МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Оптимальне керування процесом пароперегрівання в трубчастій печі

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1743
спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)
Харченко Данило Михайлович
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доцент Овчинникова І.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент заст. _____
_____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2024

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«____» _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ
Харченко Данило Махайлович
(прізвище, ім'я, по батьков)

Тема роботи (проекту) Оптимальне керування процесом пароперегрівання в трубчастій печі

керівник роботи Овчинникова Ірина Анатоліївна , канд.техн.наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «___» _____ 20___ року № _____
1. Строк подання студентом роботи _____
2. Вихідні дані до роботи: технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд кунструкцій і принципу роботи трубчасних печей. 2. Розробка математичної моделі. 3. Синтез САК і імітаційне моделювання. 4. Розробка програми регулятора на мові програмування FBD. 5. Розробка SCADA-системи. 6. Визначення і опис небезпечних і шкідливих факторів на виробництві. 7. Розрахунок техніко-економічних показників проєкту

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Овчинникова І. А.	виконано	виконано
2	Овчинникова І. А.	виконано	виконано
3	Овчинникова І. А.	виконано	виконано
4	Овчинникова І. А.	виконано	виконано
5	Овчинникова І. А.	виконано	виконано
6	Овчинникова І. А.	виконано	виконано
7	Овчинникова І. А.	виконано	виконано

1. Дата видачі завдання 27.05. 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд сучасного стану теплової обробки сталі в термічних печах	17.06 – 14.07 2024 р	виконано
2	Розробка математичної моделі	15.07 – 08.09. 2024 р	виконано
3	Синтез САК і імітаційне моделювання	09.09-13.10. 2024 р	виконано
4	Розробка програми регулятора на мові програмування FBD	14.10-03.11. 2024 р	виконано
5	Розробка SCADA-системи	04.11-24.11.2024 р.	виконано
6	Визначення і опис небезпечних і шкідливих факторів на виробництві	17.06 – 14.07 2024 р	виконано
7	Розрахунок техніко-економічних показників проєкту	15.07 – 08.09. 2024 р	виконано
8	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю	25.11-05.12. 2024 р	виконано
9	Підготовка доповіді	01.12-09.12. 2024 р	виконано

Студент _____ Данило ХАРЧЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Ірина ОВЧИННИКОВА
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Ірина ОВЧИННИКОВА
(підпис) (ініціали та прізвище)

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВКР – випускна кваліфікаційна робота

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

КПД – коефіцієнт корисної дії

ПТ – пальник топковий

РГ – режим горіння

ЧПС – часткового попереднього змішування

САК – система автоматизованого керування

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ 1
ВСТУП 7
1 ОГЛЯД ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ В СУЧАСНОГО СТАНУ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ 10
1.1 Характеристика і принцип роботи трубчатої печі 10
1.2 Пароперегрівач трубчастої печі 17
1.3 Дослідження систем автоматизації трубчатих печей 18
2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ 28
3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ І РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ 34
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РЕГУЛЯТОРА НА МОВІ ПРОГРАМУВАННЯ FBD 39
5 РОЗРОБКА SCADA-СИСТЕМИ 46
6 ОХОРОНА ПРАЦІ 52
6.1. Загальні заходи з охорони праці при термічній обробці 52
6.2 Охорона праці оператора АСУ ТП 54
6.3 Пожежна безпека 58
7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ 60
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації 60
7.2 Розрахунок техніко – економічних показників 62
7.2.1 Визначення капітальних вкладень 62
7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат 63
7.2.3 Річні витрати на ЗП 63
7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань 64
7.2.5 Річні витрати на ремонт 65
7.2.6 Витрати електроенергії на живлення 65
7.2.7 Інші витрати 65
7.2.8 Валова річна економія витрат 66

7.2.9 Фактична економія витрат 67
7.2.10 Річний економічний ефект 68
ВИСНОВКИ 69
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА 71

ВСТУП

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності технологічних процесів у сучасних промислових установках, зокрема в енергетиці, нафтопереробній та хімічній галузях. Трубчасті печі широко використовуються для нагрівання різних продуктів, що є критично важливим етапом у виробничих процесах. З огляду на високу енергетичну інтенсивність таких систем, оптимізація керування процесами пароперегрівання дозволяє значно знизити споживання енергії, скоротити витрати палива та підвищити загальну енергоефективність обладнання. Впровадження автоматизованих систем керування, які забезпечують стабільний і ефективний процес, також дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з аваріями та порушенням технологічного процесу. Тому розробка та вдосконалення методів оптимального керування пароперегріванням в трубчастих печах є важливим кроком до забезпечення економічної та екологічної стабільності промислових виробництв.

МЕТА, ОБ’ЄКТ, ПРЕДМЕТ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження: розробити автоматизовану систему оптимального керування процесом пароперегрівання в трубчастій печі.

Об’єкт дослідження: процес пароперегрівання в трубчастій печі.

Предмет дослідження: трубчаста піч.

Відповідно до поставленої мети дослідження в роботі сформульовані наступні задачі:

– дослідити технологічних процес роботи трубчастих печей;

– виконати аналіз сучасного стану автоматизації трубчастих печей;

– розробити математичну модель процесу пароперегрівання в трубчастій печі;

– розробити імітаційну модель і отримати оптимальні параметри регулювання САК;

– розробити SCADA-систему керування процесу пароперегрівання в трубчастій печі;

– розглянути організацію охорони праці, провести аналіз умов праці та визначити заходи зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів;

– виконати розрахунок економічного обґрунтування проекту та визначити економічну ефективність впровадженої автоматизованої системи управління технологічним процесом.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі використано: метод фізичного моделювання під час розробки конструкції пароперегрівача; методи математичного моделювання для дослідження трубчастих печей; аналітичні методи для оцінки енергетичної ефективності запропонованих рішень; методи комп’ютерного моделювання для візуалізації процесів тепломасообміну; статистичні методи для обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень; графоаналітичні методи для визначення оптимальних режимів роботи печей; порівняльний аналіз сучасних конструкцій та принципів роботи термічних печей із метою вибору найефективніших рішень. Такий комплексний підхід дозволив забезпечити всебічне дослідження об’єкта і досягти поставлених цілей.

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Розроблена структурна схему трубчатої печі із настильним факелом.

2. В пакеті Matlab побудовані графіки кривих розгону об’єкта управління за різними каналами «витрата газу – температура пари» і «витрата газу – концентрація кисню». Визначення вхідні і вихідні

аргументи автоматизованої системи управління, яку було створено на основі мікропроцесорного комплексу.

3. Побудовано структурна схема імітаційного моделювання САК, обґрунтовано вибір регулятора і визначити його оптимальні налаштування для перехідного процесу регулювання, побудовані FBD діаграми з використанням програмного забезпечення Editor of FBD-programs ALFA

4. Створена SCADA-система яка реалізує автоматизоване робоче місце оператора технологічного процесу управління нагріву у трубчастій печі з урахуванням неоднорідності палива

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Запропонована для подальшого впровадження на підприємстві технологія для зменшення перепаду температури в процесі пароперегрівання в трубчастий печі, що дозволить підвищити якість продукції, скоротити витрати палива та знизити зношення обладнання.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК

Теоретичні дослідження, їх опрацювання, а також узагальнення отриманих результатів виконані здобувачем самостійно. У роботі автор брав участь у постановці завдання дослідження, отриманні та обговоренні експериментальних і числових результатів, узагальненні дослідних даних. Значна увага приділялася аналізу сучасних методів теплової обробки, порівнянню їх із запропонованими підходами та розробці рекомендацій для впровадження на промислових підприємствах.

СТРУКТУРА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Магістерська робота складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку літератури із 49 найменування і вміщує 66 сторінок основного тексту, 3 таблиці, 21 рисунок, усього 76 сторінок.

1 ОГЛЯД ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ В СУЧАСНОГО СТАНУ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Характеристика і принцип роботи трубчатої печі

Трубчаста піч є апаратом, призначеним для передачі продукту, що нагрівається, тепла, що виділяється під час спалювання палива в топковій камері печі. Трубчасті печі широко поширені в нафто газопереробній, нафтохімічні, коксохімічній і інших галузях промисловості, є складовою частиною багатьох установок і застосовуються в різноманітних технологічних процесах (перегонка нафти, мазуту, піроліз, каталітичний крекінг, риформінг, гідроочищення, очищення масел, тощо).

Існують різні конструкції трубчастих печей, що відрізняються способом передачі тепла, кількістю і формою паливних камер, числом секцій (камер) в зоні радіації, відносним розташуванням осей факелу і труб, способом спалювання палива, типом опромінення труб, числом потоків продукту, що нагрівається, розташуванням конвекційної камери відносно радіантних і конвекційних труб та їх довжиною. Основними характеристиками трубчатих печей є продуктивність печі, корисне теплове навантаження, теплове навантаження поверхні нагріву і коефіцієнт корисної дії печі.

У промисловості застосовують трубчаті печі з поверхнею нагріву радіантних труб від 15 до 2000 м^2. Теплове навантаження трубчатих печей різних конструкцій змінюється від 0,12 до 240 МВт, а продуктивність по середовищу, що нагрівається, досягає 8…105 кг/год. Температура середовища, що нагрівається, на вході і виході з печі залежно від технологічного процесу змінюється в діапазоні від 70 до 900 °С, а тиск – від 0,1 до 30 МПа. Для трубчатих печей ККД коливається в межах від 0,65 до 0,85.

Трубчаста піч має камери радіації та конвекції. У камері радіації

(топковій камері), де спалюється паливо, розміщена радіантна поверхня (екран), що поглинає променисте тепло переважно за рахунок радіації. У камері конвекції розташовані конвекційні труби, які сприймають тепло головним чином при контакті димових газів із поверхнею нагріву шляхом конвекції.

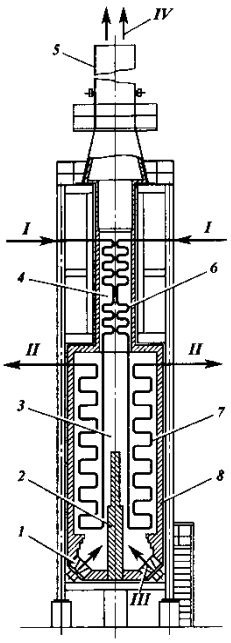
Нагріваємий продукт у печі послідовно проходить через конвекційні та радіантні труби, поглинаючи тепло. Зазвичай радіантна поверхня сприймає більшу частину тепла, що виділяється в печі під час спалювання палива.

Променисте тепло ефективно передається при охолодженні димових газів до 1000...1200 К. Зниження температури димових газів до нижчих значень часто буває недоцільним, оскільки при цьому радіантна поверхня працює з пониженою тепловою напруженістю поверхні нагріву, і потрібно значно збільшити площу радіантних труб. Ефективність теплопередачі конвекцією меншою мірою залежить від температури димових газів. Конвекційна поверхня використовує тепло димових газів і може забезпечити їх охолодження до температури, за якої значення коефіцієнта корисної дії апарата буде економічно виправданим.

Якщо наявність конвекційної поверхні для нагріву сировини не є обов’язковим або розміри цієї поверхні можуть бути значно зменшені, то тепло димових газів може бути використане для інших цілей, наприклад, для підігріву повітря чи виробництва водяної пари. При невеликій продуктивності іноді застосовують печі без конвекційної поверхні, які є більш простими в конструктивному відношенні, але мають низький коефіцієнт корисної дії.

Розглянемо механізм процесу передачі тепла в печі, що складається з двох камер із настильним полум’ям. Характерною особливістю цієї печі є нахильне розташування форсунок у нижній частині печі, яке забезпечує контакт факела з поверхнею стіни, розміщеної в центрі камери радіації

На рисунку 1.1 наведена схема роботи трубчастої печі з об'ємно-настильним спалюванням палива.



1 – форсунка; 2 – настильна стінка; 3 – радіаційна камера (топкова камера); 4 – камера конвекції; 5 – димова труба; 6 – змійовик конвекційних труб; 7 – змійовик радіант них труб; 8 – футерування

Потоки: I – вхід сировини; II – вихід сировини; III – паливо та повітря; IV – димові гази

Рисунок 1. Схема роботи трубчастої печі з об'ємно-настильним спалюванням палива

Трубчасті печі, як правило, працюють на газоподібному паливі, причому гази повинні мати постійний вуглеводневий склад, що є серйозним недоліком печей.

У печах передбачена можливість роботи на резервному рідкому і газоконденсатному (газ, що містить конденсат) паливі. Для цього в черені радіаційної камери уздовж випромінюючих стінок встановлені резервні газомазутні пальники. Факели цих пальників розташовуються на поверхні панельних пальників і утворюють суцільне дзеркало випромінювання. При цьому первинне повітря подається до пальників в черені через

трубопроводи з шиберами, а вторинний – по висоті настилу факела через змішувачі відключених панельних пальників. Печі безполуменевого горіння компактні та малогабаритні.

Трубчасті печі залежно від теплопродуктивності, температури і перепаду тиску на вході і виході середовища, що нагрівається, виду палива, фізико-хімічних властивостей середовища, що нагрівається і рівномірності нагріву, а також від інших особливостей технологічного процесу можуть відрізнятися як по конструкції самої печі, так і по конструкції її трубного змійовика.

Трубчасті печі різних типорозмірів, але з рівними площами поверхні нагріву радіантних труб, можуть відрізнятися наступними ознаками:

1) формою – ширококамерні, вузькокамері, циліндричні, кільцеві, тощо;

2) відносним розташуванням осей факелу та труб – паралельне, перпендикулярне;

3) розташуванням труб радіації і конвекції – вертикальне, горизонтальне, гвинтове, тощо;

4) розташуванням конвекційної камери відносно радіантної – верхнє, нижнє, бічне, середнє;

5) способом спалювання палива – безполуменеве з щілинними або тунельними пальниками або з резервним рідким паливом, з вільним чи настильний полум'ям, з диференціальним підведенням повітря або газу по висоті факелу;

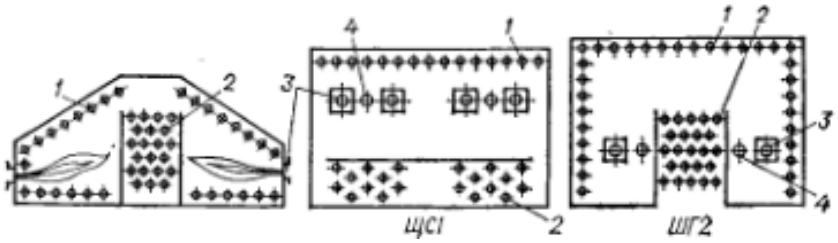
6) числом секцій або камер в зоні радіації;

7) довжиною радіантних і конвекційних труб;

8) видом обмурівки – підвісний цегла, легка цегла, легкий блоковий бетон, торкретбетон, волокнисті матеріали або блоки;

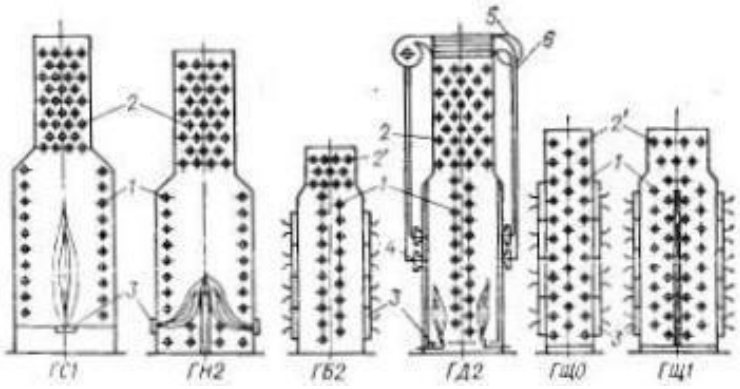
4) типом пальників, що застосовуються.

Конструктивні схеми основних трубчастих печей приведені на рисунках 1.2, 1.3, 1.4.



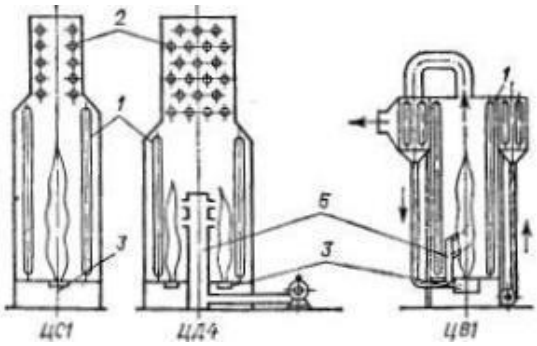
1 – радіантний змійовик; 2 – конвективний змійовик з гладкими трубами; 3 – пальники; 4 – пристрій для додаткової подачі газу у факел.

Рисунок 1.2 – Ширококамерні трубчаті печі



1 – радіантний змійовик; 2 та 2’ – конвективний змійовик з гладкими або оребреними трубами; 3 – пальники; 4 – пристрій для додаткової подачі газу у факел; 5 – вентилятор; 6 – підігрівач повітря

Рисунок 1.3 – Вузькокамерні трубчаті печі з верхнім відводом димових газів та горизонтальними трубами



1 – радіантний змійовик; 2 – конвективний змійовик; 3 – пальники; 4 – пристрій для додаткової подачі газу у факел; 5 – пристрій для додаткової подачі повітря у факел

Рисунок 1.4 – Циліндричні трубчаті печі

У позначеннях печей прийняті такі умовні позначення: перша літера – конструктивне виконання:

Г – трубчасті печі з верхнім відводом димових газів і горизонтальними радіантними трубами;

В – трубчасті печі з верхнім відводом димових газів і вертикальними радіантними трубами;

Ц – циліндричні трубчасті печі з верхньою камерою конвекції;

К – циліндричні трубчасті печі з кільцевою камерою конвекції;

С – секційні трубчасті печі.

Друга літера — спосіб спалювання палива:

С – вільний факел;

Н – настильний факел;

Д – настильний факел із диференційованим підведенням повітря за висотою факела.

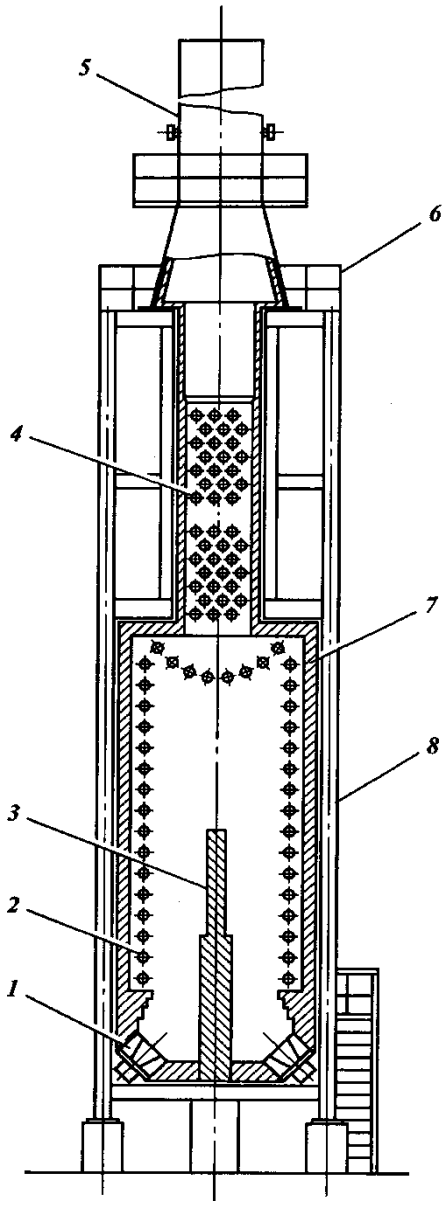
Цифра, що стоїть після літерного позначення, означає кількість радіантних камер або секцій. За відсутності цифри піч є однокамерною або односекційною.

В даній роботі розглянута трубчаста піч із настильним факелом типу ГН.

Печі типу ГН (рис. 1.5) – коробчасті з верхнім відводом димових газів, горизонтальним настінним або центральним трубчастим екраном та об'ємно-настильним спалюванням комбінованого палива (варіант I) або настильним спалюванням газового палива на фронтальних стінах (варіант II).

При виконанні печі за варіантом I пальники розташовані у два ряди на фронтальних стінах під кутом 45° (рисунок 3, а). Уздовж осі печі розташована настильна стіна, на яку спрямовані палаючі факели. Піч ГН2 має дві камери радіації та використовується для процесів, які потребують «м’якого» режиму нагрівання (установки уповільненого коксування, крекінг-процеси).

За варіантом II пальники розташовані ярусами на фронтальних стінах, а дворядний горизонтальний екран – уздовж осі печі. Тепло до екранів передається від фронтальних стін, на які настилаються факели віялових пальників. Цей тип печі призначений для реконструкції існуючих печей безполуменевого горіння, а також використовується у процесах середньої продуктивності, що забезпечуються газовим паливом, у тому числі з високим вмістом водню.



1 – пальник; 2 – змійовик радіантних труб; 3 – настильна стінка; 4 – змійовик конвекційних труб; 5 – димова труба; 6 – сходова площадка; 7 – футеровка; 8 – каркас

Рисунок 1.5 – Трубчаста піч із настильним факелом типу ГН

1.2 Пароперегрівач трубчастої печі

Пароперегрівач трубчастої печі – це теплообмінний апарат, що призначений для нагріву водяної пари до температури, яка перевищує температуру кипіння при заданому тиску. Він є важливою частиною в теплоенергетичних системах, зокрема в процесах енергетичного використання палива, таких як котли та трубчасті печі. Зазвичай пароперегрівачі застосовуються в теплових електростанціях, нафтових та хімічних установках, а також в інших промислових процесах, де необхідно використовувати високу температуру пари для технологічних потреб.

Пароперегрівач трубчастої печі складається з ряду труб, через які протікає вода, що повинна бути перетворена в пару, і вона піддається нагріву від гарячих газів, що виділяються під час згоряння палива в печі. Газовий потік проходить через трубки, в яких циркулює вода або пар, передаючи тепло від палаючих газів до робочої речовини (води або пари). Трубки зазвичай мають високоякісне теплоізоляційне покриття для мінімізації втрат тепла.

Ключові елементи пароперегрівача:

1. Трубки – це основні елементи, що обігріваються, через які протікає вода або пар.

2. Корпус – конструкція, що утримує всі елементи пароперегрівача та забезпечує їх герметичність.

3. Теплообмінні поверхні – поверхні, що контактують з гарячими газами для передачі тепла на трубки.

4. Регулятори потоку пари і води – для забезпечення стабільної роботи і необхідного температурного режиму.

Основні функції:

– нагрів пари: пароперегрівач здійснює підвищення температури пари, що важливо для підвищення ефективності енергетичних установок;

– управління температурою: підтримання постійної температури пари, що важливо для стабільної роботи обладнання та оптимізації технологічних процесів;

– енергетична ефективність: зменшення втрат тепла та максимальне використання енергії, що виробляється в процесі згоряння палива.

– нагрівання до високих температур: для забезпечення оптимальної роботи пароперегрівачів на необхідному рівні необхідно ретельно контролювати температурні режими та відстежувати параметри, такі як тиск і витрата пари;

– корозія та забруднення: внаслідок високих температур та хімічних процесів може виникати корозія трубок. Для цього застосовуються спеціальні матеріали та регулярне технічне обслуговування.

1.3 Дослідження систем автоматизації трубчатих печей

Процес управління пароперегрівачем трубчастої печі може бути автоматизований за допомогою SCADA-систем, які забезпечують віддалений моніторинг та контроль за температурними та тисковими параметрами. Це дозволяє підвищити безпеку, ефективність роботи та мінімізувати можливість людських помилок.

Трубчаста піч є складним об’єктом управління, і нормальний режим її роботи може бути досягнутий шляхом стабілізації подачі сировини з впливом, наприклад, на привід сировинного насоса. Однак частіше використовують схему управління, у якій стабілізація температури сировини на виході з печі досягається шляхом зміни подачі паливного газу та повітря в камеру згоряння. Трубчасті печі належать до дорогого технологічного обладнання і на установках підготовки нафти, нафтопереробки та нафтохімії часто мають самостійне значення. Тому проєктувати автоматизовані системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) для трубчастих печей технічно та економічно доцільно.

Мета регулювання трубчастих печей – підтримання постійної температури продукту на виході з печі. Порушенням об'єкта є витрата і температура вихідного продукту, теплотворна здатність палива, кількість і температура повітря, поданого для спалювання палива, втрати тепла в навколишнє середовище та ряд інших факторів. Ці порушення можна компенсувати за допомогою АСР температури продукту на виході з печі, яка керує подачею палива в піч. Однак трубчасті печі мають затримку передачі тепла від димових газів через стінку змеївика до продукту, що проходить по ньому, крім того, перехідний процес по каналу «витрата палива – температура продукту на виході» триває кілька годин. Тому при використанні одноконтурної САР динамічна помилка і час регулювання досягають великих значень.

Разом з тим температура газів над перевальною стінкою досить швидко реагує на зміну режиму роботи печі, обумовлену зміною кількості пального газу, поданого для спалювання. Тому суттєве поліпшення якості регулювання температури продукту на виході з печі може бути досягнуто за допомогою системи каскадного регулювання (рис. 1.6), що складається з регулятора температури продукту на виході з печі (коригуючий регулятор), який впливає на завдання регулятора температури газів над перевальною стінкою (стабілізуючий регулятор), що керує подачею палива в піч.

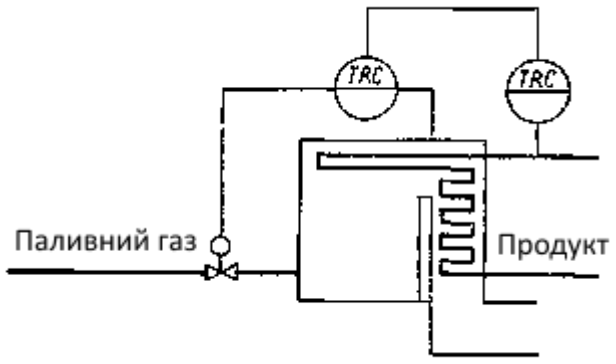


Рисунок 1.6 – Система каскадного регулювання трубчастої печі

Стабілізуючий регулятор починає компенсувати виникаючі порушення, що впливають на процес горіння палива, ще до того, як вони призведуть до зміни температури продукту.

При різкому зміненні навантаження печі за витратою нагріваного продукту та при наявності порушення по витраті палива використовують також описану вище систему каскадного регулювання, стабілізуючий регулятор якої впливає на регулятор співвідношення витрат продукту і палива. У цьому випадку регулятор співвідношення управляє подачею палива в піч (рис. 1.7).

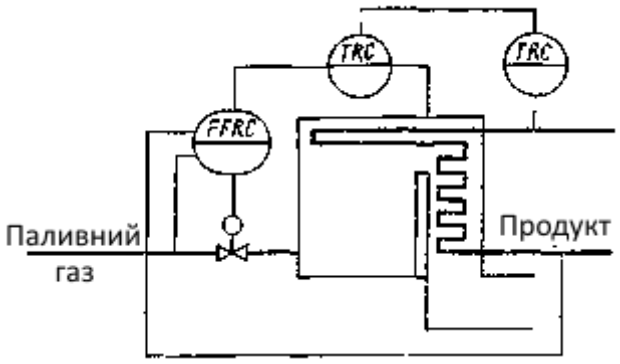


Рисунок 1.7 – Система каскадного регулювання трубчастої печі зі стабілізуючим регулятором

При примусовій подачі первинного повітря (рис.1.8) оптимальний його витрат, при якому температура в топці досягає максимального значення, підтримують за допомогою регулятора співвідношення «паливний газ – повітря» (рис.1.8).

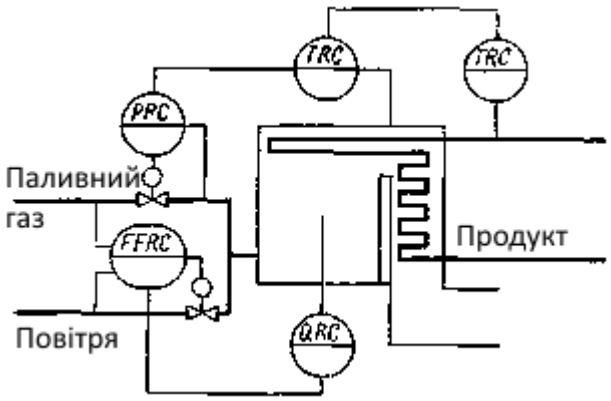


Рисунок 1.8 – Регулятор співвідношення «паливний газ – повітря»

Це забезпечує задане значення коефіцієнта надлишку повітря, що визначає інтенсивність процесу горіння. Якщо при цьому теплота палива суттєво змінюється, то на регулятор співвідношення направляють коригувальний сигнал від регулятора стабілізації вмісту кисню в топочних газах. Це забезпечує повне згоряння палива та високу якість регулювання.

Сильним порушенням режиму роботи трубчатих печей з боку паливного газу є зміна його тиску. Це зміна компенсується введенням в САР температури продукту на виході з печі додаткового регулятора тиску, завдання для якого подають від регулятора температури в топочному просторі. Такі системи забезпечують якісне регулювання витрату паливного газу, оскільки витрата газу в значній мірі залежить від його тиску (рис. 1.8)

Оскільки залежність температури в топці від співвідношення «паливо – повітря» має екстремальний характер, при автоматизації трубчатих печей застосовують системи екстремального регулювання. На рисунку 1.9 екстремальний регулятор шукає максимальне значення температури димових газів над перевальною стінкою, впливаючи на регулятор співвідношення «паливний газ – повітря», який управляє подачею первинного повітря.

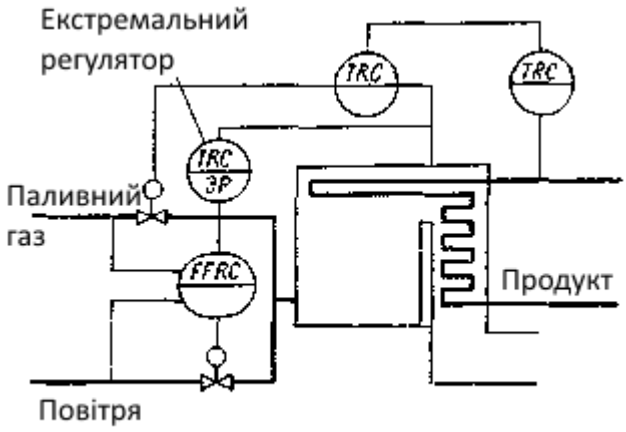


Рисунок 1.9 – Регулятор співвідношення «паливний газ – повітря» з екстремальнім регулятором

При регулюванні співвідношення «паливний газ – повітря» необхідно забезпечити заходи безпеки, оскільки при нестачі повітря в топці може утворитися вибухонебезпечна суміш. Слід передбачити обмеження витрат палива так, щоб цей витрат ніколи не перевищував максимально допустимого значення, що відповідає поточному значенню витрату повітря. При зменшенні витрат повітря відносно певного значення необхідно обов'язково автоматично зменшувати подачу палива в топку.

На рисунку 1.10 представлена технологічна схема трубчатої печі типу ПТБ-10, що використовується для підігріву нафти на промислах.

У блочних автоматизованих печах типу ПТБ-10, які застосовуються на нафтових промислах, підготовлена нафта рівномірно розподіляється по чотирьох паралельно працюючих нагрівачах.

Система автоматизації трубчатої печі ПТБ-10 здійснює регулювання наступних технологічних параметрів:

– температури продукту, що нагрівається, на виході з печі в діапазоні від 0 до 90 °С. Регулятор температури впливає на привід регулюючого органу, встановленого на трубопроводі паливного газу до пальників печі, і змінює витрату палива залежно від температури надходить нафти в піч.

– тиск паливного газу на рівні 0,06 МПа регулюється регулятором тиску, що впливає на подачу палива в живильний трубопровід.

– співвідношення газ – повітря в кожному теплообмінному блоці з коефіцієнтом надлишку повітря від 0,95 до 1 регулюється регулятором витрати повітря до пальників печі.

– тиск запального газу регулюється в діапазоні від 0,04 до 0,1 МПа (на схемі ця технологічна лінія не показана).

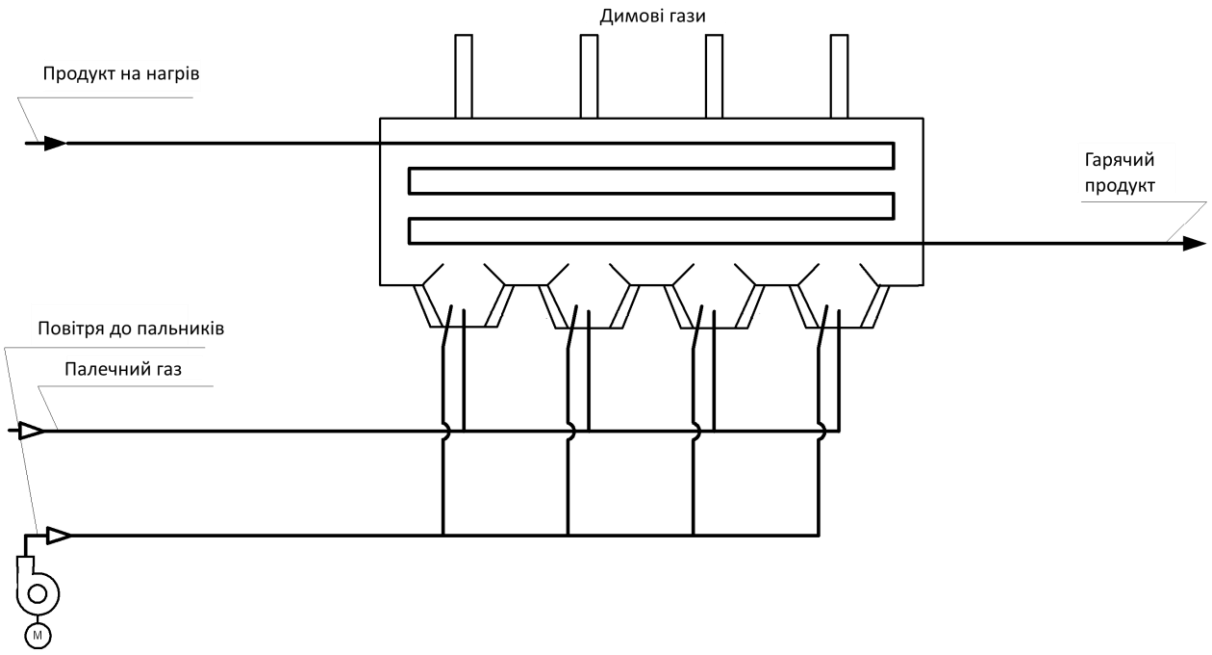


Рисунок 1.10 – Технологічна схема трубчатої печі

Система автоматики трубчатої печі передбачає автоматичний і дистанційний режим розпалу запальних і основних пальників з попереднім продувом камер згоряння нагрівачів повітрям, а також пуск і зупинку двигунів вентиляторів, що подають повітря в камери згоряння нагрівачів. Система управління забезпечує програмний виведення нагрівачів печі на задану навантаження.

Контрольно-вимірювальними приладами системи автоматики здійснюється вимірювання:

– витрати нагріваємого продукту (продуктивність до 500 м³/год);

– витрати паливного газу (споживання паливного газу до 2000 м³/год) і його тиск на кожному з пальників;

– температури нагріваємого продукту на виході з печі (до 100 °С);

– температури димових газів із печі (діапазон температур від 200 °С до 650 °С);

– тиску нагріваємого продукту на вході і виході з печі (до 6,4 МПа).

У процесі роботи підогрівальної печі система управління проводить обчислення та реєстрацію сумарного витрату нагріваємого продукту,

витрати паливного газу на нагрів сировини, коефіцієнта корисної дії печі, а також виконується діагностика стану жарових труб нагрівачів печі.

У разі аварійних ситуацій система автоматизації виконує команду блокування, тобто припиняє подачу палива (паливного газу) шляхом закриття відсічного клапана, встановленого на лінії живлення печі. Блокування здійснюється, якщо:

– витрата продукту, що нагрівається, нижче допустимого значення;

– відхилення тиску паливного газу більше заданих граничних значень;

– тиск продукту, що нагрівається, вище допустимого значення;

– тиск поданого в камери згоряння повітря нижче допустимого значення;

– тиск паливного газу на кожному з пальників вище допустимого значення;

– температура відхідних димових газів вище допустимого значення;

– відбувається погасання полум'я одного або кількох основних пальників.

1.4 Постановка задачі

Оптимальне керування процесом пароперегрівання в трубчастій печі є важливою задачею, яка має значення для підвищення ефективності та надійності роботи печей в різних галузях промисловості, таких як нафтовидобуток, нафтопереробка, хімічна та енергетична промисловість. Пароперегрівання є важливим етапом у процесах, де пар використовується для передачі тепла, генерації енергії або виконання хімічних реакцій. Для досягнення оптимального управління в такому процесі необхідно враховувати кілька факторів, серед яких температурний режим, подача палива, витрати повітря, тиск пари, характеристики теплообміну і збереження енергії.

Обґрунтування задачі дослідження:

1. Ефективність енергетичних процесів: у трубчастих печах відбувається значний обмін теплом між гарячими димовими газами і продуктами, що нагріваються. Оптимізація цього процесу дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії печі, зменшити витрати енергетичних ресурсів і знизити рівень викидів шкідливих речовин. Підвищення ефективності процесу пароперегрівання дозволяє знизити витрати палива та забезпечити стабільну роботу всієї системи.

2. Зниження експлуатаційних витрат: важливим є зниження експлуатаційних витрат, зокрема на енергозабезпечення, обслуговування та ремонт обладнання. Оптимізація процесу пароперегрівання може включати контроль за температурою пари, витратами топливного газу та повітря, а також за ефективністю теплообміну в трубах і камерах печі. Завдяки використанню автоматизованих систем керування можна досягти стабільності роботи та зменшити потребу в постійному моніторингу та ручному регулюванні.

3. Підвищення надійності та безпеки: в процесах пароперегрівання необхідно забезпечити оптимальні умови для уникнення перегріву пари, що може призвести до пошкодження устаткування або аварійних ситуацій. Використання оптимальних алгоритмів керування дозволяє гарантувати, що температури і тиски завжди знаходяться в межах безпечних значень. Це важливо як для забезпечення безпеки роботи, так і для продовження терміну експлуатації обладнання.

4. Інтеграція з автоматизованими системами управління: сучасні системи автоматизації вимагають інтеграції з програмними засобами для аналізу і корекції параметрів у реальному часі. Враховуючи складність процесів пароперегрівання і змінні зовнішні умови, необхідно використовувати оптимізаційні алгоритми, які дозволяють швидко реагувати на зміни в режимах роботи печі.

5. Інновації в контролі і вимірюванні: системи автоматизації дозволяють використовувати новітні методи контролю, включаючи датчики для вимірювання температури, тиску, витрат палива і повітря, а також для моніторингу стану печі в цілому. Завдяки цьому можна реалізувати більш точне і своєчасне коригування параметрів процесу.

Завданням дослідження є розробка ефективних методів та алгоритмів оптимального керування процесом пароперегрівання в трубчастій печі, включаючи:

1. Визначення оптимальних режимів температури і тиску для різних типів палива і умов роботи печі.

2. Розробка математичних моделей для симуляції процесу пароперегрівання і оптимізації параметрів керування.

3. Оцінка економічної ефективності різних варіантів керування процесом пароперегрівання з точки зору зниження витрат енергії та палива.

4. Розробка алгоритмів автоматизованого регулювання на основі датчиків і систем зворотного зв'язку, що забезпечують безперервну оптимізацію процесу.

5. Аналіз впливу зовнішніх факторів (температури навколишнього середовища, типу палива) на ефективність керування та стабільність процесу пароперегрівання.

Завдяки дослідженню оптимальних методів керування можна значно підвищити ефективність і надійність трубчастих печей, знизити експлуатаційні витрати та вплив на навколишнє середовище.

Оптимальні параметри керування процесом пароперегрівання трубчатої печі дозволить частково чи повністю розв’язати проблему забезпечення вітчизняних підприємств теплом і парою для задоволення виробничих потреб, що особливо важливо в умовах подорожчання природного газу та інших енергоносіїв.

Розробка розгорнутого програмного комплексу на базі SCADA – системи для лінії автоматизованого управління використання твердопаливних відходів як палива паралельно з газом забезпечує температурний контроль в печі і контроль нормативних показників продуктів горіння.

Для побудови цього комплексу.

На першому етапі необхідно розробити структурну схему об’єкту керування.

На другому етапі у пакеті Matlab побудувати графіки кривих розгону об’єкта управління за різними каналами «витрата газу – температура пари» під час нанесення одиничних збурень.

На третьому етапі для визначення вхідних і вихідних аргументів використати автоматизовану систему управління, яку створити на основі мікропроцесорного комплексу.

Побудувати структурну схему імітаційного моделювання САР.

Обґрунтувати вибір регулятора і визначити його оптимальні налаштування для перехідного процесу регулювання.

Побудувати FBD-діаграму з використанням програмного забезпечення Editor of FBD-programs ALFA.

Висновки. У цьому розділі розглянуто основні аспекти оптимального керування процесом пароперегрівання в трубчастій печі, зокрема важливість стабільного регулювання температури та тиску для забезпечення ефективності і безпеки роботи. Сформовані задачі для розробки методів та алгоритмів оптимізації системи керування пароперегріванням трубчатої печі, яка дозволяють підвищити енергетичну ефективність, знизити витрати палива та забезпечити стабільність процесу, що важливо для довготривалої та безперебійної роботи трубчастих печей у промислових умовах.

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Відповідно до технологічних особливостей процесу обробки продукту, температура матеріалу, який іде на подальшу обробку, відіграє значну роль, адже наступні фізико-хімічні процеси відбуваються, лише при заданій початковій температурі матеріалу. З вище згаданого слідує, що трубчаста піч, у якій відбувається нагрів матеріалу, є одним із найважливіших об’єктів виробництва. Саме тому, розробка математичної моделі трубчастої печі є важливою науковою задачею.

Відповідно до поставленої задачі був проведений пошук існуючих математичних моделей та здійснений їх аналіз. У даній моделі функції розподілу будуються на підставі накопичених статистичних даних про поведінку стохастичних параметрів. Труднощі застосовуваної методики пов'язана з необхідністю проведення великого числа експериментів на об'єкті під час ходу технологічного процесу для визначення параметрів законів розподілу стохастичних величин.

Інший підхід пов'язаний з використанням теорії нечітких множин і йде в сферу суб'єктивної інформації. Невизначені параметри характеризуються функціями приналежності, які будуються на основі опитувань експертів.

Моделі, в яких невизначені параметри характеризуються функціями приналежності, отримали назва нечітких математичних моделей. Недоліком цієї методики є те, що для надійного побудови функції приналежності потрібно думку кількох експертів. Це не завжди можливо.

Існує модель трубчатої печі, що складається з розбитих (умовно) на три ділянки газового обсягу, що складається з 12-ти диференційованих рівнянь і має три керуючих впливу є досить інформативною. З її допомогою можна імітувати вплив теплових потоків та випромінювальних обсягів і поверхонь, що надає неоціненну допомогу при проектуванні систем управління. Однак, при визначенні коефіцієнтів диференціальних

рівнянь велику похибку вносять усереднення температури випромінюючих поверхонь. Усунути цей недолік можна, якщо ділянки розбити на секції, але тоді зросте і суттєво кількість рівнянь і їх рішення викличе значні труднощі.

Також є математична модель процесу горіння в технологічних печах для проектування оптимальних режимів промислових установок. Розрахунок статичних і динамічних характеристик керованого процесу дозволяє визначити основні параметри оптимальних процесів управління.

Без знання динамічних характеристик неможливо управління технологічними процесами в реальних умовах можливість отримання параметрів нестаціонарних режимів дозволяє в реальному часі з високим ступенем ефективності позбутися шкідливого впливу збурень ефективність даного підходу проілюстрована на процесах тепломасообміну в промислових об'єктах оптимальних режимів промислових установок. Розрахунок статичних і динамічних характеристик керованого процесу дозволяє визначити основні параметри оптимальних процесів управління.

Без знання динамічних характеристик неможливо управління технологічними процесами в реальних умовах. Можливість отримання параметрів нестаціонарних режимів дозволяє в реальному часі з високим ступенем ефективності позбутися від шкідливого впливу збурень.

Основна задача полягає в комплексному використанні методу декомпозиції загальної проблеми на ряд окремих завдань. Побудови і дослідити модель складних систем з розподіленими параметрами та математичного моделювання тепломасообмінних процесів в трубчастій печі з метою підвищення ефективності та екологічної безпеки виробництва нафтопродуктів на базі принципів оптимального управління і контролю технічних систем. Розроблений в результаті програмний інструмент являє собою обчислювальну експериментальну установку, ефективність і економічність якої свідомо підвищує ефективність і економічність лабораторних і промислових досліджень, забезпечуючи безвідмовність,

надійність, гнучкість, простоту освоєння в експлуатації. Чисельний аналіз проводили із застосуванням методів розв'язання диференціальних рівнянь зі звичайними походами (метод Кутта-Мерсона і ін.) програмного комплексу COMSOL Multiphysics для систем рівнянь викладено принципи і завдання комп'ютерного моделювання процесів в трубчастої печі. Відповідно до проведеного аналізу та поставлених вимог, математична модель складається з ряду рівнянь:

1. Рівняння неперервності – співвідношення між швидкістю зміни густини матерії і її потоком.

$$\frac{d\rho}{dt} + \Delta(\rho\, u) = 2 \qquad (2.1)$$

де ρ – це масова щільність суміші;

u – швидкість руху.

Рівняння руху – рівняння, яке задається закон еволюції механічної системи з часом.

$$\frac{d\rho u}{dt} + u\Delta\rho u + \Delta \cdot \vec{P} = 0 \qquad (2.2)$$

Рівняння збереження енергії:

$$\rho T_{\text{п}} \left(\frac{\partial S}{\partial t} + u\nabla P\right) = \frac{\rho x}{\tau} q - Q(T_{\text{п}}) + K_1(T_c - T_{\text{п}}) \qquad (2.3)$$

де ρ – масова щільність суміші;

u – швидкість руху;

q – теплота згоряння палива;

Q ($T_{\text{п}}$) – втрати в навколишнє середовище;

S – ентропія;

$T_{\text{с}}$ – температура сировини;

K1 – коефіцієнт теплопередачі для робочого потоку;

$T_{\text{п}}$ – температура продуктів згорання,

P – тиск.

Рівняння теплообміну:

$$\frac{\partial T_c}{\partial t} - \omega \nabla T_c = K_2(T_п - T_c) - Q(T_n) \quad (2.4)$$

де ρ – масова щільність суміші;

u – швидкість руху;

q – теплота згоряння палива;

Q ($T_п$) – втрати в навколишнє середовище;

T_c – температура сировини;

$T_п$ – температура продуктів згорання;

K_2 – коефіцієнт теплопередачі для стінки печі.

Трубчаста піч призначена для передачі тепла продукту, що виділяється під час спалювання палива безпосередньо в цьому ж апараті. Відповідно до вище зазначеного, до математичної моделі висувається ряд вимог: опис хімічної реакції горіння природного газу як основного джерела теплоти та розподіленість параметрів. У зв'язку з цим метою даної роботи є розробка математичної моделі трубчатої печі, яка забезпечувала б виконання поставлених до неї вимог.

Рівняння (2.1) – (2.4) є математичною моделлю теплового процесу печі, яка може бути реалізована щодо швидкості руху суміші та концентрації горючої речовини в суміші по довжині камери згоряння і використана для отримання інших параметрів печі, які залежать від x і u.

Моделювання проводилось при початковій температурі всіх складових печі 293 К. Витрата палива становить 20 $м^3$ /год, витрата повітря відповідно до необхідного для повного згорання палива складає 220 $м^3$/год. Початкова температура природного газу та повітря приймається 300 К.

Математична модель:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(p\,u) = 0$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + u\nabla\rho u + \nabla \times \overrightarrow{P} = 0$$

$$\rho T_{\text{п}}\left(\frac{\partial S}{\partial t} + u\nabla P\right) = \frac{\rho x}{\tau}q - Q(T_{\text{п}}) + K_1(T_c - T_{\text{п}})$$

$$\frac{\partial T_c}{\partial t} - \omega\nabla T_c = K_2(T_{\text{п}} - T_c) - Q(T_{\text{п}})$$

З урахуванням того, що значення коефіцієнтів передачі та постійні часу були надані як завдання дослідження, структурна схема об’єкта має вигляд, наведений на рисунку (рис. 2.1).

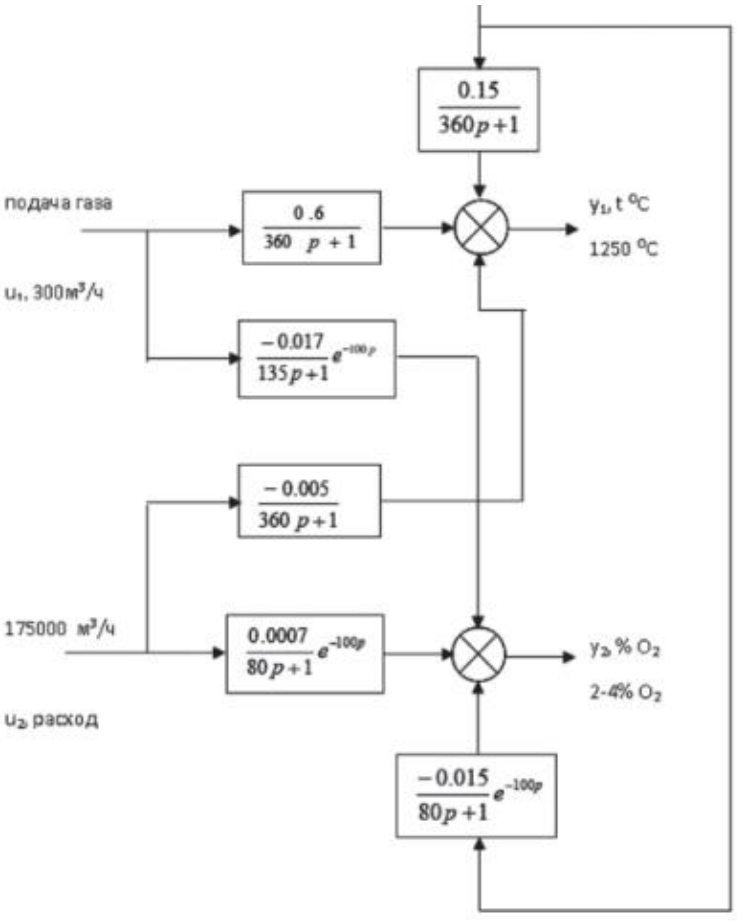
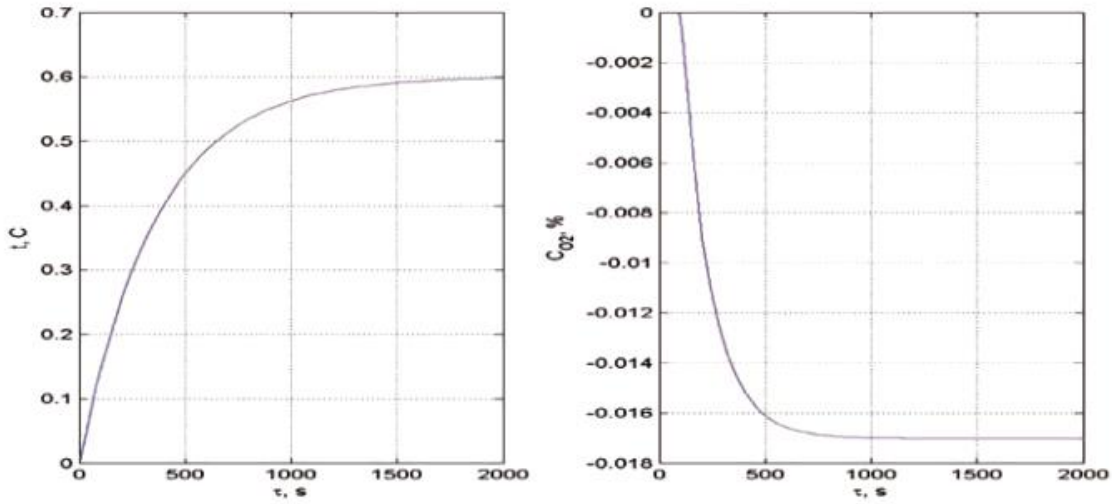


Рисунок 2.1 – Структурна схема математичної моделі трубчатої печі

Ця математична схема моделі печі є основою для побудови кривих розгону у пакеті Matlab.

Криві розгону об’єкта управління по каналу «витрата газу – температура пари» під час нанесення одиничних збурень (рис. 2.2, а). Криві розгону об’єкта управління по каналу «витрата газу – температура пароперегрівача» і «витрата газу – концентрація кисню» під час нанесення одиничних збурень (рис. 2.2, б).



а б

Рисунок 2.2 – Криві розгону: а – «витрата газу – температура пароперегрівача»; б – «витрата газу – концентрація кисню»

Висновки. У цьому розділі була приведене математичне моделювання процесів теплообміну в трубчатій печі. Він охоплює методи розв'язання задач теплопровідності, застосування числових методів (кінцевих різниць), постановку задачі моделювання теплової обробки. За наведеним розрахунком було визначено розподіл температури по поверхні матеріалу нагрівання та температури продуктів горіння. Також була розроблена структурна схема математичної моделі трубчатої печі і отримані криві розгону «витрата газу – температура пари» і «витрата повітря – концентрація кисню».

3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ І РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

Для визначення вхідних і вихідних аргументів скористаємось автоматизованою системою управління, створеною на основі мікропроцесору МИК-52Н. Система забезпечує виконання таких функцій:

1) автоматичний збір та обробка інформації про технологічний процес;

2) автоматична стабілізація параметрів технологічного процесу в режимі прямого цифрового управління;

3) автоматична сигналізація про відхилення технологічних параметрів за допустимі межі;

4) автоматичний протиаварійний захист;

5) контроль стану основного технологічного обладнання та машин;

6) автоматичне протоколювання відхилень від номінальних значень параметрів технологічного процесу і спрацьовування захистів і блокувань;

7) автоматична друк звітних документів.

Для забезпечення надійної та економічної роботи трубчастої печі передбачені такі контрольно-вимірювальні прилади:

1) для контролю температури;

2) для контролю тиску;

3) для вимірювання витрати газу;

4) регулюючі клапани Samson типу 3335/3278, використовувані в системі управління технологічним процесом із застосуванням засобів АСУ ТП (твердого палива), оснащені електропневматичними позиціонерами, з можливістю управління сигналом 4-20 мА і HART-протоколу;

5) в ролі відсікачів застосовані клапани із пневматичним приводом простого дії з поверненням в положення безпеки під дією пружини і запірно-регулюючі клапани, в яких функція відсічення поєднана з функцією регулювання.

Регулюючі клапани комплектуються пневматичним приводом, електропневмопозиціонер з вхідним керуючим сигналом 4-20мА, редуктором тиску повітря з фільтром і відповідними фланцями.

Відсічні і запірно-регулюючі клапани забезпечені кінцевими вимикачами, відповідними фланцями, соленоїдними клапанами, електропневмоперетворувачами. Клапани-відсічні і запірно-регулюючі клапани використовуються в схемах протиаварійного захисту і відсічення технологічних блоків на установці під час виникнення аварійних відхилень від норм параметрів процесу.

Для збору і обробки інформації встановлено програмований контролер МИК-52Н компанії МІКРОЛ, який включає в себе:

– модуль центрального процесора (CPU) контролера забезпечує виконання алгоритмів управління, обробку сигналів і координацію роботи системи з високою швидкодією (цикл обробки до 0,1 с);

– сигнальні модулі дозволяють працювати з дискретними та аналоговими сигналами для підключення датчиків і виконавчих механізмів;

– інтерфейсні модулі підтримують RS-485 і Ethernet для обміну даними;

– блок живлення гарантує стабільну роботу контролера, використовуючи живлення 24 В або 220 В;

– інтегровані функції самодіагностики контролюють стан компонентів і фіксують відхилення;

– програмування здійснюється через редактор FBD-програм «АЛЬФА», який забезпечує зручне створення алгоритмів управління.

Для візуалізації операторського інтерфейсу встановлений промисловий комп’ютер МИК-ПК.

Лінійність видаткової характеристики регулюючого клапана, а отже, стійкість системи регулювання до різних впливів технологічного процесу

залежить від обраного типу і розміру регулюючого органу. Для регулювання витрати подачі газу на пальники застосовується поворотна заслінка на спільній ділянці газопроводу після ПКН (запобіжного клапана низького тиску). Виберемо типорозмір заслінки, побудуємо видаткову характеристику і визначимо коефіцієнт передачі регулюючого органу (РО).

Вихідні дані для розрахунку зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку РО

№ п.п.	Найменування параметру	Умовне позначення	Одиниця виміру	Величина
1	Щільність вуглеводневого газу при нормальних умовах	$r_{ну}$	кг/м^3	2,233
2	Температура газу	t_1	°С	10
3	Надлишковий тиск	P_1	МПа	0,03
4	Барометричний тиск	$P_б$	МПа	0,01011
5	Витрата нагрівається мазуту	D_1	т/ч кг/с	169,3 47,03
6	Ентальпія мазуту на вході	$I_{вх}$	ккал/кг кДж/кг	210 880
7	Ентальпія мазуту на виході	$I_{вих}$	ккал/кг кДж/кг	257 1077
8	Нижча теплота згоряння газу	$Q^р_н$	кДж/м^3	101300
9	ККД брутто	h	%	97,0
10	Диаметр газопровода	$D_{тр}$	мм	100
11	Втрата напору в газопроводі при повністю відкритій заслонці	$DP_л$	МПа Н/м^2	0,003 3000
12	Коефіцієнт витрати поворотною заслінки представлений на рисунку 5	$a_м$		

Складемо структурну схему автоматизованої системи керування (САК) в програмному пакеті Simulink (рис. 3.1) і розрахуємо настройки регулятора для подальшого дослідження АСР на ЕОМ.

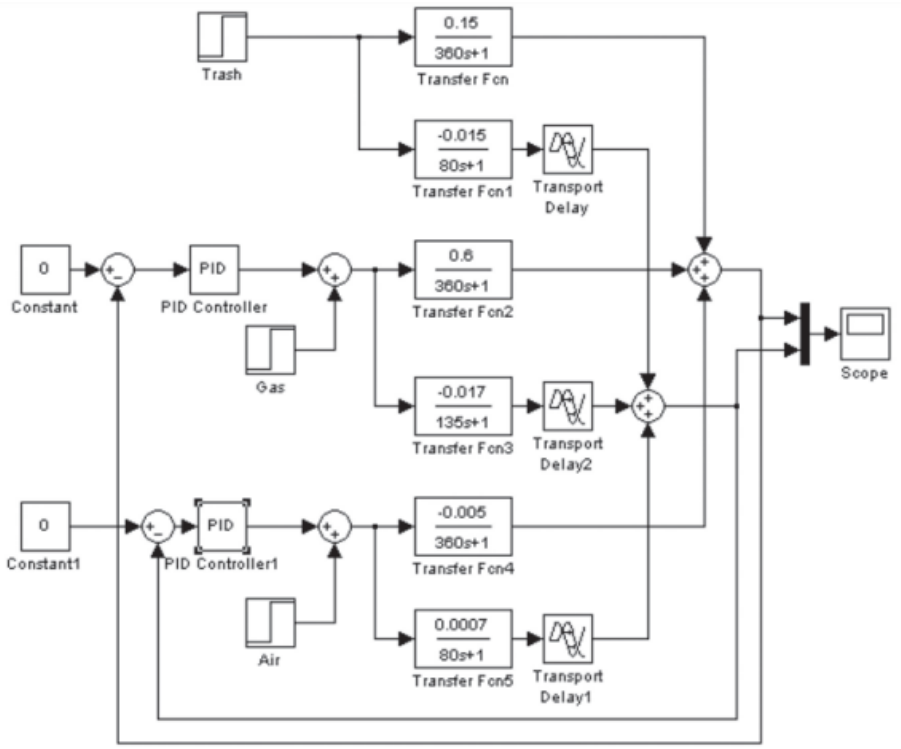


Рисунок 3.1 – Структурна схема імітаційного моделювання САК

Використовуємо регулятор і визначимо оптимальні настройки вибраного регулятора для перехідного процесу регулювання. Обробивши криву розгону по каналу «витрата газу → температура пари», ми отримали настройки:

$$К = 0{,}6\frac{°С}{кг/с};$$

$$Т = 360\ с;$$

$$Т_{ау} = 1\ с.$$

Розрахуємо настройки ПІД регулятора за методикою А.П. Копеловіча:

$$К_р = \frac{1{,}2}{К_{об} \cdot may/T} = \frac{1{,}2}{0{,}6 \cdot 1/360} = 720$$

$$T_и = 2 \cdot тау = 2 \cdot 1 = 2$$

Звідси:

$$Т_д = 0{,}4 \cdot тау = 0{,}4 \cdot 1 = 0{,}4$$

Згідно з отриманими результатами обчислення побудуємо графіки перехідних процесів регулювання температури та концентрації кисню на виході печі для спалювання відходів (рис. 3.2).

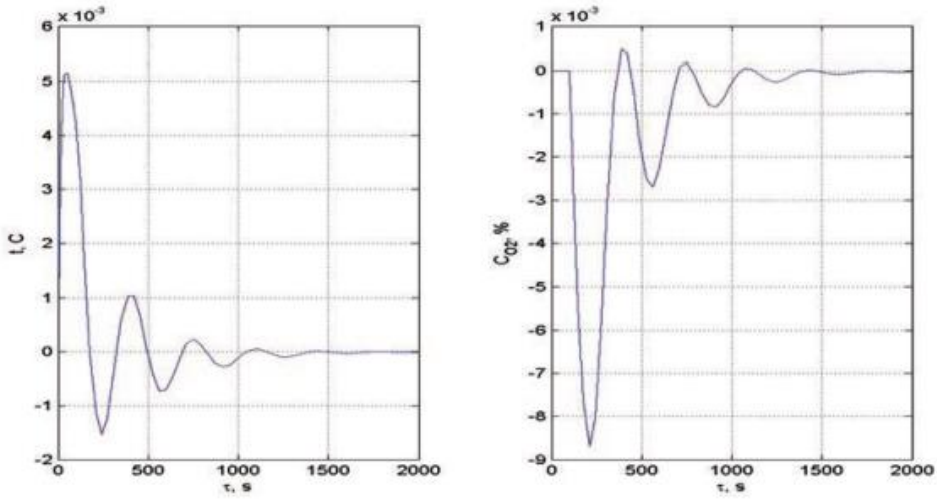


Рисунок 3.2 – Перехідні процеси регулювання температури пари та концентрації кисню на виході печі

P складник ПІД регулятора $K_р$=720.

I складник ПІД регулятора $К_р/Т^и$=720/2=360.

D складник ПІД регулятора $К_р \cdot Т_д / Т_и$ = 720 · 0,4/2=14.

Вибрані параметри не задовольняють заданій якості регулювання, тому вони були скориговані: P =720; I = 40; D = 0.

Висновки. В цьому розділі була розроблена імітаційна модель САК пароперегрівання в трубчастій печі. Отримано всі необхідні дані для побудови FBD діаграми з використанням програмного забезпечення Editor of FBD-programs ALFA. Після розробки діаграми на основі зроблених нами обчислень було налаштовано програмне забезпечення для лінії автоматизованого управління використання трубчатої печі, що забезпечує температурний контроль в печі і контроль нормативних показників продуктів горіння.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РЕГУЛЯТОРА НА МОВІ ПРОГРАМУВАННЯ FBD

Українське програмне забезпечення «Editor of FBD-programs ALFA» призначене для створення програм-алгоритмів на основі функціональних блоків, які використовуються у мікропроцесорних контролерах. Основна ідея мови функціональних блоків (Function Block Diagram – FBD) полягає в тому, щоб представляти алгоритми у вигляді діаграм, де кожен блок виконує певну функцію.

Редактор ALFA забезпечує інтерактивне середовище, яке робить програмування контролерів максимально зручним. У процесі створення програми можна вибирати готові алгоритми з бібліотеки функціональних блоків, розміщувати їх на робочому полі редактора та з'єднувати між собою за допомогою ліній зв’язку. Це дозволяє швидко будувати складні програми без необхідності писати код вручну.

Буфер обміну редактора дозволяє зберігати цілі FBD-програми, що дає можливість створювати нові програми, використовуючи існуючі шаблони. Це значно скорочує час, необхідний на адаптацію та модифікацію готових алгоритмів під конкретні завдання.

Окрім цього, редактор ALFA має режим налагодження, який дозволяє тестувати роботу контролера в реальному часі. Підключення здійснюється через інтерфейс RS-485, що дає можливість оперативно перевіряти та коригувати програму.

Для автоматичного регулювання температури пари в трубчастій печі необхідно створити програму для контролера, яка буде відповідати за підтримання стабільної температури та коректного співвідношення газу і повітря.

Завдання регулятора

1. Контроль температури: забезпечити стабільну задану температуру в печі, автоматично змінюючи подачу палива в залежності від

відхилення фактичної температури від цільового значення.

2. Співвідношення газ-повітря: підтримувати оптимальне співвідношення кількості палива та повітря у всьому діапазоні зміни подачі палива. Це співвідношення визначається графіком, який враховує особливості роботи печі.

Основні етапи побудови програми:

1. Збір даних з датчиків: використовувати прості аналогові входи для отримання інформації від датчиків тиску (для контролю подачі палива) та датчика температури (для моніторингу температури в печі).

2. Аналіз отриманих даних: на основі показників датчиків визначати необхідність змін у подачі палива або повітря.

3. Регулювання подачі: налаштувати алгоритм, який автоматично коригує подачу палива та повітря, щоб досягти заданих параметрів температури та співвідношення.

Програма починається зі створення базових функціональних блоків, які зчитують дані з датчиків. Ці блоки дозволять постійно відстежувати показники тиску та температури, після чого алгоритм зможе виконувати регулювання відповідно до заданих умов (рис. 4.1).

Реалізація контуру зони нечутливості регулятора, що складається з блоків (рис. 4.2):

– компаратору CMP що виконує функцію порівнювального пристрою;

– мультиплексора MUX, який забезпечує перемикання каналів;

– суматора SUMM.

Для забезпечення автоматичного задання значення тиску повітря для його подальшого використання для зміни подачі палива використовується блок кусочно-лінійної функції Linear де виконується графічний розв’язок співвідношення «газ-повітря» (рис. 4.3).

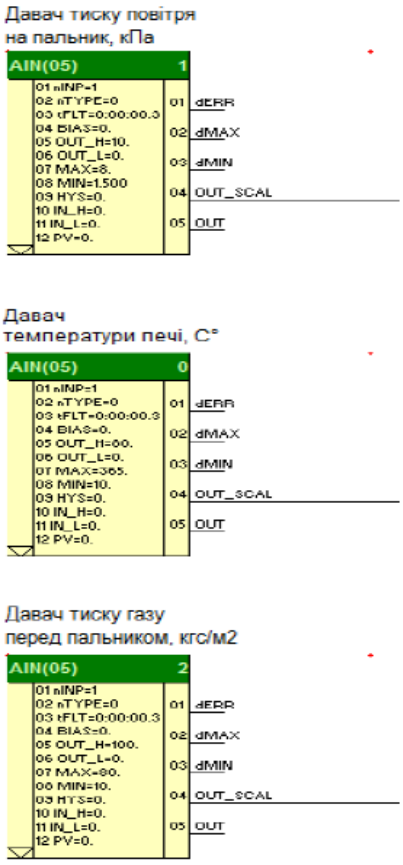


Рисунок 4.1 – Аналогові блоки

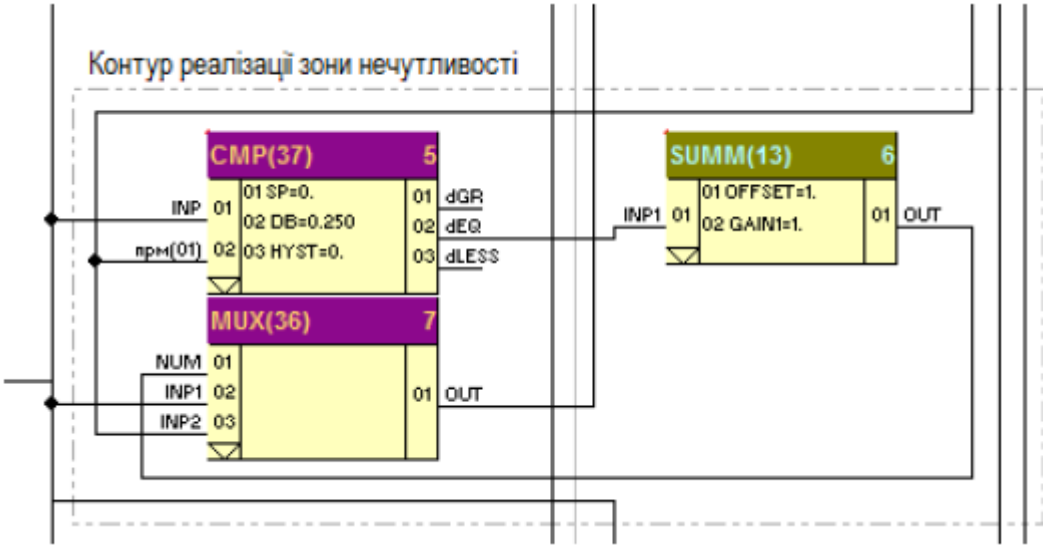


Рисунок 4.2 – Зона нечутливості

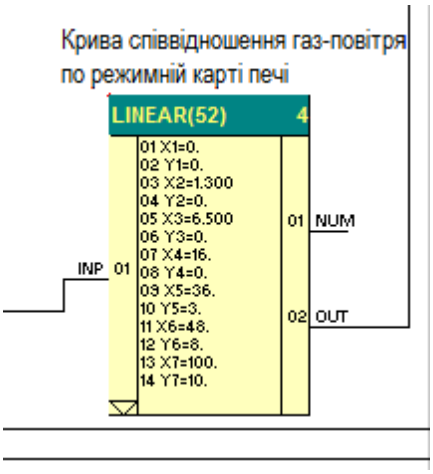


Рисунок 4.3 – Блок Linear

Налаштування функціонального блоку, що слугує для побудови контуру ПІД-регулятора. Завдяки блоку керування станом DSET можна вручну задати потрібне значення на регулятор (рис. 4.4).

Блоки DOT потрібні для дискретного виводи на виконавчий механізм тобто на засувку.

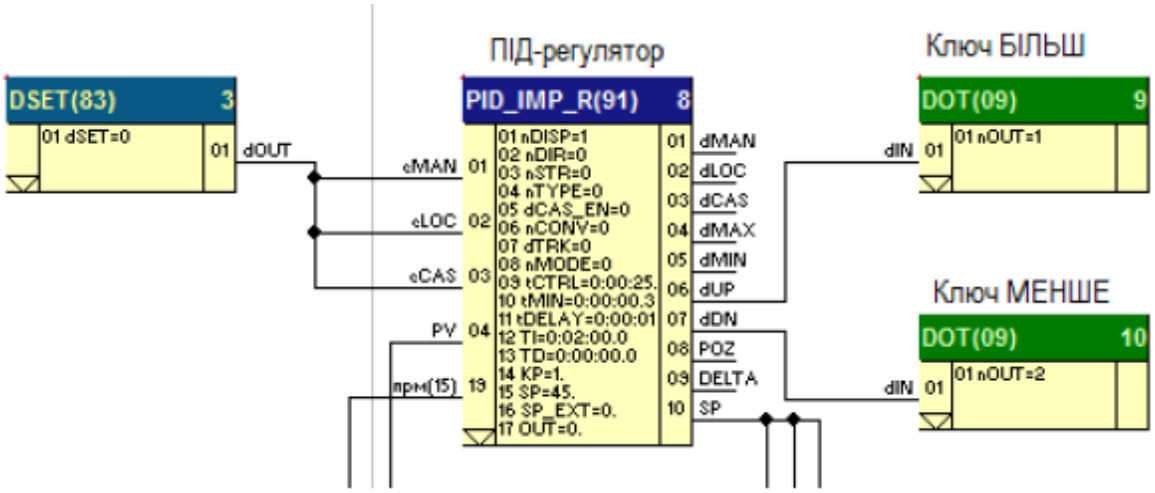


Рисунок 4.4 – контур ПІД-регулятор

Функціональний блок панелі індикації USER, на який виводяться відповідні параметри та значення (рис. 4.5).

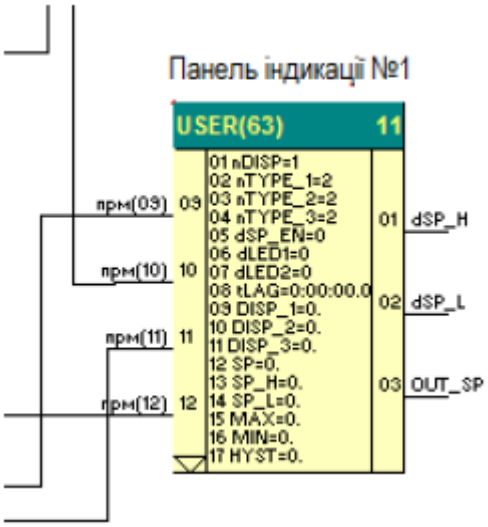


Рисунок 4.5 – Блок панелі індикації

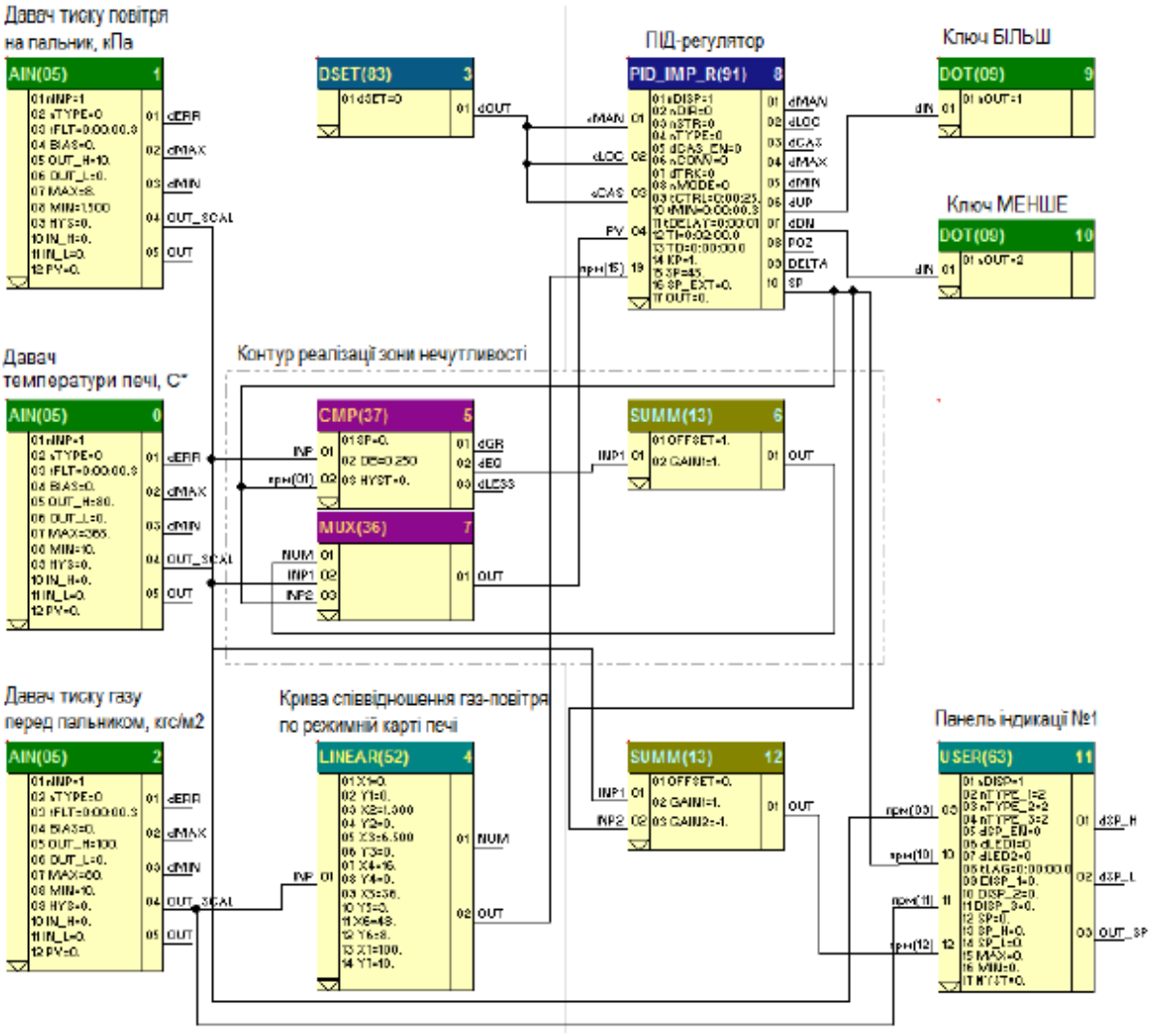


Рисунок 4.6 – Програма процесу регулювання

Програмний код на мові FBD у середовищі ALFA дозволяє ефективно управляти витратами повітря та газу, забезпечуючи оптимальні параметри роботи печі для досягнення необхідної температури. Завдяки цьому стає можливим не лише підтримувати задану температуру, але й забезпечити енергоефективність експериментальної установки, що відповідає встановленим вимогам до якості системи.

Основні параметри налаштування регулятора:

1. Діапазон шкали датчика тиску повітря на пальник: 0...10 кПа (властивості 05 та 06 блоку №1 AIN(05)).

2. Діапазон шкали датчика тиску газу перед пальником: 0...100 кгс/м^2 (властивості 05 та 06 блоку №2 AIN(05)).

3. Діапазон шкали датчика температури: 0...80 °С (властивості 05 та 06 блоку №0 AIN(05)).

4. Задане значення тиску повітря: вибирається автоматично за графіком співвідношення «газ-повітря» (блок №4 LINEAR (52)).

5. Задане значення температури: 145 °С. (властивість 15 блоку №8 PID_IMP_R(91), задається з передньої панелі контролера).

6. Зона нечутливості регулятора: 0,25 кПа (°С) (властивість 02 блоку №5 CMP(37)).

7. Час повного ходу МЕО (90 град.): 25 с (Властивість 09 блоку №8).

8. Мінімальна тривалість імпульсу: 0,3 с (Властивість 10 блоку №8).

9. Затримка між перемиканням ключів БІЛЬШ-МЕНШЕ: 1 сек (властивість 11 блоку №8).

10. Демпфер по каналу вимірювання довжини повітря: 0,3 сек. (Властивість 03 блоку №1 AIN(05)).

11. Демпфер по каналу вимірювання довжини газу: 0,3 сек. (Властивість 03 блоку №2 AIN(05)).

12. Демпфер: 0,3 сек. (Властивість 03 блоку №0 AIN(05)).

13 Коефіцієнт посилення регулятора: 1 (властивість 14 блоку №8).

14. Час інтегрування регулятора: 120 с (Властивість 12 блоку №8).

На панелі індикації №1 відображаються такі параметри:

Дисплей ПАРАМЕТР – тиск повітря на пальник, кПа; температура в печі, °С;

Дисплей ЗАВДАННЯ – задане значення тиску повітря по режимній карті, кПа; задане значення температури печі, °С;

Дисплей ВИХІД - тиск газу перед пальником, кгс/м^2; неузгодженість регулятора.

Висновки. В цьому розділі розроблена програма для алгоритму регулятора на мові програмування FBD.

5 РОЗРОБКА SCADA-СИСТЕМИ

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) — це програмне забезпечення, яке використовується для моніторингу та керування виробничими процесами. Вона збирає дані в реальному часі з різних об’єктів, дозволяє управляти обладнанням та умовами роботи, а також надає інструменти для прийняття рішень на основі цих даних.

Основні компоненти SCADA-системи:

1. Датчики та виконавчі механізми: збирають інформацію з обладнання або впливають на нього для виконання команд.

2. Польові контролери SCADA: передають дані від датчиків до системи, а також виконують команди, отримані від центрального комп'ютера.

3. Диспетчерські комп’ютери SCADA: основні пристрої для обробки даних, керування процесами та взаємодії з операторами.

4. Програмне забезпечення HMI (людино-машинний інтерфейс): візуалізує дані для операторів, дозволяючи їм контролювати процеси.

5. Комунікаційна інфраструктура: забезпечує передачу даних між всіма компонентами системи.

Основні функції SCADA:

1. Збір даних: датчики відстежують показники системи, передаючи їх на контролери та комп’ютери SCADA.

2. Дистанційне керування: управління обладнанням здійснюється на основі даних, отриманих з датчиків.

3. Передача даних по мережі: всі компоненти системи взаємодіють через мережу, обмінюючись інформацією для підтримання стабільної роботи.

4. Подання інформації: дані відображаються операторам через HMI, що дозволяє спостерігати за процесами в режимі реального часу або аналізувати історичні дані.

5. Робота з аварійними сигналами: система повідомляє операторів про критичні умови, збої або необхідність втручання.

6. Формування звітів: автоматичне створення звітів про стан системи, ефективність її роботи та інші важливі аспекти.

SCADA забезпечує гнучке управління процесами, дозволяючи не тільки оперативно реагувати на зміни, але й аналізувати тенденції для підвищення продуктивності та надійності виробничих систем.

Система автоматизації нафтовидобувної станції складається з трьох рівнів: нижнього, середнього та верхнього, кожен з яких виконує свої завдання для забезпечення безперервного та ефективного функціонування.

1. Нижній рівень.

На цьому рівні розташоване обладнання, яке безпосередньо взаємодіє з технологічним процесом:

– датчики технологічних параметрів: збирають інформацію про стан системи (тиск, температура тощо);

– виконавчі механізми (ВМ): реагують на команди, змінюючи роботу системи;

– пристрої місцевого управління: розташовані безпосередньо на об'єктах і дозволяють здійснювати локальне управління;

– системи автоматичного регулювання (САР): рідтримують задані параметри автоматично;

– блок аварійного захисту: знаходиться в операторній і включає індикатори сигналів від датчиків, а також кнопки управління для аварійних дій.

2. Середній рівень.

Цей рівень базується на програмованих логічних контролерах (ПЛК), які виконують наступні функції:

– отримання даних від датчиків нижнього рівня;

– обробка сигналів та передача інформації на верхній рівень;

– автоматичне управління обладнанням і контроль його роботи;

– взаємодія з системами автоматичного регулювання;

– отримання команд з верхнього рівня і формування відповідних керуючих сигналів для виконавчих механізмів.

3. Верхній рівень.

На цьому рівні розміщуються автоматизовані робочі місця (АРМ) оператора-технолога та інженерна станція. Основні функції:

– моніторинг: одержання даних про стан об'єктів і контроль за технологічним процесом;

– аналіз: спостереження за трендами і порівняння показників із нормативними значеннями;

– керування: виконання оперативного управління технологічним процесом;

– документування: формування бази даних, архівування подій і дій системи;

– проектування: виконання конфігурації, пошук помилок та оптимізація процесу;

– на моніторах автоматизованих робочих місць оператори можуть переглядати: таблиці, графіки та звіти про роботу станції; список помилок із зазначенням часу їх виникнення; перелік аварійних подій за обраний період; журнал функціонування технологічного процесу; особливості інтеграції.

Кожен рівень тісно взаємодіє з іншими, забезпечуючи злагоджену роботу системи, швидке реагування на зміни та високу ефективність управління нафтовидобувною станцією.

Система включає багато контурів управління, які потребують чіткого та детального контролю. Використання SCADA-системи значно спрощує цей процес, адже локальні засоби автоматизації в таких випадках є менш ефективними та займають більше часу. Для сучасних промислових

підприємств важливо забезпечувати своєчасне, енергоефективне та економічно вигідне виконання завдань.

SCADA-система дозволяє організувати безперебійну роботу всього обладнання, забезпечуючи оперативний контроль і управління. З огляду на це, проектування та впровадження SCADA-системи є не лише виправданим, але й необхідним кроком для підвищення ефективності та надійності роботи трубчастої печі.

Під час проектування SCADA-системи використовується програмне забезпечення PROMOTIC-SCADA, розроблене чеською компанією «Microsys». PROMOTIC забезпечує ефективні інструменти для моніторингу, управління та візуалізації технологічних процесів у різних галузях промисловості.

Особливості SCADA PROMOTIC:

1. Різноманітність комунікаційних інтерфейсів: XML, ActiveX, ODBC, ADO, DLL, OPC, DDE, TCP/IP, HTTP, HTTPS та інші.

2. Підтримка контролерів ПЛК: МІКРОЛ**,** Simatic, Allen-Bradley, Mitsubishi, SAIA, Omron, Koyo, ADAM тощо.

3. Комунікаційні протоколи**:** Modbus, M-BUS, SNMP, SMS-GSM, IEC 60870-5, IEC 62056, BACnet та інші.

4. Робота з базами даних: Access, dBase, MSSQL, MySQL, Oracle.

5. Вбудований веб-сервер: забезпечує віддалений доступ і управління системою.

6. Бібліотека графічних компонентів: Включає SVG, BMP, PNG, JPG, а також можливість додавання власної графіки.

7. Мови програмування: Visual Basic та JavaScript для створення складних програм візуалізації та управління.

Проектування SCADA-системи починається з використання бібліотек і інструментів PROMOTIC, базуючись на схемах потоків інформації та матеріалів, а також функціонально-структурному аналізі.

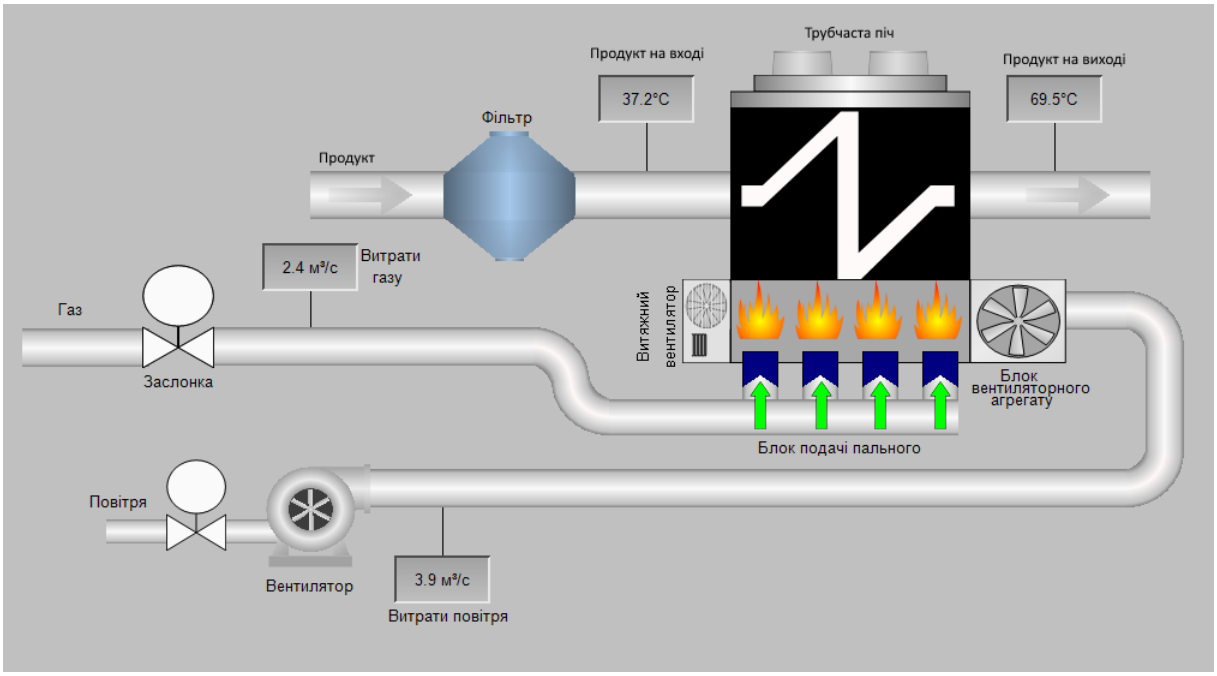
SCADA-система для контуру трубчастої печі.

Продукт, проходячи через трубопровід, спершу очищується у фільтрі-брудоуловлювачі, який видаляє механічні домішки, сторонні частки, парафінові відкладення та глину. Далі вона потрапляє у теплообмінну камеру печі, де рухається по змійовику, який нагрівається від пальників.

Система подачі повітря до камери згоряння працює завдяки вентилятору, вентиляторному агрегату та автоматичній заслінці, яку можна також контролювати вручну. Температура продукту регулюється подачею паливного і запального газу до пальників, а витяжний вентилятор знижує рівень загазованості в камері пароперегрівача.

SCADA-система дозволяє операторам здійснювати моніторинг і точне управління всіма процесами, забезпечуючи ефективну роботу установки.

На рисунку 5.1 наведена розроблена SCADA-система.



Рисунку 5.1 – Розроблена SCADA-система

SCADA-система для пароперегрівача трубчастої печі включає блоки та механізми, які забезпечують автоматизацію процесів управління. Дані,

отримані з датчиків і перетворювачів, встановлених у ключових вузлах, таких як пароперегрівач, стабілізаційна колона та деемульсаційна установка, візуалізуються у вигляді мнемосхем на дисплеї.

Оператор контролює всі важливі параметри, зокрема температуру, тиск, витрати та рівень. У разі відхилення показників від нормальних значень він може втрутитися в процес, тимчасово призупинивши роботу окремих механізмів або зупинивши технологічний процес для усунення проблеми. Це дозволяє підтримувати стабільність і безпеку роботи трубчастої печі та інших елементів системи.

Висновки. В даному розділі спроектовано SCADA-систему для автоматизованої системи керування пароперегрівання в трубчастій печі з введеним до неї регулятором.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1. Загальні заходи з охорони праці при термічній обробці

Згідно «Правила охорони праці при термічній обробці Закону України «Про охорону праці», при термічній і хіміко-термічній обробці металів можливий вплив на працівників різних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, у тому числі:

– незахищені рухливі елементи виробничого устаткування;

– заготовки, готові вироби або деталі, що пересуваються;

– транспортні засоби, що рухаються;

– аерозолі фіброгенної дії (пилу);

– несприятливий мікроклімат робочої зони;

– підвищена температура поверхонь устаткування і матеріалів;

– знижена температура при обробці деталей холодом;

– підвищена або знижена температура повітря робочої зони;

– небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;

– підвищений рівень електромагнітного випромінювання (ультрафіолетового, видимого, інфрачервоного, лазерного, мікрохвильового, радіочастотного);

– підвищена напруженість магнітного поля;

– підвищений рівень шуму на робочому місці;

– знижена освітленість робочого місця;

– пожежо- і вибухонебезпека;

– хімічні фактори загальнотоксичного, дратівного, канцерогенного впливу на організм працівника;

– важкість і напруженість праці.

При обслуговуванні електропечей мають бути дотримані наступні вимоги безпеки:

– усі струмопровідні частини електропечей, з якими можливе зіткнення обслуговуючого персоналу, мають бути ізольовані або захищені;

– обгороджування і прилади контролю, до яких підводиться електроживлення, мають бути заземлені;

– електричні печі повинні мати блокування для автоматичного відключення нагрівальних елементів при відкриванні дверець печі.

– при експлуатації електротермічного устаткування повинні використовуватися ізоляційні засоби індивідуального захисту : рукавиці, діелектричні галоші, килимки і тому подібне;

– при обслуговуванні електротермічного устаткування Правилами експлуатації електроустановок передбачені спеціальні заходи безпеки для захисту обслуговуючого персоналу від дії високих температур і теплового випромінювання. Усі механізми управління і обслуговування печей мають бути встановлені так, щоб робітник не піддавався дії високих температур і шкідливих газів. Різниця температур на поверхні печей і навколишнього повітря не повинна перевищувати 45-60°С.

Основні фактори електричного характеру включають протікання струму через тіло людини, напругу, яка діє на неї, опір її тіла, а також частоту струму. Проходження електричного струму через організм людини супроводжується термічним, електролітичним, біологічним та механічним ефектами. Ураження струмом призводить до електролізу органічних речовин в організмі, порушення біологічних процесів, скорочення м'язів та пошкодження тканин.

Основними факторами неелектричного характеру є шлях струму через тіло людини, індивідуальні особливості та стан організму, тривалість дії струму, а також раптовість і непередбачуваність його дії. Шлях струму через тіло людини має важливе значення для визначення важкості ураження. Особливо небезпечним є протікання струму через життєво

важливі органи, де вплив струму безпосередньо відбувається. Джерелами електронебезпеки в дільниці є термічні печі, дробеструменевий апарат, баки для гартування та промивальний бак. Все це обладнання працює від змінного електричного струму, та, у випадку несправності та/або неправильної експлуатації може призвести до ураження струмом. Для захисту працівників від ураження електричним струмом застосовують заземлення, захисні розділення електромереж, технічні огляди обладнання, перевірка несправностей лише у знеструмленому стані, електрозахисні засоби, підтримання сухого, незапиленого приміщення з вологістю не вище 75% та регулярні інструктажі з правил електробезпеки.

6.2 Охорона праці оператора АСУ ТП

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і посадових обов’язків оператора АСУТП у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ сформовані заходи по забезпеченню безпеки праці.

Приміщення, у якому здійснюються заходи пов’язані з виконанням посадових обов’язків та проведенням досліджень та розрахунків (розробкою, модернізацією, удосконаленням, тощо), є спеціалізованим, яке обладнане ПК з ВДТ.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», «Правил улаштування електроустановок» (далі – «ПУЕ»), ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом», НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» та буде використовуватися згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної

експлуатації електроустановок» (далі – «ПБЕЕ»), НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі – «ПБЕЕС») та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Згідно «ПУЕ», за ступенем небезпеки ураження електрострумом, робоче місце оператора АСУТП приміщення належить до 1-го класу, тобто є приміщенням без підвищеної небезпеки, у якому відсутні умови, що створюють підвищену та особливу небезпеку.

Згідно глави 1.7 – «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «ПУЕ», обладнання має основну ізоляцію струмовідних частин, яка забезпечує захист від прямого дотику та подвійну, яка складається з основної та додаткової ізоляції, для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження основної ізоляції.

Відповідно до вимог п. 6.7.4. НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» усі доступні для доторкання металеві деталі електрообладнання у приміщенні з ПК, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм.

Оскільки робоче місце оператора АСУТП за ступенем небезпеки ураження електрострумом належить до 1-го класу, тому відповідно до вимог п. 6.7.6 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» та додатку №1 до НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» користувачі ПК пройшли інструктаж з електробезпеки з оформленням в журналі інструктажу та мають І групу з електробезпеки.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» зроблено більш зручне та

раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними, яка відповідає нормованим значення (площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6,0 м^2, а об'єм не менше ніж 20,0 м^3). Поверхня підлоги є рівною, неслизькою, з антистатичними властивостями.

У зв’язку із стресовими ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями у працівників може виникнути ймовірність захворювань загально-невротичного характеру.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» для робітників із застосування ЕОМ, передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години, а також обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження передбачені пристрої для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою

Для оптимізації відносин у колективі проводяться тренінги з залучанням психологів на теми: «Адаптація у новому колективі», «Поведінка в суспільстві».

Для запобігання кістково-м’язових порушень робочі місця користувачів ПК оператора АСУТП відповідають ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680-800 мм, а ширина і глибина – забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина – 600-

1400 мм, глибина – 800-1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою 600 мм, шириною – 500 мм, глибиною (на рівні колін) – 450 мм, на відстані витягнутої ноги – 650 мм.

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для робочого місця оператора, обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Основними причинами недостатньої або надмірної освітленості робочих місць є несправність або хибний вибір освітлювальних приладів, неправильне розташування робочих місць по відношенню до джерел освітлення.

Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм. Недостатнє або надмірне освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровій і загальній втомі.

Робоче місце оператора АСУТП обладнаному ПК з екранним пристроєм (далі – «ЕП»), згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які

створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Метеорологічні умови для приміщенні з комп'ютеризованими робочими місцями – температура, відносна вологість та швидкість переміщення повітря цілком відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Роботи у приміщенні з ПК, належать до категорії Іб – легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

– у холодний період року: температура 21-23°С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

– у теплий період року: температура 22-24°С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

6.3 Пожежна безпека

Пожежа – ситуація, що найбільш часто зустрічається на підприємстві. Цехи оснащуються всіма необхідними засобами пожежогасіння та протипожежною сигналізацією. Категорія приміщень за пожежною небезпекою (СП 12.13130-2009) – А. Цех теплової обробки матеріалів відноситься до II ступеня вогнестійкості. Систему протипожежного захисту становить комплекс організаційних і технічних засобів, спрямованих на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріальних збитків від неї.

Протипожежний захист забезпечується:

– максимально можливим застосуванням негорючих і важкогорючих речовин і матеріалів замість пожежонебезпечних;

– обмеженням кількості горючих речовин і їх розміщення;

– ізоляцією горючого середовища;

– запобіганням поширенню пожежі за межі вогнища;

– застосуванням засобів пожежогасіння;

– застосуванням конструкції об'єкта з регламентованими межами вогнестійкості та горючістю;

– евакуацією людей;

– системами протидимного захисту;

– застосуванням засобів пожежної сигналізації та засобів сповіщення про пожежу;

– організацією пожежної охорони промислових об'єктів.

Систему запобігання пожежі становить комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на виключення можливості виникнення пожежі.

Запобігання пожежі досягається:

– усуненням утворення горючого середовища;

– усуненням утворення горючого (або внесення до неї) запалювання;

– підтриманням температури горючого середовища нижче максимально допустимої і іншими заходами.

В цехах і підрозділах всі машини і механізми укомплектовані вогнегасниками і ящиками з піском, в приміщеннях, на робочих місцях укомплектовані пожежні щити, організовані в кожному підрозділі куточок по пожежній безпеці з інструкціями по пожежній безпеці.

Блискавко-захисні пристрої знаходяться в справному стані, електричні лінії та електричне обладнання заземлено. Вогнегасники термін використання яких скінчився своєчасно заправляються. Досліджуване підприємство повністю відповідає встановленим вимогам пожежної безпеки відповідно до визначеної категорії.

Висновки. В даному розділі подані рекомендації що до охорони праці і пожежної безпеки, що відповідають законодавству України.

7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації

Автоматизовані системи управління є складними конструкціями, що поєднують технічні складові і людський фактор. У таких системах людина грає ключову роль у встановленні цілей управління, формулюванні критеріїв якості та у прийнятті рішень у ситуаціях, де потрібен творчий підхід.

Організаційне забезпечення автоматизованих систем управління охоплює різноманітні функції.

По-перше, це аналіз поточної системи управління для виявлення слабких місць та можливостей її поліпшення.

По-друге, це підготовка завдань для вирішення за допомогою комп'ютера, що включає в себе визначення параметрів та об'єктів управління.

І, нарешті, це розробка управлінських рішень для оптимізації ефективності управління, що передбачає аналіз даних, прийняття стратегічних та тактичних рішень з метою досягнення поставлених цілей.

Організаційне забезпечення реалізує наступні функції:

– аналіз існуючої системи управління організацією, де буде використовуватися ІС, та виявлення задач, що підлягають автоматизації;

– підготовку завдань до вирішення на комп'ютері, включаючи технічне завдання на проектування ІС та техніко-економічне обґрунтування її ефективності;

– розробку управлінських рішень по складу та структурі організації, методології рішення задач, спрямованих на підвищення ефективності системи управління.

Одним з важливих компонентом є організаційне забезпечення системи автоматизації. Для того щоб система працювала злагоджено потрібен персонал з 15 осіб.

На рисунку 7.1 наведена структурна схема організаційного забезпечення заводу.

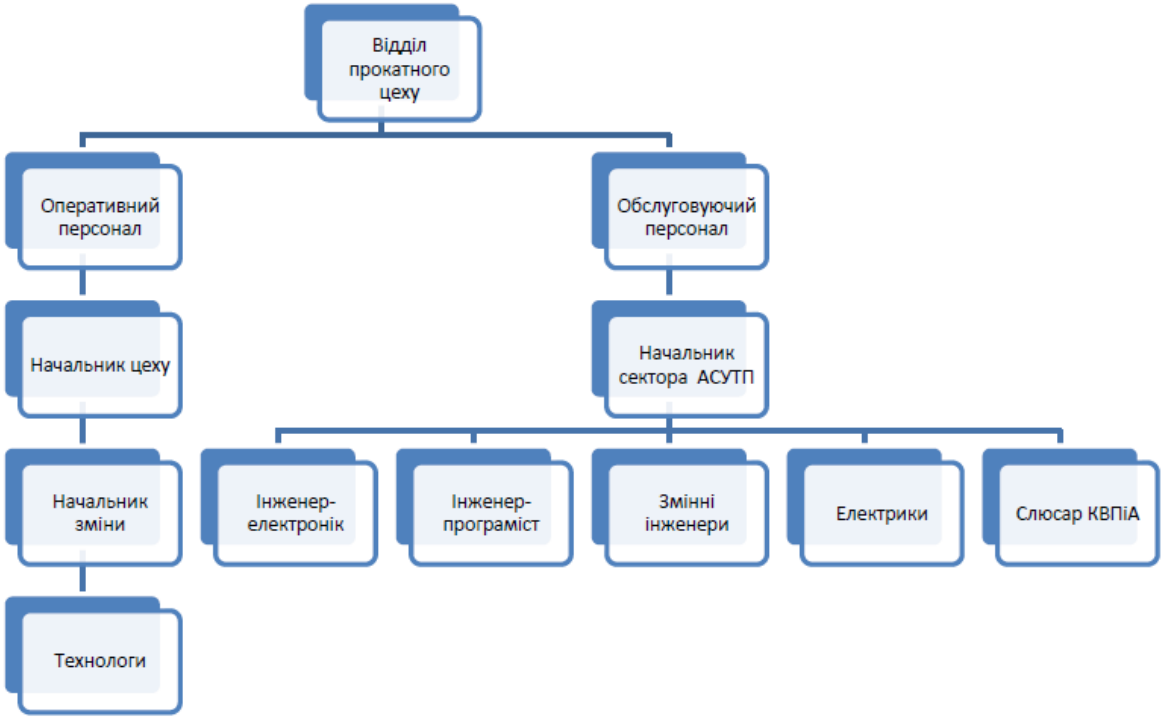


Рисунок 7.1 – Структурна схема організаційного забезпечення заводу

Персонал на виробництві повинен мати відповідну освіту або пройти спеціалізовану підготовку, щоб володіти необхідними знаннями та навичками для виконання своїх обов'язків. Це стосується всіх рівнів персоналу, включаючи оперативний, керівний та технічний склад.

Робота з мікропроцесорними контролерами є ключовою, тому персонал повинен мати відповідні навички і постійно вдосконалювати їх. Кількість і кваліфікація персоналу визначається такими факторами, як складність роботи з системами автоматизації, потреба у постійному контролі параметрів та необхідність дотримання робочого режиму через неперервність виробничого процесу.

7.2 Розрахунок техніко – економічних показників

7.2.1 Визначення капітальних вкладень

У зв'язку з розробкою і оптимізацію процесу теплового режиму метоличної печі, позначеною як САР, проводиться заміна застарілого устаткування на сучасний програмно-технічний комплекс, який має значно більш високі технічні і експлуатаційні можливості, та впровадження нової інформаційно-модулюючої системи управління технологічними режимами.

До складу САР входять шафа управління (ШУ) на базі технічних засобів і ПЛК-управлінням, вартістю 75000 гривень за одиницю.

Сума капіталовкладень ($К_{ов}$) на устаткування без урахування ПДВ включає вартість придбаного устаткування ($В_{уст}$) та витрати на транспортні ($В_{тр}$ = 6%) і заготівельно-складські ($В_{зс}$ = 5%) операції у визначених відсотках від $В_{уст}$.

$$К_{об} = В_{уст} + В_{тр} + В_{зс}, \quad (7.1)$$

де $В_{уст} = В_{ШУ}$

$В_{ШУ} = 750000 \cdot 5 = 3750000$, грн.;

$К_{ов} = 3750000*(1+0,06+0,05) = 4162500$, грн.;

Додаткові капіталовкладення $К_{САР}$ на модернізацію САР складаються з таких витрат:

$$К_{САР} = К_{дм} + К_{об} + К_{м}, \quad (7.2)$$

де $К_{дм}$ – витрати на демонтаж існуючої апаратури ($К_{дм} = 0,05 \cdot К_{ов}$, грн.);

$К_{м}$ – витрати на монтаж нового устаткування ($К_{м} = 0,4 \cdot К_{ов}$, грн.).

$К_{дм} = 0,05 \cdot 4162500 = 208125$, грн.

$К_м = 0,4 \cdot 4162500 = 1665000$, грн.

$К_{САР} = 208125 + 166500 + 208125 = 582750$, грн.

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Визначення капітальних вкладень

Визначення капітальних вкладень	
Витрати на монтаж нового устаткування $К_м$	1665000 грн.
Сума капіталовкладень $К_{ов}$	4162500 грн.
Витрати на демонтаж існуючої апаратури $К_{дм}$	208125 грн.
Вартість придбаного устаткування $В_{уст}$	3750000 грн.
Додаткові капіталовкладення модернізацію САР $К_{САР}$	582750 грн.

7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати ($В_{САР}$), пов’язані з обслуговуванням нової САР складаються з річних витрат на:

– зарплату персоналу ($В_{зп}$);

– амортизацію нового обладнання ($В_а$);

– поточний ремонт нового обладнання ($В_р$);

– електричну енергію для живлення нового обладнання ($В_{ел}$);

– інші експлуатаційні витрати ($В_і$).

$$В_{САР} = В_{зп} + В_а + В_р + В_{ел} + В_{ін}. \quad (7.3)$$

7.2.3 Річні витрати на ЗП

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$В_{зп} = n \cdot ФОП, \quad (7.4)$$

де n – чисельність обслуговуючого персоналу (n = 25 роб.);

ФОП – середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори.

Розрахуємо сердньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори:

$$ФОП = Ф_{зп} \cdot К_{ін}, \quad (7.5)$$

де $К_{ін} = 1,1$

$Ф_{зп}$ – щорічна витрата на зарплату робітника з урахуванням нарахувань на ФОП, грн.

$$Ф_{зп} = 12 \cdot ЗП \cdot Н_{зп}, \quad (7.6)$$

де ЗП – середня місячна зарплата робітника (ЗП = 6500 грн.);

$Н_{зп}$ – нарахування на ФОП складають 20%.

Тоді:

$Ф_{зп} = 12 \cdot 6500 \cdot (1+0,2) = 93600$, грн.

$ФОП = 93600 \cdot 1,1 = 102960$, грн.

$В_{зп} = 25 \cdot 102960 = 2574000$, грн.

7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування ($В_а$) на реновацію придбаного устаткування на соціальні збори підприємства визначаються за виразом:

$$В_а = К_{САР} * Н_А /100, \quad (7.7)$$

де $Н_А$ – річна норма амортизації на реновацію ($Н_А = 24\%$);

$$В_а = 582750 \cdot 24/100 = 139860, грн.$$

7.2.5 Річні витрати на ремонт

Ці витрати обчислюють через коефіцієнт $К_р$ = 3% від загальної суми капіталовкладень.

$$В_р = К_р \cdot К_{САР}, \text{ грн.} \quad (7.8)$$

$В_р = 0,03 \cdot 139860 = 4196$, грн.

7.2.6 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САР визначаються так:

$$В_{ел} = Р_{ел} \cdot Т_ф \cdot К_з \cdot СВ^{од}_{ел}, \text{ грн.} \quad (7.9)$$

де $Р_{ел}$ – встановлена електрична потужність САР ($Р_{ел}$ = 3,5 кВт);

$Т_ф$ – фактичний термін роботи САР за рік ($Т_ф$ = 7800 год.);

$К_з$ – коефіцієнт для врахування реального споживання ($К_з$ = 0,8);

$СВ^{од}_{ел}$ – собівартість виробленого 1КВт · год ($СВ^{од}_{ел}$ = 90 коп.)

$В_{ел} = 3,5 \cdot 7800 \cdot 0,8 \cdot 0,90 = 19656$ грн.

7.2.7 Інші витрати

Інші витрати визначаються так:

$$В_{ін} = 0,25 \cdot (В_а + В_{зп} + В_р) \quad (7.10)$$

$В_{ін} = 0,25 \cdot (139860 + 2574000 + 4196) = 679514$ грн.

Підставляючи отримані значення маємо загальну суму річних експлуатаційних витрат ($В_{САР}$, грн.):

$В_{САР} = 2574000 + 139860 + 4196 + 19656 + 679514 = 3417226$ грн.

Дані по розрахунку зведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Розрахунок річних експлуатаційних витрат	
Зарплата персонала $В_{зп}$	2574000 грн.
Амортизація нового обладнання $В_а$	139860 грн.
Поточний ремонт нового обладнання $В_р$	4196 грн.
Електричну енергію для живлення нового обладнання $В_{ел}$	19656 грн.
Інші експлуатаційні витрати $В_{ін}$	679514 грн.
Експлуатаційні витрати $В_{САР}$	3417226 грн.

7.2.8 Валова річна економія витрат

Валова річна економія витрат. Залежно від сутності інновації охоплює економію заробітної плати, економію матеріалів, економію умовно-постійних витрат.

а) економія заробітної плати – наявна за використання нового способу виконання робіт, який потребує менше часу, ніж старий:

$$E_{з.п.} = (р_1 - р_2) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot В_2, \qquad (7.11)$$

де $р_1$ і $р_2$ – розцінки на операцію відповідно до і після впровадження інновації;

Д і Н – відповідно відсоток додаткової заробітної плати і нарахувань на заробітну плату;

$В_2$ – річний обсяг випуску продукції після впровадження інновації.

$$E_{з.п.} = (25 - 15) \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right) \cdot 375600 = 5868750 \text{ грн.}$$

б) економія витрат матеріалів – розраховується у разі застосування дешевшого замінника (зміна ціни матеріалу) або нового способу оброблення матеріалу, завдяки чому зменшуються його питомі витрати:

$$Е_м = (Н_1 \cdot Ц_1 - Н_2 \cdot Ц_2) \cdot В_2, \quad (7.12)$$

де $Н_1$ і $Н_2$ – норми витрат матеріалів на одиницю продукції відповідно до і після впровадження інновації;

$Ц_1$ і $Ц_2$ – ціна одиниці матеріалу.

$$Е_м = (3{,}75 \cdot 25 - 3{,}50 \cdot 25) \cdot 375600 = 2347500 \text{ грн.}$$

Тоді умовно-річна економія витрат дорівнює:

$$ΔС = Е_{з.п.} + Е_м - В_{САР}, \quad (7.13)$$

$$ΔС = 5868750 + 2347500 - 3417226 = 4799024, \text{грн.}$$

Перевищення прогнозної економії над додатковими витратами свідчить про доцільність реалізації запропонованого інноваційного рішення.

7.2.9 Фактична економія витрат

Розраховується шляхом приведення умовно – річної економії до періоду використання інновації в даному році за формулою:

$$E_ф = \frac{ΔС \cdot n}{12} \quad (7.14)$$

де n – кількість місяців до кінця року з моменту впровадження інновації.

$$E_ф = \frac{4799024 \cdot 6}{12} = 2399512 \quad \text{грн.}$$

7.2.10 Річний економічний ефект

Визначається приведенням капітальних витрат до поточних протягом умовного року за формулою:

$$Е_{р.ек} = \Delta С - Е_н \cdot К_{САР}, \quad (7.15)$$

де $К_{САР}$ – додаткові капіталовкладення, пов'язані з реалізацією інновацій;

$Е_н$ – показник нормативної економічної ефективності, величина якого залежить від прийнятного для підприємства рівня віддачі від капіталовкладень (як правило, для устаткування достатнім є рівень 15%, тобто $Е_н = 0,7$).

$$Е_{р.ек} = 4799024 - 0,15 \cdot 582750 = 4711612 \text{ грн.}$$

Термін окупності ($Т_о$) через суму капіталовкладень ($К_{ов}$) визначається:

$$Т_о = К_{ов} *(1+\alpha_а + \alpha_р + \alpha_{зсв}) / Е_{р.ек}, \text{ років} \quad (7.16)$$

де $\alpha_а$ – додаткові нарахування на амортизацію ($\alpha_а = 0,14$);

$\alpha_р$ – додаткові нарахування на поточний ремонт ($\alpha_р = 0,01$);

$\alpha_{зсв}$ – доля загальностанційних витрат, визначена додатковими капіталовкладеннями ($\alpha_{зсв} = 0,20$).

$Т_о = 4162500 \cdot (1+0,14 + 0,01+0,20)/4711612 = 1,2$ років.

Термін окупності проекту 1,2 року, що свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання випускної кваліфікаційної магістерської роботи було детально проаналізовано об’єкт дослідження – трубчаста піч, пароперегрівач трубчастої печі та його основні складові. У роботі описано технологічний процес, контури управління та основні функціональні завдання системи автоматизації цього об’єкта.

Для мінімізації впливу людського фактора на роботу пароперегрівача та забезпечення стабільності процесу було запропоновано автоматизовану систему управління. Ця система вирішує завдання енергоефективного керування технологічними процесами пароперегріву.

У ході роботи було виконано такі завдання для оптимізації управління процесом:

1. Розроблено функціональну схему програмно-технічних засобів для автоматизації процесу пароперегріву.

2. Проведено дослідження моделі управління технологічним процесом пароперегріву.

3. Моделювання алгоритмів управління та перевірка можливостей налаштувань регуляторів для пароперегрівача підтвердили доцільність їх реалізації на сучасних програмно-технічних засобах автоматизації.

4. Впровадження гнучкого зворотного зв’язку в релейних регуляторах значно покращило якість регулювання параметрів пароперегріву.

5. Відпрацьовано методику налаштувань релейного регулятора з використанням методу фазової площини, що є ефективним для синтезу регуляторів нелінійних процесів.

6. Розроблено програму алгоритму регулятора на мові програмування FBD.

7. Спроєктовано SCADA-систему для автоматизованого управління пароперегрівачем та інтегровано до неї регулятор.

В роботі проаналізовано фактори енергоефективного управління процесом пароперегріву. Розроблено математичну модель процесу пароперегріву. Доведено доцільність використання релейних регуляторів для управління процесами пароперегріву. Розглянуто перспективи впровадження дослідженого регулятора. Показано ефективність використання гнучкого зворотного зв’язку в релейних регуляторах для процесів із затримкою у часі та великими сталими часу.

В розділі охорони праці подані рекомендації що до організації беспечної роботи персоналу і пожежної безпеки, що відповідають законодавству України.

В техніко-економічному розділі проведено розрахунок терміну окупності проекту, який склав 1,2 року. Це свідчить про ліквідність проєкту автоматизації трубчастої печі, тобто про можливість повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проєкту за, можливо, менший термін.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

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

2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII *Голос України*. 2022. 19 серпня. С. 10–22.

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

4. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. Вид. офіц. Київ, 1998. 18 с. (Інформація та документація).

5. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с. (Інформація та документація).

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

7. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с. (Інформація та документація).

8. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [На заміну глав 5.4 5.5 7.1 7.2 7.3 7.4 7.6 Правил устройства электроустановок, затв. Міненерго СРСР 06.07.1984 р. ; чинний від 2002-01-01]. К. : Мінпраці України, 2001. (Інформація та документація).

9. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. К. : МВС України, 2014. 91 с. (Інформація та документація).

10. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [На заміну НАОП 1.1.10-1.01-85 ; чинний з 1997-10-06]. К. : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Інформація та документація).

11. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний з 1998-01-09]. К. : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Інформація та документація).

12. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. (Інформація та документація).

13. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Інформація та документація).

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

15. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016]. К. : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Інформація та документація).

17. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Інформація та документація).

18. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Інформація та документація).

19. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01]. К. : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Інформація та документація).

20. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. (Інформація та документація).

21. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем: навч. посіб. Черкаси : Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

22. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: довідник / за заг. ред. Б. Б. Тимофеева ; уклад. Н. Г. Скрипаненко. Київ : Техника, 2003. 351 с.

23. Ананьєв В. П. Синтез і налагодження квазіоптимальних систем підпорядкованого регулювання в металургії: навч. посіб. Київ : Просвіта, 2007. 344 с.

24. Анзимиров Л. В. SCADA TRACE MODE – нові технології для сучасних АСУТП : навч. посіб. Київ : *Автоматизація в промисловості*, 2007. 113 с.

25. Арбузов В. В., Лакиза А. М., Войцицкий В. В., Недельчев П. А., Литвиненко И. А. Створення інтегрованої розподіленої АСУТП енергопостачальної компанії із застосуванням системи TRACE MODE : стаття. Київ : *Промислові АСУ і контролери, № 7*, 2005. 45 с.

26. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: http://wikipage.com.ua/1x400f.html (дата звернення: 13.11.2023).

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

28. Барішенко О. М. Розробка і дослідження методів і пристроїв теплової обробки сталі в термічних печах з метою енергозбереження : автореф. дис... канд. техн. наук : 05.14.06 / О. М. Барішенко; Дніпродзержин. держ. техн. ун-т. – Дніпродзержинськ, 2008. – 19 с.

29. Кустов К. І., Шершевер М. А. Автоматичне регулювання і регулятори. Київ, Металургія, 2007. 180 с.

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

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

32. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Метод.вказівки до вик. курс. проекту для студ. спец. 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» ден. та заоч. форм навчання : уклад.: К. С. Архангельська, О. Й. Рішан. Київ : НУХТ, 2005. 223 с.

33. Методичні вказівки до практичних занять з кредитного модуля «Електричні системи керування» навчальної дисципліни «Технічні засоби автоматизації – 2» для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» по спеціалізації «Автоматизація хімікотехнологічних процесів і виробництв» : укладач В. М. Ковалевський, Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. 60 с.

34. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності 151

«Автоматизація так комп’ютерно-інтегровані технології» : уклад. А. М. Ніколаєнко. Запоріжжя: ЗДІА, 2016. 34 с.

35. Мочалін В. Н., Кочнев Н. В. Моделювання та дослідження систем автоматичного управління з використанням ПЕОМ: навч. посіб. Київ : КГІІ, 2005. 178 с.

36. Основи охорони праці: підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. укладен. К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз’яков, Л. О. Мітюк. за ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. Київ : Основа, 2006. 448 с.

37. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР: метод. вказівки до практичних занять для студ. напряму 0925 «Автоматизація і комп’ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч. уклад.: В. Г. Трегуб. Київ : НУХТ, 2008. 67 с.

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

39. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html (дата звернення: 15.11.2023).

40. Ревун М. П. Енергозберігаючі технології нагріву високолегованих та спеціальних сталей : монографія / М. П. Ревун, С. В. Башлій, О. І. Чепрасов, О. М. Барішенко, О. П. Лютий; Запоріз. держ. інж. акад. – Запоріжжя, 2011. 182 с.

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

42. Сідлецький В. М., Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації : методичні рекомендації до виконання курсового проекту

для студентів напряму 6.050202 «Автоматизація та комп’ютерно – інтегровані технології» денної та заочної форм навчання : Київ, 2013. 46 с.

43. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації: навч. посібник. Київ : НМК ВО, 2015. 80 с.

44. Пічне обладнання у хімічних та нафтопереробних процесах: навч. посіб. / А.Р. Степанюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 172 с.

45. Голодний, О.С. Заєць. С.С. Термічна обробка вуглецевих сталей: *XI всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування».* – Київ :КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 98 с.

46. Закономірності процесу високотемпературного оброблення сипучих вуглецевих матеріалів в електричних печах: монографія / Т. В. Лазарєв, А. Я. Карвацький, Є. М. Панов та ін. – Київ: *НТУУ «КПІ»,* 2016. 154 с.

47. Оптимізація систем теплопостачання із використанням економіко-математичного моделювання: монографія / за заг. ред. О. М. Гаврися. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. 209 с.

48. Комп'ютерне моделювання теплових і електричних процесів в електрокальцинаторі / В.І. Лакомський, А.М. Пальті, Д.Д. Юрченко // *Сучасна електрометалургія. № 2 (103).* 2011. 90 с.

49. Юськів А.С. Розробка в Scada-системі імітаційної моделі введення в цементну піч додаткового палива, виробленого з побутових відходів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського.* Серія: технічні науки. Том 29(68). Ч. 2. № 5. 2018. С. 94–99. URL : http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/5_2018/ part_2/19.pdf (дата звернення: 16.09.2024).