

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра "Автоматизації виробничих процесів"

"Допущено до захисту"

Зав.кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____ Дідик О.К.

" _____ " _____ 2024р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему

"Система керування подачі газу в процесі горіння у обертовій печі"

"Gas supply control system for the combustion process in a rotary kiln"

Виконав: здобувач вищої освіти

IV курсу, групи АК-21-Зск

ОПП «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

спеціальність 151 «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

_____ Віталій ТКАЧЕНКО

" _____ " _____ 2024р.

Керівник роботи

професор, д-р техн. наук

_____ Анатолій МАЦУЙ

" _____ " _____ 2024р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Опис технологічного процесу.....	5
1.1 Обертova піч як технологічний об'єкт керування.....	5
1.1.1 Технологія виробництва вапняку в обертovій печі.....	5
1.2 Аналіз існуючих систем керування обертovими печами.....	8
1.3 Обґрунтування доцільності розробки автоматизованої системи керування подачі газу.....	12
1.4 Технічне завдання на створення АСК подачі газу.....	13
1.4.1 Вимоги до структури і функціонування системи автоматизації.....	13
1.4.2 Вимоги по діагностуванню системи.....	13
1.4.3 Вимоги до надійності.....	15
2 Склад системи автоматичного керування подачі газу в процесі горіння у обертovій печі.....	17
2.1 Структура і функції системи керування подачі газу.....	17
2.1.1 Організація збору і передачі інформації.....	18
2.1.2 Склад і опис структури комплексу технічних засобів системи.....	20
2.2 Розробка функціональних схем САК.....	21
2.3 Математичне забезпечення САК подачі газу.....	26
2.3.1 Розробка математичної моделі обертovої печі.....	26
2.3.2 Розробка структури системи автоматичного керування подачі газу.....	30
2.3.3 Розробка алгоритму керування співвідношенням «газ – повітря».....	34
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій.....	39

3.1 Вибір технічних засобів автоматизації та обчислювальної техніки 1-го та 2-го рівня.....	39
3.2 Вибір датчиків, первинних перетворювачів та виконуючих пристроїв.....	42
3.3 Вибір та обґрунтування промислового контролера та модулів введення-виведення.....	46
4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність системи.....	49
4.1 Комп'ютерне моделювання елементів системи автоматичного керування подачі газу.....	49
Висновок.....	57
Література.....	66

ВСТУП

Конкуренція на світовому ринку вимагає підвищеної якості, зниження собівартості та збільшення обсягів виробництва продукції. Одним із способів досягнення цих цілей є автоматизація технологічних процесів.

Сучасні вимірювальні та автоматизаційні засоби, створені на основі мікропроцесорної техніки, характеризуються високою точністю вимірювань і регулювання, надійністю та гнучкістю при зміні режимів і умов технологічних процесів.

Витрати на впровадження автоматизованих систем зазвичай перевищують витрати на використання традиційного обладнання КВП та релейно-контакторних систем. Проте при повній автоматизації технологічного об'єкта економічний ефект суттєво збільшується.

При комплексній автоматизації охоплюються всі етапи технологічного процесу: подача та дозування сировини, споживання енергетичних ресурсів, безпосередньо виробничий процес, вивантаження та підготовка готової продукції до транспортування, утилізація та використання вторинної енергії (наприклад, тепла димових газів), очищення та/або утилізація виробничих відходів (вапняний і вапняковий пил, відсіви). Такі системи зазвичай включають ведення матеріально-енергетичних балансів, тобто облік палива, сировини, пилу тощо.

Головна мета технологічного процесу виробництва вапна полягає в досягненні стабільної якості готової продукції з вмістом CaO та MgO на рівні 90%, при максимальному використанні енергії, що виділяється під час згоряння палива.

Паливо, яке подається в піч (у цьому випадку - природний газ), повинно бути в оптимальному співвідношенні з повітрям, необхідним для горіння. Основні параметри (кількість завантажуваного вапняку, витрата природного газу, витрата повітря) з різних причин можуть бути нестабільними: можливі зміни фракційного складу вапняку, його вологості; зміни тиску і температури природного газу та

повітря, що подаються в піч через атмосферні або інші умови. Крім того, важливу роль у технологічному процесі відіграє людський фактор. Автоматизація технологічного процесу дозволяє уникнути всіх цих недоліків і досягти значної економії палива і сировини.

1 Опис технологічного процесу

1.1 Обертова піч як технологічний об'єкт керування

1.1.1 Технологія виробництва вапняку в обертовій печі

При виробництві металургійного вапна в обертових печах (рис. 1.1), вихідною сировиною є флюсові вапняки та доломітизовані вапняки. Вони повинні відповідати вимогам технологічного процесу за хімічним і гранулометричним складом та бути вільними від сторонніх домішок.

Зі складу вапняк транспортується в витратні бункери за допомогою лопатевих живильників і системи стрічкових конвеєрів. Ці бункери розташовані перед завантажувальними пристроями обертової печі. Бункери завантажуються окремо різними видами вапняку.

З витратних бункерів вапняк надходить до живильника, який подає його до печі.

Робочий простір печі складається з наступних технологічних зон:

- сушки і підігрівання вапняку;
- випалення;
- охолодження вапна.

Вапняк, завантажений у піч, поступово проходить через усі зони, де його обпалюють до отримання вапна. Процес отримання вапна відбувається за реакцією:



Вихідні димові гази проходять через вільний схил у зовнішню кільцеву порожнину підігрівача, потрапляють до пилоосаджувальної камери, потім через газохід спрямовуються на котли-утилізатори, і далі на очисні пристрої.

Процес очищення димових газів поділяється на дві стадії: на першій використовується система циклонів, а на другій - електрофільтри. Після очищення димові гази виводяться в атмосферу через димосос за допомогою димаря.

У печі, для спалювання природного газу, використовуються два пальники, що розташовані у відкотній голівці. Повітря для цього поступає з охолоджувача вапняку та через обвідний повітропровід, забезпечуваний дуттєвим вентилятором та, частково, за рахунок створеного димососом тиску в печі.

Свіже вапно, щойно спалене, направляється на охолодження до шахтного протитечійного охолоджувача, який представляє собою бункер циліндричної форми.

У бункері розміщена повітророзподільна камера з отвореними бічними стінками, яка призначена для рівномірного розподілу повітря для охолодження вапна. Повітря нагнітається у охолоджувач за допомогою вентилятора так, щоб забезпечити охолодження вивантажуваного вапна до температури 40-50°C.

Повітря з охолоджувача, що має температуру від 150 до 300°C, направляється до відкотної голівки печі. Додаткова порція повітря, необхідна для горіння природного газу, подається через обводну трубу безпосередньо до відкотної голівки.

В конусній частині охолоджувача встановлена система автоматичного пневмообвалення, що активується при перевищенні температури вапняку понад 200°C. Завантаження охолоджувача відбувається автоматично за допомогою радіоізотопного рівнеміра. Час розвантаження контролюється за допомогою спеціального реле часу. Охолоджене вапно подається до складу готової продукції за допомогою стрічкових конвеєрів.

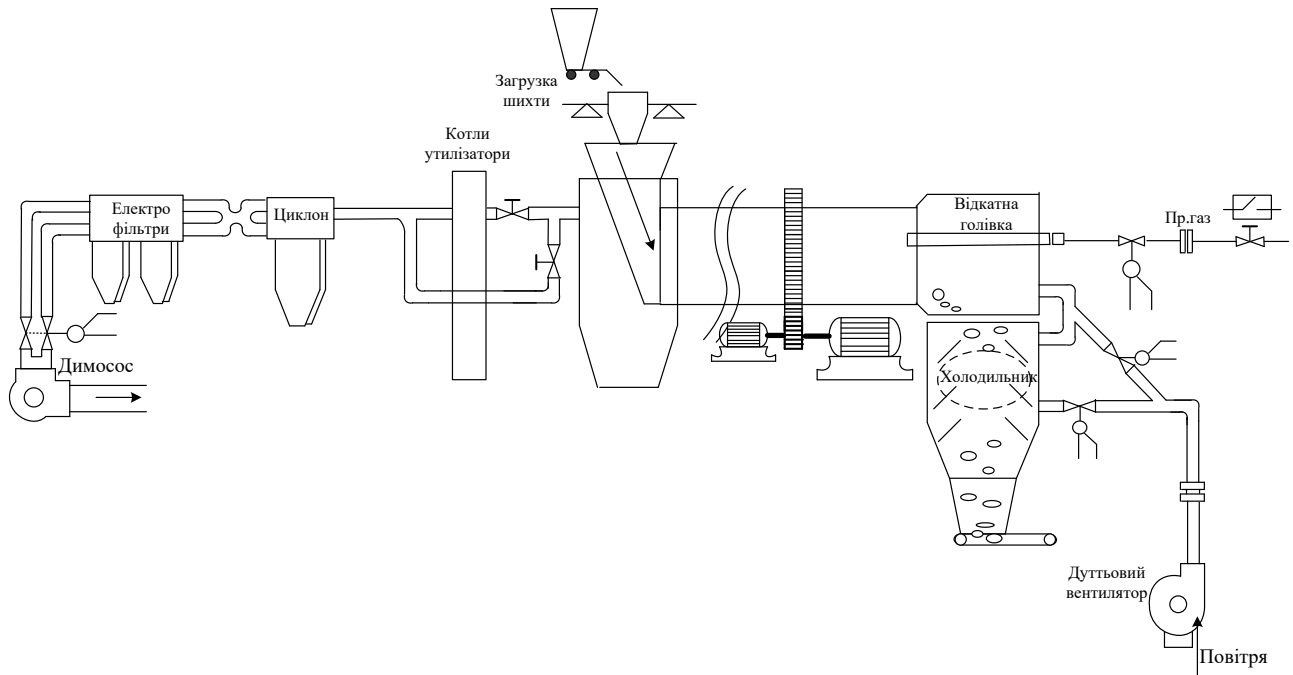


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва вапняку в обертовій печі

Перед тим як потрапити до витратних бункерів, вапно пропускається через нерухомі колосникові ґрати з щілинами розміром 10 мм для відсівання дрібних частинок. Великі шматки вапна (розміром 10-50 мм) пересилаються конвеєром з візком, який розвантажується, і розподіляються по витратних бункерах складу. Дрібні частки вапна (розміром 0-10 мм) зберігаються у відведених окремих бункерах.

По гранулометричному складу вапно повинне відповідати наступним вимогам:

- крупність шматків 10-50 мм;
- масова доля фракції менше 10 мм повинна складати не більше 10%.

Заборонено перегрівати або вивільнювати вапно. Воно повинне бути чистим від сторонніх домішок.

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика обертової печі

№ з/п	Найменування показника	Значення
1	Довжина корпусу, м	75
2	Внутрішній діаметр корпусу, м	3, 6
3	Нахил корпусу, %	3, 5
4	Число опор печі, шт	5
5	Паливо	Природний газ
6	Кількість пальників, шт	2
7	Продуктивність печі, т/ч	До 14, 0

1.2. Аналіз існуючих систем керування обертовими печами

При виробництві вапняку на обертовій печі контролюються наступні параметри:

- витрата природного газу;
- витрата повітря вентилятора;
- тиск природного газу;
- тиск повітря вентилятора;
- розрідження у відкотній голівці;
- розрідження за пиловою камерою;
- розрідження перед димососом;
- температура повітря перед піччю;
- температура перед пиловою камерою;
- температура по зонах холодильника;
- температура вапняку на виході холодильника.

Вхідні дані, що приймаються модулями пристроїв зв'язку з об'єктом (ПЗО)

:

– сигнали аналогового типу представляють поточні показники споживання природного газу та обсягу споживання повітря.

– регулюючий клапан витрати природного газу та клапани витрати повітря в основному і обводному повітропроводах встановлені у відповідних положеннях виконавчого механізму.

– дискретні сигнали режиму регулювання : ручний, автоматичний.

Розрахункові вхідні дані:

– приведена витрата природного газу;

– ознаки вичерпання діапазону регулювання.

Параметри ручного введення включають мінімальну та максимальну витрати повітря, залежні від витрати природного газу, а також відношення "Витрата природного газу / Витрата повітря" у середині діапазону. Також визначаються значення регуляторів для ручного, дистанційного та автоматичного режимів роботи.

Нині на обертових печах застосовуються наступні типи устаткування систем контролю та керування:

– Для вимірювання потоку, тиску та вакууму використовуються наступні прилади: вторинні датчики типу КСД-3, КСФ-3, А542, ДІСК-250, а також датчики ДМ 3583М, ДКО-ФМ і ДМІ-Р.

– Для вимірювання температури використовуються наступне обладнання: вторинні прилади, зокрема КСП-3, КСП-4, ДІСК-250, РП-160, а також різні модифікації датчиків, таких як ТХА, ТХК, ТСМ. У системах дистанційного керування застосовуються різноманітні типи обладнання.

– виконавчі механізми типу МЕО-10, МЕО-100, МЕО-630;

– пускачі типу «ELMARINE», ПБР-2, ПБР-3А.

Аналіз технічної документації для вапнякового відділення вапняково-вогнетривкового цеху показав, що в даний момент 65% устаткування відноситься до періоду 1974-1989 років, 29% - до 1990-1995 років, а лише 6% - до 2000-2005 років. Більшість обладнання вже морально застаріла і фізично зношена, що

впливає на техніко-економічні показники процесу сушіння вапняку в обертовій печі та призводить до збільшення часу простою обладнання через поламки.

Струмові системи виміру складають 5% від загальної кількості.

У даному обладнанні відсутні системи автоматичного керування, що регулюють технологічні параметри. Схеми сигналізації, включаючи відключення природного газу, реалізовані за допомогою релейно-контакторного устаткування.

Керування процесом виробництва вапняку здійснюється технічним персоналом цеху, яке включає в себе моніторинг різних параметрів (таких як витрата, тиск, розрідження, температура) та забезпечення їх у необхідних межах. В основному для вимірювання використовуються диференційні трансформаторні системи з класом точності 1,5 або нижче. Таке обладнання піддається фізичному зносу. Недолік використання систем дистанційного керування полягає в тому, що людський фактор відіграє ключову роль у "налаштуванні" ходу печі. Навіть досвідчений працівник не може врахувати всі фактори, що впливають на оптимальне налаштування параметрів печі.

Для застосування передових технологічних та алгоритмічних рішень у сфері автоматизації обертових печей у моєму дипломному проєкті проведено аналіз систем автоматизації, що вже впроваджені на інших підприємствах.

Для керування обертовою піччю випалювання клінкеру на ЗАТ "Нев'янський Цементник" в була впроваджена нова система регулювання швидкості обертання печі. Ця система включає заміну головного привода на ТПЧ-АД. Впроваджена система призначена для дистанційного автоматичного керування електродвигуном головного приводу печі випалювання в заданому діапазоні, встановленому оператором.

Об'єктом модернізації став головний привід печі для випалювання клінкеру, що відповідає за регулярне обертання барабану печі розмірами 4.5 м у діаметрі та 80 м у довжині, у встановленому оператором діапазоні. Під час модернізації було здійснено заміну електродвигуна постійного струму серії П2П на асинхронний електродвигун загальнопромислового типу ДА304, а також

тиристорний (аналоговий) перетворювач для керування постійним струмом було замінено на високовольтний перетворювач.

В системі були встановлені додаткові компоненти, включаючи ввідний розподільчий пристрій перетворювача частоти, відомий як осередок КСВ, та вихідний розподільний пристрій, який забезпечує безпечне функціонування системи. Заміна електродвигуна постійного струму П2П головного приводу обпалювальної печі на загальнопромисловий асинхронний електродвигун призвела до зниження витрат на поточні ремонти та періодичне технічне обслуговування. Новий електродвигун майже не потребує технічного обслуговування, що значно зменшило витрати на обслуговування та ремонт системи.

Достигнуто оптимальне управління швидкістю обертання обертової печі без використання тахометричного зворотного зв'язку (векторного керування) в межах заданого діапазону регулювання (відношення 1:10). Це дозволило оптимізувати технологічний процес випалювання клінкеру, що в свою чергу позитивно вплинуло на якість продукції.

Точне регулювання обертового моменту електродвигуна обертової печі дозволило практично усунути вібрацію під час випалу, а також оптимізувати технологічний процес випалу клінкеру, що в результаті значно зменшило знос механічного обладнання печі.

Розширено діапазон обертання обертової печі, що в перспективі може призвести до збільшення обсягів виробництва.

Введення системи автоматичного регулювання швидкості обертання печі має численні додаткові позитивні ефекти. Покращено якість мережі живлення завдяки використанню високовольтного перетворювача частоти з інверторною топологією та ШІМ-випрямлячем, який "інтелектуально" пригнічує вищі гармонійні складові струму та напруги, що можуть виникати при використанні тиристорних перетворювачів. Крім того, на вході перетворювача встановлено інтегрований конденсатор-фільтр, який пригнічує 5-ту та 7-му гармоніки.

Сумарне гармонічне спотворення напруги (HTD) на вході перетворювача не перевищує 1,5%.

Система дозволяє гнучко налаштовувати режими роботи обладнання відповідно до встановлених технологічних параметрів, не зупиняючи технологічний процес. Вона забезпечує можливість точного контролю за обертовою швидкістю печі, виявлення несправностей та відхилень у режимах експлуатації приводу.

1.3. Обґрунтування доцільності розробки автоматизованої системи керування подачі газу

Здійснюється дистанційне керування:

- витратою природного газу;
- витратою вентиляторного повітря (основний повітропровід);
- витратою вентиляторного повітря (обвідний повітропровід).

Недоліки дистанційного керування

- зниження точності керування параметрами технологічного процесу;
- зниження оперативного керування технологічними процесами;
- бракування достатньої достовірної і своєчасної інформації про хід технологічного процесу та стану обладнання для оперативного керування;
- низька стійкість системи до відмов;
- підвищена споживчість електроенергії;
- підвищена споживчість газу.
- використання електроприводів для обертання та орієнтування, які мають великі розміри, менше надійне у порівнянні з аналогічними сучасними приводами.

– використання електричних регулюючих механізмів у газових і повітряних магістралях дозволяє проводити точне регулювання в обмеженому діапазоні.

1.4 Технічне завдання на створення АСР подачі газу

1.4.1 Вимоги до структури і функціонування системи автоматизації

Система призначена для безперервної роботи всіх робочих станцій, контролерів та інших компонентів, з включенням перерв на технічне обслуговування під час зупинки технологічного обладнання. З урахуванням функціональності, система може функціонувати у таких режимах:

- нормальний режим, що характеризується повною справністю усіх компонентів системи і ліній зв'язку;

- режим обмеженої ефективності виникає у випадку несправності або відмови резервної мережі, а також при відсутності одного з двох робітників - операторів станції або архівування. У цьому режимі усі функції з управління процесом випалення залишаються активними, але з обмеженим рівнем візуалізації ходу технологічного процесу.

- режим автономного функціонування контролерів відзначається недовіркою (або відмовою) локальної мережі як на станції оператора, так і на станції архівації.

- аварійний стан, що виявляється у несправності контролера, повинен бути автоматично аналізований системою, а всі відхилення від звичайного режиму повинні бути зафіксовані у протоколі роботи цієї системи.

1.4.2 Вимоги по діагностуванню системи

Системні засоби, як програмні, так і технічні, повинні забезпечувати можливість діагностики та самодіагностики компонентів технічних пристроїв. Інформація про їхню роботу формується за допомогою вбудованих індикаторів і

повідомлень, що передаються в робочі станції через локальну мережу. Засоби самодіагностики мають фіксувати наступні ситуації:

- Контролер проводить самодіагностику, виявляючи такі помилки, як недійсна пам'ять програми, відсутність або непідходящий тип модуля введення/виведення, спрацьовування сторожового таймера та випадки відмови в живленні.

- Оцінка функціонування вимірювальної техніки, механізмів та обладнання з орієнтацією на час.

- обрив ланцюга аналогового датчика з сигналом 4-20мА;

- відмова джерел живлення 24В постійного струму;

- Відхилення від встановлених меж напруги живлення 220В змінного струму на вході шаф контролерів (реле контролю напруги) або їх відсутність.

- відмова, зупинка робочих станцій, контролерів;

- відмова зв'язку контролерів із станціями оператора;

- відмова комутаторів локальній мережі Ethernet;

- відмова одного з двох каналів або повна відмова дубльованої мережі.

Повідомлення про діагностику мають надходити до станції оператора і бути звітувані оперативному персоналу.

Система має бути спроектована для тривалого операційного періоду у реальних умовах та забезпечувати повний контроль і управління технологічним процесом. Вона повинна зберігати свою ефективність протягом періоду, який не може бути коротшим за очікувані характеристики роботи технологічного обладнання. Також система повинна гарантувати відповідність своєму призначенню незалежно від будь-яких змін у технологічних параметрах, які допускається застосовувати за прийнятою технологією.

Мета завдання "САК співвідношення "Природний газ - Повітря" полягає у розрахунку та коригуванні витрати повітря в залежності від витрати природного газу. Для досягнення цієї мети необхідно вимірювати поточні витрати природного газу і повітря, а також ступінь відкриття виконавчих механізмів. Оптимальне

співвідношення між витратами природного газу і повітря повинно відповідати технологічній інструкції. На основі вимірних параметрів та поточного завдання з регулювання співвідношення мають видаватися команди для виконавчих механізмів щодо збільшення або зменшення витрати повітря і газу. Рішення задачі повинно відповідати наступним вимогам:

- точність регулювання витрати повітря – не більше 5%;
- періодичність виконання функцій вимірів – не більше 50мс.

1.4.3 Вимоги до надійності

Імовірність безвідмовної роботи має бути на рівні 95% протягом періоду від 0 до 10 років. Час відновлення не перевищує 40 годин.

Коефіцієнт готовності (K_g), який враховує як безвідмовність, так і ремонтоздатність, є комплексним показником надійності. Він визначає, наскільки система може бути відновлена у будь-який вибраний момент часу, враховуючи її робочий режим.

Критерій відмови для усіх функцій АСР – коефіцієнт готовності K_g :

- а) для режиму автоматичного керування(з урахуванням надійності датчиків), $K_g = 0,995$;
- б) для режиму автоматичного керування(без урахування надійності датчиків), $K_g = 0,998$;
- в) для ручного керування $K_g = 0,999$.

Вимоги до способів і засобів зв'язку для інформаційного обміну між компонентами системи.

Загальна система комунікації має забезпечувати передачу інформації між різними складовими частинами. Основним каналом комунікації у системі є локальна мережа, що базується на комутованій технології ETHERNET з швидкістю 10/100 Мбіт/с (для зв'язку між контролерами та операторськими станціями та між самими станціями). Для передачі використовується вита пара

категорії 5+. Основними протоколами для мережевої та міжмережевої взаємодії є UDP та TCP/IP. Система має виявляти перерву зв'язку, видаючи діагностичне застереження та реєструючи цю подію в протоколі роботи.

В системах відсутні автоматичні регулятори для керування технологічними параметрами. Сигналізаційні схеми, включаючи системи відсічення природного газу, реалізовані за допомогою релейно-контакторного обладнання.

Виробництво вапняку керується технічним персоналом цеху, які відповідають за моніторинг різних параметрів, таких як витрата, тиск, розрідження і температура, і забезпечують їх підтримку в необхідних межах. Використовуване обладнання, головним чином, базується на диференційних трансформаторних системах виміру з класами точності 1, 5 і нижче, і має певний фізичний знос. Недолік використання систем дистанційного керування також очевидний, оскільки людський фактор відіграє ключову роль у "налаштуванні" ходу печі. Навіть досвідчений працівник не може врахувати всі фактори, які впливають на оптимальне налаштування параметрів печі.

2 Склад системи автоматичного керування подачі газу в процесі горіння у обертовій печі

2.1 Структура і функції системи керування подачі газу

Мета розробки цієї системи полягає у підвищенні ефективності роботи обертової печі шляхом оптимізації використання природного газу та розширення функціональних та інформаційних можливостей для технологічного персоналу.

Автоматизована система керування обертовою піччю організована як інтегрована система, що має кілька рівнів і функціонує в реальному часі, узгоджуючись з технологічним процесом. Вона включає програмно-технічний комплекс, а також оперативний технологічний і обслуговуючий персонал. Функціональна структура програмно-технічного комплексу включає такі підсистеми:

- збору і первинної обробки інформації;
- автоматичного регулювання;
- дистанційного і логічного керування;
- технологічних блокувань;
- технічного обліку енергоносіїв (природного газу), споживаних піччю;
- Облік витрат сировини (вапняку) і виробленої готової продукції - вапна здійснюється технічним відділом, включаючи поточний облік за зміну, добу, місяць та інші періоди.
- представлення інформації оперативному персоналу;
- архівації (зберігання даних за тривалий період часу);
- проведення метрологічної перевірки (калібрування) вимірювальних каналів.
- Супровід інструментальної системи включає налаштування відповідних програм, підтримку інформаційної бази та програмування.

Робота всіх компонентів ПТК відбувається через взаємодію всіх різновидів системного забезпечення, зокрема:

- Математичне забезпечення представлене як комплекс математичних методів і алгоритмів.

- Забезпечення інформацією щодо обсягів вхідної та вихідної інформації, розташування та форми відображення інформації (наприклад, відеоматеріали).

- Лінгвістичне забезпечення представлене як набір інструментів та правил для стандартизації природної мови, які використовуються експлуатаційним персоналом під час взаємодії з автоматизованим комплексом.

- Програмне забезпечення складається з набору програм, які призначені для налагодження, роботи та перевірки працездатності ПТК.

- Технічне забезпечення у формі набору обчислювальної техніки та інших технічних пристроїв, що використовуються при роботі системи, називається комплексом технічних засобів (КТЗ).

- Метрологічне забезпечення представляє собою комплекс методів, нормативних вимог і програмно-технічних засобів, які забезпечують виконання функцій програмно-технічного комплексу відповідно до установлених стандартів достовірності інформації.

- Організаційне забезпечення представлене набором документів, які визначають структуру організації, права та обов'язки персоналу, що займається експлуатацією, у контексті її функціонування, а також процеси перевірки та забезпечення працездатності ПТК.

2.1.1 Організація збору і передачі інформації

Інформація вважається технологічною залежно від способу її отримання та використання. Технологічна інформація охоплює в собі параметри технологічних процесів у виробництві та стан устаткування.

З урахуванням обсягу та складності функцій, що необхідно реалізувати, а також зростаючих вимог до надійності системи, доцільно розглядати АСК у вигляді системи із ієрархічною структурою, де функції керування розподілені. Структура інформаційних потоків відповідає структурі комплексу технічних засобів у системі.

Інформаційною одиницею міжсистемного обміну є повідомлення.

Розподіл функцій контролю і керування поєднується з централізацією обов'язків у сфері взаємодії людини з машинами та процесами, а також прийняттям рішень з управління комплексом технологічних процесів, які взаємопов'язані.

На нижньому рівні автоматизованої системи керування з обертовою піччю для випалювання вапняку здійснюються функції моніторингу параметрів процесу, реєстрації, подання аварійних сигналів, віддаленого керування, а також автоматичного (локального) регулювання. Технічні засоби цього рівня забезпечують пряме взаємодію з технологічним процесом.

Нижній рівень АСК реалізує наступні функції:

- Попередня обробка технічних параметрів, яка включає масштабування, фільтрацію та інші математичні операції.
- формування локальних баз даних кожної з підсистем;
- зв'язок з системами верхнього рівня ієрархії;
- зв'язок з системами керування електроустаткуванням.

Системи на нижньому рівні автоматизованої системи контролю для випалювання вапняку розділені таким чином, щоб уникнути потреби в взаємодії між ними через інформаційний зв'язок. Кожна система має достатній набір вхідних сигналів для самостійної роботи, що призводить до звільнення локальної обчислювальної мережі та максимальної швидкості передачі інформації до системи верхнього рівня.

Робоче місце диспетчера печі, що є частиною верхнього рівня ієрархії, розроблене з метою вирішення таких завдань:

- Подання інформації операторові у формі, яка забезпечує зручність при спостереженні за прогресом технологічного процесу (наприклад, кольорові відеокадри, графіки та інше подібне).

- Створення та підтримка глобальної бази даних технологічного процесу.
- формування і видача попереджувальних і аварійних повідомлень;
- введення інформації від оперативного-технологічного персоналу;
- розрахунок матеріального і теплового балансів ;
- Розрахунки загальних показників (включаючи теоретичну температуру горіння, ефективність використання газу та інші аспекти).
- формування і зберігання звітних документів.

2.1.2 Склад і опис структури комплексу технічних засобів системи

Система автоматизованого керування технологічним процесом включає в себе наступні складові:

- первинні перетворювачі(датчики);
- вторинні прилади реєстрації;
- виконавчі пристрої;
- програмований логічний контролер (ПЛК);
- Системи рівня ухвалення рішення АСК втілюються за допомогою інтелектуальних пультів керування (робочих станцій), обладнаних кольоровими графічними відеотерміналами, клавіатурами з можливістю друку та засобами для довготривалого зберігання даних.
- лінії зв'язку і устаткування локальних обчислювальних мереж;

Функції автоматизованої системи керування розподілені між окремими технічними засобами, які виконують незалежні завдання та сполучені магістралями передачі даних.

Базою комплексу є функціонально повний набір виробів з однаковими зовнішніми зв'язками, які відповідають за призначення, конструкцію, основні технічні параметри та умови використання.

Функціональна повнота комплексу означає, що він здатен ефективно виконувати всі функції, пов'язані зі збором, обробкою, зберіганням, передачею, ручним введенням та відображенням інформації, а також формуванням і видачею дій у розподіленій системі автоматизації.

Використані технічні пристрої мають промислову конструкцію, яка дозволяє їх експлуатувати в умовах, які характеризуються шкідливими та важкими кліматичними умовами.

2.2 Розробка функціональних схем САК

Аналіз процесу випалювання вапняку у ротаційній печі, який був проведений у першому розділі, демонструє, що основною метою управління цим процесом є отримання стабільної якості готової продукції (з вмістом $\text{CaO} + \text{MgO}$ - 90%), з використанням енергії палива на максимум. Основною операцією, що впливає на якість готової продукції, є сам процес термічної обробки вапняку у ротаційній печі. Тому підвищення техніко-економічних показників цього процесу (підвищення якості випаленого вапняку, підвищення продуктивності, зниження витрат) можливе за рахунок удосконалення систем автоматичного управління ротаційною печю.

Основою для розробки будь-якої системи автоматичного керування є математична модель технологічного процесу, тому доцільно розглянути обертову піч як об'єкт автоматизації. Одним із основних показників завершення технологічного процесу випалювання є температура відходячих газів. Тому цей параметр можна розглядати як керовану величину процесу і будувати систему автоматичного керування з урахуванням цього показника. Для створення математичної моделі обертової печі як об'єкту керування температурою необхідно

врахувати вхідні фактори, що впливають на температуру відходячих газів. Продуктивність завантаження визначається потребами підприємства у вапняку. Вологість та температура вапняку є параметрами, що залежать від характеристик сировини і впливають на процес регулювання температури. До факторів, які не можна безпосередньо контролювати в процесі керування, можна віднести температуру зовнішнього повітря, що використовується для розведення продуктів спалювання газу. З урахуванням цього, регулювання температури можливе лише шляхом зміни витрат газу та повітря. Отже, для обертової печі як об'єкту автоматизації керованою величиною є температура відходячих газів, основними керуючими величинами доцільно визначити витрати газу та повітря, а збурюючими факторами вважати зміни продуктивності завантаження вапняку, варіації вологості та температури вапняку, а також температуру зовнішнього повітря (див. рис. 2.1).

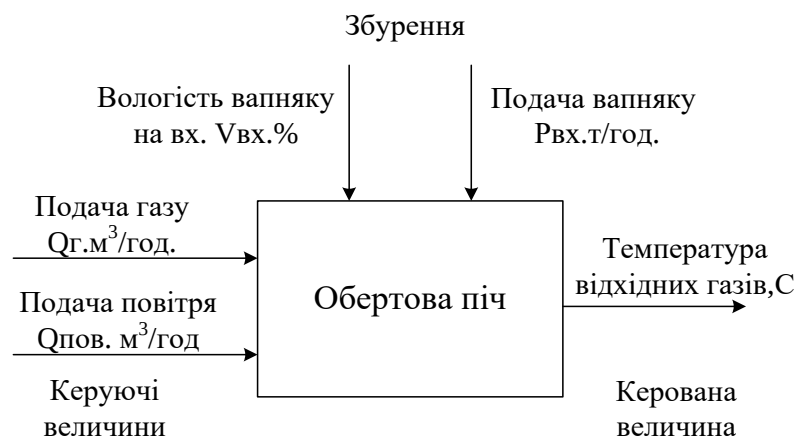


Рисунок.2.1 – Функціональна схема обертової печі як об'єкту керування САР температури відхідних газів

Результати факторного аналізу показують, що оптимальним підходом до реалізації системи автоматичного керування температурою відходящих газів є принцип керування за відхиленням. Це обґрунтовано тим, що такий підхід дозволяє компенсувати вплив невимірюваних збурень, пов'язаних зі змінами вологості вихідної сировини (вапняку) та температури повітря, що

використовується для розбавлення теплоносія, який утворюється під час спалювання природного газу.

Для дослідження та розробки системи автоматичного керування температурою вихідних газів необхідно створити функціональну та структурну схеми САК. Система автоматичного керування температурою вихідних газів складається з двох керуючих контурів: контроль температури вихідних газів шляхом регулювання газової витрати (основний) та регулювання витрати повітря (див. рис. 2.2), щоб забезпечити потрібне співвідношення між витратами газу та повітря. В основний контур керування входять такі компоненти: об'єкт керування (обертова піч); регулятор (заслінка); виконавчий механізм, що контролює роботу заслінки; керуючий пристрій, який виконує функції програмованого логічного контролера (ПЛК) і є основою другого рівня технічних засобів комплексу; первинний перетворювач для вимірювання температури (термопара). Керуючий пристрій, виходячи з поточного значення температури, виміряного первинним перетворювачем (термопарою), генерує сигнал керування для регулятора, який управляє виконавчим механізмом. Оскільки виконавчий механізм, запланований для використання в системі, має імпульсний режим керування, керуючий пристрій повинен включати в себе безперервний регулятор та трьохпозиційний перемикач, який безпосередньо формує керуючі імпульси для відкриття або закриття регулятора.

Система контролю витрати повітря розроблена для автоматичного забезпечення встановленого співвідношення між газом та первинним повітрям. Основне завдання для цієї системи - збереження зазначеної витрати повітря, яка визначається в блоку обчислення бажаного співвідношення «газ-повітря» на основі поточного вимірюваного значення газової витрати.

Для контролю та регулювання параметрів природного газу та повітря, що подаються до печі, ми розробляємо функціональну схему автоматизації. Ця схема також включає в себе моніторинг поточного рівня споживання газу.

На малюнку (2.3) показана схема автоматизації процесу подачі природного газу і повітря до печі. Контроль над витратами природного газу та повітря, що надходять безпосередньо до печі, забезпечується за допомогою спеціального комплексу обладнання.

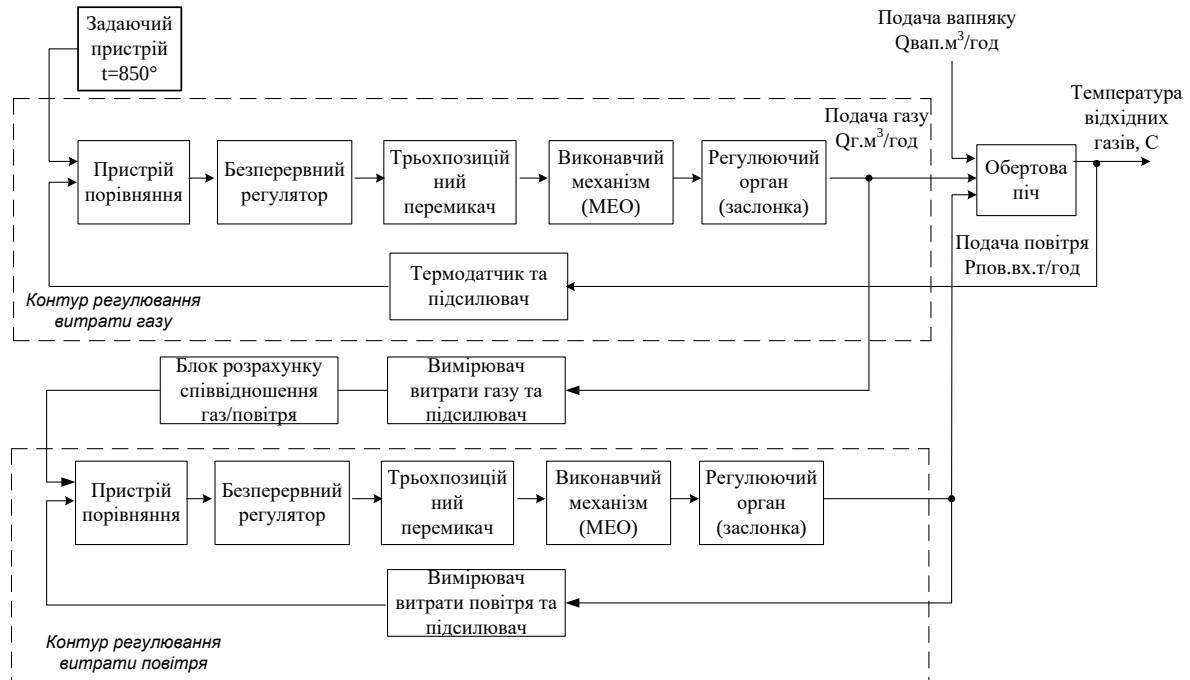


Рисунок 2.2 – Функціональна схема проектованої САК температури відхідних газів

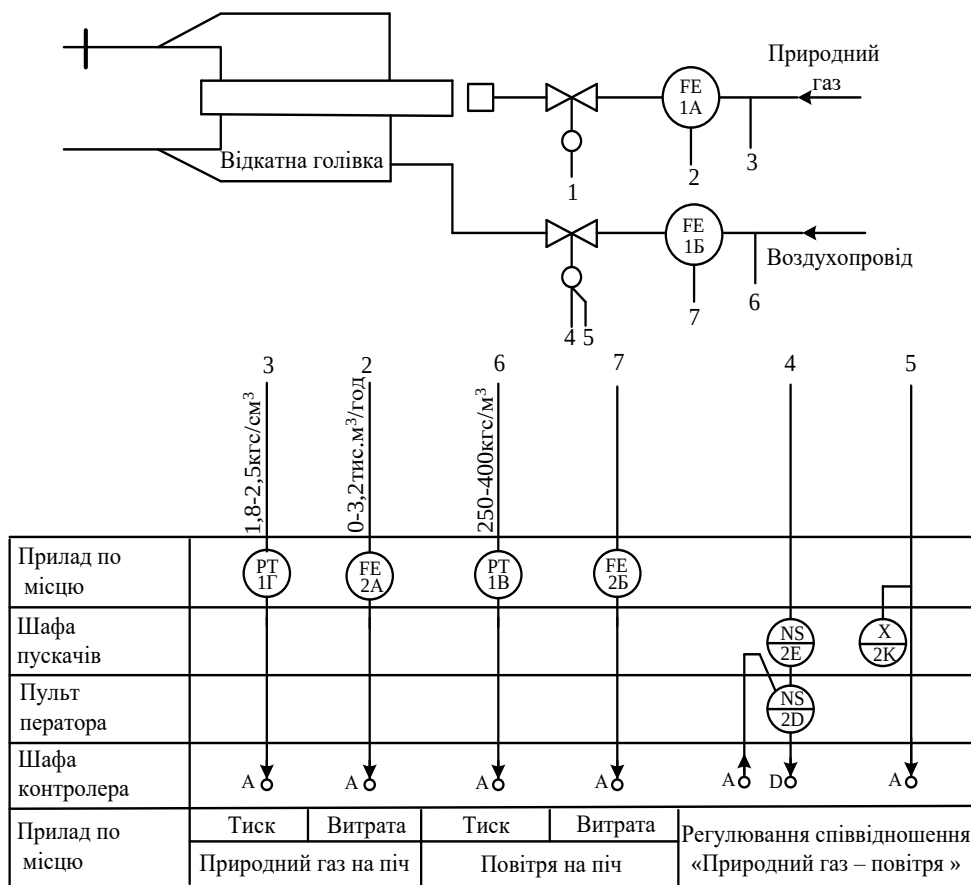


Рисунок 2.3 – Схема автоматизації ділянки подачі природного газу і повітря, що надходить у піч

Цей набір включає:

- імпульсну трубку;
- вимірювальні перетворювачі витрат типу «Honeywell» (позиції 2А, 2Б).

За допомогою звужуючих пристроїв 1А, 1Б вимірюються витрати природного газу та повітря, а перепад тиску на них передається через імпульсні трубки вимірювальному перетворювачу різниці тиску 2А, 2Б. Вихідний сигнал цього перетворювача, що пропорційний перепаду витрати на діафрагмі, подається на аналоговий вхід контролера. Також на цей вхід подаються сигнали, пропорційні тиску природного газу та повітря.

Контролер проводить розрахунки витрат природного газу та повітря, а ця інформація передається щодо поточних значень витрат обох ресурсів. У контролері реалізовано програмний автоматичний регулятор витрати природного газу та повітря, що приймає сигнал про поточні витрати на першому вході та

пропорційний заданому значенню на другому вході. Задане співвідношення витрат надходить від оператора робочої станції, який відноситься до технологічного персоналу.

Регулятор розраховує показник невідповідності та, відповідно до встановленого закону регулювання, створює вплив на процес. Цей вплив, через блок ручного управління (БРУ) 1Н та пускач безконтактний реверсивний ФЦ 1S, подається на виконавчий механізм 2М, вал якого жорстко пов'язаний з регулюючим органом подачі повітря. Виконавчий механізм та регулюючий орган переміщуються до тих пір, поки поточне значення витрати природного газу та повітря не досягне заданого рівня з точністю, визначеною роботою системи.

2.3 Математичне забезпечення САК подачі газу

2.3.1 Розробка математичної моделі обертової печі

Системи керування складаються з різних компонентів, які взаємодіють між собою. Під час моделювання таких систем, щоб полегшити процес, корисно розглядати окремо елементи, що взаємодіють, описуючи їх і моделюючи, а потім об'єднувати ці моделі, щоб отримати загальну модель системи.

Опис кожного елементу може бути здійснений двома способами. Перший - на основі аналітичної моделі, яка відтворює фізику процесів у ньому, це так звана теоретична модель. Цей підхід, з одного боку, важкий для інженера, але з іншого боку, надає повну картину подій, що відбуваються, і дозволяє, на основі глибокого розуміння принципів роботи, визначати можливі шляхи керування. З іншого боку, існує другий підхід - емпірична модель, яка ґрунтується на експериментальному вивченні поведінки об'єкта. Цей метод часто є достатнім для опису елементу або об'єкта в цілому.

При нормально налагодженому виробничому процесі системи, об'єкти керування здебільшого працюють в усталеному режимі. В цьому стані об'єкт

виявляє передусім свої статичні властивості, тобто поведінку за постійних або дуже повільно змінюваних впливів. Інерційно-динамічні властивості об'єкта в усталеному режимі роботи проявляються порівняно слабо, на відміну від перехідного режиму.

Отже, для створення системи автоматичного керування дуже важливо мати статичну характеристику керованого об'єкта, щоб побудувати його повну модель у статистиці. Реальні об'єкти керування мають кілька вхідних впливів (керуючих величин) і можуть мати кілька вихідних, керованих величин. Іншими словами, керовані величини об'єкта є функціями кількох змінних, і ці функції, як правило, нелінійні. Традиційні аналітичні методи опису та моделювання таких багатовимірних нелінійних об'єктів досить трудомісткі і не широко застосовувалися в інженерній практиці. Зазвичай намагаються виконати лінеаризацію об'єкта, а потім досліджувати і оптимізувати його роботу щодо приростів впливів у вибраній робочій точці.

З метою створення статичної моделі обертової печі для випалювання вапняку було проаналізовано усталені режими її роботи за трьома вхідними параметрами: подача вапняку, подача газу та подача первинного повітря. При стабільних значеннях цих параметрів на тривалому інтервалі часу, за допомогою аналізу даних реєструючих пристроїв, визначалася температура відхідних газів. За результатами аналізу були складені таблиці, що представляють табличну форму статичної характеристики об'єкту (табл. 2.1 – 2.4). Для комбінацій параметрів, які не зустрічалися в наявних даних реєструючих пристроїв, було опитано технологічний персонал вапнякового відділення, і на основі їхнього досвіду виконано апроксимацію відповідної статичної характеристики об'єкту.

Таблиця 2.1 – Залежність температури відхідних газів від подачі вапняку та витраті газу при витраті повітря $Q_{\text{п}} = 3000 \text{ м}^3/\text{год}$

Подача вапняку, т/год	Витрата газу, м³/год					
	250	500	725	1000	2000	3000
6	30	60	91	102	149	196
9	25	52	72	82	123	163
12	23	46	67	75	112	147
18	18	35	51	60	95	131
24	16	28	42	51	80	110
30	14	25	37	44	68	93

Таблиця 2.2 – Залежність температури відхідних газів від подачі вапняку та витраті газу при витраті повітря $Q_{\text{п}} = 15000 \text{ м}^3/\text{год}$

Подача вапняку, т/год	Витрата газу, м³/год					
	250	500	725	1000	2000	3000
6	149	298	455	508	744	980
9	122	259	359	411	613	814
12	113	228	333	376	560	735
18	88	175	254	298	473	656
24	79	140	210	254	399	551
30	70	123	184	219	341	464

Таблиця 2.3 – Залежність температури відхідних газів від подачі вапняку та витраті газу при витраті повітря $Q_{\text{п}} = 22500 \text{ м}^3/\text{год}$

Подача вапняку, т/год	Витрата газу, м³/год					
	250	500	725	1000	2000	3000
6	223	446	683	761	1116	1470
9	184	389	538	617	919	1221
12	171	341	499	564	840	1103
18	131	263	381	446	709	984
24	118	210	315	381	599	827
30	105	184	276	328	512	696

Таблиця 2.4 – Залежність температури відхідних газів від подачі вапняку та витраті газу при витраті повітря $Q_{\text{п}} = 30000 \text{ м}^3/\text{год}$

Подача вапняку, т/год	Витрата газу, м ³ /год					
	250	500	725	1000	2000	3000
6	298	595	910	1015	1487	-
9	245	518	718	823	1225	-
12	228	455	665	756	1120	1470
18	175	350	508	595	945	1312
24	158	280	420	508	798	1102
30	140	245	368	438	683	927

Для створення динамічної моделі об'єкта керування на основі експериментальних даних бажано мати його репрезентативні розгінні характеристики як за керуючою величиною, так і за збуренням. Для багатьох промислових об'єктів розгінні характеристики можна знайти в літературі. Однак, у реальному проектуванні краще мати експериментально отримані розгінні характеристики. Ці характеристики знімаються шляхом ступінчастої зміни керуючих дій і збурень на малі відсотки від їх номінальних величин для об'єкта, що працює в номінальному режимі, з подальшим вимірюванням змін керованої величини з плином часу.

Як зазначено у [1], динамічну модель обертової печі можна представити як послідовно з'єднану нелінійну статичну модель та лінійну динамічну модель. У динамічному аспекті обертова піч для випалювання вапняку може бути апроксимована аперіодичною ланкою першого порядку з передаточною функцією [1]

$$W_{\text{ок}}(p) = \frac{F_3(Q_{\text{в}}, Q_{\text{г}}, Q_{\text{п}})}{T_{\text{ок}}p + 1}, \quad (2.1)$$

де $T_{\text{ок}}$ – стала часу об'єкту керування; $F_3(Q_{\text{в}}, Q_{\text{г}}, Q_{\text{п}})$ – функція, що описує нелінійну статичну характеристику об'єкту керування; $Q_{\text{в}}$, $Q_{\text{г}}$, $Q_{\text{п}}$ – витрати вапняку, газу та повітря відповідно.

Виходячи з експериментальних даних, встановлено, що при раптовому збільшенні будь-якого з трьох параметрів Q_v , Q_g , або Q_n , процес зміни температури відхідних газів завершується приблизно за 700 секунд. Відомо, що для аперіодичних ланок тривалість перехідного процесу $t_p = 3 \cdot T_{ок}$, тобто стала часу об'єкту становить приблизно 240 с.

Отже, передаточна функція об'єкту керування:

$$W_{ок} = \frac{1}{240p + 1}; \quad (2.2)$$

Отримані дані будуть використані для створення математичної моделі об'єкта керування та його моделювання в середовищі MATLAB.

2.3.2 Розробка структури системи автоматичного керування подачі газу

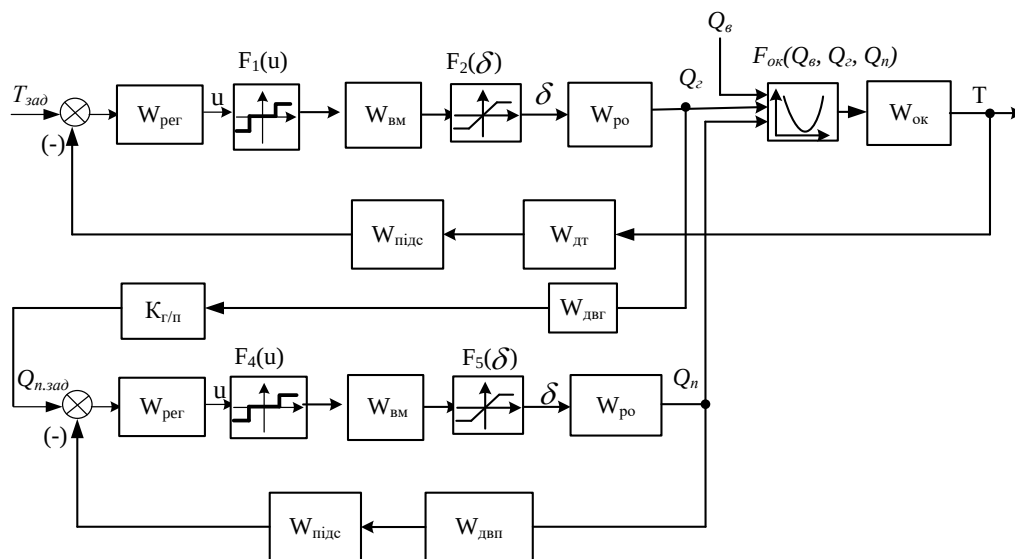


Рисунок 2.4 – Структурна схема системи автоматичного керування температурою обертової печі

Структурна схема, що відповідає функціональній схемі на рис. 2.2, представлена на рис. 2.4. На структурній схемі (рис. 2.4) позначено: $W_{пер}$ – передавальна функція температурного регулятора $F_1(u)$ – нелінійний елемент з

характеристиками типу «трипозиційний перемикач»; $W_{\text{вм}}$ – Функція передачі виконавчого механізму. $F_2(\delta)$ – Елемент з нелінійною характеристикою, що проявляє обмежувальну функцію. $W_{\text{ро}}$ – Характеристика передачі регулюючого механізму. $F_{\text{ок}}(Q_{\text{в}}, Q_{\text{г}}, Q_{\text{п}})$ – Характеристика керованого об'єкта, яка не є лінійною та статичною. $W_{\text{ок}}$ – Функція передачі об'єкту управління. $W_{\text{підс}}$ – передаточна функція підсилювача; $W_{\text{дт}}$, $W_{\text{двг}}$, $W_{\text{двп}}$ – Функції передачі даних від датчиків температури, витрати газу та витрати повітря відповідають одній одиниці.

Заслінка виконує функцію регулюючого механізму. Припустимо, що кількість газу, яка подається заслінкою, пропорційна ступеню її відкриття, яке може змінюватися від 0° до 90° . Це означає, що при повному відкритті заслінки, що дорівнює 90° , кількість газу, що подається в піч, максимальна і становить $3000 \text{ м}^3/\text{год}$. Отже, заслінку можна змодельовати за допомогою пропорційної системи з посилювачем, коефіцієнт посилення якого дорівнює:

$$K_3 = \frac{Q_g}{\varphi_3}; \quad (2.3)$$

де $Q_{\text{г}}$ – максимальна витрата газу, $\text{м}^3/\text{год}$; φ_3 – кут повороту заслінки, град;

$$K_3 = \frac{3000}{90} = 33,3 (\text{м}^3 / \text{год} * \text{град}); \quad (2.4)$$

Оскільки можливий кут повороту заслінки обмежений значеннями від 0 до 90° градусів, необхідно включити нелінійний елемент типу "обмеження" $F_2()$ перед передаточною функцією регулюючого органу, щоб це врахувати.

У схемі, представлений на рис. 2.2, використовується електричний однооборотний механізм (МЕО) як виконавчий механізм, спеціально розроблений для керування заслінками. Після досягнення певного рівня напруги на його керуючому вході, МЕО активується і, залежно від напрямку керуючої напруги, рухає заслінку в потрібному напрямку, до тих пір, поки вона не досягне крайнього положення або доки не припиниться вплив вхідної напруги.

В структуру виконавчого механізму входить асинхронний двигун з регулюванням швидкості обертання через керуючу напругу.

$$W_{\text{вм}} = \frac{K_{\text{вм}}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}; \quad (2.5)$$

де $K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт підсилення виконавчого механізму; T_1, T_2 – сталі часу двигуна.

Отже, передаточна функція виконавчого механізму

$$W_{\text{вм}} = \frac{3.6}{0.3p^2 + 1.6p + 1}; \quad (2.6)$$

Коефіцієнт посилення моделі асинхронного двигуна (АД) визначається таким чином: коли керуючий сигнал дорівнює 1, то двигун переміщує заслонку на 90 градусів, отже:

$$K_{\text{вм}} = \frac{\varphi_3}{t}; \quad (2.7)$$

де φ_3 – Кутовий рух заслонки вимірюється в градусах, а час, за який заслонка рухається від нульового до максимального положення (90 градусів), позначається як t .

$$K_{\text{вм}} = \frac{90}{1.25} = 3.6(\text{град}/\text{сек}); \quad (2.8)$$

Поскільки кут повороту є вихідною характеристикою виконавчого механізму, для зміни від частоти обертання до кута повороту в структурну схему потрібно включити ідеальну інтегруючу ланку.

Для вимірювання температури відходячих газів рекомендується застосовувати термопару, яка має верхню межу вимірювання більше 850 – 1100 °С.

$$W_{\text{д.т.}} = K_{\text{д}}; \quad (2.9)$$

де $K_{\text{д}}$ – коефіцієнт посилення датчика;

Звідси, передаточна функція датчика температури :

$$W_{\text{д.т.}} = 0.02 ; \quad (2.10)$$

Було встановлено, що коли температура змінюється на 800 градусів Цельсія, вихідний струм датчика змінюється на 16 міліампер (20 мА - 4 мА). Це визначає значення коефіцієнта посилення моделі датчика:

$$K_{\partial.} = \frac{I_{\text{вих}}}{t}; \quad (2.11)$$

де $I_{\text{вих}}$ – вихідний струм датчика температури, мА; t – зміна температури в обертовій печі;

$$K_{\partial.} = \frac{16}{800} = 0.02(\text{мА} / \text{град}^{\circ}\text{C}); \quad (2.12)$$

Під час моделювання для полегшення розуміння результатів і встановлення рівнів стабільної температури, цілком доцільно призначити значення посилення зворотного зв'язку так, щоб датчик мав значення, рівне одиниці.

Звичайно, при впровадженні САР цей аспект потрібно врахувати, та зміцнення додаткового підсилювача зворотнього зв'язку має бути інтегровано в зміцнення ПД-регулятора. Для полегшення моніторингу величини виражаються у градусах Цельсія, а відповідний підсилювач має коефіцієнт підсилення, що відповідає зворотному коефіцієнту підсилення додаткового підсилювача зворотнього зв'язку.

$$W_{\text{підс}} = \frac{1}{K_{\partial.т.}}; \quad (2.13)$$

де $K_{\partial.т.}$ – Коефіцієнт посилення температурного датчика; отже, передаточна характеристика посилювача:

$$W_{\text{підс}} = \frac{1}{0.02}; \quad (2.14)$$

Застосовуємо пропорційно-диференційний (ПД) регулятор, передавальна функція якого:

$$W_{\text{підс}} = K_{\text{п}} \left(1 + \frac{1}{T_u p} \right); \quad (2.15)$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт підсилення регулятора; T_u – стала часу інтегратора;

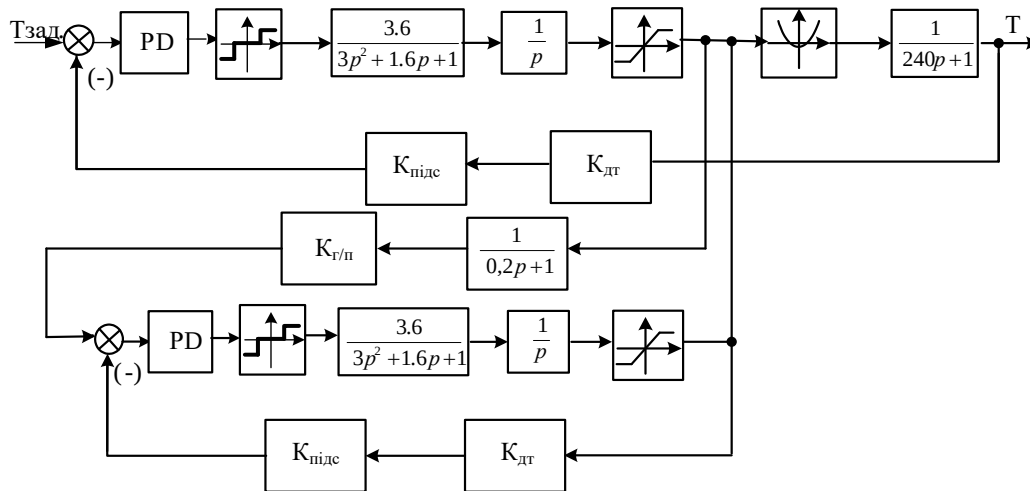


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи автоматичного керування температурою відхідних газів обертової печі

2.3.3 Розробка алгоритму керування співвідношенням «газ – повітря»

Математичне забезпечення повинно визначати методи та алгоритми обробки інформації для цільових завдань керування на всіх етапах розробки та експлуатації АСУ ТП.

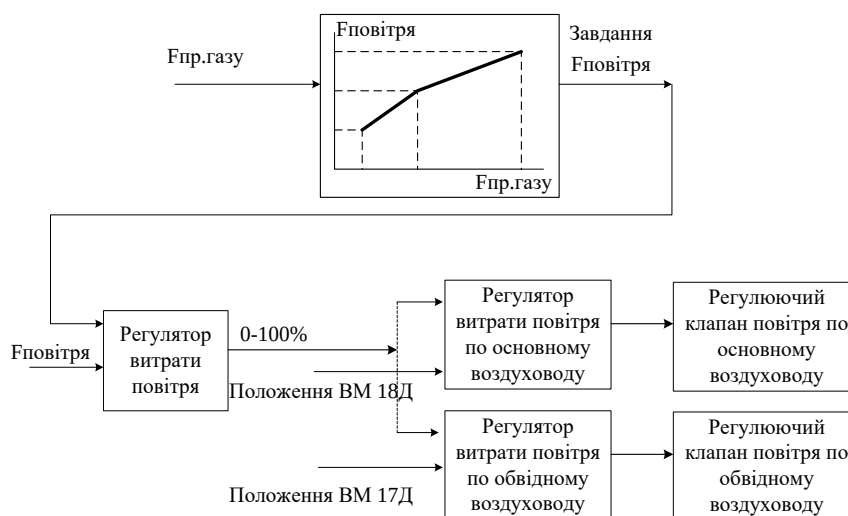


Рисунок 2.6 – Алгоритми обробки інформації для цільових завдань керування.

Для підтримання співвідношення «Приведена витрата природного газу / витрата повітря на пальники» необхідно ввести цю залежність « $F_{пр.газу} / F_{повітря}$ » для кожної печі з мнемосхеми оператора станції. Залежність « $F_{пр.газу} / F_{повітря}$ » є кусочно-лінійною і задається трьома точками: мінімальна витрата природного газу $F_{пр.газухв}$ та відповідна їй витрата повітря $F_{повітряхв}$, максимальна витрата природного газу $F_{пр.газумакс}$ та відповідна їй витрата повітря $F_{повітрямакс}$, а також середні витрати $F_{пр.газус}$ і $F_{повітряс}$.

Завдання розрахунку витрати повітря на піч визначається за такими формулами:

$$F_{пов.зад.} = F_{пов.мін.} + \frac{F_{пот.пр.г.} - F_{хв.пр.г.}}{F_{с.пр.г.} - F_{хв.пр.г.}} \cdot (F_{пов.с.} - F_{пов.мін.}) \text{ при } F_{пот.пр.г.} < F_{с.пр.г.}; \quad (2.16)$$

$$F_{пов.зад.} = F_{пов.мін.} + \frac{F_{пот.пр.г.} - F_{хв.пр.г.}}{F_{с.пр.г.} - F_{хв.пр.г.}} \cdot (F_{пов.макс} - F_{пов.с.}) \text{ при } F_{пот.пр.г.} \geq F_{с.пр.г.}; \quad (2.17)$$

Завдання підтримання заданої витрати повітря передбачає автоматичне увімкнення регулювання витрати через обвідний повітропровід у разі, якщо діапазон регулювання за основним повітропроводом вичерпано.

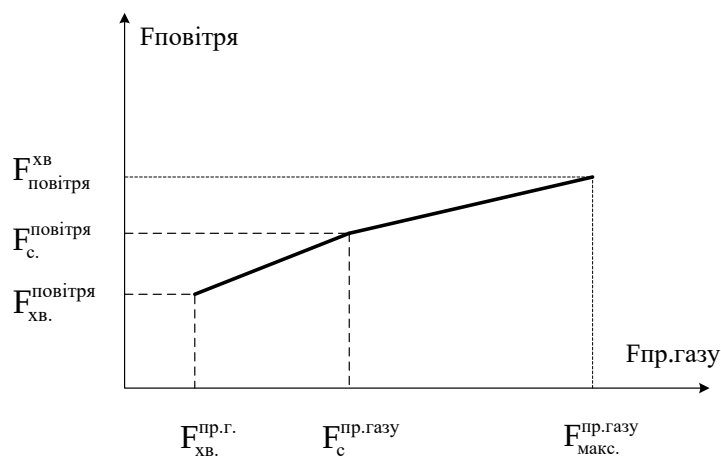


Рисунок 2.7 – Залежність « $F_{пр.газу} / F_{воздуха}$ »

Алгоритми оперативного контролю та керування мають виконуватися швидко (мінімальна кількість розгалужень, умовних переходів і переривань) і бути розумної довжини. Створені алгоритми керування прикладними процесами повинні бути високонадійними та стійкими, без тупикових ситуацій. Крім того, математичне забезпечення повинно включати програми для виконання сервісних

функцій при обробці інформації (сортування, фільтрація, виконання арифметичних операцій з масивами даних тощо). Розрахунок витрат природного газу повинен здійснюватися за алгоритмом, який враховує коригувальні показники надлишкового тиску і температури середовища, з використанням постійного коефіцієнта витрати звужуючого пристрою.

Математичне забезпечення керуючих функцій ПТК слід створювати на основі блочно-модульного підходу. Алгоритми керування та регулювання описуються технологічною мовою, що дозволяє компонувати і налаштовувати типові модулі для вирішення конкретних завдань, а також визначати їх вхідну і вихідну інформацію.

Алгоритм програми керування співвідношенням «газ – повітря» (див. рис. 2.8) є нескінченним програмним циклом, що включає пусковий та основний блоки.

Пусковий блок включає в себе:

Блок А1 – початок програми.

Блок А2 – обнуління робочих осередків ОЗУ, констант, ознак.

Блок А3 – переведення виконавчого механізму заслінки регулювання витрати повітря в початкове положення (закрито).

Блок А4 – призначення констант і заданих величин, які необхідні для функціонування системи.

Блок А5 – Перевірка, чи потрібно перезапустити програму: якщо це так, пусковий блок запускається знову; якщо ні, керування передається в основний блок.

До основного блоку програми входять:

Блок А6 – підпрограма введення сигналу від датчика витрати повітря.

Блок В1 – підпрограма опитування витрати природного газу.

Блок В2 – підпрограма опитування витрати повітря.

Блок В3 – обчислення базової витрати повітря.

Блок В4 – підпрограма установки базового значення повітря.

Блок В5 – Налаштування виконавчого механізму заслінки на базову витрату повітря.

Блок В6 – обчислення неузгодженості регульованих параметрів.

Після цього, основний блок програми повторюється, за умови, що програма не була перезапущена.

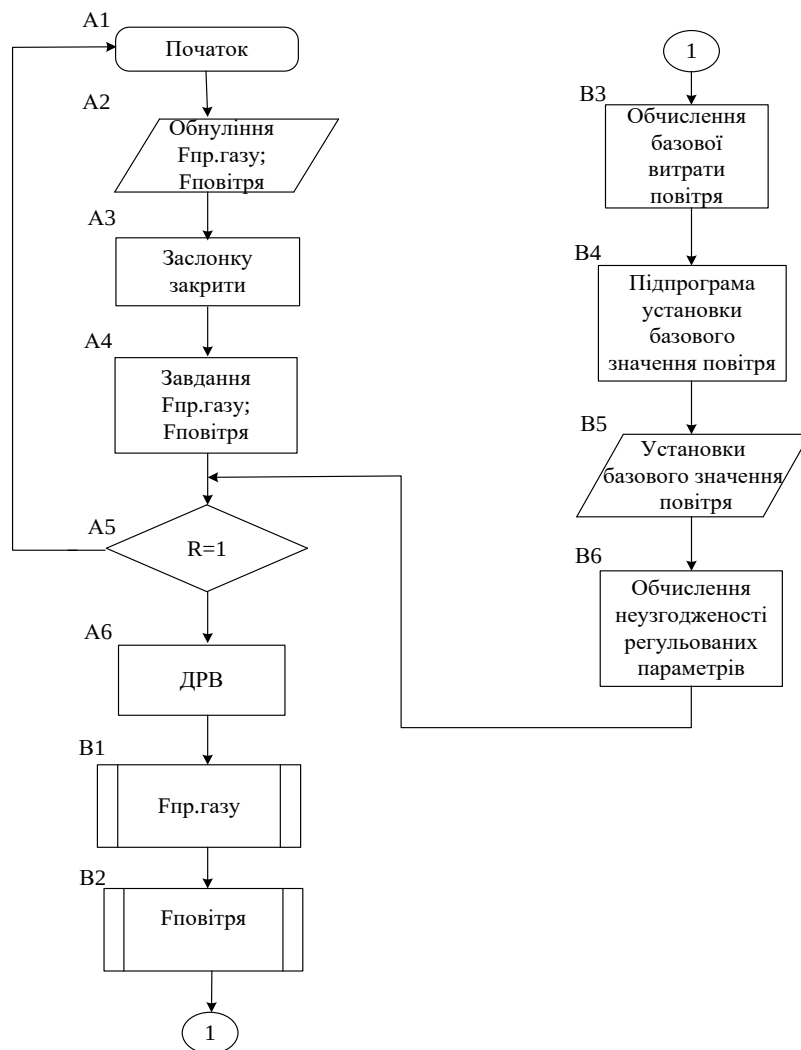


Рисунок 2.8 – Алгоритм програми керування співвідношенням газ – повітря

Для впровадження автоматичного регулювання співвідношення між газом і повітрям необхідно вибрати відповідні технічні засоби автоматизації. Оптимальною стратегією для здійснення цього є застосування комплексу технічних засобів автоматизації, який включає в себе:

- вимірювальний перетворювач надлишкового тиску – STG 94;
- керуючий пристрій на базі програмованого контролера Modicon M340;

- в) пускач безконтактний реверсивний – ПБР-3А;
- г) блок живлення – БЖ-10;
- д) механізм виконавчий електричний – МЕО-1600/25-0, 25у-92К;
- е) регулюючий орган – клапан регулюючий дисковий;
- ж) вторинний реєструючий прилад – DR 4311;

з) Для здійснення методу вимірювання витрати, що ґрунтується на створенні перепаду тиску, потрібно встановити діафрагми ДБС 1,6-350-б та ДБС 1,6-1200-б у трубопроводах газу і повітря.

і) для ручного керування застосовуємо БРУ – 42;

к) Для управління виконавчим механізмом використовуємо підсилювач ФЦ 0620.

Виконавчий механізм має комплектацію, що включає в себе датчик положення вала БСПТ-10 та блок живлення БЖ-10. Інформація про положення заслінки виводиться на відеоконтрольний пристрій.

3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій

3.1 Вибір технічних засобів автоматизації та обчислювальної техніки 1-го та 2-го рівня

Комплекс технічних засобів у системі керування випалом в печах ІОЦ відповідає за забезпечення наступних функцій:

- Забезпечення автоматичної роботи печі та її механізмів згідно з технологічними вимогами.

- Забезпечення безпеки праці та цілісності устаткування цеху через передбачення та виявлення аварійних ситуацій.

- Показ роботи печі та технологічного процесу на екрані комп'ютера для оператора.

- Дані щодо основних параметрів технологічного процесу зберігаються та архівуються у комп'ютерній базі даних.

Система автоматизованого управління технологічним процесом виробництва (далі - АСУТП) в вапняно-обпалювальній печі має три рівні.

Рівень перший включає в себе набір інструментів для збору даних про технологічний процес та його параметри.

На цьому рівні розміщені датчики, які збирають дані щодо температури, тиску, обсягу, положення механізмів та інших характеристик технічного процесу.

На другому рівні використовується програмований логічний контролер Modicon M340 від компанії Schneider Electric.

Після отримання інформації з першого і третього рівнів, цей контролер управляє технологічним процесом за програмою, що завантажена в нього за допомогою програмного пристрою, відомого як програматор. Керування здійснюється через видачу команд виконавчим механізмам.

На третьому рівні використовується набір інструментів для відображення технологічного процесу і передачі управляючих параметрів до контролера.

На цьому рівні використовуються сучасні промислові персональні комп'ютери від фірми Advantech, які мають спеціальні комунікаційні процесори для зв'язку з контролерами за допомогою шини ETHWAY. Фактично, ці комп'ютери функціонують як робочі станції випалювача. Через них налаштовуються параметри та режими роботи печі, а також виконується управління піччю вручному режимі у випадку надзвичайних ситуацій. На цьому рівні використовується програмне забезпечення системи візуалізації In Touch 7.1 від компанії WonderWare.

Відповідно до завдань, передбачених нам, ми повинні створити контури контролю для основних технологічних параметрів і управління подачею паливного газу в піч. Отже, можна розробити наступні контури контролю та управління:

1. Система контролю і реєстрації температури в перехідному каналі використовує первинний датчик ТХАв/ТХКв-2088-01. Його сигнал передається до контролера, що комплектується реєструючим приладом типу МТМ-РЄ-160.

2. Система контролю тиску подачі повітря включає датчик тиску STD 110, що поєднаний з другорядним пристроєм DR 4311, який має стандартизований вихідний сигнал 4-20 мА. Сигнал з цієї системи надходить до контролера.

3. Це система для моніторингу тиску у сполучному каналі. Вона включає датчик тиску АІР – 20/М2 та реєструючий прилад МТМ – РЭ – 160, який працює з уніфікованим вхідним сигналом у діапазоні 4-20 мА. Отриманий сигнал передається до контролера.

4. Контур, що регулює об'єм повітря для горіння (верхнє повітря), складається з витратоміра STD 924, який поєднаний з вторинним перетворювачем DR 4311. Сигнал від DR 4311 передається в контролер за протоколом Modbus.

5. Система контролю тиску повітря при горінні (верхнього повітря) та контролю тиску продувного повітря має в своєму складі датчик тиску STG 94 разом із вторинним приладом DR 4311, який надає стандартизований сигнал від 4 до 20 мА. Цей сигнал передається до контролера для обробки.

6. В системі контролю витрати повітря для охолодження (нижній потік) використовується витратомір STD 924 з вторинним перетворювачем DR 4311. Сигнал з DR 4311 передається до контролера за протоколом Modbus. .

7. Система контролю тиску повітря для охолодження (нижній потік повітря) і система контролю тиску продувного повітря використовують датчик тиску STG 94, що поєднаний з вторинним пристроєм DR 4311 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА. Сигнал з цих пристроїв подається до контролера.

8. Система для контролю та реєстрації температури вапна в шахті включає в себе первинний перетворювач ТХАв/ТХКв-2088-01, сигнал з якого передається до контролера, який комплектується реєструючим приладом типу МТМ-РС-160.

9. Це контур, який регулює температуру газів, що виходять з шахти. У ньому використовується спеціальний перетворювач ТХАв/ТХКв-2088-01, який передає сигнал контролеру, що в комплекті з реєструючим приладом МТМ-РС-160.

10. Система контролю температури природного газу використовує термопару ТХАв/ТХКв-2088-01, її сигнал передається до контролера, який поєднаний з реєструючим пристроєм типу МТМ-РС-160.

Система складається з витратоміра STD 924, який поєднаний з вторинним перетворювачем DR 4311. Сигнал з DR 4311 передається до контролера за протоколом Modbus. Контролер генерує сигнал для відкриття або закриття регулюючого органу. Цей сигнал подається на виконавчий механізм МЕО, який керує відкриттям або закриттям регулюючого органу.

Таким чином, з огляду на аналіз технічних вимог до автоматизованої системи, можна вибрати необхідне обладнання для впровадження відповідних систем управління.

– Для вимірювання витрати використовуються датчики STD 924 та додаткові пристрої DR 4311.

– Для вимірювання тиску використовуються наступні пристрої: датчики STG 94 та вторинні прилади DR 4311.

– Для оцінки рівня розрідження використовуються наступні прилади: датчики STD 110 та AIP – 20/M2, а також вторинні пристрої DR 4311 та MTM – РЭ – 160.

– Для вимірювання температури використовуються датчики ТХА та ТХК, а також вторинний прилад з кодовою назвою MTM – РЭ – 160.

У системах дистанційного управління використовуються наступні види обладнання:

- виконавчі механізми типу МЭО-10, МЭО-100, МЭО-630;
- пускачі типу ПБР-2, ПБР-3А.

Наступним ми опишемо основні технічні параметри вибраного обладнання управління.

3.2 Вибір датчиків, первинних перетворювачів та виконуючих пристроїв

Вибір первинних та вторинних приладів для вимірювання витрати

Датчик STD-924 виробництва компанії «Honeywell» призначений для вимірювання витрати газоподібних речовин, перетворюючи її в аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА, і працює за стандартом двопровідних систем. Основою для вимірювання є п'єзорезистивний чутливий елемент, що поєднує в собі три датчики: датчик перепаду тисків, датчик температури та датчик статичного тиску.

Для реєстрації результатів вимірювання витрати разом із первинним перетворювачем STD-924 рекомендується використовувати вторинний прилад DR 4311 від компанії «Honeywell». Цей прилад є однопір'яним самописцем з рідкокристалічним дисплеєм. Передача даних на верхній рівень здійснюється за протоколом Modbus зі швидкістю до 19200 бод, яку можна налаштовувати для моделей з дисплеєм, та фіксованою швидкістю 9600 бод для моделей без дисплея. Для зв'язку використовується двохлапровідна багатоточкова лінія.

Вибір первинних та вторинних приладів для вимірювання тиску

Для вимірювання тиску рекомендується використовувати первинний перетворювач STG-94.

Датчик STG-94 використовує п'єзореzystивний чутливий елемент, що об'єднує три функції в одному пристрої: вимірювання перепаду тиску, температури та статичного тиску.

Робота при номінальних умовах – Модель STG94L (від 0 до 500 псі/35 бар)

Для реєстрації результатів вимірювання тиску разом з первинним перетворювачем STG 94 доцільно використовувати вторинний прилад DR 4311 виробництва компанії «Honeywell».

Вибір первинних та вторинних приладів для вимірювання розрідження

Для вимірювання температури доцільно використовувати датчик STD-110 та AIP-20/M2.

Датчик STD-110, інтелектуальний датчик перепаду тиску, може використовуватися з будь-яким первинним елементом витрати для забезпечення надійного вимірювання витрати. Він оснащений п'єзореzystивним чутливим елементом, який об'єднує три датчики в одному: датчик перепаду тиску, датчик температури та датчик статичного тиску.

Робота при номінальних умовах - Модель STD110 (від 0 до 10 дюймів H₂O).

Датчик AIP-20/M2 призначений для безперервного перетворення значень надлишкового тиску, розрідження, абсолютного тиску, різниці тиску та гідростатичного тиску (рівня) рідких і газоподібних середовищ, включаючи агресивні середовища, газоподібний кисень та кисневмісні газові суміші, в уніфікований вихідний струмовий сигнал. Прилад має подвійний комбінований струмовий вихід 0...5/4...20 мА.

Датчик оснащений вбудованим світлодіодним (LED) або рідкокристалічним (LCD) індикатором з підсвічуванням. Для зручності візуалізації, індикатор може повертатися на кут $\pm 180^\circ$, а корпус - на 270° .

Він обладнаний сучасними тензорезистивними сенсорами з металевими та керамічними мембранами. Для в'язких і швидко застигаючих середовищ використовуються сенсори з відкритою мембраною, виготовленою з нержавіючої сталі або кераміки.

Для реєстрації результатів розрідження разом із первинним перетворювачем STD-110 та AIP-20-M2 доцільно використовувати вторинний прилад DR 4311 від компанії «Honeywell», а також MTM-PC-160.

Пристрій MTM-PC-160 призначено для накопичення (архівування) інформації в незалежній пам'яті, відображення стану технологічного параметру, заданих сигналів від термоелектричних перетворювачів (ТП), термометрів опору (ТС), сигналів постійного струму в межах 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, та напруги постійного струму 0-100 мВ за допомогою шести каналів. Крім того, він призначений для заміни самописних приладів, що використовують паперові носії, таких як КСП, КСМ, РП160 та інші.

Функції:

- число каналів перетворення та архівування - 6
- період реєстрації в діапазоні 1-60 сек. з дискретністю 1 сек.
- Вхідні ланцюги з маркуванням "ExiaIIС", що гарантують безпеку від іскр.
- спільні датчики: ТВР, ТПР, ТПП, ТХА, ТХК, ТМК, ТЖК, ТНН, ТСС, ТСП (50П, 100П), ТСМ (50М, 100М), ТСН (100Н), гр21, гр23, Pt100
- автоматична компенсація термоЕРС «вільних кінців» ТП
- вхідні сигнали 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-100 мВ (НСХ перетворення - лінійна або витяг квадратного кореня)
- Виконується гальванічне розділення між вхідними, живлення та сигнальними ланцюгами.
- Сигналізація досягнення двох рівнів уставок вимірювального параметра (що використовує двопозиційне регулювання) подає вихідний сигнал у формі "сухого контакту". На дисплеї з'являється графічний індикатор з такими даними:

поточний час і дата, графік зміни параметра, миттєве числове значення параметра та стовбчаста діаграма для всіх каналів одночасно.

– На ЖКІ – графічному індикаторі відображаються наступні дані: види первинних перетворювачів (з їхніми типами і діапазонами вхідних сигналів), області вимірювання, типи та значення уставок, протоколи аварійних спрацьовувань та архів замірів.

– збереження даних при відключенні живлення

– програмування параметрів з лицьової панелі

– Отримання даних можливе через інтерфейс RS-485 або використання блоку передачі даних БПД-4 (доступного за окремим замовленням). Роз'єм RS-485 також може бути продубльований на лицьовій панелі пристрою.

– Друк та перегляд графіків та параметрів можуть бути доступні на персональному комп'ютері з використанням відповідного програмного забезпечення, що може бути включено в комплект поставки за окремим запитом.

Вибір первинних та вторинних приладів для вимірювання температури

Для вимірювання температури використовуємо датчики ТХАв/ТХКв-2088-01.

Датчики ТХА-в-2088-01 і ТХК-в-2088-01 придатні для вимірювання як газоподібних, так і рідких середовищ, які характеризуються як хімічно неагресивні, так і агресивні. Ці середовища не взаємодіють з матеріалом термоелектродів і не спричиняють пошкоджень матеріалу захисної оболонки.

Діапазони виміру ТХК: -40 ... +600 С, ТХА: -40 ... +1000 С

Захисна арматура без штуцера виготовлена зі сталі 12Х18Н10Т діаметром 10 мм. Головка виготовлена з фенопласту або алюмінієвого сплаву. Термоелектроди доступні з діаметром 1,2 мм або 0,7 мм. Робочий спай може бути ізольованим або неізольованим. Максимальний тиск середовища, яке вимірюється, складає 0,4 МПа. Можливий використання одного або двох чутливих елементів. Для вимірювання температури разом з датчиками

ТХАв/ТХКв-2088-01 рекомендується використовувати вторинний прилад МТМ-РС-160.

Вибір виконавчих механізмів для дистанційного керування :

Виконавчий механізм (МЕО) представляє собою електричні однооборотні механізми постійної швидкості, які призначені для переміщення регулюючих органів у системах автоматичного регулювання технологічними процесами згідно з командними сигналами автоматичних регулюючих та керуючих пристроїв.

Також для дистанційного управління використовується пускач ПБР 3А, що забезпечує запуск і зміну напрямку обертання (як для синхронного, так і для асинхронного електродвигуна), а також захист трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором від перевантаження.

Електричне живлення забезпечується змінним трифазним струмом напругою 220/380, 260/400 або 240/415 В, який може відхилятися в межах від -15% до +10%, та має частоту 50 Гц або 60 Гц, яка може відхилятися в межах від -1 до +1 Гц. Несиметрія трифазної системи не перевищує 5%.

3.3 Вибір та обґрунтування промислового контролера та модулів введення-виведення

Розумно використовувати промисловий логічний контролер М 340 Premium виробництва Schneider Electric. Ця серія контролерів відрізняється високою обчислювальною потужністю, надійністю та швидкістю обробки двійкових інструкцій. Він також здатен ефективно виконувати цілочисельні та операції з плаваючою комою, а також має різноманітні мережні архітектури, при цьому залишаючись відносно доступним за вартістю порівняно з продуктами конкурентів.

Враховуючи аналіз вимог до функцій керування системи та кількість вхідних та вихідних сигналів, доцільним вибором є процесорний блок Modicon M

340, який може бути встановлений на шасі BMX XBP 0800 разом з блоком живлення BMX CPS 2000.

Модуль живлення BMX CPS 2000 забезпечує живлення всіх модулів, що встановлені на ПЛК. Вибір підходящого блоку живлення залежить від напруги живлення та потужності, яку використовують модулі на шасі. Модуль BMX DDI 3202 K - це модуль 24-вольтових постійних струмових дискретних входів з підключенням через 40-контактний роз'єм. Це модуль із позитивною логікою (напруговий сток): його 32 входні канали призначені для отримання струму від датчиків.

Для ефективного управління обертовою піччю рекомендується використовувати модуль BMX DRA 1605, який є модулем з дискретними релейними виходами. Цей модуль працює на напрузі 24 В постійного струму або від 24 до 240 В змінного струму і підключається за допомогою 20-контактної клемної колодки. Його 16 релейних вихідних каналів можуть працювати як на постійному, так і на змінному струмі.

Для введення аналогових сигналів від первинних перетворювачів у системі ПЛК рекомендується використовувати аналоговий входний модуль BMX AMI 0410, який представляє собою промисловий пристрій вимірювання високорівневих сигналів з чотирма каналами. Спільно з датчиками, цей модуль виконує функції контролю, вимірювання та неперервного моніторингу виробничого процесу. Налаштування діапазону зміни входного сигналу здійснюється в процесі конфігурації модуля BMX AMI 0410 для кожного каналу. Діапазони зміни входного сигналу можуть бути наступними:

- + / -10 В;
- 0-10 В;
- 0-5 В / 0-20 мА;
- 1-5 В / 4-20 мА;
- + / - 5 В + / - 20 мА.

Модуль оперує за напруговими входами. Він включає в себе чотири резистори, які з'єднані з клемною колодкою, щоб забезпечити можливість обробки вхідних сигналів по струму.

Для передачі керуючих аналогових сигналів до складу модульного ПЛК Modicon M340 потрібно активувати модуль аналогових виходів BMX АМО 0210, який має 2 ізольованих аналогових виходи.

Настройка діапазону зміни вхідного сигналу виконується під час конфігурації модуля для кожного окремого каналу.

- + / - 10 В;
- 0-20 мА;
- 4-20 мА.

Цифро-аналогове перетворення виконується для:

- цифрового значення довжиною 16 біт для діапазону + / -10 В;
- цифрового значення довжиною 15 біт для діапазонів 0-20 мА та 4-20 мА.

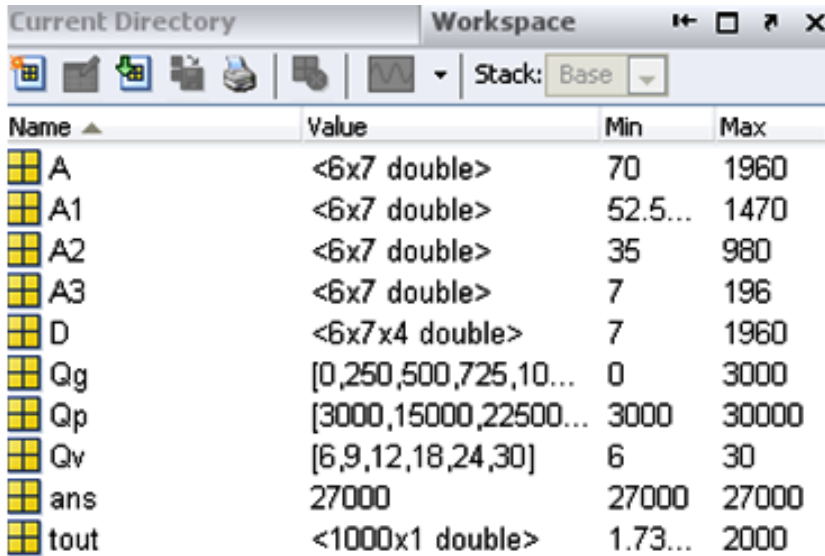
Процесорні модулі з родини BMX Р34 характеризуються унікальними робочими властивостями, оптимальним обсягом пам'яті і зменшеною вагою, що робить їх найбільш привабливими варіантами для автоматизації виробництва.

Модуль управління BMX Р34 2020 є високопродуктивним процесорним рішенням, призначеним для забезпечення керування всією ПЛК-станцією.

- обслуговування дискретних модулів входів-виходів;
- обслуговування аналогових модулів входів-виходів;
- обслуговування лічильних модулів;
- обслуговування комунікації.

первинного повітря та подачею вапняку. Ці витрати визначаються на основі аналізу стабільних режимів роботи печі при різних значеннях вхідних параметрів: подача вапняку, подача газу та подача первинного повітря.

У програмі MATLAB спочатку внесено всю раніше отриману інформацію, що стосується підприємства. Всі набори даних (такі як подача вапняку, витрата газу та витрата первинного повітря) були об'єднані й перетворені на змінні у середовищі MATLAB (рис. 4.2).



Name	Value	Min	Max
A	<6x7 double>	70	1960
A1	<6x7 double>	52.5...	1470
A2	<6x7 double>	35	980
A3	<6x7 double>	7	196
D	<6x7x4 double>	7	1960
Qg	[0,250,500,725,10...	0	3000
Qp	[3000,15000,22500...	3000	30000
Qv	[6,9,12,18,24,30]	6	30
ans	27000	27000	27000
tout	<1000x1 double>	1.73...	2000

Рисунок 4.2 – Перетворення масивів даних (D) отриманих на підприємстві до вигляду змінних.

Для втілення нелінійної характеристики використовується блок Look Table (n-D) (рис. 4.3). Застосування цього блоку дозволить нам вивчити залежність температури відходячих газів від рівня введення вапняку, витрати газу та витрати первинного повітря.

На рис.4.4–4.7 подано графіки, що відображають статичні характеристики об'єкту залежно від витрати газу та температури відхідних газів при різних рівнях витрати газу (від 250 м3/год до 3000 м3/год) та фіксованому значенні витрати повітря. Ці характеристики отримані шляхом апроксимації експериментальних даних за допомогою Lookup Table (n-D) у пакеті Simulink.

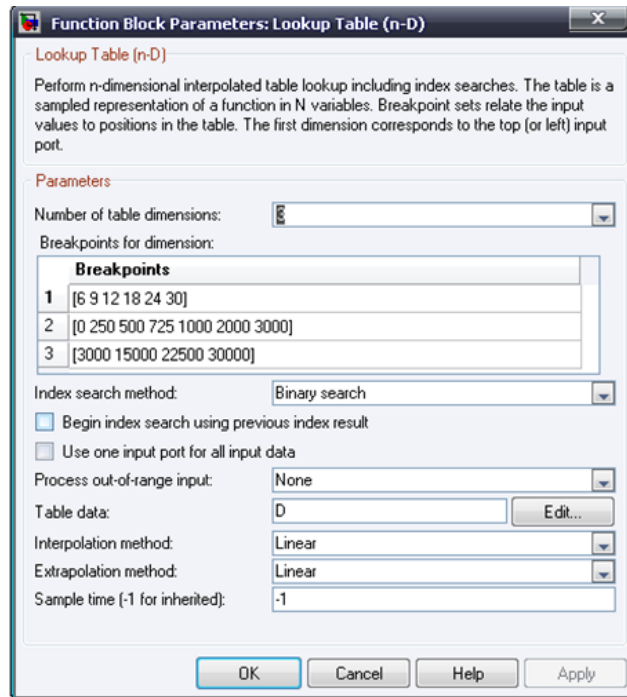


Рисунок 4.3 – Створення нелінійної характеристики

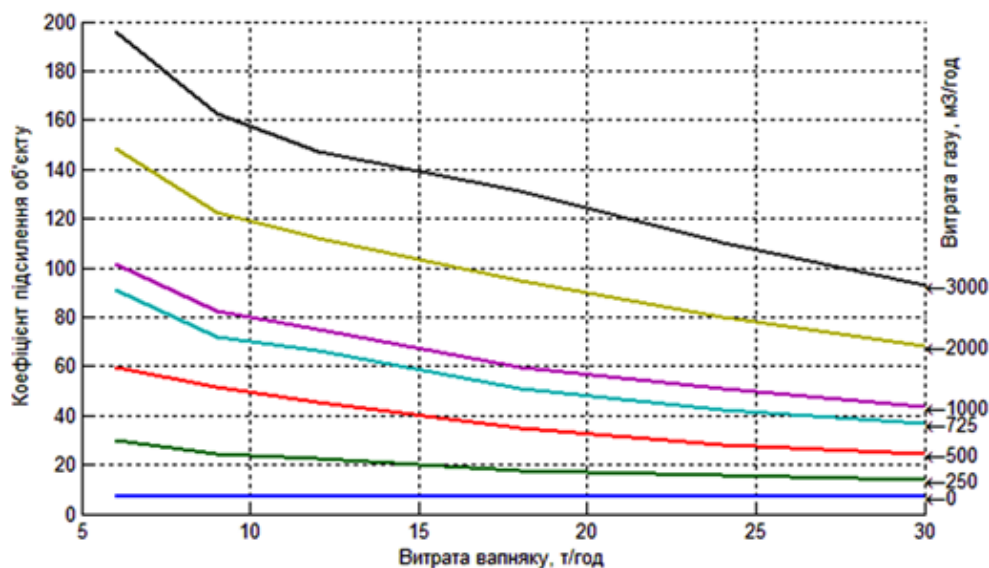


Рисунок 4.4 – Характеристики об'єкта управління за каналом "газова витрата - температура вихідних газів" змінюються статично при різних рівнях газової та повітряної витрати, з вказаним значенням витрати повітря $Q_p = 3000$ м³/год.

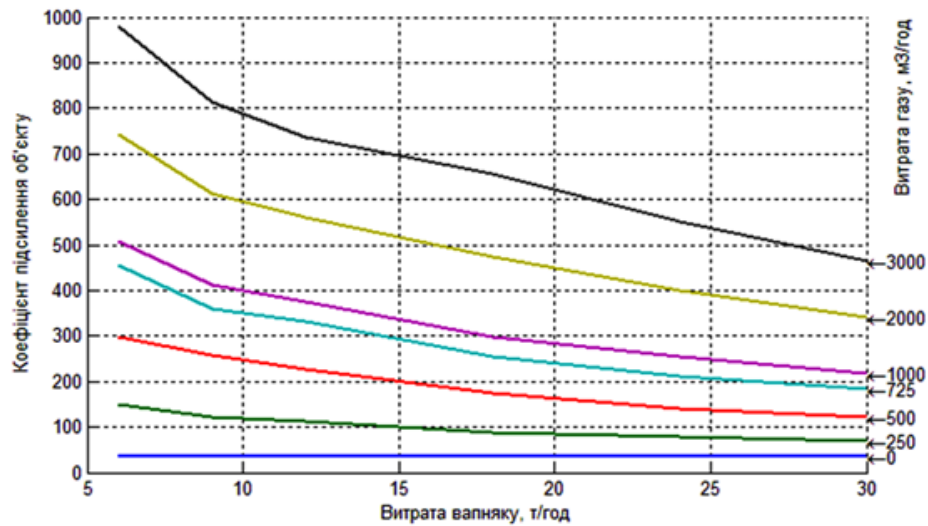


Рисунок 4.5 – Характеристики об'єкту управління в статичному режимі залежать від витрати газу та температури відхідних газів через канал. При різних значеннях витрати газу та повітря (наприклад, $Q_{\text{п}} = 15000 \text{ м}^3/\text{год}$) відбуваються зміни в цих характеристиках.

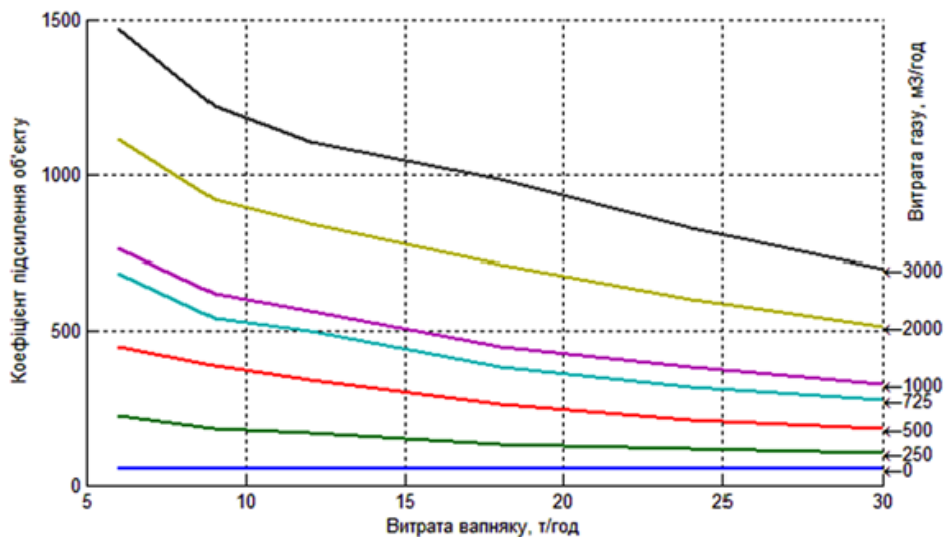


Рисунок 4.6 – Характеристики об'єкту управління в статичному режимі через канал «газова витрата – температура вихідних газів» досліджуються при різних рівнях газової витрати та витрати повітря $Q_{\text{п}} = 22500 \text{ м}^3/\text{год}$.

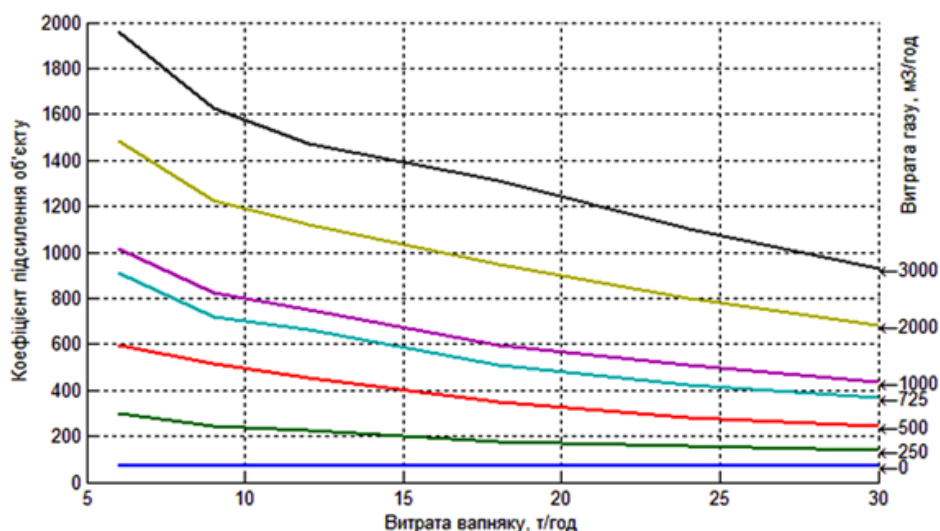


Рисунок 4.7 – Характеристики об'єкту керування у відношенні "витрата газу – температура відпрацьованих газів" залишаються сталими при різних рівнях витрати газу та витрати повітря, які складають $Q_{\text{п}} = 30000$ м³/год.

На рис.4.8 зображено графік статичної характеристики об'єкту керування за двома вхідними каналами - витратою вапняку та газу - при сталій витраті повітря $Q_{\text{п}} = 15000$ м³/год.

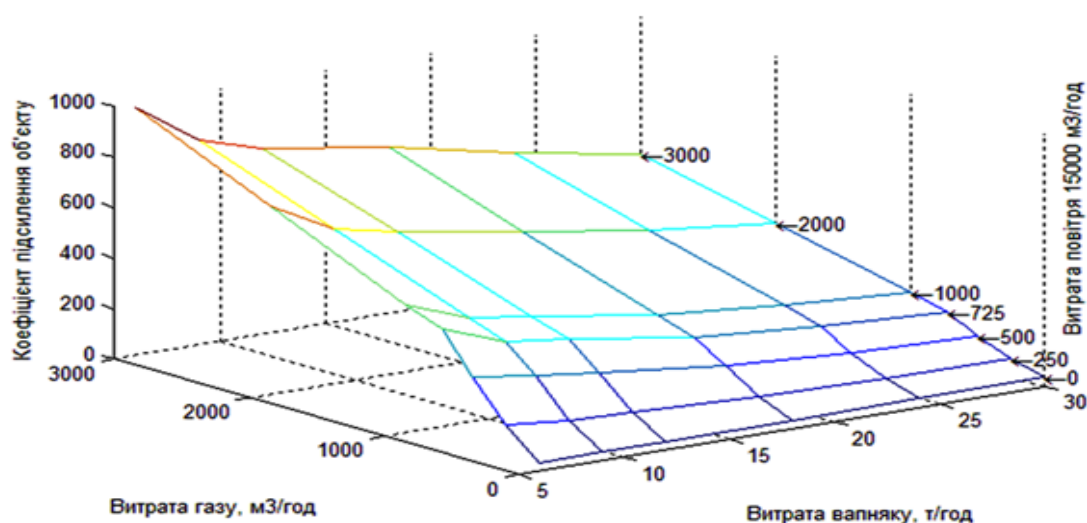


Рисунок 4.8 – Двовимірна статична характеристика обертової печі

На рис. 4.9 зображено графік перехідного процесу в системі автоматичного управління співвідношенням "газ – повітря" під час поетапного збільшення витрати газу до $Q_{\text{г}} = 3000$ м³/год при постійній подачі вапняку $Q_{\text{в}} = 24$ т/год. Для вивчення впливу перешкод на якість управління в розробленій системі у момент

часу $t = 1000$ с проведено моделювання збільшення витрати на 4 т до $Q_v = 28$ т/год.

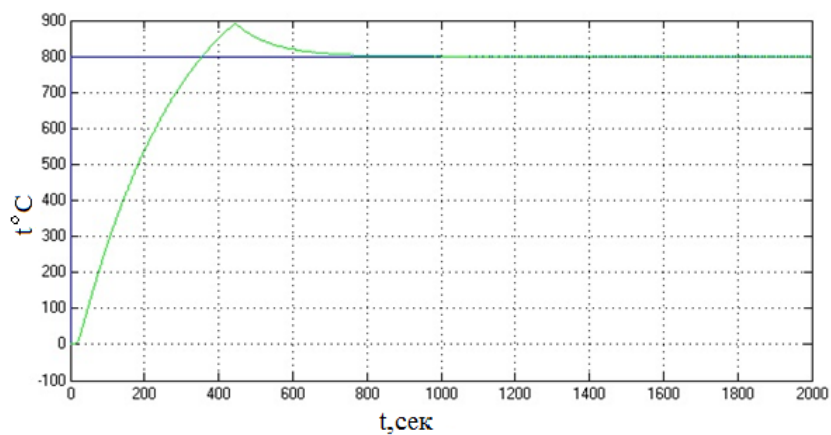


Рисунок 4.9 – Графік змінення температури відхідних газів

Аналіз графіків підтверджує правильність раніше зроблених розрахунків системи. З використанням відношення "газ - повітря" САК забезпечує точне регулювання сигналу для підтримки заданої температури відходячих газів (800 $^\circ\text{C}$) з перерегулюванням $\sigma = 12\%$ і часом перехідного процесу $t_p = 600$ с. Система не має статичної похибки.

На рис.4.10 показана динаміка зміни позиції регулюючого органу з часом. Рис.4.11 відображає сигнали керування виконавчому механізму для відкриття (+1) та закриття (-1) регулюючого органу.

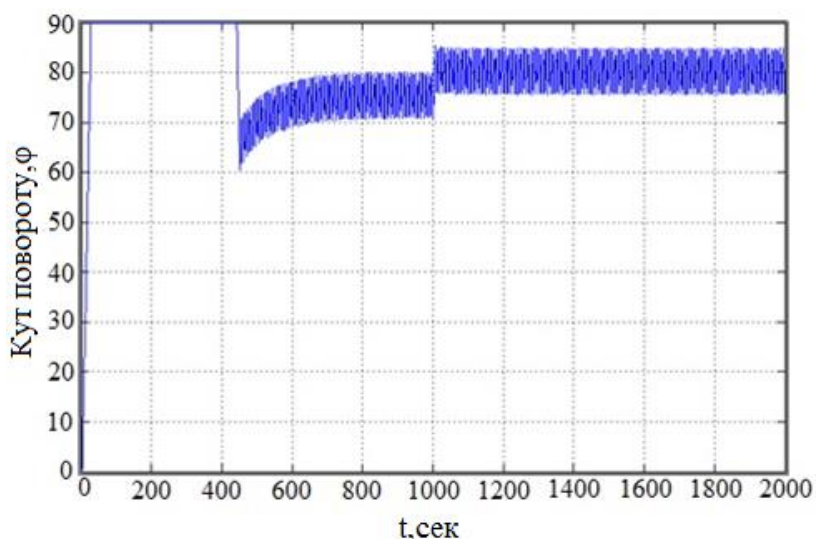


Рисунок 4.10 – Графік, що показує зміну положення заслінки під час регулювання температури вихідних газів.

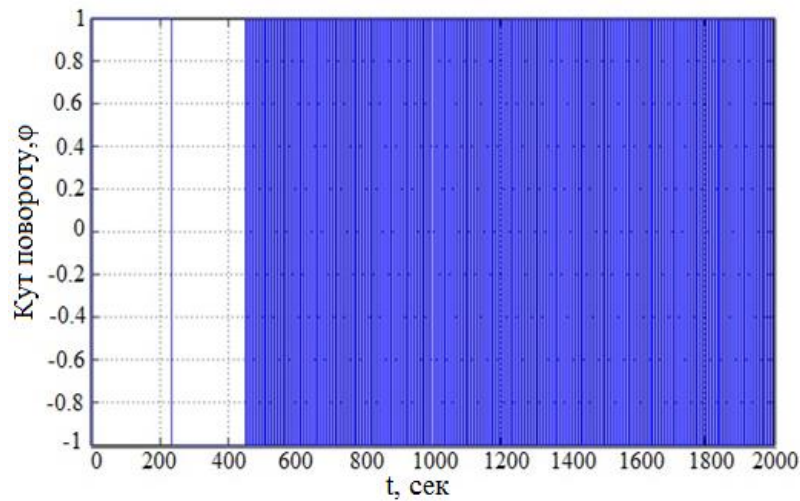


Рисунок 4.11 – Розклад зміни сигналів управління для виконавчого механізму, які призначені для відкриття або закриття регулюючого пристрою.

На рис. 4.12 – Подано діаграму, яка демонструє зміну положення заслінки в залежності від обсягу вапняку та повітря.

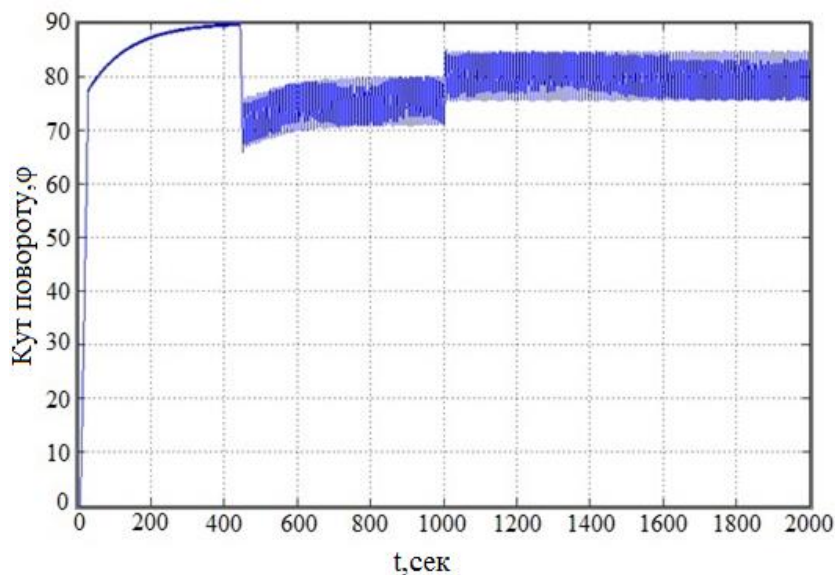


Рисунок 4.12 – Зміна положення заслінки в залежності від подачі вапняку і повітря

На рис. 4.13 – Представлено графік утворення імпульсів для відкриття або закриття регулюючого механізму.

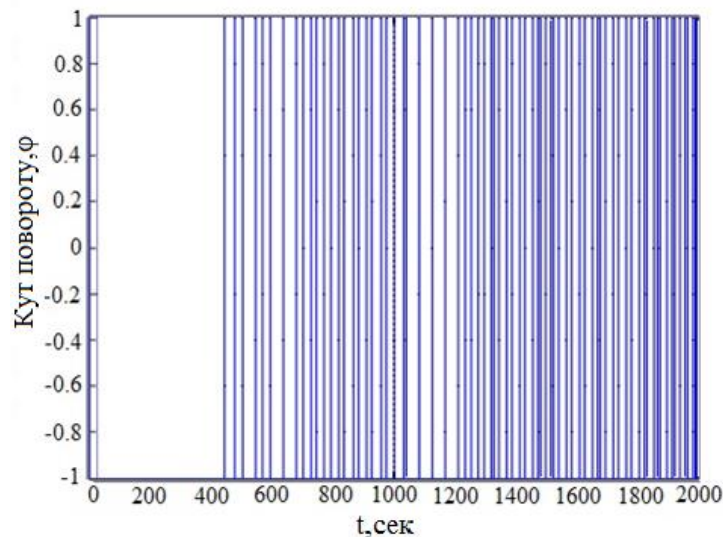


Рисунок 4.13 – Формування імпульсів на відкриття або закриття регулюючого органу

На рис. 4.14 – Представлено графік, що відображає зміни у співвідношенні між витратою газу та витратою повітря під час регулювання температури відходячих газів.

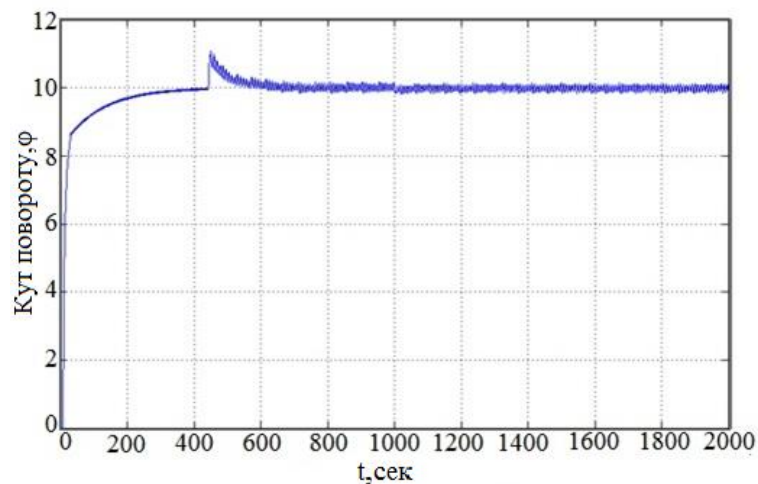


Рисунок 4.14 – Графік змінення співвідношення «газ – повітря»

Отже, аналіз результатів моделювання підтвердив можливість та ефективність використання запропонованої системи для управління обертовою піччю з високоякісними показниками керування. Серед цих показників можна виділити невеликий час регулювання, мінімальне перерегулювання на рівні 12% та відсутність статичної похибки.

ВИСНОВОК

Бакалаврська робота орієнтована на створення автоматизованої системи управління подачею газу при горінні у обертовій печі.

Створення системи має на меті підвищення ефективності роботи обертової печі шляхом оптимізації споживання природного газу, розширення функціональних можливостей технологічного персоналу та покращення інформаційного забезпечення.

Розглянуто особливості технологічного процесу випалювання вапняку у вогнетривко-вапняковому цеху, а також основні технічні параметри обладнання цього цеху.

Проведено аналіз наявної системи автоматизації керування обертовою піччю, в результаті чого було виявлено певні недоліки. Зокрема, встановлено, що існуючі системи контролю та керування технологічними параметрами роботи печі не повністю відповідають сучасним вимогам до автоматизації обертових печей для випалювання вапняку. Особливо вони не забезпечують стабілізацію вологості матеріалу на виході з печі та ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів.

Забезпечення оптимального відношення між витратою повітря та витратою газу гарантує досягнення максимальної температури факелу, що в свою чергу забезпечує найефективнішу передачу теплової енергії матеріалу (вапняку). Сутність стабілізації цього відношення полягає у зниженні витрати природного газу шляхом його повного спалювання за умови постачання необхідної кількості повітря. Таким чином, впровадження автоматичної системи керування витратою газу для забезпечення сталої температури відходящих газів, одночасно зі стабілізацією відношення між витратою повітря та витратою газу, сприяє оптимізації технологічного процесу з урахуванням критерію мінімізації витрати енергоносіїв.

У рамках кваліфікаційної роботи на підставі фактичних даних, отриманих на об'єкті виробництва, була створена статична модель обертової печі як об'єкта управління, що регулює температуру викидних газів, залежно від витрати вапняку, газу та повітря. Також були розроблені структурна та функціональна схеми для автоматичного керування обертовою піччю, що використовується для випалювання вапняку, і розроблено алгоритм управління співвідношенням "газ - повітря".

Була обґрунтована структура комплексу технічних засобів для автоматизованої системи керування подачі газу. Відібрано відповідні технічні компоненти для реалізації цієї системи, включаючи датчики, первинні перетворювачі, виконавчі механізми, промисловий контролер та модулі введення-виведення від компанії Schneider Electric.

Дослідження підтвердило можливість та ефективність використання запропонованої системи для управління обертовою печчю з високоякісними характеристиками процесу керування.

У кваліфікаційній бакалаврській роботі також розроблено систему автоматичного управління подачі газу у пакеті Simulink MATLAB. Досліджено можливість та ефективність використання цієї системи для керування обертовою піччю з високими показниками якості процесу управління. Моделювання підтвердило правильність проведених розрахунків для системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Теорія і практика ідентифікації об'єктів управління : Монографія / І. Л. Левчук, Г. І. Манко, В. Я. Тришкін, В. І. Корсун. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2019. – 203 с.
2. Щербина Г.С., Потап О.Е. Основы автоматизации: Учеб.пособие. – Днепропетровск: ГИПОпром, 2003. – 56 с.
3. Щербина Г.С., Потап О.Ю., Єгоров О.П. Автоматизація виробничих процесів. Принципи побудови систем автоматизації: Навчальний посібник.- НМетАУ, 2008.- 47с.
4. Корчемний М. О. Теоретичні основи автоматики : Навч. носібн. / М. О. Корчемний, П. Б. Клендій, М. В. Потапенко – Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2011. – 304 с
5. А.О. Бобух. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2006. - 185 с.
6. Костюк О.П. Високотемпературні теплотехнологічні процеси та установки. Навчальний посібник / О.П. Костюк. – Рівне: НУВГП, 2012. – 182 с.
7. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій: Підручник. - К.: Вища шк., 1995. - 519с.
8. Ткаченко О.О. Високотемпературні процеси та установки / О.О. Ткаченко. – Київ: А. С. К. 2005. – 480 с.
9. Розенгарт Ю.И. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах / Ю.И. Розенгарт, Б.Б. Потапов, В.М. Олышанский, А.В. Бородулин. – Киев; Донецк: Вища школа. Головное издательство, 1986. – 296 с.
10. Филиппев С.В. Промышленные печи и газовое хозяйство заводов / С.В Филиппев. – Киев: Вища школа, 1976. – 240 с.
11. Згуровский М.З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования. - К.: Вища шк., 1990. - 351с.

12. Каталог фірми Schneider Electric – Платформа автоматизації Modicon TSX Premium, 2004.
13. Н.П. Свінолобов, В.Л. Бровкін. Печі чорної металургії. Посібник. Д.: «Пороги», 2004. – 154 с.
14. Ю.Л. Папушин, В.С. Білецький. Основи автоматизації гірничого виробництва. Д.: «Східний видавничий дім», 2007. – 168 с.