$:

$$\tau_{об}/T_{об} = 4/10 = 0,4$$

Для такого об'єкта обираємо дискретний ПІД-регулятор, який реалізується як апаратно, так і програмно на програмованому контролері.

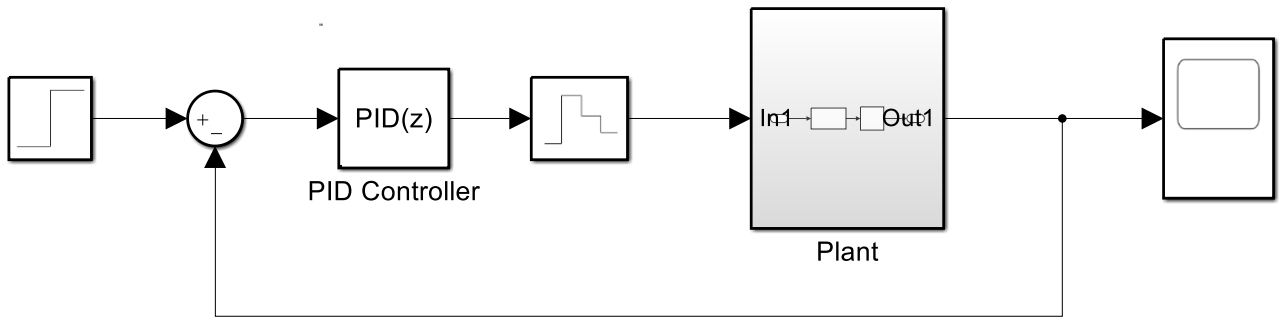


Рисунок 2.5 - Модель регулювання температури повітрянагрівача шляхом керування подачею газу

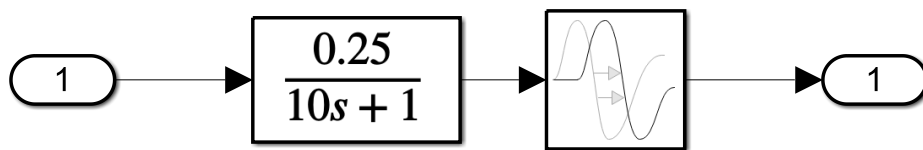


Рисунок 2.6 - Модель об'єкта керування (Plant)

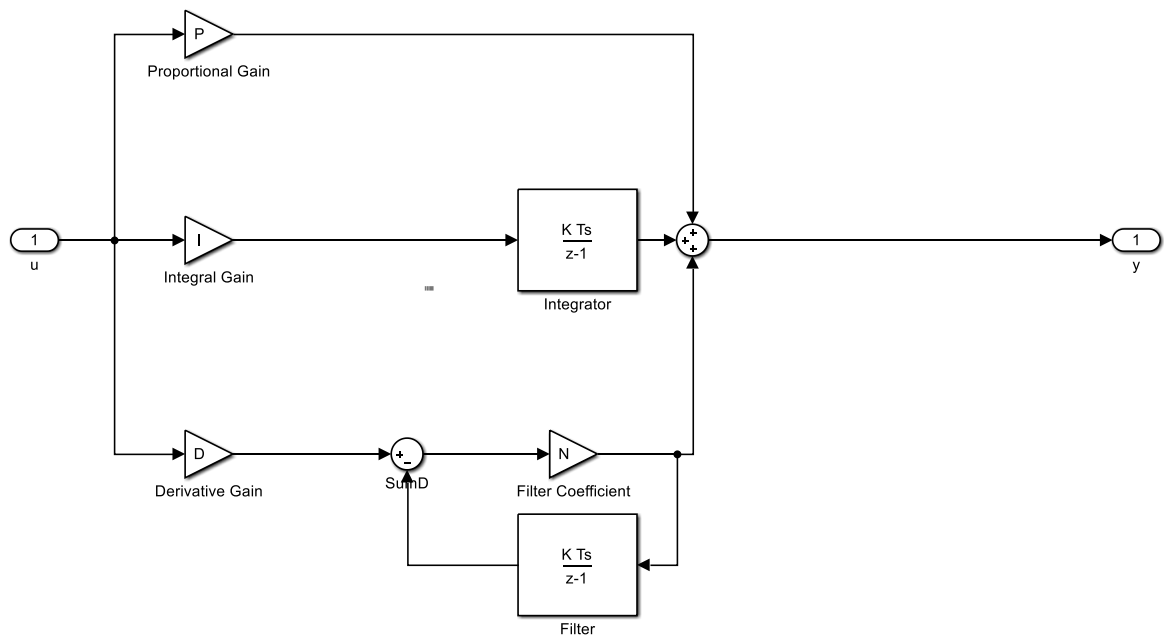


Рисунок 2.7 - Модель дискретного ПІД регулятора (PID controller)

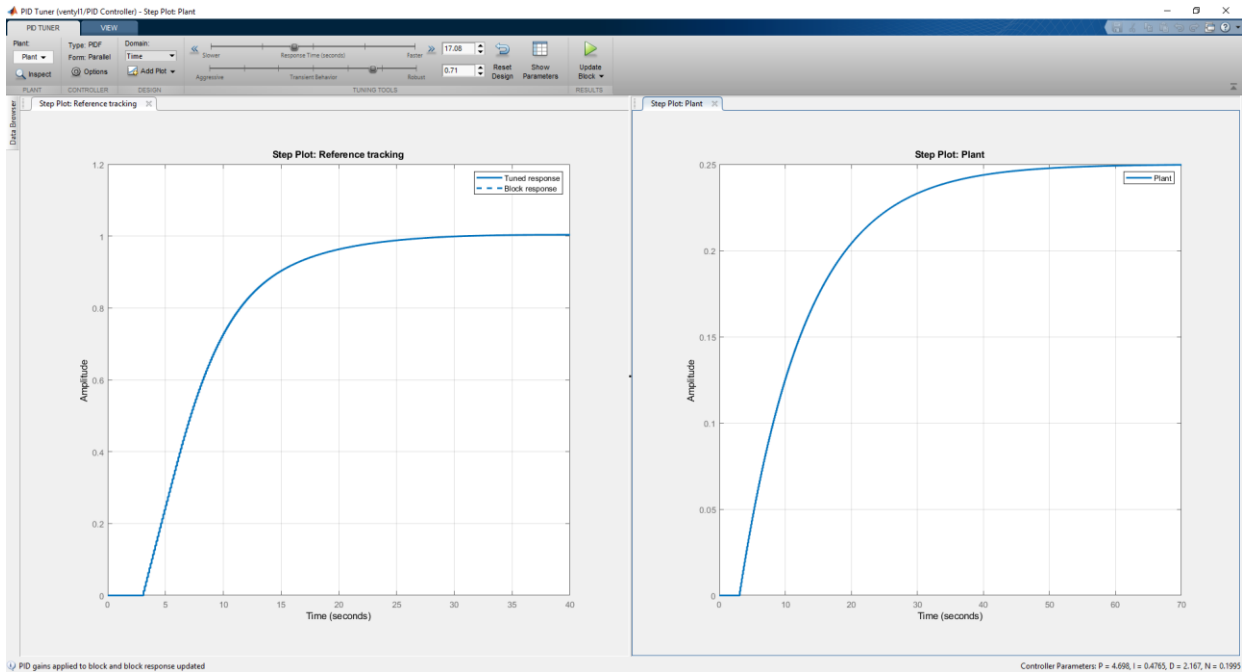


Рисунок 2.8 – Налаштування параметрів регулятора за допомогою PID tuner

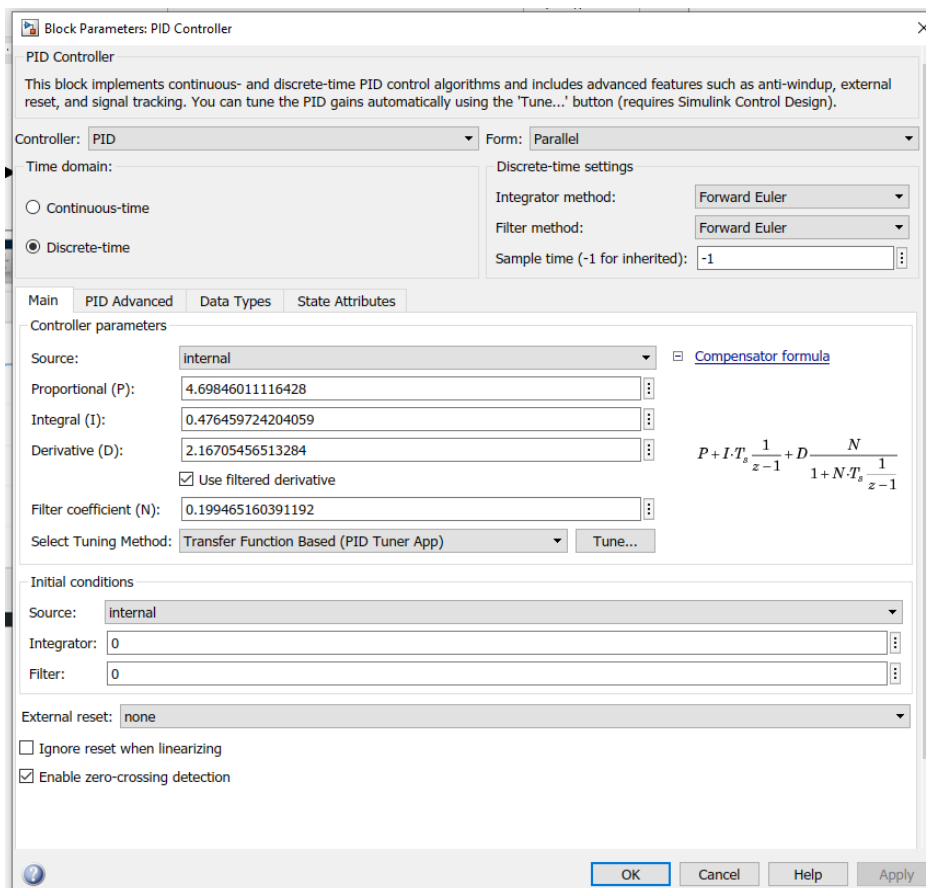


Рисунок 2.9 – Налаштовані параметри регулятора

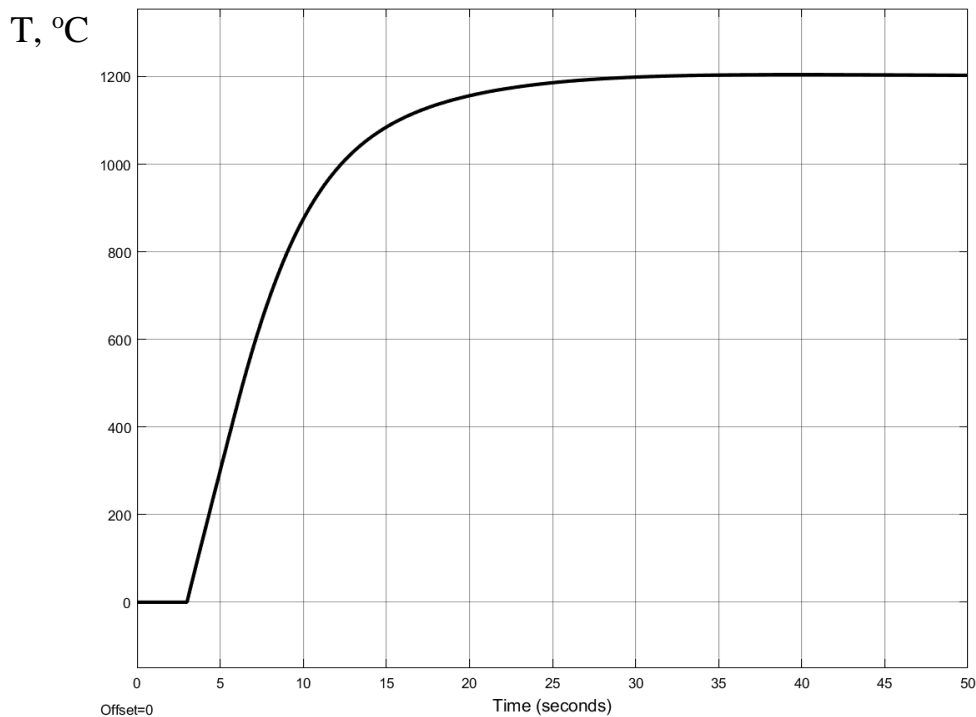


Рисунок 2.10 – Перехідний процес при нагріві повітрянагрівача до заданої температури

Остаточні параметри ПІ-регулятора для регулювання температури купола повітрянагрівача налаштовуються безпосередньо в процесі роботи програмованого контролера в умовах промислової експлуатації.

2.6 Моделювання процесу стабілізації температури купола повітрянагрівача

Стабілізація температури купола повітрянагрівача забезпечується шляхом регулювання об'єму повітря, що подається до повітрянагрівача. Схема моделі регулювання повітряного потоку наведена на рисунку 2.11. Налаштування параметрів моделі здійснювалося за допомогою програмного пакету Matlab. На рисунку 2.15 зображено перехідні процеси, які відбуваються при регулюванні температури купола через зміну інтенсивності подачі повітря.

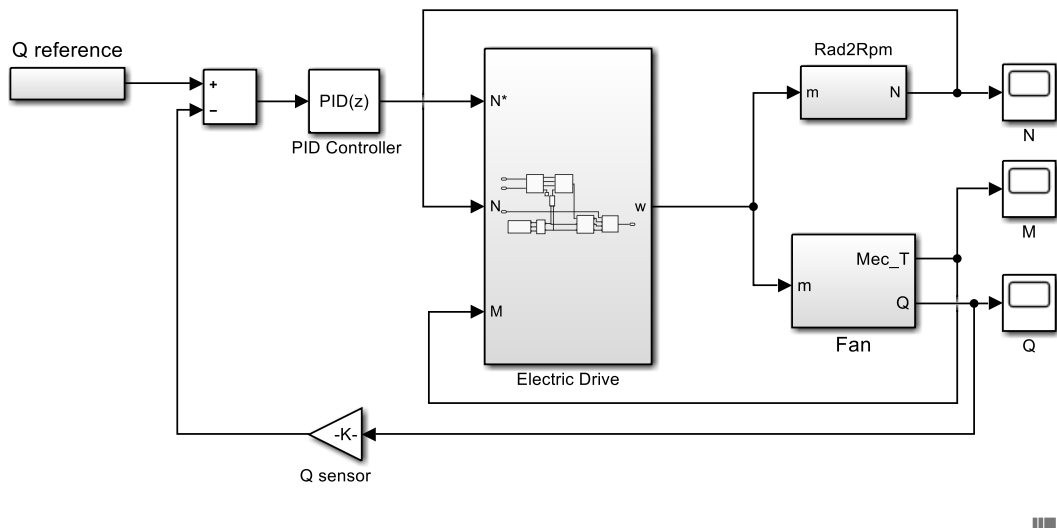


Рисунок 2.11 – Модель регулювання подачі повітря до повітрянагрівача

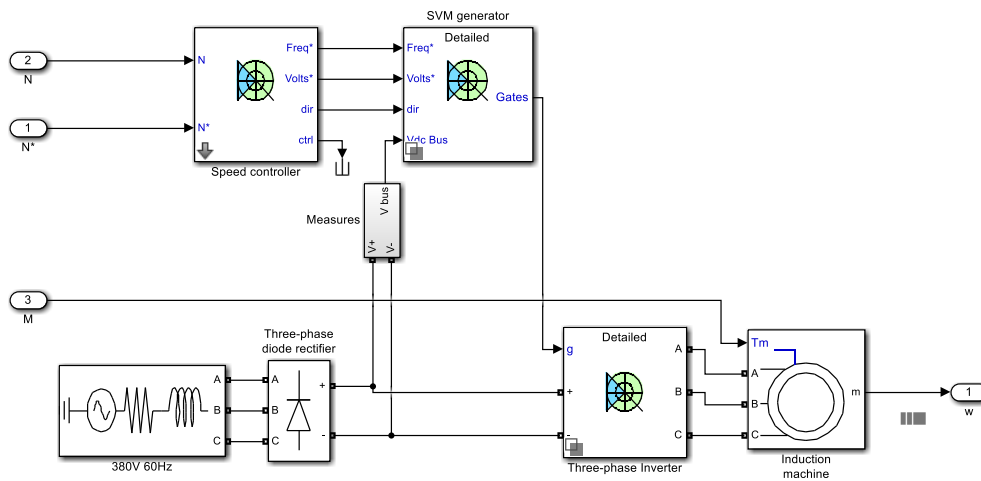


Рисунок 2.12 – Модель регульованого електроприводу вентилятора подачі повітря *Electric drive* на базі частотного перетворювача

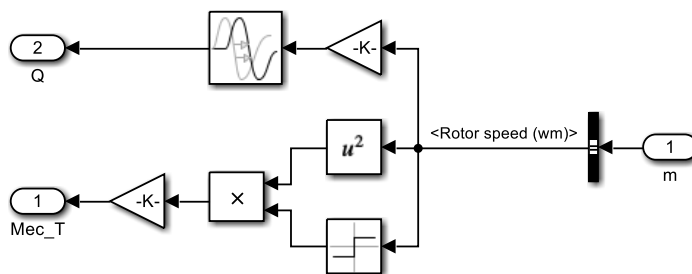


Рисунок 2.13 – Модель об'єкта керування *Fan*

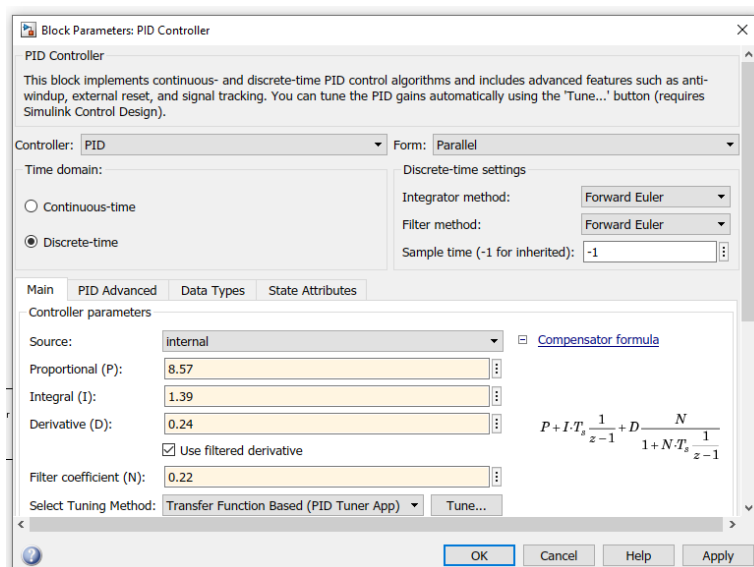
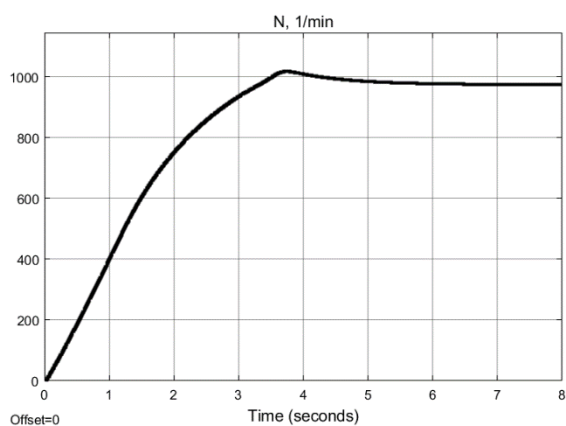
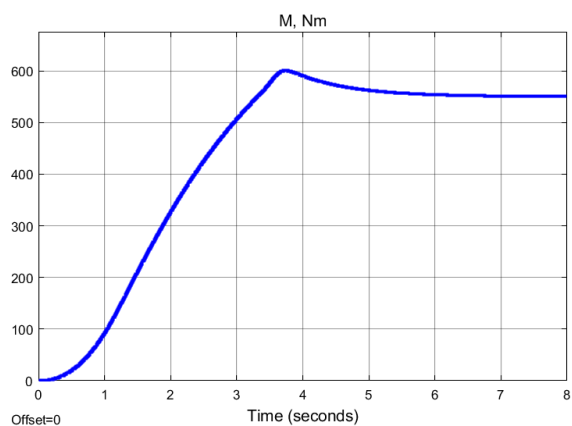


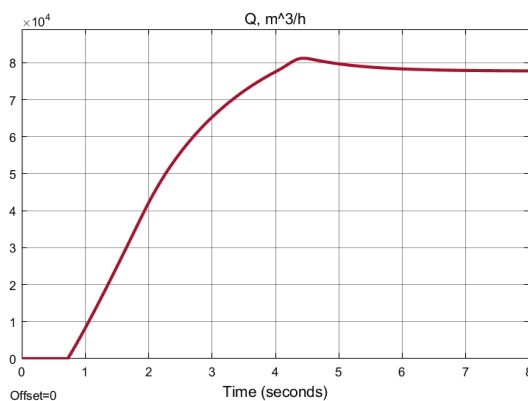
Рисунок 2.14 – Настроєні параметри ПІД регулятора подачі повітря



а)



б)



в)

Рисунок 2.15 – Перехідні процеси при регулюванні температури купола повітрянагрівача: а – швидкість обертання валу вентилятора, б – момент на валу вентилятора, в – подача повітря в повітрянагрівач

Результати моделювання демонструють ефективність роботи системи керування та підтверджують відповідність отриманих характеристик встановленим вимогам.

2.7 Синтез автоматичної системи керування на базі нейрорегулятора

Синтез системи керування здійснимо з використанням контролера на основі еталонної моделі (Model Reference Controller). Цей тип регулятора будується на базі еталонної моделі процесу, що підлягає керуванню, і вимагає навчання двох нейронних мереж: моделі самого процесу та мережі регулятора. Навчання є складним завданням, оскільки базується на динамічному методі зворотного поширення помилки, який використовує затримку сигналів у нейронній мережі [18].

Регулятори з еталонною моделлю підходять для різних типів процесів, забезпечуючи ефективне управління з мінімальними обчислювальними затратами. Однак навчання мережі об'єкта керування та самої нейромережі контролера вимагає ретельного підходу через складність алгоритму зворотного розповсюдження помилки. Структурну схему системи керування з використанням еталонної моделі наведено на рисунку 2.16.

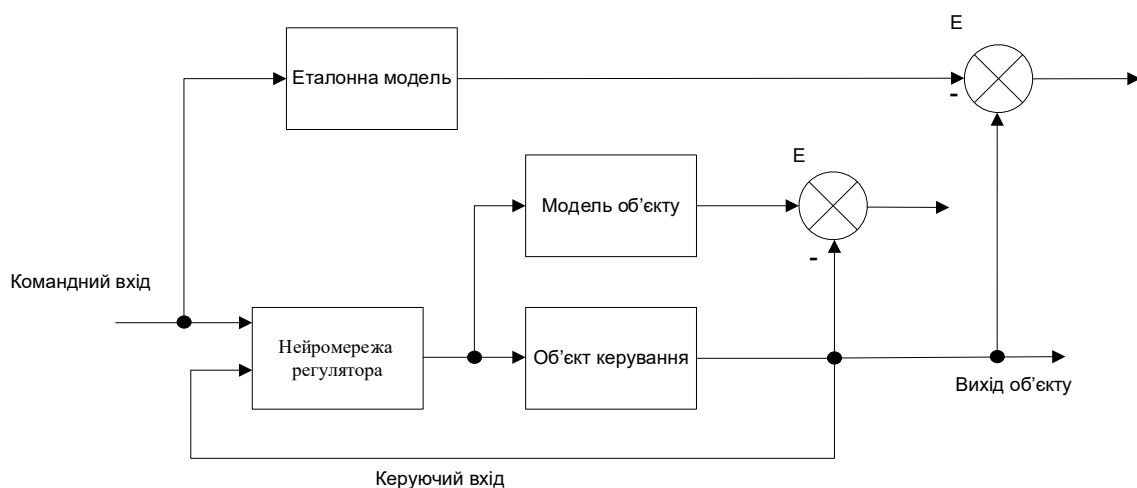


Рисунок 2.16 – Структурна схема керування з еталонною моделлю

На рисунку 2.17 представлено детальну архітектуру нейронної мережі об'єкта та контролера, які складаються з двох шарів з можливістю вибору кількості нейронів у прихованих шарах через параметри нейроконтролера.

Контролер має три основні набори входів [18]:

- затримка на еталонних входах
- затримка на виходах контролера
- затримка на виходах об'єкту керування

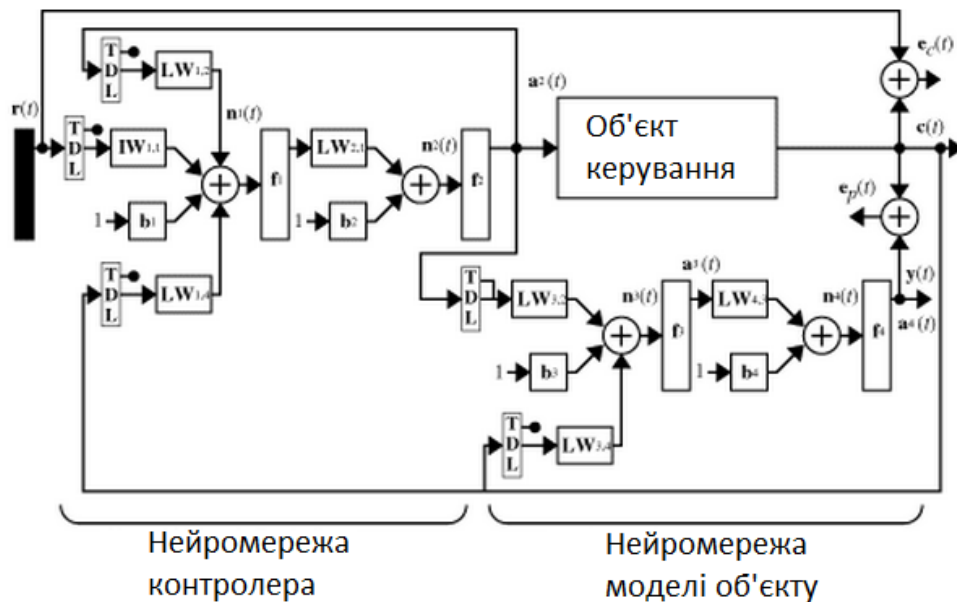


Рисунок 2.17 – Структурна схема нейромережі контролера та керованого об'єкту

Головна мета навчання контролера полягає в забезпеченні точного слідування об'єкта управління за виходом еталонної моделі. Для реалізації регулятора на основі еталонної моделі було створено модель у пакеті Simulink, показану на рисунку 2.18.

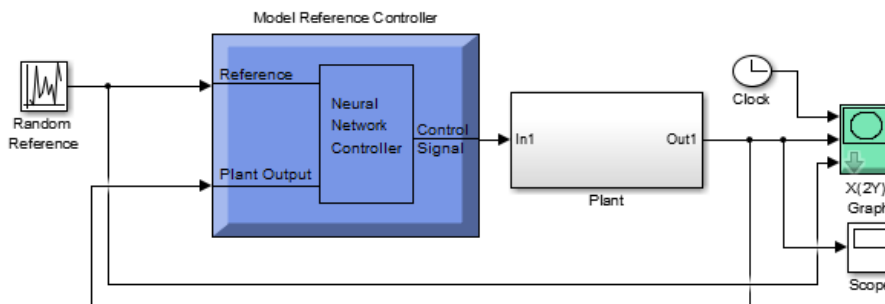


Рисунок 2.18 – Модель системи з нейрорегулятором на основі еталонної моделі (*Model Reference Controller*)

Особливістю системи керування є необхідність створення двох нейронних мереж: для моделювання об'єкта управління та для реалізації самого контролера. Ідентифікація процесу здійснюється через побудову нейромережевої моделі об'єкта, використовуючи процедуру Plant Identification (рис. 2.19).

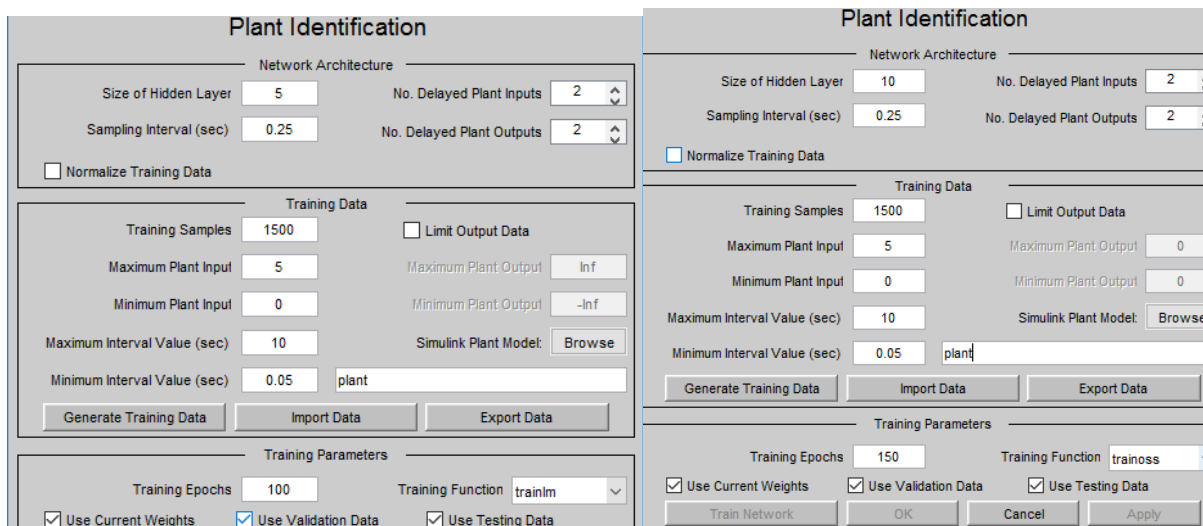


Рисунок 2.19 – Вікно *Plant Identification*

Після налаштування виконується генерація навчальних даних за допомогою команди *Generate Training Data*, що створює навчальні послідовності для моделі управління, а графіки вхідного та вихідного сигналів відображаються на рисунку 2.20.

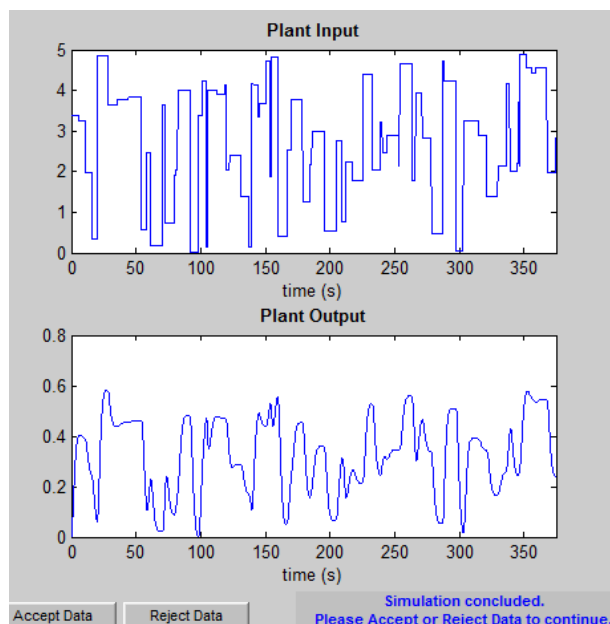


Рисунок 2.20 – Результат генерування даних для навчання нейронної мережі

Навчання нейромережі проводиться через натискання кнопки Train Network, після чого результати відображаються на графіках, де показані вхідні та вихідні сигнали об'єкта, вихідні дані нейронної мережі та похибка моделювання. Результати навчання та тестування мережі наведені на рисунку 2.21. Навчання контролера займає значний час, оскільки використовує динамічний метод зворотного поширення помилки.

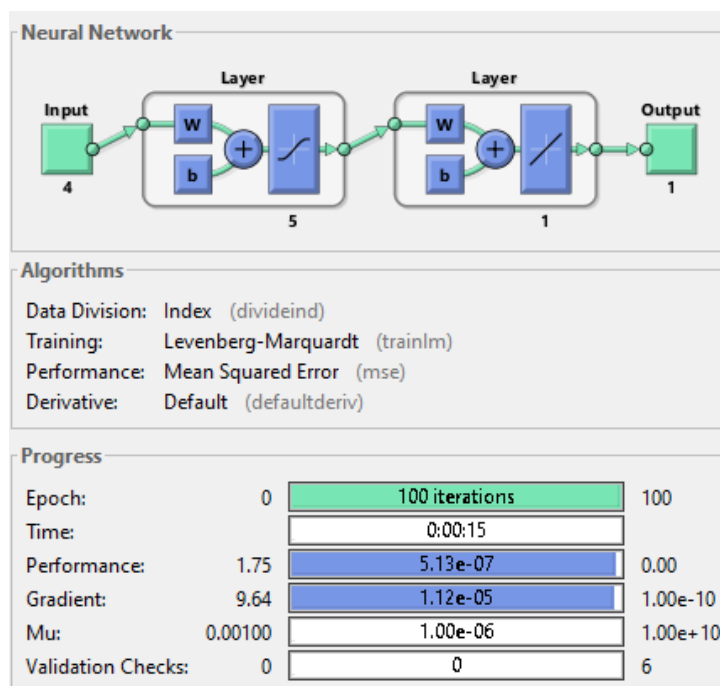


Рисунок 2.21 – Вікно навчання штучної нейронної мережі

Графік зміни середньоквадратичної помилки під час навчання та тестування нейронної мережі показано на рисунку 2.22.

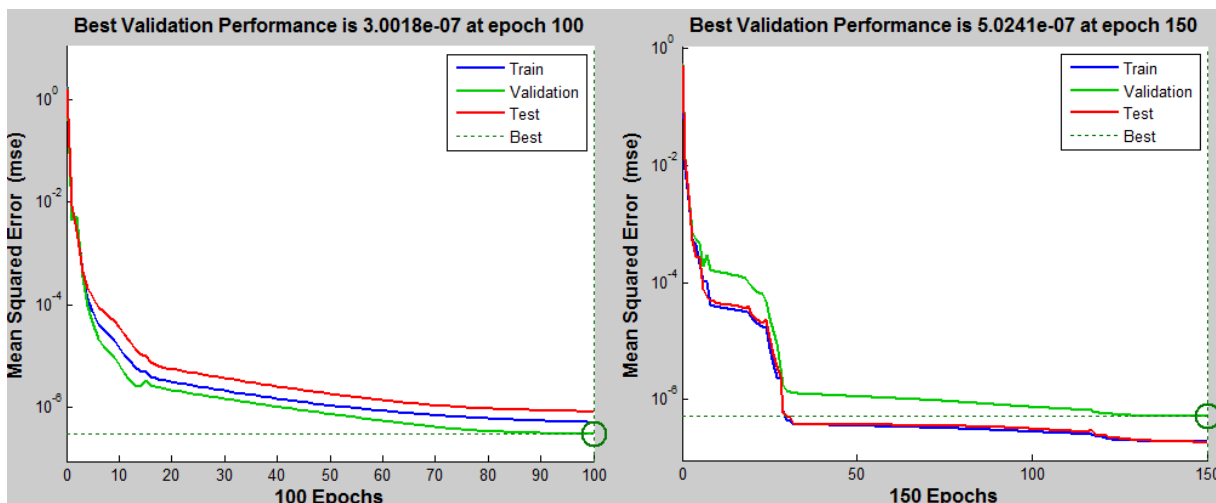


Рисунок 2.22 – Графіки зміни середньоквадратичної помилки роботи нейронної мережі

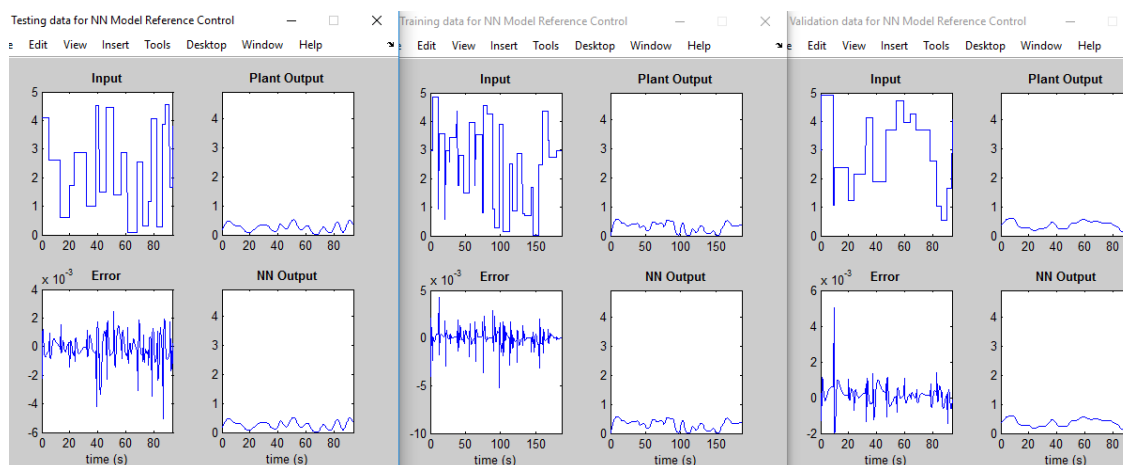


Рисунок 2.23 – Графіки порівняння результатів роботи об'єкту керування та штучної нейронної мережі, що моделює його роботу, для тренувальної та тестової та контрольної множини

Виконаємо навчання для регулятора (рис. 2.24):

Model Reference Control		Model Reference Control	
Network Architecture			
Size of Hidden Layer	5	No. Delayed Reference Inputs	2
Sampling Interval (sec)	0.25	No. Delayed Controller Outputs	1
<input type="checkbox"/> Normalize Training Data		No. Delayed Plant Outputs	2
Training Data			
Maximum Reference Value	5	Controller Training Samples	1500
Minimum Reference Value	0		
Maximum Interval Value (sec)	10	Reference Model:	Browse
Minimum Interval Value (sec)	0.05		plant
<input type="button" value="Erase Imported Data"/> <input type="button" value="Import Data"/> <input type="button" value="Export Data"/>			
Training Parameters			
Controller Training Epochs	100	Controller Training Segments	1
<input checked="" type="checkbox"/> Use Current Weights		<input type="checkbox"/> Use Cumulative Training	
<input type="button" value="Plant Identification"/> <input type="button" value="Train Controller"/> <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Apply"/>			

Рисунок 2.24 – Вікно налаштування параметрів регулятора Model Reference Controller

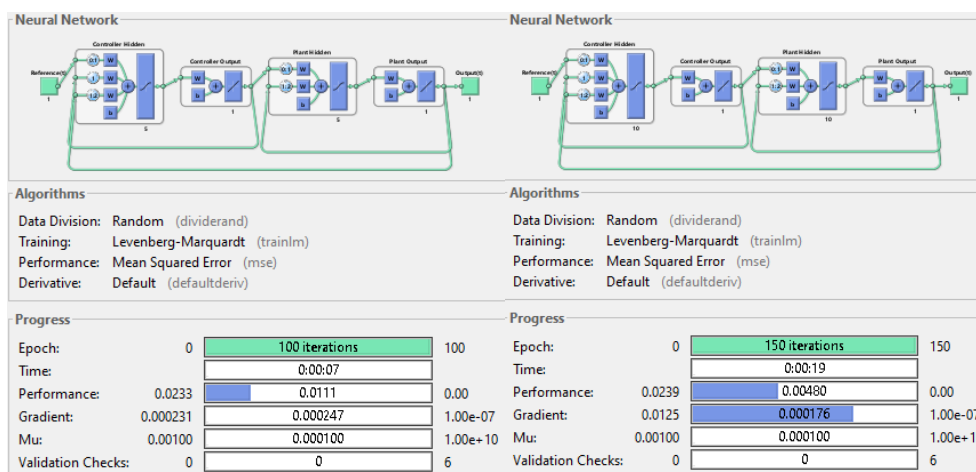


Рисунок 2.25 – Вікно навчання штучної нейронної мережі

На рисунку 2.26 зображено графіки зміни помилки роботи регулятора в ході його навчання.

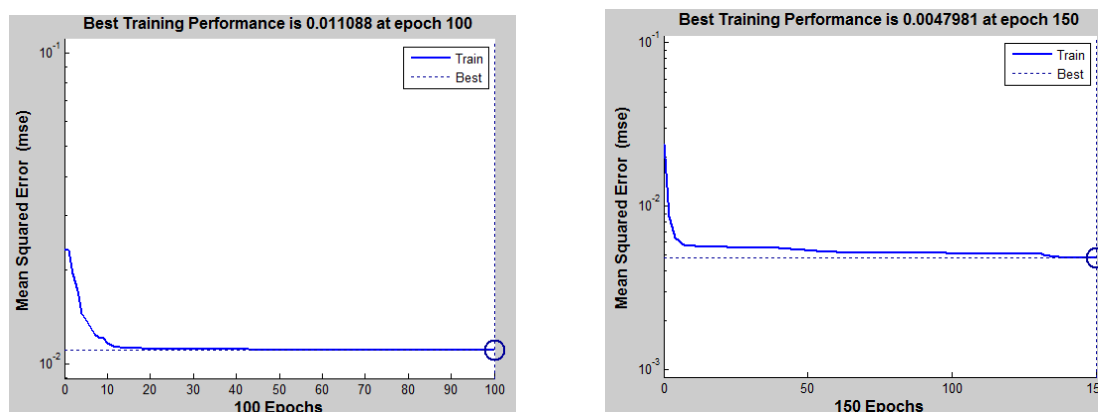


Рисунок 2.26 – Графіки зміни помилки роботи регулятора

Графіки вхідного сигналу системи, вихідних величин об'єкту керування та нейронної мережі, що моделює його роботу, наведені на рисунку 2.27.

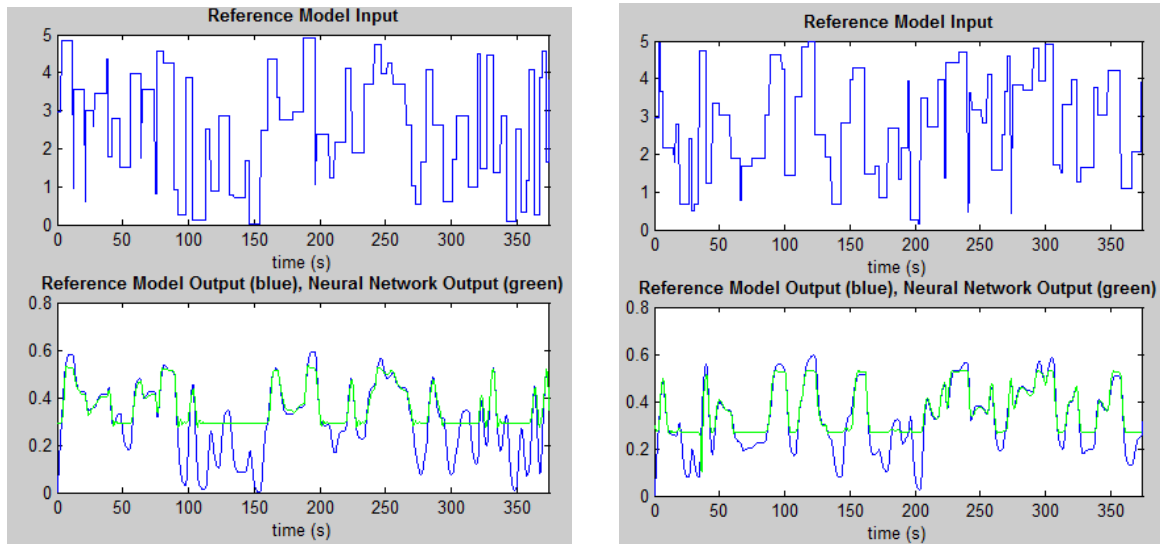


Рисунок 2.27 – Графіки вхідного сигналу системи керування, вихідних величин об'єкту керування та нейронної мережі

Після завершення налаштувань запускається симуляція системи, що дозволяє отримати графіки перехідного процесу на виході системи (рис. 2.28), використовуючи блок *X(2Y) Graph*.

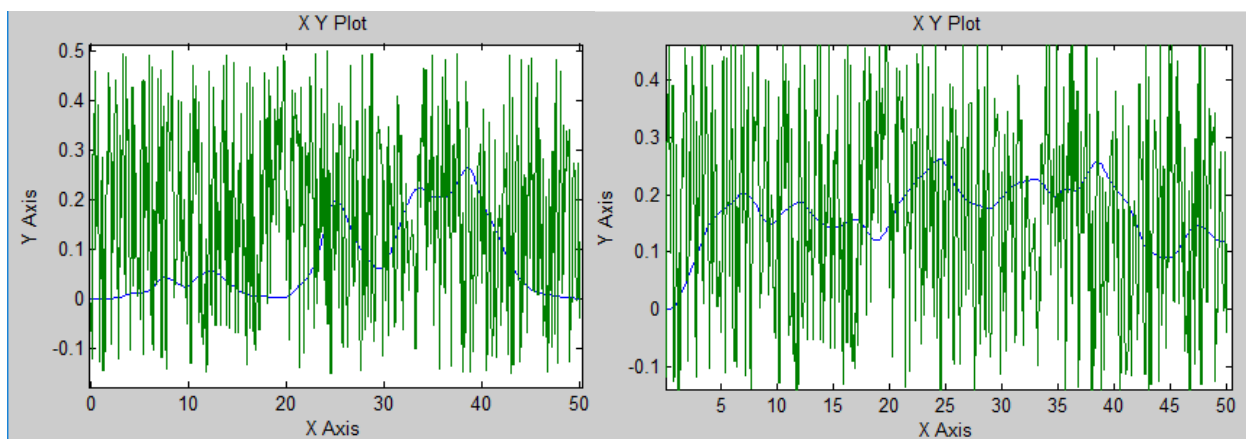


Рисунок 2.28 – Графіки роботи системи керування з використанням нейрорегулятора Model Reference Controller

2.8 Синтез автоматичної системи керування на основі нейро-нечіткого регулятора

Для побудови структури регулятора Fuzzy Logic Controller використовується редактор ANFIS. Це забезпечує автоматичний синтез нейро-нечіткої мережі на основі експериментальних даних. Нейро-нечітка мережа є одним з варіантів нечіткого логічного виведення типу Сугено. Функції приналежності створюваних систем налаштовуються з метою зменшення розбіжностей між результатами нечіткого моделювання та експериментальними даними.

Схема автоматичної системи керування (АСК) з регулятором Fuzzy Logic Controller розроблена відповідно до на рисунку 2.29. Цей регулятор формує керуючий сигнал на основі двох вхідних змінних: помилки та похідної від помилки.

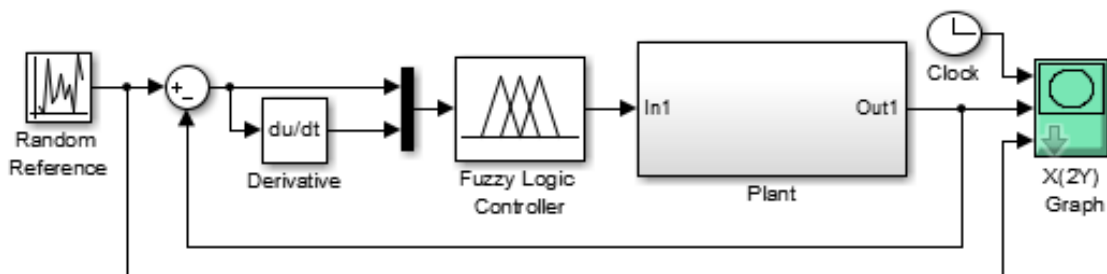


Рисунок 2.29 – Модель АСК із використанням регулятора Fuzzy Logic Controller

Для налаштування параметрів Fuzzy Logic Controller використовується метод *anfisedit*, який комбінує нечітку логіку з нейронними мережами. Згідно з рисунком 2.30, створюємо еталонну схему АСК з ПІД-регулятором для формування даних, необхідних для навчання нейро-нечіткої мережі.

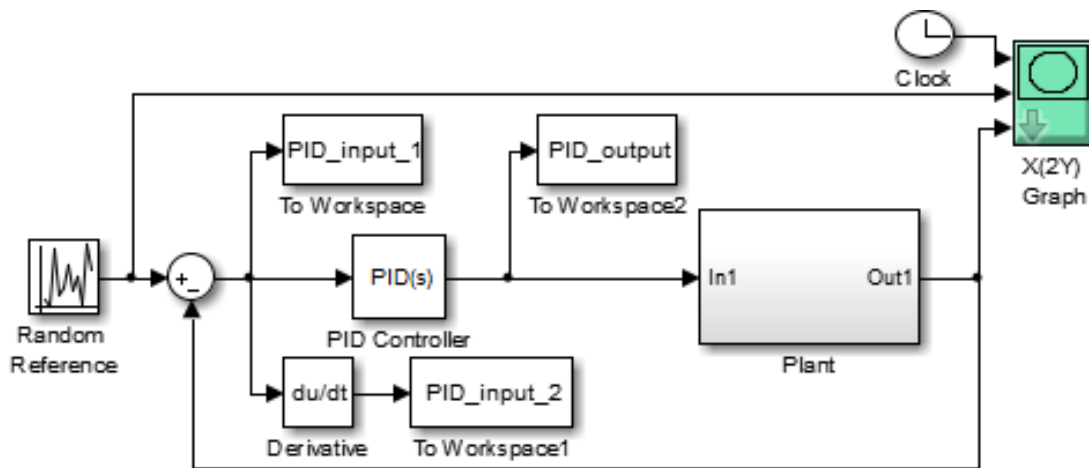


Рисунок 2.30 – Модель САК із використанням ПІД-регулятора для формування даних для навчання нейро-нечіткої мережі

Формування навчальних даних відбувається шляхом подачі на вхід еталонної моделі випадкових сигналів амплітудою у діапазоні $[-0.05, 0.05]$, як зображено на рисунку 2.31.

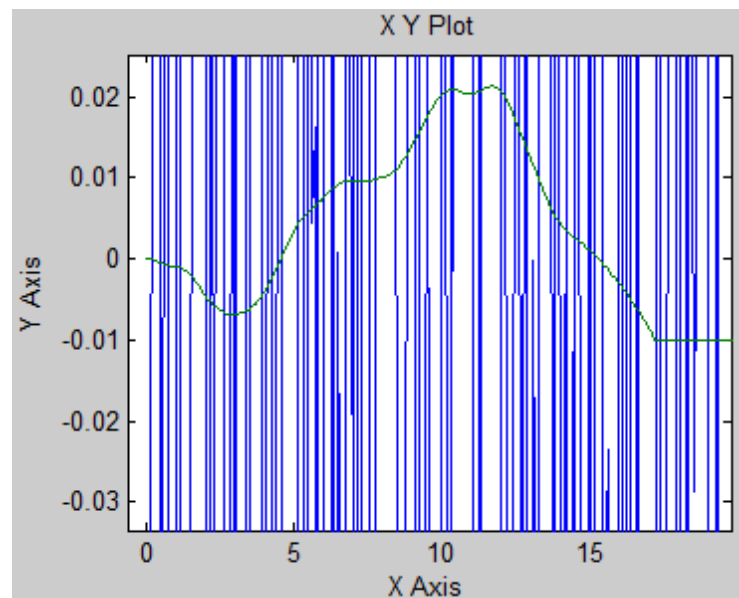


Рисунок 2.31 – Вікно результату генерування даних для навчання нейро-нечіткої мережі

У результаті до робочого простору Matlab завантажуються такі масиви даних: `PID_input_1` (значення помилок АСК), `PID_input_2` (значення похідної помилок), `PID_output` (керуючі впливи на виході регулятора). Ці масиви комбінуються у двовимірний масив `tr_dat`, розміщуючи дані по стовпцях.

Для відкриття Anfis-редактора вводимо команду `anfisedit` у командному рядку Matlab. Далі завантажуюмо дані з масиву `tr_dat` для навчання. У розділі Train FIS задаємо параметри навчання мережі (рисунок 2.32 (а)). На вкладці Generate FIS налаштовуємо структуру нейро-нечіткої мережі, визначаючи кількість і тип термів для кожного вхідного сигналу (рисунок 2.32 (б)). Процес навчання запускається натисненням кнопки Train Now.

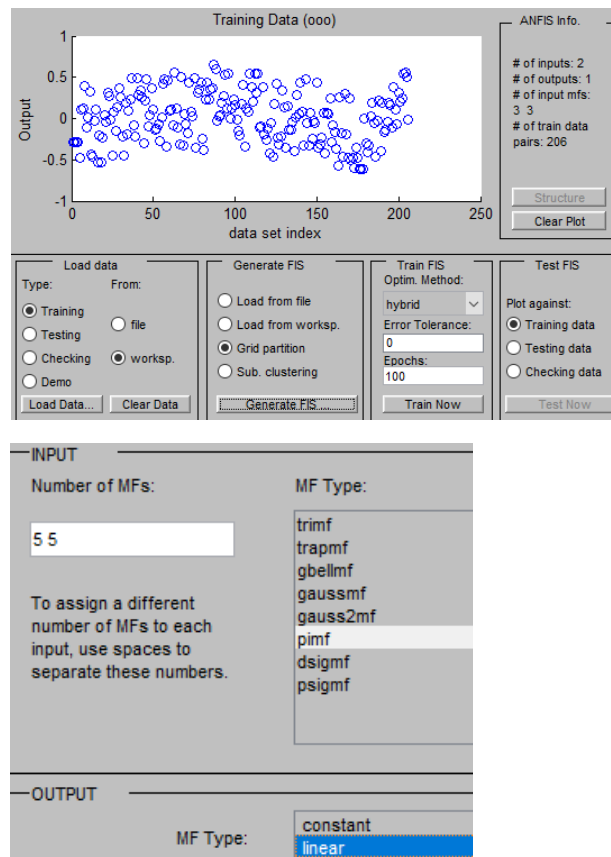


Рисунок 2.32 – Головне діалогове вікно методу Anfis – редактора та вікно налаштування параметрів нейро-нечіткої мережі

Після налаштування Anfis-редактора відкриваємо вікно Structure, у якому система нечіткого логічного виведення представлена як нейро-нечітка мережа. На рисунку 2.33 наведена структура нейро-нечіткої мережі з двома вхідними змінними та одним вихідним сигналом.

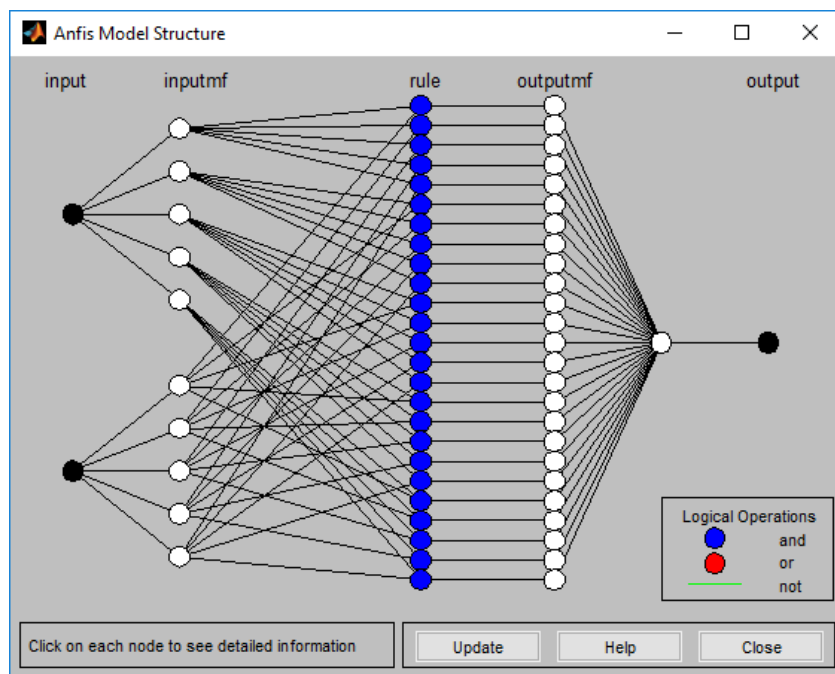


Рисунок 2.33– Модель структури неймережі

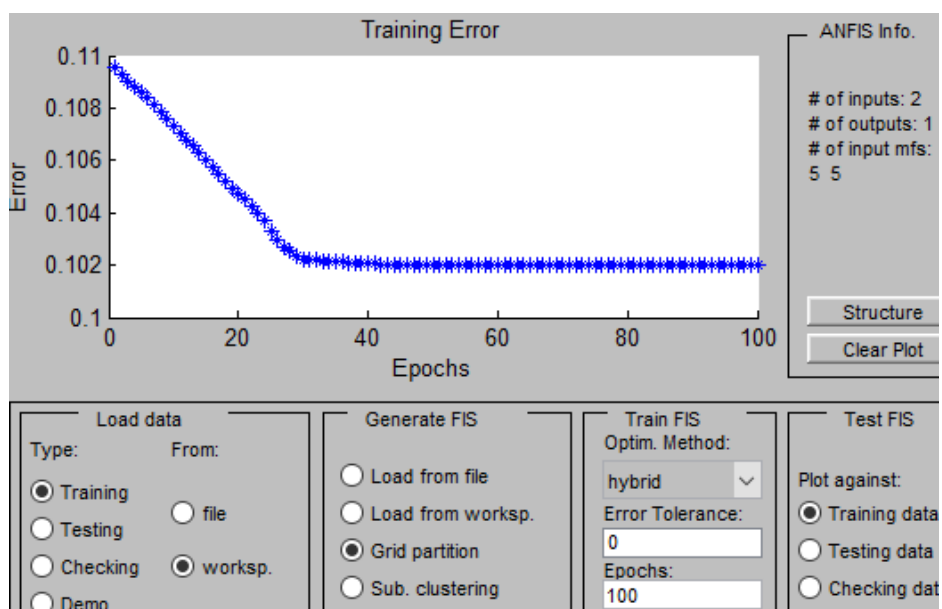


Рисунок 2.34 - Діалогове вікно Anfis Editor після навчання

Результатом навчання є FIS-файл, що містить структуру нечіткого регулятора. Загальна схема побудованого нечіткого регулятора представлена на рисунку 2.35. На рисунках 2.36 (а) та 2.36 (б) показані терми вхідних сигналів FIS-регулятора, а правила формування вихідних сигналів наведено на рисунку 2.37.

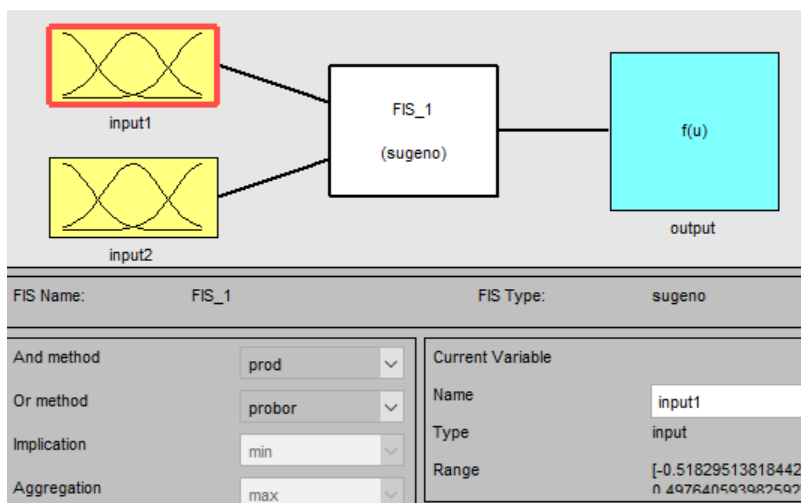


Рисунок 2.35 – Загальна структура нечіткого регулятора FIS

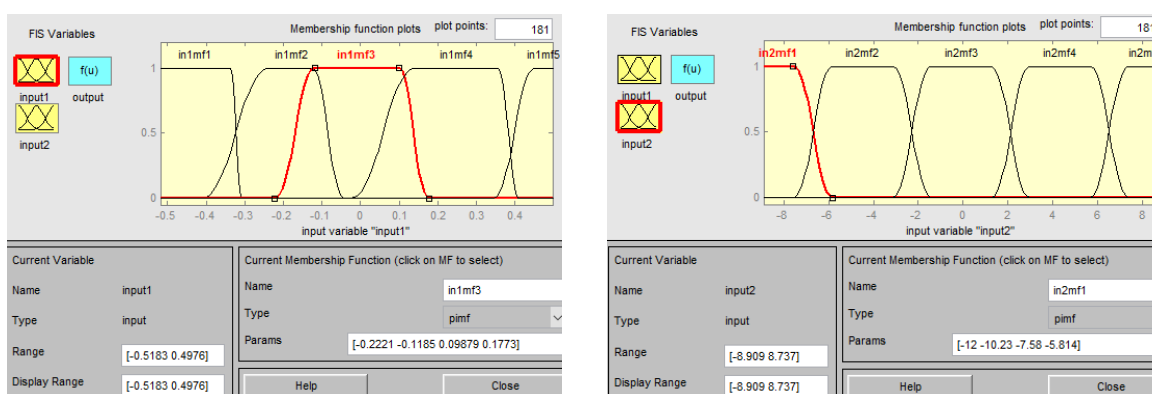


Рисунок 2.36 – Вікно редагування термів: величина помилки АСК (а), похідна помилки АСК (б) нечіткого регулятора

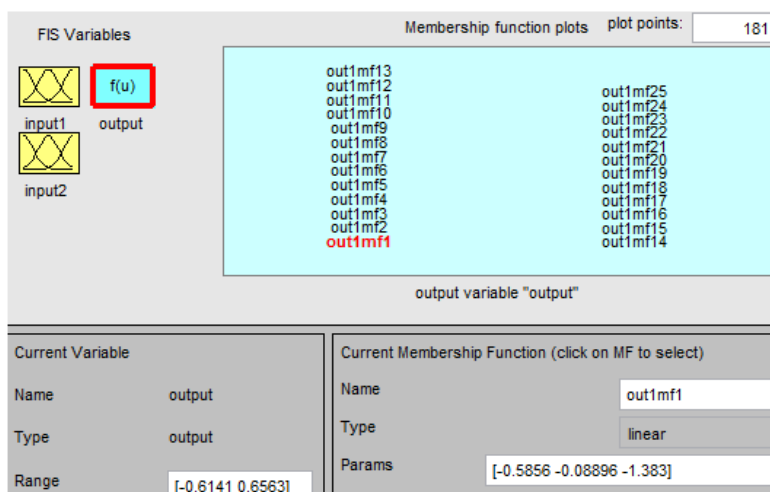


Рисунок 2.37 – Вікно редагування правил, за якими формується вихідний сигнал нечіткого регулятора

На рисунку 2.38 (а) зображено графік роботи АСК при подачі випадкових ступінчатих сигналів на вхід системи, а реакція на одиничний ступінчатий вплив показана на рисунку 2.38 (б).

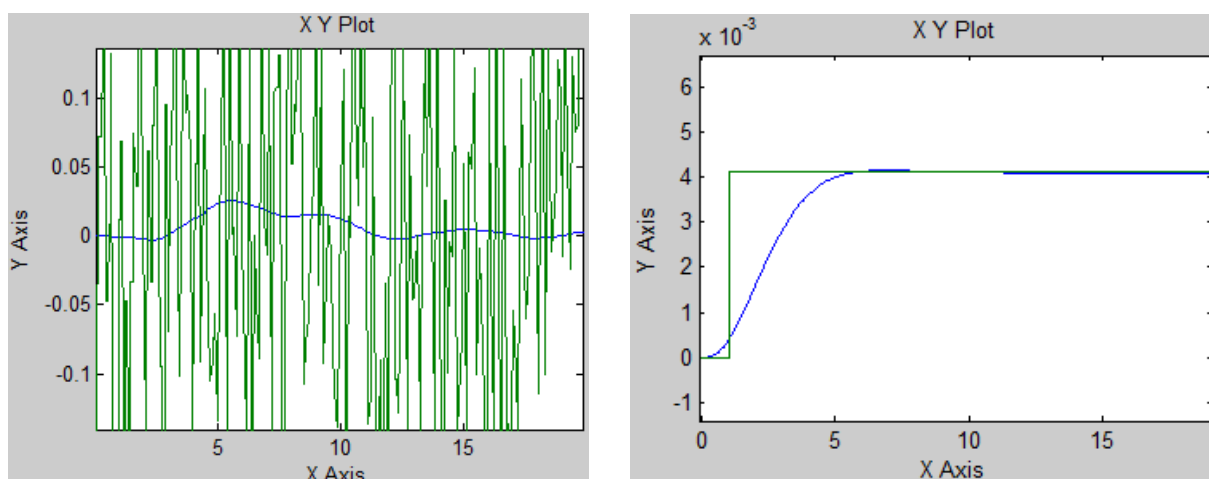


Рисунок 2.38 – Графік роботи АСК з використанням регулятора Fuzzy Logic Controller

У процесі синтезу та навчання нечіткого регулятора були створені графіки роботи алгоритму (рисунок 2.39 (а)) та поверхня відгуку Fuzzy Logic Control (рисунок 2.39 (б)).

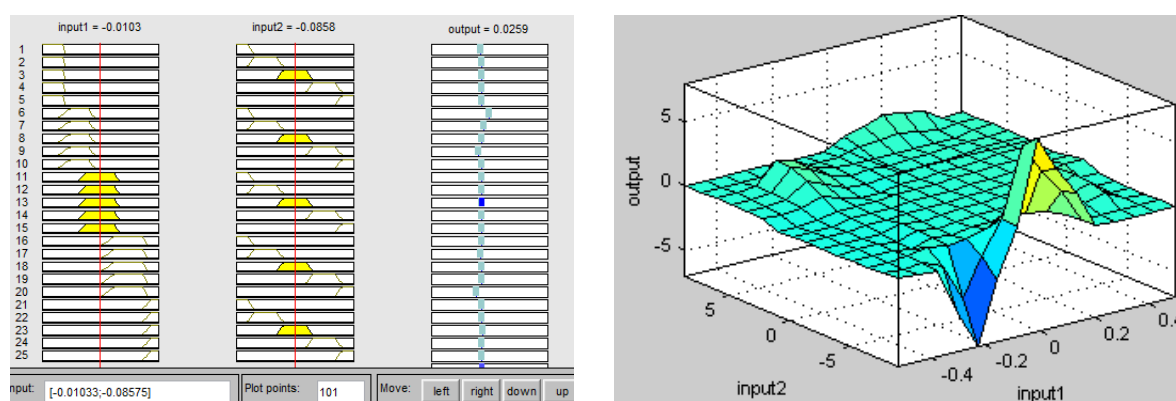


Рисунок 2.39 - Відображення роботи алгоритму нечіткого регулятора (а) та відображення поверхні відгуку Fuzzy Logic Control (б).

Висновки до розділу

Сучасний доменний процес належить до класу нелінійних і виключно складних систем, які мають розподілену структуру як у просторі, так і в часі.

Для вирішення завдань поточного аналізу, прогнозування та управління тепловим станом доменної печі використовується натурно-модельний підхід.

Теплообмін між шихтовими матеріалами та газами в доменній печі відбувається послідовно у двох зонах — верхній і нижній. Для кількісного оцінювання теплового стану доменної печі використовується показник, що відображає питомі витрати тепла в області високих температур на утворення та нагрівання рідких продуктів плавки.

Визначено параметри і керуючі впливи математичної моделі нагріву повітрянагрівачів та теплового стану доменної печі. Керуючими параметрами для регулювання теплового стану доменного процесу є витрата коксу, рівень вологості дугтя та кількість вапняку в шихті.

Виконано розрахунок регулятора витрат газу та моделювання системи керування нагрівом повітря.

Стабілізація температури купола повітрянагрівача забезпечується шляхом регулювання об'єму повітря, що подається до повітрянагрівача. Результати моделювання демонструють ефективність роботи системи керування та підтверджують відповідність отриманих характеристик встановленим вимогам.

Виконано синтез автоматичної системи керування на базі нейрорегулятора та синтез автоматичної системи керування на основі нейро-нечіткого регулятора які забезпечують найкращі результати регулювання.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

3.1 Принципи побудови SCADA доменної печі

Управління технологічним процесом запускається оператором через SCADA-систему, яка забезпечує моніторинг і керування на всіх етапах виробництва. В якості програмного забезпечення для SCADA-системи було вибрано InTouch від компанії Wonderware. Ця система надає зручний інтерфейс для моніторингу та управління технологічними процесами, забезпечуючи інтеграцію з різноманітними пристроями і системами. Для обміну інформацією між програмованим контролером та SCADA-системою використовується OPC Server від компанії MatrikonOPC, що гарантує стабільну передачу даних та забезпечує сумісність між різними технологічними платформами.

SCADA система виконує функції представлені на рис. 3.1

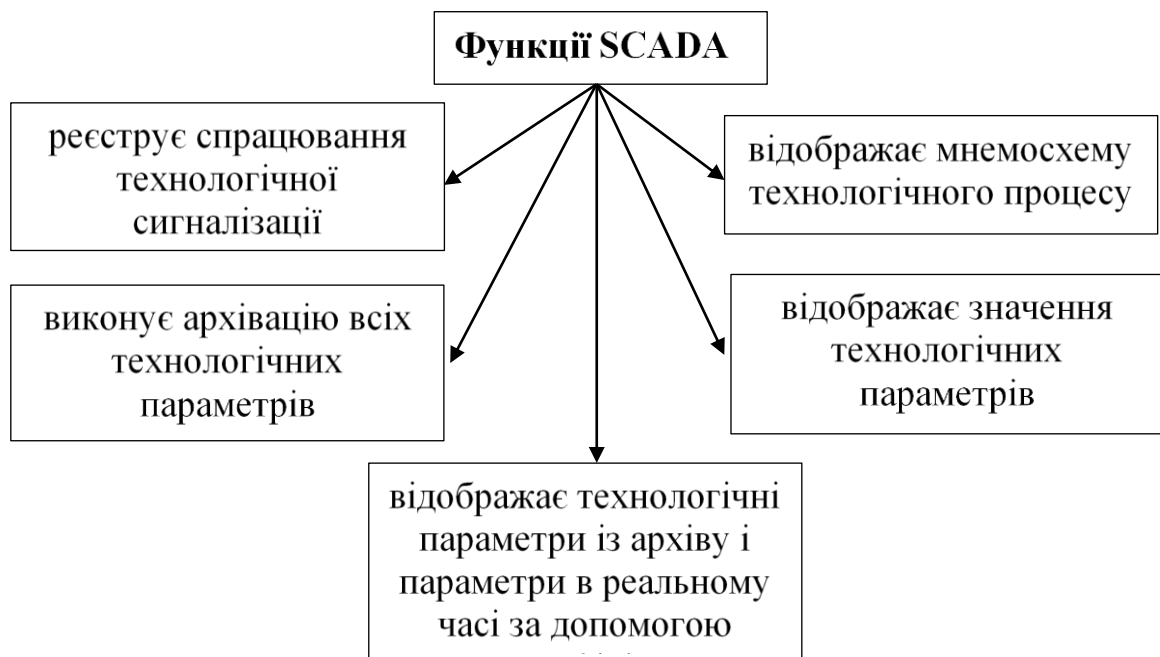


Рисунок 3.1 - Функції SCADA - системи

Використання SCADA-системи дозволяє значно підвищити рівень автоматизації при розробці, управлінні, зборі, зберіганні та відображенні інформації. Високий рівень інтерфейсу, наочність даних на екрані, зручність людсько-машинної взаємодії, доступність управлінських елементів та інтуїтивно зрозумілий дизайн інтерфейсу SCADA системи істотно підвищують ефективність роботи і зменшують ймовірність виникнення помилок під час роботи оператора.

SCADA система InTouch виконує цілий ряд функцій, включаючи введення та виведення сигналів і даних в контролер, а також забезпечує НМІ функціональність, таку як відображення мнемосхем, керування алармами та візуалізацію трендів.

Особлива увага приділяється як миттєвим, так і історичним алармам. Миттєві аларми сигналізують про вихід параметрів за допустимі межі, супроводжуючись звуковим сигналом, і одразу з'являються у вікні алармів. Оператору необхідно взаємодіяти з алармом, натискаючи на нього для підтвердження, після чого він змінює колір на чорний. Історичні аларми зберігаються не в базах SCADA, а в зовнішній системі управління базами даних (СУБД), як-от MSSQL Server або його безкоштовних варіантах MSDE чи MSSQL Express. Для архівування алармів у СУБД використовується спеціальна утиліта AlarmDBLogger, яка налаштовується розробником і автоматично переносить аларми з InTouch в базу даних для подальшого зберігання та обробки.

У цій системі відображаються всі технологічні параметри повітропідігрівача, представлені як числові значення, так і у вигляді трендів у реальному часі та історичних трендів, які зберігаються в базі даних. Кожен параметр, що моніториться в InTouch, може бути архівований, а архівування відбувається в базах даних, що зберігаються у вигляді звичайних CSV-файлів. Для перегляду історичних даних використовується інтерфейс історичних трендів та утиліта HistData. Цей тренд підключається до внутрішніх архівів InTouch, що дозволяє отримувати і переглядати дані за обраний період часу.

Зв'язок між InTouch та контролером забезпечується через OPC server.

SCADA система регулярно опитує контролер, отримує дані та передає їх назад до контролера. InTouch не має вбудованої підтримки OPC на рівні ядра, але підтримує стандартні протоколи Windows DDE та SuiteLink.

3.2 Опис функцій АСУ

Опис функції АСУ представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Детальний опис функцій АСУ

Функції контролю
<ul style="list-style-type: none"> – тиск всередині повітрянагрівача; – витрата доменного газу безпосередньо перед повітрянагрівачем; – витрата холодного дуття, що подається в повітрянагрівач; – температура купола повітрянагрівача; – температура димових газів; – температура гарячого дуття; – наявність факелу на пальниках.
Функції регулювання
<ul style="list-style-type: none"> – витрата доменного газу на вході в повітрянагрівач, – температура димових газів – температура купола повітрянагрівача.
Функції сигналізації
<ul style="list-style-type: none"> – температура купола повітрянагрівача – наявність факелу на пальниках.
Функції блокування
<ul style="list-style-type: none"> – температура купола повітрянагрівача. <p>Блокування призначене для запобігання аварії у випадку відхилень параметрів від допустимих границь.</p>

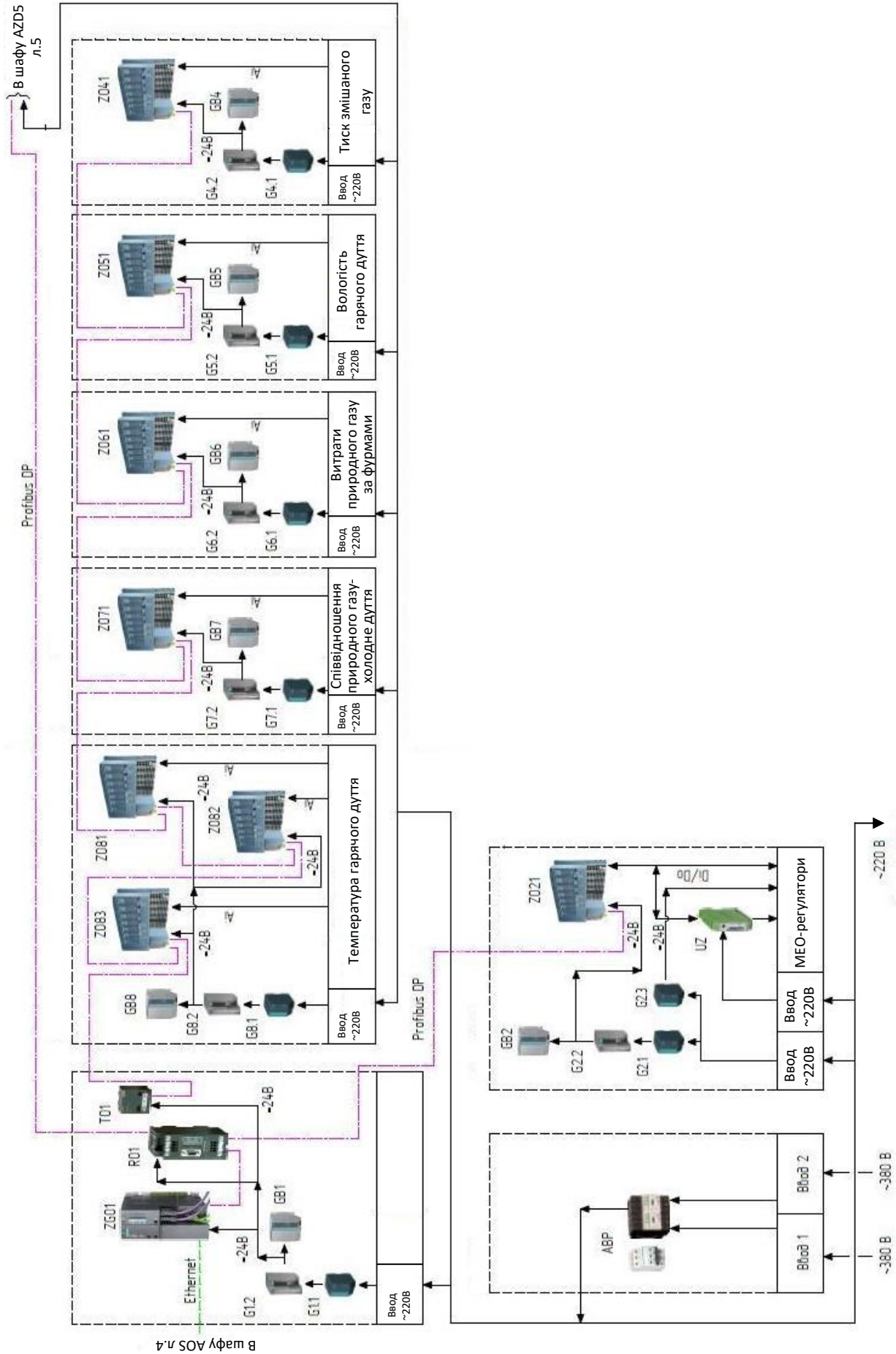


Рисунок 3.2 – Функціональна схема керування параметрами теплового стану доменної печі

3.3 Контроль технологічних параметрів теплового стану

Для ефективної роботи системи автоматичного регулювання необхідно встановити контрольно-вимірювальні прилади, які забезпечують моніторинг ключових технологічних параметрів. Відхилення цих параметрів від заданих значень сигналізують про можливі порушення в роботі системи. У цій системі регулюється нагрів повітрянагрівача доменної печі, і для забезпечення точності процесу встановлено ряд датчиків, які контролюють теплові параметри доменної печі.

Тиск всередині повітрянагрівача повинен бути рівним 130 кПа. Для цього використовують датчик Rosemount 3051 С/Т, який передає сигнал 4-20 мА на контролер. Сигнал від цього датчика можна моніторити як на самій установці, так і через індикацію на контролері. Датчик розміщується на позиції 7а на функціональній схемі.

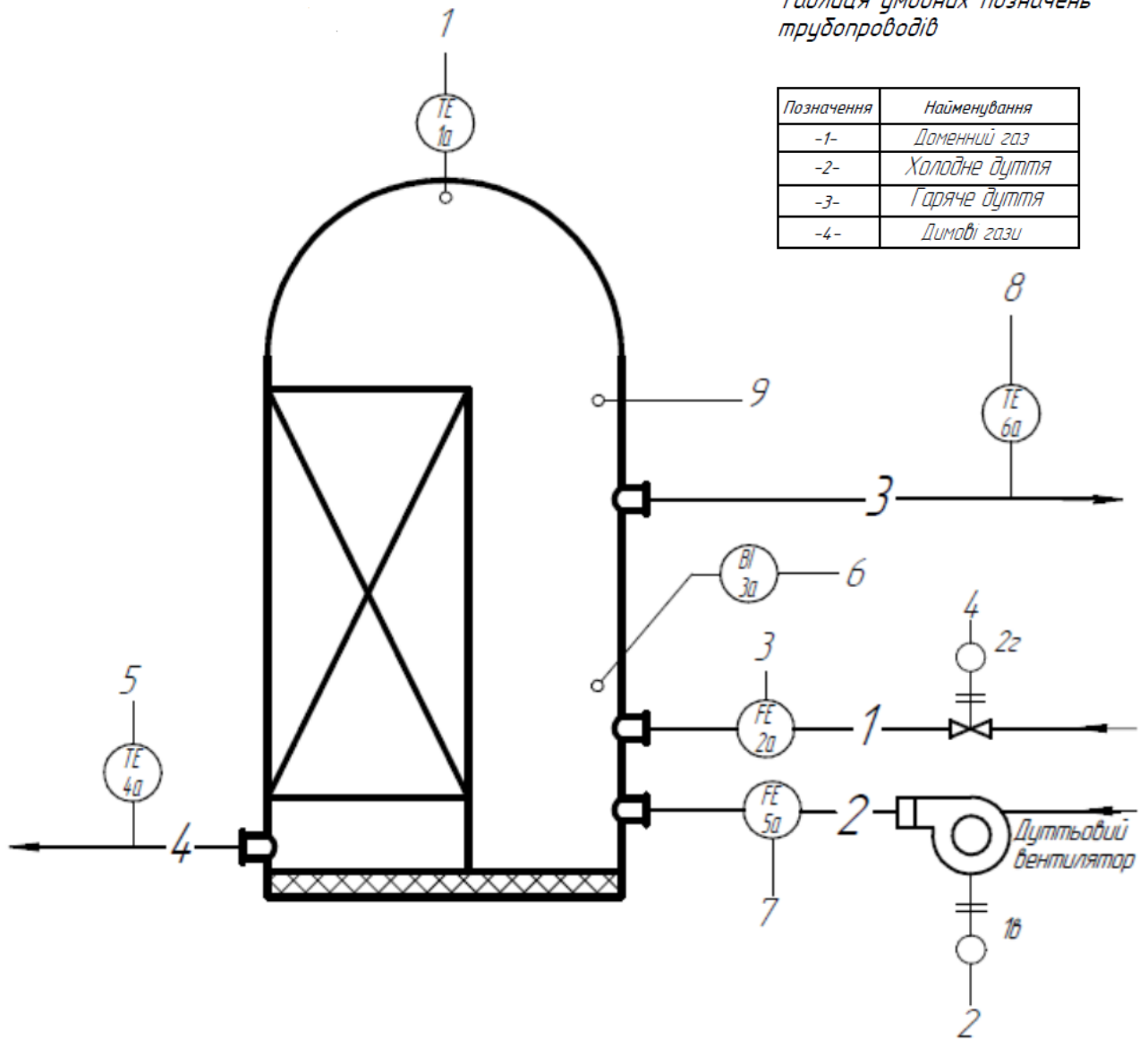
Витрата доменного газу перед повітрянагрівачем. Для стабільної подачі газу в пальники та підтримки нормального нагріву повітрянагрівача вимірюється витрата газу за допомогою камерної діафрагми ДКС 2,5-500 в комплекті з перетворювачем тиску Сафир 2424-ДД. Цей пристрій також подає сигнал 4-20 мА на контролер. Параметр витрати підтримується на рівні 50,000 м³/год. Датчики знаходяться на позиціях 2а і 2б.

Витрата холодного дуття. Для забезпечення стабільного потоку гарячого дуття вимірюється витрата холодного повітря за допомогою безкамерної діафрагми ДБС 6-800 в комплекті з перетворювачем тиску Сафир 2444-ДД. Параметр підтримується на рівні 250,000 м³/год. Ці прилади розміщуються на позиціях 5а та 5б.

Температура купола повітрянагрівача повинна становити 1490°С, контролюється термоелектричним термометром ТПР-1788 з нестандартним вихідним сигналом. Параметр індикуюється, реєструється та коригується на контролері, забезпечуючи нормальний процес нагріву.

Таблиця умовних позначень трубопроводів

Позначення	Найменування
-1-	Доменний газ
-2-	Холодне дуття
-3-	Гаряче дуття
-4-	Димові гази



За місцем	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1490 °C	50000 м ³ /год			500 °C		250000 м ³ /год	1350 °C	130 кПа
	SY 1б	FI 2б	NS 2б				FI 5б		PI 7а
Щит автоматизації	контроль								
	індикація	•							
	регулювання	•	•	•					
	сигналізація	•							
	блокування	•							

Рисунок 3.3 - Встановлення контрольно-вимірювальних приладів

Температура димових газів. За допомогою термопари ТХК-1087 вимірюється температура димових газів, що повинна бути 500°C. Параметр контролюється та реєструється на контролері, що дає змогу оптимізувати процес нагріву.

Температура гарячого дуття вимірюється термопарою ТПР-1888, і її значення повинно бути на рівні 1350°C. Цей параметр характеризує ефективність роботи насадок повітрянагрівача в режимі «дуття» і контролюється системою.

Наявність факелу. За допомогою фотосигналізатора полум'я ФСП 1.1 здійснюється контроль наявності факелу в пальниках. Це необхідно для запобігання недопалу палива та попередження аварійних ситуацій. Параметр сигналізується, реєструється та індикуюється на контролері.

Для забезпечення сумісності прилади вибиралися з урахуванням їхніх діапазонів вимірювань та типів вихідних сигналів, що відповідають входам обраного контролера. Переважно використовуються вітчизняні прилади, зокрема виробників «Манометр» та «Термоприлад», які відзначаються надійністю та високою якістю виконання.

3.4 Автоматичне регулювання технологічних параметрів

Система автоматичного регулювання працює в режимі стабілізації, контролюючи три основні параметри: витрату доменного газу, температуру димових газів та температуру купола повітрянагрівача. Їх налаштування та моніторинг здійснюються за допомогою промислового контролера Siemens SIMATIC S7-1200, що забезпечує точність і надійність роботи [17].

Контроль витрати доменного газу

Регулювання витрати газу здійснюється відповідно до уставки, заданої на контролері, та даних від перетворювача тиску. Цей прилад вимірює перепад тиску на діафрагмі, встановленій у трубопроводі (позиції 2а і 2б). Сигнал від перетворювача Сафир 2424-ДД [18] з аналоговим виходом (4–20 мА)

обробляється контролером, який передає команду на регулятор ПБР-3А (поз. 2в). Регулятор керує запірно-регулюючим механізмом (поз. 2г), забезпечуючи необхідний потік газу. Номінальна витрата становить 50 000 м³/год.

Регулювання температури димових газів

Контроль температури димових газів здійснюється за допомогою термопари ТХК-1087 (поз. 4а), яка зчитує температуру в трубопроводі. Номінальне значення становить 500°С. Отриманий сигнал передається до контролера, який коригує подачу доменного газу для підтримки заданого теплового режиму.

Контроль температури купола повітрянагрівача

Температура купола контролюється термопарою ТПП-1788 (поз. 1а), що встановлена в куполі. Номінальна температура становить 1490°С. Сигнал обробляється контролером, який керує частотним перетворювачем MICROMASTER 430 2UD34 (поз. 1б). Він регулює швидкість вентилятора низького тиску (поз. 1в) потужністю 45 кВт, що забезпечує сталу витрату холодного дуття.

Контролер SIMATIC S7-1200

Контролер Siemens SIMATIC S7-1200 [17] є модульним рішенням для автоматизації процесів середньої складності. Його основні переваги:

- модульна конструкція, що дозволяє гнучко адаптувати систему.
- широкий вибір процесорів для вирішення завдань різної складності.
- вбудовані функції для обробки сигналів, автоматичного регулювання та позиціонування.
- природне охолодження, що підвищує надійність.
- можливість масштабування: до 32 модулів (сигнальних, функціональних, комунікаційних) на 4 монтажних стійках.

Основні модулі системи

- центральний процесор (CPU): різні типи для завдань різної складності.
- блоки живлення (PS): живлення від мережі змінного або постійного струму.

– функціональні модулі (FM): обробляють сигнали та регулюють процеси автономно.

– інтерфейсні модулі (IM): забезпечують підключення розширювальних стійок.

Система забезпечує високу точність регулювання та дозволяє інтегрувати функції автоматичного керування в різні промислові процеси. Застосування таких рішень сприяє зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню продуктивності виробництва.

3.5 Технологічна сигналізація, захист та блокування в системі

Технологічна сигналізація виконує важливу функцію, забезпечуючи оперативне інформування персоналу про відхилення параметрів від встановлених меж або виникнення аварійних ситуацій. Вона розділяється на світлову та звукову залежно від характеру відхилень.

Світлова сигналізація використовується для індикації некритичних відхилень параметрів і представлена сигнальними лампами або табло з різнокольоровими світлофільтрами. Для аварійних ситуацій застосовується звукова сигналізація, яка ефективніше привертає увагу персоналу (в середньому в 3–5 разів швидше). Як джерела звукового сигналу використовують дзвінки, сирени або гудки. Інформація для активації сигналізації надходить від контактів вимірювальних приладів.

Система сигналізації проектується так, щоб пошкодження окремих елементів не призводили до виходу з ладу всієї системи. Для цього її розділяють на окремі ділянки, які можуть бути відключені без втрати функціональності інших частин.

У цій системі є два параметри, для яких необхідно забезпечити контроль граничних значень. Особливо важливою є сигналізація температури купола повітрянагрівача, що має критичне значення. Граничні межі встановлені на

1350°C (мінімум) і 1500°C (максимум), щоб уникнути перегріву або надмірного охолодження насадок. Ця сигналізація реалізується через контролер SIMATIC PCS7 S7-300 від Siemens.

Також передбачено індикацію наявності полум'я в пальниках за допомогою фотосигналізатора полум'я ФСП 1.1, який передає контролеру сигнали 4 мА у разі відсутності полум'я та 20 мА при його наявності. Звукова сигналізація, як-от сирена, активується у випадку аварійної ситуації.

Критичний параметр системи – температура купола повітрянагрівача. У разі перевищення 1500°C контролер SIMATIC PCS7 S7-300 реагує, подаючи команду на закриття заслінки трубопроводу доменного газу. Це відбувається через активацію пускача, обраного відповідно до потужності електроприводу та параметрів живлення.

3.6 Схем автоматизації локальних систем контролю та керування

3.6.1 Регулювання температури гарячого дуття

Стабільна температура дуття забезпечує рівномірний і високопродуктивний процес роботи печі, при цьому менше коливається температура в горні, підтримується постійний хімічний склад та температура чавуну на випусках. Допустимими змінами температури дуття є ті, що пов'язані зі здатністю печі акумулювати тепло.

Температуру гарячого дуття при послідовному режимі роботи повітрянагрівачів регулюють додаванням до гарячого дуття, що виходить з повітрянагрівача, холодного дуття, що подається по змішувальному трубопроводу через клапани СК (рис. 3.4).

Щоб розширити діапазон регулювання, на змішувальному трубопроводі встановлено два регулюючих клапани діаметром 1100 і 600 мм. Як привод клапана використовуються виконавчі механізми (поз. 1-7) типу МЕО-63/250 (для клапана діаметром 600 мм) і (поз. 1-9) типу МЕО-160/250 (для клапана діаметром

1100 мм). Положення клапанів фіксується дистанційними покажчиками положення (поз. 1-10 та 1-11).

Працює схема так: сигнал від термопари (поз. 1-1), пропорційний фактичному значенню температури дуття, поступає на перетворювач (поз. 1-2) типу Ш-705. Необхідну температуру дуття встановлюють задатчиком (поз. 1-3). Алгебраїчна сума цих сигналів подається на вхід регулятора (поз. 1-4). За наявності розбалансу на виході регулятора з'являється сигнал, який управляє виконавчими механізмами змішувальних клапанів СК.

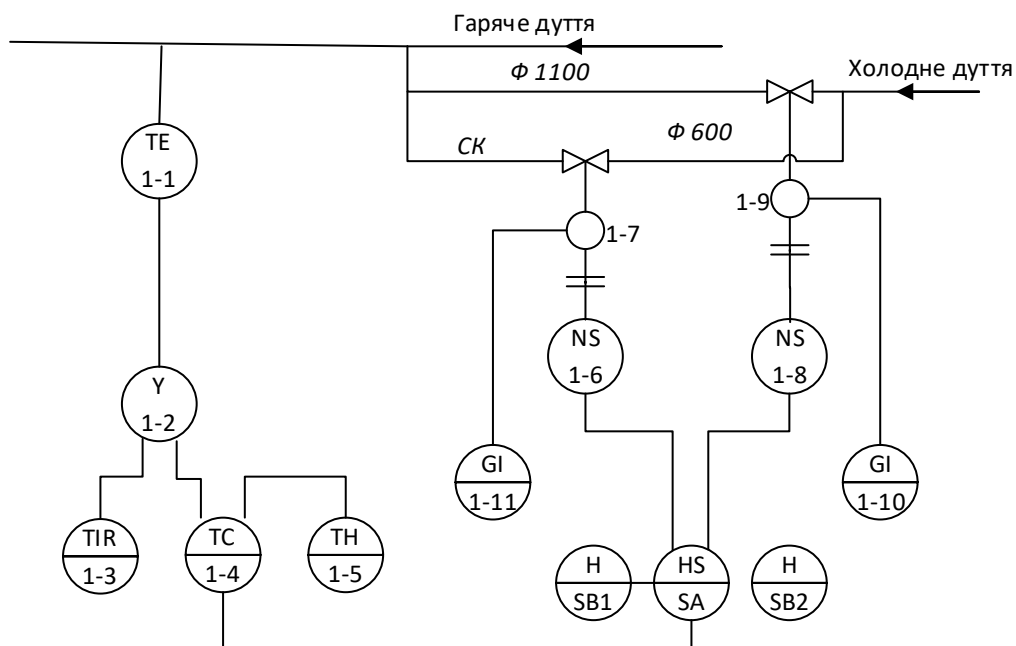


Рисунок 3.4 - Схема регулювання температури гарячого дуття повітрянагрівачів

Схема передбачає можливість автоматичного керування кожним клапаном окремо та дистанційного керування обома клапанами. Для вибору режиму управління передбачено виборця управління SA. При встановленні рукоятки перемикача в положення дистанційного керування обидва клапани управляються ключами SB1 (для ІМ поз. 7-7) та SB2 (для ІМ поз. 1-9). Для включення автоматичного управління ключ SA має два положення, кожне з яких включає виконавчий механізм (поз. 1-7 і 1-9). Управління виконавчими механізмами здійснюється через пускачі (поз. 1-6 та 1-8) типу ПБР-2М. Для

візуального відліку температури та запису її на діаграмну стрічку у схемі передбачено вторинний прилад (поз 1-3) типу А-550.

3.6.2 Регулювання співвідношення "природний газ - холодне дуття" з корекцією по кисню

Регулювання співвідношення "природний газ - холодне дуття" здійснюється за рахунок зміни витрати газу. Для цього на трубопроводі газу встановлено регулюючий дросель (поз. 4-9) (рис. 3.5). Як його привод використовується виконавчий механізм (поз. 4-8) типу МЕО-25/100. Схема забезпечує автоматичне та дистанційне керування дроселем. Вибір режиму керування здійснюється ключем SB1, дистанційне керування – ключем SB2.

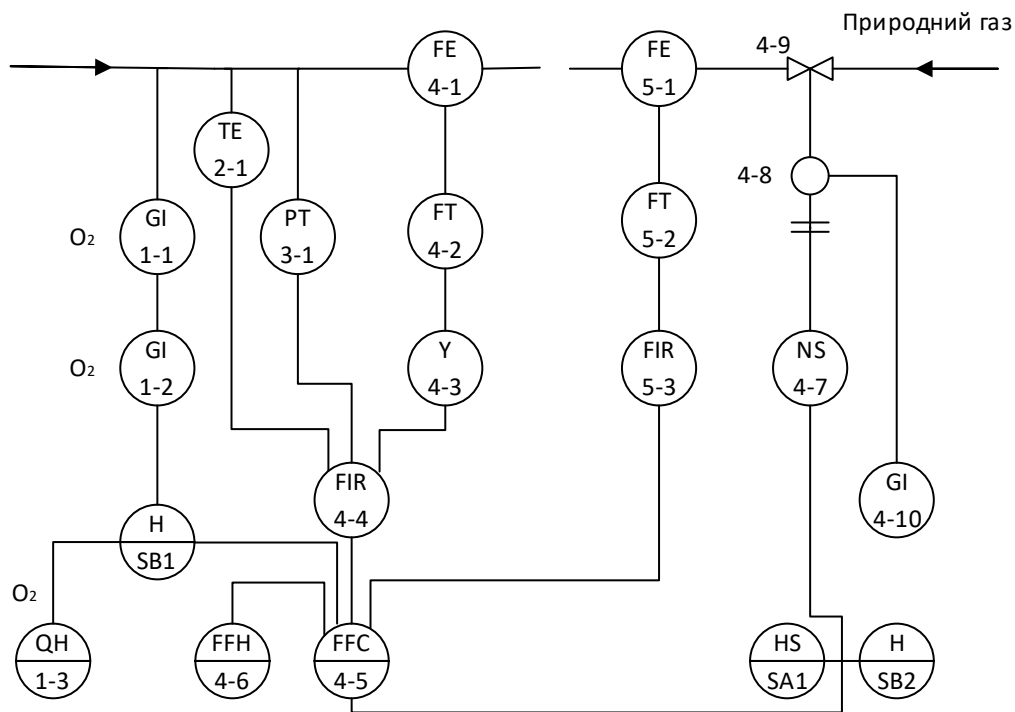


Рисунок 3.5 - Схема співвідношення природного газу - холодне дуття

Основним параметром АСР є витрата повітря (поз. 4-1) та природного газу (поз. 5-1). Вимірювання витрати повітря та природного газу здійснюється методом змінного перепаду тиску. Вихід вимірювального перетворювача (поз. 5-

3) підключено до регулятора співвідношення (поз. 4-5). Сигнал від витратоміра повітря (поз. 4-2) надходить на перетворювач (поз. 4-3) і на вторинний реєструючий прилад (поз. 4-4), де він коригується за тиском (поз. 3-1) та температурою (поз. 2-1). Вихід вторинного приладу (поз. 4-4) підключено до регулятора співвідношення. Співвідношення "газ - повітря" задається задатчиком (поз. 4-6). Регулятор управляє виконавчим механізмом через пускач (поз. 4-7) типу ПБР-2М. Положення регулюючого клапана контролюється вказівником (поз. 4-10).

У схемі передбачена можливість запровадження корекції по кисню. Для цього регулятор вводиться сигнал неузгодженості між дійсним значенням вмісту кисню в дутті від датчика (поз. 1-1) і заданим значенням від задатчика (поз. 1-3). Ключем SBI можна вимкнути сигнал корекції.

3.6.3 Регулювання витрати природного газу за фурмами

Для розподілу природного газу та дуття за перерізом шахти печі встановлено 36 фурм. Щоб регулювати надходження природного газу через кожну фурму, на підведенні газу до них встановлені дросельні клапани, як приводи яких використовують виконавчі механізми 1ж типу МЭО-4/100. [19]

Клапани можуть працювати як в автоматичному, так і в дистанційному режимі. Режим роботи вибирають ключем SA (рис. 3.6). При включенні клапанів у режим автоматичного регулювання керування ними здійснюється через пускачі 1-6 – 36-6 типу ПБР-2М від комплексу 1-3 регулювання витрати газу по фурмам. На вхід комплексу подається сигнал неузгодженості із задатчиків 1-4 – 36-4 і первинних перетворювачів 1-2 – 36-2 типу "Сапфір-22 Д", що працюють у комплекті з діафрагмами 1-1 – 36-1, що вимірюють витрату природного газу на кожну фурму. Крім того, на вхід комплексу подаються сигнали, пропорційні витраті, тиску та температурі загального газу на піч.

У дистанційному режимі керування клапанами здійснюється ключем SB і кнопками 1-5 – 36-5, які служать для вибору регульованої фурми. Про положення

кожного клапана можна судити за дистанційним показчиком положення ІІ типу ДУП-М, розташованому на панелі головного щита.

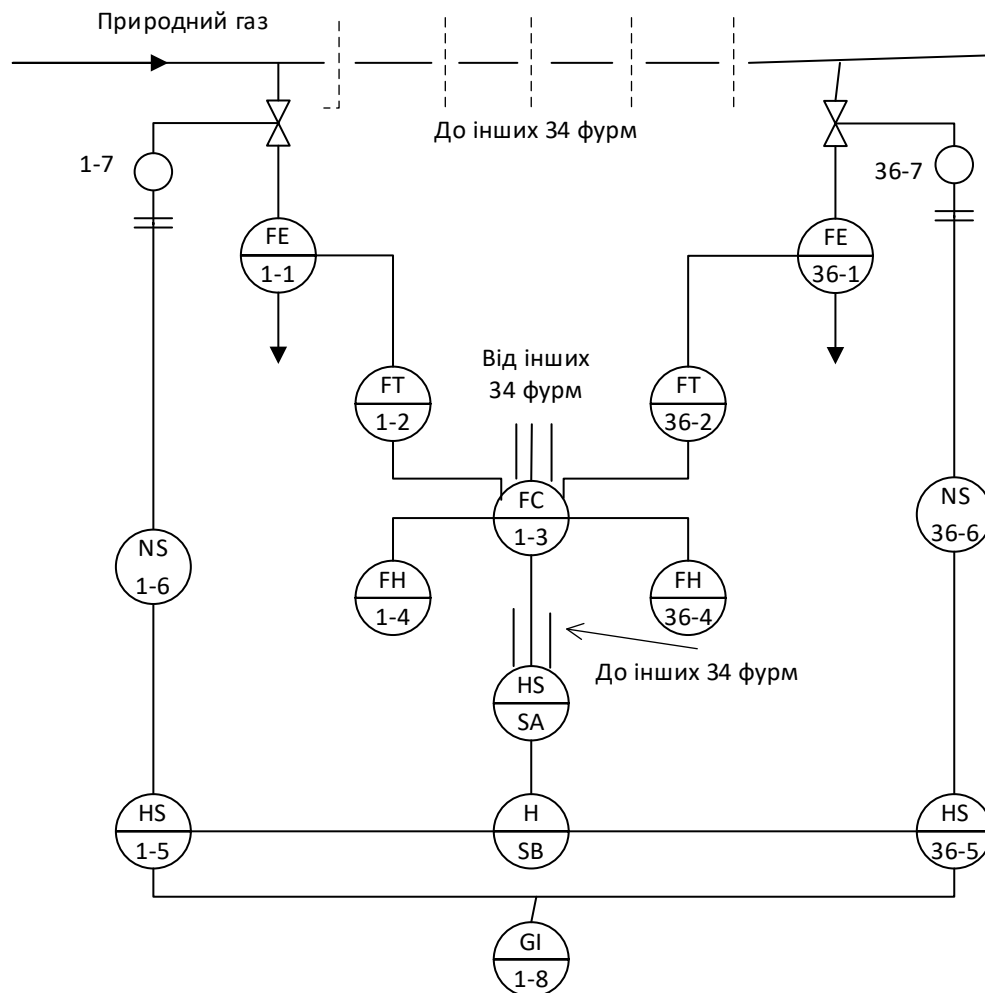


Рисунок 3.6 - Схема регулювання витрати природного газу за фурмами

Використання природного газу разом із киснем забезпечує зменшення витрат коксу, зберігаючи стабільні газодинамічні умови роботи печі. При цьому збільшення об'єму газу, який утворюється внаслідок згорання коксу у фурмах через введення природного газу, компенсується зниженням об'єму газу завдяки використанню кисню.

Кисень подається до повітропроводу перед повітронагрівачами, де він нагрівається до температури гарячого дуття. Натомість природний газ подається в піч у холодному стані (20–30°C), що спричиняє додаткове охолодження горна.

Через це виникає необхідність підвищення температури гарячого дуття для компенсації охолоджувального ефекту.

Обсяги застосування природного газу обмежуються максимально допустимою температурою нагрівання дуття та кількістю кисню, яка може бути подана в систему конкретної печі.

Автоматичний розподіл газу виконує система обігаючого контролю, яка включає регулюючий прилад 1-3 послідовно до датчиків 1-2 – 36-2, задатчикам 1-4 – 36-4 і пускачам 1-6 – 36-6.

3.6.4 Регулювання вологості гарячого дуття

Вологість атмосферного повітря залежить від пори року, стану погоди та географічного положення заводу. Вологість повітря 0% – 0,1 г/м³, 100% – 28 г/м³. Зміна вмісту води у дутті доменних печей порушує сталість умов виробництва, оскільки на дисоціацію водяної пари витрачається значна кількість тепла. Розрахунки показують, що зміна вологості дуття на 0,001 кг/м³ викликає зміну температури у зоні фурм на 9°C. Крім того, дисоціація води на кисень і водень змінює відновну здатність горнових газів та умови горіння коксу у фурм. Для підтримки вологості дуття лише на рівні максимально можливої вологості атмосфери, тобто, 0,025-0,03 кг/м³, у трубопроводі холодного дуття подається пара через клапан на паропроводі.

Як привод клапана використовують виконавчий механізм типу МЕО-10/250-68 (поз. 1-7). Схема забезпечує автоматичне та дистанційне керування клапаном за допомогою блоку управління 1-5 типу БО-21. При включенні схеми в автоматичний режим регулювання клапаном керують через безконтактний пускач 1-6 типу ПБР-2М від відповідного каналу комплексу автоматичного регулювання 1-3, на вхід якого подаються сигнали з перетворювача 1-2, вбудованого в шафу датчика вологості 1-1, а також із задатчика. Положення клапана фіксується дистанційним покажчиком положення 1-8 типу ДУП-М.

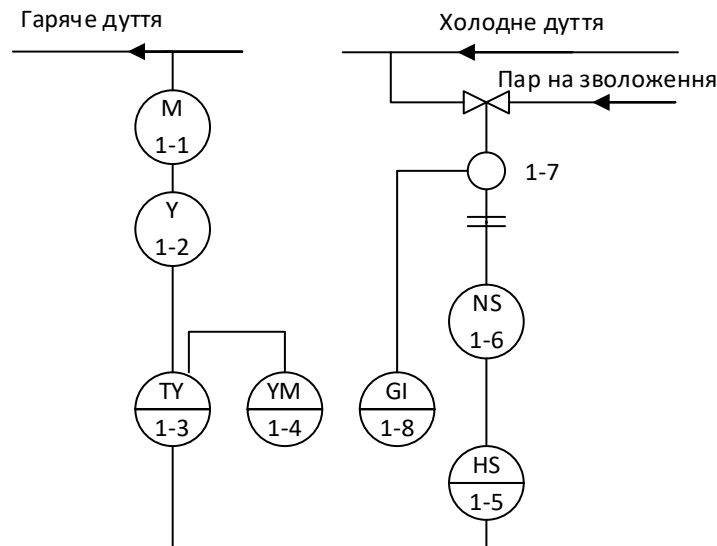


Рисунок 3.7 - Схема регулювання вологості гарячого дуття

3.6.5 Схема регулювання тиску змішаного газу

Тиск змішаного газу (рис. 3.8) регулюють зміною тиску доменного газу. Для цього на трубопроводі доменного газу встановлюють регулюючий дросель. Як привод його використовують виконавчий механізм (поз. 7-5) типу МЕО-400/150.

Схема забезпечує автоматичне та дистанційне керування дроселем доменного газу. Вибір режиму керування здійснюється одним ключем SA, а керування в дистанційному режимі - ключем SB. При включенні в автоматичний режим регулювання дроселем керують через магнітний пускач (поз. 1-4) типу ПБР-2М від регулятора тиску (поз. 1-2), відпрацьовує сигнал неузгодження, дистанційного задатчика (поз. 1-3) та первинного приладу (поз. 1-1) типу: "Сапфір-22ДІ", що вимірює тиск змішаного газу. Положення дроселя фіксується на мнемосхемі дистанційним покажчиком положення (поз. 1-6).

У схемі передбачені блокування, що дозволяють при пуску доменної печі відкривати на деякий кут дросель на трубопроводі доменного газу, щоб уникнути помилкового спрацьовування сигналізатора падіння тиску. Для цього до пуску доменної печі за відсутності тиску доменного газу блок-контакти реле забороняють керувати дроселем на закриття. Під час подачі газу дросель починає

відкриватись. Кут відкриття визначає реле часу. При відключенні реле часу підключається ланцюг контролю падіння тиску.

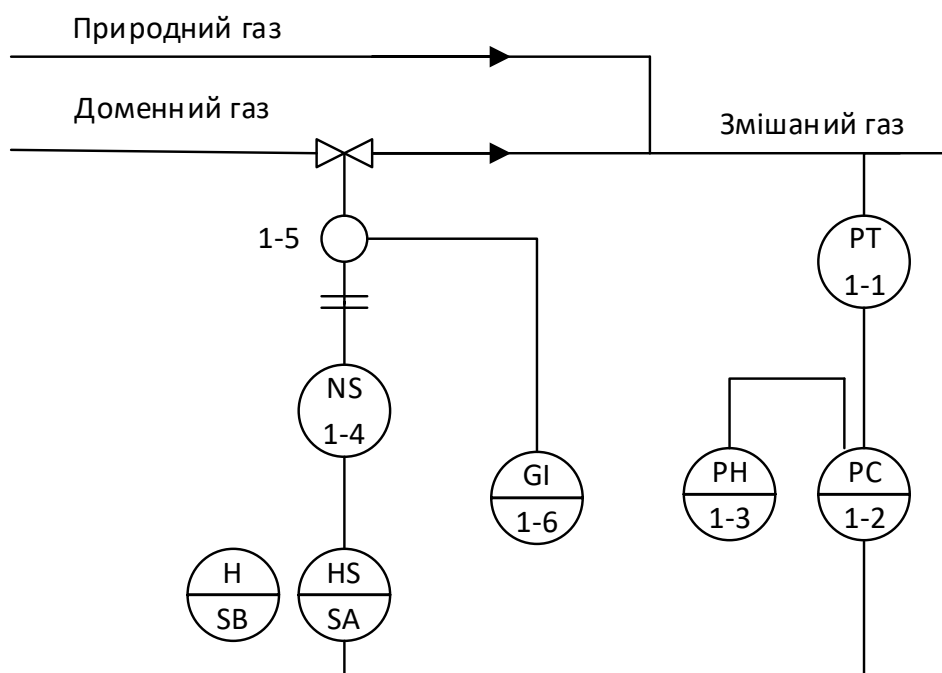


Рисунок 3.8 - Схема регулювання тиску змішаного газу

3.7 Алгоритму роботи САР температури повітря

Після переведення повітрянагрівача в режим нагрівання основним завданням є забезпечення максимально можливої нагріву насадки в найкоротший термін. Водночас температура продукту горіння не повинна перевищувати межі термостійкості вогнетривкої кладки купола вітрянагрівача. Наприклад, для шамотної кладки гранична температура становить 1100°C , а для високоглиноземистої – 1200°C .

Для нагрівання вітрянагрівача за умов максимально допустимої температури збереження факела та цільності вогнетривкої кладки була створена автоматична система регулювання. Вона забезпечує стабільну температуру купола вітрянагрівача.

Оскільки необхідна температура факела досягається за оптимального

співвідношення газу та повітря, для регулювання температури купола вибирають два основних методи:

- а) повітря при постійній кількості (витраті) газу;
- б) Зміна кількості газу при фіксованій витраті повітря.

У сучасних доменних печах використовується система регулювання температури купола з постійною витратою газу. При такій системі зниження температури купола відбувається шляхом збільшення надлишку повітря порівняно з оптимальним значенням.

Такий метод регулювання забезпечує економічність і ефективність роботи повітрянагрівача. Збільшення об'єму продуктів горіння та їх швидкості сприяє зниженню температури купола і більш рівномірному прогріванню насадки на всю її глибину.

У разі використання системи з постійним обсягом подачі повітря регулювання температури купола відбувається за рахунок зменшення подачі газу. Це призводить до зниження температури насадки, що збільшує тривалість роботи повітрянагрівача в режимі нагрівання.

Автоматичне регулювання здійснюється за допомогою спеціального обладнання, до складу якого входять термопара, вмонтована в кладку купола, електронний потенціометр та регулятор. Ці пристрої впливають на роботу приводу регулюючого механізму, зокрема на жалюзі газового пальника.

У системах із постійною витратою повітря основним регулюючим елементом виступає дросельний клапан, який контролює подачу газу.

Давайте розглянемо алгоритм роботи системи автоматичного регулювання температури купола повітрянагрівача.

При переході повітрянагрівача в режим нагрівання, після початкового відкриття видільного клапана газового пальника, надходить сигнал на запуск приводу жалюзі в напрямку закриття. Жалюзі починають закриватися та зупиняються у вихідному положенні П1. Під час налаштування системи жалюзі встановлюють у такому положенні, щоб забезпечити пропуск необхідної кількості повітря для спалювання газу, який надходить у пальник при відкритті

дросельного клапана на кут запалювання.

Після запалювання газу в камері горіння запускається вентилятор газового пальника, а дросельний клапан відкривається на заданий кут. При цьому імпульс на закриття жалюзі припиняється, і жалюзі залишаються в налаштованому положенні для забезпечення оптимальних умов горіння.

Одночасно надходить команда на відкриття стулок жалюзі. Відповідно до налаштувань шляхового вимикача можна обрати один із трьох кутів відкриття (П1, П2, П3). Коли під час відкривання стулок жалюзі досягається встановлений кут, відповідний контакт шляхового вимикача замикається, і жалюзі зупиняються в положенні, яке забезпечує подачу повітря з необхідним надлишком для оптимального згорання газу. Жалюзі залишаються в цьому положенні доти, поки температура купола не досягне заданого значення.

На початку нагрівання, коли температура купола ще низька, спрацьовує реле, яке підключає ланцюг керування пускачем жалюзі до електронного регулятора. Якщо температура купола піднімається на 5-10° вище заданого рівня, електронний регулятор надсилає імпульс на відкриття жалюзі, збільшуючи подачу повітря. У разі, якщо температура купола опускається нижче встановленого рівня, регулятор генерує імпульс на закриття жалюзі, зменшуючи кількість повітря. Таким чином, система підтримує оптимальне співвідношення газу і повітря, що забезпечує максимальну температуру згорання.

Температура димових газів, що відходять, контролюється за допомогою термопари, встановленої в димовому каналі. У процесі прогрівання насадки температура диму поступово зростає. Значення температури диму в межах 300-400°C свідчить про завершення процесу нагрівання. Після досягнення цього показника повітрянагрівач необхідно або перевести на режим відділення, або перемкнути в режим зниженої подачі газу, якщо немає потреби відразу ставити його на дугтя.

Алгоритм роботи системи представлено на схемі рисунка 3.9.

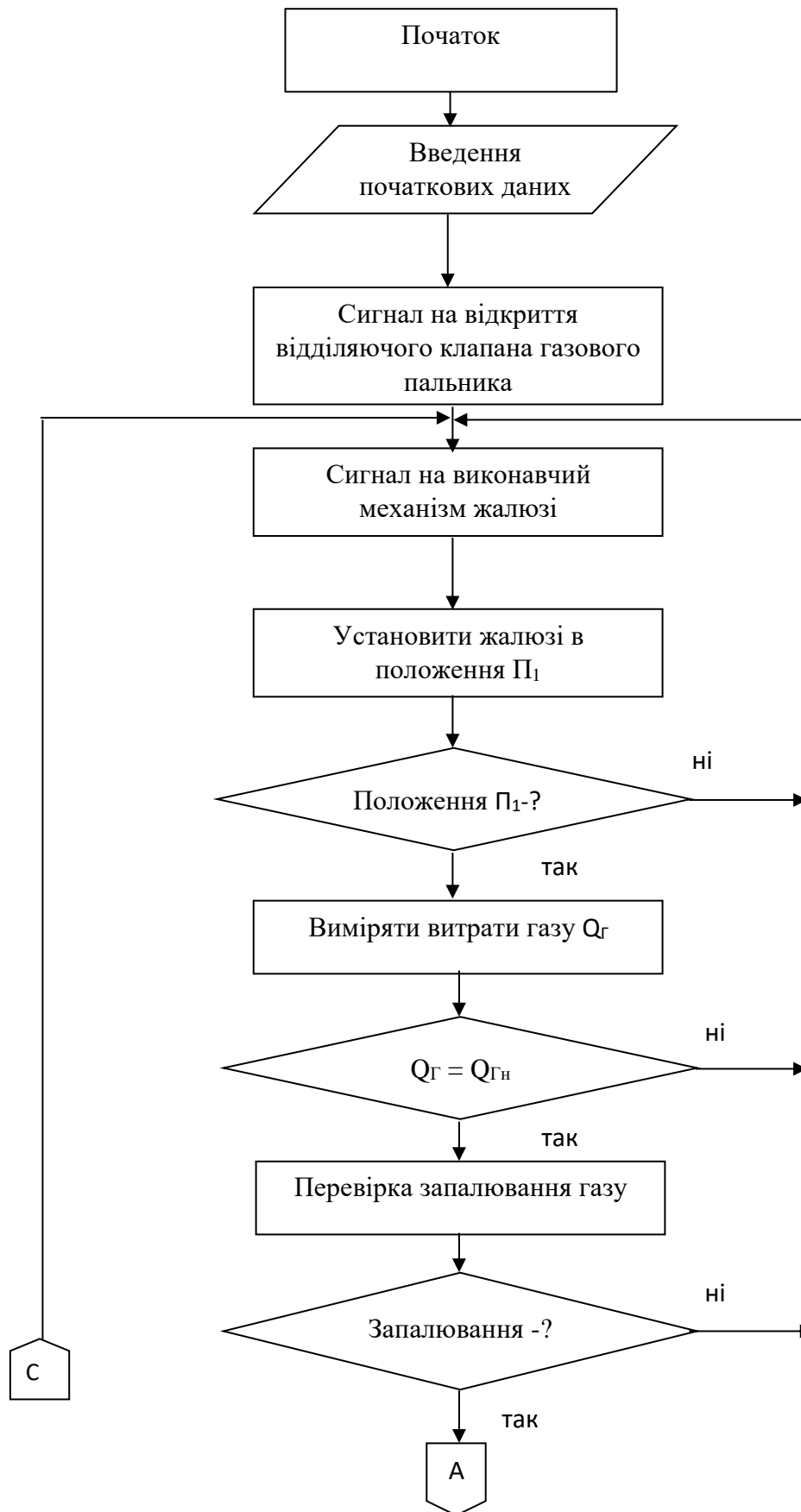


Рисунок 3.9 - Алгоритм роботи системи автоматичного регулювання температури купола повітрянагрівача

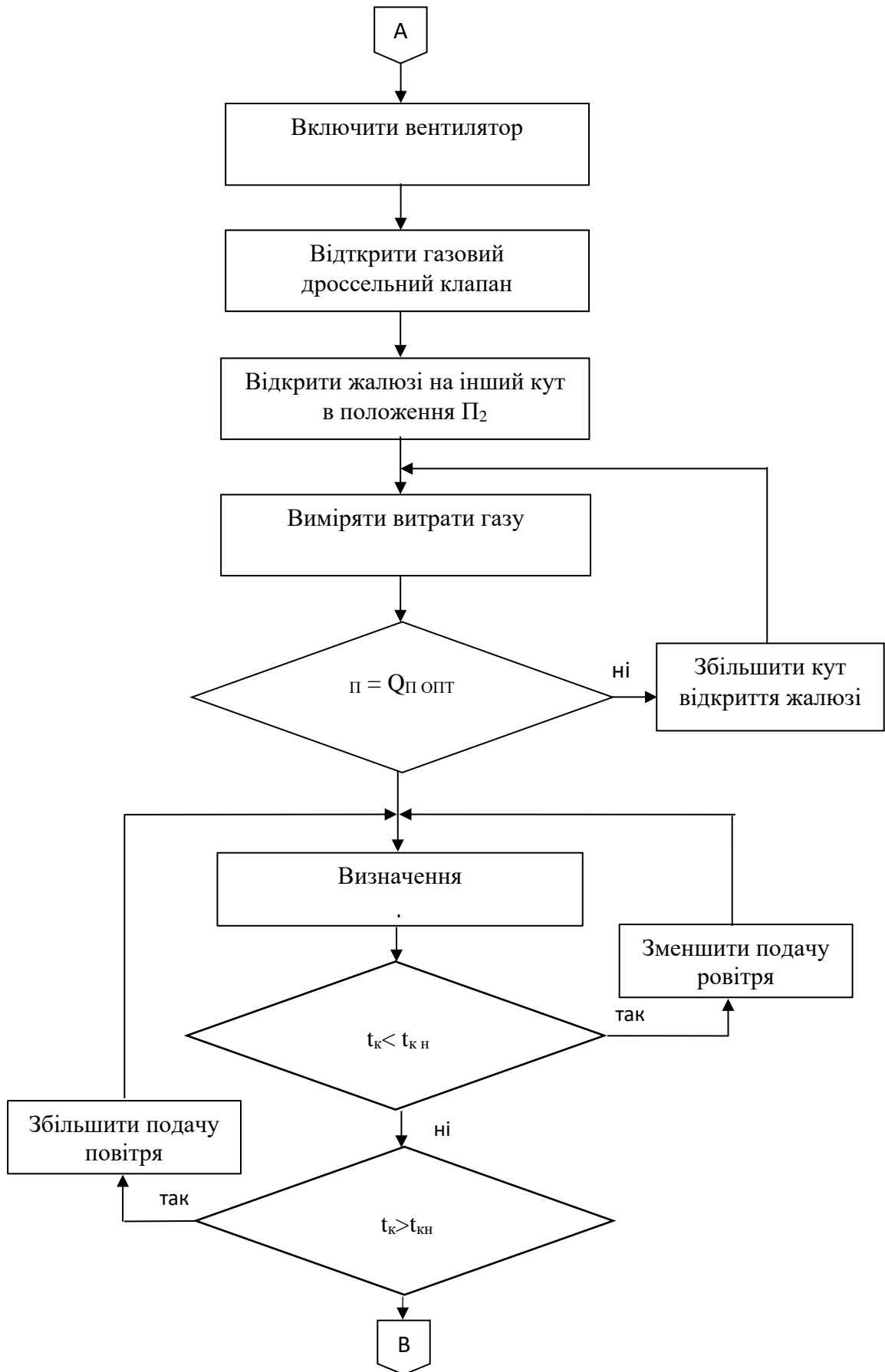


Рисунок 3.9, аркуш 2

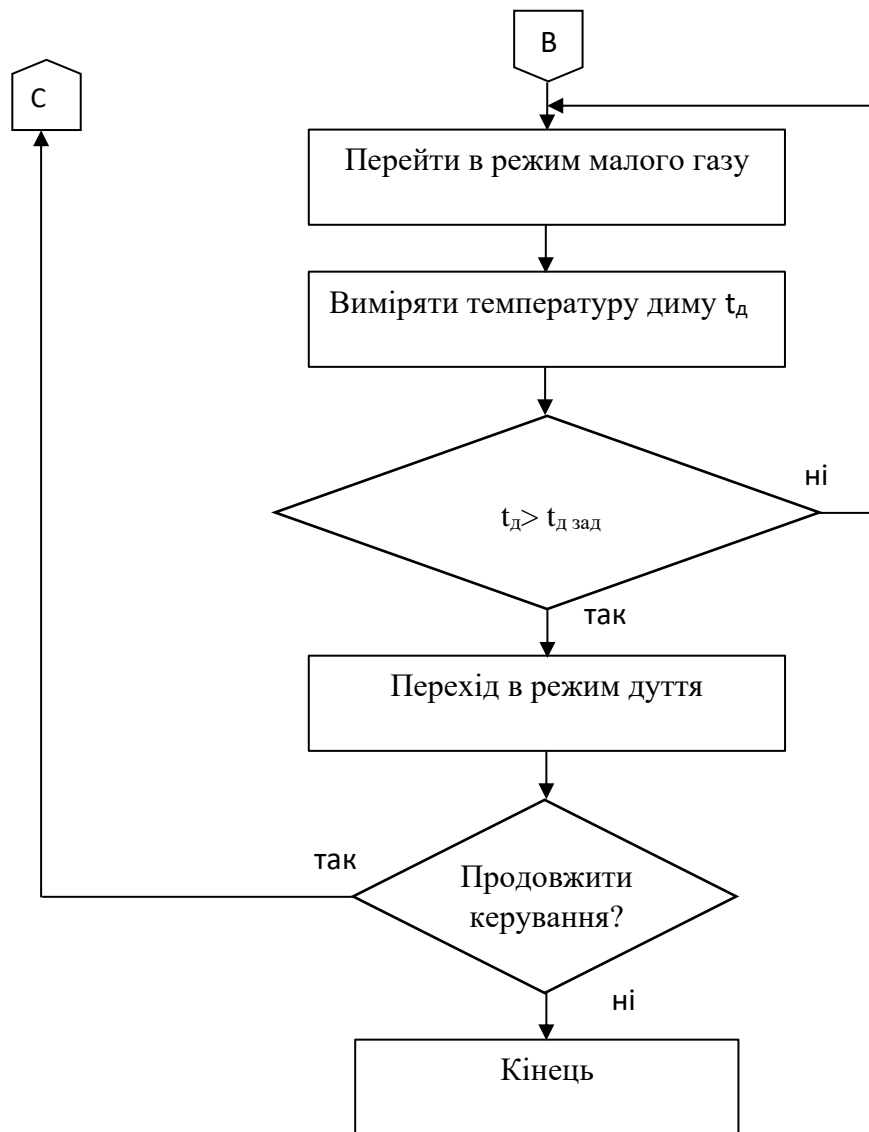


Рисунок 3.9, аркуш 3

3.8 Розробка SCADA процесу гарячого дуття доменної печі

Технологічний процес управляється оператором за допомогою SCADA-системи, створеної на базі програмного забезпечення InTouch від компанії Wonderware. Для забезпечення безперебійного обміну даними між програмованим контролером і SCADA використовується OPC Server від MatrikonOPC [21].

У системі реалізовано низку ключових вікон, які полегшують роботу

оператора:

Меню. Робота оператора розпочинається з вікна головного меню. Після введення логіна та пароля оператор отримує доступ до всіх функцій системи (див.рис.3.10).

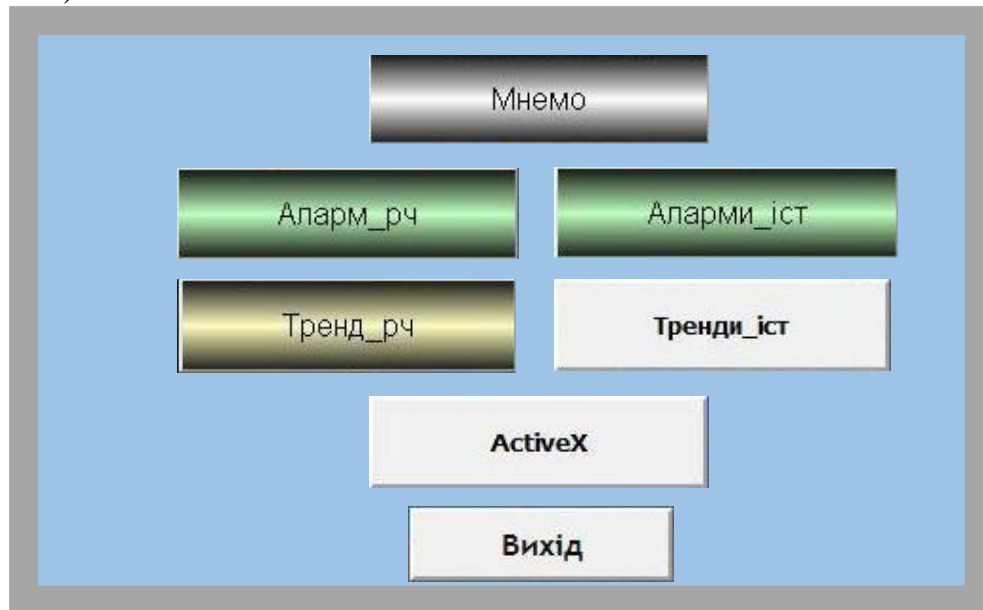


Рисунок 3.10 - Вікно «Меню»

Мнемосхема є графічним відображенням функціональної схеми контрольованого об'єкта — це умовна інформаційна модель виробничого процесу. Вона дозволяє оператору легко зрозуміти структуру системи, взаємозв'язки між параметрами та призначення елементів керування.

Завдяки мнемосхемі оператор швидко орієнтується у поточному стані системи, отримує інформацію про процеси та їх структуру. Крім того, мнемосхема сигналізує про аварійні ситуації, що є критично важливим для забезпечення безпеки на виробництві.

У випадку з повітропідігрівачем мнемосхема зображує його у спрощеному, інтуїтивно зрозумілому вигляді. На схемі відображені місця вимірювання параметрів технологічного процесу (ТП) та їх поточні значення. Для підвищення наочності деякі елементи анімовані. Оператор може не лише відслідковувати показники, але й безпосередньо керувати об'єктом через цю схему (див.рис.3.11).

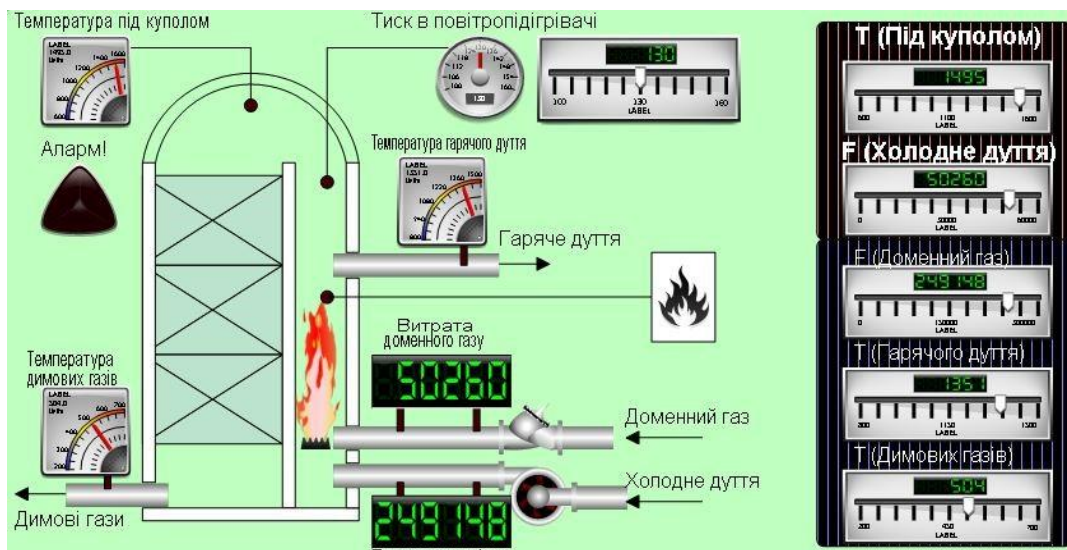


Рисунок 3.11 - Вікно «Мнемосхема»

Тренди реального часу показують зміну значень певних характеристик об'єкта управління у часі. У вікні трендів реального часу фіксуються всі зміни встановлених параметрів, наприклад, температури під куполом. Ця інформація дозволяє оператору швидко реагувати на зміни та коригувати процес у реальному часі. (див.рис.3.12).

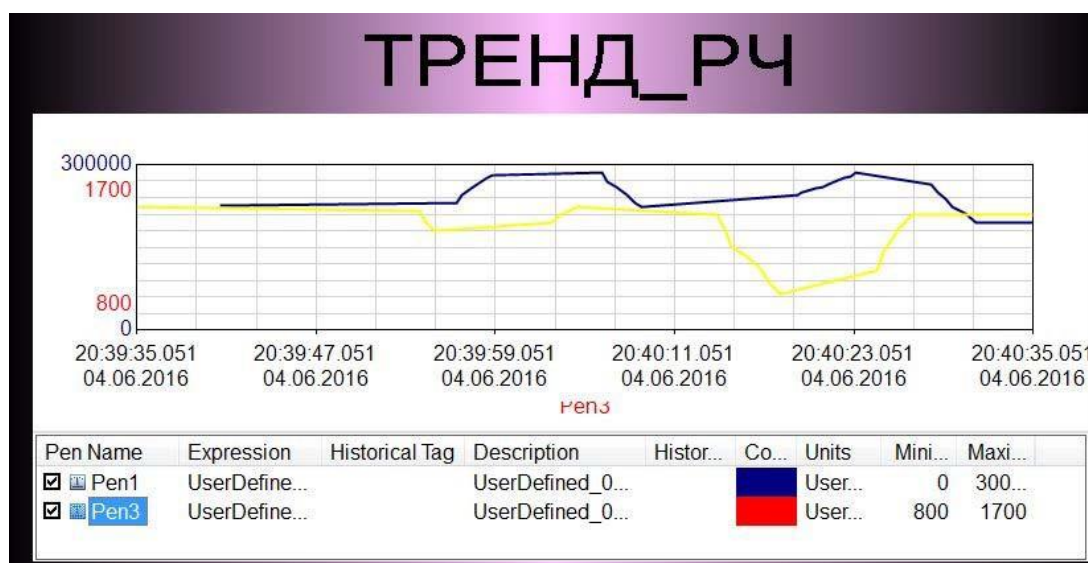


Рисунок 3.12 - Вікно «Тренди реального часу»

Історичні тренди дозволяють аналізувати зміну параметрів системи за тривалий період. Дані зберігаються у внутрішній базі даних InTouch. Історичні тренди не оновлюються автоматично. Для їх перегляду необхідно вручну виконати оновлення (натисканням кнопки «Оновити»).

Завдяки цій функції оператор може переглядати, як змінювалися параметри в різні моменти часу, що допомагає виявляти закономірності та оцінювати ефективність процесу.

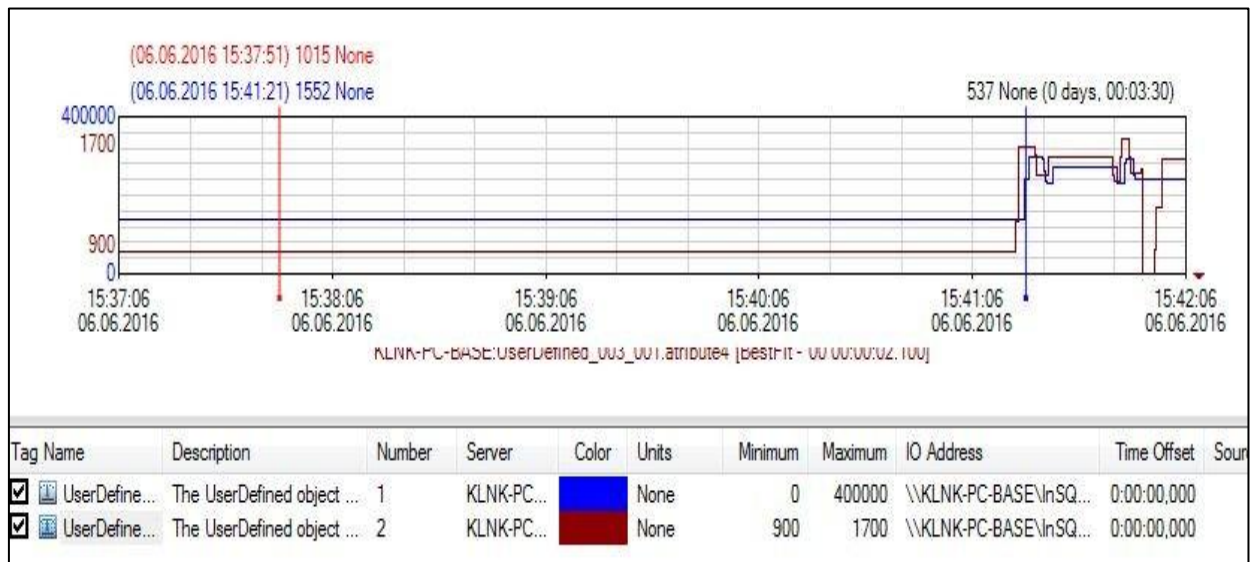


Рисунок 3.13 - Вікно «Історичні тренди»

Аларми реального часу інформують оператора про поточні відхилення або потенційно небезпечні стани процесу. Їхня основна мета — попередити про можливі проблеми, щоб оператор міг вчасно відреагувати. Підтвердження аларму зазвичай є обов'язковою дією оператора, що забезпечує фіксацію отриманого повідомлення. (див.рис.3.14).

Аларми реального часу

TimeLCT	State	Type	Class	Priority	Name	Group	Node
04.06.2016 2...	UNACK	Hi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I
04.06.2016 2...	UNACK	HiHi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I
04.06.2016 2...	UNACK	Hi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I
04.06.2016 2...	UNACK	HiHi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I
04.06.2016 2...	UNACK_...	Hi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I
04.06.2016 2...	UNACK_...	LoLo	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I
04.06.2016 2...	UNACK_...	Lo	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I
04.06.2016 1...	UNACK_...	LoLo	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I
04.06.2016 1...	UNACK_...	Lo	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I
04.06.2016 1...	UNACK	Hi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I
04.06.2016 1...	UNACK	HiHi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	klnk-PC-I

Displaying 1 to 12 of 16 alarms | Default | 100% Complete | Helsinki, Kyiv, Riga, Sofia, Tallinn, Vilnius

Рисунок 3.14 - Вікно «Аларми реального часу»

Історичні аларми — це записи про минулі тривожні події, які вже неактуальні. Ці дані зберігаються в базі алармів і дають змогу аналізувати причини та обставини виникнення аварійних ситуацій. Параметри для алармів встановлюються близькими до критичних значень, щоб забезпечити максимальну безпеку. Оператор має можливість підтвердити (квітувати) окремі або всі аларми, забезпечуючи документування своєї реакції на подію. (див.рис.3.15).

АЛАРМИ ІСТ

TimeLCT	State	Type	Class	Priority	Name	Group	Node
06.06.2016 1...	UNACK_...	HiHi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	Hi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	HiHi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	Hi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	Hi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	HiHi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	HiHi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	Hi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	HiHi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	Hi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	HiHi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI
06.06.2016 1...	UNACK_...	Hi	VALUE	500	UserDefin...	Area_001...	KLNI

Displaying 1 to 100 of 5364 alarms | (local) - WWALLDB | Connected | Helsinki, Kyiv, Riga, Sofia, Tallinn, Vilnius | Query

Рисунок 3.15 - Вікно «Історичні Аларми»

Браузер, інструкції та відео. Це допоміжне вікно. У ньому зберігаються інструкції, навчальні відео та інші корисні матеріали, які можуть знадобитися під час роботи.

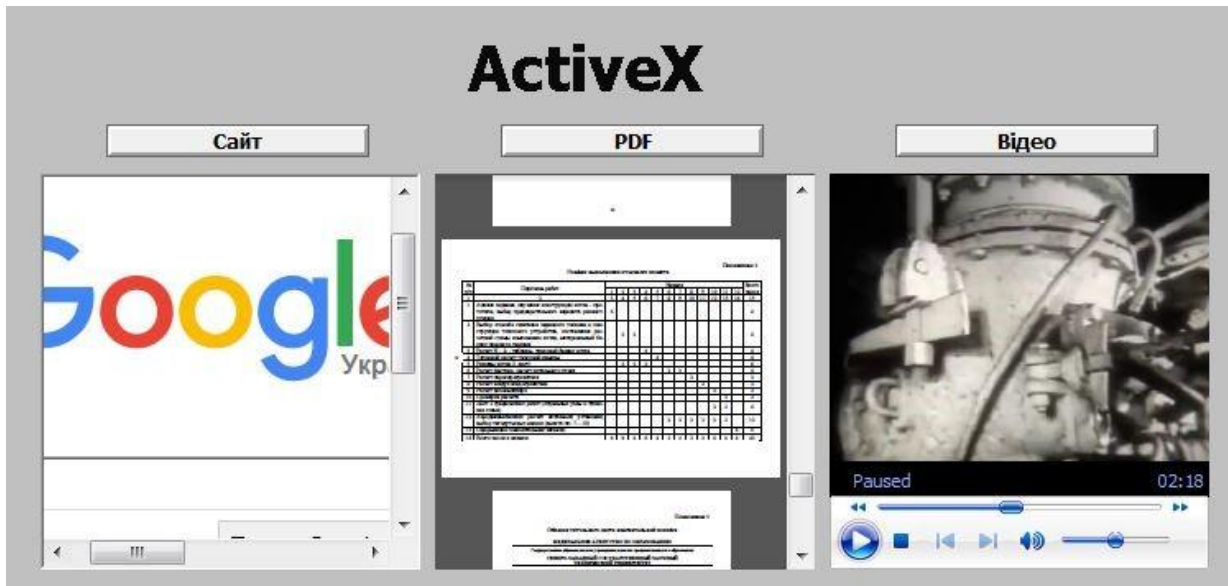


Рисунок 3.16 - Вікно «Браузер, інструкції та відео»

SCADA-система, завдяки цим функціям, забезпечує гнучкий контроль, оперативну реакцію на зміни в процесі та можливість аналізу історичних даних для покращення ефективності роботи.

Висновки до розділу

Управління технологічним процесом запускається оператором через SCADA-систему, яка забезпечує моніторинг і керування на всіх етапах виробництва. В якості програмного забезпечення для SCADA-системи було вибрано InTouch.

Використання SCADA-системи дозволяє значно підвищити рівень автоматизації при розробці, управлінні, зборі, зберіганні та відображенні інформації.

Для ефективної роботи системи автоматичного регулювання необхідно встановити контрольно-вимірювальні прилади, які забезпечують моніторинг ключових технологічних параметрів.

Система автоматичного регулювання працює в режимі стабілізації, контролюючи три основні параметри: витрату доменного газу, температуру димових газів та температуру купола повітрянагрівача.

Розроблено схеми автоматизації локальних систем контролю та керування: температури гарячого дуття, співвідношення "природний газ - холодне дуття", витрати природного газу за фурмами, вологості гарячого дуття, тиску змішаного газу.

Розроблено алгоритм роботи САР температури повітря.

Розроблена SCADA процесу гарячого дуття доменної печі. Технологічний процес управляється оператором за допомогою SCADA-системи, створеної на базі програмного забезпечення InTouch.

SCADA забезпечує гнучкий контроль, оперативну реакцію на зміни в процесі та можливість аналізу історичних даних для покращення ефективності роботи.

ВИСНОВКИ

Основним завданням при управлінні тепловим режимом в період нагріву є забезпечення максимально можливої акумуляції тепла насадкою.

Виконано аналіз існуючих технічних рішень автоматизації технологічного процесу нагріву дуття в повітрянагрівачі доменної печі.

Сформовані основні задачі та принципи побудови системи автоматичного керування тепловими режимами повітрянагрівачів.

Для підвищення ефективності та зниження енергоспоживання пропонується використовувати систему автоматичного управління з частотно-регульованим електроприводом вентилятора.

Сучасний доменний процес належить до класу нелінійних і виключно складних систем, які мають розподілену структуру як у просторі, так і в часі. Для вирішення завдань поточного аналізу, прогнозування та управління тепловим станом доменної печі використовується натурно-модельний підхід.

Теплообмін між шихтовими матеріалами та газами в доменній печі відбувається послідовно у двох зонах — верхній і нижній.

Визначено параметри і керуючі впливи математичної моделі нагріву повітрянагрівачів та теплого стану доменної печі. Керуючими параметрами для регулювання теплового стану доменного процесу є витрата коксу, рівень вологості дуття та кількість вапняку в шихті.

Виконано розрахунок регулятора витрат газу та моделювання системи керування нагрівом повітря. Стабілізація температури купола повітрянагрівача забезпечується шляхом регулювання об'єму повітря, що подається до повітрянагрівача.

Виконано синтез автоматичної системи керування на базі нейрорегулятора та синтез автоматичної системи керування на основі нейро-нечіткого регулятора які забезпечують найкращі результати регулювання.

Управління технологічним процесом запускається оператором через SCADA-систему, яка забезпечує моніторинг і керування на всіх етапах виробництва. В якості програмного забезпечення для SCADA-системи було вибрано InTouch.

Для ефективної роботи системи автоматичного регулювання необхідно встановити контрольно-вимірювальні прилади, які забезпечують моніторинг ключових технологічних параметрів.

Система автоматичного регулювання працює в режимі стабілізації, контролюючи три основні параметри: витрату доменного газу, температуру димових газів та температуру купола повітрянагрівача.

Розроблено схеми автоматизації локальних систем контролю та керування: температури гарячого дуття, співвідношення "природний газ - холодне дуття", витрати природного газу за фурмами, вологості гарячого дуття, тиску змішаного газу.

Розроблена SCADA процесу гарячого дуття доменної печі. Технологічний процес управляється оператором за допомогою SCADA-системи, створеної на базі програмного забезпечення InTouch.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Якушев А.М. Основи проектування обладнання сталеплавильних та доменних цехів. К, 1992. 422с.
2. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посіб. К.: Видавництво Ліра-К, 2017. 344 с.
3. Синєглазов В.М., Сергєєв І.Ю. Автоматизація технологічних процесів. К.: НАУ, 2015. 444 с.
4. Машины та агрегати металургійних заводів: 2-ге видання, перероб. та дод. / Ціліков О.М. та ін М., 1987. 440 с.
5. Кравцов А.Ф., Зайцева Є.В., Чуйко Ю.М. Розрахунок автоматичних систем контролю та регулювання металургійних процесів. Київ, Донецьк: Вища школа, 1981. 320 с.
6. Глінков Г.М., Маковський В.А. АСУ ТП в агломераційних та сталеплавильних цехах. К, 1981. 358 с.
7. Полтавець В.В. Доменне виробництво. М, 1981.
8. Щербаков В.П. Основи доменного виробництва. М, 1969.
9. Електричне обладнання доменних цехів / за редакцією С.Г. Агроніки. М. 1966. с.137-158.
10. Аносов В.Г. Теорія доменної плавки. Запоріжжя: Видав. ЗДІА, 2008. 158 с.
11. Большаков В.І. Технологія високоефективної енергозберігаючої доменної плавки. К.: Наукова думка, 2007. 412 с.
12. Товаровський І.Г., Севернюк В.В., Лялюк В.П. Аналіз показників і процесів доменної плавки. Дніпропетровськ: Пороги, 2000. 420 с.
13. Большаков В.І. Сучасні тенденції розвитку доменного виробництва. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. № 2. 2006. С. 6-12.
14. Якість технологічних продуктів та процесів їх отримання. Малишев А.П., Оспанов Є.А., Нурмагамбекотова А.М., Кажикенова С.Ш. *Промисловість Казахстану*. 2008. № 4. С. 52-56.

15. Кацман В.Х. Удосконалення теорії та технології виробництва доменного чавуну з метою ефективного управління його складом та властивостями: дис. докт. техн. наук. Дніпропетровськ, 1986. 492 с.

16. Автоматизовані системи управління технологічними процесами доменного виробництва. URL: www.ma.dp.ua/products/.

17. «Програмовані контролери S7-300». Альбом-каталог. Siemens, 2014. 380 с.

18. Прилади для вимірювання і регулювання тиску. Спецавтоматика Україна. URL: <https://ukrspecavtomat.com.ua/uk/products/datchik-davleniya-safir-da-di-dv-div/>

19. Управління нагріванням насадки доменного повітрянагрівача з використанням програми розрахунку горіння палива. Койфман О.О. та ін. *Наука та виробництво*. 2020. №23. С. 337–345.

20. SIMATIC S7-1200 - будьте гнучкими завдяки комунікаційним можливостям. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-1200.html>

21. SCADA-системи. Практикум. Частина 2 : навч. посіб. уклад.: В.Г. Здоренко, С.М. Лісовець. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 52 с.

22. Бочков В.М., Сілін Р.І. Обладнання автоматизованого виробництва. Львів: Львівська політехніка, 2015. 404 с.

23. Пупена О.М. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI : навч. посіб. Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 594 с.

24. Маринич І.А., Тронь В.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2022. 50 с.

25. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

26. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

27. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація).

28. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація).