Міністерство освіти і науки України
Шосткинский інститут Сумського державного університет
Факультет заочної форми навчання
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри
_____ Худолей Г.М.
«__»_____2021р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Система управління паровим котлом TH Ratskovice

Керівник проєкту: Худолей Г. М.
(зав кафедри СІТ, к.т.н)

Дипломник:
студент групи СУз-71ш Бугайов Д. С.

Шостка – 2021.

ВСТУП

Технологічні процеси теплової енергетики мають ряд суттєвих відмінностей та особливостей [1]:

- складність перебігу з точки зору фізичних та хімічних процесів;
- надвеликі швидкості перебігу подій;
- дуже високі вимоги до якісних та кількісних показників речовин;
- чутливість кінцевого результату до змін технологічних параметрів процесів;
- високі вимоги з точки зору захисту та блокувань.

Теплоенергетичне устаткування має виробляти теплову та/або електричну енергію, яка в будь-який момент часу повинна відповідати споживанню/навантаженню.

Експлуатація такого устаткування повинна вестися в точній відповідності до законів, правил, норм та керівних вказівок. Зокрема, відповідно до «Правил будови і безпечної експлуатації парових котлів», «Правилами технічної експлуатації електричних станцій і мереж», «Правилами технічної експлуатації тепло використовуючих установок і теплових мереж » та інших.

Людина, в силу природних обмежень організму (втомлюваність, великі кількість та об’єм параметрів/інформації, швидкість прийняття рішень), не в змозі підтримувати протікання технологічного процесу на безпечному, стабільно високому (з точки зору якості) рівні.

Тому в сучасній тепловій енергетиці комплексна автоматизація та механізація є вже невід’ємними частинами, і до них приділяється велика увага.

До того ж сучасні технічні засоби автоматизації мають великі діапазони та точність вимірювання, та/або керування, великий час надійної роботи тощо. Вони надійні, універсальні, зручні та легко масштабуються.

За рахунок автоматизації звільняється час, який людина може вкласти в аналіз роботи АСУ. Тим самим відбувається вдосконалення роботи

автоматизованої системи управління, підвищуються основні технічні та економічні параметри технологічного процесу.

Автоматизовані системи керування покращують якість протікання технологічних процесів (що безпосередньо впливає на якість самої продукції), знижують кількість бракованої продукції, знижують в цілому собівартість виробництва, запобігають виникненню аварій та травматизму, покращують екологічні складові виробництва.

Якщо брати до уваги всі основні завдання, які стоять перед сучасною тепловою енергетикою, не можливо обійтися без використання автоматизованих систем керування, регулювання, управління та захисту.

В цій бакалаврській роботі я віддав перевагу централізованому управлінню технологічим процесом за допомогою мікропроцесорного контролера Siemens.

1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

З точки зору комплексного підходу технологічний процес складається з чотирьох крупних етапів: фізико-хімічна очистка живильної води, її попередній підігрів, деаерація та основний нагрів [2].

На етапі фізико-хімічної очистки вода фільтрується від механічних домішок, пом'якшується.

В теплообміннику відбувається попередній нагрів живильної води до температур 60…75 ºС.

На наступному етапі, етапі деаерації, з води видаляється надлишковий кисень, аніони тощо. Таким чином досягають збільшення строків роботи теплових апаратів, мереж та комунікацій. Після чого вода в деаераторі нагрівається до температур 103…105 ºС і подається в економайзер.

Економайзер – це технологічне устаткування, в яке з топки котла подаються відхідні димові гази. За рахунок тепла цих газів вода підігрівається ще на 5…10 ºС. Таким чином економайзер підвищує ККД всього технологічного процесу.

З економайзера вода надходить до вхідного патрубку котла. А саме в простір між трубними дошками, які розташовані в задній частині котла. Омиваючи ділянку трубного пучка (димогарні трубки) і торцеву стінку топки, вода нагрівається до необхідних значень температури.

Після цього вода по внутрішній перемичці потрапляє в основний об'єм котла, омиває жарову трубу і димогарні трубки конвертованого пучка, нагрівається до заданої температури і відводиться в систему теплопостачання через патрубок, розташований в передній верхній частині котла.

Процес горіння відбувається в котельній камері (жаровій трубі) газового котла. Рух димових газів в топці реверсний. Продукти згоряння, віддавши частину тепла в котельній камері, розвертаються, повертаються до дверцят і, проходячи по димогарних трубках конверторного пучка, віддають основну частину тепла.

З метою зробити процес теплообміну в димогарних трубках більш інтенсивним, встановлені завихрювачі.

Після цього димові гази збираються у внутрішній порожнині задньої кришки і видаляються з газового котла через газохід в димову трубу котельної установки.

Пара виходить з котла і прямує до парового колектора, де розходиться до споживачів.

1.1 Паровий котел середнього тиску THS

Паровий котел середнього тиску має наступний зовнішній вигляд:

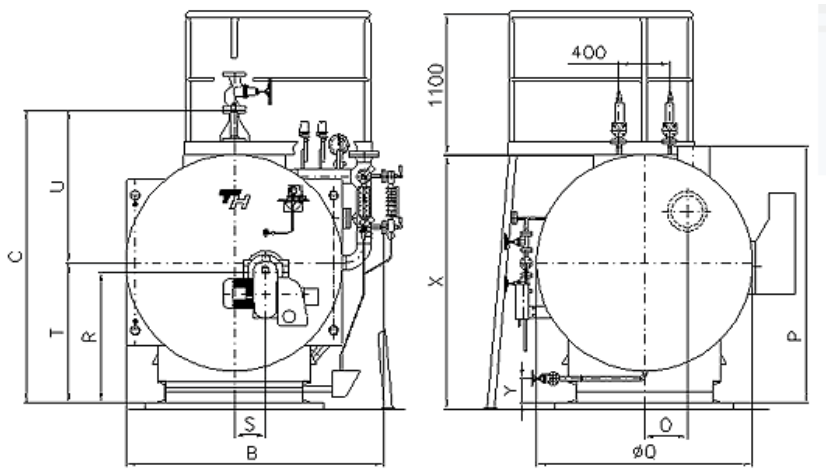
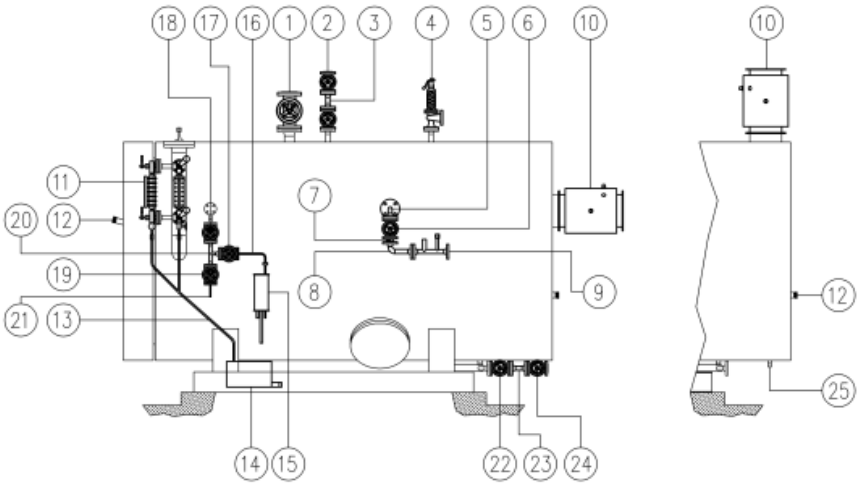


Рисунок 1 – Вид на паровий котел середнього тиску THS

Тепер на рисунку 2 наведемо структуру та комплектацію парового котла середнього тиску THS:



1-Головна запірна парова арматура, 2- Запірна арматура для усунення повітря- 2 шт., 3-Арматурна фланцева вставка для воздушників 4- Запобіжний клапан - 2 шт., 5-Живильна голка, 6- Запірна ручна арматура, 7- Зворотній міжфланцевий клапан, 8-Коліно живильної голки, 9- Живильний трубопровід с наплавками, 10- Насадка димового штуцера с наплавками, 11- Рівневе скло - 2 шт., 12- Наглядове віконце, 13- Трубопровід продувки рівнеміра, 14- Збірний резервуар з перепадом G1, 15- Охолоджувач проб котлової води, 16-Трубопровід охолодження проб води, 17- Ручний вентиль регулювання, 18- Ручний запірний

клапан, 19- Ручний клапан видалення шлама, 20- Трубопровід розхідний, 21- Трубопровід продувки, 22- Ручний клапан видалення шлама, 23- Арматурний перехідник, 24- Ручний запірний клапан, 25- Вивід конденсату

Рисунок 2 – Комплектація парового котла середнього тиску THS

Для додаткового розуміння структури парового котла, на рисунку 3 наведемо його схему в розрізі:

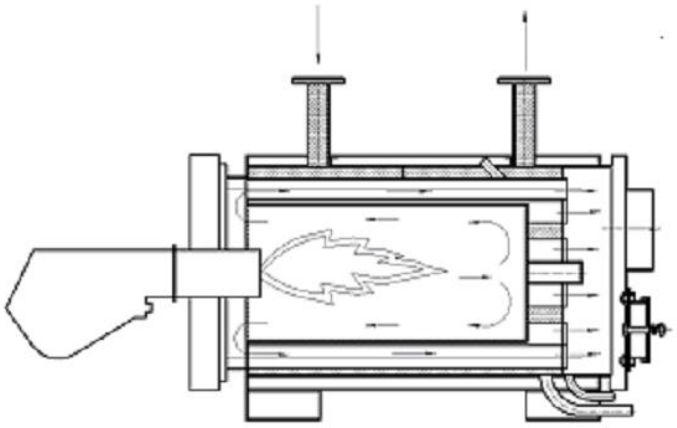


Рисунок 3 – Схема парового котла середнього тиску THS в розрізі

Паровий котел середнього тиску THS відноситься до автоматичних котлів і призначений для газоподібних палив. Він має трьохтягове виконання, з полум'яною трубою, закриту мембранну стінку, дві тяги димогарних труб, неохолоджувану другу оборотну камеру та димовий колектор.

Котел розрахований на робочий надмірний тиск 6 бар.

Під час виготовлення використовується котельна листова сталь та безшовні труби.

Корпус парового котла середнього тиску THS складається з кожуха циліндричної форми, двох днищ, армованих косинками, полум'яної труби з охолоджуваною оборотною камерою, закритою мембранною стінкою, і двох пучків димогарних труб.

Друга оборотна камера неохолоджувана. Вона закрита дверима, що дозволяє очистку поверхонь, що обігріваються. У виконанні з пароперегрівачем ця камера розширена на простір, в якому вбудований пароперегрівач.

Деякі типи котлів (наприклад THS-20) мають вбуваний в мембранну стінку лаз, який дає доступ до полум’яної труби та першої зворотньої камери.

Димові гази відводяться з котла через димовий штуцер в димовому колекторі.

Також на корпусі парового котла розташовані:

- регулювальна арматура живлення котла;
- датчики рівнів та тисків робочих речовин;
- регулювальна арматура потужності пальника;
- штуцери продувки пальника;
- штуцери продувки лінії води;
- штуцери відводу пари;
- аварійна арматура та запобіжні клапани.

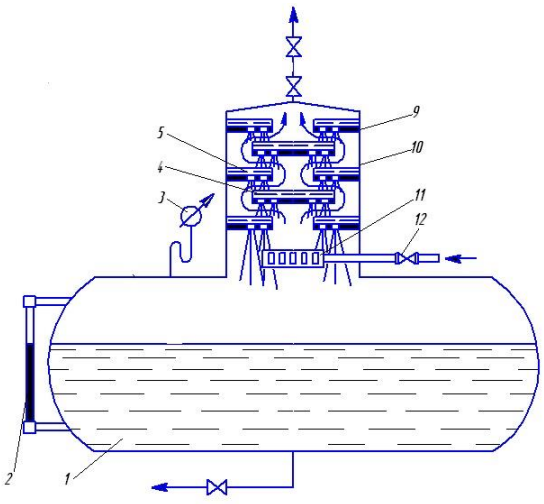
Слід відмітити, що всі поверхні та вузли парового котла мають доступ для обслуговування (чистки, профілактики), що позитивно впливає на підтримку постійно високого коефіцієнта корисної дії впродовж всього строку експлуатації.

Температури димових газів 210…230 ºС. Тепловий коефіцієнт корисної дії парового котла становить 91%. Встановлення економайзера підвищує ККД до 94%.

1.2 Деаератор

Деаератор – це конструктивно-технологічна частина парового котла, яка призначена для видалення з живильної води кисню, вуглекислоти та інших корозійно-агресивних газів. Він складається з трьох основних вузлів: бака, колонки та гідрозатворів.

Як видно з рисунку 4, деаераторний бак – це орієнтована горизонтально циліндрична ємність. Робоче середовище вводиться та виводиться за допомогою необхідної кількості патрубків, трубопроводів та запірно-регулюючої арматури. Дно має еліптичну форму.



1 - Бак-акумулятор деаерованної води; 2 - Скло водовказівне; 3 - манометр; 4,5 - Тарілка; 9 - Пристрій розподільний кільцеподібний 10 - Колонка деаераційна; 11 - Розподільник пара; 12 - Клапан; 13 - Затвор гідравлічний.

Рисунок 4 - Схема атмосферного деаератора змішувального типу

Зверху на бак встановлено колону. З подібним еліптичним днищем. Але орієнтовану вертикально. Робоче середовище також подається та відводиться за допомогою необхідної кількості патрубків, трубопроводів та запірно-регулюючої арматури.

Гідрозатвори деаератора забезпечують безпечну роботу та експлуатацію установки. А саме захищають від перевищень тисків та рівнів робочих речовин в баках. Схема дегазації має два ступені: струменевий (в колоні) і барботажний (в баці).

Опишемо принцип дії деаератора [3].

Від відповідного регулюючого вузла пара під тиском 6 кг/см2 подається паропроводом до зАСУвки, яка встановлена на трубопроводі. Тут вона поступає в перфоровану трубу (яка має 530 отворів діаметром 6 мм кожний) і контактує з водою.

Таким чином в барботажному пристрої відбувається попередній інтенсивний підігрів води до температури насичення (відповідно до тиску в деаераторі). Основний процес підігріву (і відповідно дегазації) відбувається на наступній ділянці. Вже за температур насичення, які відповідають тиску в цій ділянці теплової установки.

В перфоровану трубу поступає надлишкова кількість пари. За рахунок цього в деаераційній колоні відбувається попередня деаерація.

Деаераторний бак ділиться на два відсіки за рахунок перегородки. В першому відсіку накопичується вода після барботажної тарілки. І далі ця вода подається на котли.

Між вищезгаданими відсіками утворюється різниця рівнів. Таким чином вода проходить тільки через зовнішній кожух. Вода не контактує з парою завдяки нахилу кожуха. Таким чином унеможливлюється гідроудар в разі порушень роботи деаераторної установки.

Через штуцер введення 1 в кільцевий приймальний короб 2 надходять холодні потоки. Далі вони поступають в змішувальний пристрій 3 (через прямокутні отвори на внутрішній стороні обичайки).

При досягненні конденсатом певного рівня, він рівномірним потоком надходить зі змішувального пристрою на перфороване днище 4 верхнього блоку. Після чого за рахунок тонких отворів у днищі він подрібнюється на певну кількість тонких струменів.

Далі конденсат, проходячи через струменевий відсік, нагрівається до температур близьких температурам насичення і подається на переливний лист 5 нижнього блоку. Далі на перфорований лист 7 барботажного пристрою.

Тут вода під час свого руху догрівається парою до температури насичення і очищається від розчинних газів.

Зливні трубки 8 барботажного листа виступають над ним на 100 мм. Це зроблено для забезпечення наявності постійного рівня води.

Вода через зливні трубки поступає в нижню частину колони і зливається в деаераторний бак 14 (через зливну горловину 15).

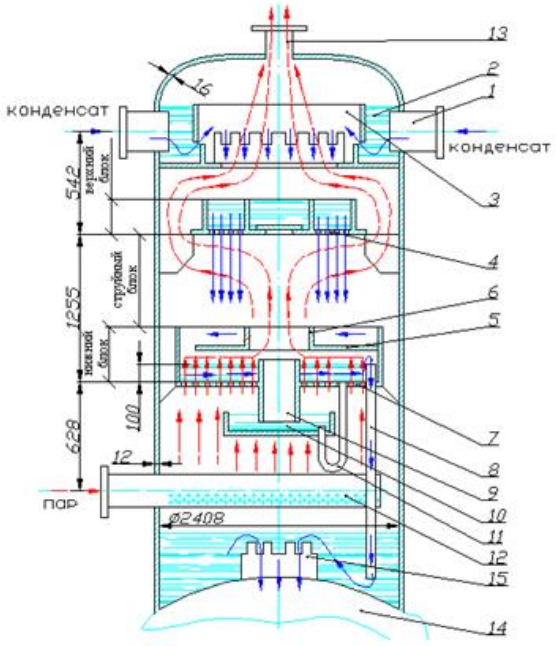


Рисунок 5 - Схема деаераційної колони

Технологічний процес вимагає постійного рівня води в нижній частині колони. Це забезпечується зливною горловиною. Таким чином пара не може не пройти через барботажний пристрій (в обхід, через зливні трубки).

Гріюча пара подається під барботажний лист з перфорованого колектора 12. Барботажний лист має такий ступінь перфорації, щоб створювати стійку парову подушку під листом. І таким чином унеможливлювати провали води через отвори листа.

При цьому вода, яка рухається в бік зливних труб, підлягає інтенсивній паровій обробці та дегазації.

Пара, яка не сконденсувала, та гази з води піднімаються вгору і поступають до струменевого відсіку через вищезгадану горловину 6 переливного листа.

Зі збільшенням продуктивності тепло-технічної установки і витрати пари зростає тиск в паровій подушці. В цьому випадку пара надходить в струменевий відсік в обхід барботажного листа, через паро-перепускний патрубок 9 гідрозатвору.

Тут, у струменевому відсіку, пара під час свого руху вгору перетинає і омиває падаючі вниз (з перфорованого днища) струмені води. Відбувається перемішування води з парою, її підігрів до температур, близьких до температур насичення (при заданому тиску в колоні) і часткова попередня дегазація води.

Конденсат, який гріє пару, приєднується до струменів води. Несконденсована гріюча пара через кільцеподібний зазор між корпусом і верхнім блоком відводиться до периферії. Далі проходить у верхню частину колони. Таким чином забезпечується вентиляція та підігрів зустрічних потоків води, які надходять зі змішувального пристрою 3. Після чого випари через штуцер відводяться з колони.

1.3 Газовий пальник Weishaupt rl 50/2a

Газовий пальник – це тепло-технічний пристрій для змішування повітря (кисню) з газоподібним паливом з метою подальшої подачі отриманої суміші до вихідного отвору і спалювання його тут з утворенням стійкого фронту горіння (факела).

Регулятор горіння W-FM 05 відноситься до мікропроцесорної техніки. Він контролює процес горіння та забезпечує взаємодію з іншим обладнанням АСУ.

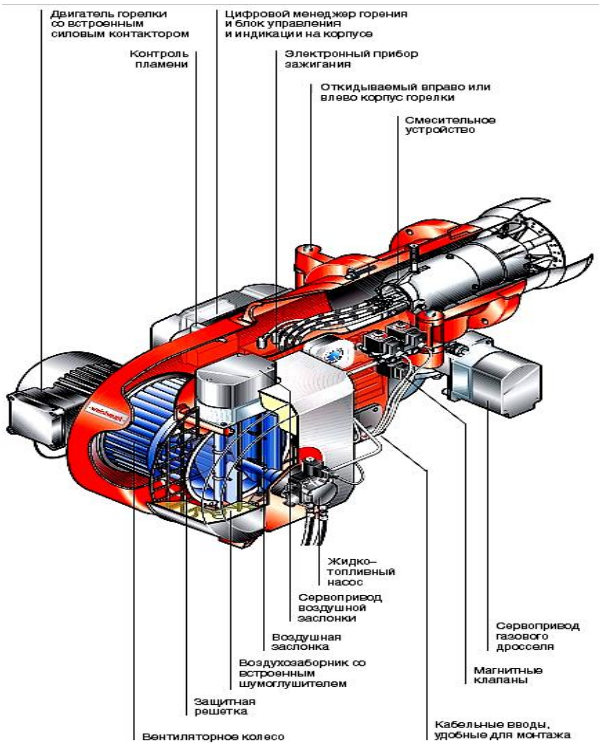


Рисунок 6 – Схема внутрішньої будови пальника

Змішування робочих середовищ відбувається за рахунок спрямованої подачі повітря спалювання і пального газу. Таким чином рециркуляція газів протікає інтенсивно, що у свою чергу зменшує утворення шкідливих речовин.

Газовий пальник Weishaupt rl 50/2a відноситься до двопровідних пальників. Тобто газ з магістралі подається під тиском до вузла змішування двома роздільними потоками. Тиск утворюється за рахунок повітря, яке нагнітається надувним вентилятором.

На виході з вузла змішування відбувається займання газоповітряної суміші.

Також газовий пальник Weishaupt rl 50/2a є блочним. Вентилятор, засоби регулювання та допоміжні елементи виконані в єдиному корпусі.

З метою економії електричної енергії та досягнення завдань автоматизації, застосовується частотне регулювання зміною частот обертання двигуна.

Контроль та регулювання кисневих параметрів димових гази, гарантує максимальний ККД і зменшення витрати палива.

2. АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Після ретельного аналізу протікання технологічного процесу, було структуровано в таблицю 1 всі ключові параметри контролю, управління та сигналізації:

Таблиця 1 – Перелік параметрів технологічного процесу

Параметр	Позиція технологічної схеми	функція	Відхилення	Значення	
				Min	Max
Температура	Відхідні гази з котла №1	Контроль	5%	150 °С	200 °С
Температура	Відхідні гази з котла №2	Контроль	5%	150 °С	200 °С
Рівень	Бак запасу води	Контроль, управління	5%	0,8 м	1,3 м
Рівень	Деаератор	Контроль, управління	5%	0,84 м	0,94 м
Рівень	Котел №1	Контроль, управління	5%	1 м	1,25 м
Рівень	Котел №2	Контроль, управління	5%	1 м	1,25 м
Тиск	Станція ХВО	Контроль	5%	1,8 кгс/см^2	2,8 кгс/см^2
Тиск	Котел №1	Контроль, управління	5%	4,5 кгс/см^2	5,2 кгс/см^2
Тиск	Котел №2	Контроль, управління	5%	4,5 кгс/см^2	5,2 кгс/см^2
Температура	Деаератор	Контроль, управління	5%	110 °С	120 °С
Витрата	Води водопровідної	Контроль	5%	10 л/хв.	11 л/ хв.
Витрата	Природний газ котел №1	Контроль, управління	5%	17 м^3/год.	67 м^3/год.
Електропровідність	Котел №1	Контроль	5%	0,05мСм/м	0,35мСм/м
Електропровідність	Котел №2	Контроль	5%	0,05мСм/м	0,35мСм/м
Наявність полум'я	Котел №1	Контроль, захист		Відсутність	Наявність
Наявність полум'я	Котел №2	Контроль, захист		Відсутність	Наявність
Тиск	Деаератор	Контроль	5%	4,5 кгс/см^2	5,2 кгс/см^2

3. ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

На основі конструктивно-технологічного аналізу об’єкту управління та розробленої таблиці параметрів технологічного процесу, зробимо вибір каналів регулювання, контролю та управління.

3.1 Ключові процеси, які потребують уваги

Сенс всього технологічного процесу полягає у виготовленні сухої пари. Об’єм цієї пари виступає показником ефективності. Об’єкт управління – це система, яка в цілому складається з основного та допоміжного обладнання.

Основне обладнання: два жаротрубні котли та деаератор.

Допоміжне обладнання: станція хімічної очистки води, теплообмінний апарат та два економайзери.

Основна мета управління об’єктом полягає в підтримці параметрів температур та тисків на заданому рівні. Зміна цих показників виступає в якості збурюючих впливів на об’єкт управління.

3.1.1 Комбіноване регулювання тиску та рівня у паровому котлі

Регулювання відбувається за допомогою системи насосів «робочий-резервний». Для котла №1 це насоси М4 та М5 перед економайзером та регулююча заслінка 6г. Для котла №2 це двигуни М2 та М3 і регулююча заслінка 11г.

Зміна рівня води в котлі впливає на тиск. Тому контур регулювання тиску комбінується регулюванням рівня води.

Паралельно з цим тиск у системі та у камері горіння (запалу) контролюється мікропроцесорною частиною пальника з вбудованими датчиками контроля тиску в газовій мережі та відсічним клапаном, а також датчиком наявності полум’я. Всі ці данні з пальника обов’язково надходять до центрального контролера і аналізуються.

Наведемо приклад для парового котла №1.

Під час нормальної роботи котла тиск знаходиться у межах норми. Насоси працюють у циклічному режимі на 20% своєї потужності. Це забезпечує штатну циркуляцію води між деаератором та економайзером (звертаємо Вашу увагу на

те, що економайзер не може працювати без циркуляції води). Регулююча заслінка при цьому повністю відкрита.

Якщо тиск падає, контролер збільшує потужність насосів і повертає регулюючу заслінку на величину, пропорційну падінню тиску. При цьому контролер враховує інформацію від датчиків рівня води у апаратах. Таким чином буде підвищено циркуляцію води, а поворот заслінки підвищить тиск у трубопроводі. Під дією цього тиску відкриється зворотній клапан. Як наслідок котел заповниться водою. Зворотній клапан закриється після стабілізації тиску. Також допустимий режим роботи при постійно відчиненому на 10-15% клапана. Це надасть безперервне забезпечення апарату водою, але спричинить за собою більший розхід палива.

Якщо тиск буде перевищено, пальник вимкнеться. Одночасно з цим автоматично припиниться подача газу та повітря. Технологічний процес буде протікати за рахунок розігрітої системи (тобто пасивно). До тих пір, поки температура не зменшиться до нижньої межі. За цей проміжок часу тиск зменшиться. В іншому випадку відчиниться заслінка 9е і стравить певну частину пари до колектора.

Для котла №2 комбіноване регулювання тиску та рівня буде відбуватися аналогічно.

Збурюючими впливами виступають: зміна рівня води у котлі; зміна інтенсивності розігріву, викликану надмірною електризацією води (електрична провідність води прямо пропорційна вмісту соляних домішок).

3.1.2 Регулювання температури в деаераторі

Попередній розігрів води після процесу хімічної очистки відбувається за рахунок гарячої пари з колектору. Подача пари до теплообмінника регулюється заслінкою 4в.

Якщо необхідно швидко розігріти деаератор після вимушеної зупинки (за умові, що котли працювали) передбачено барботажну лінію.

Збурюючими впливами виступають зміни рівня води та/або зміни температури води після теплообмінника.

3.1.3 Регулювання контуру змішування та згорання газу з повітрям

В автоматичному режимі змішування газу з повітрям та згорання отриманої суміші виконує пальник. Він має вбудований мікропроцесорний регулятор зі зв’язком з центральним контролером. Регулювання відбувається за допомогою вентилятора подачі повітря і заслінки подачі газу (позиції 9д та 14д).

Збурюючий вплив має вигляд зміни тиску в котлі.

Таким чином, з метою досягнення завдань керування, в проекті регулюються наступні параметри: температура, тиск, рівень.

3.2 Контури управління

Розуміючи ключові процеси, які відбуваються в об’єкті управління, розробимо контури контролю та регулювання.

3.2.1 Контур управління температурою

Контур управління температурою в деаераторі зображено на рисунку нижче:

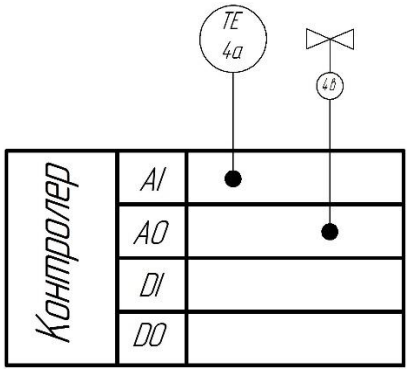


Рисунок 7 – Контур управління температурою

В цьому контурі використовуємо платиновий термоперетворювач опору ТС(П)-1187-3 (діапазон вимірювання -50…200 ^{o}C, довжина 300 мм) та електропривід для клапану Belimo NVF24-MFT-E потужністю 3.5 ВА.

3.2.2 Контур управління рівнем води

Контур управління рівнем води в запасному баці зображено на рисунку нижче:

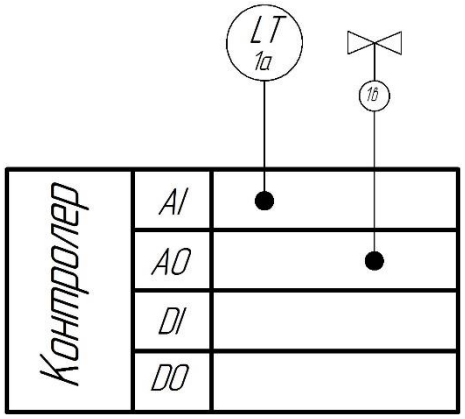


Рисунок 8 – Контур управління рівнем

В цьому контурі використовуємо ємнісний рівнемір Liquicap M FMI 51 (погружна частина 1.5 м, температура середовища -80…200 °С, максимальний тиск 100 бар) та електропривід для клапану Belimo NVF24-MFT-E потужністю 3.5 ВА.

3.2.3 Контур управління тиском

Контур управління тиском в паровому котлі зображено на рисунку нижче:

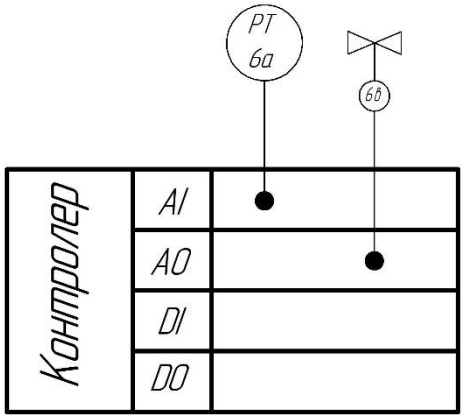


Рисунок 9 – Контур управління тиском

В цьому контурі використовуємо перетворювач тиску DMP 331 (робочий тиск 0…10 кгс/см^2, температура середовища -40…125 °С) та електропривід для клапану Belimo NVF24-MFT-E потужністю 3.5 ВА.

3.2.4 Контур контролю за тиском

Контур управління тиском в деаераторі зображено на рисунку нижче:

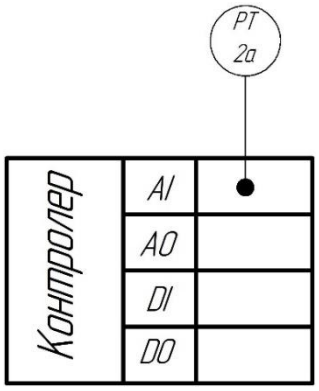


Рисунок 10 – Контур контролю за тиском

В цьому контурі використовуємо перетворювач тиску DMP 331 (робочий тиск 0…10 кгс/см^2, температура середовища -40…125 ^{o}C).

3.2.5 Контур контролю температури

Контур управління температурою топочних газів зображено на рисунку нижче:

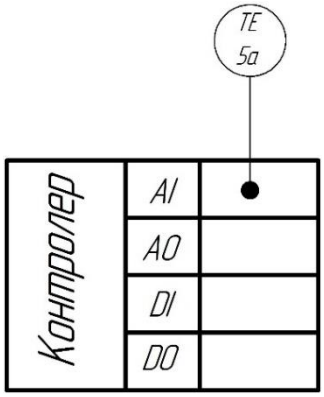


Рисунок 11 – Контур контролю температури

В цьому контурі використовуємо платиновий термоперетворювач опору ТС(П)-1187-3 (діапазон вимірювання -50…200 ^{o}C, довжина 300 мм).

3.2.6 Контур керування пальником котла

Контур управління пальником парового котла зображено на рисунку нижче:

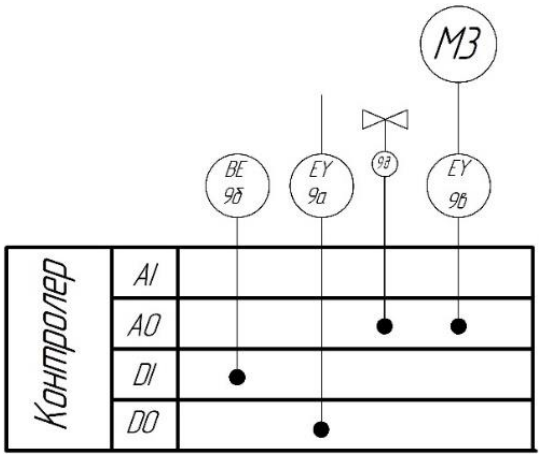


Рисунок 12 – Контур керування пальником котла

В цьому контурі використовуємо трансформатор розпалу УИ (живлення 220 В), прилад контролю полум’я ЛУЧ-М (живлення 220 В, релейний вихід), частотний перетворювач Danfoss VLT Automation Drive FC 302 (трифазний, 5.5 кВ) та електропривід для клапану Belimo NVF24-MFT-E потужністю 3.5 ВА.

3.2.6 Контур контролю електропровідності

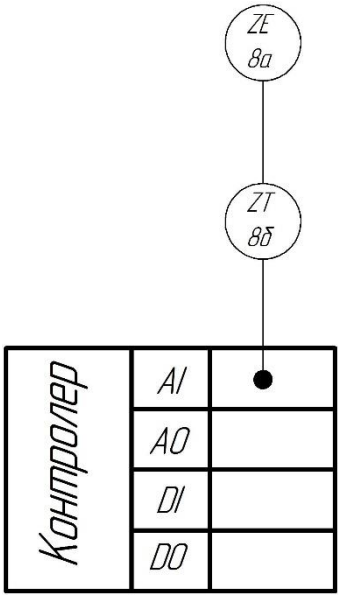


Рисунок 13 – Контур контролю електропровідності

В цьому контурі використовуємо кондуктометричний солемір КС-1М-1 (діапазон вимірювання 0.001…100 мСм/м).

Відповідно до опису технологічного процесу, його параметрів та розглянутих контурів регулювання розроблена функціональна схема [4] системи управління паровим котлом TH Ratiskovice (СУЗТ-71Ш.6.151.03.А2) та складено замовну специфікацію технічних засобів автоматизації.

4. ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Під час автоматизації процесу виготовлення сухої технічної пари доцільно використовувати централізовану систему керування [5]. Відповідно до цього було обрано технічні засоби автоматизації, прилади контролю і реєстрації.

Оскільки паровий котел відноситься до устаткування підвищеної небезпеки, основними критеріями відбору є надійність, точність та уніфікованість.

З тим розрахунком, що мінімальна їхня кількість забезпечить нормальний, безаварійний режим роботи устаткування.

4.1 Вибір датчиків

Відповідно до розглянутих контурів регулювання, контролю та сигналізації для реалізації знадобляться датчики температури, рівня та тиску.

4.1.1 Вибір датчиків температури

Засобів вимірювання температури існує багато. Ось деякі з них:

- термометри розширення;
- термометри опору;
- термоелектричні термометри;
- пірометри;
- манометричні термометри.

Термометри розширення та манометричні термометри мають невеликі межі вимірювання. До того ж складно передавати сигнал від місця вимірювання до щита оператора.

Пірометри можуть контролювати температуру, але не дають змоги її регулювати. До того ж пірометри зазвичай застосовуються для вимірювання високих температур.

Тому в якості датчиків температури розглядатимемо термоперетворювачі опору.

Термоперетворювач ТСПУ - 0289

Термоперетворювач опору ТСПУ – 0289 має уніфікований вихідний сигнал, вибухозахищений. Призначений для вимірювання температури шляхом перетворення її в уніфікований вихідний сигнал постійного струму.

Вимірює температуру газоподібних, рідких, твердих і сипучих речовин. Діапазон робочих температур лежить в межах від 0 до 200 °С, вихідний сигнал 4-20 мА.

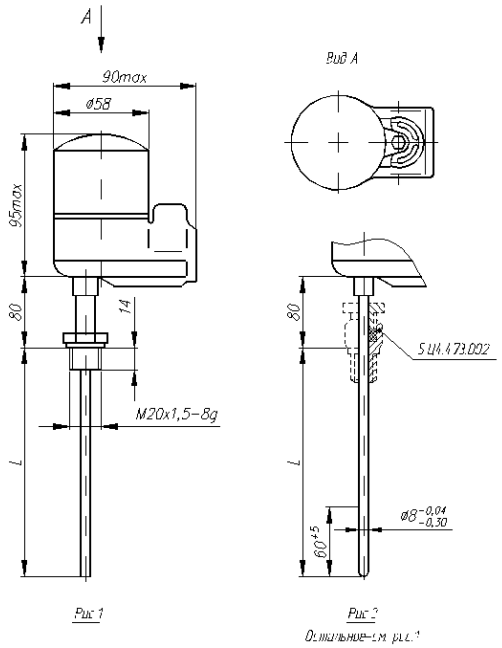


Рисунок 14 – Зовнішній вигляд та основні розміри датчика ТСПУ – 0289

Термоперетворювач опору платиновий ТС(П)-1187-3

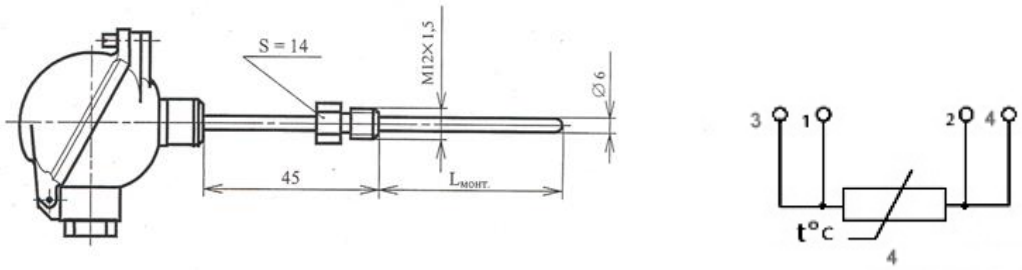


Рисунок 15 – Основні розміри термоперетворювача ТС(П)-1187-3 і схема з'єднання чутливого елемента

Основні технічні характеристики ТС(П)-1187-3 занесені до таблиці 2:

Таблиця 2 - Основні технічні характеристики ТС(П)-1187-3

Критичний параметр	Значення
Діапазон вимірюваних температур, °С	0 ... + 200
Номінальна статична характеристика перетворення	100П; Pt100; Pt500
Ставлення опору при 100 °С до опору при 0 °С (W100)	1,391; 1,385
Межа основної абсолютної похибки, °С для класу А для класу В	± [0.15 + 0.002 (t)] ± [0.30 + 0.005 (t)]
Група віброустойчивости по ГОСТ 12997	N2
Робочий тиск вимірюваного середовища, МПа модель 1, 2 / модель3 з гільзою	6,3 / 2,0
Вимірювальний струм не більше, мА для 100П, Pt100 / Pt500	3,0 / 1,0
Вид кліматичного виконання по ГОСТ 15150	У3
Ступінь захищеності від зовнішніх впливів	IP54
Міжповірочний інтервал, років	2
Матеріал захисної гільзи	12Х18Н10Т

Оскільки ТС(П)-1187-3 має кращий клас точності та розрахований на довший термін експлуатації, будемо використовувати в нашій САУ саме його.

4.1.2 Вибір датчиків рівня

Аналогічно до температури, існує багато датчиків вимірювання рівня:

- поплавкові;
- ємнісні;
- гідростатичні;
- буйкові;
- звукові;
- електромагнітні.

Безконтактні методи вимірювання використовуються у крайніх випадках і для вирішення наших завдань не підходять.

Розглянемо два найбільш розповсюджені типи датчиків рівня.

Рівнемір-регулятор буйковий пневматичний УРБ-П

Рівнемір-регулятор буйковий пневматичний УРБ-П, УРБ-ПМ призначені для роботи в системах автоматичного контролю, управління і регулювання параметрів виробничих технологічних процесів з метою видачі інформації у вигляді стандартного пневматичного сигналу про рівень рідини (УРБ-П) або межі розділу двох змішуються рідин (УРБ-ПМ), що знаходяться під вакуумметричним, атмосферним або надмірним тиском.

Умови експлуатації: рівнемір експлуатується в умовах, встановлених для виконання УХЛ категорії 3.1 або ХЛ категорії розміщення 2 по ГОСТ 15150, але для роботи при температурі навколишнього повітря від мінус 50 до плюс 70 °С для виконань УХЛ і ХЛ і від мінус 10 до плюс 45 °С для виконання Т.

В лінії, що підводить до рівнемірів повітря живлення, повинні бути встановлені фільтр і стабілізатор тиску повітря.

Повітря живлення повинно бути підготовано за класом забрудненості 0 відповідно до ГОСТ 17433. За стійкістю до механічних впливів рівнеміри витримують вібрацію частотою (10 – 55) Гц з амплітудою не більше 0,035 мм.

Ступінь захисту рівнемірів від впливу пилу і води IP54 по ГОСТ 14254.

Деталі, що контактують з контрольованим середовищем, в залежності від її агресивності, виготовляються зі сталі 20 або стали 12Х18Н10Т, що дозволяє забезпечити високу якість і надійність при тривалій експлуатації.

Ємнісний рівнемір Liquicap M FMI 51

Безперервно вимірює рівень рідких продуктів. Навіть за наявності прошарку емульсії.

Діапазон вимірювання до 6 м. Стрижньові зонди, виконання з неактивною зоною і заземлюючою трубкою.

Вихідні сигнали: струмовий 4...20 мА з HART, ЧИМ (FPM). Вибухозахищені виконання Ex ia, Ex d (ia).

Застосовуються також в складі систем оперативного і комерційного обліку для вимірювання рівня підтоварної води.

Застосування в контурах протиаварійного захисту з вимогами до функціональної безпеки по SIL2 відповідно до IEC61508 / IEC61511-1, ГОСТ 61508-х-2007. Сертифікат WHG.

Рисунок 16 – Ємнісний рівнемір **Liquicap M FMI 51**

За рахунок більшої чутливості, точності, надійності та уніфікації ємнісний датчик рівня **Liquicap M FMI 51** більш підходить для наших вимог.

Переваги Liquicap M FMI 51:

- Вбудований двоступеневий захист від перенапруги і електростатичних розрядів;

- Прилад поставляється з заводу відкаліброваним. Дані калібрування дійсні для будь-яких провідних рідин незалежно від місця установки, форми резервуара, хімічного складу води;

- Перебудова діапазону (шкали) без перекалібрування;

- Стабільні вимірювання при будь-якому шарі емульсії;

- Висока швидкодія;

- Місцеве та/або віддалене налаштування;

- Зонд з нержавіючої стали повністю покритий фторопластом, що забезпечує високу хімічну стійкість і скорочення відкладення на зонді завдяки низькій адгезія фторопласта;

- Самодіагностика справності блоку електроніки і цілісності покриття зонда.

4.1.3 Вибір датчиків тиску

Найбільш розповсюдженими приладами вимірювання тиску є деформаційними, грузопоршневі та електричні манометри.

Деформаційні та грузопоршневі не передбачають можливість передавати сигнал на відстань. Тому розглянемо електричні манометри.

Датчик тиску EJX430A

Датчик тиску EJX430A - призначений для вимірювання надлишкового тиску різних середовищ: рідини, газу та пара.

Рисунок 17 – Датчик тиску EJX430A

Основні характеристики: похибка вимірювань ± 0,04 % від шкали Стабільність вимірювання ± 0,1 % від верхньої межі вимірювання протягом 10 років.

Допускається повне зміщення нуля вниз (придушення нуля) або вгору (підняття нуля) в межах діапазону вимірювання капсули.

Максимальний робочий тиск капсула А – 3,5 МПа, капсула В – 16 МПа

Вихідний сигнал 4 ... 20 мА з функцією цифрового зв'язку з BRAIN або HART протоколу, Foundation Fieldbus.

Вихідний сигнал програмно може бути заданий лінійним або довільно сегментно лінеаризованим.

Час відгуку 95 мсек.

Температура процесу -40 ... 120 °С

Температура навколишнього середовища

-40 ... 85 ^{0}С (без індикатора)

-30 ... 80 ^{0}С (з індикатором)

Живлення 10,5 ... 42 В постійного струму

Матеріал, що контактує із середовищем, стандартно: мембрана - Hastelloy C-276

інше - нержавіюча сталь 316L SST

Конструктивне виконання стандартне: IP67

іскробезпечне: (EExiaIICT5)

вибухонепроникне: (EExdIICT4, T5, T6)

Міжповірочний інтервал - 3 роки.

Датчик перетворювач тиску DMP 331

Це універсальний недорогий датчик тиску для різних галузей промисловості. Він перетворює тиск робочого середовища в пропорційний електричний сигнал.

Датчик розрахований на вимір абсолютного або надлишкового тиску - як статичного, так і динамічного. Діапазони тиску від 0.04 до 40 бар. Можливі спеціальні виконання. Корпус датчика виготовлений з нержавіючої сталі 1.4571 і 1.4435. Стандартне ущільнення - витон (FKM), існують інші варіанти ущільнення.

Рисунок 18 – Датчик перетворювач тиску DMP 331

Переваги та особливості датчика тиску DMP331

- Ергономічне виконання;

- Кремнієвий тензорезистивний сенсор;

- Висока лінійність характеристик, висока температурна стабільність;

- Захист від неправильного підключення, короткого замикання і перепадів напруги;

- Міцна і надійна конструкція для важких умов експлуатації, тривалий термін служби;

- Корозійно-стійкий металевий корпус для польових умов;

- Виконання корпусу для промислових умов: герметичне нероз'ємне кабельне з'єднання, малі габаритні розміри;

- Іскробезпечне виконання: 0ExiaIICT4.

Беручи до уваги надійність, компактність та уніфікованість датчика тиску DMP 331, обираємо його для використання в нашій САУ.

4.2 Вибір контролера

Цифрові контролери мають суттєві переваги у порівнянні з аналоговими регуляторами. По-перше, простіше реалізувати алгоритм керування об’єктом управління. По-друге, цифрові контролери можна пристосовувати до характеристик об’єкта управління без зміни конструкції.

Під час вибору контролера для АСУ приймають до уваги багато факторів. До яких також відноситься розповсюдження та використання ПЛК певного виробника на схожих об’єктах управління.

Проаналізувавши схему автоматизації і наявні пропозиції на ринку виробників, було віддано перевагу відомому у світі виробнику сучасних, надійних, високотехнологічних мікропроцесорних контролерів Siemens.

Всі контролери Siemens забезпечують можливість отримання рентабельних рішень для побудови систем автоматичного управління в різних галузях промислового виробництва.

Siemens має можливість застосування структур локального і розподільного введення/виведення; широкі комунікаційні можливості; дуже багато функцій, які підтримуються на рівні операційної системи; зручний в експлуатації і обслуговуванні.

4.2.1 Контролер SIMATIC S7-300 [6]

Це модульний ПЛК, який призначений для побудови систем автоматизації низького та середнього ступенів складності. Модульна конструкція контролера має на увазі робота за умов природного охолодження.

Ефективному застосуванню контролерів цього сімейства сприяє можливість використання декількох типів центральних процесорів різної

продуктивності, наявність широкої гами модулів вводу/виводу дискретних і аналогових сигналів, функціональних модулів і комунікаційних процесорів.

4.2.2 Межі застосування SIMATIC S7-300 / S7-300C

Контролери дозволяють автоматизувати такі об’єкти управління як: машини спеціального призначення; текстильні і пакувальні машин; машинобудівельне обладнання; обладнання для виробництва технічних засобів управління і електротехнічної апаратури; системи автоматизованого регулювання та позиціонування; автоматизовані вимірювальні установки та інші.

Центральні процесори S7-300C обладнані набором вбудованих входів/виходів, а також набором вбудованих функцій, що дозволяє застосовувати ці процесори в якості готових блоків керування.

4.2.3 Конструкція SIMATIC S7-300

Як ми вже зазначили вище, контролери SIMATIC S7-300 мають модульну конструкцію. Вони можуть включати до свого складу наступні модулі:

• Модуль центрального процесора (CPU). Залежно від ступеня складності розв'язуваної задачі в контролерах можуть бути використані різні типи центральних процесорів, які відрізняються продуктивністю та об'ємом пам'яті, наявністю або відсутністю вбудованих входів/виходів і спеціальних функцій, кількістю і видом вбудованих комунікаційних інтерфейсів тощо.

• Модулі блоків живлення (PS), які забезпечують можливість живлення контролера від мережі змінного струму напругою 120/230 В або від джерела постійного струму напругою 24/48/60/110 В.

• Сигнальні модулі (SM), призначені для введення-виведення дискретних і аналогових сигналів з різними постійними чи тимчасовими параметрами.

• Комунікаційні процесори (CP) для підключення до мережі PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface або організації зв'язку через PtP (point to point) інтерфейс.

• функціональні модулі (FM), здатні самостійно вирішувати завдання автоматичного регулювання, позиціонування, обробки сигналів. функціональні модулі забезпечені вбудованим мікропроцесором і здатні виконувати покладені

на них функції навіть у разі зупинки центрального процесора програмованого контролера.

• Інтерфейсні модулі (IM), які забезпечують можливість підключення до базового блоку (стійка з CPU) стійок введення/виведення.

В цілому контролери SIMATIC S7-300 дозволяють використовувати у своєму складі до 32 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів, розподілених по 4 монтажним стійкам.

Всі модулі працюють з природним охолодженням. Конструкція контролера відрізняється високою гнучкістю і зручністю обслуговування:

• Всі модулі легко встановлюються на профільну рейку S7-300 і фіксуються в робочому положенні гвинтом.

• Всі модулі (крім модулів блоків живлення) мають вбудовані ділянки внутрішньої шини контролера. Поєднання цих ділянок виконується шинними з'єднувачами, які змонтовані на тильній стороні корпусу. Шинні з'єднувачі входять в комплект поставки всіх модулів за винятком центральних процесорів і блоків живлення.

• Наявність фронтальних з'єднувачів, що дозволяють провидити заміну модулів без демонтажу зовнішніх з'єднань і спрощують виконання операцій підключення зовнішніх ланцюгів модулів.

• Підключення зовнішніх ланцюгів через фронтальні з'єднувачі з контактами під гвинт або контактами-засувками. Механічне кодування фронтальних з'єднувачів, попереджує можливість виникнення помилок при заміні модулів.

• Застосування модульних і гнучких з'єднувачів SIMATIC TOP Connect, що істотно спрощують монтаж шаф управління.

• Єдина для всіх модулів глибина установки. Всі кабелі розташовуються в монтажних каналах модулів і закриваються захисними дверцятами.

• Довільний порядок розміщення модулів в монтажних стійках. фіксовані місця повинні займати тільки блоки живлення, центральні процесори і інтерфейсні

модулі.

•Допускається виконувати горизонтальну (вісь монтажної стійки орієнтована в горизонтальній площині) і вертикальну установку стійок контролера. При вертикальній установці погіршуються умови охолодження модулів, тому верхня межа допустимого діапазону робочих температур знижується.

4.2.4 Модифікація контролера SIMATIC S7-300

• Модульний програмований контролер для вирішення задач автоматизації різного рівня складності.

• Широкий спектр модулів для максимальної адаптації до вирішення будь-якої задачі.

• Можливість використання розподілених структур введення-виведення і просте включення в різні типи промислових мереж.

• Зручна для обслуговування конструкція і робота з природнім охолодженням.

• Вільне нарощування можливостей при модернізації системи.

• Висока потужність, завдяки великій кількості вбудованих функцій.

SIMATIC S7-300C

• Випробувана технологія S7-300.

• Наявність вбудованих входів і виходів, можливість використання в якості готової системи автоматизації.

• Підтримка функцій швидкісного рахунку, ПІД-регулювання та позиціонування на рівні операційної системи центрального процесора.

• Розширення модулями S7-300.

4.2.5 Модифікація контролера SIMATIC S7-300F

• Програмований контролер для побудови розподілених систем автоматики безпеки.

• CPU 315F-2DP / CPU 317F-2DP з вбудованими функціями автоматики, безпеки і інтерфейсом PROFIBUS DP, підтримуючим профіль PROFI safe.

• Системи розподіленого вводу-виводу на основі станцій ET 200M з F-модулями і станцій ET 200S PROFIsafe.

• Забезпечення рівнів безпеки SIL1 ... SIL2 по IEC / EN 61508, а також категорій

1 ... 4 по EN 954-1.

• Реалізація стандартних функцій управління з функціями автоматики безпеки в одній системі. SIPLUS S7-300

• Програмований контролер для експлуатації у важких промислових умовах.

• Перевірена технологія S7-300.

• Зручна установка, програмування, обслуговування та експлуатації.

• Ідеальне виріб для автомобілебудування, хімічної промисловості, установок для захисту навколишнього середовища, різних виробництв, харчової промисловості.

• Замінює дорогі системи спеціального призначення.

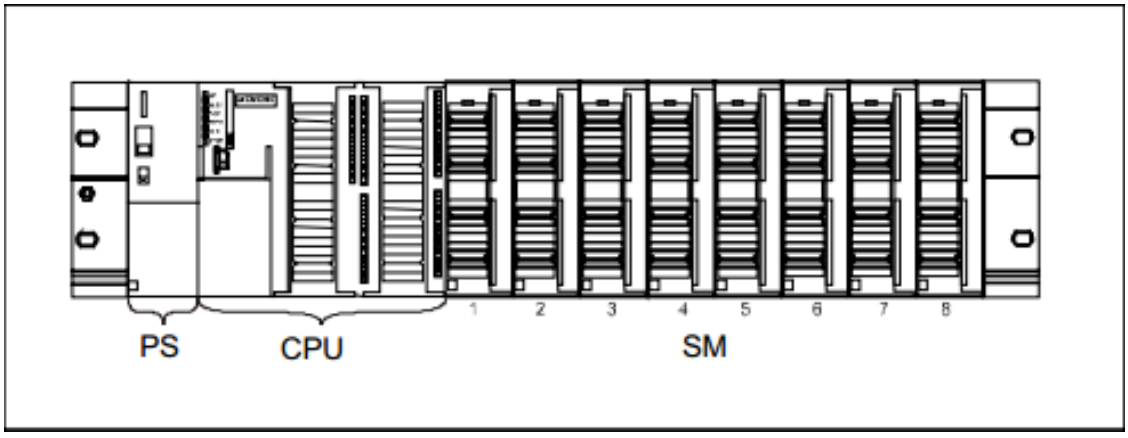
• Допускає тимчасове обмерзання друкованих плат.

4.2.6 функції контролера SIMATIC S7-300

Велика кількість модулів програмованого контролера S7-300 забезпечено набором вбудованих інтелектуальних функцій, що істотно спрощують експлуатацію системи управління:

• Моніторинг збору сигналів (діагностика).

• Моніторинг сигналів апаратних переривань.



PS – Порти зв’язку; CPU – Блок процесора; SM – модулі розширення.

Рисунок 19 – Зображення розташування модулів.

Діагностика використовується для визначення працездатності модулів вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів. Для передачі діагностичної інформації застосовуються шифровані і не шифровані повідомлення:

• Шифровані діагностичні повідомлення можуть Пересилатися тільки в тому випадку, якщо це дозволено відповідним параметром налаштування.

• Чи не шифровані діагностичні повідомлення, пересилання яких проводиться незалежно від відповідних параметрів настройки.

4.2.7 Діагностика контролера SIMATIC S7-300

Якщо діагностичне повідомлення готове до передачі (наприклад, повідомлення про відсутність напруги живлення датчика), то модуль генерує діагностичне переривання (для шифрованих повідомлень тільки в разі визначення параметрів

дозволу передачі). Центральний процесор перериває виконання програми користувача або завдань з нижчим пріоритетом і викликає відповідний організаційний блок. Залежно від типу модуля діагностичні повідомлення можуть носити різний характер.

4.2.8 Центральні процесори контролера SIMATIC S7-300

Центральні процесори S7-300 представлені таким модельним рядом:

• CPU 312: центральний процесор для побудови невеликих систем управління, що включають в свій склад до 8 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікацію процесорів.

• CPU 312C: компактний центральний процесор з 10 дискретними входами і 6 дискретними виходами, а також вбудованими функціями швидкісного рахунку (2х10кГц) і вимірювання частоти (2х10кГц) або тривалості періоду. Можливе використовуватися в якості автономного блоку керування.

• CPU 313C: компактний центральний процесор з 24 дискретними входами, 16 дискретними виходами, 4 аналоговими входами для вимірювання уніфікованих сигналів сили струму або напруги, одним аналоговим входом для підключення датчика температури Pt100 і 2 аналоговими виходами. Набір вбудованих функцій включає в свій склад швидкісний рахунок, вимір частоти

або тривалості періоду, ПІД-регулювання. Може використовуватися в якості автономного блоку керуваня

• CPU 313C-2 PtP і CPU 313C-2 DP: компактні центральні процесори з 16 дискретними входами, 16 дискретними виходами і вбудованим інтерфейсом MPI. Можуть використовуватися як автономні блоки керування. Обидва процесора мають додатковий комунікаційний інтерфейс:

- CPU 313C-2 PtP - послідовний інтерфейс RS 422 /RS 485 для організації PtP

- CPU 313C-2 DP - інтерфейс ведучого / веденого пристрою PROFIBUS DP.

• CPU 314: центральний процесор для побудови систем керування, в яких потрібно швидкісна обробка інформації та підтримка систем локального введення-виведення, включають в свій склад до 32 модулів.

• CPU 314C-2 PtP і CPU 314C-2 DP: компактні центральні процесори з 24 дискретними входами, 16 дискретними виходами, 4 аналоговими входами для вимірювання уніфікованих сигналів сили струму або напруги, одним аналоговим

входом для підключення датчика температури Pt100, 2 аналоговими виходами і вбудованим інтерфейсом MPI. Набір вбудованих функцій включає до свого складу швидкісний рахунок, вимір частоти або тривалості періоду, ПІД-регулювання, позиціювання по одній осі. Можуть використовуватися в якості автономних блоків управління. Обидва процесора мають додатковий ком-

комунікаційних інтерфейс:

- CPU 314C-2 PtP - послідовний інтерфейс RS 422 /RS 485 для організації PtP;

- CPU 314C-2 DP - вбудований інтерфейс ведучого /веденого пристрою PROFIBUS DP.

• CPU 315-2 DP: центральний процесор з вбудованими інтерфейсом MPI і ведучого / веденого пристрою PROFIBUS DP для побудови високопродуктивних

систем автоматизації з розвиненою системою локального і розподіленого вводу-виводу.

• CPU 315F-2 DP: центральний процесор для побудови розподілених систем автоматики безпеки. Вбудований інтерфейси MPI і PROFIBUS DP з

підтримкою профіля PROFI safe. Операційна система центрального процесора доповнена функціями автоматики безпеки.

• CPU 315-2 PN / DP: центральний процесор з вбудованими інтерфейсами MPI / DP і PROFINET, призначений для використання в модульних системах Component Based Automation і системах розподіленого вводу-виводу на основі Industrial Ethernet.

• CPU 315T-2 DP: центральний процесор з набором вбудованих в операційну систему технологічних функцій, орієнтований на побудову розподілених систем

позиціонування. Вбудовані інтерфейси MPI / DP і PROFIBUS DP з підтримкою профілю PROFIdrive.

• CPU 317-2 DP: центральний процесор з вбудованими інтерфейсу MPI / DP і PROFIBUS DP, великим обсягом пам'яті програм і даних, високою продуктивністю. Призначений для побудови високопродуктивних систем автоматизації з розвиненою системою локального і розподіленого вводу-виводу.

• CPU 317F-2 DP: центральний процесор для побудови розподілених систем автоматики безпеки. Вбудовані інтерфейси MPI / DP і PROFIBUS DP з підтримкою профілю PROFIsafe. Операційна система центрального процесора доповнена функціями автоматики безпеки.

• CPU 317-2 PN / DP: центральний процесор з вбудованими інтерфейсами MPI / DP і PROFINET, призначений для використання в модульних системах Component Based Automation і системах розподіленого вводу-виводу на основі Industrial Ethernet.

• CPU 317T-2 DP: центральний процесор з набором вбудованих в операційну систему технологічних функцій, орієнтований на побудову розподілених систем

позиціонування. Вбудовані інтерфейси MPI / DP і PROFIBUS DP з підтримкою профілю PROFIdrive.

• CPU 318-2 DP: потужний центральний процесор з вбудованими інтерфейсами MPI і PROFIBUS DP, призначений для швидкісного виконання

програм великого об’єму та обслуговування розвинених систем локального і розподіленого введення-виведення.

• CPU 319-3 PN / DP: потужний центральний процесор з вбудованими інтерфейсами MPI / DP, PROFIBUS DP і PROFINET, призначений для швидкісного виконання програм великого об'єму і обслуговування розвинених систем локального і розподіленого вводу-виводу.

Базуючись на вищенаведеній інформації я вибрав контролер на основі процесора: CPU 314C-2 PtP з послідовним інтерфейсом RS 422 /RS 485 для організації PtP зв’язку, що необхідна для створення робочої мережі.

Прилад має вбудований PtP (Point to Point) зв’язок, що дозволяє створити внутрішню мережу, наприклад: Контролер – панель контролера – Пк – принтер –модем, що забезпечить швидке реагування на зміни в процесі і забезпечить по мірі необхідності ручне керування процесом через процесор.

5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Одним із завдань впровадження системи автоматичного управління теплоенергетичним обладнанням є підвищення економічності його роботи.

Досягти цього можна рухаючись у двох напрямах одночасно: використання сучасних технічних засобів автоматизації (в тому числі із застосуванням комп'ютеризованих керуючих комплексів) і доповнення контурів управління додатковими інформаційними датчиками (з побудовою більш складного алгоритму роботи системи).

Отримання математичної моделі об'єкта управління дозволить нам дослідити поведінку всієї системи управління паровим котлом, а відтак і побудувати алгоритму її роботи.

Є два варіанти отримання математичної моделі: аналітичний та експериментальний.

Експериментальний метод передбачає отримання всіх необхідних даних та перехідних процесів з об'єкта управління безпосередньо.

Аналітичний метод базується на розгляді та аналізі фізичних законів, які визначають хід теплоенергетичних процесів в об'єкті управління.

Оскільки у нас немає фізичного доступу до котла TH Ratiskovice THS 50, отримаємо математичну модель аналітичним методом. А експериментальний метод залишимо для перевірки (в перспективі) отриманої моделі.

Аналітичний метод отримання математичної моделі

Якість отриманої моделі та її реалістичність залежать від ретельності вивчення явищ в об'єкті управління та фізичних законів, на яких ці явища ґрунтуються.

Перехідні процеси, які мають той чи інший вид кривої, можна описати відповідними диференційними рівняннями.

Основними конструктивними елементами газоповітряної магістралі парового котла TH Ratiskovice THS 50 є газохід (трубопроводи, по яким димові гази рухаються від камери згорання до димоходу) та повітровід (трубопроводи, по яким повітря поступає на пальники).

На цих ділянках об’єкта регулюють тиск (а саме розрідження) димових газів у верхній частині камери згорання та надлишок повітря, який визначає економічність процесу горіння [2].

З метою спрощення розрахунків, під час формулювання диференційних рівнянь газоходу та повітроводу зробимо кілька допущень.

- газохід (після димососа) і повітропровід (після нагнітаючого вентилятора) дуже короткі, тому зворотня реакція тиску в камері згорання на витрати палива і повітря на вході в топку відносно мала;
- акумулююча ємність камери згорання і газоходів зосереджена в одному обсязі, а дросельна здатність газоходів і поверхонь нагріву зосереджена в одній точці;
- під час управління вищезазначеною технологічною ділянкою, зміна масової витрати димових газів та повітря змінюється положенням направляючих апаратів димососа і вентилятора.

Враховуючи вищезазначені припущення замінимо ділянки регулювання спрощеною системою, яка складається з ємності, дроселя і димососа.

Динамічні і статичні властивості парового котла в нестаціонарних режимах роботи мають нелінійний вигляд. Тому під час отримання багаторежимної математичної моделі, замінимо нелінійну модель спектром моделей, які лінеаризовані щодо декількох типових режимів [5].

Зобразимо об’єкт моделювання схематично:

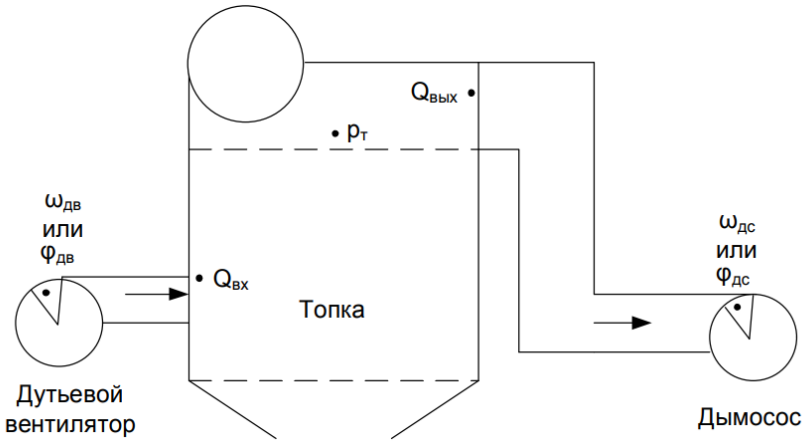


Рисунок 20 – Схематичне зображення газоповітряного тракту котла як об’єкту моделювання

На наведеному схематичному зображенні позначимо місця вимірювання необхідних параметрів та величин. Для того, щоб вивести диференційні рівняння об’єкта моделювання, визначимо вхідні та вихідні змінні.

Вхідні (керуючі) змінні будуть такими:

- швидкість обертання нагнітаючого вентилятора ($\omega_{дв}$, об/хв);
- кут відкриття направляючого апарату нагнітаючого вентилятора ($\varphi_{дв}$, %);
- швидкість обертання приводу димососа ($\omega_{дс}$, об/хв);
- кут відкриття направляючого апарату димососа ($\varphi_{дс}$, %).

Вихідні (регульовані) змінні будуть такими:

- витрата загального об’му повітря ($Q_{вх}$, $м^3/с$);
- витрата об’єму димових газів ($Q_{вих}$, $м^3/с$);
- тиск (а саме розрідження) в топці ($Р_т$, Па).

Враховуючи вищезазаначену інформацію, запишемо рівняння, які характеризують фізичні процеси в газоповітряному тракті.

Закон збереження маси має такий вигляд:

$$\frac{dm}{dt} = Q_{вх} - Q_{вых} \qquad (1)$$

Різниця між обсягами речовин на вході і виході акумулюється в просторі топки [3].

Рівняння стану, як відомо з курсів термодинаміки, має наступний вигляд:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \qquad (2)$$

де V = Vт = 50 $м^3$;

m = V = V · 1,3 $кг/м^3$ – поточна маса газу в топці котла

μ= 44 кг/кмоль - молярна маса газу для CO2;

R = 8,31 · 103Дж/ºС кмоль - універсальна газова стала.

З рівняння отримаємо співвідношення, що зв’язує масу і тиск. В нашому випадку:

$$m = k_{\text{сост}} p \qquad (3)$$

де $к_{сост}$ = 0,0002 кг/Па – коефіцієнт стану.

Підставивши співвідношення в закон збереження маси, отримаємо формулу зміни тиску:

$$k_{\text{сост}} \frac{dp}{dt} = Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вых}} \qquad (4)$$

Змінна розрідження в топці котла враховується в системі рівнянь за допомогою балансу тисків. Запишемо цей баланс тисків у вигляді системи диференційних рівнянь для повітряної і газової ділянок:

$$\begin{cases} \frac{l_{\text{в}}}{S_{\text{в}}} \frac{dQ_{\text{вх}}}{dt} = p_{\text{дв}} - p_m - p_{\text{сопр.в}}, \\ \frac{l_{\text{г}}}{S_{\text{г}}} \frac{dQ_{\text{вых}}}{dt} = p_{\text{дс}} + p_m - p_{\text{сопр.г}}, \end{cases} \qquad (5)$$

де $l_в$- довжина повітряної ділянки, м; $S_в$ - площа поперечного перерізу повітряної ділянки, м^2; $l_г$- довжина газової ділянки, м; $S_г$ - площа поперечного перерізу газової ділянки, м2; $р_{дв}$- тиск, що нагнітається дуттєвим вентилятором, Па; $р_{сопр.в}$ - аеродинамічний опір повітряної ділянки, Па; $р_{дс}$ - тиск, що нагнітається димососом, Па; $р_{сопр.г}$ - аеродинамічний опір газової дільниці, Па.

Далі запишемо рівняння гідродинаміки, яке встановлюється співвідношенням між витратою і втратами тиску на опір. Записуємо рівняння, ввівши допущення, що потоки повітря і газу ламінарні:

$$\begin{cases} p_{\text{сопр.в}} = \xi_{\text{в}} Q_{\text{вх}}, \\ p_{\text{сопр.г}} = \xi_{\text{г}} Q_{\text{вых}}. \end{cases} \qquad (6)$$

З максимальних величин аеродинамічного опору газового і повітряного трактів, визначимо коефіцієнти аеродинамічного опору для нашого прикладу.

$р_{сопр\ max\ в}$= 4170 Па;

ξв = 32,8 кг / с м4;

$р_{сопр\ max\ г}$= 2740 Па;

ξг = 11,1 кг / с м4.

Перепишемо диференціальні рівняння в вигляді

$$\begin{cases} \dfrac{l_{\text{в}}}{S_{\text{в}}}\dfrac{dQ_{\text{вх}}}{dt} = p_{\text{дв}} - p_m - \xi_{\text{в}} Q_{\text{вх}}, \\ \dfrac{l_{\text{г}}}{S_{\text{г}}}\dfrac{dQ_{\text{вых}}}{dt} = p_{\text{дс}} + p_m - \xi_{\text{г}} Q_{\text{вых}}. \end{cases} \quad (7)$$

Рівняння нагнітаючого вентилятора і димососа припускаються і записуються, що тиск в них залежить лінійно від швидкості обертання двигуна:

$$\begin{cases} p_{\text{дв}} = k_{\text{дв}}\omega_{\text{дв}}, \\ p_{\text{дс}} = k_{\text{дс}}\omega_{\text{дс}}, \end{cases} \quad (8)$$

де $к_{\text{дв}}$= 0,04 Па с, $к_{\text{дс}}$= 0,08 Па с.

Після перетворень отримані диференціальні рівняння обсягів об’єднаємо в систему, що характеризує газоповітряний тракт як об'єкт регулювання [4]:

$$\begin{cases} \dot{Q}_{\text{вх}} = -\xi_{\text{в}}\dfrac{S_{\text{в}}}{l_{\text{в}}}Q_{\text{вх}} + k_{\text{дв}}\dfrac{S_{\text{в}}}{l_{\text{в}}}\omega_{\text{дв}} - \dfrac{S_{\text{в}}}{l_{\text{в}}}p_m, \\ \dot{Q}_{\text{вых}} = -\xi_{\text{г}}\dfrac{S_{\text{г}}}{l_{\text{г}}}Q_{\text{вых}} + k_{\text{дс}}\dfrac{S_{\text{г}}}{l_{\text{г}}}\omega_{\text{дс}} + \dfrac{S_{\text{г}}}{l_{\text{г}}}p_m, \\ \dot{p}_m = \dfrac{1}{k_{\text{сост}}}Q_{\text{вх}} - \dfrac{1}{k_{\text{сост}}}Q_{\text{вых}}. \end{cases} \quad (9)$$

Для того щоб виявити деякі властивості, підставимо конкретні дані для вже згаданого нами об'єкта:

$$\begin{cases} \dot{Q}_{\text{вх}} = -14,21Q_{\text{вх}} + 0,02\omega_{\text{дв}} - 0,43p_m, \\ \dot{Q}_{\text{вых}} = -4,81Q_{\text{вых}} + 0,04\omega_{\text{дс}} + 0,43p_m, \\ \dot{p}_m = 5000Q_{\text{вх}} - 5000Q_{\text{вых}}. \end{cases} \quad (10)$$

З метою більш зручного моделювання в Simulink, перейдемо до змінних станів [5]. З цією метою введемо позначення: $Q_{\text{вх}}$ = x1, $Q_{\text{вих}}$ = x2, $p_{\text{т}}$ = x3, $\omega_{\text{дв}}$ = u1, $\omega_{\text{ду}}$ = u2. Диференційні рівняння стану запишуться таким чином:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -14,21x_1 - 0,43x_3 + 0,02u_1, \\ \dot{x}_2 = -4,81x_2 + 0,43x_3 + 0,04u_2, \\ \dot{x}_3 = 5000x_1 - 5000x_2. \end{cases} \quad (11)$$

Для складання структурної схеми об'єкта регулювання, запишемо диференційні рівняння стану у векторно-матричному вигляді:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu, \\ y = Cx; \end{cases}$$

$$A = \begin{bmatrix} -14,41 & 0 & -0,43 \\ 0 & -4,81 & 0,43 \\ 5000 & 5000 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0,02 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0,04 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Дослідження моделі

Складаємо структурну схему об'єкта регулювання:

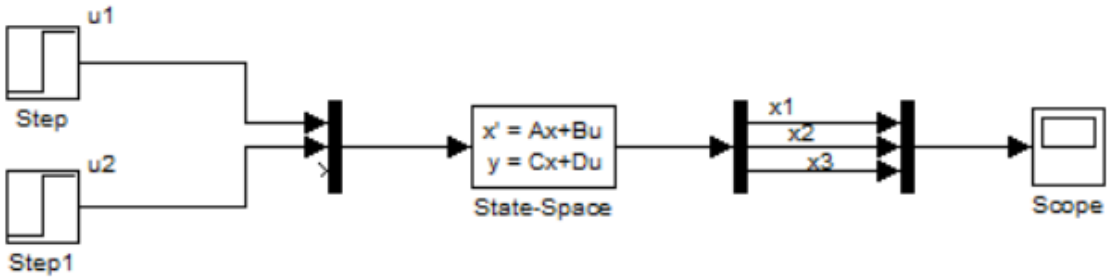


Рисунок 21 - Структурна схема об'єкта регулювання з використанням векторно-матричної форми запису

З метою ілюстрації деяких властивостей, побудуємо перехідний процес. Для цього скористаємся пакетом прикладних програм Simulink. Масштабуємо отримані криві для наочності:

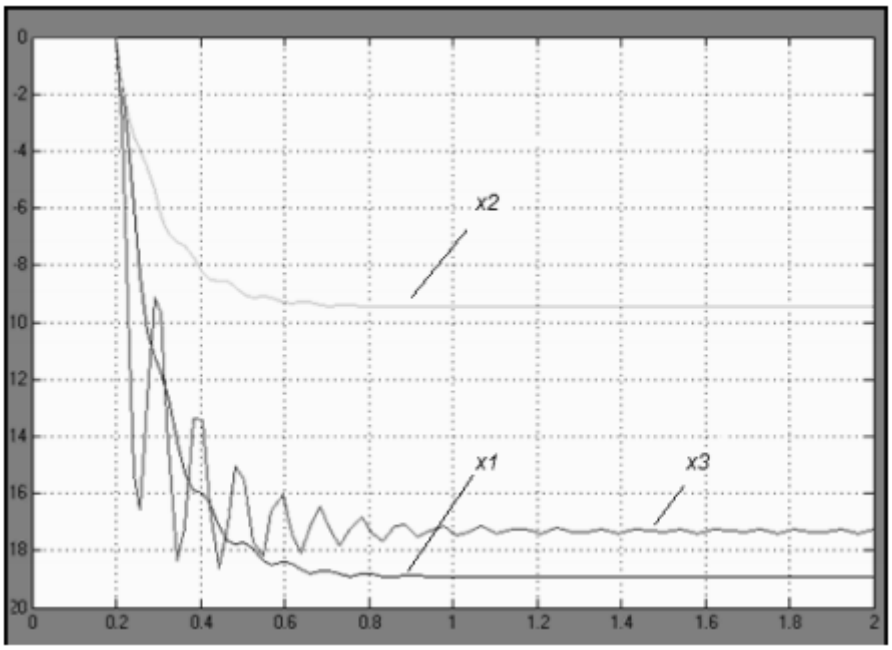


Рисунок 22 - Криві перехідних процесів: x_1 - витрата повітря; x_3 - розрідження в топці, x_2 - витрата газу

Перехідний процес отриманий введенням 10% збурення з каналу управління. На початку ми мали нульові сигнали на вході і виході, а в точці чАСУ 0,2 с задали швидкість електродвигунів тягодуттєвих машин, рівну 300 об/хв. Таке збурення цілком властиве під час експлуатації теплоенергетичних установок.

Як ми бачимо на рисунку 18, крива змінної x3 носить коливальний характер, який властивий рівнянню другого порядку. Хоча рівняння відповідає першому порядку.

Це відбувається через наявність великих коефіцієнтів [10] в системі. Таким чином ми бачимо, що відносно невеликі коливання витрат при встановленні процесу викликають сильні кидки тиску.

Термодинаміка вважає [11], що коливання тиску пов'язані з пульсаціями факела горіння і тиску тягодуттєвих машин.

Негативною властивістю ділянки виступає коливання регульованої величини в межах середнього значення амплітуди до 30 ... 50 Па (3 ... 5 мм вод. ст.) І частотою до декількох Гц.

Такі коливання (цілком можна назвати їх пульсаціями) залежать від великої кількості факторів. Наприклад від пульсацій витрат палива і повітря.

В сфері експлуатації повітродувних установок це є однією з серйозних проблем. І від цих пульсацій тиску не вдається позбутися ніякими налаштуваннями повітродувок.

Нам необхідно переконатися, що це властивість об'єкта регулювання, а не тягодуттєвого устаткування. З цією метою знайдемо корні системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -9,559, \\ \lambda_{2,3} &= -4,73 \pm j65,234. \end{aligned} \qquad (13)$$

Зобразимо корні на комплексній площині:

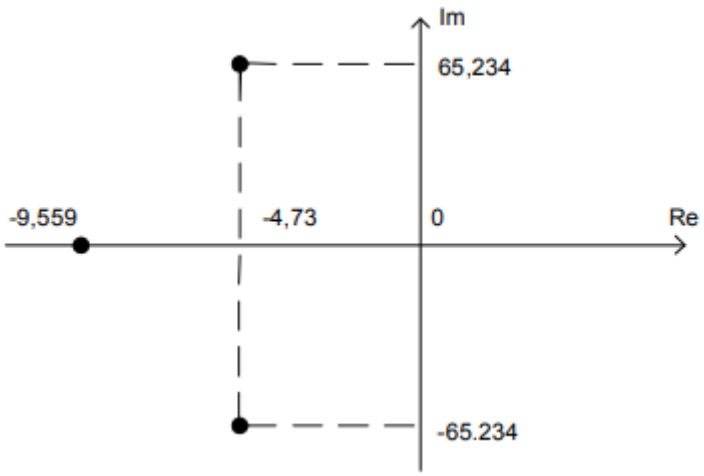


Рисунок 23 - Діаграма розташування коренів на комплексної площини: один чисельний корінь і два комплексно-сполучених корені з реальною і уявною частинами

Таке розташування коренів на площині вказує на коливальний характер процесів.

Виділимо парціальну складову підпроцесів для пари комплексних коренів. Чисельні значення візьмемо з попередніх рівнянь.

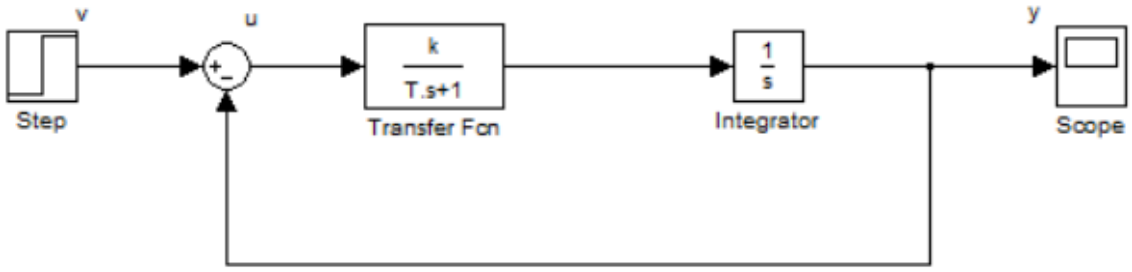


Рисунок 24 – Структурна схема системи другого порядку.

Характеристичне рівняння замкнутої системи:

$$\frac{T}{k}p^2+\frac{1}{k}p+1=0 \qquad (14)$$

Дискримінант рівняння:

$$D=\frac{1}{k^2}-4\frac{T}{k} \qquad (15)$$

Якщо дискримінант буде від’ємним, то в системі будуть уявні корені.

$$T>\frac{0,25}{k} \qquad (16)$$

Таким чином ми отримали умову коливальності. Перевіримо це твердження, побудувавши перехідний процес:

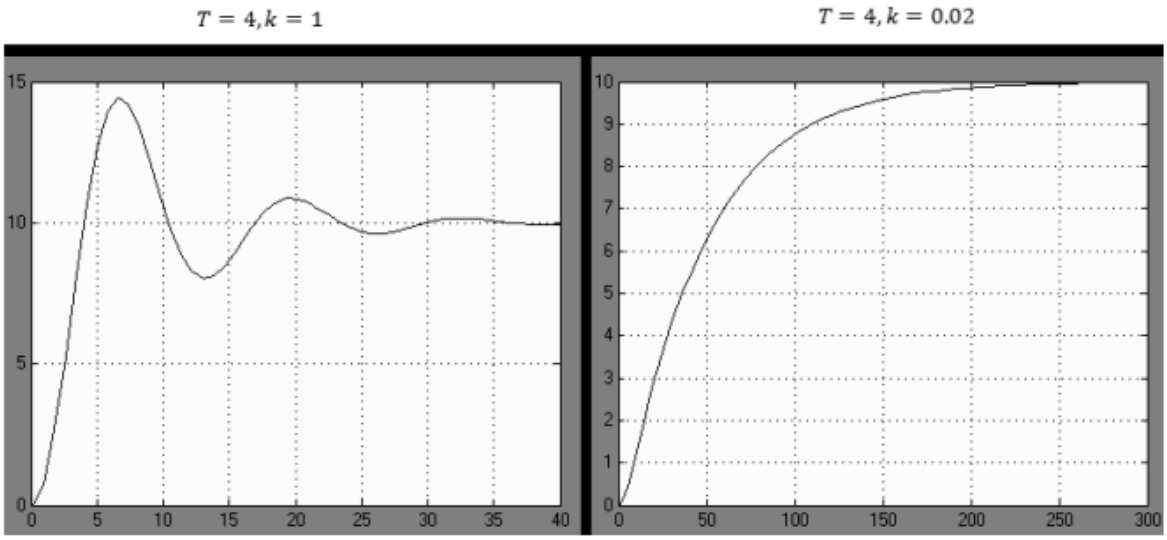


Рисунок 25 - Перехідні процеси системи з різними коефіцієнтами.

Бачимо, що реальні частоти відповідають необхідній нам виділеній підсистемі коливань.

Виходячи з дослідження, виведемо передаточну функцію системи управління, підставивши реальні характеристики об’єкта управління, що буде виражена формулою:

$$W(p) = \frac{5.114}{3.272p^2+3.837p+1} \quad (17)$$

Отримана математична модель враховує взаємний вплив регульованих величин. Це значно спрощує побудову системи регулювання газоповітряного тракту.

Дослідження розробленої моделі вказує на те, що передаточна функція, яка характеризує об'єкт, має коливальний характер. Це викликано тим, що система рівнянь має комплексно пов'язані корені з реальною і уявною частиною.

Отже пульсації тиску – це властивість об'єкта регулювання, яка не залежить від пульсацій факела горіння і тягодуттєвих приводів. Вирішується ця проблема такими налаштуваннями регулятора, які будуть пригнічувати пульсації.

Відповідно, надалі проведемо розрахунок налаштувань регулятора та проведемо синтез системи.

Аналіз стійкості САУ без наявності регулятора за критерієм Гурвіца

Охопимо об’єкт управління одиничним зворотним зв’язком:

$$W_З(s) = \frac{W(s)}{1 + W(s)} \quad (18)$$

$$W_З(s) := \frac{5.114}{3.272 \cdot s^2 + 3.837 \cdot s + 6.114} \quad (19)$$

Запишемо поліном системи (вираз, який розташовано в знаменнику формули (18)):

$$D(s) := 3.272 \cdot s^2 + 3.837 \cdot s + 6.114 \quad (20)$$

Оскільки наша система є системою другого порядку і всі коефіцієнти характеристичного полінома додатні, виконується необхідна умова стійкості системи.

Перевіримо це твердження. Виконаємо перевірку системи керування на стійкість за допомогою критерія Гурвіца.

Записуємо коефіцієнти характеристичного рівняння у порядку зростання: α_0=3.272; α_1=3.837; α_2=6.114. Це полегшує процес складання головного визначника Гурвіца.

Тепер безпосередньо складаємо головний визначник Гурвіца [12]. Його індекс буде дорівнювати старшій ступені характеристичного полінома досліджуваної системи:

$$\Delta_2 = \begin{pmatrix} \alpha_1 & 0 \\ \alpha_0 & \alpha_2 \end{pmatrix} \quad (21)$$

За допомогою програмного математичного пакету MathCad розрахуємо визначники Гурвіца:

$$\Delta 1 := 3.837$$

$$\Delta 2 := \begin{pmatrix} 3.837 & 0 \\ 3.272 & 6.114 \end{pmatrix}$$

$$|\Delta 2| = 23.459 \quad (22)$$

$Б_1 = \alpha_1 = 3{,}837 > 0$;

$Б_2 = \alpha_2 \cdot Б_1 = 6{,}114 \cdot 3{,}837 = 23{,}459 > 0.$

Оскільки всі визначники Гурвіца додатні і їхні знаки співпадають зі знаком коефіцієнта $\alpha_0 = 3{,}272 > 0$, то остаточно переконуємося в стійкості досліджуваної системи.

Побудова перехідної характеристики замкнутої системи та визначення основних показників якості

Для того, щоб побудувати перехідну характеристику замкненої системи управління, подаємо на її вхід одиничний ступінчатий вплив, який має зображення

$$U(s) = \frac{1}{s} \qquad (23)$$

Передаточна функція визначається як відношення зображень по Лапласу вихідного сигналу до вхідного ($W_з(s) = У(s)/U(s)$). Таким чином можемо записати:

$$У(s) = W_з(s) \cdot U(s) \qquad (24)$$

Отримаємо відповідно:

$$Y(s) := \frac{5.114}{s \cdot \left(3.272 \cdot s^2 + 3.837 \cdot s + 6.114\right)} \qquad (25)$$

Застосуємо до останньої формули (за допомогою програмного математичного пакету MathCad) зворотне перетворення Лапласа. Отриманий вираз і буде перехідною функцією, яку ми шукаємо:

$$h(t) := Y(s) \left| \begin{matrix} \text{float}, 3 \\ \text{invlaplace}, s \end{matrix} \right. \rightarrow 0.836 - (0.418 - 0.199i) \cdot e^{-(0.586 - 1.23i) \cdot t} - (0.418 + 0.199i) \cdot e^{-(0.586 + 1.23i) \cdot t} \qquad (26)$$

Тепер побудуємо графік цієї перехідної функції:

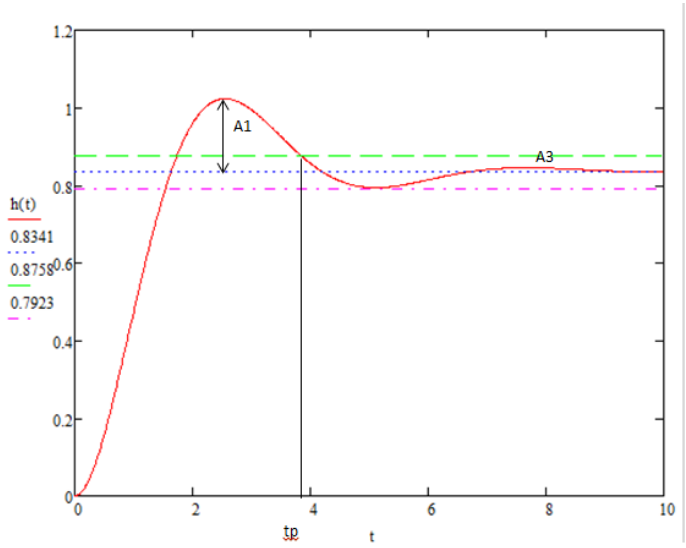


Рисунок 26 – Перехідна характеристика замкненої системи керування

За допомогою отриманого графіка знаходимо основні показники якості перехідного процесу:

1. Величина перерегулювання

$$\sigma = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100\%, \qquad (27)$$

A_1 – перше максимальне відхилення;

A_2 – друге (від'ємне) максимальне відхилення.

Підставивши значення, отримуємо $\sigma = \frac{0.042}{0.19} * 100\% = 22.1\%$

2. Час перехідного процесу

t_p = 3,83 с

3. Ступінь затухання

$$\psi = 1 - \frac{A_3}{A_1} \qquad (28)$$

A_3 – третє максимальне відхилення.

Підставивши значення, отримуємо ψ = 1 - (0.110/0.19) = 0,94.

Синтез системи управління по каналу завдання методом розширених частотних характеристик (методом Дуднікова)

Коли ми говоримо про синтез автоматизованої системи управління паровим котлом, ми розуміємо розрахунок раціональної структури САУ та підбір оптимальних параметрів окремих її елементів.

Відомими частинами є об’єкт керування, регулюючі органи, технічні засоби вимірювання. Невідомими складовими є регулюючі елементи системи.

Таким чином в процесі математичного синтезу ми маємо визначити оптимальні для наших умов закон регулювання та/або алгоритм роботи САУ.

Побудова лінії рівного згасання

Представимо об’єкт керування у вигляді послідовного з’єднання аперіодичної та інтегральної ланок.

Для них вирази розширеної частотної характеристики відомі [3] і матимуть вигляд:

$$Wo(m,w)=\frac{Ke^{mwt}}{\sqrt{(1-Qm-Rw^2)+w^2(a_1-Sw)^2}}e^{j\left(-arctg\frac{w(a_1-Sw)}{1-Qm-Rw^2}-w\tau\right)} \quad (29)$$

де $Q=a_1m;\quad R=a_2(1-m^2),\quad S=2a_2m.$

За умовою ψ = 0,75 із довідника [12] отримаємо m = 0,221.

Розширена АфЧХ ПІ-регулятора з двома незалежними параметрами настройки описується передаточною функцією:

$$W_{ПІ}(s)=k_1+\frac{1}{T_is}=k_1+\frac{k_0}{s} \quad (30)$$

Користуючись літературними джерелами [1] отримаємо:

$$W_{ПІ}(k_0,k_1,m,w)=\frac{\sqrt{(k_0-mwk_1)^2+(wk_1)^2}}{w\sqrt{m^2+1}}e^{j\left(-\frac{\pi}{2}+arctg\frac{wk_1}{k_0-mwk_1}-arctgm\right)} \quad (31)$$

Далі складаємо і записуємо рівняння балансу, амплітуд і фаз.

$$A_{ПІ}(k_0,k_1,m,w)=\frac{1}{Ao(m,w)}, \quad (32)$$

$$\psi_{ПІ}(k_0,k_1,m,w)=\psi o(m,w), \quad (33)$$

Отримуємо параметричне завдання рівняння лінії рівного згасання як функції частоти

$$k_0(w)=w(m^2+1)\,\mathrm{Im}(W_0^*(m,jw)) \quad (34)$$

$$k_1(w)=m\,\mathrm{Im}(W_0^*(m,jw))-\mathrm{Re}(W_0^*(m,jw)) \quad (35)$$

Побудову лінії рівного згасання виконуємо за допомогою програмного математичного пакету MathCad.

Для початку знаходимо діапазон робочої частоти:

$$\omega := 0, 0.0001 .. 10$$

$$\psi o(\omega) := -\operatorname{atan}[(1.279 \cdot \omega)(2.558 \cdot \omega)] \cdot \frac{180}{\pi} - \omega \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\psi \pi(\omega) := -180$$

$$\psi и(\omega) := -90 + \operatorname{atan}\left(\frac{1}{m}\right) \cdot \frac{180}{\pi}$$

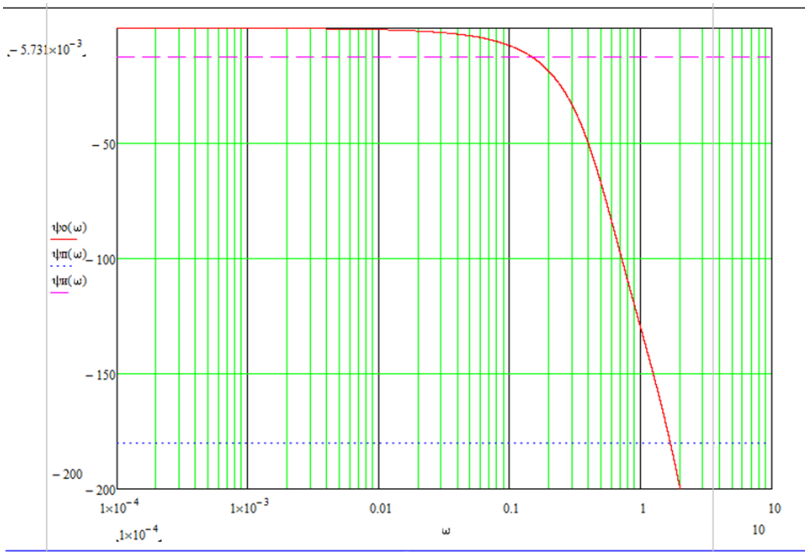


Рисунок 27 – Діапазон робочої частоти

Обираємо діапазон ω_p від 0,1552 Гц до 1.6886 Гц і продовжуємо розрахунки:

$$W(s) := \frac{5.114}{3.272 \cdot s^2 + 3.837 \cdot s + 1} \qquad j := \sqrt{-1}$$

$$W(s)\ \text{substitute}, s = \omega \cdot (i - m) \rightarrow \frac{5.114}{(3.837i) \cdot \omega - (6.544i) \cdot \omega^2 \cdot m + -3.272 \cdot \omega^2 + 3.272 \cdot \omega^2 \cdot m^2 + -3.837 \cdot \omega \cdot m + 1.0}$$

$$W(m, \omega) := \frac{2.044}{(3.837i) \cdot \omega - (6.544i) \cdot \omega^2 \cdot m + -3.272 \cdot \omega^2 + 3.272 \cdot \omega^2 \cdot m^2 + -3.837 \cdot \omega \cdot m + 1.0}$$

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

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

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

$$\omega := 0.1552, 0.16 .. 1.6886$$

Маючи необхідні значення, за допомогою програмного математичного пакету MathCad будуємо лінію рівного згасання:

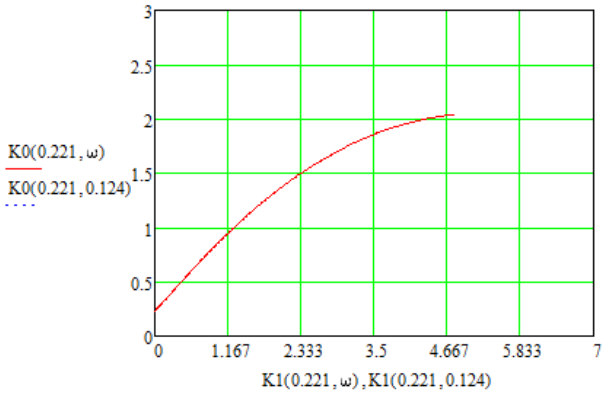


Рисунок 28 – Лінія рівного згасання в діапазоні частот $\omega_р$ від 0,1552 Гц до 1,6886 Гц.

Визначення налаштувань регулятора

Частота робочої точки із значення частоти, відповідної пропорційному закону регулювання, визначається за формулою:

$\omega_р = 0{,}8 \cdot \omega_п = 0{,}8 \cdot 0{,}1552 = 0{,}124$ Гц.

Відповідно до [7] оптимальному значенню для пропорційно-інтегрального регулятора відповідає точка на лінії рівного згасання, яка знаходиться правіше від вершини.

Таким чином $к_0$=2.04, $к_1$= 4.8.

Побудова перехідної характеристики замкненої системи управління з регулятором

Всі необхідні операції виконуватимемо за допомогою програмного математичного пакету MathCad.

$$W(s) := \frac{5.114}{3.272 \cdot s^2 + 3.837 \cdot s + 1} \qquad (36)$$

Передаточна функція ПІ-регулятора має вигляд

$$Wpi(s) := 4.8 + \frac{2.04}{s} \qquad (37)$$

Передаточна функція системи управління має вигляд

$$Wk(s) := W(s) \cdot Wpi(s) \qquad (38)$$

Передаточна функція замкненої системи управління з регулятором має вигляд

$$Wkz(s) := \frac{Wk(s)}{1 + Wk(s)} \qquad (39)$$

$$hkz(t) := \frac{Wkz(s)}{s} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace}, s \\ \text{float}, 3 \end{array} \right. \rightarrow 0.000145 \cdot e^{-0.782 \cdot t} + -0.0000758 \cdot e^{-0.391 \cdot t} + 0.0016 \cdot e^{-0.426 \cdot t} + -1.0 \cdot \cos(2.71 \cdot t) \cdot e^{-0.373 \cdot t} + -0.138 \cdot \sin(2.71 \cdot t) \cdot e^{-0.373 \cdot t} + 1.0$$

Будуємо графік перехідної характеристики:

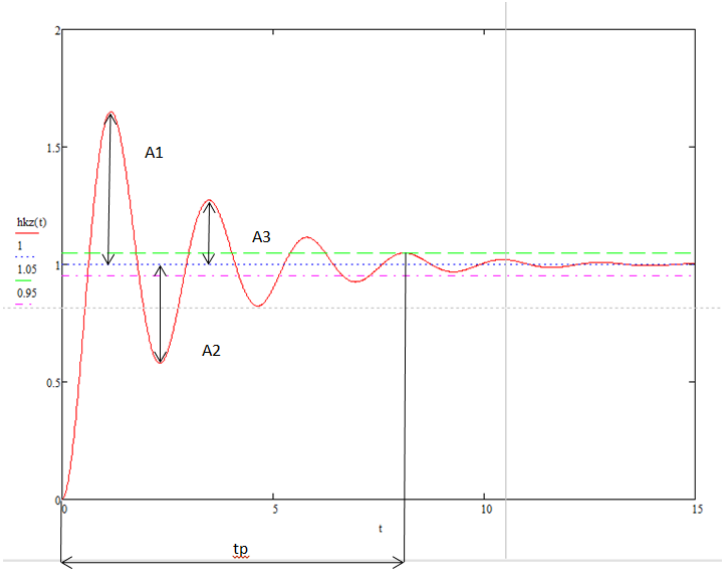


Рисунок 29 – Перехідна характеристика замкненої системи управління з ПІ-регулятором

Використовуючи побудовану перехідну характеристику, визначимо основні показники якості:

1. Перерегулювання

$$\sigma = \frac{y_{max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\ \% \qquad (40)$$

Підставивши значення, отримаємо $\sigma = \frac{1.638-1}{1} \cdot 100\% = 63.8\%$.

2. Час перехідного процесу

t_p=8.2 с.

3. Ступінь затухання

$$\psi = 1 - \frac{A_3}{A_1} \quad , \qquad (41)$$

де A_1 – перше максимальне відхилення, A_3 – третє максимальне відхилення.

За цією формулою розраховуємо $\psi = 1 - \frac{0{,}268}{0{,}638} = 0{,}58$.

По завданню $\psi = 0{,}75$. Отриманий показник ступеня затухання близький до заданого. Тому синтез системи управління можна вважати виконаним успішно.

Розрахунок параметрів настроювання стандартного регулятора

З метою побудови перехідної характеристики об'єкта керування, подаємо на вхід об'єкта одиничний ступінчатий вплив, зображення якого має вигляд $U(s) = \frac{1}{s}$.

Як ми вже зазначали вище, передаточна функція визначається як відношення зображень по Лапласу вихідного сигналу до вхідного (W(s)=У(s)/U(s)), то запишемо:

$$У(s)=W(s)U(s) \qquad (42)$$

Таким чином маємо:

$$G(s) := \frac{5.114}{s\cdot\left(3.272\cdot s^2 + 3.837\cdot s + 1\right)} \qquad (43)$$

Користуючись програмним математичним пакетом MathCad, застосуємо зворотне перетворення Лапласа. Це перетворення і буде шуканою перехідною функцією:

$$G(s)\ \left|\begin{matrix}\text{invlaplace}\\ \text{float},3\end{matrix}\right. \rightarrow 5.12\cdot e^{-0.782\cdot t} + -10.2\cdot e^{-0.391\cdot t} + 5.11$$

$$ha(t) := 5.12\cdot e^{-0.782\cdot t} + -10.2\cdot e^{-0.391\cdot t} + 5.11$$

Будуємо перехідну функцію:

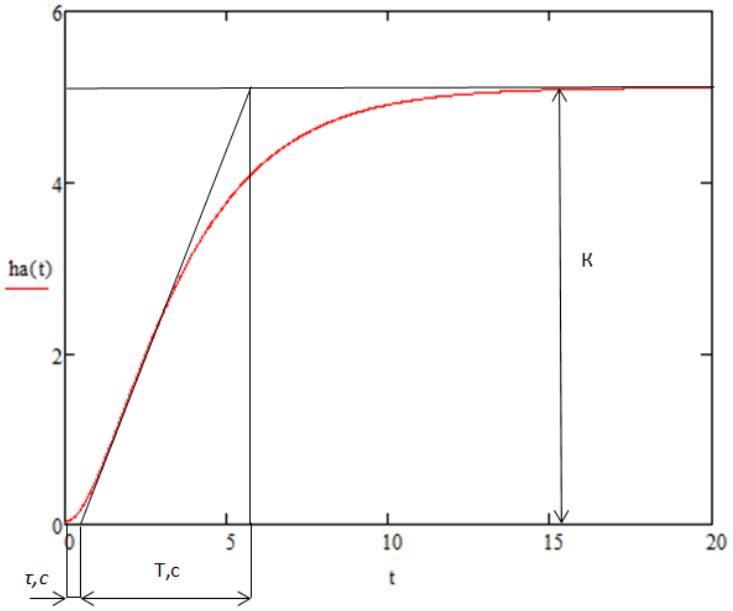


Рисунок 30 – Перехідна характеристика об’єкту управління

Апроксимація передаточної функції об’єкту управління аперіодичною ланкою першого порядку з запізненням

Аналіз передаточної функції об’єкту керування та його перехідної характеристики говорять про те, що об’єкт управління є статичним із самовирівнюванням. Тобто можна виконати його апроксимацію передаточною функцією наступного вигляду:

$$W_{oy}(s) = \frac{K_{oy} \cdot e^{-s \cdot \tau}}{T_{oy} \cdot s + 1}, \qquad (44)$$

де K_{oy} – коефіцієнт підсилення, T_{oy} – стала чАСУ об’єкта управління; τ – чисте транспортне запізнення.

З рисунка 26 визначаємо необхідні коефіцієнти та сталі:

$K_{oy} = 5.114$;

$T_{oy} = 4.6$ с;

$\tau = 0.3$ с.

Тепер апроксимована передаточна функція об’єкту керування має наступний вигляд:

$$Woy(s) := \frac{5.114 \cdot e^{-0.3 \cdot s}}{4.6 \cdot s + 1} \qquad (45)$$

Знаходження параметрів налаштувань стандартного ПІ регулятора формульним методом

Використаємо формульний метод [7] і застосуємо формули настроювань ПІ-регулятора для статичного об’єкту управління (типовий процес регулювання – аперіодичний):

$$W_p(s) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u \cdot s}\right) \qquad (46)$$

$$Tu := 0.6 \cdot 4.6 \qquad Tu = 2.76$$

$$kp := \frac{0.6}{\left(\frac{5.114 \cdot 0.3}{4.6}\right)} \qquad kp = 1.799$$

Підставивши отримані значення, отримали наступну передаточну функцію стандартного ПІ регулятора:

$$Wp(s) := 1.799 \cdot \left(1 + \frac{1}{2.76 \cdot s}\right) \qquad (47)$$

Визначення перехідної функції замкненої системи та побудова її перехідної характеристики

Маючи передаточну функцію об’єкта керування та параметри регулятора, знайдемо передаточну функцію замкненої системи:

$$W_з(s) = \frac{W(s) \cdot W_p(s)}{1 + W(s) \cdot W_p(s)} \qquad (48)$$

За допомогою програмного математичного пакету MathCad побудуємо перехідну характеристику замкненої системи управління з ПІ-регулятором:

$$Woy(s) := \frac{5.114 \cdot e^{-0.3 \cdot s}}{4.6 \cdot s + 1}$$

$$Wp(s) := 1.799 \cdot \left(1 + \frac{1}{2.76 \cdot s}\right)$$

$$Wz(s) := \frac{Woy(s) \cdot Wp(s)}{1 + Woy(s) \cdot Wp(s)}$$

$$hb(t) := 0.637 \int_0^{0.6} Re(Wz(j \cdot \omega)) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} \, d\omega$$

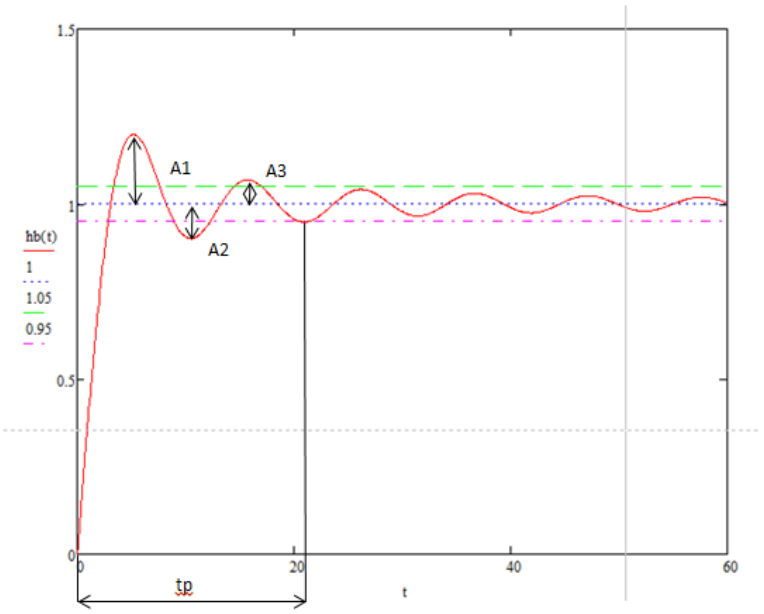


Рисунок 31 – Перехідна характеристика замкненої системи керування з ПІ-регулятором

Використовуючи побудовану перехідну характеристику, визначимо основні показники якості:

1. Перерегулювання

$$\sigma = \frac{y_{max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\ \% \qquad (49)$$

Підставивши значення, отримаємо $\sigma = \frac{1.2-1}{1} \cdot 100\% = 20\%$.

2. Час перехідного процесу

$t_p = 21$ с.

3. Ступінь затухання

$$\psi = 1 - \frac{A_3}{A_1} \quad , \qquad (50)$$

де A_1 – перше максимальне відхилення, A_3 – третє максимальне відхилення.

За цією формулою розраховуємо $\psi = 1 - \frac{0,069}{0,2} = 0,655$.

За завданням $\psi = 0,9$. Отриманий показник ступеня затухання близький до заданого. Тому синтез системи управління можна вважати виконаним успішно.

Таблиця 3 – Порівняльний аналіз методів розрахунку

Метод Дуднікова	формульний метод
$\sigma = 63.8\ \%$	$\sigma = 20\ \%$
t_p= 8.2 с	t_p= 21 с
$\psi = 0,58$	$\psi = 0,655$

Аналізуючи отримані результати розрахунків регулятора, бачимо, що ПІ регулятор повністю відповідає заданим умовам. Тому з метою управління витратами в паровому котлі будемо використовувати саме ПІ регулятор.

6. АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ

Під час створення алгоритмів запуску та роботи котла TH Ratiskovice THS 50 були використані та враховані всі інструкції з техніки безпеки при роботі з котловими агрегатами. Також створені алгоритми пуску та безпечної роботи котла.

Опис алгоритму розділено на основні умовні розділи.

6.1 Підготовка і пуск парового котла

Підготовка до пуску котла зі стану «Котел зупинено».

1. Перед пуском парового котла необхідно виконати таку послідовність дій:

- перевести регулятори розрідження, співвідношення і навантаження в автоматичний режим роботи (при цьому регулятор рівня води може знаходитися в будь-якому режимі);
- перевірити стан датчиків газу, рівня води, тиску пари, розрідження в топці, тиску повітря;
- перевірити рівень води в барабані котла – індикатори рівня на панелі повинні мати зелений колір, значення рівня води на індикаторі має збігатися з показами скляних оглядових відсіків на котлі;
- тиск пари не повинен перевищувати граничного значення;
- перевірити тиск перед ПЗК №1 (індикатори тиску газу перед газовим блоком на панелі повинен мати зелений колір);
- перевірити відсутність хибних сигналів наявності полум'я запальників і горілок;
- перевірити справність газової арматури та ТДМ;
- перевірити зв'язок з RS485 з модулями введення/виведення і ПЧ ТДМ;
- перевірити стан кнопок «Аварійна зупинка котла»;

2. Якщо всі умови виконані, то при натисканні кнопки «Пуск котла» (натиснути і утримувати більше 2-х секунд) формується сигнал «Включити димосос».

3. Якщо протягом 2 секунд сигнал «ПЧ димососа включений» не надходить, то формується аварійний сигнал і повідомлення «Аварія димососа». Команда «Пуск котла» скидається.

4. Якщо надійшов сигнал «ПЧ димососа включений», то через 10 секунд (час, необхідний для розгону димососа) формується команда «Включити вентилятор».

5. Якщо протягом 2 секунд сигнал «ПЧ вентилятора включений», не надходить, то формується аварійний сигнал і повідомлення «Аварія вентилятора». Команда «Пуск котла» скидається.

6. Якщо сигнал «ПЧ вентилятора включений» надходить, то формуються команди «Встановити опорну частоту ПЧ вентилятора до значення «тиску повітря на вентиляцію», і формується повідомлення «Вентиляція топки». Починається відлік чАСУ вентиляції і відлік чАСУ виходу ПЧ вентилятора на задану частоту, який мав би перевищувати 60 секунд. Впроваджується захист по розрідженню в топці.

7. Якщо ПЧ вентилятора не вийшов на задану частоту за контрольний час, то формується попереджувальний сигнал і повідомлення «Розпал неможливий. Тиск повітря на вентиляцію НИЖЧЕ НОРМИ». Команда «Пуск котла» скидається.

8. Якщо ПЧ вентилятора вийшов на задану частоту за контрольний час і після закінчення чАСУ вентиляції топки, формується сигнал «Перевірка герметичності ПЗК» і повідомлення «Опресування. Перевірка ПЗК».

6.2 Перевірка герметичності ПЗК

1. формується команда «Закрити клапан свічки безпеки (КБ)». формується команда «Встановити опорну частоту ПЧ вентилятора до значення «Тиск повітря на розпал», «Встановити РВ газу в розпалювальне положення».

2. Якщо протягом часу «$T_{перевірки}$ ПЗК» після закриття клапана свічки безпеки надходить сигнал «$P_{опрес}$ хв.» (тобто тиск між ПЗК вище тиску опресування), то перевірка герметичності припиняється, формується аварійний сигнал і повідомлення «ПЗК1 негерметичний», сигнал «Пуск котла» скидається. Після усунення негерметичності перевірку необхідно повторити.

3. Якщо протягом часу «$T_{перевірки}$ ПЗК» сигнал «$P_{опрес}$ хв.» не поступає, то формується команда «Включити ПЗК» і повідомлення «Опресування. Набір тиску між ПЗК».

4. Якщо протягом часу «Т набору тиску, сек.» чи не з'явиться сигнал «$P_{опрес}$. макс.», то скидається сигнал «Перевірка герметичності», формується Аварин сигнал і повідомлення« ПЗК не герметичний», сигнал« Пуск котла »скидається.

5. Якщо сигнал «$P_{опрес}$ макс.» з'явився, то формується команда «Закрити ПЗК», клапан свічки безпеки КБ, ПЗК залишається закритими.

6. Якщо протягом часу «$T_{перевірки}$ ПЗК» зникне сигнал «$P_{опрес}$ макс.», то скидається сигнал «Перевірка герметичності», формується аварійний сигнал і повідомлення «ПЗК не герметичний». Команда «Пуск котла » скидається.

7. Якщо протягом «Т перевірки ПЗК» сигнал «$P_{опрес}$ макс.» присутній, то формується повідомлення «Запалювання конфорки».

6.3 Розпал запальника

1. формується команда «Розпалювання запальника» та команди «Включити ІВН», «Відкрити клапан запальника». Починається відлік часу спроби розпалювання запальника і роботи ІВН. При появі сигналу «факел запальника» формується команда «Вимкнути ІВН».

2. Якщо сигнал «факел запальника» не з'являється протягом часу «$T_{розпалювання\ запальника}$», то розпал припиняється, формується аварійний сигнал і повідомлення «Згасання факела запальника». формуються команди «Закрити клапан запальника», «Вимкнути ІВН». Сигнал «Пуск котла» скидається.

3. Якщо сигнал «факел запальника» з'являється протягом часу «$T_{розпалювання\ запальника}$», то формується команда на розпал пальника.

6.4 Пальник

1. Якщо РВ газу не знаходиться в розпалювальному положенні, то розпал припиняється, формується аварійний сигнал і повідомлення «Розпал неможливий. Аварія газової заслінки». формуються команди «Закрити клапан запальника», «Вимкнути ИВН». Сигнал «Пуск котла» скидається.

2. Якщо РВ газу знаходиться в положенні «Розпалювання», то формується команда «Відкрити ПЗК» і починається відлік часу розпалу пальника».

3. Якщо протягом 2 секунд полум'я не з'явилося, то розпал припиняється, формується аварійний сигнал і повідомлення «Згасання факела пальника». формуються команди «Закрити клапан запальника №1», «Вимкнути ІВН», «Закрити ПЗК», «Відкрити клапан безпеки КБ". Команда «Пуск котла» скидається.

4. Якщо протягом 2 секунд полум'я з'явилося, то включається таймер стабілізації полум'я пальника «$T_{розпалювання\ запальника}$».

5. Після закінчення часу стабілізації полум'я пальника №1, формується повідомлення «Прогрівання котла».

6.5 Прогрів котла

1. За сигналом "Прогрівання котла" включається регулятори навантаження і співвідношення.

2. Прогрів проходить в чотири етапи. Завдання регулятора навантаження під час прогріву обмежується загальним тиском газу перед пальниками, щоб не допустити різкої зміни навантаження котла під час прогріву. При цьому в рядку стану котла з'явиться індикатори з номером етапу і залишаться в ньому до закінчення даного етапу.

3. При надходженні сигналу «$P_{газу}$, хв.» перед пальником, вводяться захисти по низькому тиску газу перед пальниками і низькому тиску повітря.

Режим прогріву котла включається тільки в тому випадку, якщо він був активований в настройках системи. Для цього у вікні «Налаштування розпалювання» повинна бути активована функція «Автоматичний режим після розпалювання». Якщо функція не активована, то після розпалу пальника формується повідомлення «Котел в роботі», регулятор навантаження переходить в ручний режим роботи. Далі оператор або самостійно керує навантаженням котла (кнопками «Відкрити» або «Закрити») або переводить регулятор навантаження в автоматичний режим.

6.6 Робота котла

1. Після надходження команди «Прогрівання котла закінчено» формується сповіщення «Котел в роботі».

2. У разі невідповідності будь-якого сигналу захисту, формується сигнал «Аварійна зупинка котла». Скидається сигнал «Робота». формуються команди аварійної зупинки відповідно до розділу аварійної зупинки. Відображається першопричина аварійної зупинки.

6.7 Зупинка котла

1. При надходженні сигналу від кнопки «Зупинка котла» сигнал і повідомлення «Зупинка котла», формуються команди «Закрити ПЗК, відкрити клапан свічки безпеки (КБ)», і сигнали «Вимкнути регулятори співвідношення і навантаження». Відключаються захисти по котлу. формується команда «Встановити опорну частоту ПЧ вентилятора до значення «вентиляція топки»».

2. Починається відлік часу післязупинкової вентиляції. При цьому в рядку стану котла з'явиться індикатор з часом, що залишився до закінчення післязупинкової вентиляції.

3. Після закінчення часу післязупинкової вентиляції формуються команди «Вимкнути димосос, вимкнути вентилятор». формується повідомлення «Котел зупинено».

Режим зупинки котла з автоматичною включенням післязупинної вентиляції і відключенням ТДМ включається тільки в тому випадку, якщо він був активований в настройках системи. Для цього у вікні «Налаштування розпалювання» повинна бути активована функція «Відключення ТДМ після зупинки». Якщо необхідно залишити ТДМ в роботі або перейти до режиму розпалювання котла, то необхідно натиснути і утримувати кнопку «Пуск котла» більше 2-х секунд. Якщо функція не активована «Відключення ТДМ після зупинки», то після зупинки котла ТДМ залишаються в роботі і вимикаються оператором котла.

6.8 Аварійна зупинка котла

Сигнал «Аварійна зупинка» формується:

1. При появі будь-якого аварійного сигналу або при натисканні кнопки «Аварійне зупинення» формується аварійний сигнал і повідомлення першопричини аварії.

2. Далі виконується послідовність операцій розділу зупинки котла.

6.9 Автоматика безпеки котла

Сигнал "Аварія" формується при невідповідності будь-якого сигналу від датчиків, вимогам на етапах: «Розпал», «Вентиляція», «Розпалювання запальника», «Запалювання конфорки», «Прогрівання», «Робота».

Перелік аварійних сигналів призводить до аварійної зупинки:

Згасання пальника;

Розрідження в топці НИЖЧЕ НОРМИ;

Тиск повітря НИЖЧЕ НОРМИ;

Рівень води в котлі ВИЩЕ НОРМИ;

Рівень води в котлі НИЖЧЕ НОРМИ;

Тиск газу до пальника НИЖЧЕ НОРМИ;

Тиск газу до пальника ВИЩЕ НОРМИ;

Тиск перед газовим блоком ВИЩЕ НОРМИ;

Тиск пара в казані ВИЩЕ НОРМИ; Несправність датчика розрідження в топці;

Несправність датчика рівня води;

Несправність датчика тиску пара;

Несправність датчика тиску повітря;

Несправність датчика тиску газу між ПЗК;

Несправність датчика тиску газу перед горілками;

Аварія димососа;

Втрата зв'язку з ПЧ димососа;

Аварія вентилятора;

Втрата зв'язку з ПЧ вентилятора;

Аварія ПЗК;

Аварія КБ;

Аварія КЗ;

Згасання факела запальника;

Розпал неможливий. Регулятори в ручному режимі;

Розпал неможливий. Помилкове спрацьовування датчиків контролю полум'я;

Розпал неможливий. Тиск повітря на вентиляцію НИЖЧЕ НОРМИ;

Немає зв'язку RS485;

Немає напруги на вводі;

Розпал неможливий. Аварія газової заслінки;

Розпал неможливий. Несправність газового обладнання;

ПЗК не герметичний;

Якщо відбулася відмова ПЧ вентилятора після того, як стався розпал пальника, то пальника відключається аварійно, (закривається ПЗК, відкривається КБ), димосос продовжує працювати (виконує післязупинкову вентиляцію), регулятор розрідження залишається в автоматичному режимі.

Якщо відбулася відмова ПЧ димососа, то пальника і ПЧ вентилятора вимикаються миттєво.

Щоб випробувати світлозвукову аварійну сигналізацію необхідно натиснути і утримувати більше 4 секунд кнопку «Знімання звуку». При цьому включається звуковий сигнал і світлодіодні індикатори «Аварія котла», «Робота котла» і «Перевірка захисту».

6.10 Перевірка захистів

Програмою передбачається перевірка захистів на працюючому котлі. Для цього необхідно у вікні «Перевірка захисту»:

1. Встановити контрольний час перевірки. Час перевірки захисту обмежено, з моменту запуску перевірки захисту, відраховується контрольний час і якщо даний час минув, перевірка скидається. Після запуску перевірки на індикаторі контрольного часу відображається залишок часу до скидання процесу перевірки.

2. Вибрати параметр, який необхідно перевірити, і активувати перевірку (встановити галочку навпроти параметра). Під час активації дія цього параметра блокується. Це необхідно для того, щоб під час перевірки не відбулося аварійне відключення котла.

3. Перевірка захистів проводиться установкою уставки граничного значення в залежності від поточного значення технологічного параметра або шляхом імітації аварійного стану (від'єднанням імпульсної трубки, замиканням контактів, закриттям фотодатчика).

4. При досягненні параметром, який перевіряється, аварійного значення, включається звуковий сигнал, на панелі і верхньому рівні відображається аварійний сигнал (першопричина). Далі необхідно привести параметр, який перевіряється, в норму, кнопкою «Знімання звуку» скинути звукову сигналізацію і першопричину аварії. Деактивувати перевірку (прибрати галочку навпроти відповідного параметра).

При перевірці захистів проводяться записи в журнал стану системи (із зазначенням дати і часу) наступних подій: вивід захисту по параметру, який перевіряється, спрацьовування захисту, введення захисту.

Примітка: Відповідно до нормативної документації передбачається блокування одночасного запуску двох і більше перевірок захистів.

6.11 Регулятори

1. Регулятор навантаження управляє виконавчим механізмом газової регулюючої заслінки. Регулятор підтримує заданий тиск пари в барабані котла. При зниженні навантаження, регулятор прикриває газову регулюючу заслінку до положення, відповідного мінімальної потужності котла ($Р_{хв}$ газу). При збільшенні навантаження, регулятор прикриває газову регулюючу заслінку до положення, відповідного максимальній потужності ($Р_{макс}$ газу).

Примітка: Завдання регулятору навантаження під час роботи або при різкій зміні установки завдання від величини, що дорівнює величині тиску пари в момент включення регулятора або роботи регулятора, до робочого значення тиску, змінюється з певним кроком зміни, встановленим в налаштуваннях регулятора навантаження, з тим, щоб не допустити різкої зміни навантаження котла.

2. Регулятор співвідношення «паливо-повітря» управляє опорної частотою ПЧ вентилятора. Регулятор підтримує тиск повітря відповідно до тиску газу по режимній карті. При зниженні навантаження, регулятор зменшує опорну частоту до положення, відповідного мінімальної потужності котла (або мінімальної робочої опорній частоті).

3. Регулятор розрідження управляє ПЧ димососа. Регулятор підтримує заданий розрідження в топці котла. Регулятор вимикається після зупинки димососа.

4. Регулятор рівня підтримує заданий рівень в барабані котла. Регуляторної-тор рівня включений в автоматичний режим постійно і управляє виконай-них механізмом регулюючого клапана живильної води.

Також слід враховувати, що при відключенні або блокуванні автоматичного режиму регулятора співвідношення також блокується автоматичний режим регулятора навантаження. При відключенні автоматичного режиму регулятора блокується автоматичний режим регулятора співвідношення.

При виході з ладу датчика тиску пара в барабані котла блокується ра-бота регулятора навантаження.

При виході з ладу датчика тиску газу перед пальниками і датчика тиску повітря - блокується робота регулятора співвідношення.

При виході з ладу датчика розрідження в топці - блокується робота регулятором розрідження.

При виході з ладу датчика рівня - блокується робота регулятора рівня.

6.12 Аварійна сигналізація

Для аварійної сигналізації використовуються сигнали як від аналогових датчиків параметрів котла і положення виконавчих механізмів (ВМ), так і від дискретних.

Під час аварійної зупинки котла включається аварійна світлова і звукова сигналізації. На мнемосхемі панелі оператора з'явиться повідомлення з першопричиною аварії.

Щоб припинити звуковий сигнал необхідно натиснути кнопку «Знімання звука», оповіщувач вимкнеться. Для скидання першопричини аварії необхідно натиснути і утримувати кнопку «Знімання звуку» більше 3 секунд.

Наведений алгоритм є типовим для котла ТН Ratiskovice THS 50, цей алгоритм виконується як на місцевому рівні (за допомогою контролерів) так і на створеній АСУТП для цього котла.

Загальний вигляд алгоритму зображено на рисунку 32.

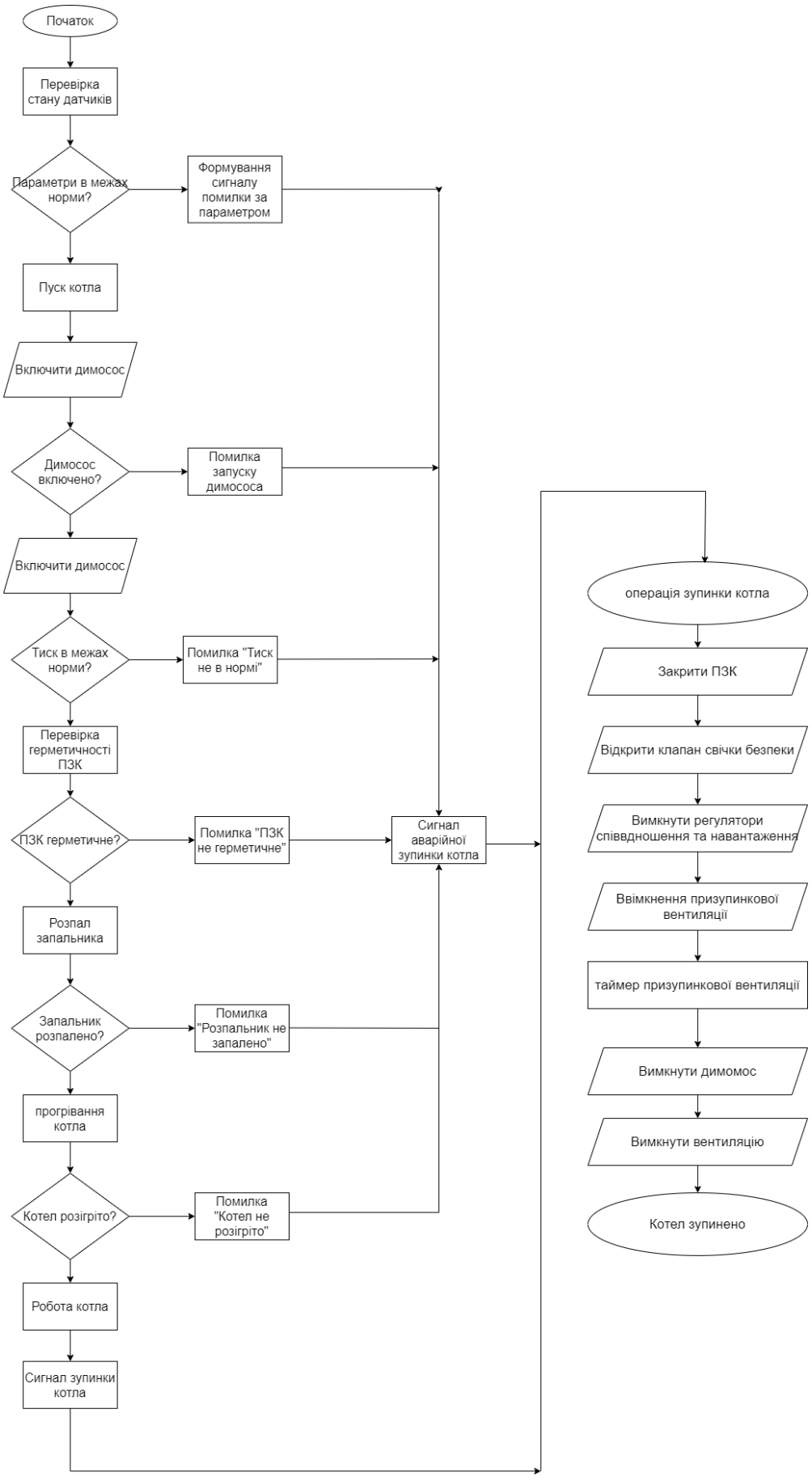


Рисунок 32 – Загальний алгоритм роботи АСУТП

7. РОЗРОБКА АСУТП ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Автоматизована система управління технологічним процесом (надалі АСУ ТП) парового котла TH Ratiskovice THS 50 виконує наступні функції:

- збір і відображення інформації;
- дистанційне управління;
- автоматичне регулювання;
- діагностування стану обладнання;
- організація попереджувальної і аварійної сигналізації;
- протоколювання і документування;
- архівування інформації.

Систему зовбражено на рисунку 33. Вона має трирівневу структуру [13]. Нижній рівень складається з датчиків, первинних перетворювачів, виконавчих механізмів.

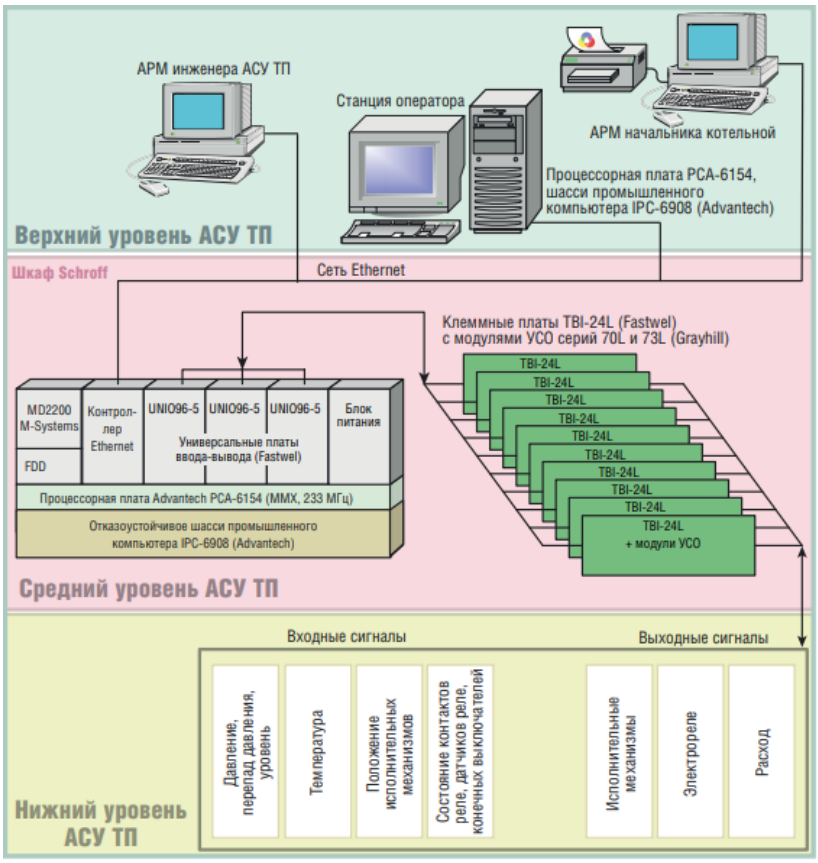


Рисунок 33 – Трирівнева структурна схема АСУТП котла TH Ratiskovice THS 50

Середній рівень являє собою керуючий контролер з платами введення/виведення та іншим допоміжним обладнанням. Верхній рівень складається з операторських станцій.

Технічні засоби на нижньому і середньому рівнях обмінюються інформацією за допомогою уніфікованих сигналів. Взаємодія середнього і верхнього рівнів відбувається через мережу Ethernet.

Персонал взаємодіє з системою управління за допомогою операторських станцій. Одна така станція розташовується в тому ж приміщенні, де встановлена шафа з контролером. Інші станції розташовані в інших необхідних приміщеннях (начальника котельної, інженера АСУ ТП тощо).

Контролер зчитує поточні значення необхідних вхідних сигналів і керує виконавчими механізмами. Паралельно з тим контролер відправляє на одну з операторських станцій поточні значення параметрів (для архівації) та звіти (для запису в журнали.

У випадку відмови або відключення будь-якої операторської станції, система управління все одно функціонуватиме, оскільки вся логіка зі збору даних з датчиків і керування виконавчими механізмами реалізована в контролері.

Промислові приміщення характеризуються сильною запиленістю. Це може спричинити швидкий вихід з ладу таких типів позиціювання як оптичні та/або лазерні миші, трекболи. Тому під час роботи над інтерфейсом системи управління було прийнято рішення відмовитися від їх використання.

Оператор зможе виконувати всі необхідні дії, запам’ятавши декілька основних комбінацій натискань клавіш. Основні дії фахівця полягають у виклику на екран необхідної мнемосхеми, переміщень елементів цієї мнемосхеми, виборі необхідних елементів (кнопки, поля введення виведення, клапани) і роботі з ними.

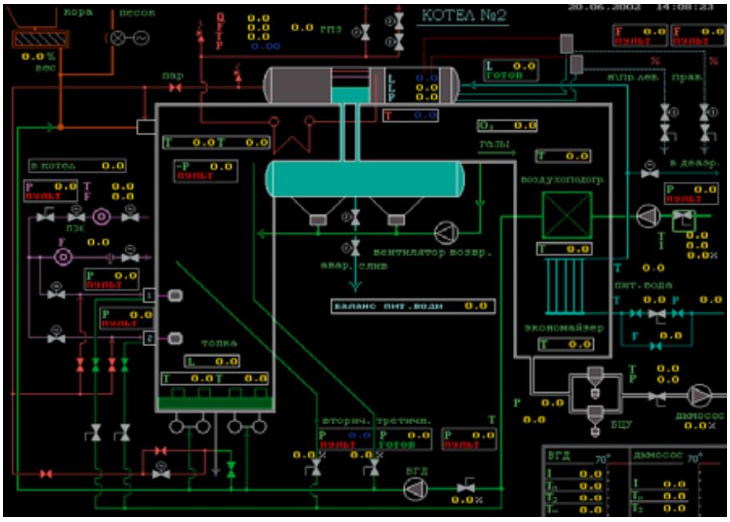


Рисунок 34 – Зовнішній вигляд мнемосхеми АСУТП котла TH Ratiskovice THS 50

Мнемосхеми також можуть містити в собі фоновий рисунок з набором елементів, журнал подій, смуги хронологічного відображення трендів і необхідних архівних даних. При виборі регулюючого клапана, виводиться панель регулятора. На ній відображаються поточний стан виконавчого механізмам, значення параметра, завдання і інша важлива інформація.

Рисунок 35 – Зовнішній вигляд мнемосхеми АСУТП котла TH Ratiskovice THS 50

Оператор має можливість вводити нові завдання, змінювати режими роботи регулятора, безпосередньо управляти положеннями клапанів тощо.

При виборі відсічного клапана виводиться панель з двома кнопками, натискаючи на які, оператор може відкривати або закривати клапан.

Передбачено кольорову індикацію положення клапана (червоний - відкрито, зелений - закрито, сірий - клапан без напруги).

Всі дії користувача передаються по мережі в контролер, де виконуються відповідні алгоритми протоколювання історії технологічного процесу. Архівація відбувається на операторській станції.

Загалом зберігається інформація про 60 аналогових параметрів з кроком 15 секунд за період 40 днів. Оператор може переглядати архівні тренди, користуючись зручними функціями пошуку та масштабування.

Журнали подій також зберігаються на операторській станції. Допустима кількість сповіщень в журналі обмежена тільки об'ємом вільної пам'яті на диску, а швидкість роботи з журналом НЕ залежить від кількості повідомлень в ньому.

Якщо журнал переповнений, то під час запису в нього нових повідомлень, найстаріші повідомлення будуть стиратися. Тобто обсяг журналу не перевищить визначені попередні задані величини. У разі записів в журнал деяких повідомлень (наприклад при виході важливого параметра за регламентні межі) вмикається звукова сигналізація.

Оператору надаються зручні інструменти перегляду журналів, квітування надходять повідомлення, пошуку сповіщень за датою і часом. Як з журналу можна працювати на всіх операторських станціях.

В системі передбачена можливість формування звітів за зміну і добу на будь-яку дату в межах часу архівування. У звіті зображуються графіки корисних властивостей в стислому вигляді і сумарні значення не яких параметрів за вказаний період. Зокрема, в одному зі звітів виводяться графіки тиску і температури пара, питомої витрати газу і пара, а також розраховані величини важливих техніко економічних показників: загального виробітку пара, витрати газу, вироблення тепла за зміну.

Підсистема доступу за паролем дозволяє призначати кожному користувачу свій рівень повноважень. Наприклад, користувач з рівнем «гість» може тільки продивитись мнемосхеми, з рівнем «оператор» керувати зАСУвками і

контурами, а з рівнем «технолог» - змінювати коефіцієнти і технологічні установки.

Усі дії оператора записуються в журнали повідомлень, що дає можливість повністю відновити картину виробництва в разі виникнення позаштатних ситуацій, однією з відмінних особливостей описуваної АСУ ТП є те, що коригування алгоритмів управління, додавання параметрів, зміна мнемосхем можуть здійснюватися в процесі функціонування системи і не вимагають зупинки парового котла.

В АСУ ТП котла реалізовані контури регулювання:

- рівня води в котлі;
- витрати/вмісту високої концентрації солей води, яка виводиться з барабана котла зправа (витрата безперервного продування);
- витрати/вмісту високої концентрації солей води, яка виводиться з барабана котла зліва (витрата безперервного продування зліва);
- тиску повітря після дуттєвого вентилятора;
- тиску повітря після вентилятора гарячого дуття;
- тиску вторинного повітря;
- тиску третинного повітря;
- тиску повітря, що нагнітається в трубопроводі перед газовим пальником;
- розрідження в топці котла;
- тиску газу в трубопроводі перед пальником;
- рівня води в деаераторах.

Оператору надається можливість дистанційно керувати 13 електрифікованими засувками на газових і парових лініях.

В верхній частини топки парового котла встановлена відеокамера, закрита вогнетривким склом. Зображення з цієї відеокамери передається на монітор, який знаходиться на робочому місці оператора Об'єктив камери спрямований в нижню частину топки, що дозволяє оператору спостерігати за процесом горіння в «Киплячому шарі». На основі цієї інформації персонал може точніше набудувати режим горіння і наблизити його до оптимального.

Налаштування режиму горіння проводиться з урахуванням співвідношення газу/повітря в топці котла. При цьому персонал звіряється з показаннями газоаналізатора, який змонтований на виході з топки і вимірює відсоток кисню в димових газах.

Оператор підбирає співвідношення газ/повітря таким чином, щоб значення цього параметра відповідало значенням, вказаним в режимній мапі котла.

Всього в системі задіяно 82 аналогових входу, 6 аналогових виходів, 52 дискретних виходу і 68 дискретних входів. Завдання, що виконуються в контролері, працюють з базою, яка містить 70 розрахункових параметрів і коефіцієнтів. Експлуатація системи управління котлом протягом півроку показала високий ступінь надійності роботи всього апаратно програмного комплексу, незважаючи на сильну запиленість повітря в місці розміщення обладнання. якість регулювання технологічних параметрів підтримується на високому рівні. оператори відзначають легкість освоєння інтерфейсу і зручність роботи з системою.

Після впровадження даної АСУ ТП, побудовану на тимчасовій апаратно технічної базі, обслуговування буде набагато простіше, ніж засобами локальної автоматики, які наразі використовуються на котлі.

ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській роботі були вирішені питання, пов’язані з розробкою системи управління паровим котлом TH Ratiskovice. Розглянуто основне устаткування. Виконано аналіз технологічного процесу і виділено ключові параметри його перебігу. На основі отриманих даних розроблено відповідні креслення (функціональна схема, принципова електрична схема), зроблено вибір технічних засобів автоматизації (датчиків, виконавчих механізмів, контролера), розроблено математичний опис топки парового котла та розраховано оптимальні параметри системи управління подачі газів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теплові процеси, нагрівання, охолодження, конструкції теплообмінників, випарювання. Навчальний посібник / Я. М. Ханик, Є. М. Семенишин, О. В. Станіславчук, Д. П. Кіндзера; За ред. Я. М. Ханика. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2006. 340 с.
2. Чепель В. М., Шур И. А. Сжигание газов в топках котлов и печей и обслуживание газового хозяйства предприятий. — 8-е изд., перераб. и доп. — С.-П.: Недра, 1990. — 591 с.
3. Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы: учеб. пособие. – Красноярск: фАО Рф ГОУВПО КГТУ, 2005. – 292 с
4. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів з напряму підготовки «Системна інженерія» і спеціальності «Комп’ютеризовані системи управління і автоматика", – Суми.: СумДУ, 2013. – 69 с.
5. Кокорев С.В., Давыдов Н.И., Анисяев Е.М. Разработка, исследование и испытания системы регулирования разрежения в топке котла-утилизатора комплекса по обезвреживанию и переработке твердых бытовых и биологических отходов // Электрические станции. — 2006. — С. 38–42
6. Siemens S7-300 Программируемый контроллер, электронный ресурс https://www.siemens-pro.ru/components/s7-300.htm
7. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. – Одесса: «Астропринт», 2001. – 302 с.
8. Ложечников В.ф., Стопакевич А.А. Структура многомерной математической модели динамики барабанного котла средней мощности // Оптимизация управления, информационные системы и компьютерные технологии: Труды Украинской академии экономической кибернетики (Южный научный центр). — Киев; Одесса: ИСЦ. — 1999. — Вып.1. — Ч. 2. — С. 167–176.
9. Стопакевич А.А. Сложные системы: анализ, синтез, управление. — Одесса: КРЕД, 2004. — 277 с
10. Востриков А.С. Синтез систем регулирования методом локализации: монография. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 252 с.

11. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 368 с.

12. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного регулювання. – Підручник. К.: Либідь, 1997. – 544 с.

13. Система управления паровым утилизационным котлом, Журнал «СТА» («Современные технологии автоматизации»), № 2/2003, Электронный ресурс https://www.cta.ru/