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.
”____“_____2023р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему

”Система автоматичного керування температурним режимом запалювання шихти “

“The system of automatic control of the temperature mode of ignition of the charge”

Виконав: здобувач вищої освіти
IV курсу, групи АК-20-3ск
ОПП «Автоматизація та
комп’ютерно-інтегровані технології»
спеціальність 151 «Автоматизація та
комп’ютерно-інтегровані технології»
_____Максим ПРОЧАКОВ
”____“_____2023р.

Керівник роботи
професор, д-р техн.наук
_____ Василь КОНДРАТЕЦЬ
”____“_____2023р.

Рецензент_____
_____

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ 3

1 Призначення та область застосування системи керування температурним режимом запалювання шихти 5

1.1 Коротка характеристика технологічного процесу спікання агломераційної шихти в умовах аглофабрики 5

1.2 Загальна характеристика існуючих систем автоматизації процесу спікання агломераційної шихти 9

1.3 Обґрунтування необхідності модернізації системи керування температурним режимом випалювання шихти 15

1.4 Вимоги до системи автоматичного керування температурним режимом запалювання шихти 17

2 Склад системи керування температурним режимом запалювання шихти 18

2.1 Розробка принципів керування запалюванням шихти 18

2.2 Математичне забезпечення системи автоматичного керування запалюванням шихти 21

2.2.1 Математичний опис процесів теплообміну в запалювальному горні агломашини 21

2.2.2 Математичний опис процесу керування газодинамічним режимом запалювального горна агломашини 26

2.2.3 Розробка структури системи автоматичного керування температурою в запалювальному горні 28

2.2.4 Розробка алгоритму та функціональної схеми системи керування температурним режимом запалювання шихти 33

3 Проектування системи керування температурним режимом запалювання шихти 36

3.1 Опис структури комплексу технічних засобів АСК температурним режимом запалювання шихти 36

3.2 Вибір обладнання автоматизації польового рівня 39

3.3 Вибір та обґрунтування промислового контролера та модулів введення-виведення 42
4 Дослідження роботи системи керування температурним режимом запалювання шихти 54
4.1 Комп’ютерне моделювання системи автоматичного керування запаленням шихти 54
5 Особливості монтажу та налагодження системи 57
5.1 Розробка програмного забезпечення системи візуалізації процесу запалювання шихти 57
5.1.1 Основні вимоги до функціональності системи візуалізації 57
5.1.2 Налаштування програмного забезпечення Vijeo Citect 57
Висновок 63
Література 65

ВСТУП

Процес спікання – це сукупність перетворень при яких шихта спалюється, шляхом просмоктуванням повітря, через тверде паливо в шарі шихти, що забезпечує розвиток високих температур в зоні горіння і розплавлення матеріалів. У результаті виходить спік, що володіє необхідними фізико-хімічними властивостями. Основними параметрами, що характеризують процес спікання є температура поверхні запаленої шихти, або температура у запалювальному горні, який направляється на шар шихти, висота шару, швидкість спікання, температура в зоні горіння, час перебування шихти на стрічці (швидкість стрічки) і ступінь закінченості спікання.

Початковою стадією спікання є запалювання шихти, при якому необхідно запалити частинки палива, що міститься в шихті та внести в шар кількість тепла, що забезпечує подальший розвиток горіння. Поряд із забезпеченням необхідних температури і кількості тепла слід мати на запальному горні відповідний склад продуктів згоряння (газу) з тим, щоб в них містилася достатня кількість кисню, що йде на спалювання палива в шарі (співвідношення витрати газ-повітря).

Процес спікання шихти є основним процесом, що впливає на якість готового агломерату. В свою чергу процес запалювання шихти є основоположним для процесу спікання, температура запалювання аглошихти є основним параметром, який впливає на якість і продуктивність процесу агломерації.

Високопродуктивна і економічна робота агломераційних машин і в цілому аглофабрики залежить від стабільності всіх технологічних процесів, що визначають спікання шихти, і від підтримання оптимальних співвідношень між параметрами агломераційного процесу.

Температурні та газодинамічні умови початкової стадії агломераційного процесу характеризують режим запалення агломераційної шихти і в значній мірі визначають якість агломерату верхнього шару і подальший хід процесу спікання.

Метою даної випускної кваліфікаційної роботи є автоматизація процесу спікання та розробка системи регулювання температурного режиму запалювання шихти.

Для вирішення завдання необхідно:

- ознайомитися з технологічним процесом спікання та запалювання шихти;
- провести аналіз існуючих систем автоматизації процесів;
- виконати математичний опис процесу регулювання температури запалювання шихти;
- провести моделювання та візуалізацію системи керування запалюванням шихти.

1 Призначення та область застосування системи керування температурним режимом запалювання шихти

1.1 Коротка характеристика технологічного процесу спікання агломераційної шихти в умовах аглофабрики

Технологічний процес виготовлення агломераційної шихти можна розділити на такі етапи: завантаження шихти на агломераційну машину, запалювання агломераційної шихти, процес спікання, дроблення і грохочення агломерату та відвантаження готової продукції, охолодження агломерату.

Завантаження шихти на спікальні візки агломашини проводиться за схемою: човниковий розподільник – промбункер – барабанний живильник – завантажувальний лоток. При цьому кожен агрегат виконує певні технологічні функції:

– човниковий розподільник – рівномірний розподіл шихти по всій ширині промбункера, з метою виключення сегрегації по ширині спікальних візків;

– промбункер - накопичення шихти для безперервної завантаження;

– барабанний живильник - рівномірна видача шихти з промбункера для забезпечення підтримки необхідної висоти шару;

– завантажувальний лоток – рівномірне укладання шихти на колосникову решітку спікальних візків з мінімально допустимим ущільненням, регулювання необхідної висоти шару.

Запалювання шихти є одним з основних факторів, що впливають на хід процесу спікання, продуктивність агломераційної машини і якість отримуваного агломерату. Нерівномірне запалювання шихти при недостатньому часі запалювання і низькій температурі призводить до порушення ходу технологічного процесу спікання з великим виходом неспеченої шихти та отримання нетривкого агломерату.

Запалювання шихти включає три послідовних та безперервних у часі операції:

– попередній нагрів шару шихти (підготовка палива та шихти до запалення);

– власне запалювання (формування активної зони горіння твердого палива в шарі шихти);

– додатковий нагрів з метою завершення процесів рідкофазного спікання у верхньому шарі.

Запалювання шихти здійснюється запальним горном з торцевим розташуванням пальників, що працюють на природному газі з теплотворною здатністю 33,29 - 35,87 МДж/м^3 (7950 - 8560 ккал/нм^3).

Температура в горні і тривалість перебування шихти повинні бути відрегульовані на місці так, щоб це було достатньою для рівномірного запалювання шихти по всій ширині агломашини. Для підтримки оптимальної температури запалювання необхідно регулювати подачу газу і повітря.

Надмірно висока температура запалювання або надмірно тривале перебування шихти під гірському викликає сильне розплавлення верхнього шару шихти, що призводить до зниження продуктивності агломашини і якості агломерату.

При збільшенні розпеченої поверхні за горном на 1 – 2 м понад звичайної довжини слід зменшити витрату твердого палива в шихті, зменшити витрату газу не змінюючи витрату повітря. Після підходу шихти із зменшеним вмістом твердого палива відновити співвідношення газ-повітря.

При температурі запалювання нижче оптимальної верхній шар шихти не спікається. Низька температура запалювання характеризується рудуватим кольором поверхні пирога агломерату і слабкою міцністю, при цьому необхідно виконати одну з наступних операцій:

– збільшити витрата газу та повітря при заданому співвідношенні;

– оптимізувати вологість шихти;

– збільшити масову частку твердого палива в шихті;

– забезпечити нормальну роботу гладилки шихти.

З метою найбільш рівномірного розподілу температури по ширині горна і забезпечення рівномірного запалювання і нагрівання всієї поверхні шихти під

горном повинен підтримуватися невеликий позитивний тиск, без вибивання продуктів згорання з горна і без підсмоктування в нього холодного повітря.

В агломераційному цеху для виробництва агломерату використовується агломераційні машини базової моделі К-1-75.

Таблиця 1.1 – Характеристика агломераційної машини К-1-75

№	Основні параметри	Одиниці вимірювання	Величина
1.	Довжина робочої поверхні	м	30
2.	Ширина робочої поверхні	м	2,5
3.	Швидкість руху візків	м/хв	1,5-4,5
4.	Максимальна висота шару шихти для візків з пружинним ущільненням для візків з вантажним ущільненням	м	 0,27 0,35
5.	Величина розриву між візками	мм	100÷400
6.	Потужність (приводу машин)	кВт	13,1
7.	Маса машини без електродвигуна	т	410
8.	Габарити машини: довжина ширина висота	м	 40,65 7,38 8,8

В процесі роботи, щоб досягти високоефективної роботи горна необхідно щоб:

– поверхня шихти перед запалюванням повинна бути рівною;

– спалювання газу повинно бути повним;

– на стінках горна не повинно бути наростів;

– не допускати переущільнення, недовантаження, перезволоження (недозволоження) шихти.

Спікання підготовленої шихти є основним етапом технології отримання високоякісного агломерату. Спікання шихти ведеться на колосниковій решітці агломераційної машини при просмоктуванні повітря, за рахунок розвитку високих температур при згоранні твердого палива в шарі шихти і регенерації тепла верхніх шарів агломерату.

Процес спікання повинен здійснюватися при постійній вертикальної швидкості і забезпечувати мінімальні коливання фізико-механічних характеристик і хімічного складу агломерату.

Швидкість руху спікальних візків регулюється залежно від вертикальної швидкості спікання з розрахунку закінчення процесу спікання на передостанній вакуум-камері.

Швидкість руху спікальних візків повинна бути тимчасово знижена при порушенні режиму спікання внаслідок:

– зниження температури запалювання шихти;

– нестачі або надлишку вологи в шихті;

– надлишку твердого палива в шихті;

– погіршення умов змішування і огрудкування шихти;

– надмірного ущільнення шихти;

– зниження температури підігріву шихти;

– зменшення розрідження в результаті збільшення шкідливих просмоктувань.

Після зниження швидкості руху агломашини необхідно прийняти заходи до усунення причин, що викликали це зниження. Неприпустима робота агломашини з недопіканням шару шихти.

Доменне виробництво пред'являє певні вимоги до гранулометричного складу агломерату. Високоякісним для доменного перероблення слід вважати агломерат, рівномірний по крупності, з мінімальним вмістом класів більше 50,0 мм і менше 5,0 мм, що досягається його подрібненням і грохоченням.

В силу особливостей процесу спікання отриманий на агломашині, спік, за своїми фізико-механічними властивостями, не однаковий, тому основне призначення операції дроблення гарячого агломерату зруйнувати слабоспечені блоки, роздрібнити спік на шматки потрібного розміру.

Після дроблення агломерат являє собою суміш шматків різної величини, аж до пилових фракцій, яка підлягає грохочення на стаціонарних або електровібраційних грохотах з метою виділення товарного агломерату і

повернення. При наступних перевантаженнях, аж до завантаження у вагони "Укрзалізниці", агломерат піддається руйнуванню, стабілізації і усередненню.

Заповнені агломератом хопперні вертушки, після відбору проб на хімічний аналіз, подаються на склад агломерату, де розвантажуються в траншею.

При укладанні агломерату в штабелі, для зменшення руйнування агломерату, розкриття грейфера має проводитися на висоті не більше 1,0 метри над гребенем штабеля.

Відвантаження агломерату заводів-споживачів проводиться з адміністратора траншеї і підлогового складу агломерату.

Агломерат може бути охолоджений (частково або повністю) тільки природним шляхом на підлоговому складі агломерату зі зниженням температури агломерату в штабелях 10-30 °С в добу в залежності від температури навколишнього середовища.

1.2 Загальна характеристика існуючих систем автоматизації процесу спікання агломераційної шихти

Для збільшення продуктивності агломераційних машин при мінімальних витратах і підвищення якості агломерату необхідне створення надійних технічних засобів автоматичного контролю, стабілізації і регулювання основних технологічних параметрів; впроваджених на базі локальних систем комплексної автоматизації і, в кінцевому підсумку, автоматизованої системи керування агломераційного виробництва.

Локальні системи автоматики і система комплексної автоматизації повинні забезпечувати заданий режим виконання основних виробничих операцій і складових частин технологічного процесу.

Основні виробничі операції: подача шихтових матеріалів в бункери шихтового відділення і розподіл їх по бункерах; узгодження вагового складання шихти з роботою агломераційних машин; розподіл шихти з бункерів; завантаження постелі і шихти; узгодження роботи охолоджувачів агломерату і машин.

Основне технологічне обладнання, що відноситься до агломераційній машині типу АКМ-312 з площею спікання 312 $м^2$, складається з бункерів, вібраційних живильників-дозаторів, стрічкових вимірників маси, барабанних змішувачів і огрудковувачів шихти, дробарок і грохотів коксу, барабанних охолоджувачів повернення, ексгаустерів.

Перерахований комплекс технологічного обладнання та агломераційна машина оснащені такими локальними системами автоматичного контролю і регулювання: завантаження матеріалів в бункери з контролем граничних (нижнього та верхнього) рівнів; сигналізація роботи поточно-транспортної системи; вагового дозування компонентів шихти; подачі води в барабани змішувачі шихти; закінчення процесу спікання агломерату та його охолодження на пасивній частині агломераційної стрічки або в чашкові охолоджувачі; продуктивності і простоїв машини; роботи ексгаустера, газоочистки (пиловловлювачів); сигналізації стану обладнання.

Розробці автоматизованої системи керування агломераційним виробництвом передують розробка та впровадження на базі математичних моделей підсистем, основними з яких є:

1) автоматичного контролю і підтримання запасів матеріалів у бункерах шихтового відділення;

2) автоматичної стабілізації співвідношення компонентів шихти і хімічного складу агломерату;

3) автоматичного керування дозуванням повернення в шихту;

4) автоматичного узгодження роботи шихтового відділення та агломерації;

5) автоматичного управління зволоження шихти;

6) автоматичного керування завантаженням шихти на агломераційного машину;

7) автоматичного керування запалюванням шихти;

8) автоматичного контролю закінченості спікання шихти;

9) автоматичного управління тепловим режимом спікання шихти;

10) автоматичного керування охолодженням агломерату;

11) автоматичного контролю виробничих результатів агломераційного процесу;

12) автоматизованого аналізу економічних результатів технологічного процесу.

Ці підсистеми автоматизованої системи керування агломераційним виробництвом складають три ієрархічних рівні управління:

1) локальної автоматики;

2) управління виробничими операціями і технологічними процесами;

3) оперативного контролю і аналізу виробництва.

Таким чином, автоматизована система керування агломераційним виробництвом вирішує наступні завдання агломераційного виробництва:

– створення запасів компонентів шихти в шихтовому відділенні;

– складання агломераційної шихти шляхом вагового дозування її компонентів;

– змішування і первинне зволоження шихти;

– вторинне зволоження та отримання грудочок шихти;

– завантаження шихти шаром постійної висоти на агломераційну машину;

– запалювання шихти;

– спікання шихти;

– дроблення і сортування агломерату;

– охолодження агломерату та повернення;

– узгодження роботи агломераційних машин та шихтового відділення;

– узгодження роботи машин і охолоджувачів агломерату;

– контроль і аналіз основних технологічних результатів виробництва агломерату.

Підсистема автоматичного контролю закінченості спікання шихти на підставі обробки даних з керуючих обчислювальних машин про температуру і вакуум у вакуум-камерах під палетами по довжині агломашини видає інформацію про місце закінченості спікання шихти з точністю 0,5 м.

Підсистема автоматичного керування тепловим режимом спікання шихти призначена для виконання наступних функцій: управління подачею палива в шихту на підставі розрахунку теплового балансу агломераційного процесу; управління швидкістю агломераційної стрічки по збурень (коливань складу і вологості шихти та ін.).

За додатковою інформацією, що надходить з підсистеми автоматичного контролю закінченості спікання шихти, підсистема автоматичного керування тепловим режимом спікання шихти здійснює комбіноване управління спіканням з тим, щоб воно закінчувалося на заданій відстані від запального горна. Підсистема автоматичного керування тепловим режимом спікання шихти визначає оптимальні значення вологості шихти, кількістю вуглецю (палива) в ній та інших технологічних параметрів. Підсистема складається з автоматичних пристроїв контролю температури і хімічного складу вихідних газів, температури шихти, що спікається, після запального горна. Керуюча частина складається з блоку розрахунку теплового балансу і видачі керуючих впливів для регулювання подачі палива в шихту і швидкість стрічки. Підсистема технологічно взаємозв'язана з підсистемами автоматичного керування зволоження шихти, автоматичного керування запалюванням шихти, автоматичного контролю закінченості спікання шихти.

Основною метою функціонування підсистеми автоматичного керування тепловим режимом спікання шихти є досягнення максимальної продуктивності при обмеженнях, накладених на якість агломерату (відношення FeO/Fe_2O_3, основність, механічна міцність і ін). Підсистема автоматичного керування тепловим режимом спікання шихти, що керує тепловим режимом спікання шихти, забезпечує керування: завершеністю спікання на агломераційної стрічці; подачею газу в запальний горн; співвідношення газ-повітря, що надходять у газові пальники запального горна; тепловим балансом процесу спікання шихти. Останнім керуючий вплив обумовлено неможливістю надійного прямого контролю теплофізичних характеристик шару шихти, що спікається.

У підсистемі автоматичного керування тепловим режимом спікання шихти безпосередньо контролюються: витрати шихти і палива в шихту, а також її вологість, температура і кількість відхідних газів; температура шару шихти, що спікається; витрата повернення в шихту; швидкість стрічки; вихід придатного агломерату і кількість повернення; висота шару шихти на стрічці.

За безпосередньо виміряними параметрами розраховуються наступні величини: питома витрата повітря і тепла; кількість тепла, що йде з димовими газами і агломератом; питому продуктивність і питому теплову потужність агломераційної машини. На підставі аналізу параметрів, отриманих побічно і безпосередньо вимірюванням підсистема виробляє керуючі впливи, спрямовані на зміну: витрати палива в шихту; вологості шихти; швидкості стрічки.

На основі описаних підсистем розроблена автоматизована система керування агломераційного виробництва. Основною частиною цієї системи є система керування процесом спікання шихти (рис. 1.1), яка забезпечує стабілізацію основних параметрів процесу спікання та оптимізацію по продуктивності і якості агломерату.

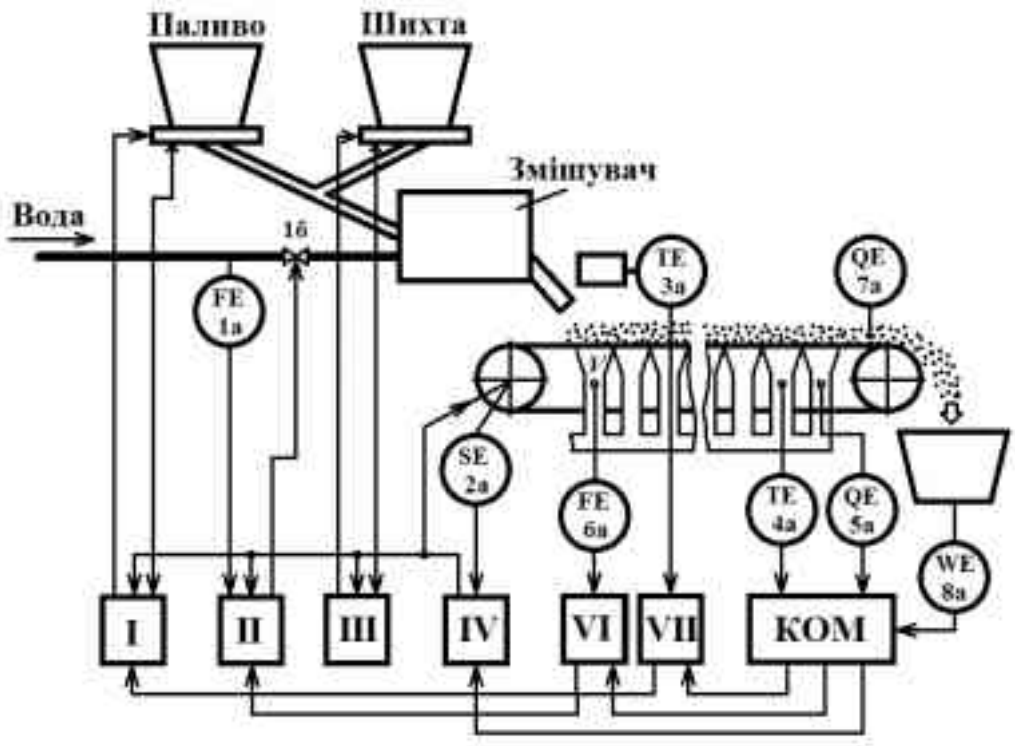


Рисунок 1.1 – Структурна схема автоматизованої системи керування процесом спікання шихти на агломераційній машині

Локальні підсистеми I, II, III стабілізують відповідно подачу в змішувач палива, води і шихти в змішувач-зволожувач залежно від швидкості машини, контрольованою і керованою підсистемою IV так, щоб спікання закінчувалося б над останньою вакуум-камерою. Місце закінчення спікання обчислює керуюча обчислювальна машина (КОМ) по різниці температур диму, вимірюваної термопарами 4а і 5а у вакуум-камерах. Початкова газопроникність шихти визначається вакуумметром 6а в "нульовий" вакуум-камерах *V* і стабілізується підсистемою VI, керуючої витратою води на зволоження шихти для отримання грудок, від якої залежить газопроникність. Температура поверхні запаленої шихти під запальним горном контролюється радіаційним пірометром 3а і стабілізується підсистемою VII, коректує завдання автоматичному регулятору співвідношення газ-повітря, що надходять в пальники запального горна.

Оптимізація процесу спікання виконується двома підсистемами. Перша з них з допомогою магнітного датчика 7а визначає по відношенню FeO/Fe_2O_3 ступінь окислення (магнітні властивості), агломерату, а друга підсистема за інформацією вимірювача маси 8а, контролює продуктивність машини. КОМ за інформацією про якість і кількість спеченого агломерату встановлює оптимальні значення регуляторам II вологості і швидкості агломераційної машини, вимірюється датчиком 2а.

1.3 Обґрунтування необхідності модернізації системи керування температурним режимом випалювання шихти

Високопродуктивна і економічна робота агломераційних машин і в цілому аглофабрики залежить від стабільності всіх технологічних процесів, що визначають спікання шихти, і від підтримання оптимальних співвідношень між параметрами агломераційного процесу.

Температурні та газодинамічні умови початкової стадії агломераційного процесу характеризують режим запалення агломераційної шихти і в значній мірі визначають якість агломерату верхнього шару і подальший хід процесу спікання.

Щоб якість агломерату верхнього шару відповідала якості агломерату нижніх шарів, при спіканні поверхневого шару шихти повинні бути такі ж температурні умови, як і при спіканні нижчих шарів. Тому, при зовнішньому нагріванні шихти необхідно забезпечити підтримку рівних температур по ширині горна і зміну температур по довжині горна, відповідні темпу зміни температур в нижніх шарах. Зовнішній нагрів шихти постійною потужністю характеризується нестабільністю температури в контрольованій точці на поверхні шару, що обумовлено змінюваністю властивостей шихти і опалювальних газів. Щоб забезпечити стабільність температур зовнішнього нагріву, необхідно регулювання потужності тепла, яке підводиться, що, в свою чергу, дозволяє поліпшити якість отримуваного агломерату у верхньому шарі і, відповідно збільшити питому продуктивність агломашини.

Для початкового періоду агломерації необхідно розрахувати і забезпечити оптимальні технологічні характеристики і діапазони регулювання процесу запалювання шихти. Оптимальні технологічні характеристики процесу для конкретних шихтових умов характеризуються швидкістю нагрівання шихти до температури запалювання. При відомій швидкості руху аглострічки, момент запалювання аглошихти повинен буде відбуватися в певній точці. Тому, першим завданням для автоматизації процесу керування є підтримання заданої температури в контрольованій точці на поверхні шихти. Другим завданням є підтримання нульового відносного тиску в робочому просторі горна для забезпечення матеріального балансу по газу.

Таким чином, для керування роботою горна в автоматичному режимі необхідно отримати комплексне регулювання температурного і газодинамічного режимів функціонування горна.

На поточний момент технологія виробництва та діюче обладнання на агломераційних фабриках не змінювалося з часу відкриття аглоцехів (з 1955 р.), відповідно рівень автоматизації не відповідає сучасним вимогам до систем автоматизованого керування процесом виготовлення агломерату. Зокрема, в системі відсутній контур автоматичного керування запалюванням шихти.

Працівники аглофабрики змінюють температуру запалювання шихти в ручному режимі на основі вимірювання температури з використанням радіаційного пірометра Тера-50, спираючись на технічну документацію та власний досвід. Відповідно, для забезпечення оптимальних температурних та газодинамічних умов початкової стадії агломераційного процесу і, як наслідок, покращення якісних характеристик агломерату і збільшення продуктивності агломашини необхідно реалізувати систему автоматичного керування запаленням агломераційної шихти.

1.4 Вимоги до системи автоматичного керування температурним режимом запалювання шихти

Основним завданням системи автоматичного керування є стабілізація теплової обробки верхній частині шару аглошихти і підвищення якості агломерату, а також забезпечення стійкої роботи горна при заданій питомій витраті газоподібного палива.

Складність створення системи керування температурним режимом спікання агломераційної шихти виникає у зв'язку з протіканням процесу в умовах вхідних збурюючих впливів, що викликані змінами складу при дозуванні палива в шихту, дозуванні флюсів, повернення, коливаннями вологості. В наслідок цього змінюється гранулометричний склад шихти, що приводить до зміни теплової функції і газопроникності шихти. Відповідно, завданнями системи автоматичного керування є підтримання необхідних температурного і газодинамічного режимів запалювання і спікання шихти, які реалізуються наступним чином.

– витрата повітря встановлюється на рівні, що забезпечує нульовий тиск в робочому просторі спікання при заданій температурі запалювання.

– встановлюється задана температура робочої поверхні шихти, яка потім підтримується зміною витрати газу.

2 Склад системи керування температурним режимом запалювання шихти

2.1 Розробка принципів керування запалюванням шихти

Для стабілізації початкових умов роботи агломераційної машини, шихту, паливо і воду подають в змішувач перед машиною, здійснюючи вагове дозування компонентів. Завдання регуляторам маси шихти, палива і води встановлюються автоматично у відповідності до продуктивності машини (швидкості її руху та висоти шару шихти на машині). Крім того, завдання регуляторам витрати палива і води автоматично корегуються в залежності від ходу процесу спікання.

Стійке випалювання шихти на машині забезпечується автоматичним регулюванням необхідної температури в горні і регулюванням співвідношенням витрати газу та повітря, що надходять до запалювального горну (рис. 2.1).

Керування процесом спікання, мета якого – забезпечення максимальної продуктивності агломераційної машини і заданої якості готового агломерату, можливо наступними способами:

- стабілізація показників ходу процесу на його початковій стадії за допомогою індивідуальних регуляторів початкової газопроникності шару шихти (шляхом змінення її вологості) і температури зони спікання (шляхом змінення складу палива в шихті);

- подальшою оптимізацією процесу спікання по продуктивності і якості готового агломерату в результаті автоматичного пошуку необхідних оптимальних заданих значень регуляторам початкової газопроникності шихти і температури зони спікання.

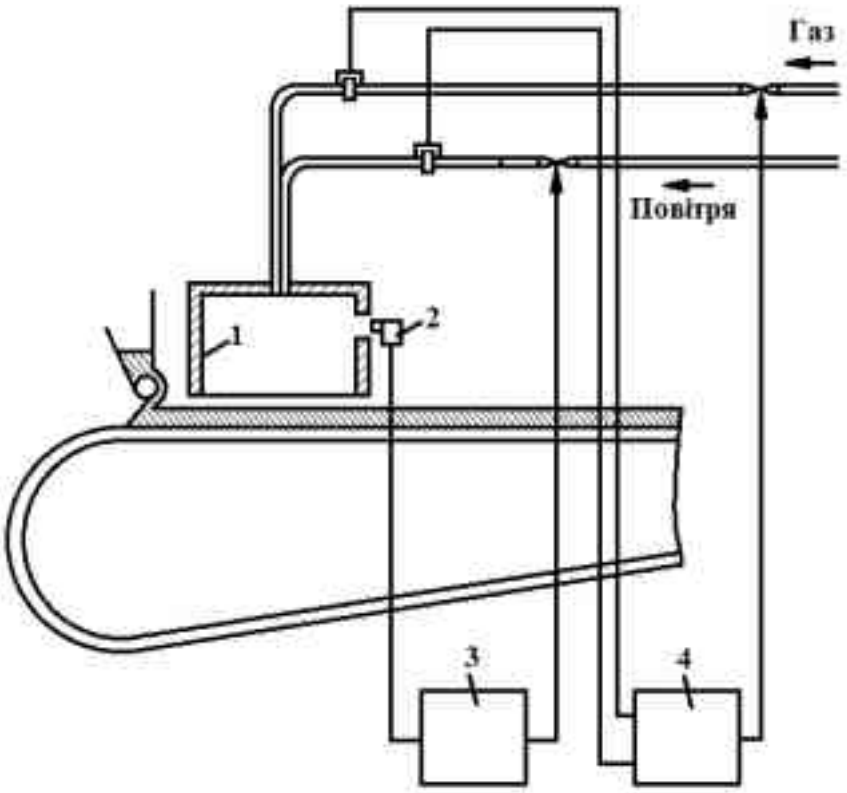


Рисунок 2.1 – Схема вузла автоматичного регулювання запалювання шихти 1 – запалювальний горн; 2 – радіаційний пірометр (або термопара); 3 – регулятор температури; 4 – регулятор співвідношення витрати газу і повітря

Схема системи комплексного керування процесом спікання приведена на рис. 2.2.

Початкову газопроникність шихти можна виміряти за витратою повітря, що просмоктується через спеціальну «нульову» (або першу) камеру розрідження, не пов’язану з загальним газовим трактом машини. При відхиленні газопроникності від заданого значення автоматично змінюється відношення витрати шихти та води, що надходять в змішувач перед машиною (корегується завдання регулятору витрати води).

Температуру зони спікання в шарі шихти після горну можна виміряти радіаційним пірометром, направленим на зону спікання. При відхиленні температури від заданого значення автоматично змінюється співвідношення витрати шихти і палива, що надходять в змішувач (корегується завдання регулятору витрати палива).

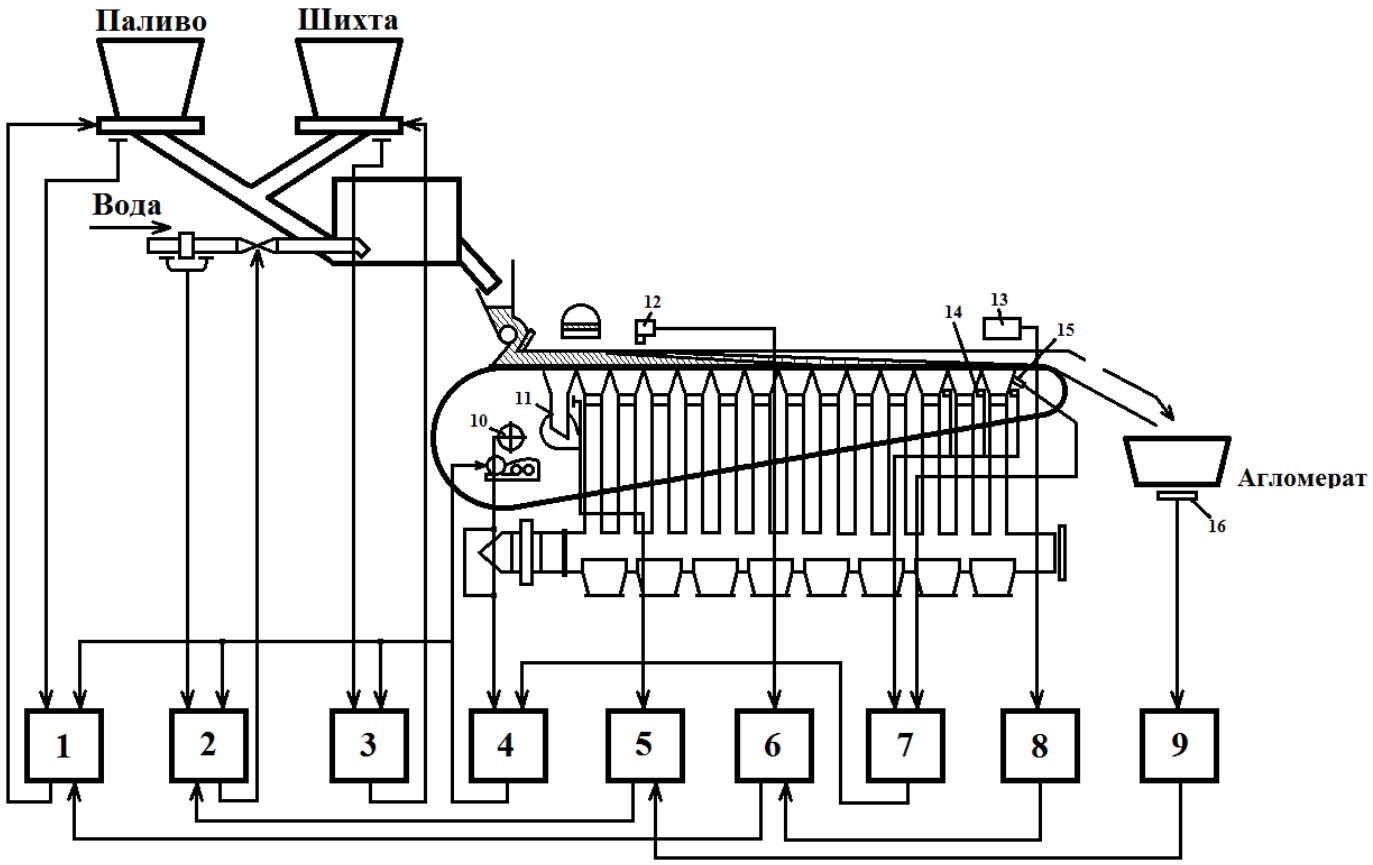


Рисунок 2.2 – Схема системи комплексного керування процесом спікання

1 – регулятор кількості палива; 2 – регулятор кількості води; 3 – регулятор кількості шихти; 4 – регулятор швидкості агломераційної машини; 5 – регулятор початкової газопроникності; 6 – регулятор температури зони спікання; 7 – обчислювальний пристрій визначення точки завершення спікання; 8 – оптимізатор якості агломерату; 9 – оптимізатор (екстремальний регулятор) продуктивності машини; 10 – вимірювання швидкості машини; 11 – нульова камера для вимірювання газопроникності; 12 – вимірювання температури зони спікання; 13 – вимірювання якості агломерату; 14 – вимірювання температури в камерах розрядження; 15 – вимірювання освітленості в камері розрядження; 16 – вимірювання маси агломерату

Пошук необхідних оптимальних завдань значень регуляторам початкової газопроникності і температури зони спікання здійснює автоматичний оптимізатор: по продуктивності агломераційної машини (для регулятора початкової газопроникності) і потім, після виходу на максимум продуктивності, за якістю агломерату (для регулятора температури зони спікання), після цього цикл пошуку повторюється.

Продуктивність машини визначають в результаті безперервного зважування вагонів с готовим гарячим агломератом або агломерату на стрічкових вагах, якщо перед подачею в вагони їх охолоджують. Якість агломерату (ступінь окислення, тобто вміст FeO/Fe_2O_3) безперервно і автоматично визначають в кінці агломераційної машини, виходячи з оцінки його магнітних характеристик.

Продуктивність агломераційної машини при постійних вхідних величинах залежить від її швидкості. Швидкість машини погоджують з вертикальною швидкістю спікання так, щоб процес спікання закінчувався над останньою камерою розрядження. Завершеність процесу спікання можна визначити або по освітленості в останній камері розрядження, або автоматичним обчисленням положення максимуму температури вздовж стрічки (він співпадає з точкою закінчення процесу) по температурам в трьох останніх камерах розрядження.

Узгодження швидкості машини з швидкістю спікання повинно виконуватися по мірі оптимізації процесу спікання.

2.2 Математичне забезпечення системи автоматичного керування запалюванням шихти

2.2.1 Математичний опис процесів теплообміну в запалювальному горні агломашини

Суть запропонованої системи керування температурним режимом запального горна полягає у підтримці заданої температури на поверхні шихти за рахунок зміни кількості газоподібного палива подається в горн. Залежність витрати газу від температури поверхні шихти $V_г(t_{сл})$ розраховується з рівняння теплового балансу, де повинні бути відображені статті приходів і витрат тепла процесу зовнішнього нагріву шихти в горні агломераційної машини.

В загальному вигляді рівняння теплового балансу можна записати як:

$$Q_{х.г} + Q_{ф.г} + Q_{ф.в} + Q_т + Q_{в.розб} = Q_{вип} + Q_ш + Q_п + Q_{вих} + Q_{пт} + Q_{випр} \quad (2.1)$$

Кількість теплоти від згоряння палива ($Q_{х.г}$) в горні агломашини розраховують за формулою

$$Q_{х.г} = V_г Q_н^р \quad (2.2)$$

Кількість фізичної теплоти газу

$$Q_{ф.г} = V_г c_г t_г \quad (2.3)$$

Кількість фізичної теплоти повітря

$$Q_{ф.в} = V_г V_0 c_в t_в \quad (2.4)$$

Тепло від горіння палива в шарі шихти визначають по рівнянню:

$$Q_т = \frac{l_{грн} h_{грн} b}{\tau_{грн}} B_с Q_{еф} \quad (2.5)$$

де $Q_{еф}$ – тепловий ефект від горіння вуглецю в шарі повітря

$$Q_{еф} = 32850 - 23200\frac{(2\beta - 0{,}75)}{\beta} [кДж/год] \quad (2.6)$$

де, β – стехіометричний фактор, що показує ступінь окислення вуглецю; 32850 – теплотворна здатність вуглецю, *кДж/кг* ; 23200 – тепловий ефект допалювання вуглецю до CO_2, *кДж/кг*.

Тепло, що вноситься з повітрям на розбавлення продуктів згоряння визначається за рівнянням

$$Q_{в.розб} = (\alpha - 1)(V_г V_0 c_в^{\circ} t_{горн} - V_г V_0 c_в t_в \quad (2.7)$$

або

$$Q_{в.розб} = \alpha V_г V_0 c_в^{\circ} t_{горн} - V_г V_0 c_в^{\circ} t_{горн} - \alpha V_г V_0 c_в t_в + V_г V_0 c_в t_в \quad (2.8)$$

Кількість теплоти на випаровування фізично зв'язаної вологи шихти розраховують за рівнянням:

$$Q_{вип} = 4{,}187 W_0 (595 + 0{,}47 t_{ух.г} - t_0) \quad (2.9)$$

де, 4,187 – коефіцієнт переведення позасистемних одиниць в систему СІ; W_0 – початкова вологість шихти, *кг/с*; 595 – теплота випаровування, *ккал/кг*; 0,47– теплоємність водяної пари.

Кількість теплоти на нагрівання шихти розраховують за рівнянням:

$$Q_{ш} = G\overline{c_{ш}}(t''_{ш} - t'_{ш})\ [кДж/год] \qquad (2.10)$$

Втрати теплоти випромінюванням через щілини горна та від поверхні шару в навколишнє середовище

$$Q_{випр} = C_0\left[\left(\frac{t_{сл}}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{ов}}{100}\right)^4\right]F_{щ}Ф \qquad (2.11)$$

де, $C_0 = 5{,}67$, $Вт/(м^2K^4)$– коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла.

Втрати теплоти з відхідними газами

$$Q_{вих} = V_г V_{пр} c_{пр} t_{гори} \qquad (2.12)$$

Втрати теплоти на нагрівання спікальних візків

$$Q_п = M_{тл} u_{тс} l_{гори}(t^к_{тс}c^к_{тс} - t^н_{тс}c^н_{тс}) \qquad (2.13)$$

Втрати теплоти теплопровідністю через склепіння і стіни горна в навколишнє середовище

$$Q_{пт} = \frac{K_1(t_{гори} - t_{ов})F_{стін}}{\frac{S_{ф.стін}}{\lambda_{ф.стін}} + \frac{1}{\alpha_{нор.стін}}} + \frac{K_2(t_{гори} - t_{ов})F_{ск}}{\frac{S_{ф.ск}}{\lambda_{ф.ск}} + \frac{1}{\alpha_{нор.ск}}} \qquad (2.14)$$

Проведення теплових балансових випробувань агломашин дозволяє визначити величини, що входять в рівняння (2.1). Знаючи кількість теплоти, передану шихтовим матеріалів і продуктивність агломашини, можна визначити теплоспоживання шихтових матеріалів.

Під теплоспоживанням шихтових матеріалів розуміється кількість теплоти, яка необхідна для сушіння, нагрівання, часткового оплавлення, спікання в агломерат, віднесене до одиниці матеріалу, що переробляється.

Теплоспоживання шихти дорівнює:

$$i = \frac{Q_{вип} + Q_ш}{G} \qquad (2.15)$$

Рівняння теплового балансу (2.1) дозволяє обґрунтувати необхідну витрату газоподібного палива на забезпечення режимів комбінованого нагріву шихти для проектування або модернізації горна агломераційної машини. Однак через численні параметри, що входять до його складу, дане рівняння складно використовувати в якості математичної моделі для управління температурним режимом у горні. Більшість наведених параметрів можуть бути виражені сумарним коефіцієнтом втрат (K_Σ), оскільки це або відомі характеристики агломашини і є незмінними або малозмінними, або стабілізовані системами автоматичного регулювання підготовки матеріалів для процесу спікання, сюди можна віднести системи шихтопідготовки, підготовку газу на змішувальних станціях, та ін. Тому серед всіх цих параметрів необхідно виділити ключові, які безпосередньо впливають на поточний температурний режим в горні. Джерелами тепла в рівнянні теплового балансу є хімічна теплота газу і фізична теплота повітря, що надходить на горіння і на розбавлення димових газів, за умови підігріву повітря, наприклад, після охолоджувача агломерату:

$$Q = V_г Q_н^р + V_г V_0 c_в^{\dot{t}} t_{горн} + V_г V_0 \alpha c_в t_в - V_г K_\Sigma \ [кДж/год] \qquad (2.16)$$

Основною статтею витрат тепла є витрати на нагрівання шихти. Задана витрата тепла на запалювання палива шихти (Q) пропорційний висоті шару (H), шириною візків (b), швидкості аглострічки ($u_{тс}$), питомій витраті тепла на запалювання палива шихти ($q_{зп}$), щільності шихти ($\rho_ш$) і виходу придатного ($k_ш$), тобто

$$Q = 60 q_{зп} H b u_{тс} \rho_ш k_ш \qquad (2.17)$$

З іншого боку, з продуктами згоряння в шихту привноситься тепло в кількості:

$$Q = 3600 c_{пр} t_{пр} w F_{горн} = 3600 c_{пр} t_{пр} w b l_{горн} \qquad (2.18)$$

Формула (2.18) не враховує втрат тепла в навколишній простір величина яких складає 5...6%.

Таким чином, отримаємо наступне рівняння:

$$q_{зп} H u_{тс} \rho_{ш} k_{ш} = 60 c_{пр} t_{пр} w l_{горн} \quad (2.19)$$

Враховуючи, що відношення довжини горна $l_{горн}$ до швидкості аглострічки $u_{тс}$ дорівнює часу запалювання $\tau_{зп}$, можна вивести наступне співвідношення:

$$\tau_{зп} = \frac{q_{зп} H \rho_{ш} k_{ш}}{6 * 10^4 c_{пр} t_{пр} w} \quad (2.20)$$

Як видно, при заданих технологічних та шихтових умовах тривалість запалювання обернено пропорційна швидкості фільтрації продуктів згоряння через шар. Тривалість запалювання шихти під горном включає час нагрівання початкової шихти до температури займання твердого палива, час утворення зони горіння і, частково, час додаткового нагріву спека.

Підсумкове рівняння теплового балансу спалювання газоподібного палива з утворенням продуктів згоряння буде мати вигляд:

$$V_г Q_н^р + V_г V_0 c_в^{\circ} t_{горн} + V_г V_0 \alpha c_в t_в - V_г K_{\Sigma} = 60 q_{зп} H b u_{тс} \rho_{ш} k_{ш} \quad (2.21)$$

Враховуючи рівняння (2.20), температуру продуктів згоряння газоподібного палива в горні можна виразити рівнянням:

$$V_г = \frac{\frac{u_{тс}}{u_0} F_{горн} t_{пр} w c_{пр}}{Q_н^р + V_0 c_в^{\circ} t_{горн} + V_0 \alpha c_в t_в - K_{\Sigma}} \; [м^3/год] \quad (2.21)$$

Оскільки температура шару $t_{сл}$ пропорційна температурі продуктів в горні $t_{горн}$ з урахуванням коефіцієнта втрат тепла $\varepsilon, t_{сл} = \varepsilon t_{пр}$, то необхідна витрата газу для підтримуваної температури шару $t_{сл}$ буде описуватися наступним рівнянням:

$$V_г = \frac{\overline{u_{тс}} F_{горн} t_{сл} w c_{пр}}{Q_н^р + V_0 c_в^{\circ} t_{горн} + V_0 \alpha c_в t_в - K_{\Sigma}} \; [м^3/год] \quad (2.22)$$

Таким чином, відповідно до отриманого рівняння (2.22) витрата газу на опалення горна ($V_г$) пропорційний температурі шару ($t_{сл}$), відносної швидкості руху спікальних візків ($\overline{u_{тс}} = \frac{u_{тс}}{u_0}$), швидкості фільтрації через шар (*w*) і обернено пропорційний сумі джерел тепла.

Підтримуване співвідношення витрат «газ – повітря» має бути максимальним для заданої температури. Це, по-перше, сприяє економії газоподібного палива, особливо в технологічних схемах, де використовується підігрів повітря, а по-друге, забезпечує максимальний вміст кисню в продуктах згоряння для поточних умов. Останнє як наслідок, дозволяє збільшити продуктивність агломашини за рахунок зростання швидкості переміщення фронту горіння палива шихти під горном.

2.2.2 Математичний опис процесу керування газодинамічним режимом запалювального горна агломашини

Управління газодинамічним режимом запального горна полягає у підтриманні необхідної швидкості фільтрації продуктів через шар, при якій забезпечується оптимальна швидкість переміщення фронту горіння.

В режимі реального часу, в умовах постійно мінливої газопроникності, обчислюються фактичні значення швидкості фільтрації на основі показань приладів витрат газу і повітря.

Газодинамічний режим в горні залежить від характеру протікання температурного режиму, який визначається режимом горіння газоподібного палива, тобто температурою і кількістю продуктів згоряння. Загальна кількість продуктів згоряння, що просмоктуються через шар, дорівнює:

$$V_в + K_{пр} V_г = 60 F_{горн} w \qquad (2.23)$$

де, $K_{пр}$ – коефіцієнт приросту кількості продуктів згоряння до кількості повітря, *нм*^{3}*/нм*^{3}.

Визначення швидкості фільтрації під горном зведеться до визначення суми показань витратомірів газу і повітря, віднесене до площі горна

$$w = \frac{V_в + K_{пр} V_г}{60 F_{горн}} \ [м/с] \qquad (2.24)$$

Оптимальна швидкість фільтрації в початковому періоді запалення агломераційної шихти розраховується при нульовому тиску в робочому просторі горна для конкретної висоти шару.

З іншого боку, швидкість фільтрації через шар також залежить від розрідження у вакуум-камерах ($\Delta P_{в/к}$) під горном і газопроникності шихти ($G_ш$)

$$w = a_1 \sqrt{\Delta P_{в/к} G_ш} \qquad (2.25)$$

де, a_1 – коефіцієнт пропорційності (a_1 = const, для даної системи).

При сталих значеннях витрати газу та повітря, що подаються в горн, і розрідження у вакуум-камерах ($\Delta P_{в/к}$, даПа) під горном, зміна поточного тиску в робочому просторі горна свідчить про зміну газопроникності шихти. Значення газопроникності шихти ($G_ш$) випливає з рівняння (2.24) (2.25):

$$G_ш = \left(\frac{V_в + K_{пр} V_г}{60 F_{горн} a_1 \sqrt{\Delta P_{в/к}}} \right)^2 \qquad (2.26)$$

Висока газопроникність шихти в початковому періоді агломерації збільшує швидкість переміщення фронту горіння в шарі шихти, тим самим «розмазуючи» пік максимальних температур при яких формується агломерат з необхідними характеристиками міцності, що, звичайно, впливає на вихід придатного продукту. Відповідно, низька газопроникність шихти обмежує швидкість переміщення фронту горіння, зменшуючи продуктивність агломашини. Тому при відхиленні значення газопроникності шихти поза розрахункових значеннях, доцільно змінювати висоту шару для забезпечення необхідних меж швидкостей фільтрації через шар. При коливаннях значень газопроникності шихти в розрахункових

межах, газодинамічний режим підтримується шляхом регулювання нульового тиску в робочому просторі горна шляхом регулювання положення дроселів у вакуум-камерах під горном. Система управління газодинамічним режимом запального горна на основі контуру регулювання тиску в робочому просторі горна забезпечує визначення газопроникності шихти за рівнянням (2.26). Горн, оснащений системою управління газодинамічним режимом, дозволяє управляти якістю агломерату, оптимізуючи процес спікання.

2.2.3 Розробка структури системи автоматичного керування температурою в запалювальному горні

Структурна схема зображена на рис. 2.3. На структурній схемі позначено: $W_{рег}$ – передаточна функція регулятора температури; $F_1(u)$, $F_3(u)$ – нелінійний елемент з характеристикою типу «трьохпозиційний перемикач»; $W_{ем}$ – передаточна функція виконавчого механізму; $F_2(\delta)$, $F_4(u)$ - нелінійний елемент з характеристикою типу «обмеження»; $W_{ро}$ – передаточна функція регулюючого органу; $W_{ок}$ – передаточна функція об’єкту керування; $W_{підс}$ – передаточна функція підсилювача; $W_{дт}$, $W_{двг}$, $W_{двп}$ – передаточні функції датчиків температури, витрати газу та витрати повітря відповідно.

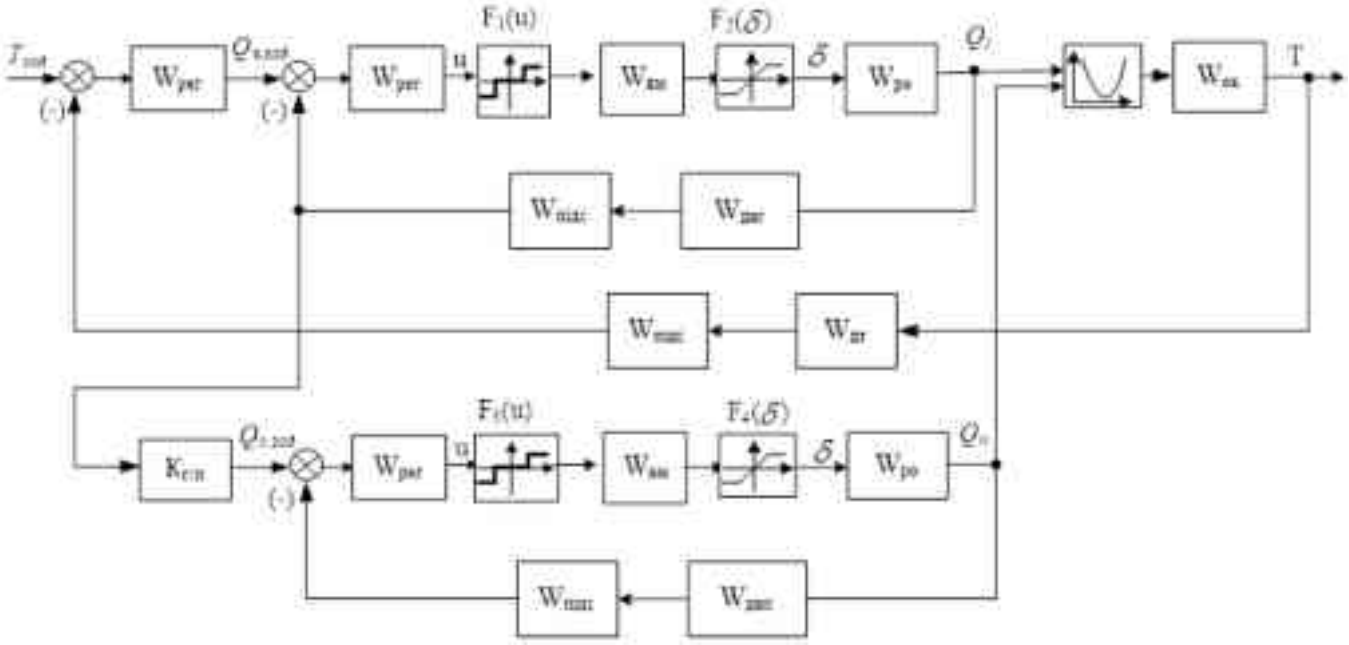


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи автоматичного керування температурою в запалювальному горні

Заслінка виконує функції регулюючого органу. Приймемо, що подача газу, що здійснюється заслінкою, пропорційна куту її відкриття, що змінюється від 0º до 90º. Це означає, що при максимальному відкритті заслінки, що дорівнює 90 º, подача газу в піч максимальна. Отже, заслінка може бути промодельована пропорційною ланкою (підсилювачем), коефіцієнт посилення якої дорівнює:

$$K_з = \frac{Q_г}{\varphi_з} \qquad (2.27)$$

де $Q_г$ – максимальна витрата газу, м^3/год; $\varphi_з$ – кут повороту заслінки, град;

Оскільки кут повороту заслінки обмежено діапазоном від 0 до 90 град, для врахування цього перед передаточною функцією регулюючого органу необхідно додати нелінійний елемент $F_2(\delta)$ типу «обмеження».

В якості виконавчого механізму в схемі використовується механізм електричний однооборотний (МЕО), який спеціально розроблений для керування заслінками. Після досягнення на його керуючому вході деякого рівня напруги МЕО включається і, в залежності від знаку керуючої напруги, переміщує заслінку в ту чи іншу сторону до тих пір, поки її положення не досягне крайніх меж, або до тих пір, поки на його вході не стане напруги.

До складу виконавчого механізму входить асинхронний двигун з передаточною функцією за каналом «керуюча напруга» - «швидкість обертання двигуна»

$$W_{ем}(p) = \frac{K_{ем}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \quad (2.28)$$

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

Отже, передаточна функція виконавчого механізму

$$W_{ем}(p) = \frac{1}{0.3p^2 + 1.6p + 1} \quad (2.29)$$

Статичний коефіцієнт посилення моделі асинхронного двигуна визначено з того, що при керуючому сигналі, рівному 1, двигун переміщує заслінку на 90.

Оскільки вихідною величиною виконавчого механізму є кут повороту, то для переходу від частоти обертання до куту повороту в структурну схему необхідно додати ідеальну інтегруючу ланку.

Для вимірювання температури відхідних газів доцільно використовувати термопару типу ТП, верхня межа вимірювання якої дорівнює 1600 С.

$$W_{д.т.} = K_д \quad (2.30)$$

де $K_д$ – коефіцієнт посилення датчика.

Звідси, передаточна функція датчика температури:

$$W_{д.т.} = 0.04 \quad (2.31)$$

Відомо, що зміна температури у запалювальному горні 900 – 1300 °С призводить до зміни вихідного струму датчика на 16 мА (20 мА – 4 мА), що дає значення коефіцієнта посилення моделі датчика:

$$K_д = \frac{I_{вих}}{\Delta t} \quad (2.32)$$

де $I_{вих}$ – вихідний струм датчика температури, мА; t – зміна температури в запалювальному горні;

$$K_{д.т.} = \frac{16}{1300 - 900} = 0.04\ [мА/град°С] \qquad (2.33)$$

При моделюванні, для зручності сприйняття результатів і завдання рівнів стабільної температури доцільно задати значення посилення зворотного зв’язку, де знаходиться датчик, рівний одиниці.

При реалізації САР цей момент повинен бути врахований і посилення додаткового підсилювача зворотного зв’язку має бути перенесено в посилення ПД-регулятора, а для зручності спостереження задається величини в °С, відповідний підсилювач, з коефіцієнтом підсилення, зворотним коефіцієнту посилення додаткового підсилювача зворотного зв'язку.

$$W_{підс} = \frac{1}{K_{д.т.}} \qquad (2.34)$$

де $K_{д.т.}$ – коефіцієнт підсилення датчика температури; отже передаточна функція підсилювача:

$$W_{підс} = \frac{1}{0.04} \qquad (2.35)$$

Використовуємо пропорційний и диференційний (ПД) регулятор, передаточна функція якого:

$$W_{підс}(p) = K_{п}\left(1 + \frac{1}{T_{и}p}\right) \qquad (2.36)$$

де $K_{п}$ – коефіцієнт підсилення регулятора; $T_{и}$ – стала часу інтегратора.

Для побудови динамічної моделі об’єкта керування на основі експериментальних даних досить мати його репрезентативні розгінні характеристики, як за керуючою величиною, так і за збуреннями. Для багатьох об’єктів промислового призначення розгінні характеристики можна знайти в літературі. Проте в реальному проектуванні краще мати зняті самостійно експериментальні розгінні характеристики. Ці характеристики знімаються окремо шляхом ступінчастої зміни на малі відсотки від номінальних величин керуючих дій

та збурень об’єкта, який функціонує в номінальному режимі і вимірювання змін керованої величини з плином часу.

Динамічну модель процесу регулювання температури в горні зон підігріву та випалювання можна представити у вигляді послідовно з’єднаної нелінійної статичної моделі та лінійної динамічної моделі. В динамічному відношенні запалювальний горн агломашини може бути апроксимованою аперіодичною ланкою першого порядку з передаточною функцією

$$W_{ок}(p) = \frac{F_З(Q_Ш, Q_Г, Q_П)}{T_{ок}p + 1} \qquad (2.37)$$

де $T_{ок}$ – стала часу об’єкту керування; $F_З(Q_Ш, Q_Г, Q_П)$ – функція, що описує нелінійну статичну характеристику об’єкту керування; $Q_Ш, Q_Г, Q_П$ – витрати шихти, газу та повітря відповідно.

При миттєвому збільшенні будь–якого з трьох параметрів $Q_Ш, Q_Г, Q_П$ процес змінення температури відхідних газів закінчується за час приблизно 700с. Відомо, що для аперіодичних ланок тривалість перехідного процесу $t_р = 3 * T_{ок}$, тобто стала часу об’єкту становить приблизно 240 с.

Отже, передаточна функція об’єкту керування:

$$W_{ок}(p) = \frac{1}{240p + 1} \qquad (2.38)$$

Отримані дані використаємо для побудови математичної моделі об’єкту керування та для його моделювання в середовищі MATLAB.

З урахуванням вищесказаного, структурна схема системи автоматичного керування температурою запалювання шихти, зображена на рис. 2.4.

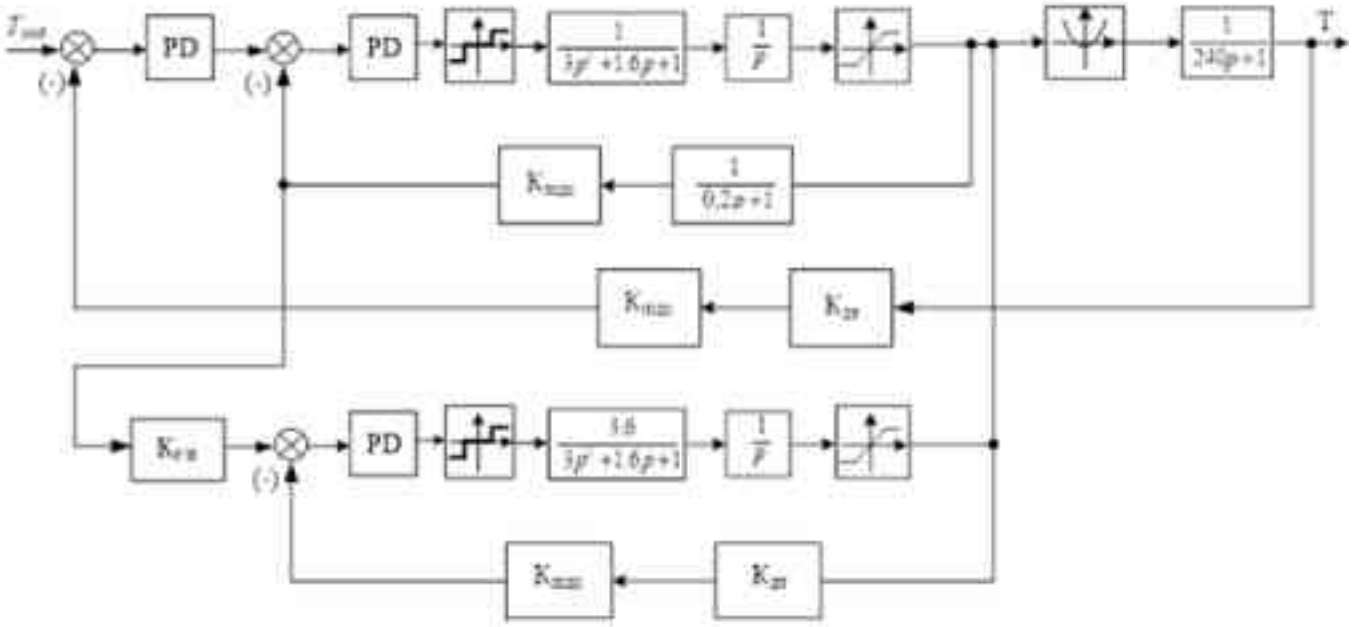


Рисунок 2.4 – Структурна схема системи автоматичного керування температурою у запалювальному горні

2.2.4 Розробка алгоритму та функціональної схеми системи керування температурним режимом запалювання шихти

Склад засобів контрольно-вимірювальних приладів і автоматики визначається після отримання вихідних даних з переліком необхідних контрольованих технологічних параметрів і відповідних контурів регулювання.

Наводиться опис передбачуваних до застосування технічних засобів контрольно-вимірювальних приладів і автоматики, виходячи з принципу забезпечення виконання функцій автоматизованої системи керування процесом запалювання шихти, наведених на функціональній схемі автоматизації, а також з метою мінімізації витрат.

Візуалізація технологічного процесу проводиться на відео терміналах операторних станцій. Реєстрація найважливіших параметрів проводиться в базах даних комп'ютерів, серверів, операторських станцій у вигляді, необхідному для реалізації вимог технологічного персоналу аглофабрики.

Функціональна схема системи управління запалювання шихти (роботи запалювального горна) приведена на рис 2.5.

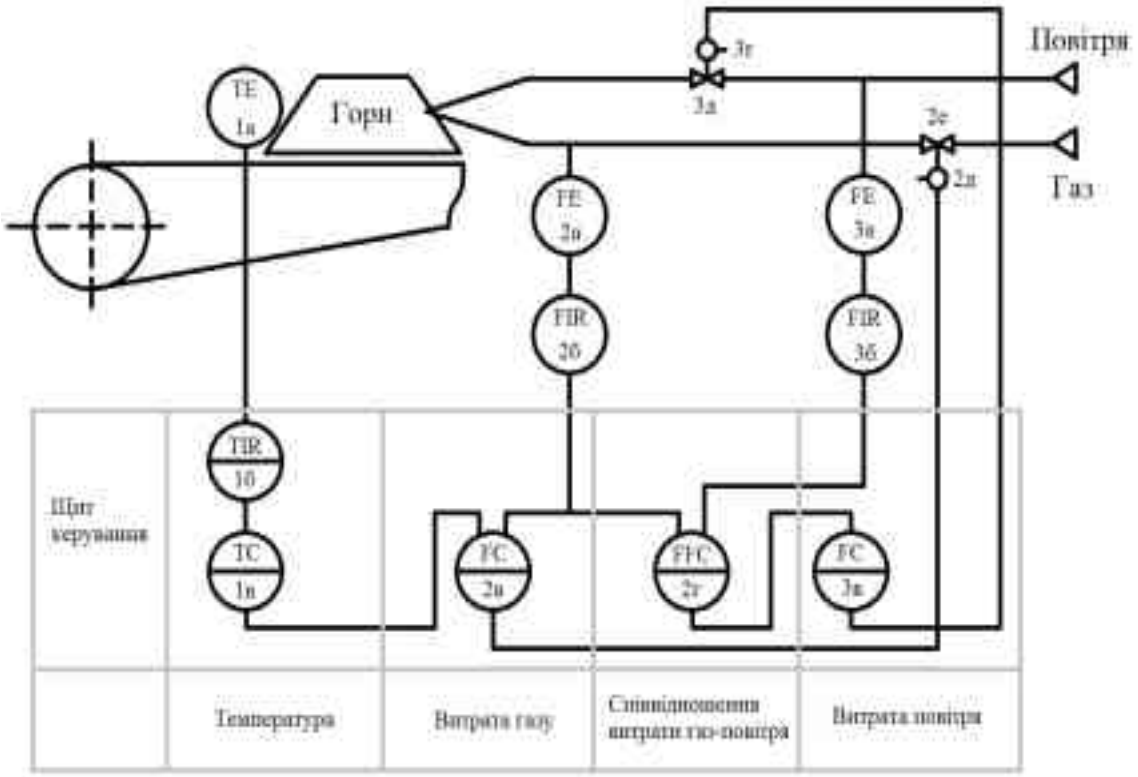


Рисунок 2.5 – Схема функціональна автоматичного контролю і регулювання системи управління запалюванням шихти

Алгоритм системи керування температурним і газодинамічним режимами горна.

При заданій питомій витраті тепла на запалювання регулювання зводиться до підтримання необхідної температури поверхні шару ($t_{сл}$) шляхом зміни витрати газу та повітря. При збільшенні швидкості стрічки ($u_{тс}$), що може бути пов'язано зі збільшенням газопроникності шихти, збільшують витрату газу і повітря, не змінюючи їх співвідношення (*a*). При $u_{тс} = \text{const}$ і зменшенні температури шару ($t_{сл}$) витрату газу залишають незмінною, а зменшують співвідношення повітря – газ. При цьому утворюється розрідження в горні за рахунок зменшення витрати повітря компенсується прикриттям шиберів в патрубках вакуум-камер під горном. Регулювання тиску в горні в основному режимі забезпечується зміною теплової потужності.

Система управління температурним режимом включає в себе підсистеми: управління температурою в горні, управління співвідношення газ – повітря.

Системи автоматизації запалювального горна, в основному, стабілізують температуру запалювання і регулюють співвідношення газ-повітря (рис 2.5). Основний контур системи складається з радіаційного пірометра 1а, що вимірює температуру в горні, показання якого відображаються та регіструються 1б.

В контур регулювання співвідношення витрат газу і повітря входять датчики їх витрат 2а і 3а, з витратомірами 2б і 3б, регулятор співвідношення 2г з пристроями керування 2в і 3в, виконавчими механізмами 2д і 3г з клапанами 2е і 3д.

Враховуючи значення температури в горні, подається керуючий сигнал з регулятора температури 1в на регулятор витрати газу 2в, який враховуючи значення витрати газу 2б, подає завдання на виконавчий механізм 2д, що відриває клапан 2е.

Витратомір співвідношення газ-повітря 2г, враховуючи значення витрат газу 2б і повітря 3б, подає керуючий вплив на регулятор витрати повітря 3в, що в свою чергу керує виконуючим механізмом 3г, який відкриває клапан 3д.

3 Проектування системи керування температурним режимом запалювання шихти

3.1 Опис структури комплексу технічних засобів АСК температурним режимом запалювання шихти

Для відповідності висунутим в розділі 1 вимогам комплекс технічних засобів АСК процесом спікання шихти на агломерацій машині в умовах агломераційного цеху повинен будуватися за ієрархічним принципом та містити три рівні:

– 0-й (польовий) рівень: контрольно-вимірювальні прилади і виконавчі механізми, блоки ручного керування виконавчими механізмами, кабельні з'єднання, клемні коробки, кросові шафи та ін.;

– 1-й (контролерний) рівень: рівень програмованих логічних контролерів, модулів віддаленого вводу-виводу, операторських панелей;

– 2-й рівень операторського керування (SCADA-рівень): операторські станції, комунікаційне обладнання, клієнтські автоматизовані робочі місця, сервер баз даних.

Верхній (2-й) рівень системи забезпечує виконання функцій оперативно-диспетчерського керування та дистанційного контролю параметрів технологічного процесу спікання агломераційної шихти. До складу підсистеми верхнього рівня входять робочі станції фахівців (головний диспетчер-технолог, начальник цеху, головний інженер) з пристроями друку. Станції володіють можливістю взаємного дублювання і резервування та безперебійної роботи при перепадах напруги живлення.

Завдання, які вирішуються системою верхнього рівня:

– автоматизована видача диспетчером команд керування і автоматичний контроль їх виконання;

– відображення на екранах робочих станцій оперативної інформації у вигляді екранних форм (мнемосхем), графічних залежностей контрольованих параметрів, журналу аварійних та інших подій тощо.

Також передбачена можливість:

– одночасного виконання обчислювальних операцій і будь-яких інших дій, управління базами даних, формування звітів і завдань;

– організації єдиного централізованого списку контрольованих параметрів з можливістю створення глобальних змінних, доступних всім клієнтським застосуванням програмного комплексу, що володіє механізмом резервування серверів OPC; і т. д.

На цьому ж рівні передбачені засоби підключення до мережі, що зв’язує його з нижнім рівнем АСК та вищестоячими рівнями диспетчерського керування цехом.

Нижній рівень забезпечує виконання всіх алгоритмів ведення технологічного процесу, функцій захисту та аварійної сигналізації при відхиленні стану обладнання від норми, а також функцій зв’язку з верхнім рівнем АСК процесу . Цей рівень доцільно реалізувати на базі промислових логічних контролерів. На основі аналізу кількості вхідних та вихідних дискретних та аналогових сигналів АСК, для реалізації означених функцій доцільно обрати ПЛК родини Simatic S7-300 виробництва компанії Siemens.

Польовий рівень системи складають датчики технологічних параметрів (температури запалювання шихти у запалювальному горні, витрати газу та повітря) та стану устаткування (сигналізація стану роботи та крайніх положень виконавчих механізмів тощо), магнітні пускачі, виконавчі механізми, блоки ручного керування виконавчими механізмами. Для нормалізації та узгодження з стандартними вхідними діапазонами модулів контролера використовуються перетворювачі аналогових сигналів.

Для контролю температури запалювання в горні планується використовувати радіаційний пірометр типу ТЕРА-50 РС-20 (діапазон 900 – 2000 °С). Для контролю витрати газу та повітря планується використовувати диференційний манометр типу Метран 150 (діапазони вимірюваних тисків: мінімальний 0-0,025 кПа, максимальний 0-68 МПа).

Функції контролю та керування контурами регулювання дублюються блоками ручного керування (БРК), які забезпечують локальну індикацію сигналів

вимірювань та дистанційне керування положенням регулюючого органу. Вказані технічні засоби встановлюються на передніх панелях шафи керування.

Для зв'язку з суміжними системами автоматизації агломераційного цеху планується використати промислову мережу стандарту Modbus Plus. Для зв'язку контролера з верхнім рівнем АСК ТП планується використати мережу Ethernet.

Таким чином, структура комплексу технічних засобів АСК процесом запалювання шихти матиме вигляд, зображений на рис. 3.1.

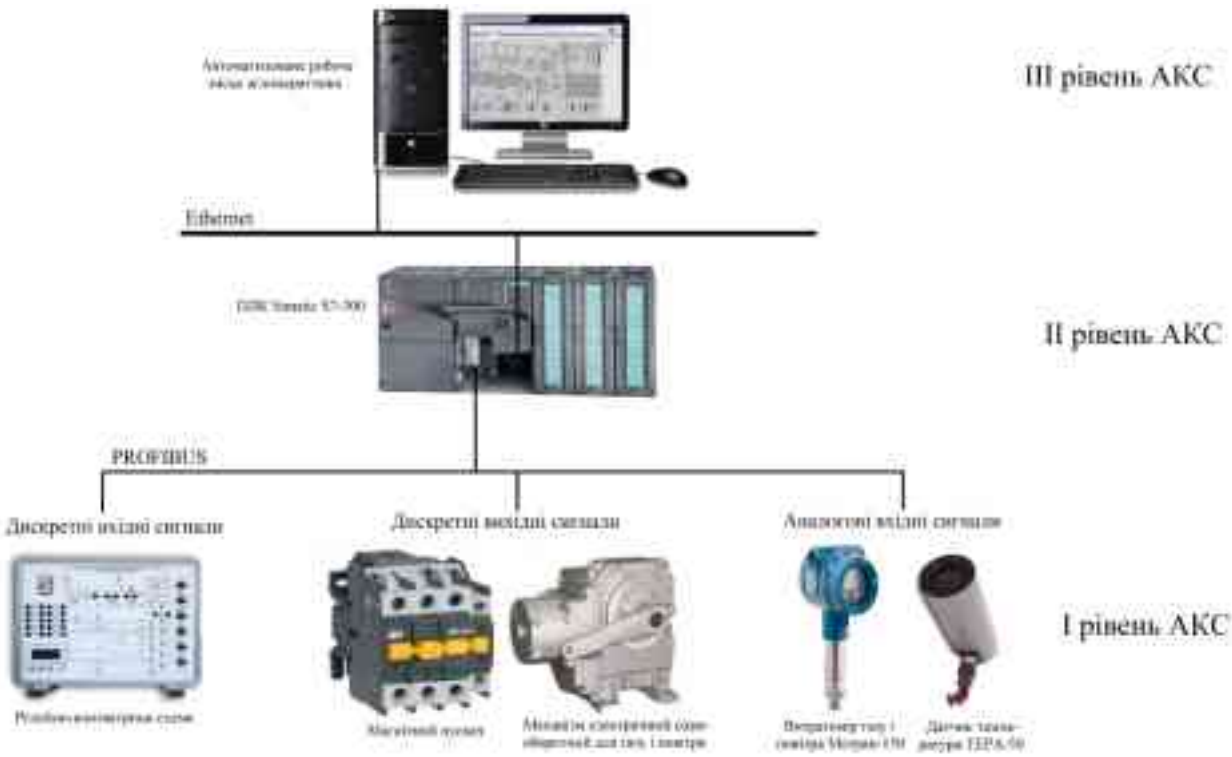


Рисунок 3.1 – Структура комплексу технічних засобів АКС процесу запалювання агломераційної шихти

3.2 Вибір обладнання автоматизації польового рівня

Датчик температури

Для контролю температури в запалювальному горні доцільно обрати радіаційний пірометр ТЕРА-50.

Телескоп ТЕРА-50 радіаційного пірометра з елементами захисної арматури призначений для безконтактного вимірювання радіаційної температури поверхні нагрітих тіл. Телескоп може бути використаний для вимірювання температури

нерухомих або переміщуються з невеликою швидкістю об'єктів. Телескоп розрахований для роботи при температурі навколишнього повітря від 5°С до 100°С і відносній вологості не більше 80%.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики пірометра ТЕРА-50 РС-20

№	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
1	Діапазон вимірюваних температур	°С	900-2000
2	Показник візування телескопа		1/20
3	Час установлення показань телескопа	с	не більше 10
4	Максимальний тиск в кожусі і патрубці водяного охолодження	Па	$6*10^5$
5	Номінальна робоча відстань	м	1±0,02
6	Напруга на зажимах телескопа	мВ	2,31-74,73
7	Похибка вимірювань телескопа при нормальній температурі навколишнього середовища (10-30°С)	°С	2-3
8	Максимальна температура корпусу телескопа	°С	100
10	Умови експлуатації: температура вологість	°С %	+5÷100 до 80
11	Компенсаційний опір	Ом	20

Телескоп виготовлений в металевому циліндричному корпусі, усередині якого розташовані: діафрагма, термобатарея, компенсаційний опір.

У передній частині пірометра встановлена лінза, що служить для того, щоб сконцентрувати променисту енергію, а також напрям її пучка на термобатарею, де відбувається процес перетворення в електричний варіант сигналу.

З протилежної частини корпусу пірометра поміщена лінза окуляра, необхідного для спостереження за нагрітим тілом, правильного наведення пірометра на вимірюваний об'єкт і періодичної перевірки орієнтації телескопа на ньому.

Для захисту ТЕРА-50 від пилу, надмірного нагрівання, кіптяви, диму, полум'я застосовується захисна арматура, в якій і розміщується прометр. Вона складається з фланця для кріплення вимірника, сорочки водяного охолодження і пристрою обдування. Рух води в системі повинен бути влаштований так, щоб не допускати її закипання в системі і забезпечувати належне охолодження телескопа.

Для підключення води до охолоджувальної оболонки на ній є 2 штуцера. Обдув необхідний для здування від об'єктива диму, кіптяви і полум'я, які значно знижують точність вимірювання. Також обдування сприяє кращому охолодженню.

Телескоп - це стаціонарний прилад, і при проведенні вимірювань продукт обов'язково жорстко закріпити, щоб він правильно був орієнтований на об'єкт. І якщо передбачається сильне нагрівання його корпусу, повинно бути організоване охолодження, так як все це впливає на точність проведених вимірювань. Вимірювану температуру визначають за спеціально виготовленими таблицями в прямій залежності від отриманого електричного сигналу електрорушійної сили.

Витратомір

Для контролю витрати газу та повітря в запалювальному горні доцільно обрати диференційний манометр Метран-150.

Застосовуються для вимірювання, відображення і передачі в системи управління параметрів технологічних процесів (тиск) в енергетиці, енергозбереженні, металургії, машинобудуванні, хімічній, нафтовій, нафтохімічній та інших галузях промисловості

Вимірювані середовища: рідини (в т.ч. нафтопродукти), пар, газ, газові суміші.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики манометра Метран-150

№	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
1	Діапазон вимірюваних тисків: мінімальний максимальний	 Па МПа	 0-25 0-68
2	Вихідні сигнали	мА	4-20 з HART 0-5
3	Основна приведена похибка	%	до 0,075
4	Діапазон температур навколишнього середовища	°С	-40÷+80
5	Тиск перенавантаження	МПа	100
6	Напруга живлення	В	12-42
7	Час установлення показників манометра	мс	до 100
8	Похибка вимірювань	%	до 1,5

Манометр має високу стабільність характеристик, вибухозахищене виконання виду "іскробезпечне коло" і "вибухонепроникна оболонка", високу стійкість до перенавантажень, захист від перехідних процесів, захист від пилу та вологи.

Управління параметрами датчика здійснюється:

– за допомогою HART-комунікатора;

– віддалено за допомогою програми HART-Master, HART-модему і комп'ютера або програмних засобів АСУТП;

– за допомогою клавіатури і рідкокристалічного індикаторного пристрою.

Інтелектуальні датчики тиску серії Метран-150 призначені для безперервного перетворення в уніфікований струмовий вихідний сигнал і/або цифровий сигнал у стандарті протоколу HART вхідних вимірюваних величин:

– надлишкового тиску;

– абсолютного тиску;

– різниці тисків;

– тиску / розрідження;

– гідростатичного тиску (рівня).

У вимірювальних блоках використовується тензорезистивний тензомодуль на кремнієвій підкладці. Чутливим елементом тензомодуля є пластина з кремнію з плівковими тензорезисторами.

Тиск через розділову мембрану і розподільчу рідину передається на чутливий елемент тензомодуля. Вплив тиску перетворюється в деформацію чутливого елемента, викликаючи при цьому зміну електричного опору його тензорезисторів і розбаланс мостової схеми. Електричний сигнал, що утворюється при розбалансі мостової схеми, вимірюється аналогово-цифровим перетворювачем і подається в електронний перетворювач.

Електронний перетворювач перетворює цю зміну в відповідний вихідний сигнал.

Ручний комунікатор HART – це портативний контролер, що здійснює обмін даними з будь-яким пристроєм, що підтримує HART протокол, при приєднанні до

будь-яких клем ланцюга 4-20 мА за умови, що опір навантаження між комунікатором і джерелом живлення становить не менше 250 Ом. Комунікатор використовує принцип частотної модуляції для передачі цифрового сигналу. Ця технологія полягає в накладанні високочастотного цифрового комунікаційного сигналу на стандартний струмовий сигнал датчика 4-20 мА.

3.3 Вибір та обґрунтування промислового контролера та модулів введення-виведення

На основі вимог до технічного забезпечення для виконання функцій керування процесом запалювання агломераційної шихти в умовах агломераційного цеху доцільно другий рівень АСК ТП реалізувати на основі ПЛК Simatic S7-300 виробництва компанії Siemens.

ПЛК Simatic S7-300 є універсальним модульним програмованим контролером для вирішення задач автоматичного керування відносно низького і середнього рівня складності.

Модульна конструкція, робота з природним охолодженням, можливість використання структур локального та розподіленого вводу-виводу, широкі комунікаційні можливості, безліч функцій, підтримуваних на рівні операційної системи, зручність експлуатації і обслуговування дозволяють отримати рентабельне рішення для побудови систем автоматичного керування в різних секторах промислового виробництва.

Ефективному використанню контролера сприяє наявність широкої гами центральних процесорів, модулів вводу-виводу дискретних та аналогових сигналів, функціональних і комунікаційних модулів, модулів блоку живлення і інтерфейсних модулів.

Головними критеріями при виборі конкретної моделі процесорного блоку з родини ПЛК Simatic S7-300 в умовах АСК процесом запалювання шихти є підтримувана кількість каналів вводу-виводу інформації, а також обчислювальна потужність (зокрема, можливість реалізації заданої кількості контурів

регулювання). На основі аналізу кількості вхідних та вихідних сигналів та необхідної кількості контурів регулювання в якості процесорних модулів доцільно обрати блок CPU 315-2 PN/DP (таблиця 3.3).

Процесор CPU 315-2 PN/DP системи автоматизації Simatic S7-300 керує всім ПЛК, що складається з модулів дискретного та аналогового введення-виведення, модулів захисту Preventa, спеціалізованих модулів (лічильники, керування переміщенням, вимірювання ваги, зв'язок). Кожен процесор має:

– здатність працювати з усіма типами сигнальних, функціональних та комунікаційних модулів S7-300;

– завантажувану пам'ять у вигляді мікрокарти пам'яті MultiMedia Card (MMC) ємністю до 8 Мбайт;

– зберігання даних в MMC при перебої живлення контролера;

- вбудований інтерфейс MPI/DP та інтерфейс PROFINET для виконання операцій конфігурування, налаштування параметрів, програмування, діагностики і обслуговування контролера, а також побудови найпростіших мережевих структур;

- наявність модифікації з вбудованими комунікаційними інтерфейсами PROFIBUS та/або PROFINET для обслуговування систем розподіленого вводу-виводу і мережевого обміну даними;

- єдиний набір інструментальних засобів для конфігурування апаратури, програмування, діагностики і обслуговування контролера.

Процесорний модуль CPU 315-2 PN/DP призначений для побудови систем керування середнього ступеня складності з швидкісною обробкою інформації.



Рисунок 3.2 – Процесорний модуль CPU 315-2 PN/DP

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики процесору CPU 315-2 PN/DP

№	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
1	Робоча пам’ять	Кбайт	384
2	Кількість модулів на систему локального вводу-виводу		до 32
3	Напруга живлення	В	24
4	Струм, що споживається	А	0,75
5	Втрати потужності, типове значення	Вт	4,65
6	Типовий час виконання: логічні операції операції зі словами арифметичні операції з фіксованою/ плаваючою крапкою	Мкс	 0,05 0,09 0,12/ 0,45

Процесорний модуль CPU 315-2 PN/DP має відкритий обмін даних з іншими ПЛК, індустріальними ПК та робочими станціями технологічного персоналу через Industrial Ethernet з використанням завантажуваних функціональних блоків на основі транспортних протоколів TCP/IP, ISO на TCP і UDP.

Розробка додатку здійснюється за допомогою програми SIMATIC WinCC V13 в середовищі Windows 10 або Windows 7. SIMATIC WinCC V13 – це пакет програми ЛМІ, інтегрованої в програмне забезпечення TIA Portal V1. Програмне забезпечення TIA Portal V1 формує єдиний простір розробки комплексних проектів на основі багатьох програмних і апаратних компонентів департаменту IA&DT. Основні особливості:

– використання функціональних можливостей TIA Portal для розробки комплексних проектів автоматизації;

– потужна система проектування з маштабуємим набором підтримуваних функцій;

– підтримка функцій конфігурування апаратури і мережевих технологій;

– комплексне керування наборами даних для виконання операцій конфігурування;

– централізоване керування даними з використанням універсальних символьних імен;

– робоче середовище для організації оптимальної взаємодії програмуємих контролерів з системами ЛМІ;

– потужний набір діагностичних та бібліотечних функцій.

На основі аналізу технічних характеристик процесорного блоку контролера Simatic S7-300 можна зробити висновок, що він відповідає вимогам до обчислювальної потужності, швидкодії, обсягу пам’яті, та максимальної кількості каналів введення-виведення, отже, може бути використаний для реалізації функцій керування в АСК запалювання шихти в умовах агломераційного цеху.

Сигнальні модулі дозволяють адаптувати апаратуру контролера до вимог розв'язуваних завдань, і призначені для вводу та виводу дискретних і аналогових сигналів.

Підключення зовнішніх ланцюгів сигнального модуля здійснюється через контакти знімного фронтального з'єднувача, який закривається захисною ізолюючою кришкою. В паз захисної кришки вставляється етикетка, на якій наноситься маркування зовнішніх ланцюгів. Наявність фронтальних з’єднувачів спрощує монтаж з'єднувальних провідників і дозволяє проводити заміну модулів без демонтажу їх зовнішніх ланцюгів. Етикетка для маркування зовнішніх ланцюгів входить в комплект поставки модуля.

При першій установці фронтального з'єднувача на модуль автоматично виконується операція його механічного кодування. Надалі фронтальний з'єднувач може бути встановлений тільки на модулі такого ж типу, що виключає можливість появи помилок при заміні модулів.

Для прискорення монтажу для підключення зовнішніх ланцюгів можуть застосовуватися модульні або гнучкі з'єднувачі.

Більшість параметрів сигнальних модулів налаштовується програмним шляхом за допомогою утиліти Hardware Configuration пакету STEP 7. Ця утиліта дозволяє встановлювати час фільтрації вхідних дискретних сигналів, діапазони вимірювання вхідних аналогових величин, параметрів аналого-цифрового перетворення, підтримку переривань, активізувати діагностичні функції і т. д.

За замовчуванням адресація входів і виходів сигнальних модулів визначається номером монтажної стійки і номер посадкового місця в монтажній стійці. В процесі конфігурування апаратури STEP 7 резервує в адресному просторі контролера по 4 байти для кожного встановлюваного модуля. В результаті в сконфігурованому за замовчуванням адресному просторі контролера з'являються області, що не використовуються.

Розмір цих областей визначається різницею між резервованою і реально необхідною кількістю байт для обслуговування всіх каналів сигнального модуля.

При необхідності задана за замовчуванням адресація каналів вводу-виводу сигнальних модулів може бути змінена таким чином, щоб виключити порожні області в адресному просторі контролера.

Модулі вводу дискретних сигналів призначені для перетворення вхідних дискретних сигналів контролера з різними електричними параметрами в його внутрішні логічні сигнали. До входів модулів можуть підключатися контактні або безконтактні датчики. Вони можуть працювати в системах локального вводу-виводу програмованих контролерів S7-300 всіх модифікацій.

Модулі випускаються компактних пластикових корпусах, які оснащені:

– зеленими світлодіодами індикації станів вхідних ланцюгів;

– червоним світлодіодом індикації наявності помилок в роботі модуля;

– роз'ємом для установки фронтального з'єднувача, закритим захисною кришкою;

– пазом на захисній кришці для установки етикетка з маркуванням зовнішніх ланцюгів.

В системі передбачено 11 дискретних вхідних каналів. Тому в якості дискретного вхідного модуля доцільно обрати модуль DI 16xDC 24V. Модуль включає 16 ізольованих вхідних каналів постійного струму 24 В. Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 3.4.



Рисунок 3.3 – Модуль вводу дискретних сигналів DI 16xDC 24V

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики дискретного модуля DI 16xDC 24V

№	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
1	Кількість входів		1 група на 16 входів
2	Номінальна вхідна напруга	В	24
3	Довжина кабелю: звичайного екранованого	м	не більше 600 не більше 1000
4	Струм, що споживається	мА	10
5	Втрати потужності	Вт	3,5
6	Температура експлуатації: горизонтальна установка вертикальна установка	°С	 0…+60 0…+40

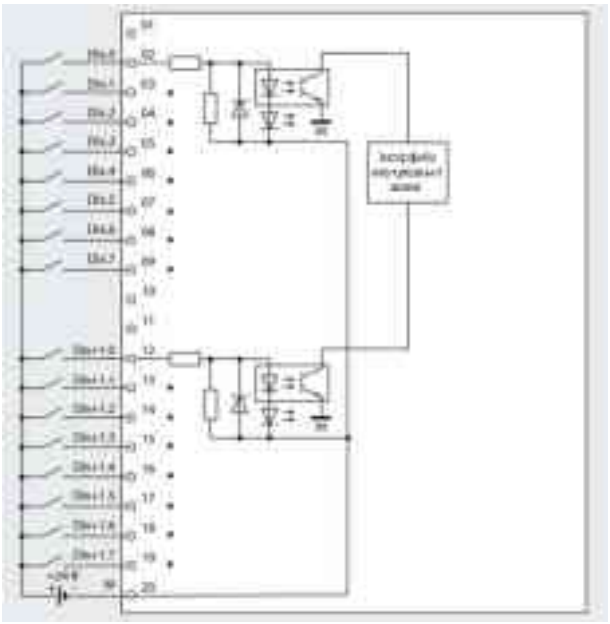


Рисунок 3.4 – Схема підключення зовнішніх ланцюгів дискретного модуля DI 16xDC 24V

Модулі виводу дискретних сигналів призначені для перетворення внутрішніх дискретних сигналів контролера з різними електричними параметрами. До виходів

модулів можуть підключатися виконавчі прилади або комутаційні апарати. Вони можуть працювати в системах локального вводу-виводу програмованих контролерів S7-300 всіх модифікацій.

В системі передбачено 8 дискретних вхідних каналів. Тому в якості дискретного вхідного модуля доцільно обрати модуль DO 16xDC 24V/0.5A. Модуль включає 16 ізольованих вхідних каналів струму 0.5А і постійної напруги 24 В. Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 3.5.

Сигнальний модуль DO 16xDC 24V/0.5A додатково дозволяє виконувати налаштування:

– підтримки діагностичний перебоїв на рівні модуля:

– реакції модуля на зупинку центрального процесора з можливістю вибору: збереження поточних станів всіх вихідних каналів або переводу кожного каналу в заданий стан.



Рисунок 3.5 – Модуль виводу дискретних сигналів DO 16xDC 24V/0.5A

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики модуля DO 16xDC 24V/0.5A

№	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
1	Кількість виходів		4 групи на 4 виходи
2	Напруга живлення	В	=24
3	Номінальний струм одного входу	А	0,5
4	Довжина кабелю: звичайного екранованого	м	не більше 600 не більше 1000
5	Струм, що споживається	мА	100
6	Втрати потужності	Вт	6

7	Час перемикання виходу при активному навантаженні	мс	до 2,7
8	Частота перемикання виходів	Гц	100
9	Температура експлуатації: горизонтальна установка вертикальна установка	°С	 0…+60 0…+40

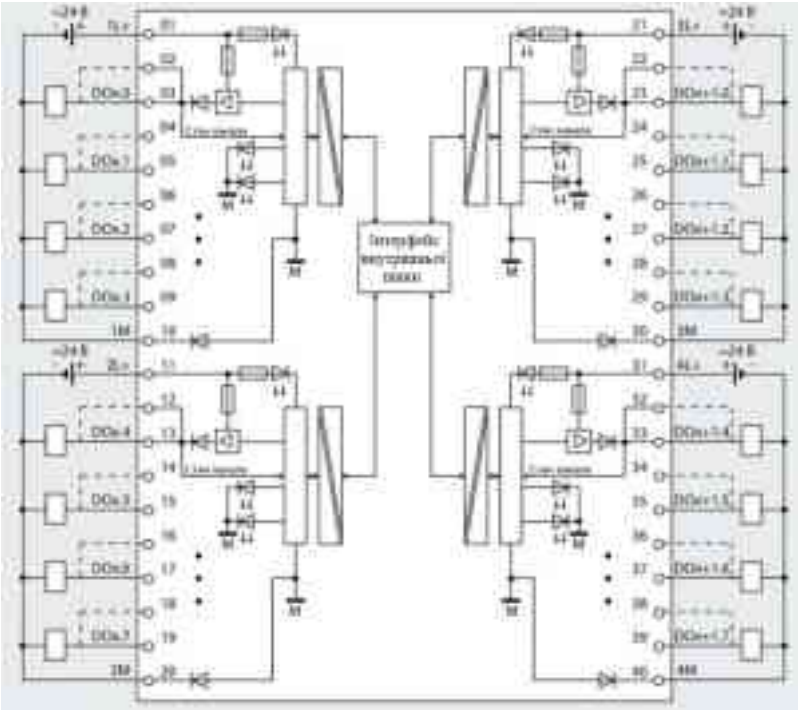


Рисунок 3.6 – Схема підключення зовнішніх ланцюгів дискретного модуля DO 16xDC 24V/0.5A

Модулі вводу аналогових сигналів призначені для підключення до контролера аналогових датчиків, виконання аналого-цифрового перетворення вхідних аналогових сигналів та формування цифрових величин, що використовуються центральним процесором в ході виконання програми. До входів модулів можуть підключатися датчики з уніфікованими вихідними електричними сигналами напруги чи сили струму, термопари, термометри опору і т. д. При використанні з'єднувальних кабелів допустимих довжин проміжні підсилювачі не потрібні.

Модулі можуть працювати в системах локального вводу-виводу програмуємих контролерів S7-300 всіх модифікацій.

Всі модулі випускаються компактних пластикових корпусах, які оснащені:

– червоними світлодіодами індикації наявності помилок в роботі модуля;

– роз’ємом для установки фронтального з'єднувача, закритого захисною кришкою;

– пазом на захисній кришці для установки етикетки з маркуванням зовнішніх ланцюгів.

В системі передбачено 3 аналогові вхідних канали. Тому в якості дискретного вхідного модуля доцільно обрати модуль AI 6xTC/U 16 біт. Модуль включає 6 ізольованих вхідних каналів постійної напруги 24 В. Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 3.6.



Рисунок 3.7 – Модуль вводу аналогових сигналів AI 6xTC/U 16 біт

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики модуля AI 6xTC/U 16 біт

№	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
1	Кількість входів		6 груп на 1 вхід
2	Напруга живлення	В	=24
3	Постійний струм ланцюга вимірювання опору	мА	0,9
4	Довжина екранованого кабелю:	м	не більше 200
5	Струм, що споживається	мА	100
6	Втрати потужності	Вт	2,2
7	Температура експлуатації: горизонтальна установка вертикальна установка	°С	 0…+60 0…+40

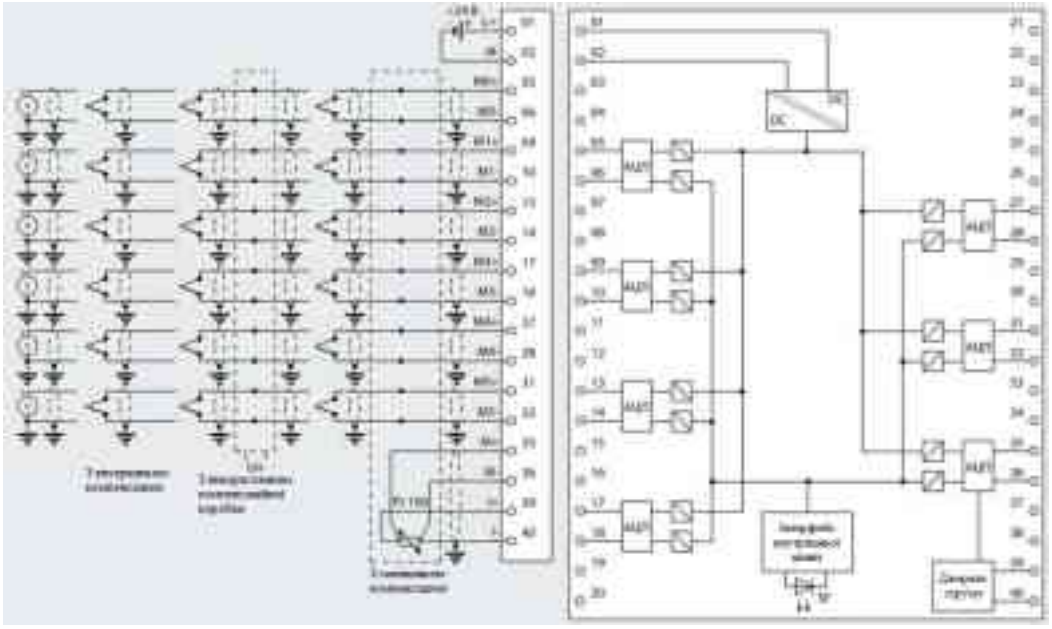


Рисунок 3.8 – Схема підключення зовнішніх ланцюгів аналогового модуля AI 6xTC/U 16 біт

Ці вхідні модулі виконують функції:

– сканування вхідних каналів з та збір значень;

– аналогово-цифрове перетворення вхідних вимірювань.

В доповнення до цих функцій процесором ПЛК виконується наступна обробка сигналів:

– вхідний контроль перевищення;

– фільтрація вимірювань;

– перетворення вхідних вимірювань до формату користувача для відображення в безпосередньо придатних до використання одиницях.

Отже, для виконання функцій контролю та керування АСК процесом запалювання шихти буде використовуватися контролер Simatic S7-300, що складається з процесорного модуля CPU 315-2 PN/DP.

Блок живлення PS 307 (5 A) відрізняється наступними властивостями:

– вихідний струм 5 А

– вихідна напруга 24 в пост. струму; захист від короткого замикання і обриву ланцюга

– підключення до однофазної системи змінного струму (вхідна напруга 120/230 В змінн. струму, 50/60 Гц)

– надійна гальванічна розв'язка у відповідності з EN 60 950

– може бути використаний як джерело живлення навантаження

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики блоку живлення ПЛК

№	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
1	Номінальна напруга	В	=24
2	Електрична міцність ізоляції	мс	20
3	Номінальний струм	А	5
4	Ефективність (ККД)	%	87
5	Час регулювання при зміні навантаження	мс	5
6	Струм спрацювання захисту	А	<9
7	Температура експлуатації: горизонтальна установка	°С	0…+60

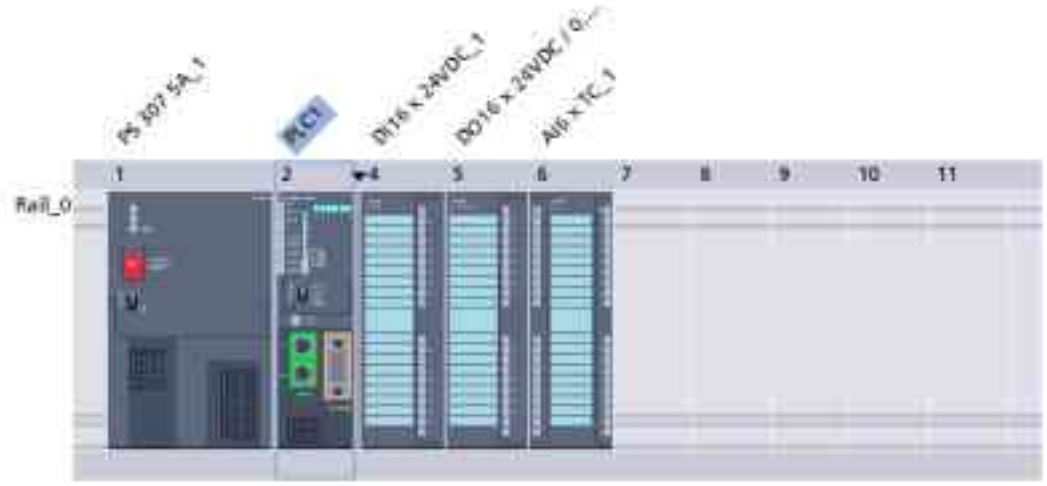


Рисунок 3.9 – Конфігурація ПЛК для реалізації функцій керування процесом запалювання шихти в умовах агломераційного цеху

4 Дослідження роботи системи керування температурним режимом запалювання шихти

4.1 Комп'ютерне моделювання системи автоматичного керування запаленням шихти

Для комп'ютерного моделювання розробленої системи автоматичного керування температурою у запалювальному горні доцільно використати пакет Simulink, що входить до складу системи MATLAB.

Моделювання системи виконується на основі виконаних в попередньому розділі розрахунків та отриманих передаточних функцій елементів системи. Модель системи автоматичного керування наведена на рисунку 4.1.

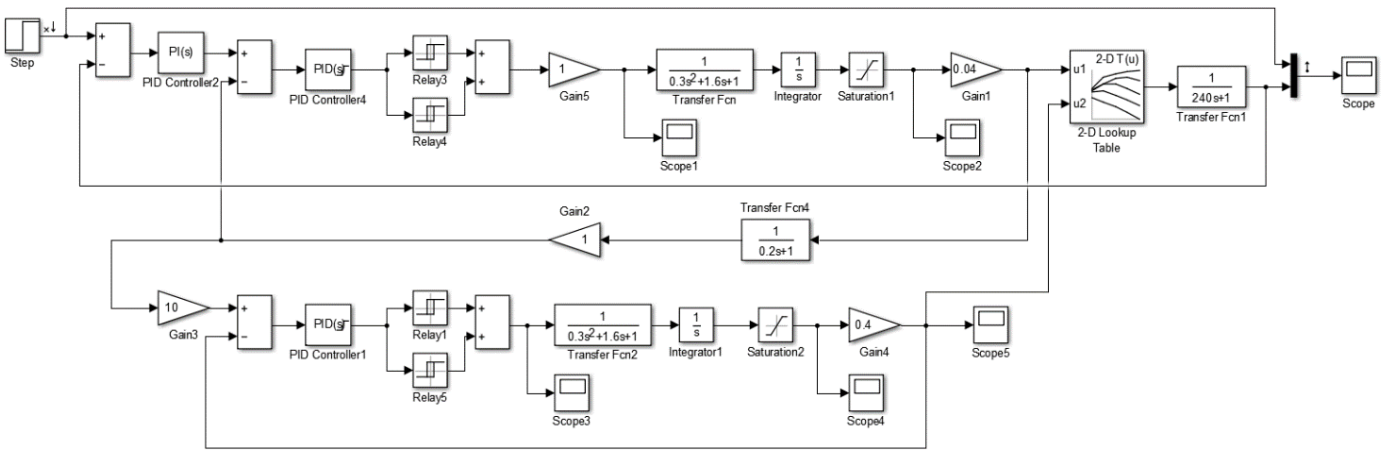


Рисунок 4.1 – Модель САК температурою у запалювальному горні

Для моделювання статичної характеристики об'єкту керування за двома каналами: витрати газу та витрати первинного повітря, в пакеті Simulink використовувався елемент Lookup Table (2-D).

В пакеті програм MATLAB спочатку були введені всі дані, які були отримані раніше на підприємстві. Всі масиви даних (витрата газу та витрата первинного повітря) були об'єднанні та приведені до форми змінних у MATLAB.

Для створення нелінійної характеристики вибираємо блок Look Table (2-D) (рис. 4.2). За допомогою обраного блоку ми зможемо спостерігати залежність температури у горні, витрати газу та витрати первинного повітря.

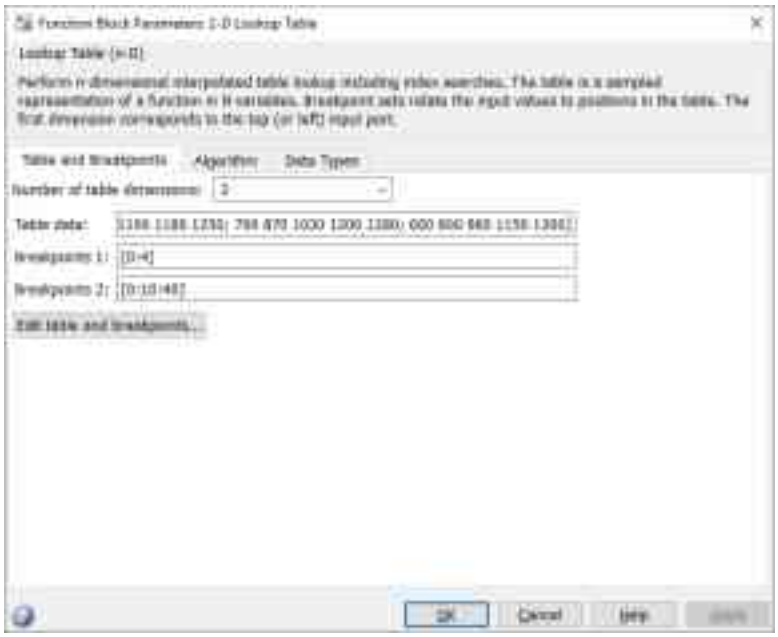


Рисунок 4.2 – Створення нелінійної статичної характеристики об’єкту керування за допомогою елемента Look Table (2-D)

Аналіз наведених графіків показує правильність виконаних розрахунків системи. САК температурою у запалювальному горні забезпечує точне відпрацювання сигналу завдання підтримки заданої температури в горні з перерегулюванням σ = 11 % та тривалістю перехідного процесу t_p = 308 с. Статична похибка в системі відсутня.

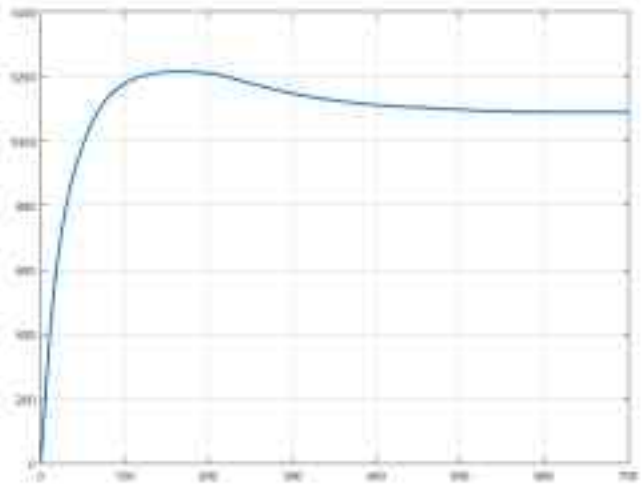


Рисунок 3.3 – Графік змінення температури у запалювальному горні (залежність температури від часу)

На рис. 4.4 наведено відповідний графік змінення положення регулюючого органу в часі.

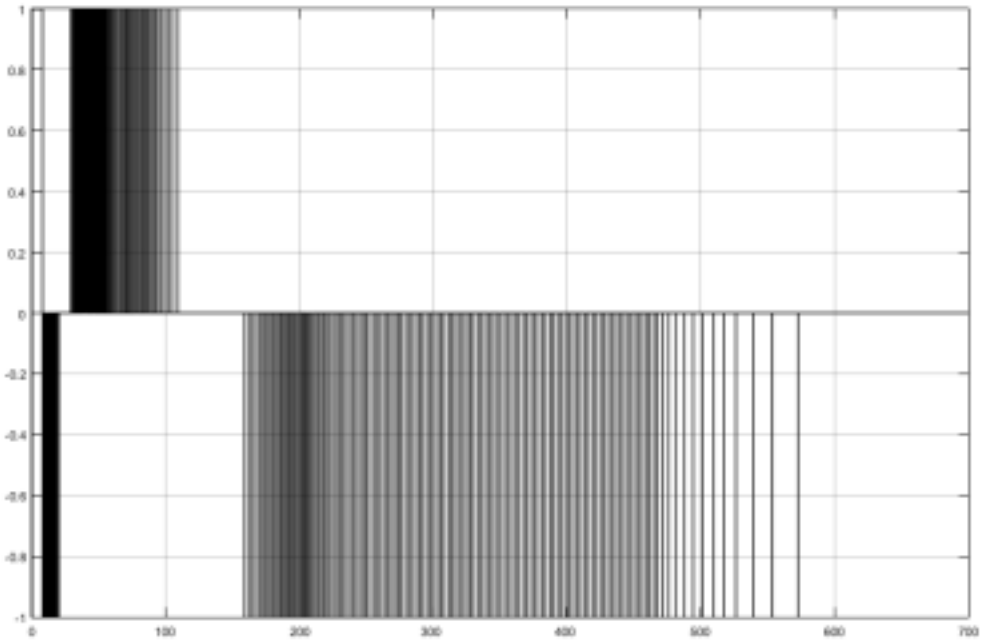


Рисунок 4.4 – Графік змінення положення заслінки в процесі регулювання температури у запалювальному горні

На рис. 4.5 наведено графік змінення співвідношення витрати газу до витрати повітря в процесі регулювання температури у запалювальному горні.

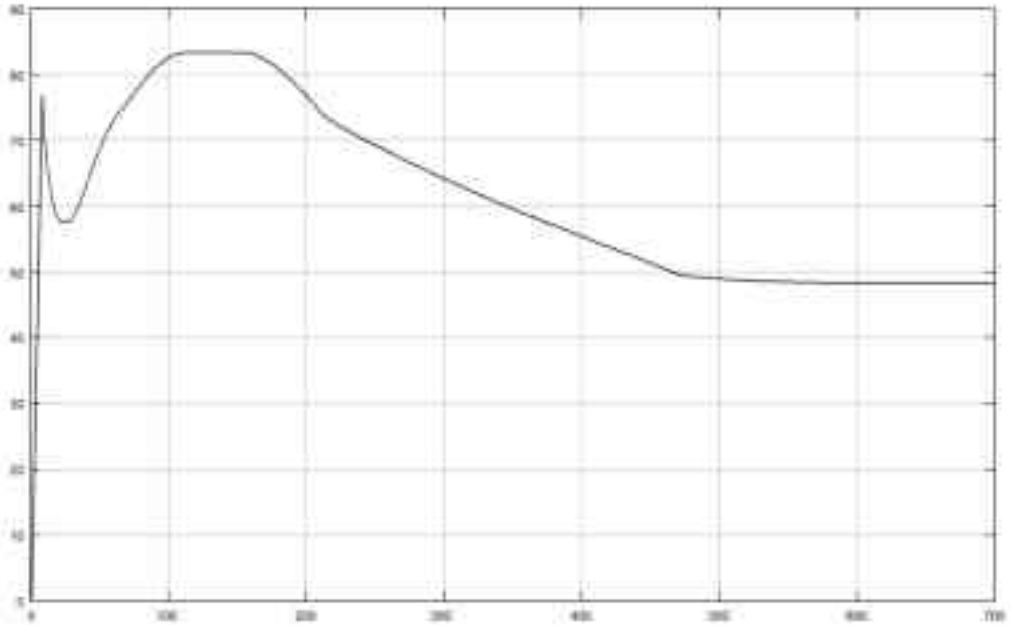


Рисунок 4.5 – Графік змінення співвідношення витрати «газ – повітря» в процесі регулювання температури запалювання шихти

5 Особливості монтажу та налагодження системи

5.1 Розробка програмного забезпечення системи візуалізації процесу запалювання шихти

Програмне забезпечення АСК температурним режимом запалюванням шихти в умовах агломераційного цеху складається з системи контролю та візуалізації технологічного процесу, встановленої на робочому місці (АРМ) агломератника.

5.1.1. Основні вимоги до функціональності системи візуалізації

На основі аналізу технологічного процесу запалювання шихти в умовах агломераційного цеху та технічних вимог до автоматизованої системи керування можна зробити висновок, що система візуалізації процесу повинна відображати загальну мнемосхему запалювального горна та агломашини, а також відображати параметри по температурі та клапанам, що регулюють подачу газу і повітря, графік змінення температу у запалювальному горні в часі в залежності від співвідношення газ-повітря.

5.1.2. Налаштування програмного забезпечення Vijeo Citect

На початку роботи потрібно налаштувати середовище SCADA-системи. Наведені далі екранні форми середовища розробки Vijeo Citect відповідають основним (глобальним) налаштуванням у середовищі SCADA, які забезпечують зв’язок і обмін інформацією між контролером Simatic S7-300 та системою візуалізації.

Відображення елементів людино-машинного інтерфейсу в SCADAсистемі здійснюється за допомогою стандартних функціональних модулів Vijeo Citect:

– сервера вводу-виводу (I/O Server – сервер вводу-виводу), який забезпечує передачу даних між фізичними пристроями введення-виведення та іншими модулями Vijeo Citect;

– клієнта візуалізації (Display Client), який забезпечує операторський інтерфейс: відображення даних, що надходять від інших модулів Vijeo Citect, і управління виконанням команд оператора;

– сервера алармів (Alarm Server), який відстежує дані, порівнює їх з допустимими межами, перевіряє виконання заданих умов, і відображає аларми на відповідному вузлі візуалізації;

– сервера звітів (Report Server), який генерує звіти після закінчення певного часу, при виникненні певної події або за запитом оператора;

– сервера трендів (Trend Server), який збирає і реєструє трендову інформацію, дозволяючи фіксувати розвиток процесу в реальному часі або ретроспективно у вікні трендів або у файлі.

Кластеризація дає можливість групувати в межах одного проекту незалежні набори серверних компонентів Vijeo Citect, що дозволяє одночасно контролювати кілька систем і керувати ними. Для кожного проекту Vijeo Citect потрібно мати хоча б по одному з наступних компонентів – сервер вводу-виводу, сервер звітів, сервер сигналів тривог і сервер трендів. Ці компоненти можна розподілити між декількома комп’ютерами, а можна розмістити на одному (така конфігурація називається автономною).

Для реалізації системи візуалізації процесу керування поточно-транспортною системою необхідно виконати налаштування відповідних функціональних модулів Vijeo Citect:

– налаштування кластеру (Clusters): в проекті – один під назвою «Cluster1»;

– мережевих адрес (Network Addresses) комп’ютерів, на яких будуть розгортуватися відповідні сервери: в нашому проекті – один із ім’ям «NetworkAddress» та адресою 192.168.1.277;

– сервера вводу-виводу (I/O Servers): в даному проекті – один із ім’ям «IOServer», який забезпечує зв’язок із засобами вводу-виводу;

– сервера трендів (Trend Servers): один із ім’ям «TrendServer»;

– сервера тривог (Alarm Servers): один із ім’ям «AlarmServer»;

– сервера звітів (Report Servers): один із ім’ям «ReportServer».

Оскільки всі сервери планується розмістити на одному ПК (автоматизованому робочому місці диспетчера), то у вікнах налаштувань I/O Servers, Trend Servers, Alarm Servers та Report Servers в полі Network Addresses необхідно вказати раніше відконфігурований мережевий адрес «NetworkAddress», а в полі «Cluster Name» – значення «Cluster1». Основні налаштування середовища та серверів SCADA-системи наведено на рис. 5.1.

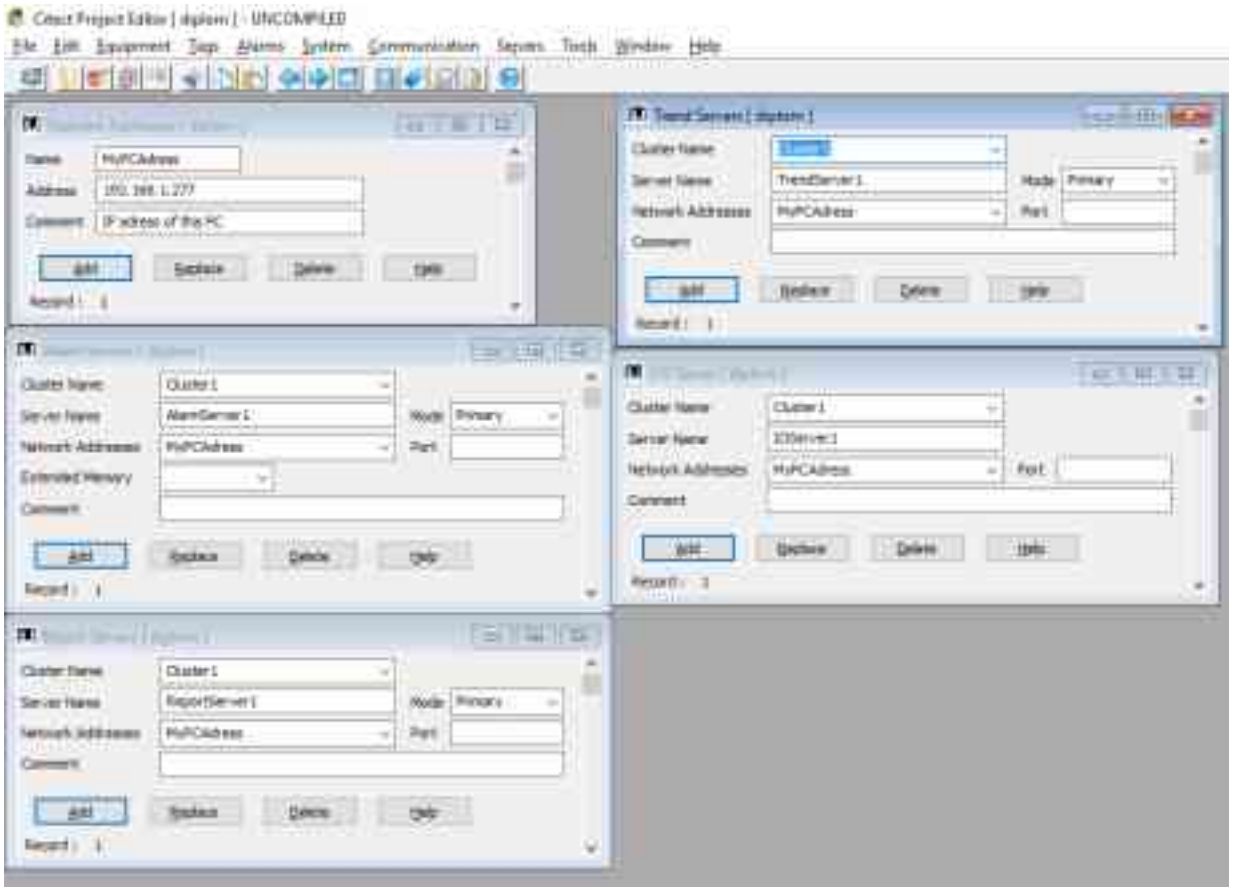


Рисунок 5.1 – Основні налаштування функціональних модулів Vijeo Citect для системи візуалізації процесу запалювання шихти

Для всіх змінних, які в середовищі системи SCADA називаються тегами змінних (Variable Tag), обов’язковими для визначення є наступні параметри (рис. 5.2):

– назва тегу (Variable Tag Name) – ім’я змінної технологічного процесу, що відображається або використовується, що повинна обов’язково вводитися без пробілів;

– назва кластера (Cluster Name): в даній роботі використовується один з ім’ям «Cluster1», заданий в серверних налаштуваннях;

– назва засобу вводу-виводу (I/O Device Name);

– адреса змінної (Address), яка складається з двох частин: «назва засобу вводу-виводу» «адреса змінної в цьому засобі».

За бажанням до кожного тегу можна додати коментарі (Comments) будь-якою мовою, які в проекті відображають звичайну назву тегу.



Рисунок 5.2 – Приклад налаштування параметрів тегів для системи візуалізації процесу запалювання шихти

Система Vijeo Citect підтримує три типи трендів:

– періодичні (Periodic, графіки будуються постійно на основі заданого інтервалу часу);

– викликані подіями (Event, чергові точки графіка будуються щоразу, коли відбувається задана подія, тобто виявляється справедливою задана умова);

– змішані (Periodic Event, побудова графіків із заданим періодом відбувається тільки у разі виконання заданої умови).

Тренди можуть бути додані в систему Vijeo Citect шляхом створення тренд-тегів. Кожен тренд-тег повинен мати один або кілька окремих файлів, в яких зберігаються дані. Vijeo Citect безперервно зберігає дані тренда, незалежно від того, чи буде відображатися тренд на графічній сторінці. Основними параметрами налаштування тренд-тегів є (рис. 5.3):

– Trend Tag Name – назва тренд-тегу;

– Expression – вираз на мові CiCode або ім’я тегу, що буде відображатися відповідним тренд-тегом;

– Sample Period – період оновлення значень тренд-тегу;

– Type – тип тренду (періодичний, викликаний подіями, змішаний);

– File Name – ім’я файлів для архівування значень тренд-тегу протягом обраного при конфігуруванні системи часу;

– No. File – кількість файлів для зберігання архіву значень;

– Time, Period – визначають інтервал часу, для якого зберігаються дані щодо значень змінної тренд-тегу.

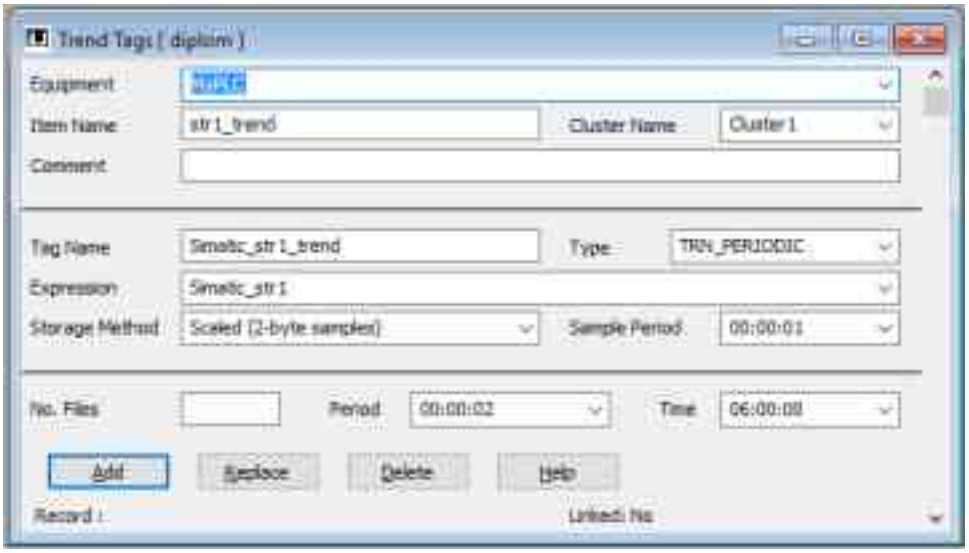
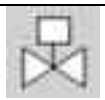
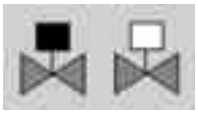


Рисунок 5.3 – Параметри налаштування тренд-тегів

На рис. 5.4 відображено агломераційну машину, запалювальний горн, 2 клапани, що регулюють подачу газу і повітря. Кнопки, що перемикають ручний та автоматичний режим (MAN і AUTO відповідно), кнопки DOWN і UP для збільшення або зменшення витрати газу, витрати повітря, температури у горні. Також відображений графік зміни температури у запалювальному горні з часом.

На операторському екрані є три панелі. Дві з них відображають роботу клапанів (відсоток відкриття клапану) і витрату газу та повітря. Третя панель відображає температуру у запалювальному горні. Всі панелі мають кнопки перемикання на ручний та автоматичний режим, і кнопки для збільшення або зменшення вихідної величини (втрати газу, втрати повітря, температури).

Таблиця 5.4 – Стани роботи клапанів

№	Зображення стану клапана на екрані оператора	Значення стану клапана, що відображається
1		Клапан не функціонує або немає зв’язку
2		Клапан відкритий
3		Клапан закритий
4		Перехідні стани клапану (закривається або відкривається)

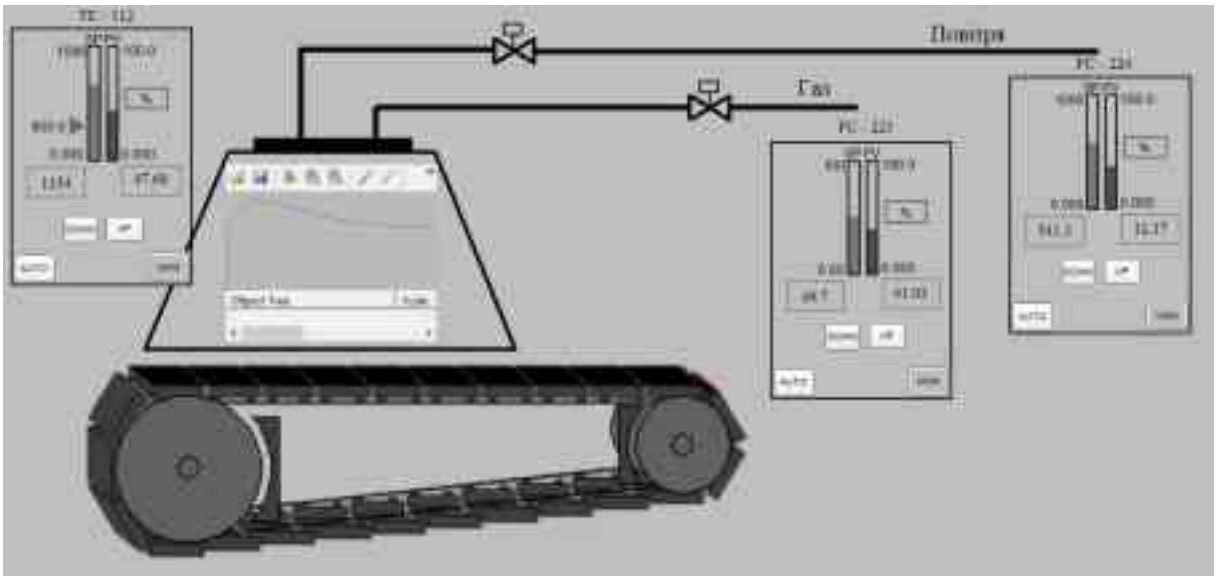


Рисунок 5.9 – Розроблена SCADA-система процесу запалювання агломераційної шихти

ВИСНОВОК

Випускна кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованої системи керування процесом запалювання агломераційної шихти на агломераційній машині К-1-75 агломераційного цеху шляхом розробки системи візуалізації технологічного процесу. Метою досліджень є вдосконалення системи контролю та управління технологічним процесом, підвищення ефективності роботи, забезпечення ведення технологічних процесів в оптимальних режимах та надання можливості аналізу роботи операторів і обладнання, і, як наслідок, перехід на якісно інший рівень управління технологічними процесами.

В роботі був виконаний аналіз технологічного процесу спікання та запалювання шихти, існуючого технологічного устаткування та засобів автоматизації, в результаті чого було сформоване технічне завдання на розробку системи автоматичного керування запалюванням шихти. Були сформовані вимоги до математичного забезпечення, комплексу технічних засобів системи та програмного забезпечення.

Виконано аналіз особливостей керування температурним режимом запалювання шихти. Розглянуті математичні моделі процесів керування температурним режимом у запалювальному горні, запропоновано структуру системи автоматичного керування температурою запалювання шихти.

Описано структуру комплексу технічних засобів автоматизованої системи керування процесом запалювання шихти, що повинна складатися з трьох рівнів: підсистема оперативно-диспетчерського керування, підсистем керування об’єктами та устаткування польового рівня. Показано, що нижній (контролерний) рівень АСК процесом запалювання шихти доцільно реалізувати на базі ПЛК Simatic S-7 300, що дозволить забезпечити високу обчислювальну продуктивність та надійність системи, максимальне наближення до об’єкта керування. У відповідності з обраним підходом обрано відповідні технічні засоби для реалізації всіх рівнів системи.

Також розроблена комп’ютерна модель системи керування температурним режимом запалювання шихти в пакеті MATLAB. Розроблено систему контролю та візуалізації процесу запалювання шихти, яка відображає поточний стан та параметри технологічного процесу з використанням пакету Vijeo Citect. Використання запропонованої системи візуалізації ТП забезпечить надання технологічному персоналу всієї необхідної оперативної інформації і дозволить приймати правильні рішення щодо керування процесом.

Отже, розроблені проектні рішення щодо автоматизації процесів керування запалювання агломераційної шихти шляхом реалізації комплексу технічних засобів та програмного забезпечення у вигляді системи візуалізації технологічного процесу, що відповідають всім сучасним вимогам до систем автоматизації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Огурцов А. П., Илюкович В. М. Металлургия черных и цветных металлов. Днепродзержинск: ДГТУ, 1995. 172 с.

2. Мовчан В.П., Бережний М.М. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги, 2001. 335 с.

3. Основи металургійного виробництва металів і сплавів / Д.Ф. Чернега та ін. Київ: Вища школа, 2006. 503с.

4. Воденніков С.А., Галицький Ю.П. Теорія та технологія електросталеплавильного виробництва. Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2010. 230с.

5. Воденніков С.А., Тарасов В.К., Воденнікова О.С. Конструкція агрегатів чорної металургії. Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2012. 192с.

6. Influence of beneficiated sinter grade iron ore fines size on sinter productivity and quality. Umadevi Tekkalakote, Brahmacharyulu Angalakuditi, Rameshwar sah, Marutiram Kaza and Pradipta chandra Mahapatra. Metall. Res. Technol. Volume 114, Number 1, 2017. 105. Number of page(s) 12. DOI https://doi.org/10.1051/metal/20160501.

7. Сигов А.А., Шурхал В.А. Агломерационный процесс. Киев: Техника, 1969. 232 с.

8. Д.А.Ковалев, А.В.Бабенко, Н.Д.Ванюкова, М.В.Ягольник. Исследование влияния процессов активации твердофазовых реакций на качество продукта и производительность при окусковании железорудных офлюсованных шихт. *Сучасні проблеми металургії*. 2006, Том 9. С.53-64.

9. Ларичева Л.П., Волошин М.Д., Луценко О.П. Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. 320с.

10. Лукінюк М.В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об’єкти керування та схеми автоматизації. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 236 с.

11. Кожухар В.Я., Брем В.В., Каверін Ю.Ф. Автоматичні системи керування хіміко-технологічними процесами. Одеса: Екологія, 2005. 222 с.

12. Промислові засоби автоматизації. Ч. 1. Вимірювальні пристрої / Бабіченко А.К. та ін. Харків: НТУ «ХПІ», 2003. 470 с.

13. Стенцель, Й. І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв. Київ: ІСДО, 1995. 360 с.

14. Датчик тиску Метран [Електронний ресурс] – Режим доступу: // https://pribortrade.com.ua/datchik-davleniya-metran-100/

15. Датчик тиску Метран [Електронний ресурс] – Режим доступу: // https://www.germiona.com.ua/pressure_sensors_metran.html

16. Каталог Siemens Simstic S7-300 [Електронний ресурс] – Режим доступу: // https://eleksun.com.ua/blog/article/programnyy-kontroler-simatic-s7-300-siemens

17. Мных, А. С. Решение задачи распределения температуры в единичном объеме агломерационного слоя методом конечных элементов с учетом внутреннего источника тепла. *Збірник наукових праць ДДТУ*. 2014. №2(25). С 47-51.

18. Рижов А.П. Конспект лекцій по дисципліні «Паливо та теорія горіння, спалюючі пристрої» для студентів денної форми навчання за напрямом 6.050601 «Теплоенергетика». Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. 96 с.

19. Частухин В.И., Частухин В.В. Топливо и теория горения. Киев: Вища школа, 1989. 312с.

20. Сільвестров А.М., Островерхов М.Я., Шефер О.В., Ладік Н.А., Зіменков Д.К. Сучасні системи автоматичного керування технологічними комплексами. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 386 с.

21. Хобин В.А. Конспект курса лекций по дисциплине “Теория автоматического управления” Одесса, 2007.

22. Новицький І.В., Ус С.А. Сучасна теорія керування. Дніпро: НГУ, 2017. 263 с.

23. Пройдак Ю.С. Теплотехніка, енергетика та екологія в металургії. Дніпро : Нова ідеологія, 2017. 340 с.