

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Шосткинський інститут

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Георгій Худолей
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,
(код та назва)

освітньо-професійної програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної / освітньо-наукової) ((назва програми)
та робототехніка»

на тему: Система управління пичню напівкоксування із зовнішнім обігрівом

Здобувача (ки) групи СУЗ-01 Шестериков Павло Олександрович
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

_____ (підпис)

_____ (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник _____ викладач, к.т.н. _____ Андрусенко О.О. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант¹⁾ _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Шостка – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри системотехніки та
інформаційних технологій

_____ Г. М. Худолей
« 16 » квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на бакалаврську роботу

студент Шестериков Павло Олександрович

1. Тема проекту Система управління піччю напівкоксування із зовнішнім обігрівом

Затверджено наказом директора інституту
№ 24-ОД від « 15 » квітня 2024 р.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи «17» червня 2024 р.

3. Вихідні дані до виконання роботи:

__ - завдання кафедри _____

4. Зміст пояснювальної записки:

4.1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління.

4.2 Вибір каналів управління, сигналізації та блокування.

4.3 Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту та алгоритмів управління.

4.4 Розрахункова частина.

5. Перелік графічних матеріалів:

5.1. Функціональна схема автоматизації.

7. Календарний план:

№ етапу	Зміст етапу роботи	Строк виконання (початок-кінець)
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз джерел інформації. Відбір аналогів та прототипів Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта керування.	24.04.2024 - 29.04.2024
2	Вибір каналів управління, сигналізації та блокування. Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту, вибір алгоритмів управління. Схема автоматизації функціональна. Схеми електричні сигналізації.	30.04.2024 - 06.05.2024
3	Виконання розрахункової частини.	07.05.2024- 11.05.2024
4	Технічне оформлення роботи. Здача роботи керівнику.	12.05.2024 - 15.06.2024

8. Дата видачі завдання 17 квітня 2024 року.

Керівник роботи _____ викладач, к.т.н. _____ Андрусенко О.О.
вчені ступень та звання, посада Підпис Прізвище І.П.

Завдання до виконання прийняв:

Студент групи СУз - 01ш _____ Шестериков П.О.
Підпис Прізвище І.П.

РЕФЕРАТ

Шестериков Павло Олександрович. Система управління піччю напівкоксування із зовнішнім обігрівом. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2024 рік.

Бакалаврська робота містить 56 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 32 рисунків, 4 таблиць; 1 креслення.

У даній роботі представлено процес розробки системи управління піччю напівкоксування із зовнішнім обігрівом. Автоматизація спрощує участь людини в технологічному процесі, забезпечуючи високу адаптивність системи до можливих збурень, які виникають під час експлуатації обладнання. Розроблена система керування дозволяє ефективно управляти великими та потужними агрегатами виробництва, зменшуючи необхідність ручної праці до мінімуму та зосереджуючи зусилля на точному налаштуванні та регулюванні автоматизованих пристроїв контролю.

Ключові слова: піч полукоксування, технологічний процес, системи управління, програмовані мікропроцесорні контролери, алгоритми управління, регулювання параметрів.

ABSTRACT

Pavel Aleksandrovich Shesterikov. Control system of a semi-coking furnace with external heating. Bachelor's thesis. Shostka Institute of Sumy State University. Shostka, 2024.

The bachelor's thesis contains 56 pages of explanatory note, including 32 figures, 4 tables; 1 drawing.

This paper presents the process of developing a control system for an externally heated semi-coking furnace. Automation simplifies human participation in the technological process, providing high adaptability of the system to possible disturbances that arise during equipment operation. The developed control system makes it possible to effectively manage large and powerful production units, reducing the need for manual labor to a minimum and focusing efforts on fine-tuning and adjusting automated control devices.

Keywords: semi-coking furnace, technological process, control systems, programmable microprocessor controllers, control algorithms, parameter adjustment.

ЗМІСТ

<u>Список скорочень та умовних позначень</u>	<u>3</u>
<u>Вступ</u>	<u>4</u>
<u>1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації</u>	<u>6</u>
<u>2 Аналіз параметрів технологічного процесу</u>	<u>9</u>
<u>3 Вибір каналів контролю та управління</u>	<u>10</u>
<u>4 Вибір засобів автоматизації</u>	<u>15</u>
<u>5 Розрахункова частина</u>	<u>33</u>
<u>6 Алгоритм роботи системи управління</u>	<u>50</u>
<u>7 Розробка АСУТП та структурної схеми</u>	<u>54</u>
<u>Висновок</u>	<u>60</u>
<u>Список використаних джерел</u>	<u>61</u>

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ВО – виконуючий орган

ВМ – виконуючий механізм

КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика

МУ – мета управління

ОУ – об'єкт управління

П-регулятор – пропорційний регулятор

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор

ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор

ПЗ – програмне забезпечення

ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктом

ПЛК – програмований логічний контролер

ПК – персональний комп'ютер

ППП – пристрій плавного пуску

ПТК – програмно-технічний комплекс

ПЧ – перетворювач частоти

ПУ – пристрій управління

РКІ – рідкокристалічний індикатор

РО – робочий орган

САПР – система автоматизованого проектування

САР – система автоматичного регулювання

САУ – система автоматичного управління

ТО – термперетворювач опору

ТП – технологічний процес

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

ЦД – цифровий дисплей

ЦП – центральний процесор

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

ВСТУП

Сучасна промисловість вимагає використання високоефективних систем управління технологічними процесами, що забезпечують високу якість продукції, зниження енергетичних витрат і підвищення рівня безпеки виробництва. Одним із важливих технологічних процесів в галузі переробки вуглецевих матеріалів є напівкоксування, яке дозволяє отримувати продукти, що знаходять широке застосування в хімічній, металургійній та енергетичній промисловості.

Напівкоксування вугілля – це процес термічної переробки вуглецевих матеріалів при температурі 500-700°C без доступу повітря, який супроводжується виділенням летких компонентів та утворенням твердого напівкоксу. Цей процес є складним і вимагає точної регуляції температурних умов, що забезпечується системами управління піччю з зовнішнім обігрівом.

Піч напівкоксування з зовнішнім обігрівом є одним з ключових елементів технологічної схеми переробки вуглецю. Від її конструктивних особливостей, а також від точності та надійності систем управління, значною мірою залежить ефективність всього процесу напівкоксування.

Метою даної кваліфікаційної бакалаврської роботи є розробка системи управління піччю напівкоксування із зовнішнім обігрівом. Зокрема, буде здійснено аналіз конструктивно-технологічних особливостей об'єкта управління, вибір каналів управління, сигналізації та блокування, розробка сучасних засобів автоматизації, а також виконано необхідні розрахунки для забезпечення ефективного та безпечного функціонування системи.

Основні завдання роботи включають:

1. Аналіз конструктивно-технологічних характеристик печі напівкоксування.
2. Вибір оптимальних каналів управління, сигналізації та блокування для забезпечення надійної та ефективної роботи печі.
3. Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту, а також алгоритмів управління процесом напівкоксування.
4. Виконання розрахунків, необхідних для проектування системи управління піччю.

Реалізація цих завдань дозволить підвищити ефективність процесу напівкоксування, забезпечити високу якість продукції та безпеку технологічного процесу, що є важливими аспектами для сучасної промисловості.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ.

Напівкоксування – це термічний процес обробки твердих палив (вугілля, торфу, сланців) при температурі 500-700°C у відсутності повітря, що призводить до утворення твердого залишку (напівкоксу), рідких продуктів (смоли) та газоподібних продуктів (піролізного газу). Цей процес дозволяє отримати цінні хімічні продукти та енергоносії.

На відміну від процесу коксування напівкоксування проводиться при температурах, що не перевищують 600 °C [1]. Напівкоксування піддають різноманітні види палив, що містять багато летких компонентів - молоде кам'яне і буре вугілля, богхеда, горючі сланці. В результаті цього процесу виходить напівкокс, газ напівкоксування, органічні летючі продукти (первинний дьоготь та газовий бензин) та водний дистилат.

Продукти напівкоксування зводяться первинними продуктами, так як виходять при більш слабкому тепловому впливі, в результаті первинного розкладання палива. Всі продукти напівкоксування відрізняються від продуктів коксування меншою мірою розкладання органічної маси палива. Так, напівкокс містить більше летючих речовин (близько 10%), менш міцний і більш реакційноздатний (краще спалахує), ніж кокс. Первинний дьоготь, при перегонці якого виходять продукти, подібні до бензину і гасу, відрізняється від смоли, що отримується при коксуванні, меншою щільністю (близько 1 г/см³ і нижче) і майже не містить ароматичних вуглеводнів, особливо вищих. Найчастіше первинний дьоготь містить також підвищену кількість фенолів (до 20% і більше), переважно висококиплячих. Газ напівкоксування містить менше водню (20% H₂), ніж коксовий газ (~57% H₂), але більше вуглеводнів і ненасичених сполук, і відрізняється підвищеною теплотворною здатністю (8000-9000 ккал/м³ коксовий газ-5000 ккал /м³). Питомий вихід газу напівкоксування (на 1 т вугілля) втричі менше, ніж коксового газу.

Водний конденсат є відходом процесу напівкоксування. Він майже не містить аміаку і має кислу реакцію через те, що в ньому розчинені феноли.

Напівкоксування використовувалося ще у XVIII ст., тобто раніше процесів виробництва світільного газу та коксування. Напівкоксування проводилося для отримання освітлювальних масел та бездимного палива для домашніх вогнищ. В даний час напівкоксування зберігає значення в країнах, багатих на вугілля з великим вмістом летких речовин, але бідних на нафту (наприклад в Англії, де напівкокс використовують у камінах). Напівкоксування застосовується і як спосіб первинної підготовки вугілля до подальшого використання, наприклад, для відокремлення від вугілля цінних летких речовин перед його спалюванням.

Як і перегонку торфу, напівкоксування вугілля можна вести в печах із внутрішнім та зовнішнім обігрівом (рис 1.1).

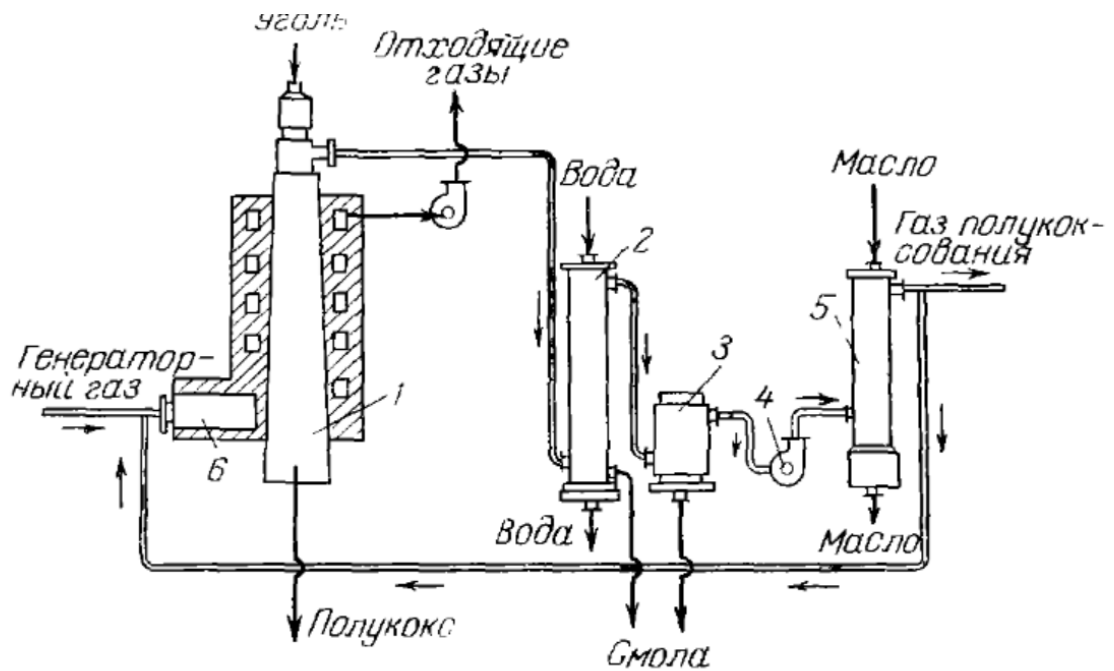


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу напівкоксовання.

Піччю напівкоксовання із зовнішнім обігрівом являється реторта, обмурована зовні вогнетривкою кладкою з пальними каналами. По них циркулюють гарячі гази, що утворюються при спалюванні палива (наприклад, газу напівкоксовання) у топці. Гази нагрівають стінки реторти та відсмоктуються вентилятором у трубу. Вугілля завантажують у піч зверху, готовий напівкокс вивантажується знизу. Тривалість періоду напівкоксовання залежить від товщини шару вугілля, що завантажуються, і коливається від декількох годин до 15—20 хв. Летучі продукти напівкоксовання видаляються екстаустером через холодильник у смоловідділювач. Суміш легких вуглеводнів, що не конденсуються разом зі смолою, надходить далі в скруббер для уловлювання газового бензину. Частина газу напівкоксовання витрачається на обігрів реторти, для цього може бути використаний генераторний газ, отриманий газифікацією частини напівкоксу або іншого твердого палива.

Піч напівкоксовання із зовнішнім обігрівом складається з наступних основних компонентів:

Реактор (піч) – основний елемент, де здійснюється термічна обробка вихідної сировини.

Система зовнішнього обігріву – забезпечує підтримку необхідної температури у реакторі. Зазвичай складається з пальників, що працюють на газоподібному або рідкому паливі, або електронагрівачів.

Система завантаження сировини – забезпечує безперервне або періодичне подавання вихідної сировини до реактора.

Система вивантаження напівкоксу – забезпечує видалення твердого залишку з реактора після завершення процесу напівкоксовання.

Система збору та охолодження газоподібних продуктів – включає конденсатори, охолоджувачі та збірники для смол і піролізного газу.

Система управління та автоматизації – забезпечує контроль і регулювання всіх параметрів процесу, таких як температура, тиск, швидкість завантаження та вивантаження.

Процес напівкоксування складається з кількох основних етапів:

Підготовка сировини – включає подрібнення, сушіння та сортування вихідної сировини для забезпечення її однорідності.

Завантаження сировини у реактор – сировина подається у піч через систему завантаження.

Нагрівання та обробка сировини – сировина піддається термічній обробці у реакторі при температурі 500-700°C. Система зовнішнього обігріву забезпечує підтримку необхідної температури.

Виділення продуктів напівкоксування – під час нагрівання сировина розкладається на напівкокс, смоли та піролізний газ.

Збирання та охолодження продуктів – напівкокс видаляється з реактора і охолоджується, а газоподібні продукти конденсуються та розділяються на рідкі і газоподібні фракції.

Вивантаження напівкоксу – після завершення процесу напівкокс вивантажується з реактора.

Основні параметри, що впливають на процес напівкоксування:

Температура – визначає швидкість та глибину розкладу сировини. Занадто висока температура може призвести до утворення небажаних продуктів, а занадто низька – до неповного розкладу.

Тиск – впливає на швидкість випаровування та конденсації продуктів.

Швидкість завантаження та вивантаження сировини – визначає тривалість перебування сировини у реакторі.

Склад вихідної сировини – різні види твердих палив мають різні властивості та потребують різних умов обробки.

Процес напівкоксування є важливим технологічним процесом у переробці вуглецевих матеріалів. Напівкоксування вугілля дозволяє отримувати різноманітні продукти, які мають широке застосування в хімічній, металургійній та енергетичній промисловості. Напівкоксування відбувається при температурі 500-700°C без доступу повітря, що супроводжується виділенням летких компонентів і утворенням твердого напівкоксу.

Основні етапи технологічного процесу напівкоксування:

1. Підготовка сировини:

- Сировина, як правило, вугілля, попередньо очищається від домішок і подрібнюється до необхідного розміру для рівномірного нагрівання.
- Підготовлене вугілля подається в піч для напівкоксування.

2. Нагрівання:

- Вугілля завантажується у піч, де його нагрівають до температури 500-700°C. Нагрівання може здійснюватися зовнішніми джерелами тепла, такими як газові пальники або електричні нагрівальні елементи.
 - В процесі нагрівання відбувається розкладання органічних сполук, виділення летких речовин (метан, водень, аміак, водяна пара, тощо) і утворення твердого залишку – напівкоксу.
3. Виділення летких продуктів:
- Леткі продукти, що виділяються під час нагрівання, відводяться з печі і піддаються подальшому очищенню та охолодженню.
 - Леткі продукти можуть містити різноманітні гази та рідини, які збираються і переробляються для подальшого використання у виробництві.
4. Охолодження напівкоксу:
- Після завершення процесу нагрівання та виділення летких продуктів, напівкокс охолоджується для запобігання його подальшого розкладання.
 - Охолоджений напівкокс вивантажується з печі і готовий до подальшого використання.
5. Збір та утилізація побічних продуктів:
- Під час напівкоксування утворюється значна кількість побічних продуктів, які можуть бути використані у різних галузях промисловості. Наприклад, гази можуть бути використані як паливо, а рідкі продукти – як сировина для хімічної промисловості.

Розглянемо технологічну схему процесу напівкоксування як об'єкт управління.

Складемо схему матеріально-енергетичних потоків (рис 1.2).

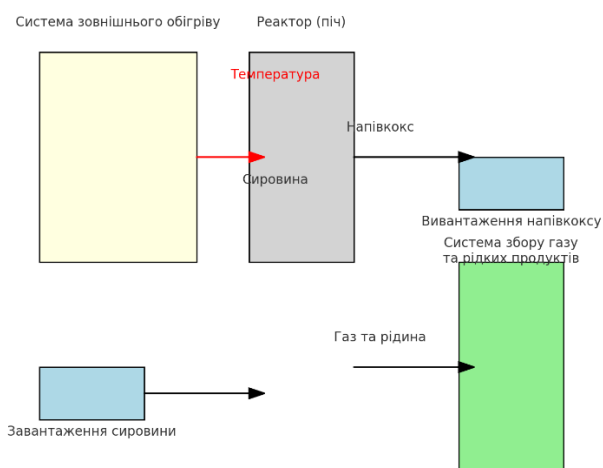


Рисунок 1.2 –Схема матеріально-енергетичних потоків процесу напівкоксування.

Аналізуючи створену схему, де відображені основні компоненти та їх взаємодія, виявляємо основні об'єкти управління і їх вхідні-вихідні речовини.

Реактор (піч): центральний елемент, де відбувається термічна обробка сировини.

Система зовнішнього обігріву: забезпечує необхідну температуру для процесу напівкоксування.

Завантаження сировини: подача вихідної сировини до реактора.

Вивантаження напівкоксу: видалення твердого залишку після завершення процесу.

Система збору газу та рідких продуктів: охолодження та конденсація газоподібних продуктів з подальшим розподілом на рідкі і газоподібні фракції.

Основні параметри контролю та управління включають:

Температура в реакторі, яка забезпечується системою зовнішнього обігріву.

Контроль подачі сировини до реактора.

Контроль вивантаження напівкоксу для забезпечення безперервності процесу.

Контроль параметрів збору газу та рідких продуктів для забезпечення їх оптимальної якості.

Занесемо всі адін аналізу у таблицю 1.1:

Таблиця 1.1 – Перелік параметрів технологічного процесу

Параметр	Позиція технологічної схеми	Функція	Відхилення	Значення	
				Min	Max
Температура	Реторта	Контроль, управління, сигналізація	5%	480 °C	520 °C
Температура	Хородильник	Контроль, управління, сигналізація	5%	40 °C	60 °C
Розрідження	Топка	Контроль, управління, сигналізація	5%	1мм.вод.ст	3мм.вод.ст
Перепад тиску	Вентилятор 2	Контроль, управління, сигналізація	5%	0,18кгс/см ²	0,22кгс/см ²
Рівень	Скрубер	Контроль, управління, сигналізація	5%	1800мм	2200мм

2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ.

Спираючись на конструктивно-технологічний аналізу об'єкту керування і таблицю параметрів технологічного процесу (розроблену в попередньому пункті), визначено канали регулювання, контролю та управління.

2.1 Канали контролю і управління

2.1.1 Температура в реторті

Для забезпечення правильного протікання реакції видобутку газу під час напівкоксування необхідно підтримувати стабільну температуру в реторті. Цей процес досягається за допомогою контуру регулювання температури, який забезпечує безперервний контроль і регулювання температури в системі. Розглянемо детальніше всі елементи цього контуру і їх взаємодію.

Основні елементи контуру регулювання температури

1. Датчики температури (термопари або терморезистори):
 - Функція: Вимірюють поточну температуру всередині реторти.
 - Розташування: Встановлюються у різних точках реторти для забезпечення точного вимірювання температурного профілю.
 - Особливості: Датчики повинні бути здатні витримувати високі температури і агресивні умови середовища.
2. Контролер температури:
 - Функція: Обробляє сигнали від датчиків температури і визначає, чи потрібно коригувати подачу тепла.
 - Робота: Використовує алгоритми управління, такі як ПІД-регулятор, для розрахунку необхідного керуючого сигналу.
 - Компоненти: Містить процесор, програмне забезпечення для управління та інтерфейси для підключення датчиків та актуаторів.
3. Система зовнішнього обігріву:
 - Функція: Забезпечує подачу тепла до реторти.
 - Склад: Може включати пальники на газоподібному або рідкому паливі, електронагрівачі та інші нагрівальні елементи.
 - Регулювання: Керується контролером, який визначає інтенсивність нагріву на основі температурних вимірювань.
4. Актуатори:
 - Функція: Виконують команди контролера для зміни подачі тепла.
 - Типи: Включають електромагнітні клапани для регулювання подачі палива до пальників або регулятори потужності для електронагрівачів.
5. Система управління та моніторингу:

- Функція: Забезпечує інтерфейс для оператора для налаштування уставок, моніторингу поточних параметрів та стану системи.
- Склад: Включає панелі управління, комп'ютери з відповідним програмним забезпеченням, дисплеї для візуалізації даних.

Принцип роботи контуру регулювання температури

1. Вимірювання температури:
 - Датчики температури постійно вимірюють температуру всередині реторти. Вони можуть бути розташовані у різних точках для забезпечення точного контролю температурного профілю.
2. Передача даних до контролера:
 - Датчики передають отримані дані до контролера температури через кабелі або бездротовий зв'язок.
3. Аналіз даних контролером:
 - Контролер порівнює виміряну температуру з уставкою (заданим значенням температури). Якщо виміряна температура відрізняється від уставки, контролер обчислює відхилення.
4. Розрахунок керуючого сигналу:
 - Контролер використовує ПІД-регулятор або інший алгоритм управління для розрахунку керуючого сигналу на основі відхилення. ПІД-регулятор обчислює пропорційну, інтегральну і диференціальну компоненти керуючого сигналу, щоб забезпечити точне і стабільне регулювання температури.
5. Видача керуючого сигналу актуаторам:
 - Контролер передає керуючий сигнал актуаторам. Актуатори змінюють подачу тепла до реторти, зміни подачі палива до пальників.
6. Зміна подачі тепла:
 - Актуатори змінюють інтенсивність нагріву відповідно до команд контролера. Це може включати збільшення або зменшення подачі палива до пальників.
7. Зворотний зв'язок:
 - Після зміни подачі тепла нове значення температури вимірюється датчиками, і цикл повторюється. Цей зворотний зв'язок забезпечує постійне підтримання температури в реторті на заданому рівні.

Контур регулювання температури в реторті зображено на рисунку 2.

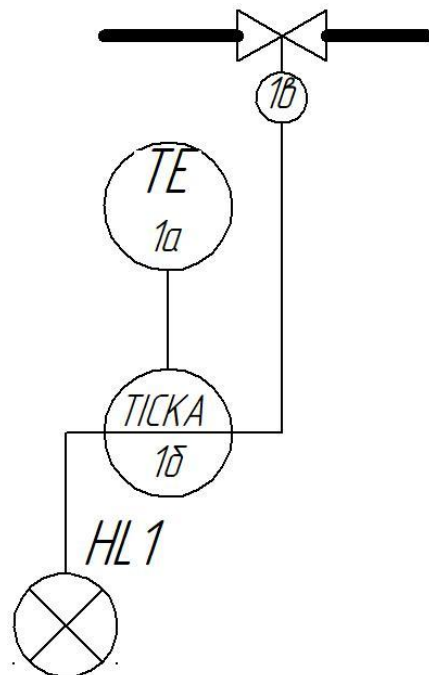


Рисунок 2.1 – Контур регулювання температури в реторті

Контур регулювання температури є критично важливим для забезпечення стабільного та ефективного процесу напівкоксування. Він включає датчики, контролер, систему обігріву, актуатори та систему управління, які працюють разом для підтримки оптимальної температури в реторті, що гарантує правильний хід хімічних реакцій і високу якість отриманих продуктів. Завдяки зворотному зв'язку та постійному моніторингу, цей контур забезпечує надійне управління температурою в реальному часі.

3.1.2 Температура в холодильнику

Для охолодження отриманого газу після процесу напівкоксування необхідно підтримувати стабільну і задану температуру в холодильнику. Це досягається за допомогою системи регулювання температури, яка забезпечує контроль та підтримку оптимальних умов для конденсації газоподібних продуктів.

Основні елементи контуру регулювання температури в холодильнику

1. Датчики температури (термопари або терморезистори):
 - Функція: Вимірюють поточну температуру всередині холодильника.
 - Розташування: Встановлюються у ключових точках холодильника для точного контролю температури.
2. Контролер температури:
 - Функція: Обробляє сигнали від датчиків температури і визначає, чи потрібно коригувати охолодження.
 - Робота: Використовує алгоритми управління, такі як ПІД-регулятор, для розрахунку керуючого сигналу.
 - Компоненти: Містить процесор, програмне забезпечення для управління та інтерфейси для підключення датчиків і актуаторів.

3. Система охолодження:

- Функція: Забезпечує відведення тепла з холодильника.
- Склад: Може включати холодильні агрегати, теплообмінники, вентилятори, циркуляційні насоси для охолоджувальної рідини.
- Регулювання: Керується контролером, який визначає інтенсивність охолодження на основі температурних вимірювань.

4. Актуатори:

- Функція: Виконують команди контролера для зміни інтенсивності охолодження.
- Типи: Включають клапани для регулювання потоку охолоджувальної рідини, регулятори швидкості вентиляторів, компресори холодильних агрегатів.

5. Система управління та моніторингу:

- Функція: Забезпечує інтерфейс для оператора для налаштування уставок, моніторингу поточних параметрів та стану системи.
- Склад: Включає панелі управління, комп'ютери з відповідним програмним забезпеченням, дисплеї для візуалізації даних.

Принцип роботи контуру регулювання температури

1. Вимірювання температури:

- Датчики температури постійно вимірюють температуру всередині холодильника. Вони можуть бути розташовані у різних точках для забезпечення точного контролю температурного профілю.

2. Передача даних до контролера:

- Датчики передають отримані дані до контролера температури через кабелі або бездротовий зв'язок.

3. Аналіз даних контролером:

- Контролер порівнює виміряну температуру з уставкою (заданим значенням температури). Якщо виміряна температура відрізняється від уставки, контролер обчислює відхилення.

4. Розрахунок керуючого сигналу:

- Контролер використовує ПД-регулятор або інший алгоритм управління для розрахунку керуючого сигналу на основі відхилення. ПД-регулятор обчислює пропорційну, інтегральну і диференціальну компоненти керуючого сигналу, щоб забезпечити точне і стабільне регулювання температури.

5. Видача керуючого сигналу актуаторам:

- Контролер передає керуючий сигнал актуаторам. Актуатори змінюють інтенсивність охолодження в холодильнику, наприклад, шляхом регулювання потоку охолоджувальної рідини або зміни швидкості вентиляторів.

6. Зміна інтенсивності охолодження:

- Актуатори змінюють потужність охолодження відповідно до команд контролера. Це може включати збільшення або зменшення подачі охолоджувальної рідини, зміни в роботі вентиляторів або компресорів.

7. Зворотний зв'язок:

- Після зміни інтенсивності охолодження нове значення температури вимірюється датчиками, і цикл повторюється. Цей зворотний зв'язок забезпечує постійне підтримання температури в холодильнику на заданому рівні.

Контур регулювання температури в холодильнику зображено на рисунку 2.2.

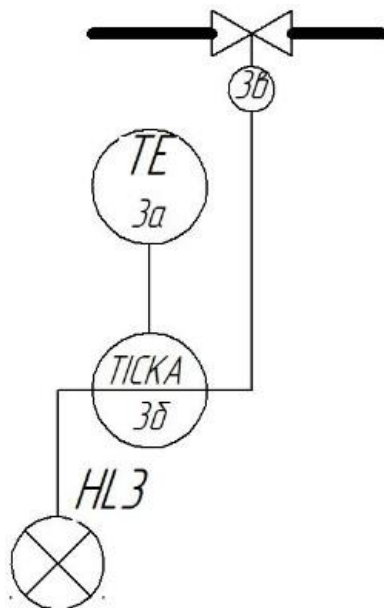


Рисунок 2.2 – Контур регулювання температури в холодильнику

Контур регулювання температури в холодильнику для охолодження газу є критично важливим для забезпечення стабільного і ефективного процесу конденсації. Він включає датчики, контролер, систему охолодження, актуатори та систему управління, які працюють разом для підтримки оптимальної температури в холодильнику. Завдяки зворотному зв'язку та постійному моніторингу, цей контур забезпечує надійне управління температурою в реальному часі, що гарантує високу якість отриманих продуктів та ефективність процесу охолодження.

3.1.3 Розрідження в топці

Для покращення процесу згоряння газу необхідно контролювати та регулювати розрідження в топці. Розрідження (вакуум) забезпечує оптимальні умови для згоряння, запобігає утворенню небезпечних продуктів згоряння та сприяє ефективному використанню палива. Для цього в топці встановлено датчик розрідження. Розглянемо детальніше всі елементи цього контуру і їх взаємодію.

Основні елементи контуру контролю та регулювання розрідження

1. Датчик розрідження:

- Функція: Вимірює поточний рівень розрідження в топці.

- Розташування: Встановлюється в топці, де необхідно контролювати розрідження.
 - Особливості: Повинен бути стійким до високих температур і агресивного середовища.
2. Контролер розрідження:
- Функція: Обробляє сигнали від датчика розрідження і визначає, чи потрібно коригувати роботу вентиляторів або клапанів.
 - Робота: Використовує алгоритми управління, такі як ПІД-регулятор, для розрахунку керуючого сигналу.
 - Компоненти: Містить процесор, програмне забезпечення для управління та інтерфейси для підключення датчиків і актуаторів.
3. Вентилятори або клапани:
- Функція: Регулюють подачу повітря або відведення димових газів для підтримки оптимального розрідження в топці.
 - Склад: Включають димососи, повітряні вентилятори, клапани регулювання тяги.
 - Регулювання: Керуються контролером, який визначає необхідні зміни на основі вимірювань датчика розрідження.
4. Актуатори:
- Функція: Виконують команди контролера для зміни роботи вентиляторів або клапанів.
 - Типи: Включають електромеханічні або пневматичні приводи для вентиляторів і клапанів.
5. Система управління та моніторингу:
- Функція: Забезпечує інтерфейс для оператора для налаштування уставок, моніторингу поточних параметрів та стану системи.
 - Склад: Включає панелі управління, комп'ютери з відповідним програмним забезпеченням, дисплеї для візуалізації даних.

Принцип роботи контуру регулювання розрідження

1. Вимірювання розрідження:
- Датчик розрідження постійно вимірює рівень вакууму в топці. Він передає ці дані до контролера.
2. Передача даних до контролера:
- Датчик розрідження передає отримані дані до контролера через кабелі або бездротовий зв'язок.
3. Аналіз даних контролером:

- Контролер порівнює вимірний рівень розрідження з уставкою (заданим значенням розрідження). Якщо вимірний рівень відрізняється від уставки, контролер обчислює відхилення.
4. Розрахунок керуючого сигналу:
 - Контролер використовує ПД-регулятор або інший алгоритм управління для розрахунку керуючого сигналу на основі відхилення. ПД-регулятор обчислює пропорційну, інтегральну і диференціальну компоненти керуючого сигналу, щоб забезпечити точне і стабільне регулювання розрідження.
 5. Видача керуючого сигналу актуаторам:
 - Контролер передає керуючий сигнал актуаторам. Актуатори змінюють роботу вентиляторів або клапанів, наприклад, шляхом зміни швидкості обертання вентиляторів або положення клапанів.
 6. Зміна параметрів розрідження:
 - Актуатори змінюють параметри розрідження відповідно до команд контролера. Це може включати збільшення або зменшення подачі повітря, зміну швидкості обертання вентиляторів або відкриття/закриття клапанів.
 7. Зворотний зв'язок:
 - Після зміни параметрів розрідження нове значення вимірюється датчиком, і цикл повторюється. Цей зворотний зв'язок забезпечує постійне підтримання розрідження в топці на заданому рівні.

Контур регулювання розрідження в топці зображено на рисунку 2.3:

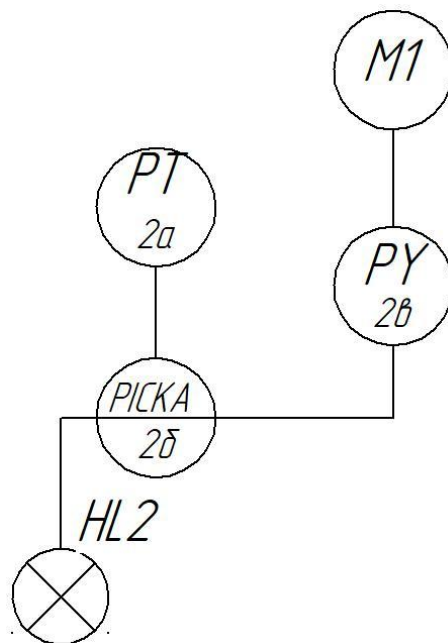


Рисунок 2.3 – Контур регулювання розрідження в топці

Контур регулювання розрідження в топці є важливою складовою для забезпечення оптимальних умов згоряння газу. Він включає датчик розрідження, контролер, вентилятори або

клапани, актуатори та систему управління, які працюють разом для підтримки заданого рівня розрідження. Завдяки зворотному зв'язку та постійному моніторингу, цей контур забезпечує надійне управління розрідженням у реальному часі, що гарантує ефективний і безпечний процес згоряння.

3.1.4 Перепад тиску на вентиляторі 2

Для підтримки постійної прокачки газу напівкоксування через систему необхідно підтримувати стабільний перепад тиску на вентиляторі. Це забезпечує ефективну роботу системи та оптимальні умови для подальших процесів. Для цього на вентиляторі встановлено датчик перепаду тиску.

Основні елементи контуру контролю та регулювання перепаду тиску

1. Датчик перепаду тиску:
 - Функція: Вимірює різницю тиску на вході та виході вентилятора.
 - Розташування: Встановлюється на вентиляторі для безперервного контролю перепаду тиску.
 - Особливості: Повинен бути точним та надійним для забезпечення коректних вимірювань.
2. Контролер перепаду тиску:
 - Функція: Обробляє сигнали від датчика перепаду тиску і визначає, чи потрібно коригувати роботу вентилятора.
 - Робота: Використовує алгоритми управління, такі як ПД-регулятор, для розрахунку керуючого сигналу.
 - Компоненти: Містить процесор, програмне забезпечення для управління та інтерфейси для підключення датчиків і актуаторів.
3. Вентилятор:
 - Функція: Забезпечує циркуляцію газу через систему, підтримуючи необхідний перепад тиску.
 - Регулювання: Керується контролером, який визначає необхідні зміни на основі вимірювань датчика перепаду тиску.
 - Склад: Може включати електродвигун, регулятори швидкості та інші механізми регулювання потужності.
4. Актуатори:
 - Функція: Виконують команди контролера для зміни роботи вентилятора.
 - Типи: Включають електромеханічні або пневматичні приводи для регулювання швидкості обертання вентилятора.
5. Система управління та моніторингу:

- Функція: Забезпечує інтерфейс для оператора для налаштування уставок, моніторингу поточних параметрів та стану системи.
- Склад: Включає панелі управління, комп'ютери з відповідним програмним забезпеченням, дисплеї для візуалізації даних.

Принцип роботи контуру регулювання перепаду тиску

1. Вимірювання перепаду тиску:

- Датчик перепаду тиску постійно вимірює різницю тиску на вході та виході вентилятора. Він передає ці дані до контролера.

2. Передача даних до контролера:

- Датчик перепаду тиску передає отримані дані до контролера через кабелі або бездротовий зв'язок.

3. Аналіз даних контролером:

- Контролер порівнює виміряний перепад тиску з уставкою (заданим значенням перепаду тиску). Якщо виміряний рівень відрізняється від уставки, контролер обчислює відхилення.

4. Розрахунок керуючого сигналу:

- Контролер використовує ПІД-регулятор або інший алгоритм управління для розрахунку керуючого сигналу на основі відхилення. ПІД-регулятор обчислює пропорційну, інтегральну і диференціальну компоненти керуючого сигналу, щоб забезпечити точне і стабільне регулювання перепаду тиску.

5. Видача керуючого сигналу актуаторам:

- Контролер передає керуючий сигнал актуаторам. Актуатори змінюють роботу вентилятора, наприклад, шляхом зміни швидкості обертання електродвигуна.

6. Зміна параметрів вентилятора:

- Актуатори змінюють параметри роботи вентилятора відповідно до команд контролера. Це може включати збільшення або зменшення швидкості обертання вентилятора для підтримання заданого перепаду тиску.

7. Зворотний зв'язок:

- Після зміни параметрів роботи вентилятора нове значення перепаду тиску вимірюється датчиком, і цикл повторюється. Цей зворотний зв'язок забезпечує постійне підтримання перепаду тиску на заданому рівні.

Контур регулювання перепаду тиску на вентиляторі 2 зображено на рисунку 2.4.

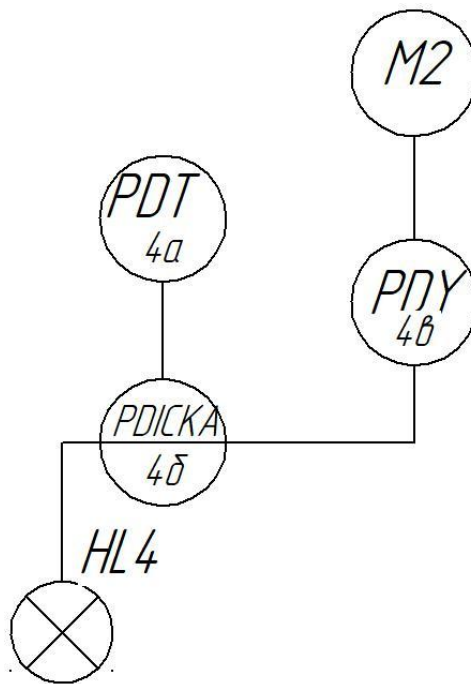


Рисунок 2.4 – Контур регулювання перепаду тиску на вентиляторі 2

Контур регулювання перепаду тиску на вентиляторі є важливою складовою для забезпечення стабільної прокачки газу через систему. Він включає датчик перепаду тиску, контролер, вентилятор, актуатори та систему управління, які працюють разом для підтримки заданого перепаду тиску. Завдяки зворотному зв'язку та постійному моніторингу, цей контур забезпечує надійне управління перепадом тиску в реальному часі, що гарантує ефективну та безпечну роботу системи.

3.1.5 Рівень мастила у скрубєрі

Для покращення процесу поглинання домішок з газів мастилом необхідно контролювати та регулювати рівень рідини в скрубєрі. Це забезпечує ефективну роботу системи очищення газів та оптимальні умови для процесу поглинання. Для цього в скрубєрі встановлено датчик рівня.

Основні елементи контуру контролю та регулювання рівня

1. Датчик рівня:

- Функція: Вимірює поточний рівень рідини в скрубєрі.
- Розташування: Встановлюється у скрубєрі для безперервного контролю рівня рідини.
- Типи: Може бути ультразвуковий, поплавковий, емнісний або радарний датчик залежно від вимог системи.

2. Контролер рівня:

- Функція: Обробляє сигнали від датчика рівня і визначає, чи потрібно коригувати подачу або відведення рідини.
- Робота: Використовує алгоритми управління, такі як ПІД-регулятор, для розрахунку керуючого сигналу.

- Компоненти: Містить процесор, програмне забезпечення для управління та інтерфейси для підключення датчиків і актуаторів.
3. Насоси або клапани:
 - Функція: Регулюють подачу або відведення рідини для підтримки оптимального рівня в скрубєрі.
 - Склад: Може включати насоси для подачі рідини, зливні клапани або регулювальні клапани для контролю рівня.
 - Регулювання: Керується контролером, який визначає необхідні зміни на основі вимірювань датчика рівня.
 4. Актуатори:
 - Функція: Виконують команди контролера для зміни подачі або відведення рідини.
 - Типи: Включають електромеханічні або пневматичні приводи для насосів і клапанів.
 5. Система управління та моніторингу:
 - Функція: Забезпечує інтерфейс для оператора для налаштування уставок, моніторингу поточних параметрів та стану системи.
 - Склад: Включає панелі управління, комп'ютери з відповідним програмним забезпеченням, дисплеї для візуалізації даних.

Принцип роботи контуру регулювання рівня

1. Вимірювання рівня рідини:
 - Датчик рівня постійно вимірює поточний рівень рідини в скрубєрі. Він передає ці дані до контролера.
2. Передача даних до контролера:
 - Датчик рівня передає отримані дані до контролера через кабелі або бездротовий зв'язок.
3. Аналіз даних контролером:
 - Контролер порівнює виміряний рівень рідини з уставкою (заданим значенням рівня). Якщо виміряний рівень відрізняється від уставки, контролер обчислює відхилення.
4. Розрахунок керуючого сигналу:
 - Контролер використовує ПІД-регулятор або інший алгоритм управління для розрахунку керуючого сигналу на основі відхилення. ПІД-регулятор обчислює пропорційну, інтегральну і диференціальну компоненти керуючого сигналу, щоб забезпечити точне і стабільне регулювання рівня рідини.
5. Видача керуючого сигналу актуаторам:

- Контролер передає керуючий сигнал актуаторам. Актуатори змінюють подачу або відведення рідини, наприклад, шляхом регулювання швидкості насосів або відкриття/закриття клапанів.
6. Зміна параметрів рівня рідини:
- Актуатори змінюють параметри подачі або відведення рідини відповідно до команд контролера. Це може включати збільшення або зменшення подачі рідини, зміну швидкості насосів або відкриття/закриття клапанів для підтримання заданого рівня.
7. Зворотний зв'язок:
- Після зміни параметрів рівня рідини нове значення вимірюється датчиком, і цикл повторюється. Цей зворотний зв'язок забезпечує постійне підтримання рівня рідини в скрубєрі на заданому рівні.

Контур регулювання рівня в скрубєрі зображено на рисунку 2.5.

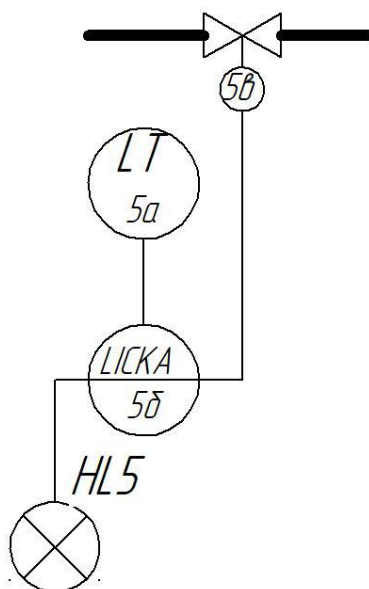


Рисунок 2.5 – Контур регулювання рівня в скрубєрі

Контур регулювання рівня в скрубєрі є важливою складовою для забезпечення ефективного процесу поглинання домішок з газів мастилом. Він включає датчик рівня, контролер, насоси або клапани, актуатори та систему управління, які працюють разом для підтримки заданого рівня рідини. Завдяки зворотному зв'язку та постійному моніторингу, цей контур забезпечує надійне управління рівнем рідини в реальному часі, що гарантує ефективність процесу очищення газів та стабільну роботу системи.

Після аналізу технічного процесу, його стадій і фізичних процесів можна приступати до розробки схем контролю, регулювання та управління. На цьому етапі ми створили систему, яка максимально ефективно відповідає управлінню виробничим процесом. Контролюючи різні параметри і забезпечуючи оптимальну роботу, ми гарантуємо стабільність і якість продукції.

Такий підхід дозволяє максимально ефективно використовувати ресурси і знижувати витрати, забезпечуючи при цьому високу якість продукції[8].

3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ТА АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ.

Щоб автоматизувати процеси що відбуваються в пічі напівкоксовання обрано централізовану систему управління. Всі прилади отримання, фіксації, реєстрації інформації, технічні засоби автоматизації, прилади управління, сигналізації, захисту та блокування обиратимемо виходячи з використання саме централізованої системи управління.

Оскільки процеси, що відбуваються в в пічі напівкоксовання відносяться до хімічної промисловості, основними критеріями відбору є точність, швидкодія, надійність, стійкість до агресивних середовищ, уніфікованість.

Також врахуємо вимоги до мінімізації. Тобто мінімальна кількість технічних засобів автоматизації має забезпечувати номінальний безаварійний режим роботи всього обладнання.

3.1 Вибір датчиків

З визначених основних параметрів технологічного процесу та побудованих контурів регулювання, констатуємо факт, що нам знадобляться датчики тиску, температури та рівня.

3.1.1 Вибір датчиків температури

На сьогоднішній день існує велике різномаяття датчиків температури. В промисловості широкого застосування набули термоперетворювачі, пірометричні термометри.

Враховуючи специфіку технологічного процесу, обиратимемо між термоперетворювачів.

Термоперетворювач ТХК-2788

Цей датчик температури призначений для вимірювання температур твердих тіл, рідких і газоподібних середовищ.

Технічні характеристики ТХК-2788:

- Матеріали: хромель-алюмель.
- Діапазон вимірювання температури: $-40 \div +200$ °С.
- Показник теплової інерції: не більше 8 с.
- Тиск вимірюваного середовища: $0 \div 0,6$ МПа.
- Похибка: не більше 0,5% на кожні 10 °С.

Зовнішній вигляд термоелектричного перетворювача ТХК-2788 показано на рисунку 14
нижче::



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд датчика температури ТХК-2788

Термоперетворювач ТСМ101

Датчики температури цієї групи здатні безперервно вимірювати температуру середовищ будь-якого агрегатного стану: рідина, газ, тверді тіла тощо.

Технічні характеристики ТСМ101:

- Чутливий елемент: 100М.
- Діапазон вимірювання температури: $-40 \div +180$ °С.
- Показник теплової інерції: не більше 15 с.
- Тиск вимірюваного середовища: не більше 10 МПа.
- Межа основної абсолютної похибки, °С: $[0,15+0,002(t)]$.

Зовнішній вигляд термоперетворювача ТСМ101 показано на рисунку 3.2:



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд датчика температури TCM101

Як ми бачимо, ТХК-2788 та TCM101 мають схожі характеристики і обидва є надійними та точними датчиками температури. Однак, термоперетворювач TCM101 коштує майже вдвічі менше, ніж ТХК-2788.

Враховуючи економічні аспекти проектування, вибір термоперетворювача TCM101 є більш раціональним. Цей вибір дозволить знизити витрати на проект без шкоди для точності та надійності вимірювань. Такий підхід забезпечить ефективне використання фінансових ресурсів, що є важливим критерієм у процесі розробки та впровадження автоматизованої системи керування.

Враховуючи ці фактори, ми вирішили обрати термоперетворювач TCM101 як основний датчик температури для нашого проекту.

3.1.2. Вибір датчиків тиску

Для регулювання розрідження та перепаду тиску необхідні датчики тиску.

Для вимірювання розрідження камера + датчика різниці тиску залишається відкритою (подається атмосферний тиск)

ПД310. Інтелектуальні перетворювачі тиску [5]



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд датчика тиску ПД310.

Перетворювач тиску ПД310

ПД310 - це багатфункціональний високоточний перетворювач для вимірювання надлишкового, надлишково-вакуумметричного та диференційного (перепад) тиску в загальнопромисловому виконанні. Він оснащений вимірювальною мембраною із нержавіючої сталі AISI316L.

Основні характеристики

- Перетворення тиску: Перетворює тиск різних рідин, газів, повітря та пару в уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА та цифровий сигнал протоколу HART.
- Міцний корпус: Польовий корпус відповідає суворим вимогам сучасної промисловості.
- Стійкість до статичного тиску та перевантаження: Має високу стійкість до статичного тиску та перевантаження.
- Висока точність: Точність вимірювання становить 0,075%.
- Налаштування та функціонал: Зручне налаштування під час експлуатації, можливість переналаштування діапазонів вимірювання (100:1) та інших параметрів з лицьової панелі.
- HART інтерфейс: Дає змогу віддалено налаштовувати параметри та передавати інформацію про стан приладу.
- Захист IP: Надійний захист з високим статичним тиском і високим тиском перевантаження сенсора.
- Універсальний сенсор: Можливість вимірювати як надлишковий тиск, так і розрідження. Є функція вилучення квадратного кореня.

Основні сфери застосування

- Енергетика
- Котельні установки ("барабани" котлів)
- Парогенеруючі об'єкти (теплова енергетика)
- Вентиляційні системи
- Газорозподільні системи
- Металургія
- Харчова промисловість
- Машинобудування

Умови експлуатації

Перетворювач тиску ПД310 може працювати на відкритому повітрі або в приміщеннях без агресивних парів та газів при таких умовах:

- Атмосферний тиск: Від 84 до 106,7 кПа
- Температура навколишнього повітря: Від -40 до +70 °С
- Відносна вологість: Не більше 80% без конденсації вологи при 35 °С, допускається конденсація вологи при низьких температурах

Перетворювач тиску ПД310 є високоякісним і надійним рішенням для вимірювання тиску в різних промислових умовах. Його широкі функціональні можливості та висока точність роблять його ідеальним вибором для застосування в енергетиці, вентиляційних системах, металургії, харчовій промисловості та машинобудуванні.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики датчика тиску ПД310.

Назва	Значення	
	ПД310-Д	ПД310-Н
Вихідний сигнал	4...20 мА + HART	
Межі основної похибки вимірювання	±0,075 %	±0,1 %
Напруга живлення	16,5...55 В (номінальна напруга =24В)	
Опір навантаження	Не менше 250 Ом	
Переналаштування діапазонів вимірювання	100:1	
Штуцер для підмання тиску	Фланець, міжосьова відстань - 54 мм	M20×1,5
Ступінь захисту корпусу	IP65	
Середній час наробітку, не менше	50 000 год	
Середній термін служби, не менше	5 років	
Вага без упаковки / в упаковці	3,5 кг / 4,5 кг	1,5 кг / 2,5 кг
Діапазон робочих температур навколишнього повітря	-20 (-40°)...70 (80°) °С	
Діапазон температур вимірювального середовища	-40...120 °С	

ПД200-ДД. Високоточний датчик тиску з індикацією [6]

Перетворювачі диференційного тиску загальнопромислового виконання ПД200 моделі 155 є пристроями для вимірювання перепаду тиску, виготовленими в польовому корпусі з вимірювальною мембраною із нержавіючої сталі та металевим кабельним вводом.

Призначення

Ці перетворювачі призначені для вимірювання перепаду тиску або рівня рідини у посудинах під тиском, а також для вимірювання витрати середовища на звужуючих пристроях. Вони застосовуються в системах автоматичного регулювання та керування на основних та вторинних виробництвах у промисловості та ЖКГ, зокрема:

- Газорозподільні системи
- Вузли обліку газу
- Об'єкти енергетики
- "Барабани" котлів у котельних
- Парогенеруючі об'єкти
- Вентиляційні системи

Основні характеристики

- Вимірювання різниці тиску: Підходять для нейтральних до нержавіючої сталі середовищ (повітря, пара, різні рідини).

- Перетворення перепаду тиску: В уніфікований сигнал постійного струму 4-20 мА та HART-протокол.
- Верхня межа перепаду тиску: Від $\pm 60,0$ Па до $\pm 2,0$ МПа.
- Максимальний статичний тиск: До 13 МПа.
- Клас точності: 0,1.
- Ступінь захисту корпусу: IP65.

Перетворювачі диференційного тиску ПД200 моделі 155 є надійним і точним рішенням для вимірювання перепаду тиску в різних промислових умовах. Вони забезпечують високий рівень точності та мають широкий діапазон вимірюваних значень, що робить їх ідеальними для застосування в енергетиці, газорозподільних системах, вентиляційних системах та інших промислових і комунальних об'єктах.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики датчика тиску ПД200-ДД.

Назва	Значення
Вихідний сигнал постійного струму	4...20 мА
Межі основної похибки вимірювання	$\pm 0,1$ % ДИ
Напруга живлення	18...42 В
Опір навантаження	Не менше 250 Ом
Ступінь захисту корпусу	IP65
Середній час наробітку	500 000 год
Середній термін служби	12 років
Міжповірочний інтервал	2 роки
Вага без упаковки/в упаковці	3,5 кг / 5,0 кг
Діапазон робочих температур навколишнього повітря	-20 (-40*)...70 °С
Діапазон температур вимірювального середовища	-40...100 °С
Перевантажувальна здатність	13 МПа
Граничний тиск перевантаження	13 МПа



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд датчика тиску ПД310.

3.1.3. Вибір датчиків рівня

Перед тим, як перейти до вибору датчика рівня, коротко наведемо класифікацію датчиків вимірювання рівня в залежності від принципу роботи:

- Буйкові
- Гідростатичні
- Електромагнітні
- Ємнісні
- Звукові
- Поплавкові

Датчик рівня Liquicap FMI51

Датчик рівня Liquicap FMI51 відноситься до первинних перетворювачів ємнісного типу дії. Він розроблений для безперервного вимірювання рівня різноманітних рідин.

Технічні характеристики Liquicap FMI51:

- Діапазон вимірювання: від 0,1 до 4,0 м
- Температура вимірюваного середовища: від -80 до +200 °С
- Похибка повторюваності: 0,1%
- Вихідні сигнали: струмовий 4-20 мА
- Робочий тиск: від 0 до 1 МПа

Цей датчик є надійним вибором для точного та безперервного вимірювання рівня рідин у різних промислових умовах, забезпечуючи високу точність та стабільність вимірювань.

Зовнішній вигляд рівнеміра **Liquicap FMI51** зображено на рисунку 3.5:



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд рівнеміра **Liquicap FMI51**

Датчик рівня Овен ПДУ-И

Цей датчик є поплавковим рівнеміром для рідких середовищ. Він однаково ефективно працює як у звичайних резервуарах, так і в резервуарах під тиском. Датчик належить до первинних перетворювачів, стійкий до агресивних середовищ і має захищене виконання.

Технічні характеристики ОВЕН ПДУ-И:

- Діапазон вимірювання: від 0,25 до 4,0 м
- Температура вимірюваного середовища: від -60 до +125 °С

- Похибка повторюваності: 0,2%
- Вихідні сигнали: струмовий 4-20 мА
- Робочий тиск: від 0 до 2 МПа
- Живлення: 12-36 В постійного струму

Цей датчик забезпечує надійне та точне вимірювання рівня рідин у різних умовах експлуатації, включаючи агресивні середовища та високий тиск.

Зовнішній вигляд рівнеміра **ОВЕН ПДУ-И** зображено на рисунку 3.6:



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд рівнеміра **ОВЕН ПДУ-И**

Порівнюючи два вищевказані датчики рівня (**Liquicap FM151** та **ОВЕН ПДУ-И**) бачимо, що вони мають дуже схожі сфери використання та характеристики. Проте економічна складова (вітчизняне виробництво, ціна) все ж таки на боці датчика рівня **ОВЕН ПДУ-И**.

Тому для вимірювання рівня оберемо датчик рівня **ОВЕН ПДУ-И**.

3.2 Вибір регулюючих органів та виконавчих механізмів

Виконавчий механізм рухає регулюючий орган, змінює його положення та/або стан. В свою чергу, зміна положення регулюючого органу змінює стан об'єкта управління, а отже і значення відповідної фізичної величини.

Для нашої системи автоматичного регулювання пичю напівкоксування ми оберемо такі регулюючі органи та виконавчі механізми, які конструктивно знаходяться в різних корпусах.

Мова йде про сідельний клапан H6200W630-S7 з електроприводом Belimo GV12-230-3-T.

Технічні характеристики Belimo GV12-230-3-T:

- Температура вимірюваного середовища $-10 \div +120$ °C.
- Керування трьохточкове.
- Допустимий перепад тисків 400 кПа.
- Живлення 240 В змінного струму.

Зовнішній вигляд електроприводу Belimo GV12-230-3-T зображено на рисунку 3.7:

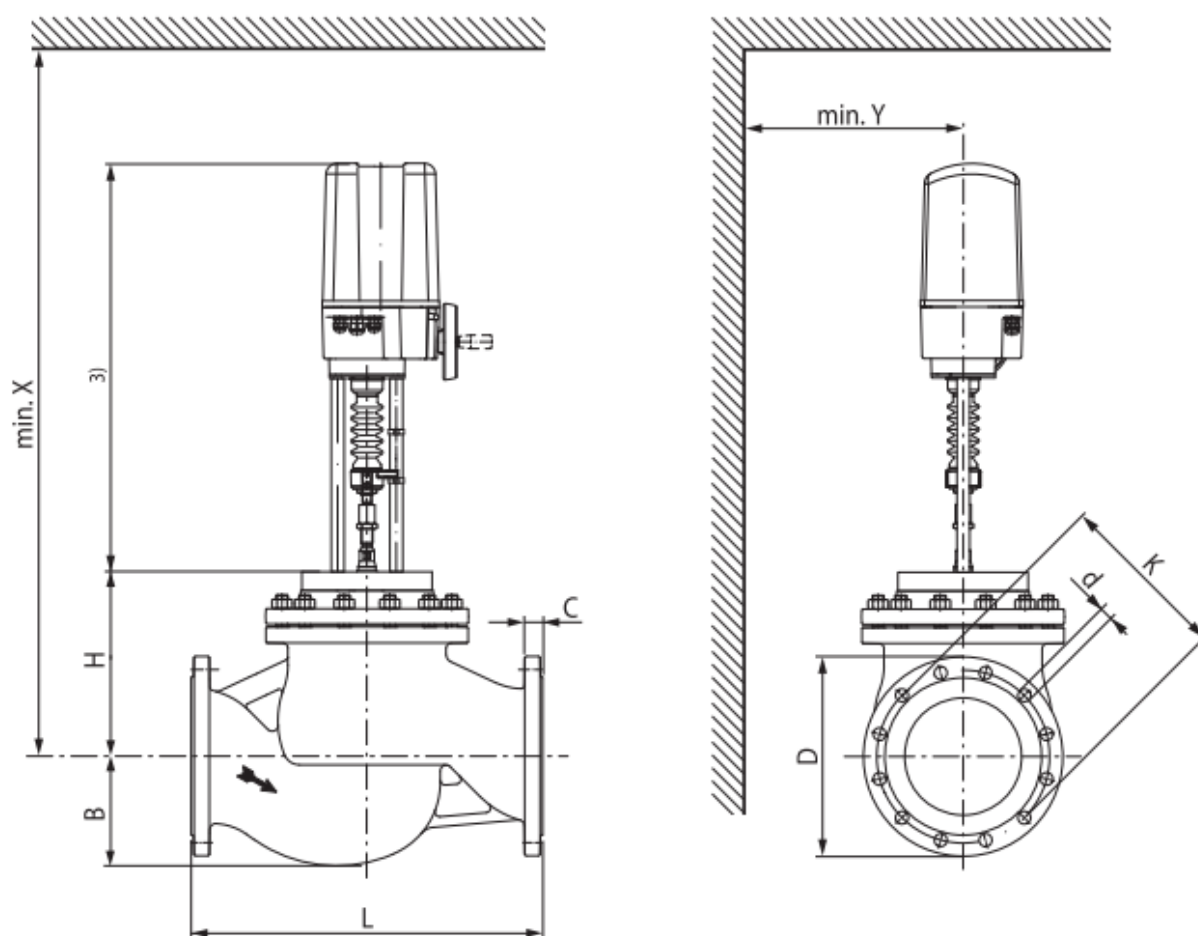


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд сідельного клапану H6200W630-S7 з електроприводом Belimo GV12-230-3-T

3.3 Вибір контролера

Після детального вивчення процесів у печі напівкоксування стає очевидним, що цей процес включає кілька складних і критичних етапів. Важливими факторами є точність, безпомилковість, надійність і безвідмовність роботи системи. Крім того, слід враховувати можливість масштабування або модернізації системи управління.

Враховуючи всі ці вимоги, оптимальним вибором для регулюючого пристрою є програмований логічний контролер (ПЛК). Компанія ОВЕН, як один із найбільших вітчизняних виробників засобів автоматизації для виробництва та промисловості, є надійним постачальником ПЛК [7].

На основі функціональної схеми автоматизації та специфікації технічних засобів автоматизації визначимо вимоги до входів/виходів ПЛК:

Цифрові входи/виходи: для підключення датчиків, кнопок, перемикачів і виконавчих пристроїв.

Аналогові входи/виходи: для підключення датчиків температури, тиску, рівня та інших вимірювальних приладів.

Комунікаційні інтерфейси: для інтеграції ПЛК з іншими пристроями та системами управління, включаючи протоколи HART, Modbus та інші.

Можливість розширення: для підключення додаткових модулів та розширення функціональності системи.

Ці вимоги забезпечать ефективне управління процесом напівкоксування, гарантуючи високу точність, надійність та можливість подальшого масштабування системи.

Таблиця 3.3 - Вимоги до входів/виходів контролера.

Види сигналів	Кількість сигналів
Входи аналогові	10
Виходи дискретні	8
Виходи аналогові	0
Виходи дискретні	28

3.3.1 Контролер для малих та середніх систем автоматизації Овен ПЛК200-01-CS

Овен ПЛК200-01-CS – програмований логічний контролер, для малих та середніх систем автоматизації. Зовнішній вигляд зображено на рисунку 3.8 нижче:



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд програмованого логічного контролера Овен ПЛК200-01-CS

Цей ПЛК має моноблочне виконання з вбудованими модулями дискретних та аналогових входів/виходів.

- **Пам'ять:**
 - ROM: 512 Мбайт (NAND)
 - RAM: 256 Мбайт (DDR3)
 - RETAIN: 64 Кбайт (MRAM)
- **Корпус:**
 - Ергономічний корпус з можливістю кріплення на DIN-рейку
 - Знімні клемники з невиспадаючими гвинтами, що полегшує монтаж та обслуговування ПЛК
- **Комунікації:**
 - Використання Ethernet для швидкого опитування ПЛК та різних варіантів топології мережі
 - Підтримка широкого спектру протоколів: Modbus RTU / ASCII / TCP, OPC UA (Server), MQTT, NTP
 - Можливість використання хмарних технологій OwenCloud

З детальними технічними характеристиками Овен ПЛК200-01-CS можна ознайомитися на офіційному сайті компанії ОВЕН.

3.3.2 Додаткові модулі розширення контролера

Базова комплектація контролера Овен ПЛК200-01-CS не задовольняє всіх вимог нашої системи (відповідно до таблиці 2). Тому разом з контролером слід замовити ще два модулі розширення:

- **Модуль вводу аналогових сигналів з Ethernet MB210-101 – 2 шт**
- **Модуль виводу аналогових сигналів з Ethernet MY210-402 – 1 шт**

3.4 Вибір SCADA системи.

3.4.1 Аналіз існуючих SCADA систем.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) системи широко використовуються для моніторингу та управління технологічними процесами в різних галузях промисловості.

Аналіз та вибір SCADA системи:

1. **Siemens WinCC**
 - Виробник: Siemens.
 - Особливості: Інтеграція з іншими продуктами Siemens, можливість створення інтерфейсів користувача, підтримка різних протоколів зв'язку, висока надійність та масштабованість.
2. **Wonderware InTouch**
 - Виробник: AVEVA.
 - Особливості: Зручний графічний інтерфейс, потужні інструменти для створення звітів, висока гнучкість і можливість інтеграції з іншими системами, масштабованість.
3. **Ignition by Inductive Automation**
 - Виробник: Inductive Automation.
 - Особливості: Веб-орієнтована платформа, відкриті стандарти, модульна архітектура, легка інтеграція з різними системами і базами даних, висока продуктивність.
4. **Citect SCADA**
 - Виробник: Schneider Electric.
 - Особливості: Підтримка розподілених архітектур, інтеграція з різними апаратними і програмними платформами, потужні інструменти для звітності та аналізу даних, висока надійність.
5. **CoDeSys**
 - Виробник: 3S-Smart Software Solutions.
 - Особливості: Висока гнучкість, підтримка стандарту IEC 61131-3, потужний інструмент для програмування ПЛК (програмованих логічних

контролерів), широкий спектр підтримуваних апаратних платформ, можливість інтеграції з SCADA системами.

Всі наведені вище SCADA системи підходять під розробляємо систему за характеристиками, всі SCADA системи платні, але SCADA система CoDeSys з контроллерами ОВЕН постачається безкоштовно. Тому обираємо SCADA систему CoDeSys.

3.4.2 Опис CoDeSys

CoDeSys (Controller Development System) є комплексним інструментом для програмування і конфігурації програмованих логічних контролерів (ПЛК). Вона підтримує стандарт IEC 61131-3 і надає користувачам потужні інструменти для розробки, налагодження та тестування програмного забезпечення для ПЛК.

Основні характеристики CoDeSys:

1. Підтримка стандарту IEC 61131-3:
 - CoDeSys підтримує всі мови програмування, визначені стандартом IEC 61131-3: LD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram), IL (Instruction List), ST (Structured Text) і SFC (Sequential Function Chart).
2. Інтеграція з різними апаратними платформами:
 - CoDeSys може працювати з широким спектром апаратних платформ від різних виробників. Це забезпечує гнучкість у виборі обладнання для конкретних потреб.
3. Розширені можливості налагодження:
 - CoDeSys надає розширені інструменти для налагодження, включаючи симуляцію, онлайн-зміну програмного коду, відладку та моніторинг виконання програм.
4. Графічний інтерфейс користувача:
 - Система забезпечує інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс, який полегшує процес розробки програм для ПЛК. Користувачі можуть створювати зручні графічні інтерфейси для управління і моніторингу процесів.
5. Веб-візуалізація:
 - CoDeSys підтримує веб-візуалізацію, що дозволяє користувачам віддалено контролювати і управляти процесами через веб-браузер.
6. Модульна архітектура:
 - CoDeSys має модульну архітектуру, що дозволяє розширювати функціональність системи шляхом додавання нових модулів і плагінів.
7. Підтримка мережевих протоколів:

- CoDeSys підтримує різні мережеві протоколи, включаючи Modbus, OPC UA, Ethernet/IP, PROFINET та інші. Це забезпечує інтеграцію з різними пристроями і системами.

8. Безпека:

- CoDeSys забезпечує високий рівень безпеки даних і доступу до системи, що є критично важливим для промислових застосувань.

Переваги використання CoDeSys:

1. Універсальність:

- Завдяки підтримці стандарту IEC 61131-3 і широкому спектру апаратних платформ, CoDeSys може використовуватися в різних галузях промисловості для управління технологічними процесами.

2. Гнучкість:

- Модульна архітектура дозволяє легко адаптувати систему до специфічних вимог і розширювати її функціональність за потребою.

3. Зручність у використанні:

- Інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс і потужні інструменти для налагодження роблять CoDeSys зручним у використанні як для досвідчених програмістів, так і для новачків.

4. Віддалений доступ:

- Можливість веб-візуалізації дозволяє здійснювати віддалений моніторинг і управління процесами, що підвищує ефективність управління.

5. Інтеграція:

- Підтримка різних мережевих протоколів забезпечує легку інтеграцію з іншими системами і пристроями.

CoDeSys є потужною та гнучкою SCADA системою, яка може ефективно використовуватися для управління пачкою напівкоксування з зовнішнім обігрівом. Її універсальність, гнучкість та зручність у використанні роблять її привабливим вибором для різних промислових застосувань.

3.5 Розробка системи моніторингу.

Система моніторингу забезпечує відтворення існуючих алгоритмів дистанційного керування у новому апаратному виконанні та надає аналогові сигнали для дублювання основних технологічних параметрів на місцевих індикаторах.

Обмін інформацією. Процедури обміну даними між ПЛК і пристроєм візуалізації та моніторингу (промисловий комп'ютер) виконуються через локальну контролерну мережу.

Розвиток системи. Система моніторингу може розширюватися в напрямку керування технологічним процесом та легко інтегруватися з системою управління підприємством (ERP).

Мета системи. Метою системи моніторингу є підвищення надійності, достовірності та зручності спостереження за технологічними параметрами, що сприятиме покращенню техніко-економічних показників роботи печі.

Візуалізація процесу. Система надає візуалізацію процесу через технологічні мнемосхеми, які відображають відеокадри технологічного процесу, показуючи поточні значення параметрів. Вони також містять інформацію про відхилення технологічного режиму від заданих порогових значень (попереджувальна та аварійна сигналізація), що дозволяє оператору швидко аналізувати ситуацію за вказівками диспетчера заводу (Рис 3.6).

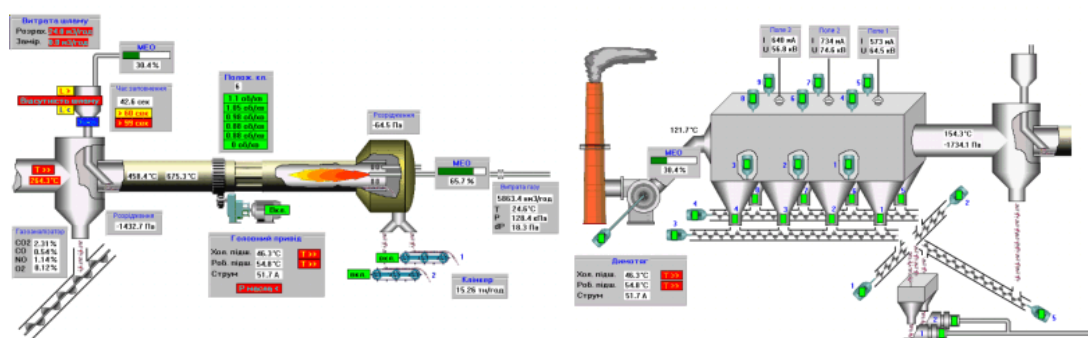


Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд мнемосхеми системи управління піччю напівкоксування.

Функції системи моніторингу

Система виконує наступні функції:

- Реєстрація та сигналізація станів всіх складових системи:
- Сигналізація граничних значень основних параметрів
- Індикація швидкості обертання печі
- Розрахунок техніко-економічних показників, собівартості.

Система моніторингу забезпечує підвищення ефективності і безпеки роботи технологічного обладнання, забезпечуючи точний і зручний контроль за всіма важливими параметрами.

3.5 Розробка алгоритму роботи системи.

Складемо алгоритм роботи мікропроцесорної системи управління піччю напівкоксування із зовнішнім обігрівом

1. Ініціалізація системи

1.1. Ініціалізація апаратного забезпечення. 1.2. Ініціалізація програмного забезпечення. 1.3. Перевірка підключення до сенсорів і виконавчих механізмів. 1.4. Завантаження початкових параметрів і налаштувань.

2. Перевірка початкових умов

2.1. Перевірка наявності сировини в печі. 2.2. Перевірка стану зовнішнього джерела тепла. 2.3. Перевірка системи збору летких продуктів. 2.4. Перевірка системи охолодження напівкоксу.

3. Запуск процесу нагрівання

3.1. Увімкнення зовнішнього джерела тепла. 3.2. Контроль температури в печі за допомогою сенсорів температури. 3.3. Поступове підвищення температури до робочої (500-700°C). 3.4. Постійний моніторинг температури і регулювання нагріву для підтримання необхідного рівня.

4. Моніторинг і управління процесом напівкоксування

4.1. Постійний моніторинг температури і тиску в печі. 4.2. Контроль виділення летких продуктів. 4.3. Відведення летких продуктів в систему збору. 4.4. Регулювання подачі тепла для підтримання стабільної температури.

5. Збір летких продуктів

5.1. Направлення летких продуктів в систему збору летких продуктів. 5.2. Розподіл летких продуктів на газоподібні і рідкі компоненти. 5.3. Очищення газоподібних компонентів і їх зберігання. 5.4. Збір і зберігання рідких компонентів.

6. Завершення процесу напівкоксування

6.1. Зниження температури в печі до безпечного рівня. 6.2. Вимкнення зовнішнього джерела тепла. 6.3. Переведення печі в режим охолодження.

7. Охолодження напівкоксу

7.1. Активізація системи охолодження напівкоксу. 7.2. Моніторинг температури напівкоксу під час охолодження. 7.3. Вивантаження охолодженого напівкоксу після досягнення безпечної температури.

8. Завершення роботи

8.1. Перевірка стану всієї системи після завершення процесу. 8.2. Створення звіту про виконану роботу і стан системи. 8.3. Збереження даних для подальшого аналізу і контролю.

Деталізований алгоритм

Ініціалізація системи

1. Ініціалізувати мікропроцесор і підключені модулі.
2. Виконати самотестування всіх компонентів системи.
3. Встановити початкові параметри збережені в EEPROM або іншому постійному запам'ятовуючому пристрої.

Перевірка початкових умов

1. Зчитати дані з сенсорів рівня сировини.
 - Якщо сировина відсутня, вивести повідомлення про помилку і зупинити процес.
2. Перевірити стан зовнішнього джерела тепла.
 - Якщо джерело тепла не працює, вивести повідомлення про помилку і зупинити процес.
3. Перевірити стан системи збору летких продуктів.
 - Якщо система збору не готова, вивести повідомлення про помилку і зупинити процес.
4. Перевірити стан системи охолодження напівкоксу.
 - Якщо система охолодження не готова, вивести повідомлення про помилку і зупинити процес.

Запуск процесу нагрівання

1. Увімкнути зовнішнє джерело тепла.
2. Почати поступове підвищення температури в печі.
3. Зчитувати дані з температурних сенсорів і регулювати нагрів для досягнення робочої температури.
4. Контролювати темпи підвищення температури, щоб уникнути перегріву.

Моніторинг і управління процесом напівкоксування

1. Постійно зчитувати дані з температурних і тискових сенсорів.
2. Відстежувати рівень летких продуктів і спрямовувати їх у систему збору.
3. Регулювати потужність зовнішнього джерела тепла для підтримання стабільної температури.
4. У разі відхилень від норми, вивести попередження і вжити необхідних заходів (наприклад, зниження потужності нагріву).

Збір летких продуктів

1. Направити леткі продукти в систему збору.
2. Виконати розподіл на газоподібні і рідкі компоненти.
3. Очистити газоподібні компоненти від домішок.
4. Зберігати очищені газоподібні продукти в резервуарах.
5. Збирати рідкі продукти в спеціальні ємності для подальшого використання або утилізації.

Завершення процесу напівкоксування

1. Знизити температуру в печі до безпечного рівня.
2. Вимкнути зовнішнє джерело тепла.
3. Активувати систему охолодження печі.

Охолодження напівкоксу

1. Запустити систему охолодження.

2. Постійно моніторити температуру напівкоксу під час охолодження.
3. Після досягнення безпечної температури вивантажити охолоджений напівкокс.

Завершення роботи

1. Перевірити стан усіх компонентів системи.
2. Створити звіт про виконану роботу, включаючи дані про температуру, тиск, рівні летких продуктів і напівкоксу.
3. Зберегти всі дані для подальшого аналізу і контролю.

Складений алгоритм забезпечить ефективну роботу мікропроцесорної системи управління піччю напівкоксування, гарантує безпеку і високу якість кінцевого продукту, схематично цей алгоритм зображено на рисунку 3.10.

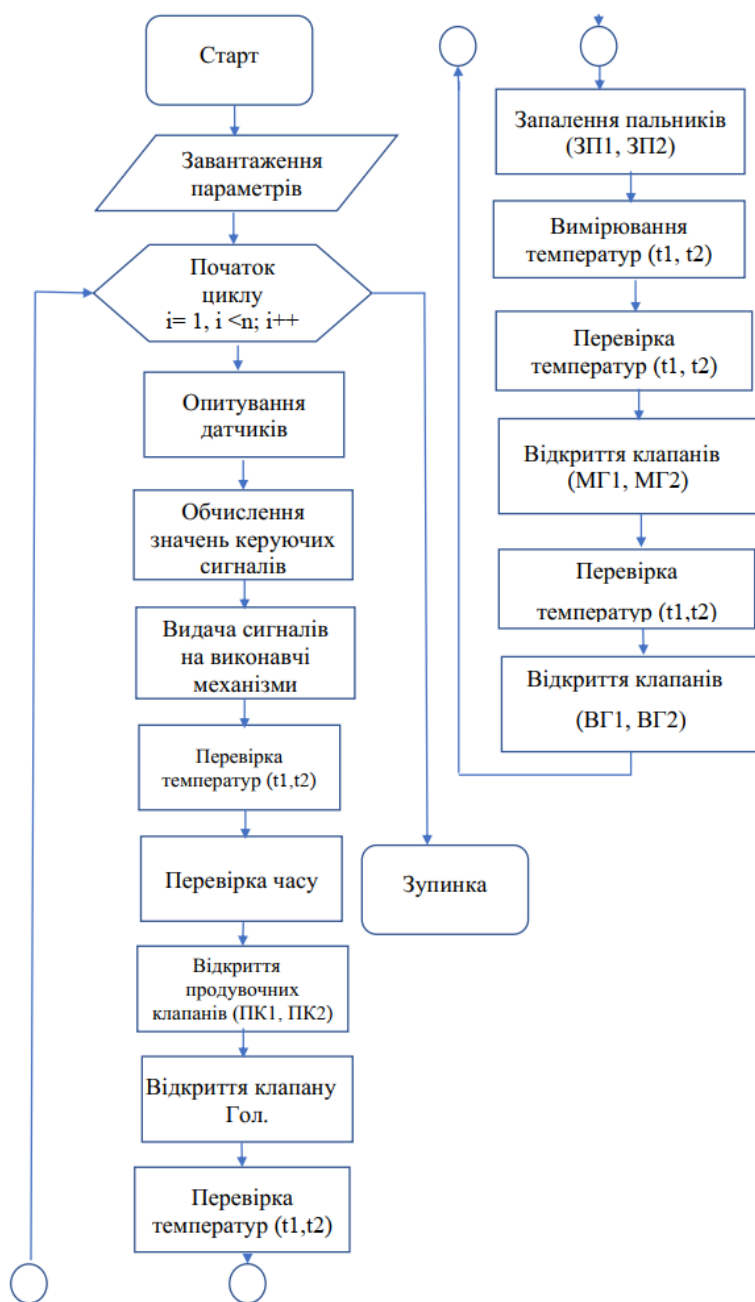


Рисунок 3.10 - Схематичне зображення алгоритму роботи системи

4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.

4.1 Визначення параметру, що має значний вплив на якість.

Одним з найважливіших параметрів, що впливають на якість процесу напівкоксування, є температура.

Вплив температури на процес напівкоксування визначається в наступних характеристиках:

1. Температура розкладу сировини:

- При оптимальній температурі (зазвичай 500-700°C) досягається найбільш ефективне розкладання сировини, що призводить до отримання високоякісного напівкоксу, рідких та газоподібних продуктів.
- Занадто висока температура може призвести до надмірного розкладання, що зменшує вихід цінних продуктів і може утворити небажані побічні продукти.
- Занадто низька температура не забезпечує повного розкладання сировини, що також знижує якість продуктів.

2. Температурні градієнти:

- Нерівномірність температурного поля всередині печі може призвести до нерівномірного розкладання сировини, що впливає на якість напівкоксу.
- Рівномірний розподіл температури важливий для забезпечення стабільності процесу та однорідності кінцевих продуктів.

3. Контроль та регулювання температури:

- Точний контроль температури в різних зонах печі забезпечує оптимальні умови для процесу напівкоксування.
- Використання сучасних засобів автоматизації для контролю температури дозволяє підвищити ефективність та безпеку процесу.

4.1.1 Аналітичне визначення математичної моделі

Аналітичне визначення математичної моделі печі напівкоксування передбачає використання фізичних законів для опису процесів, що відбуваються всередині печі. Розглянемо основні етапи побудови такої моделі [2].

Тепловий баланс описує надходження, розподіл та втрати тепла в системі. Загальне рівняння теплового балансу можна записати як [1]:

$$Q_{\text{вх}} + Q_{\text{ген}} = Q_{\text{вих}} + Q_{\text{втр}} \quad (4.1)$$

Де $Q_{\text{вх}}$ – тепло, що надходить до системи (зовнішнє обігрівання),

$Q_{\text{ген}}$ – тепло, що генерується всередині системи (екзотермічні реакції),

$Q_{\text{вих}}$ – тепло, що виходить із системи (з газоподібними та рідкими продуктами),

$Q_{\text{втрат}}$ – втрати тепла через стінки печі та інші механізми.

Для опису теплового балансу печі напівкоксування застосуємо рівняння теплопередачі:

$$m c_p \frac{dT}{dt} = Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вих}} + Q_{\text{ген}} - Q_{\text{втрат}} \quad (4.2)$$

де m – маса сировини,

c_p - питома теплоємність сировини,

T - температура всередині печі,

t - час.

Масовий баланс описує зміни маси компонентів в системі [1]:

$$\frac{dm_{\text{сировини}}}{dt} = m_{\text{вх}} - m_{\text{вих}} - m_{\text{залишок}} \quad (4.3)$$

де:

$m_{\text{сировини}}$ - маса сировини в реакторі,

$m_{\text{вх}}$ - маса вхідної сировини,

$m_{\text{вих}}$ - маса вихідних продуктів,

$m_{\text{залишок}}$ - маса залишкових продуктів (напівкоксу).

Кінетика хімічних реакцій

Кінетичні рівняння описують швидкість хімічних реакцій, які відбуваються в печі [2]:

$$\frac{dC_i}{dt} = k_i \cdot C_i \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (4.4)$$

де:

C_i - концентрація компонента i ,

k_i - константа швидкості реакції для компонента i ,

E_a - енергія активації реакції,

R - універсальна газова стала,

T - температура реакції.

Гідродинамічні рівняння описують потоки газоподібних продуктів через систему[2]:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla) v \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 v + F \quad (4.5)$$

де:

ρ - густина газу,

v - швидкість потоку газу,

P - тиск,

μ - в'язкість газу,

F - сила, що діє на газ.

Об'єднуючи всі рівняння, отримуємо повну математичну модель печі напівкоксування у вигляді системи рівнянь [2]:

$$\begin{cases} m c_p \frac{dT}{dt} = Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вих}} + Q_{\text{ген}} - Q_{\text{втр}} \\ \frac{dm_{\text{сировини}}}{dt} = m_{\text{вх}} - m_{\text{вих}} - m_{\text{залишок}} \\ \frac{dC_i}{dt} = k_i \cdot C_i \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla) v \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 v + F \end{cases} \quad (4.6)$$

Ця модель дозволяє описати динаміку процесів у печі напівкоксування і може бути використана для подальшого аналізу та оптимізації системи управління.

Проведемо структурну ідентифікацію об'єкта (рис 4.1).

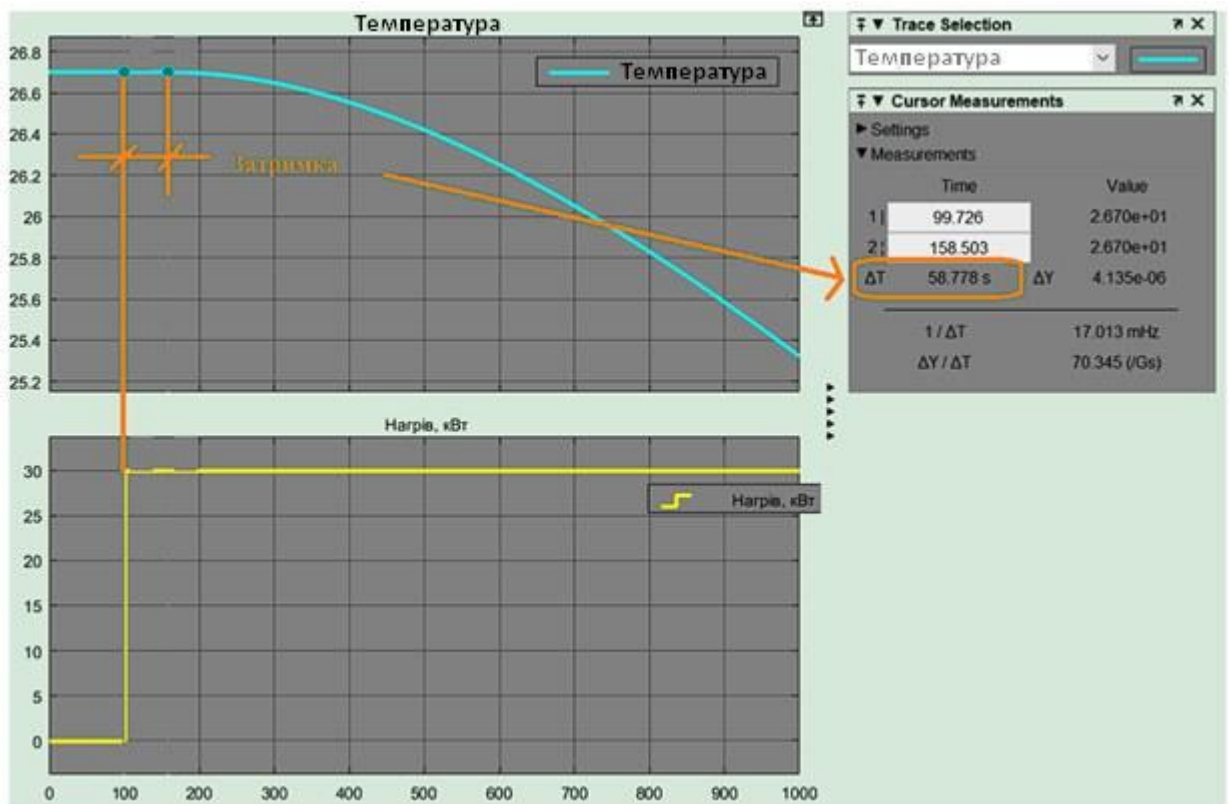


Рисунок 4.1 – Аналіз динамічної характеристики

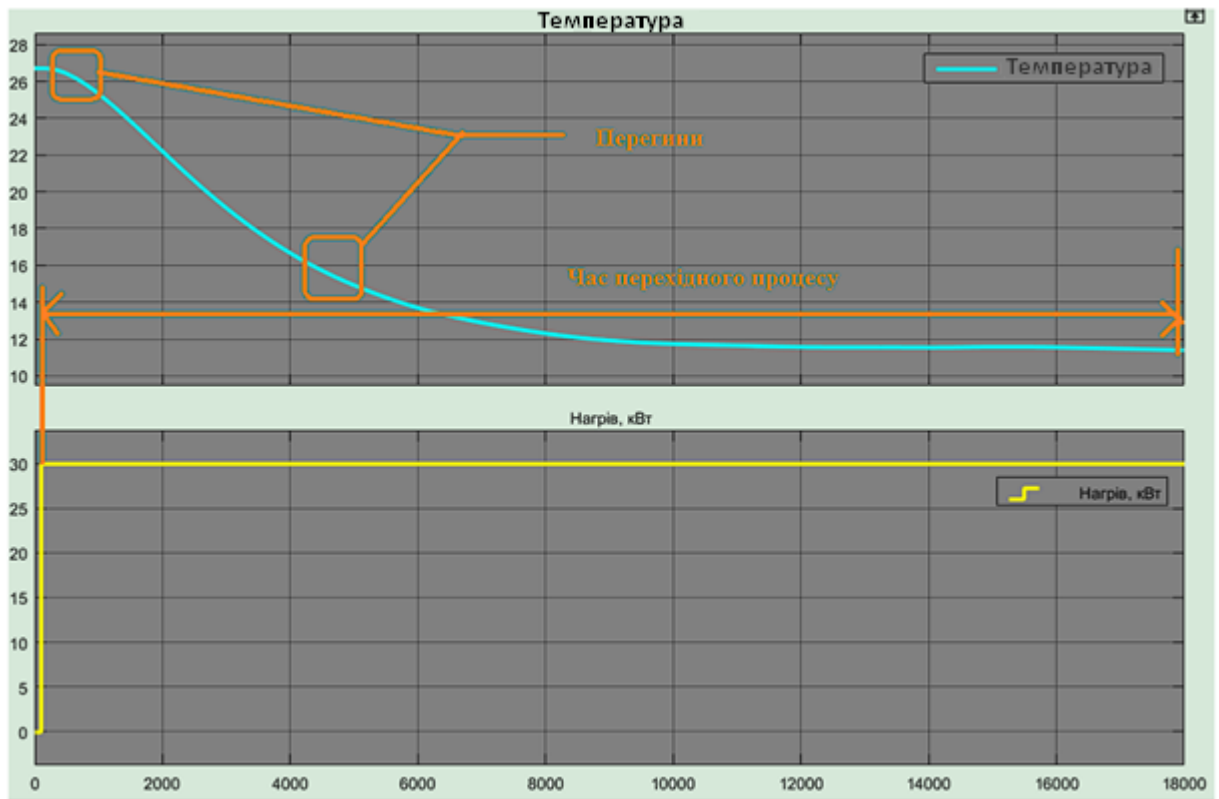


Рисунок 4.1 – Аналіз динамічної характеристики

За результатами структурної ідентифікації встановлено, що об'єкт керування є лінійним, симетричним, має два дійсні від'ємні домінуючі корені та ланку чистого запізнення. На підставі цього об'єкт керування може бути описано аперіодичною ланкою другого, або більш високого порядку з запізненням:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}, \quad (4.7)$$

де $W(s)$ – передавальна функція моделі об'єкта керування; s – оператор диференціювання; k – коефіцієнт посилення; τ – час запізнення, с; T_1, T_2 – постійні часу, с.

Параметричне визначення характеристик проводилося за допомогою інструментарію System Identification Toolbox, який є частиною математичного комплексу MATLAB. Виконавши параметричну ідентифікацію ми отримали перевіірочні дані які наведені в таблиці 3.1

Таблиця 4.1 – Відповідність отриманих моделей до перевіірочних даних об'єкта керування

Назва параметру	P1D	P2D	P3D
k	-0,52139	-0,05695	-0,50753
$T_{1,c}$	3336,2	1733,6	0,0077722
$T_{2,c}$	-	1733,1	1744
$T_{3,c}$	-	-	1743,1

τ	57,5	57,5	57,5
НСКП, %	89,43	98,84	98,84
ПОП	0,2272	0,002734	0,002743
СК/П	0,2271	0,002732	0,002741
НСКП, %	68,57	95,64	95,76

Дослідження різниці у динамічних характеристиках між різними моделями через порівняння їх оцінок виявило, що моделі P2D та P3D показують схожі результати з індексом нормалізованої середньоквадратичної помилки (НСКП) на рівні 98.84%. Також, прогнозна помилка для моделей P2D і P2D є майже ідентичною ($0.002741/0.002734 \approx 1$). Визначальним критерієм у виборі між цими моделями стала різниця у відповідності по перевірочними даними. Знову ж таки, моделі P2D і P3D мають майже однакові показники НСКП, які складають 95.64% та 95.76% відповідно. З огляду на те, що один з показників часу для моделі P3D дорівнює нулю, рекомендується вибрати простішу модель P2D. З усіх даних випливає, що модель P2D задовольняє критерії точності за тестовими даними, значно перевищуючи мінімально допустимий поріг у 80%.

При параметричній оцінці вибраної моделі P2D варто відзначити кілька ключових параметрів, виявлених з динамічних характеристик (рис. 3.9): коефіцієнт посилення становить -0,58, час реакції приблизно 18 000 секунд, постійна часу – 3 600 секунд, з затримкою близько 60 секунд. За даними другого порядку для моделі P2D, коефіцієнт посилення виявляється -0,50695, сумарна постійна часу складає 3 466,7 секунд ($1733,6 \text{ с} + 1733,1 \text{ с}$), а затримка – 57,5 секунд. Ці результати додатково підкреслюють, що найкраще до об'єкту керування підходить модель P2D – аперіодичний елемент другого порядку із запізненням. Параметрична ідентифікація видала передавальну функцію моделі, яка точно відповідає критеріям управління з точністю 95,6% згідно тестових даних.

$$W(s) = \frac{-0,51 \cdot e^{-57,5s}}{(1734s + 1) \cdot (1733 + 1)} \quad (4.8)$$

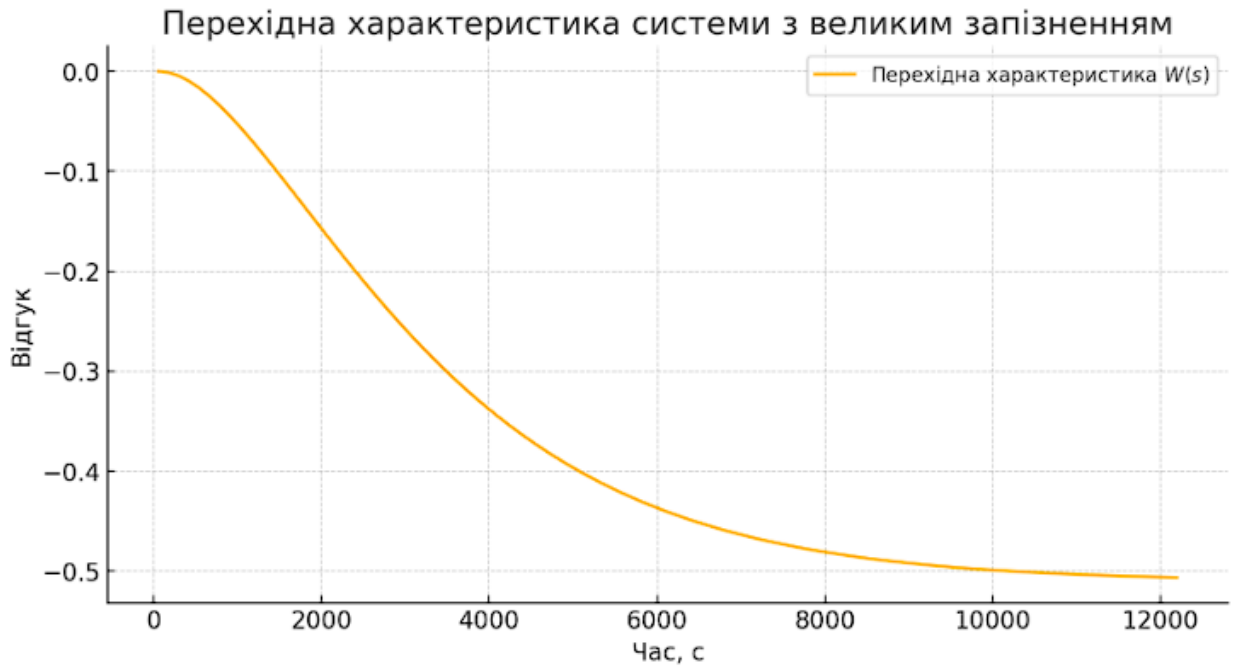


Рисунок. 4.2 - Перехідна характеристика об'єкта управління

На графіку зображена перехідна характеристика системи з великим запізненням та великими часовими константами. Як видно, система реагує на кроковий вхідний сигнал із значним затриманням в 57.5 секунд, після чого її відгук поступово спадає до негативного значення, що відповідає коефіцієнту посилення $k=-0.51$. Із збільшенням часу відгук стабілізується, наближаючись до значення, близького до -0.51 . Це пов'язано з тим, що часові константи $T1$ та $T2$ є досить великими (1734 с і 1733 с відповідно), що зумовлює повільне зменшення відгуку системи від початкового впливу крокової функції.

Цей аналіз може допомогти у визначенні характеристик системи, яка повільно реагує на зміни та має велике запізнення, що важливо для налаштування процесів керування та вирішення задач оптимізації системи.

5.2 Вибір і розрахунок параметрів регулятора

Для системи управління піччю напівкоксування оптимальним вибором буде пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор. ПІ регулятор забезпечує кращу точність порівняно з простим пропорційним регулятором, завдяки інтегральній складовій, яка допомагає усунути сталу помилку в регулюванні. Ця складова також покращує відповідь системи на змінні завади та умови, які часто трапляються під час сушіння, дозволяючи системі швидше адаптуватися і повертатися до заданої точки роботи після збурень.

Хоча ПІ регулятор і складніший для налаштування в порівнянні з пропорційним регулятором, він все ж таки простіший і легший у впровадженні в порівнянні з пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором, який може бути надмірним для деяких процесів сушіння.

Для налаштування ПІ регулятора потрібно визначити два основні параметри: коефіцієнт пропорційності (K_p) та коефіцієнт інтеграції (K_i). K_p визначає реакцію регулятора на помилку, тоді як K_i регулює швидкість, з якою інтегральна складова накопичує помилку з часом, допомагаючи усунути сталу помилку. Вибір цих параметрів може вимагати експериментування та тестування для оптимального налаштування, залежно від специфіки роботи пічі напівкоксування.

5.3 Розрахунок налаштувань ПІ регулятора

Передавальна функція для ПІ регулятора $C(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$. Коефіцієнт підсилення k_p , який є основним налаштувальним параметром регулятора.

Налаштування параметрів проведемо за методом Дудникова [10]. Цей метод орієнтується на аналіз динамічних характеристик системи, зокрема на визначення оптимального коефіцієнта підсилення k_p

Для системи управління пічі напівкоксування важливо забезпечити достатній запас стійкості, щоб система могла ефективно справлятися з коливаннями. Зазвичай вважають що САР стійка коли ступень коливання знаходиться в діапазоні $m=0.221\dots 0.476$, а це відповідає ступеню загасання $\psi = 0.95\dots 0.75$.

Згідно з тим, що описано вище, оберемо ступень коливання $m=0.221$.

Передавальна функція для об'єкта керування виглядає:

$$W(s) = \frac{-0.51 \cdot e^{-57.5 \cdot s}}{3005022 \cdot s^2 + 3467 \cdot s + 1}$$

За допомогою математичного пакету зробимо розрахунки

5.3.1 Отримання параметричного рівняння ЛРЗ

Було отримано РЧХ об'єкта управління

$$W_o(m, \omega) = \frac{K e^{m\omega\tau}}{\sqrt{(1-Tm\omega)^2 + (T\omega)^2}} e^{j(-\arctg \frac{T}{Tm\omega-1} - \omega\tau)}$$

РЧХ ПІ-регулятора з двома незалежними параметрами налаштування

$$W_{PII}(s) = k_1 + \frac{1}{T_u s} = k_1 + \frac{k_0}{s}$$

$$W_{PII}(k_0, k_1, m, \omega) = \frac{\sqrt{(k_0 - m\omega k_1)^2 + (\omega k_1)^2}}{\omega \sqrt{m^2 + 1}} e^{j(-\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{\omega k_1}{k_0 - m\omega k_1} - \arctg m)}$$

Складемо рівняння балансу амплітуд та фаз

$$A_{PII}(k_0, k_1, m, \omega) = \frac{1}{A_o(m, \omega)}$$

$$\Psi_{PII}(k_0, k_1, m, \omega) = \Psi_o(m, \omega)$$

Отримаємо параметричне завдання рівняння ЛРЗ як функції частоти

$$k_0(\omega) = \omega(m^2 + 1) \operatorname{Im}(W_o^*(m, j\omega));$$

$$k_1(\omega) = m \operatorname{Im}(W_o^*(m, j\omega)) - \operatorname{Re}(W_o^*(m, j\omega)).$$

5.3.2 Побудова лінії рівного згасання (ЛРЗ)

Для побудови лінії рівного згасання (ЛРЗ) використовуємо математичний пакет MathCAD

$$W(s, \tau) := \frac{-0.51 \cdot e^{-s \cdot \tau}}{3005022s^2 + 3467s + 1} \quad \text{Передатна функція об'єкта керування}$$

$$W(s, \tau) \text{ substitute, } s = \omega \cdot (j - m) \rightarrow -0.51 \cdot \frac{\exp[-\omega \cdot (i - m) \cdot \tau]}{[3005022 \cdot \omega^2 \cdot (i - m)^2 + 3467 \cdot \omega \cdot (i - m) + 1]} \quad \text{Отримання розширеної АФЧХ об'єкта управління з передавальної функції}$$

$$W(m, \omega, \tau) := \frac{\exp[-\omega \cdot (i - m) \cdot \tau]}{[3005022 \cdot \omega^2 \cdot (i - m)^2 + 3467 \cdot \omega \cdot (i - m) + 1]}$$

$$RW(m, \omega, \tau) := \operatorname{Re}\left(\frac{1}{W(m, \omega, \tau)}\right)$$

Отримання речової та уявної частин інверсної розширеної АФЧХ об'єкта управління

$$IW(m, \omega, \tau) := \operatorname{Im}\left(\frac{1}{W(m, \omega, \tau)}\right)$$

$$K0(m, \omega, \tau) := (m^2 + 1) \cdot IW(m, \omega, \tau) \cdot \omega$$

$$K1(m, \omega, \tau) := m \cdot IW(m, \omega, \tau) - RW(m, \omega, \tau)$$

$$\omega := 0.03, 0.031 \dots 0.9$$

Вирази для розрахунку лінії рівного згасання отримані через речовинну та уявну частини інверсної розширеної АФЧХ об'єкта управління для ПІ-регулятора

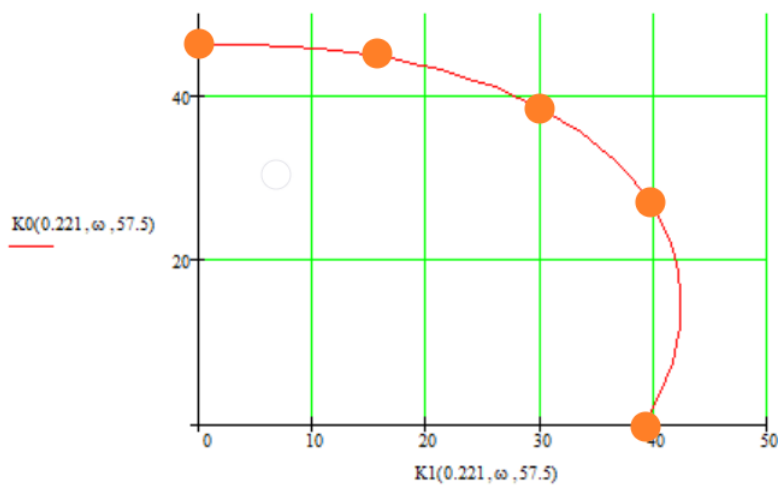


Рисунок 4.3 - Лінія рівного загасання та вибір налаштувань ПІ-регулятора у робочому діапазоні частот

5.3.3 Виконано моделювання для п'ять налаштувань з рівною амплітудною затухання ПІ-регулятора

Для цього використаємо математичний пакет MathCAD

$$W_{ob}(s, \tau) := \frac{-0.51 \cdot e^{-57.5 \cdot s}}{3005022s^2 + 3467s + 1} \quad \text{Передавальна функція об'єкта}$$

$$W_{rg}(k_0, k_1, s) := k_1 + \frac{k_0}{s} \quad \text{Передавальна функція ІІІ-регулятора}$$

$$W_p(s, \tau, k_0, k_1) := W_{rg}(k_0, k_1, s) \cdot W_{ob}(s, \tau) \quad \text{Передавальні функції прямого ланцюга системи}$$

$$W_z(s, \tau, k_0, k_1) := \frac{W_p(s, \tau, k_0, k_1)}{1 + W_p(s, \tau, k_0, k_1)} \quad \text{Передавальні функції замкнутої системи з одиничним зворотним зв'язком}$$

$$h(t, \tau, k_0, k_1) := 0.637 \int_0^{0.8} \operatorname{Re}(W_z(j \cdot \omega, \tau, k_0, k_1)) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} d\omega \quad \text{Отримання перехідної характеристики за речовинною частотною характеристикою замкнутої системи}$$

$$t := 0, 10.. 1500$$

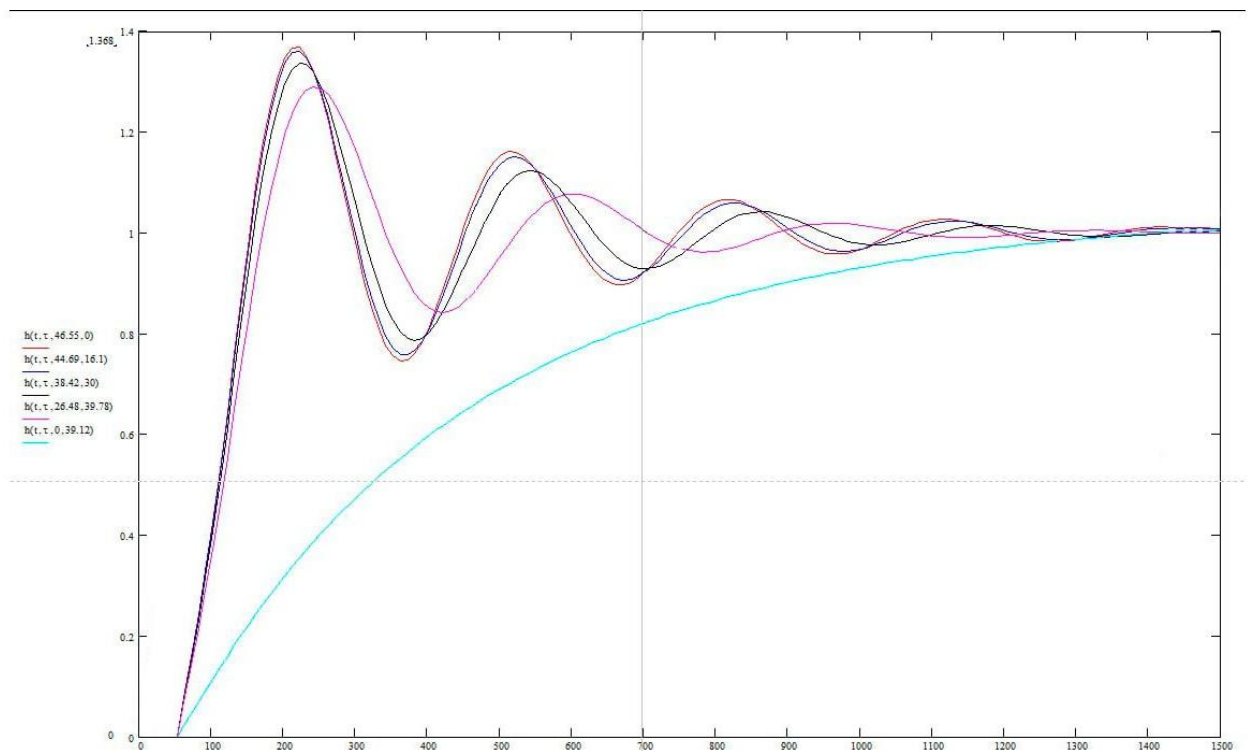


Рисунок 4.4 - Результати моделювання при налаштуваннях ІІІ-регулятора, отриманих методом розширених АФЧХ

5.3.4 Отримання основних показників якості

За рис. 4.4 отримуємо основні показники якості для 5 перехідних процесів

Таблиця 4.2 - Основні показники якості

№	k_0	k_1	t_p, c	$\sigma, \%$
1	46.55	0	857	37
2	44.69	16.1	867	36
3	38.42	30	757	34

4	26.48	39.78	657	29
5	0	39.12	1087	0

За таблицею 4.2 можна побачити що найкращі показники якості забезпечує №3 перехідний процес. А №5 перехідний процес нам не підходить тому що має статичну похибку.

ВИСНОВКИ

Автоматизація технологічних процесів є одним з вирішальних факторів підвищення продуктивності і поліпшення умов праці. Всі існуючі виробничі потужності або об'єкти, які перебудовуються, в тій чи іншій мірі оснащені засобами автоматизації.

Розвиток сучасного рівня мікроелектроніки і комп'ютерних технологій дозволяє впроваджувати високоточні вимірювальні прилади і засоби управління, що, в свою чергу, призводить до підвищення ефективності управління технологічними процесами.

У нашій роботі обґрунтовано вибір засобів автоматизації, вдосконалено систему автоматизації піччю напівкоксування на основі сучасної мікропроцесорної техніки.

Системи автоматизації та управління збирають та обробляють інформацію з технічного обладнання та розробляють вплив управління для оптимізації процесів.

Розроблена автоматична система управління піччю напівкоксування. Завданням розробленої в даному випадку системи управління є підтримка таких параметрів, як продуктивність пічі. Вибір автоматизованих пристроїв і інструментів здійснювався з урахуванням конкретного набору датчиків і автоматичного лінійного контролера.

Була складена математична модель пічі. На основі імітаційного моделювання в програмному середовищі MatLab / Simulink ми провели параметричну оптимізацію регуляторів температури в ній. Було розроблено управління роботою печі, складена технологічна схема управління і описана керуюча програма.

Розроблено алгоритм роботи програми та мнемосхеми програми для збору даних про стан пічі напівкоксування.

При створенні поточної лінії було передбачено використання розумного з точки зору міцності технічного режиму. Це дозволяє, з одного боку, зменшити розміри технологічної камери і всієї лінії, а з іншого - підвищити швидкість обробки і збільшити обсяг продукції, що випускається.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Теплотехнические установки, системы, оборудование Учебн. пособие: в 3 ч./ Под ред. Б.А.Левченко, Л.Л.Товажнянского. – Х.: НТУ «ХПИ», 2015. – 728 с. Т.3.
- 2 Голдобин, Ю.М. Автоматизация теплоэнергетических установок : учеб. пособие / Ю.М. Голдобин, Е.Ю. Павлюк.— Екатеринбург : УрФУ, 2017.— 186 с. ISBN 978-5-321-02542-0
- 3 Гаврило Хомченко. Посібник з хімії для вступників до вузів Издание 2-е (исправленное) Издательство Арий Год издания 2008 480 стр. ISBN 978-966-8959-96-7
- 4 Пічне обладнання у хімічних та нафтопереробних процесах: навч. посіб. /А.Р. Степанюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017 – 172 с.
- 5 ПД310. Інтелектуальні перетворювачі тиску [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://aqteck.com.ua/ua/datchyky/pd310-intelektualni-peretvorjyvachi-tysku/tehnichni-harakterystyky>.
- 6 ПД200-ДД. Високоточний датчик тиску з індикацією [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://aqteck.com.ua/ua/arhiv-produkciji/pd200-vysokotochnyi-datchik-tysku-z-indykacieju>
- 7 Датчик тиску [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://owen.ua/ua/datchyky/pd100-115-datchyky-tysku-v-poliovomu-korpusi>.
- 8 Арсеньев Ю.Н., Журавльов В.М. Проектування систем логічного управління на мікропроцесорних пристроях: Навч. пос., Київ.: Вища. шк., 2011. 319 с.
- 9 Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. – М.: Химия, 1969. – 564с
- 10 Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного регулювання. – Підручник. К.: Либідь, 1997. – 544 с
- 11 Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / Под ред. А. С. Клюева. – 2-ое изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

