

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра "Автоматизації виробничих процесів"

"Допущено до захисту"

Зав.кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____ Дідик О.К.

" _____ " _____ 2024р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему

"Система керування сушіння обкотишів з розробкою візуалізації
технологічного процесу"

"Control system for drying rolls with development of process visualisation"

Виконав: здобувач вищої освіти

IV курсу, групи АК-21-Зск

ОПП «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

спеціальність 151 «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

_____ Матвій ВОЗНОСИМЕНКО

" _____ " _____ 2024р.

Керівник роботи

професор, д-р техн.наук

_____ Василь КОНДРАТЕЦЬ

" _____ " _____ 2024р.

Рецензент _____

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 Опис технологічного процесу виготовлення обкотишів.....	5
1.1. Коротка характеристика технологічного процесу виробництва обкотишів на ПрАТ «Полтавський ГЗК».....	5
1.2. Загальна характеристика існуючої системи керування процесом сушіння залізорудних обкотишів для умов конвеєрної випалювальної машини ОК – 306.....	11
1.3. Обґрунтування необхідності модернізації системи керування процесом сушіння залізорудних обкотишів в умовах конвеєрної випалювальної машини ОК-306	17
1.4. Розробка технічних вимог до системи керування процесом сушіння залізорудних обкотишів в умовах конвеєрної випалювальної машини ОК- 306 ПрАТ «Полтавський ГЗК»	19
1.4.1. Вимоги до математичного забезпечення.....	21
1.4.2. Вимоги до інформаційного забезпечення	22
1.4.3. Вимоги до програмного забезпечення.....	23
1.4.4. Вимоги до технічного забезпечення	24
2 Обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу.....	26
2.1. Розробка принципів керування процесом сушінні обкотишів	26
2.2. Математичне забезпечення автоматизованої системи керування процесом сушіння обкотишів.....	31
2.2.1. Розробка структури системи автоматичного керування температурою та тиском в технологічних зонах КВМ	31
2.2.2. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного керування температурою та тиском в технологічних зонах КВМ	38
2.3. Технічне забезпечення.....	42
2.3.1. Опис структури комплексу технічних засобів АСК процесом термічної обробки обкотишів.....	42
2.3.2. Вибір обладнання автоматизації польового рівня	45

2.3.3. Вибір та обґрунтування промислового контролера та модулів введення-виведення	51
3 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність системи.....	57
3.1. Програмне забезпечення АСК температурним режимом випалювання обкотишів	57
3.2. Розробка проекту системи візуалізації керування процесом сушіння обкотишів в умовах фабрики огрудкування.....	60
3.2.1. Розробка програми для контролеру	62
3.2.2. Розробка системи контролю та візуалізації технологічного процесу сушіння обкотишів	67
ВИСНОВКИ	80
Література.....	

ВСТУП

Виробництво залізорудних окатишів останнім часом швидко розвивалося в багатьох країнах світу і наразі перевищує 300 млн тонн на рік.

Для виробництва обкотишів зазвичай використовуються тонкоподрібнені концентрати, частка яких у продукції збагачувальних фабрик останнім часом збільшується. Це пов'язано зі зменшенням запасів багатих руд і зростанням частки бідних та важкозбагачувальних руд у шихті [1].

Головним обладнанням, що впливає на продуктивність фабрики огрудкування і якість кінцевої продукції, є конвеєрна випалювальна машина (КВМ), де здійснюється термічна обробка обкотишів.

Кінцевий продукт випалювальних машин – залізорудні обкотиші, які за якісними характеристиками наближаються до агломерату, але мають ряд переваг. Вони відзначаються високою міцністю під час тривалого зберігання, транспортування та перевантаження, а також більш однорідним гранулометричним складом, що забезпечує кращу газопроникність шару шихтових матеріалів у процесі доменної плавки. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню продуктивності плавки чавуну та зменшенню кількості шлаків.

Для підвищення продуктивності та економічності роботи фабрик огрудкування створюються спеціальні системи автоматичного контролю та стабілізації окремих параметрів процесу випалювання обкотишів на конвеєрній випалювальній машині.

Суть бакалаврської роботи полягає у вивченні системи автоматизованого управління процесом сушіння обкотишів з метою поліпшення якості кінцевого продукту випалювальної машини.

Покращення автоматизованої системи управління процесом сушіння обкотишів через створення системи візуалізації процесу є ключовим чинником у підвищенні продуктивності.

Таким чином, створення візуалізаційної системи для управління процесом сушіння обкату є актуальним завданням, яке допоможе підвищити якість продукції та зробить роботу працівників ефективнішою. Отже, метою

кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованої системи керування процесом сушіння обкотишів та створення системи контролю і візуалізації технологічного процесу для потреб фабрики обробки ПрАТ «Полтавський ГЗК».

Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- Провести аналіз технологічного процесу сушіння обкотишів за умов конвеєрної випалювальної машини.
- Скласти технічне завдання для створення автоматизованої системи контролю процесу сушіння обкотишів.
- Обґрунтувати організацію структури системи автоматизованого управління процесом сушіння покриттів в технологічних зонах КВМ.
- Розробити систему, яка відображатиме параметри технологічного процесу сушіння обкотишів.

Використання сучасних засобів автоматизації та програмного забезпечення для автоматизованих систем (HMI/SCADA) сприяє підвищенню ефективності та надійності автоматичного керування. Отже, у рамках кваліфікаційної роботи також потрібно обрати та аргументувати вибір комплексу технічних засобів для реалізації системи керування процесом сушіння обкотишів.

1 Опис технологічного процесу виготовлення обкотишів

1.1. Коротка характеристика технологічного процесу виробництва обкотишів на ПрАТ «Полтавський ГЗК»

Виробничий цех №1, де виготовляються обкотиші, є ключовим підрозділом Полтавського гірничо-збагачувального комбінату. Цей цех представляє собою складний виробничий комплекс, спеціалізований у виробництві окатишів.

Завданням цеху є виконання виробничого плану та відвантаження обкотишів відповідної якості відповідно до установлених термінів, відповідно до стандартів і технічних умов, з мінімальними витратами трудових, матеріальних, енергетичних і фінансових ресурсів. Фабрика обпалювання виготовляє обпалені залізорудні обкотиші, використовуючи шихту з домішками (вапняк і бетоніт) як сировину для виробництва обкотишів.

Підприємство, що спеціалізується на виготовленні окатишів, має в своєму складі конвеєрну випалювальну машину ОК-306 з площею спікання 306 квадратних метрів. Також до складу комплексу входить...

- Корпус прийому бентоніту і вапняку;
- Ділянку приготування бентоніту і вапняку;
- Корпус прийому і дозування концентрату;
- Ділянку приготування шихти;
- Корпус огрудкування і випалу;
- Корпус сортування обпалених окатишів;
- Склад обпалених окатишів.

Рудною сировиною для заводу є концентрат залізної руди, який постачається з заводу збагачення. На рис.1.1 зображено основні технологічні процеси, їх послідовність та взаємозв'язок.

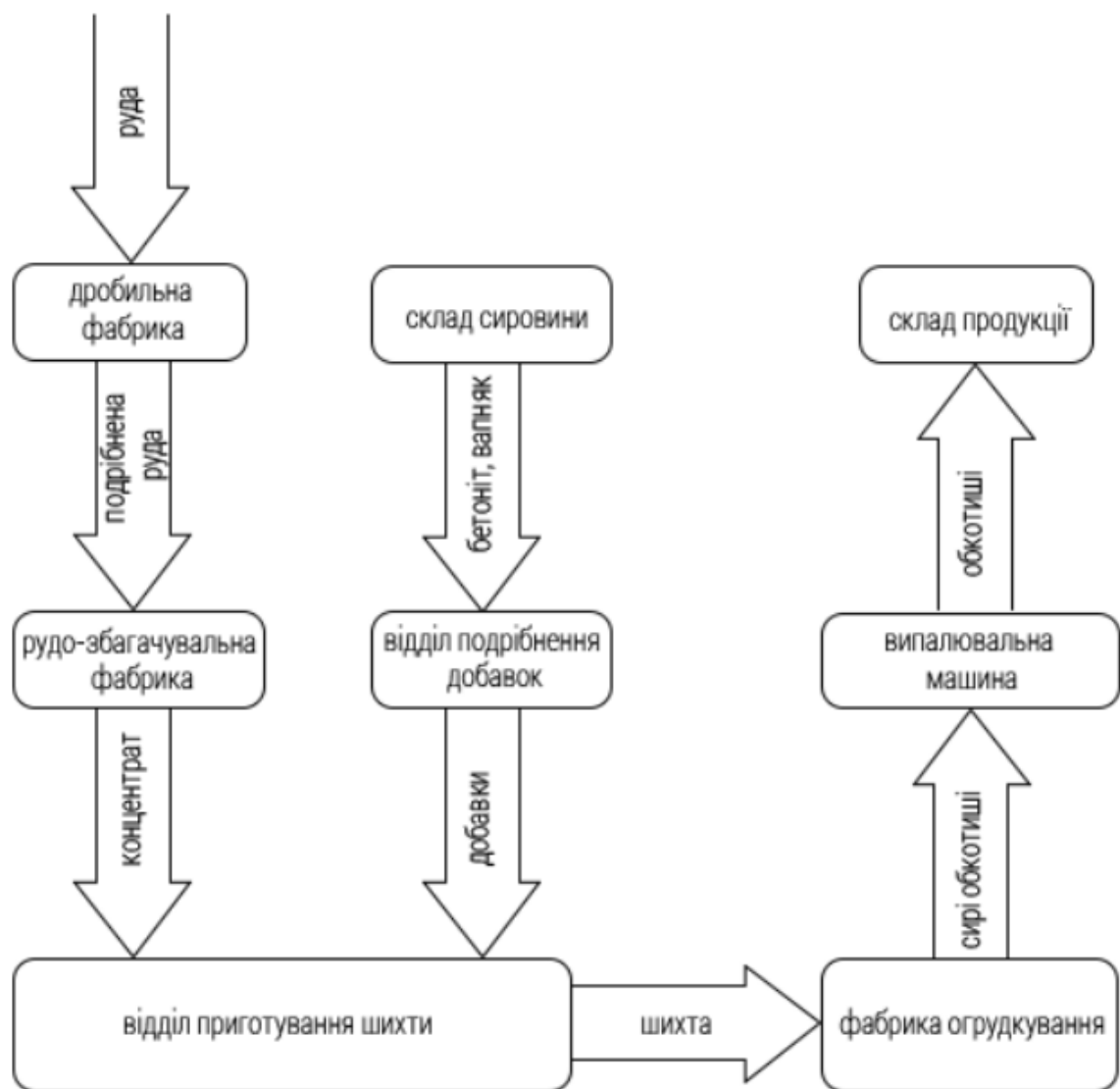


Рисунок. 1.1 – Технологічна схема процесу виробництва обкотишів

Сировиною для виготовлення обкотишів є волога суміш, яка складається з концентрату та добавок. Сирі обкотиші повинні володіти достатньою міцністю, щоб уникнути пошкоджень під час транспортування до випалювального агрегату, а також мати хорошу термостійкість, щоб не піддаватися руйнуванню під час випалювання. Для покращення цих властивостей до суміші додають сполучні добавки, головним чином бентоніт, а також його розчин у воді, вапняк та інші компоненти. Технологічний процес складання суміші полягає в точному дозуванні її складових і ретельному перемішуванні.

Концентрат - результат глибокого збагачення руди, що містить велику кількість заліза. Це основний компонент суміші, який транспортується з

збагачувального заводу до зон підготовки суміші за допомогою конвеєрної системи. Якість концентрату визначається технологічними характеристиками.

Вапняк використовується в шихті як флюсова добавка для поліпшення властивостей обкотишів. Його постачають у партіях до 4000 тонн у піввагонах зі складу сировини до відділу подрібнення добавок. Дроблення вапняку до розміру 3-0 мм необхідне для забезпечення однорідності реакції з рудними матеріалами, що впливає на якість обкотишів. Після подрібнення він транспортується до відділу приготування шихти.

Бентоніт використовується як добавка, що в'язке, в шихті для покращення якості сирової суміші і прискорення процесу сушіння під час теплової обробки. Вагони, що містять бентоніт, транспортуються на складі сирової суміші так само, як і вагони з вапняком.

Загалом, грамотно сформована і уважно збалансована суміш матеріалів стабілізує процес формування заготовок, що призводить до покращення якості виробу, збільшення ефективності роботи верстатів та печей. Склад суміші визначається на основі хімічного складу компонентів і заданих характеристик готових виробів. Головне завдання у процесі формування суміші полягає в точному і правильному дозуванні її складових..

Якість необроблених обкотишів залежить від рівномірності складу шихти, її вологості та розподілу вапняку та бентоніту у всій масі шихти, а також від вмісту та якості домішок. Рівномірність шихти досягається через правильне дозування складових компонентів та їх уважне змішування. При обпалюванні рівномірної шихти всі обкотиші піддаються процесу з однаковою швидкістю, набираючи однакові розміри і властивості, що максимізує вихід продукції відповідного класу.

Якщо процес дозування і змішування сировини не відповідає вимогам, то форма обкотишів варіюється, вони містять багато дрібних фрагментів, що негативно впливає на умови випалення та знижує ефективність випалювальної машини.

Технологія виробництва обкотишів полягає у двох етапах: спочатку волога шихта огрудковується у спеціальних апаратах, таких як окомкувачі (щоб отримати сирі обкотиші), а потім гранули зміцнюються (за допомогою випалювання або без нього), щоб надати обкотишам необхідну міцність для зберігання, транспортування до доменних цехів і плавлення в печах.

Сирі обкотиші формуються під час обкатування тонкодисперсного залізорудного матеріалу, який зволожується до певної міри. Піддаваний подрібненню матеріал, що має велику поверхню і, відповідно, високу поверхневу енергію, потребує термодинамічного процесу укрупнення частинок. Зволожений залізорудний порошок відноситься до гідрофільних дисперсних систем, які відрізняються інтенсивною взаємодією з водою. У такій системі прагнення до зменшення енергії відбувається через зниження поверхневого натягу на межі розділу фаз (під час взаємодії частинок з водою) і укрупнення частинок через їх зчеплення. Отже, система "дисперсний залізорудний матеріал - вода" тенденційно спрямована на агрегацію.

Технологія випалення обкотишів

Сирі обкотиші піддаються процесам сушіння та випалювання при високих температурах. Випалювання має на меті зміцнення обкотишів для захисту їх від пошкоджень під час транспортування, зберігання та плавлення в доменних печах. Цей процес підвищує міцність обкотишів на стиск до 1,96-2,94 кН/обкотиш. Сушка обкотишів повинна проводитися повільно, щоб уникнути можливих тріщин або повного руйнування (так званого "шоку") під впливом водяної пари, що виділяється всередині обкотишів.

Сушка та попередній нагрів обкотишів проводяться на рухомій колосниковій решітці. Для захисту випалювальних візків машини на них викладається донна та бортова постіль із випалених і некондиційних обкотишів. Сирі обкотиші, розміщені на постелі, рухаються на випалювальних візках машини з певною швидкістю через відповідні технологічні зони, де їх сушать, підігрівають, випалюють при високих температурах і охолоджують.

Три зони пройдені обкотишів: сушка у висхідному напрямку, сушка у низхідному напрямку та попередній підігрів у низхідному напрямку. У процесі сушіння у висхідному напрямку, гарячі гази з температурою 400 ° С подаються знизу в шар обкотишів, випарюють вологу з них та підігрівають їх до середньої температури близько 230°C. Після проходження через шар гази охолоджуються до приблизно 93°C та видаляються в атмосферу після очищення від пилу. У процесі сушіння у низхідному напрямку гарячі гази також проникають через шар зверху вниз, з метою видалення вологи з верхнього шару обкотишів для запобігання їх руйнуванню в зоні попереднього нагріву. Під час попереднього нагріву гази з температурою 1040 - 1050°C також проникають через шар зверху вниз, з метою надання необхідної міцності обкотишам перед їх випаленням у печі. Середня температура обкотишів після цього етапу - 980°C. Теплова обробка обкотишів на решітці здійснюється гарячими газами, що відходять з печі. Перекачування газів по зоні решітки здійснюється за допомогою трьох вентиляторів: два з них пропускають газ через шар обкотишів у зоні попереднього нагріву та сушки у низхідному напрямку і подають його в зону сушіння у висхідному напрямку, тоді як третій вентилятор відсмоктує газ з ковпака цієї зони. Система також передбачає можливість відведення надлишкового газу, що надходить з печі, у зону попереднього нагріву та його подачу в зону сушіння у висхідному напрямку (байпасна система).

Решітка має проміжну суху газоочисну систему, яка розташована перед вентилятором зони попереднього нагріву (циклонами), а також перед вологим очищенням (скруберами) перед вентилятором в зоні сушіння за допомогою висхідного потоку. Ця установка призначена для санітарного очищення аспіраційного повітря, технічних газів і повернення зібраного матеріалу.

Сушіння та випалювання обкотишів здійснюються у конвеєрній системі обпалювальної машини. На Північному гірничо-збагачувальному комбінаті використовується випалювальна машина ОК-306, і її основні технічні параметри можна знайти у табл.1.1. Схема теплових потоків обпалювальної машини ОК-306 наведена на рис.1.3.

Готові вироби з випалювальної машини переміщуються на склад завдяки конвеєру, який транспортує випалені обкотиші.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики випалювальної машини ОК-306

№з/п	Тип випалювальної машини	ОК-306
1	Продуктивність, т/год	280
2	Робоча ширина/довжина, м	3/102
3	Робоча площа, м ²	306
4	Висота шару обкотишів, мм	450
5	Кількість газоповітряних камер, шт.	34
6	Розмір газоповітряної камери, м	3x3
7	Кількість випалювальних візків, шт.	189
8	Розмір випалювальних візків, м	3x1,35
9	Маса випалювального візка, т	6,8
10	Швидкість руху випалювальних візків, м/хв	0,63-3,78
11	Питома витрата тепла палива мДж/т (тис. ккал/т)	502 (120,0)
12	Максимальна температура над шаром обкотишів в зоні випалу, °С	1350
13	Максимальна температура в газоповітряній камері зони рекуперації, °С	550
14	Температура обкотишів на виході з машини, °С	150
15	Потужність електродвигуна приводу машини, кВт	17
16	Маса машини, т	3500

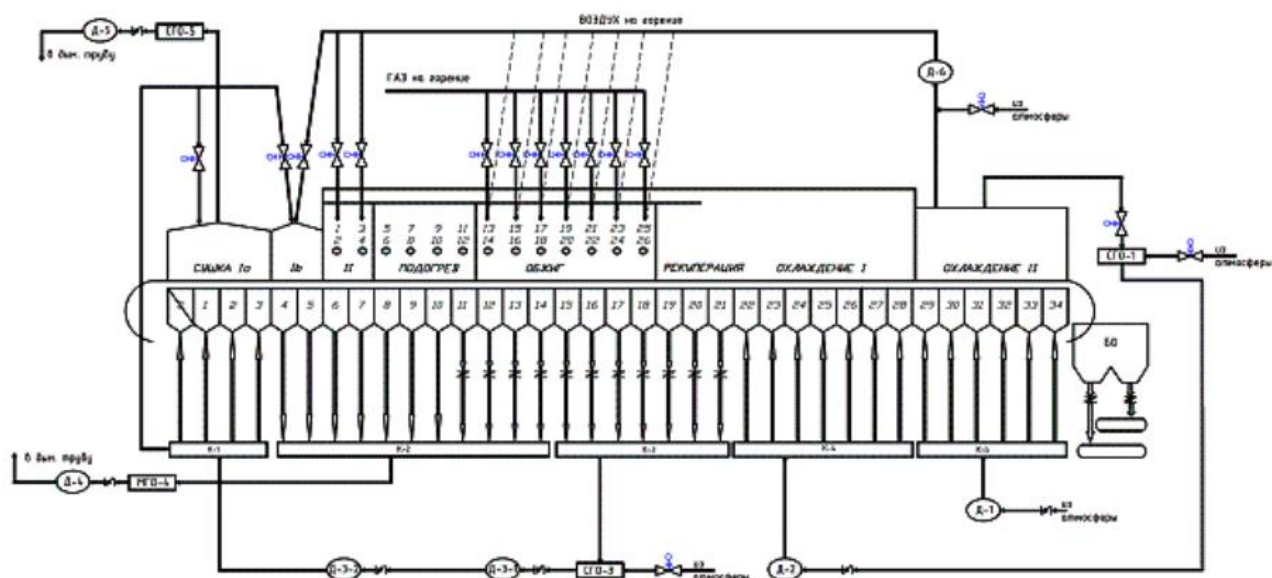


Рисунок.1.2 – Схема теплових потоків машини ОК-306

1.2. Загальна характеристика існуючої системи керування процесом сушіння залізорудних обкотишів для умов конвеєрної випалювальної машини ОК- 306

Управління процесом випалу на машинах ОК-306 №1 і №2 здійснює оператор-технолог з пункту управління, обладнаного пультами керування та щитами КВПіА, що розташований біля машин №1 і №2.

Поточна система керування випалювальною машиною ОК-306-1 ґрунтується на місцевих регуляторах і реєстраторах. Основні регулятори працюють за принципом пневматики.

На пневматичних регуляторах забезпечено автоматичне підтримання оптимального співвідношення газу і повітря для кожного пальника окремо, а також контроль тиску/вакууму у печах. Управління кожним пальником в печі здійснюється за допомогою керуючої термопари. При включенні індивідуальних регуляторів температури над кожним пальником регулюється співвідношення газу і повітря. Це призводить до взаємовпливу сусідніх та протилежних пальників на термопари, що ускладнює стабілізацію температури вздовж печі.

Регулювання висоти шару обкоту здійснюється шляхом зміни швидкості переміщення палет, не враховуючи масу просипу з-під роликового укладача і часу транспортування до вагового контролю. Фактична висота шару не вимірюється через відсутність датчиків. У цьому регульовальному процесі не передбачено миттєвої зміни коефіцієнта перерахунку маса-висота. Для приводу використовується двигун постійного струму зі зворотним зв'язком по швидкості, що вимірюється індукційним датчиком з низькою точністю.

Ваги для складального конвеєра надає компанія SCHENCK, а для просипу - ВКТ, що знаходиться у місті Запоріжжя. Управління шибром бункера з рівнем постілі дистанційно не виконується, так само в системі не передбачено аварійного введення постілі. Програма автоматичної підтримки режиму термообробки під час зупинки обпалювальної машини також відсутня, тому оператор повинен самостійно закривати направляючі апарати та регулювати температуру по пальникам під час зупинок. Через часті зміни температури скорочується термін експлуатації футеровок горниць та захисних чохлав термопар. Запуск приводів дроселів здійснюється через пускачі.

Контроль за станом димовідведень проводиться частково на місці, частково у внутрішньому приміщенні. Оцінюються коливання головних підшипників, їх температура та сигнали реле обмеження масла. Тиск масла підтримується маслозаправними станціями, а при нестачі масла резервні станції автоматично підключаються.

Контроль рівня готової продукції і матеріалів у бункерах виконується за допомогою тензодатчиків. У випадку зупинки машини або перевищення максимально допустимої температури у вакуум-камерах, автоматично відкриваються "пневмолюки". Цей процес здійснюється дистанційно, а люки працюють на газо-повітряних камерах №№16-20.

Стан імпульсних трубок, кабельних маршрутів, обслуговувальних майданчиків та датчиків вказує на їх аварійну або критичну працездатність. Замовник вирішив провести етапну реконструкцію системи автоматизації,

замінивши повністю кабельні маршрути та імпульсні трубки, а також проведе максимальну заміну всіх полевих датчиків КВП.

В даній бакалаврській роботі передбачена модернізація теплової схеми обпалювальної машини, включаючи часткову заміну контрольно-вимірювальних приладів і виконавчих механізмів.

У табл. 1.2 наведено перелік контрольованих параметрів.

Таблиця 1.2 – Перелік контрольованих параметрів обпалювальної машини ОК-306-1

№ з/п	Контрольований параметр	Вимірювальний пристрій	Кількість точок вимірювання
1	2	3	4 точки вимірювання
1	Вага сирих обкотишів	Конвеєрні ваги	1 точка вимірювання
2	Вага сирого повернення	Конвеєрні ваги	1 точка вимірювання
3	Рівень в бункерах постілі і готової продукції	Тензодатчики	2 точки вимірювання
4	Контроль швидкості ОК-306- 1 візків обпалювальної машини	ТГ	1 точка вимірювання
5	Контроль t° газів перед газоочисткою димососа 1-58	ТХК	1 точка вимірювання
6	Контроль t° пальника 1 зони сушки П	ТХА	1 точка вимірювання
7	Контроль t° пальника 3 зони сушки П	ТХА	1 точка вимірювання

8	Контроль t° пальників 5-10 зони підігріву	ТПП	6 точки вимірювання
9	Контроль t° пальників 11 -26 зони випалу	ТПП	23 точки вимірювання
10	Контроль t° в горні над 3 1 п/к зони охолодження II	ТХА	1 точка вимірювання
11	Контроль t° газів, що відходять з зони охолодження II	ТХК	2 точки вимірювання
12	Контроль t° по п/к 1-21	ТХА	21 точка вимірювання
13	Контроль t° перед ексгаустером 1-55 (Д-3)	ТХК	1 точка вимірювання
14	Контроль t° в колекторі димососа 1-59 (Д-4)	ТХК	1 точка вимірювання
15	Контроль t° перед димососом 1-58 (Д-5)	ТХК	1 точка вимірювання
16	Контроль тиску в зоні сушки I	ДІ	1 точка вимірювання
17	Контроль тиску в зоні сушки II	ДІ	1 точка вимірювання
18	Контроль тиску в горні (зона підігріву і випалу)	ДІ	4 точки вимірювання
19	Контроль тиску в зоні рекуперації	ДІ	1 точка вимірювання
20	Контроль тиску в зоні охолодження I	ДІ	1 точка вимірювання
21	Контроль тиску в зоні охолодження II	ДІ	1 точка вимірювання

22	Контроль розрідження перед газоочисткою димососа 1-58 (Д-5)	ДВ	1 точка вимірювання
23	Контроль розрідження перед газоочисткою димососа 1-58 (Д-5)	ДВ	1 точка вимірювання
24	Контроль тиску, розрідження в п/к 1-21, 31, 33	ДІВ	23 точки вимірювання
25	Контроль тиску в колекторі вентилятора 2-51 (Д-1)	ДІ	1 точка вимірювання
26	Витрата газу на обпалювальну машину	ДД	1 витратомір
27	Витрата газу на пальники 5-28	ДД	24 точки вимірювання
28	Витрата первинного повітря на пальники	ДД	24 точки вимірювання
29	Тиск природного газу на обпалювальній машині (до відсічного клапана і після)	ДИ	2 точки вимірювання
30	Тиск первинного повітря	ДІ	1 точка вимірювання
31	Температура первинного повітря	ТХК	1 точка вимірювання

Тепловий план модернізованої обпалювальної машини ОК-306 складається з п'яти технологічних сегментів: сушіння, нагрівання, випалювання, рекуперації та охолодження.

Сушильна зона, що складається з трьох секцій, має 7,5 газо-повітряних камер (ГПК). Перша секція (сушка 1) з температурою теплоносія 250-300 °С включає чотири ГПК №№ 0-3. Теплоносій надходить з димососа №55. Вологі гази видаляються з камери за допомогою димососа №58, проходять через суху газоочистку і потрапляють у групові циклони перед викидом у трубопровід.

Другий розділ (сушка 2), де використовується теплоносії з температурою від 300 до 350 °С, складається з двох теплових генераторів-вентиляторів №№ 4 - 5. Теплоносії передається головним чином від димової тяги № 60, з можливістю часткового забезпечення теплоносієм від димової тяги № 55.

Перегородка між зоною сушіння 1 і зоною сушіння 2 закінчується на відстані близько 300-500 мм від поверхні. Це забезпечує можливість часткового обміну повітря між камерою сушіння 2 і камерою сушіння 1, щоб підвищити температуру вологих газів і запобігти конденсації водяної пари у вихідному каналі димососа № 58.

Третій розділ (сушка 3) розташований у верхній частині і складається з двох горизонтальних вентиляційних камер №№ 6, 7. Теплоносії, що пройшов через шар, де $t=600-700^{\circ}\text{C}$, утворюється в форкамерах під час змішування повітря з переточної системи та повітря від димососа № 60. Зона сушіння 3 відокремлена від зони нагріву за допомогою перегородки.

Зона нагріву включає п'ять горелок №№ 8 - 12, де температура теплоносія коливається від 800 до 1200°С. Кількість активних пальників залежить від цієї температури. Між зоною нагріву та зоною випалювання розміщується перегородка.

Випалювальна зона складається з п'яти установок гарячого випалювання №№ 13.17. Температура теплоносія підтримується в діапазоні від 1250 до 1300 градусів Цельсія. Між випалювальною зоною та рекуперацією розміщується роздільна перегородка.

Триває робота з трьома газовими котлами № 18-20 у зоні рекуперації, де температурний стан регулюється за допомогою повітря з зони охолодження 1.

Зона охолодження розташована на площі від 21-го до 34-го ГПК включно.

– Секція охолодження 1 - вісім ГПК №№ 21 - 28; – Секція охолодження 2 - шість ГПК №№ 29 - 34.

Між ГПК № 28 та ГПК № 29 розташована перегородка, що розділяє секцію охолодження 1 від секції охолодження 2. Повітря охолодження проходить через шар обкотишів у напрямку знизу вгору. В зону охолодження 1 повітря надходить

від димососа № 53, в зону охолодження 2 - від вентилятора холодного повітря № 51.

1.3. Обґрунтування необхідності модернізації системи керування процесом сушіння залізрудних обкотишів в умовах конвеєрної випалювальної машини ОК-306

Технологічний регламент встановлює обмеження на вологість, температуру окатишів, швидкість їх зміни у кожній зоні, а також на перепад тиску у зоні сушіння. Порушення будь-якого з цих обмежень може спричинити неприпустиме зниження міцності, перезволоження, розтріскування, або навіть оплавлення та спікання окатишів. Управління процесом сушіння та випалу окатишів у випалювальній машині ускладнюється рядом факторів.

–Відсутність прямого вимірювання температури та вологості окатишів у зонах ОМ; - наявність різних змін у технологічному процесі (зміна швидкості руху палет обпалювальної машини, середнього діаметра та початкової вологості окатишів).

В даний час, ці аспекти вимагають ведення моніторингу та регулювання технологічного процесу на основі вимірюваних температур та змін тиску газового середовища над і під шаром окатишів у кожній з технологічних зон.

Проаналізовано стан автоматизації процесу термічної обробки обкотишів на конвеєрній випалювальній машині ОК-306, і виявлено наступні недоліки у наявній системі:

- Постає проблема відсутності єдиної системи управління для процесів випалювання, огрудування та підготовки шихти.
- застарілі засоби комунікації і керування; – зношені кабельні траси;
- старі датчики та механізми, елементи імпульсних мереж, датчикові приміщення.

– Неіснування та неможливість розробки спеціальних програм для запуску, зупинки та оптимізації роботи випалювальної машини за допомогою наявних технічних засобів.

Для виправлення зазначених недоліків рекомендується розробити план системи автоматизації термічної обробки залізорудних обкотишів, включаючи такі кроки:

1. Розгляд причин та вибір нових датчиків для технологічних параметрів, а також пневмо-електричних перетворювачів для регулювання газових клапанів.

2. Обґрунтування, вибір та програмування контролерів основних керуючих ліній підсистеми управління процесами висушування залізорудних матеріалів, розширення можливостей контролерів за допомогою вхідних/вихідних сигналів.

3. Створення системи візуалізації для моніторингу процесів сушіння руди на випалювальній установці ОК-306-1.

Метою розробки та впровадження системи візуалізації є :

– Покращення системи моніторингу та управління технологічним процесом, включаючи віддалені об'єкти.

- підвищення ефективності роботи та ресурсозбереження;
- надання оперативної та достовірної технологічної інформації;
- Запис і зберігання даних, оцінка роботи операторів та обладнання, аналіз аварій на основі архівних записів.

Створена система візуального нагляду та управління дозволить в реальному часі моніторити процеси термічної обробки обкотишів на конвеєрній випалювальній машині, регулювати режими роботи основного обладнання та засобів автоматизації, що обслуговують виробничі комплекси. Також система забезпечує можливість контролювати підтримку необхідних значень технологічного процесу як у ручному, так і у автоматичному режимі.

1.4. Розробка технічних вимог до системи керування процесом сушіння залізорудних обкотишів в умовах конвеєрної випалювальної машини ОК-306 ПрАТ «Полтавський ГЗК»

Враховуючи характеристику об'єкта автоматизації, його призначення та цілі створення системи автоматизованого контролю технологічного процесу (АСК ТП), відповідно до сучасного рівня науково-технічного розвитку та досягнення поставлених цілей управління, система автоматизованого контролю процесу термічної обробки обкотишів на КВМ повинна відповідати ГОСТ 24.104-85 і відповідати вимогам, викладеним у відповідному технічному завданні.

АСУ ТП має бути створена на основі обладнання, розробленого для високонадійних систем керування технологічними процесами, таких як продукція компаній Schneider Electric (Франція) або Mitsubishi Electric (Японія).

Автоматизована система керування технологічними процесами (АСК ТП) повинна забезпечувати централізоване керування, технологічний захист та моніторинг всього технологічного обладнання у всіх режимах роботи. Система повинна бути розроблена як людино-машинна, функціонувати в режимі реального часу і включати в себе комплекс технічних, програмних та інших засобів.

Система повинна бути організована за принципом розподіленої структури і включати наступні рівні управління:

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

- 1-й (контролерний) рівень: рівень, що включає програмовані логічні контролери, модулі віддаленого вводу-виводу та операторські панелі.

- Рівень 2 операторського керування (SCADA-рівень) включає операторські станції, комунікаційне обладнання, клієнтські автоматизовані робочі місця (АРМ), сервер баз даних та інше.

АСК випалювальної машини складається з наступних пристроїв:

- датчики КВП, джерела живлення польового обладнання та виконавчі механізми нижнього рівня
- блоки ручного керування, розташовані на існуючій панелі центрального операторного пункту;
- центральний програмований логічний контролер ПЛК1, розміщений у шафі ШУ1, що знаходиться в зоні центральної операторної;
- модулів вводу-виводу аналогових та дискретних сигналів, розподілених між групами 1-4 і 5-8 шин розширення контролера ПЛК1, розміщених у шафах керування ШУ1 і ШУ2.

Виправлення системи керування автоматизованої випалювальної машини повинно передбачати можливість безперервного функціонування у реальному часі, з періодичними перевірками та обслуговуванням під час планових зупинок.

Система управління має забезпечувати здійснення таких дій:- керівництво.

- інформаційних;
- допоміжних;
- централізованого контролю .

До керуючим функцій відносяться:

- Механізми та регуляційні контури контролюються та управляються відповідно до вимог технологічного регламенту та алгоритмів обробки.

- діагностика стану механізмів.

До інформаційних функцій відносяться:

- Моніторинг технічних параметрів у централізованому режимі.
- Запис історії процесу.
- Функції, які виконують обчислювальні та логічні операції в інформаційних системах.

До допоміжних функцій можна віднести:

- діагностика стану апаратних засобів;
- підвищення стійкості системи до перешкод і відмов обладнання;

- забезпечення надійності системи під час виникнення перебоїв у постачанні електроенергії та відновлення її роботи після відновлення електроживлення.

Функції централізованого керування технологічним процесом включають:

- Проведення регулярних перевірок функціонування технологічних систем та аналіз аналогових каналів.

- Швидке відображення на кольорових графічних екранах інформації про технічні параметри та стан виконавчих механізмів, включаючи цифрові значення параметрів та графічні представлення за допомогою шкал і стрілок на візуалізаційних схемах.

- Показ значень параметрів на оглядових мнемосхемах (відеокадрах).
- Табличне відображення значень параметрів.
- Відображення історії вибраного параметра у вигляді графіка – тренда.
- Подання зміни у стані обладнання за допомогою подій у форматі протоколу або візуальної індикації кольорами на мнемосхемі.

- Виявлення, миттєве відображення і сигналізація відхилень технологічних параметрів від заданих лімітів у різних сценаріях (включаючи технологічну та аварійну ситуації).

Інформацію на екранах моніторів для операторів слід представляти у вигляді зручних форм, таких як мнемосхеми, таблиці, графіки тощо. Визначення переліку, змісту та організації цих екранів, а також процедури їх виклику, проводиться під час проектування системи та може вимагати додаткового погодження.

1.4.1. Вимоги до математичного забезпечення

Математичні методи, які застосовуються в системі, мають забезпечувати ефективне виконання функцій автоматизованої системи контролю та управління процесом термічної обробки обкотишів в зонах сушіння. Під час налаштування

технологічних об'єктів на робочий режим та при їх виведенні з режиму моделі не слід використовувати ці методи.

1.4.2. Вимоги до інформаційного забезпечення

Інформаційне забезпечення повинно бути достатнім для виконання всіх завдань системи з урахуванням їх вимог. При цьому воно має використовувати принцип одноразового введення та багаторазового використання інформації, не порушуючи її цілісності.

Сигнали та коди ідентифікації, які використовуються для забезпечення зв'язку між різними компонентами системи, мають відповідати вимогам стандартів ГОСТ26.013-81, ГОСТ26.010-80, ГОСТ19768-74, ГОСТ27465-87, та ГОСТ27463-87.

Система має містити налаштовані параметри, серед яких включені структури параметричного налаштування.

Опишемо переваги:

- компактні списки ключових показників у діагностичному звіті та опис конфігурацій зв'язку із системою;
- опис відображень груп змінних процесу;
- структури об'єктних модулів технологічних задач;
- опис змінних, які передаються взаємно між прилеглими обчислювальними комплексами (компонентами системи) для обміну інформацією.

Крім того, інформаційне забезпечення повинно містити:

- Коди, які визначають технологічні та проміжні (розрахункові) параметри процесу, для їх відображення у документах та відеозаписах, а також для введення оператором-технологом через пульт управління.
- Тексти, що розглядаються з метою поліпшення їх розпізнавання, шляхом опису та пояснення їх характеристик.

Структура інформаційної зберігальної системи має гарантувати максимально швидкий доступ до різних елементів інформації. Коди системи повинні бути зрозумілими для ідентифікації змінних, краще у формі комбінації букв і цифр. Букви мають відображати фізичний зміст змінних, тоді як числова частина коду має бути спрощена для відповідності до джерел інформації у технологічному процесі.

Коли значення змінної передається з одного обчислювального комплексу до іншого, обидва ці комплекси повинні мати ідентичні параметри: системний код, коментарі, формат представлення, масштабні коефіцієнти та інші аспекти інформаційної структури.

Динамічні структури інформаційних засобів представляють собою змінні елементи, які можуть зазнавати змін внаслідок обробки алгоритмів технологічних завдань та обміну інформацією між обчислювальними комплексами та діями персоналу, що керує процесом. Організація таких структур та доступ до них мають бути стандартизованими для всіх компонентів системи.

У системах інформаційного забезпечення необхідно забезпечити достатню структуру для генерації відповідних вихідних документів, таких як діагностичні зведення, оперативні відображення груп змінних та візуалізація технологічного процесу на моніторах технологічних працівників за допомогою систем SCADA.

1.4.3. Вимоги до програмного забезпечення

Система керування процесом термічної обробки обкотишів повинна мати програмне забезпечення, що відповідає стандарту МЕК 3111 і базується на певних мовах програмування.

Програмне забезпечення (ПЗ) має бути організоване за модульним принципом для забезпечення зручності налаштування та відповідати принципу розкладання автоматизованої системи контролю та управління на ієрархічні рівні. Алгоритми стабілізації та керування окремими технологічними

параметрами повинні бути втілені у вигляді програмного забезпечення контролерів локальних систем керування (ЛСК). Програмне забезпечення для серверів має включати в себе функції візуалізації роботи та параметрів основного технологічного обладнання, діагностики основних несправностей системи та обладнання, підготовки архівних графіків, статистичної інформації та формування звітів. Зв'язок між серверами та контролерами локальних систем управління повинен здійснюватися за допомогою технології передавання даних через мережу (OPC).

1.4.4. Вимоги до технічного забезпечення

Технічне забезпечення (ТЗ) автоматизованої системи для управління процесом термічної обробки обкотишів має гарантувати виконання вищезазначених функцій. Технічні засоби, які входять до складу цієї системи, повинні бути сумісні між собою в інформаційному плані.

Технічні вимоги до системи повинні передбачати здатність до розширення та взаємної заміни компонентів.

Елементи технічного обладнання, які складають систему автоматизованого контролю технологічного процесу, повинні відповідати таким експлуатаційним параметрам:

- строк служби – не менш 10 років;
- можливість безперервної цілодобової роботи;
- можливість працювати у приміщеннях з установленими системами кондиціонування повітря.

Ці технічні засоби в повній мірі відповідають цим вимогам.

- На другому рівні системи знаходяться промислові логічні контролери, які мають розподілену систему введення-виведення, а також інтерфейси для взаємодії з людиною та машинами.

– Третій рівень системи описує індустріальні персональні комп'ютери, що мають складну архітектуру та підтримують широкий спектр пристроїв для зв'язку з об'єктом (ПЗО).

– Електроприводи основного технологічного обладнання повинні бути керовані за допомогою преобразувачів частоти, які з'єднані з промисловою мережею та контролерами для оптимального функціонування.

Технічні компоненти, які мають бути включені в ТЗ, повинні бути стандартизовані та масово вироблятися промисловістю. Розробка спеціалізованих технічних засобів не передбачається. Індустріальні комп'ютери, що використовуються в системі, повинні мати зовнішню дискову пам'ять для збереження історії технологічного процесу та проміжних результатів.

Вимірювальні датчики технологічних процесів мають генерувати сигнали зі стандартизованим струмом на виході. Для вимірювання певних параметрів, для яких немає доступних засобів контролю в Україні, потрібно мати можливість їх закупівлі за межами країни.

2 Обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу

2.1. Розробка принципів керування процесом сушінні обкотишів

Система контролю та управління температурним режимом процесу сушіння обкотишів призначена для забезпечення необхідного рівня температури в кожному шарі обкотишів вздовж випалювальної машини, одночасно з рівномірним розподілом температур по ширині візків. Для цього система повинна вирішувати такі завдання:

- регулювання тиску в зоні сушіння 1;
- регулювання тиску в колекторі зони сушіння 1;
- регулювання тиску в зоні сушіння 2;
- контроль за температурою в області сушіння над ГПК 6 і ГПК 7.

При встановленні температурного режиму для зони сушіння потрібно враховувати два важливих аспекти. По-перше, важливо максимізувати швидкість фільтрації теплоносія через шар обкотишів, щоб прискорити процес сушіння та підготувати верхні шари для високих температур у наступних зонах обробки. Але, з іншого боку, необхідно уникати перевищення критичної швидкості сушіння, щоб запобігти можливому руйнуванню та зниженню міцності сирих обкотишів.

У дослідженні [1] відзначено, що зі збільшенням швидкості сушіння від 100 до 150 кг/год, вміст класу 10–0 мм зростає з 7 до 23%. Таким чином, основною метою регулювання процесу сушіння є забезпечення сталої витрати теплоносія, який проникає через шар, при поступовому підвищенні температури вздовж зони. Ключовими факторами, які впливають на цей процес, є температура теплоносія та швидкість його фільтрації як функція різниці тисків над шаром та під ним.

Проте регулювання ускладнюється через наявність різних збурень, пов'язаних зі змінами параметрів обкотувального шару (такими як вологість, висота, розмір часток, нерівномірне розміщення), а також змінами температури

теплоносія, що поступає з різних зон процесу випалювання, рекуперації та охолодження.

У зоні сушіння 1, тиск регулюється шляхом зміни ступеня відкриття направляючого апарату димососу Д58. Датчик тиску Р1 надає інформацію про поточне значення тиску у зоні. Ці показники порівнюються з заданим значенням тиску для даної технологічної зони. Регулятор, враховуючи різницю між цими сигналами, формує відповідний керуючий вплив, що впливає на положення відповідного направляючого апарату.

Таким самим чином, тиск у зоні сушіння 2 та в колекторі зони сушіння 1 регулюється. Сигнал щодо поточного значення тиску у зоні надходить від датчиків Р2 та Р41, тоді як регулюючий вплив здійснюється шляхом зміни ступеня відкриття дроселів Др. 3 та Др. 2,1 відповідно.

Крім того, автоматична система контролю сушіння в зоні 3 також відповідає за регулювання температури над ГПК 6 та ГПК 7. Поточні значення температури передаються до контролера від датчиків Т3 та Т4 відповідно. Регулювання температури здійснюється шляхом коригування положення ДВГ 1-2 та ДВГ 3-4.

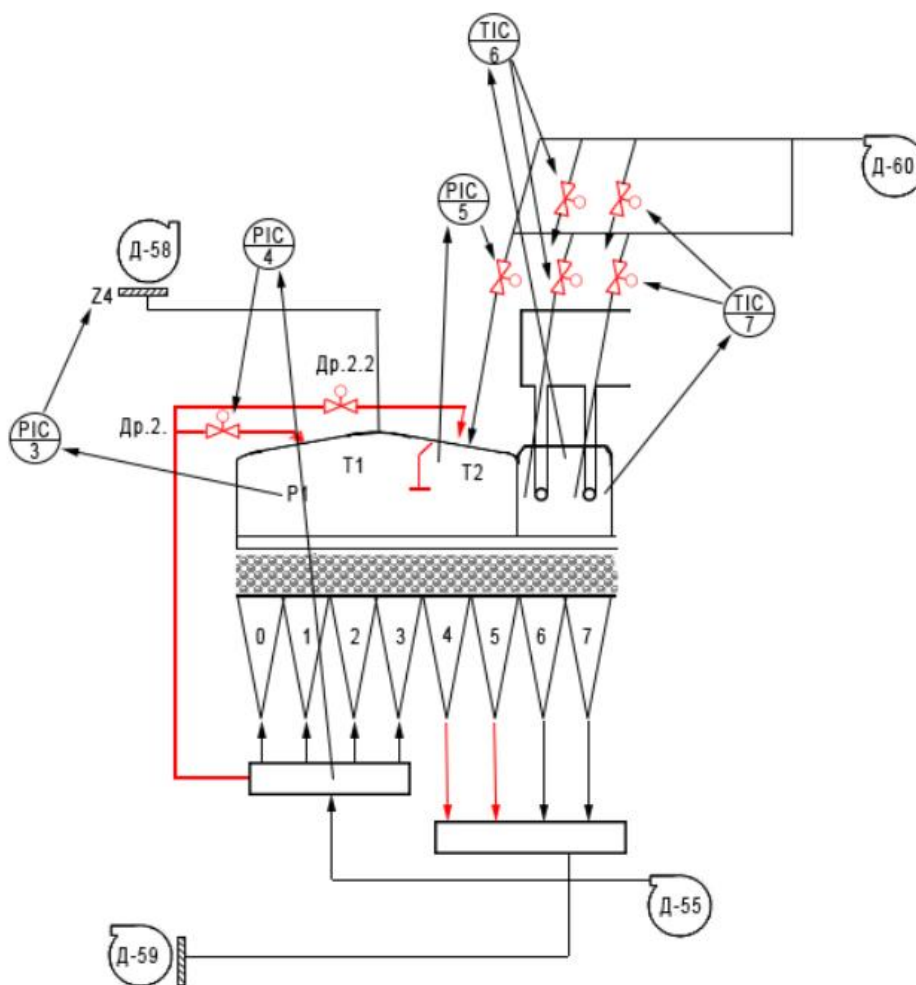


Рисунок 2.1 – Схема автоматизації системи автоматичного керування процесом сушіння у КВМ ОК-306

Зона сушіння розділена на три частини. Після першої стадії сушіння з продувом теплоносія (від димососа Д2-55), шар обкотишів з перезволоженими верхніми обкотишами потрапляє до другої зони сушіння. Тут використовується просушування теплоносієм при температурі близько 300 °С. "М'яка" сушка допомагає уникнути перезволоження, не пошкоджуючи обкотиші, і підготовлює верхній шар до впливу вищих температур у третій зоні сушіння. Тут температура може сягати 700°C, а на початку зони нагріву - 800°C.

Гази, що виходять від димососа Д2-53 з температурою менше 300°C, та гаряче повітря з температурою вище 300°C, що подаються від вентилятора Д2-55, змішуються і потрапляють до зони сушіння 2 перед поступанням до шару обкотишів.

У зоні сушіння 3 поєднуються високотемпературне повітря прямого потоку та гарячий повітря, при цьому гаряче повітря вводиться у потік прямого повітря. Відсмоктування вологих газів із зон сушіння 2 і 3 здійснюється за допомогою димососа Д2-58.

Для сегментів сушіння використовуються прості одноконтурні системи управління, що регулюють тиск у сушільній зоні 1.

- тиску в колекторі зони сушіння 1;
- тиску в зоні сушіння 2;
- температури в зоні сушіння 3 над ГПК 6;
- температури в зоні сушіння 3 над ГПК 7;

Особлива увага приділяється оптимізації режиму м'якого сушіння в зоні проміжної сушіння 2, для чого встановлюється кілька термодатчиків у ковпаку, які контролюють розподіл температур в зоні. Мета регулювального контуру полягає у підтримці сталого потоку теплоносія в зоні та забезпеченні поступової зміни температури вздовж неї. Важливо досягти рівномірного перемішування високотемпературного повітря горіння та низькотемпературного теплоносія з колектору зони сушіння.

Температуру в області сушіння 3 можна контролювати шляхом регулювання рівня нагрятості теплоносія високої температури, який циркулює через колектор. Цей теплоносій нагріває повітря, що надходить через форкамери перших шести пальників, забезпечуючи процес горіння.

Вологі гази, що виходять з шару у камеру зони сушіння 1 при температурі 80-100°C, видаляються за допомогою димососа Д59, а після їх очищення у групових циклонах (ГО-59) випускаються в димову трубу. Тиск у камері підтримується за допомогою напрямного апарату димососа, який регулюється за сигналом від датчика тиску Р1, що поступає до регулятора РІС-3.

Теплоносій, що використовується для сушільної зони 1, подається з димового вентилятора Д55 при температурі приблизно 250-300°C, із значною швидкістю потоку і тиском у колекторі близько 700-800 мм ртутного стовпа.

Температурний режим підтримується шляхом відведення надлишкового теплоносія у вентиляційний канал через дросельний клапан та його подальшою евакуацією у відводну систему. Тиск у системі регулюється шляхом відкривання дросельного клапана згідно з показаннями датчика тиску, який розташований у колекторі. Процес регулювання здійснюється за допомогою регулятора РІС-4.

Тепловий носій із температурою приблизно 270-300°C подається в зону сушіння 2 через димосос Д55 та з колектору повітря горіння через димосос Д53. Гази з цієї зони відводяться димососом Д59 через шар обкотишів, очищаються в скруберах газоочищення ГО-59 і викидаються в димову трубу. Тиск у камері регулюється за допомогою дроселя Др.3 за сигналом від датчика тиску Р2 на регуляторі РІС-5.

У зону сушіння 3 поступає прямий потік повітря з температурою 900-1000°C, а повітря горіння з форкамер Д53 вводиться через бічні форкамери за допомогою дроселів ДПГ 1-6. Температура в зоні сушіння 3 регулюється шляхом контролю за витратою холодного повітря горіння за допомогою дроселів ДВГ 1-2, реагуючи на сигнал від датчика температури Т3 через регулятор ТІС-6. Аналогічне регулювання температури застосовується для контуру керування за сигналом температури Т4, де дроселі ДВГ 3-4 керуються регулятором ТІС-7. Задані температури для обох регуляторів різняться.

Таблиця 2.1. Список технологічних засобів регулювання для управління температурним режимом під час процесу сушіння обкотишів у системі КВМ ОК-306.

Номер контуру	Назва контуру регулювання	Виконавчий механізм
3	Стабілізація тиску в зоні сушіння 1	н.а. Д-58
4	Регулювання тиску в колекторі зони сушіння 1	Др. 2.1
5	Регулювання тиску в проміжній зоні сушіння 2	Др. 3
6	Регулювання температури в зоні сушіння 3 над ГПК 6	ДПГ1, ДПГ2
7	Регулювання температури в зоні сушіння 3 над ГПК 7	ДПГ3, ДПГ4

2.2. Математичне забезпечення автоматизованої системи керування процесом сушіння обкотишів

2.2.1. Розробка структури системи автоматичного керування температурою та тиском в технологічних зонах КВМ

На структурній схемі АСК на рис. 2.2 позначено:

- $W_{\text{рег}}$ – передаточна функція регулятора температури;
- $F_1(u)$ – нелінійний елемент з характеристикою типу «трьохпозиційний перемикач»;
- $W_{\text{вм}}$ – передаточна функція виконавчого механізму;
- $F_2(\delta)$ – нелінійний елемент з характеристикою типу «обмеження»;
- $W_{\text{ок}}$ – передаточна функція об'єкту керування;
- $K_{\text{підс}}$ – коефіцієнт підсилювання;
- $W_{\text{дт}}$ – передаточна функція датчику тиску

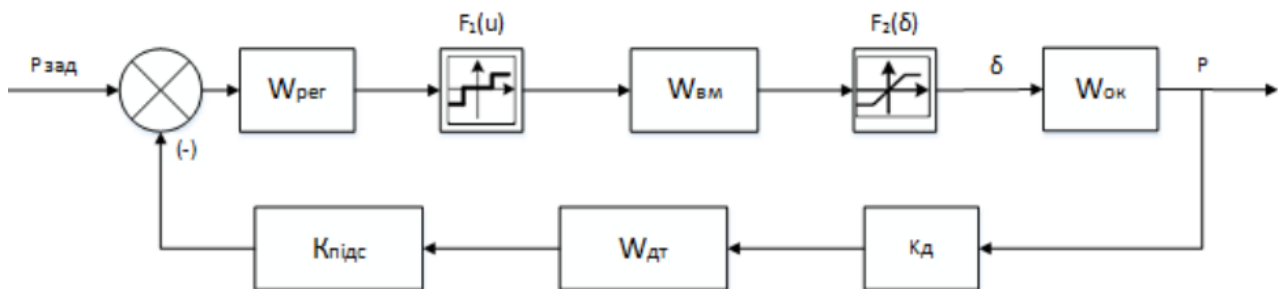


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи автоматичного керування тиском в зоні сушіння 1

У схемі, яку можна побачити на рисунку 2.1, застосовується електричний однообертовий механізм (МЕО) в якості виконавчого пристрою, спеціально розробленого для регулювання заслінок. Після досягнення певного рівня напруги на його керуючому вході, МЕО активується і здійснює переміщення заслінки в залежності від полярності керуючої напруги. Цей процес триває до досягнення заслінкою крайніх положень або при припиненні подачі напруги на вхід. Виконавчий механізм також включає асинхронний двигун з передаточною

функцією, що контролює швидкість обертання за каналом «керуюча напруга» - «швидкість обертання двигуна».

Так як основним параметром рухомого механізму є кутове переміщення, для перетворення від частоти обертання до кутового зміщення в структурну схему потрібно включити ідеальний інтегруючий елемент

$$W_{\text{вм}} = \frac{K_{\text{вм}}}{T_2^2 p + 1_1 p + 1}; \quad (2.1)$$

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

Коефіцієнт посилення статичної моделі асинхронного двигуна (АД) визначається тим, що при введенні управляючого сигналу, що дорівнює 1, заслінка двигуна переміщується на 90 градусів

$$K_{\text{вм}} = \frac{\varphi_3}{t}; \quad (2.2)$$

де φ_3 – кут повороту заслінки, град; t – час повороту заслінки з нульового положення в максимальне (90°).

Звідси

$$K_{\text{вм}} = \frac{90}{1 \cdot 25} = 3,6 (\text{град/с}) \quad (2.3)$$

Отже, передавальна функція виконавчого механізму

$$W_{\text{вм}} = \frac{3,6}{0,3p + 1,6p + 1}; \quad (2.4)$$

Для оцінки тиску відходів газів, найкраще використовувати датчик з верхньою межею вимірювання до 1000 Па

$$W_{\text{дт}} = K_{\text{дт}}; \quad (2.5)$$

де $K_{\text{дт}}$ - коефіцієнт посилення датчика;

Таким чином, функція передачі датчика температури може бути визначена

$$W_{\text{дт}} = 5 \cdot 10^5; \quad (2.6)$$

Цілком зрозуміло, що коли тиск змінюється на 1000 Па, вихідний струм датчика змінюється на 20 мА (від 20 мА до 0 мА), що визначає коефіцієнт посилення моделі датчика

$$K_d = \frac{I_{\text{вих}}}{p}; \quad (2.7)$$

де $I_{\text{вих}}$ – вихідний струм датчика тиску, мА; t – зміна тиску в технологічній зоні сушіння 1;

$$K_d = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{1000} = 2 \cdot 10^{-5} \quad (2.8)$$

Під час моделювання, щоб зробити результати більш зрозумілими та задати рівні сталої температури, рекомендується встановити значення зворотного зв'язку на рівні одиниці в точці розташування датчика.

При реалізації системи автоматичного регулювання необхідно враховувати це перетворення, а зміцнення додаткового підсилювача зворотного зв'язку має бути передане у зміцнення під-регулятора. З метою зручності спостереження, значення вхідної величини встановлюється в фізичних одиницях Па, для чого використовується відповідний підсилювач з коефіцієнтом підсилення, який враховує зворотний коефіцієнт посилення додаткового підсилювача зворотного зв'язку

$$K_{\text{підс}} = 0,1; \quad (2.9)$$

Можна виразити передавальну функцію об'єкту керування як відповідь аперіодичної ланки першого порядку

$$W_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{ок}}}{T_{\text{ок}}p+1} \quad (2.10)$$

де $K_{\text{ок}}$ – коефіцієнт підсилення виконавчого механізму; $T_{\text{ок}}$ – стала часу об'єкту керування.

Коефіцієнт об'єкта керування встановлено на основі діапазону значень вимірюваного параметру

$$K_{\text{ок}} = \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{Q_{\text{max}} - Q_{\text{min}}}; \quad (2.11)$$

де P_{max} , P_{min} – максимальне та мінімальне значення тиску; Q_{max} , Q_{min} – максимальне та мінімальне значення вихідної величини.

У технічній зоні процесу сушіння 1, тиск коливається від -500 до 500 Па, а відкриття заслінки може варіюватися від 0 до 100%. Це призводить до зміни коефіцієнта об'єкту керування

$$K_{ок} = \frac{500 - (-500)}{100 - 0} = \frac{1000}{100} = 10; \quad (2.12)$$

де $I_{вих}$ – вихідний струм датчика тиску, мА; t – зміна тиску в технологічній зоні сушіння 1;

$$K_d = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{1000} = 2 \cdot 10^{-5} \quad (2.13)$$

При моделюванні, для кращого розуміння отриманих результатів та налаштування рівнів сталої температури рекомендується встановити значення зворотного зв'язку, де рівень датчика дорівнює одиниці.

При впровадженні системи автоматичного регулювання (САР), необхідно врахувати цю трансформацію, а підсилення додаткового підсилювача зворотного зв'язку слід перенести для посилення під-регулятора. Для спрощення процесу спостереження вхідна величина може бути встановлена у фізичних одиницях Па. Відповідний підсилювач, з коефіцієнтом підсилення, має зворотній коефіцієнт посилення додаткового підсилювача зворотного зв'язку

$$K_{підс} = 0,1; \quad (2.14)$$

Можливо застосувати аперіодичну ланку першого порядку для виконання передавальної функції об'єкта керування

$$W_{ок} = \frac{K_{ок}}{T_{ок}p + 1} \quad (2.15)$$

де $K_{ок}$ – коефіцієнт підсилення виконавчого механізму; $T_{ок}$ – стала часу об'єкту керування.

Коефіцієнт керування об'єктом встановлено на основі діапазону значень вимірюваного параметру

$$K_{ок} = \frac{P_{max} - P_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}; \quad (2.16)$$

де $P_{\max}$, $P_{\min}$ – максимальне та мінімальне значення тиску; $Q_{\max}$, $Q_{\min}$ – максимальне та мінімальне значення вихідної величини.

Технічна зона сушіння 1 регулюється від -500 до 500 Па для тиску та від 0% до 100% для ступеня відкриття заслінки. Це визначає коефіцієнт об'єкту керування

$$K_{\text{ок}} = \frac{500 - (-500)}{100 - 0} = \frac{1000}{100} = 10; \quad (2.17)$$

Отже, структура передавальної функції об'єкту керування буде наступною

$$W_{\text{ок}} = \frac{10}{120p + 1} \quad (2.18)$$

Враховуючи вище зазначене, структурна схема системи автоматичного регулювання тиску в технологічній зоні сушіння 1 буде відображена виглядом, наведеним на рис.2.3.

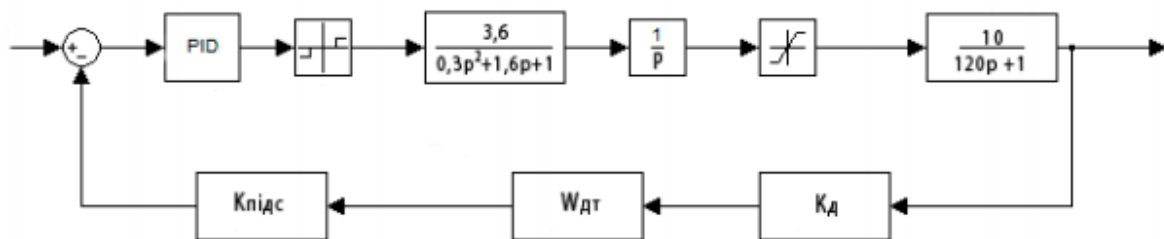


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи автоматичного керування тиском в технологічній зоні сушіння 1

Ми також можемо створити математичні моделі для інших систем регулювання в аналогічний спосіб.

Проміжна зона сушіння 2

Давайте знайдемо, як об'єкт управління реагує в проміжній зоні сушіння 2, шляхом обчислення коефіцієнту цього об'єкта. Тиск у проміжній зоні сушіння 2 коливається від -100 до 100 Па, а відсоток відкриття заслінки змінюється в межах від 0 до 100%. Таким чином, ми визначимо коефіцієнт об'єкта управління

$$K_{\text{ок}} = \frac{100 - (-100)}{100 - 0} = \frac{200}{100} = 2; \quad (2.19)$$

Функція передавальна об'єкта керування під час проміжної зони сушіння 2 буде виконуватися наступним чином

$$W_{ок} = \frac{2}{130p+1} \quad (2.20)$$

На рис. 2.4 наведено схематичне зображення системи, що автоматично контролює тиск у зоні сушіння 2.

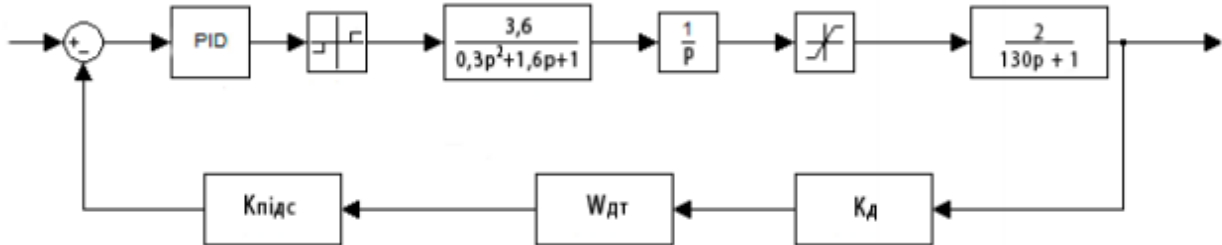


Рисунок 2.4 – Структурна схема системи автоматичного керування тиском в зоні сушіння 2

Колектор зони сушіння 1

Тиск у колекторі сушильної зони змінюється від нуля до 10000 Па, а відкриття заслінки регулюється від 0 до 100%. Це означає, що коефіцієнт управління об'єктом також змінюється

$$K_{ок} = \frac{10000-0}{100-0} = \frac{10000}{100} = 100; \quad (2.21)$$

У проміжній зоні сушіння 2 функція об'єкту керування буде виконуватися таким чином

$$W_{ок} = \frac{100}{140p+1} \quad (2.22)$$

Структурна схема автоматичного управління тиском у зоні сушіння 2 зображена на рис.2.5.

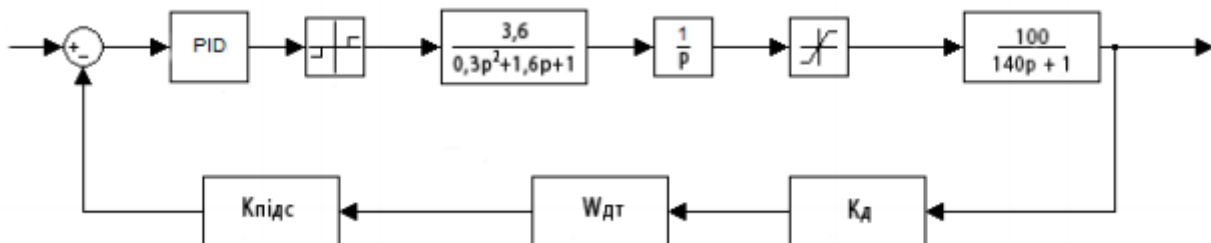


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи автоматичного керування тиском в колекторі зони сушіння 1

Температура в зоні сушіння 3

У технологічній зоні сушіння регулюється температура в газоповітряних камерах. Діапазон температур у цій зоні коливається від 0 до 950°C, а ступінь відкриття заслінок може змінюватися від 0 до 100%. Це визначає коефіцієнт керування об'єктом

$$K_{ок} = \frac{950-0}{100-0} = \frac{950}{100} = 9,5; \quad (2.23)$$

Функція давального об'єкту керування в зоні проміжного сушіння 2 буде відображена таким чином

$$W_{ок} = \frac{9,5}{700p+1} \quad (2.24)$$

На рис.2.6 наведено схематичне відображення системи автоматичного регулювання тиску в області сушіння 2.

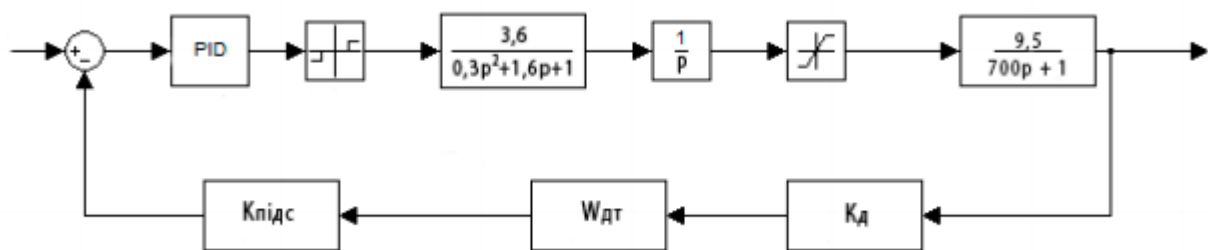


Рисунок 2.6 – Структурна схема системи автоматичного керування температурою в зоні сушіння 3

2.2.2. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного керування температурою та тиском в технологічних зонах КВМ

Для симуляції роботи розробленої системи автоматичного контролю тиску та температури у зонах сушіння випалювальної машини рекомендується використовувати програмний пакет Simulink, що входить до складу MATLAB.

Систему моделюють, базуючись на обчисленнях, здійснених у попередньому розділі, та передавальних функціях компонентів системи. На рисунку 2.7 зображено модель системи автоматичного керування.

На цій моделі здійснюється контроль за тиском у технологічній зоні сушіння 1. Починаючи з встановлення вхідного значення тиску завдання, регулятор видає сигнал на виконавчий механізм, що відкриває заслінку для подачі газу чи повітря. При досягненні заданої межі тиску у зоні сушіння, регулятор віддає команду на повернення заслінки в початкове положення, що забезпечує контроль за тиском у зонах сушіння випалювальної машини.

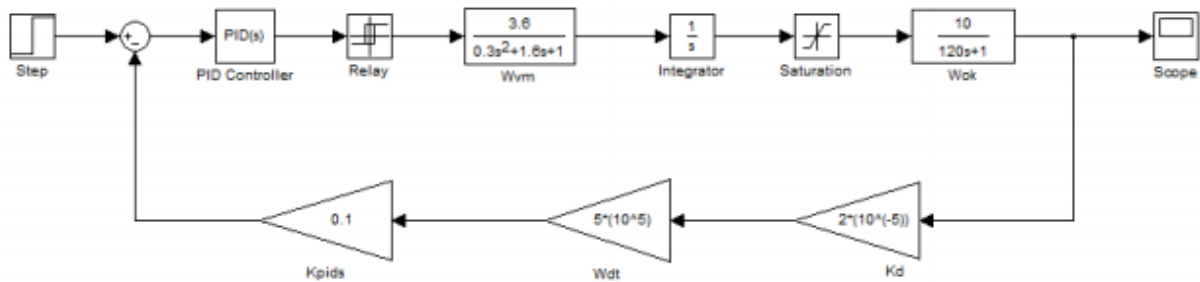


Рисунок 2.7 - Модель системи автоматичного керування

Ми використовуємо елемент PID Controller у середовищі Matlab як регулятор. Щоб налаштувати його, ми скористаємося інструментом PID Tuner (рис. 2.8) для розрахунку необхідних коефіцієнтів (рис. 2.9).

Побудований перехідний процес системи зображено на рис.2.10.

Розглядаючи графік перехідної функції, можна помітити, що процес переходу відбувається повільно. Автоматичне керування тиском у зонах випалювальної машини забезпечує імітацію сигналу заданого значення тиску у зонах сушіння випалювальної машини, де спостерігається невелике перерегулювання.

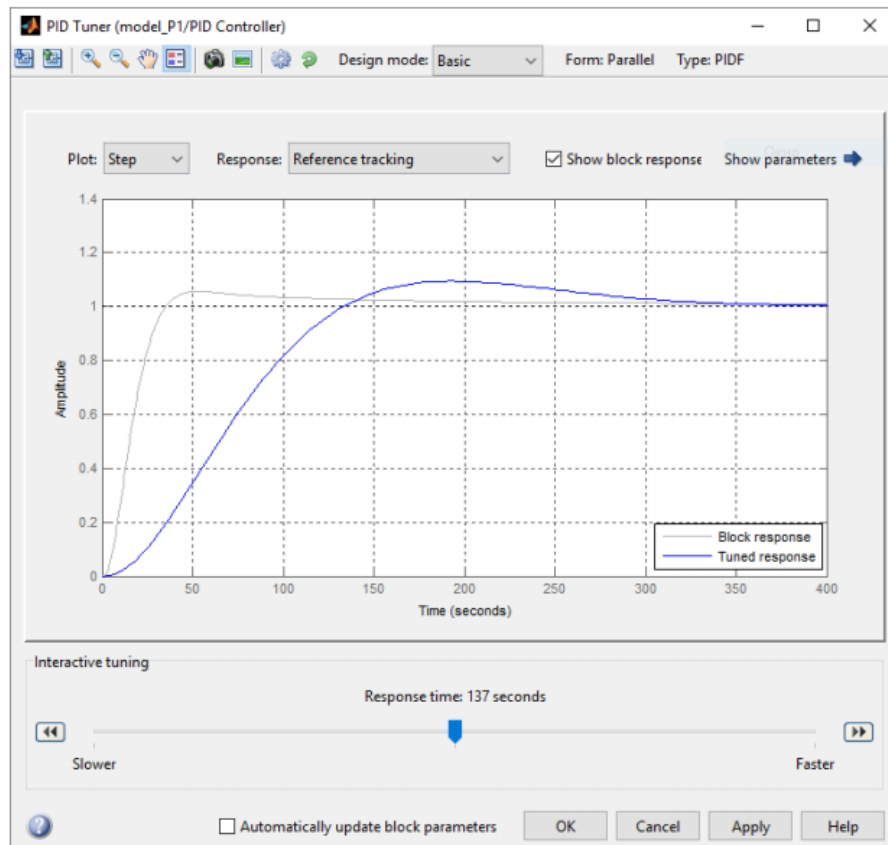


Рисунок 2.8 – Налаштування ПІД регулятора за допомогою PID Tuner

P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}. The 'Initial conditions' section is empty. At the bottom, there are buttons for 'OK', 'Cancel', 'Help', and 'Apply'."/>

Рисунок 2.9 – Розраховані коефіцієнти ПІД регулятора

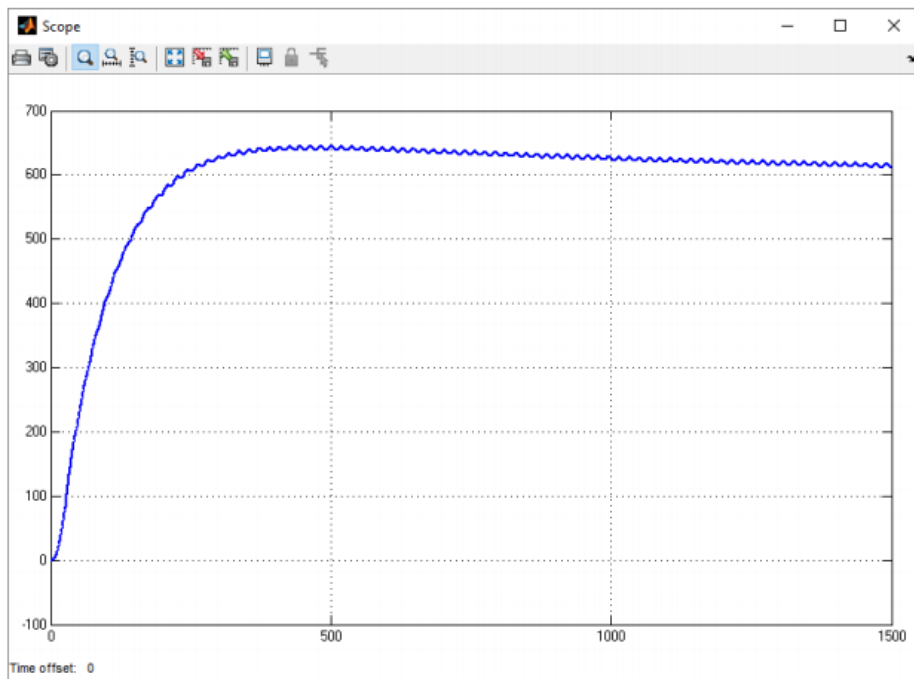


Рисунок 2.10 – Перехідний процес системи керування тиском в зоні сушіння 1
випалювальної машини

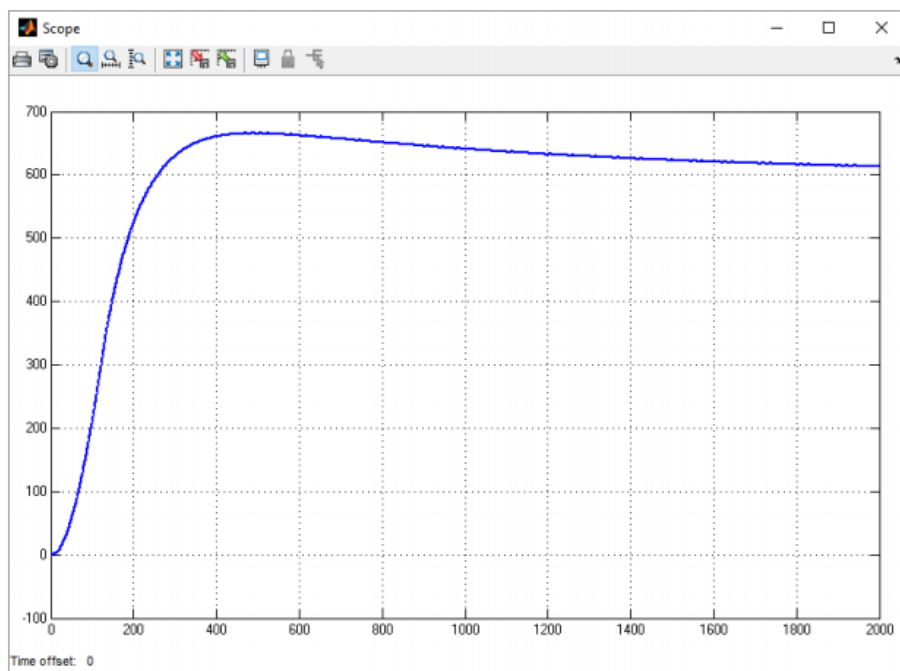


Рисунок 2.11 – Перехідний процес системи керування тиском в зоні сушіння 2
випалювальної машини

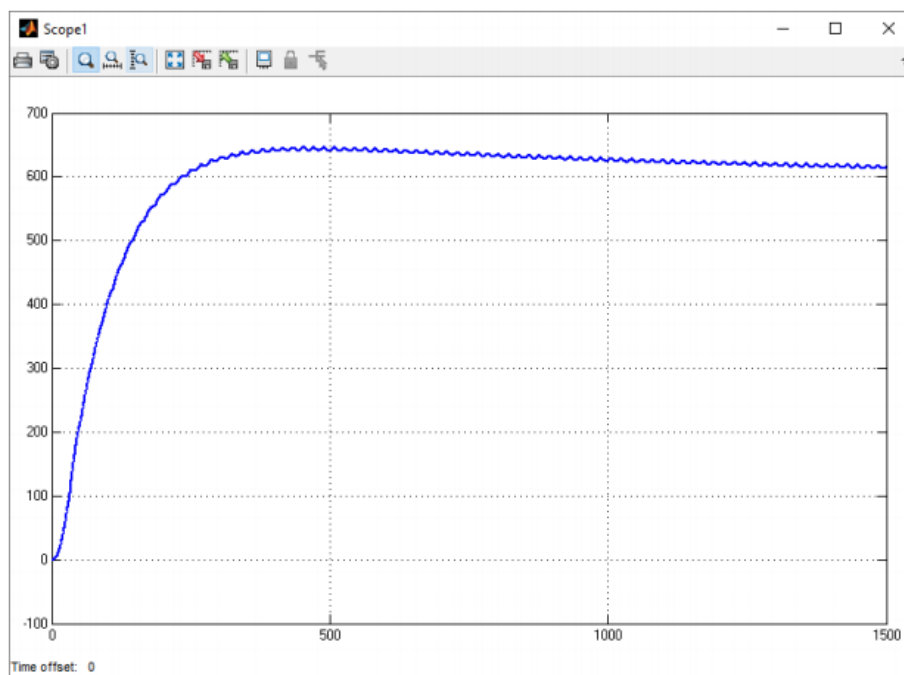


Рисунок 2.12 – Перехідний процес системи керування тиском в колекторі зони сушіння 1 випалювальної машини

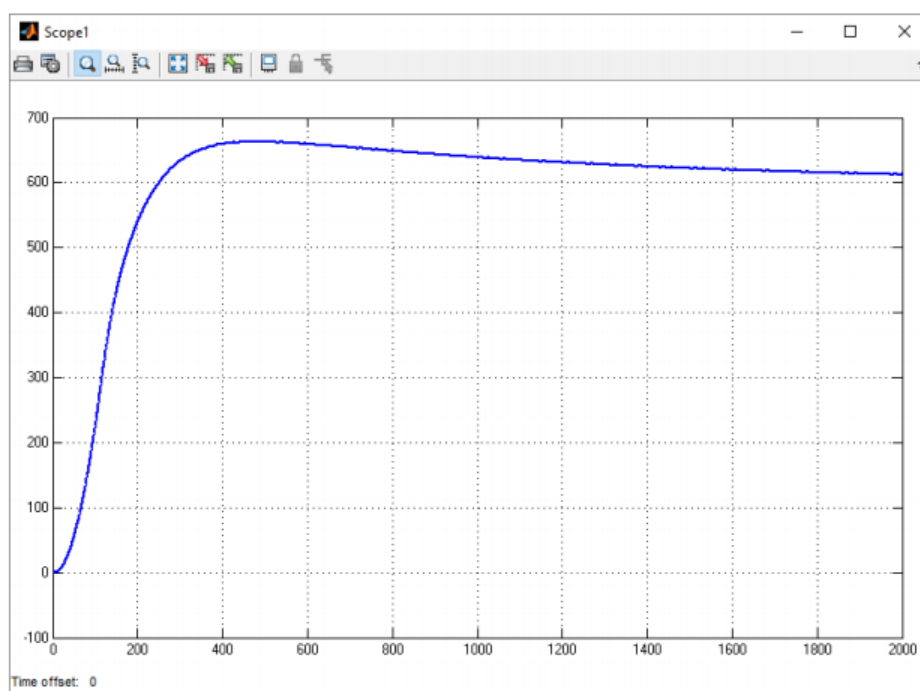


Рисунок 2.13 – Перехідний процес системи керування температурою в зоні сушіння 3 випалювальної машини

2.3. Технічне забезпечення

2.3.1. Опис структури комплексу технічних засобів АСК процесом термічної обробки обкотишів

Щоб відповідати вимогам, встановленим у розділі 1, комплекс технічних засобів для процесу термічної обробки обкотишів на конвеєрній випалювальній машині умов фабрики огрудкування ПАТ "Північний ГЗК" має бути структурований за ієрархічним принципом і складатися з трьох рівнів:

- Основний (польовий) рівень включає в себе контрольно-вимірювальні пристрої, виконавчі механізми, ручні блоки керування, кабельні з'єднання, клемні коробки, кросові шафи та інші компоненти.

- 1-й рівень, також відомий як контролерний рівень, включає в себе програмовані логічні контролери, модулі віддаленого введення-виведення та операторські панелі.

- Другий рівень системи операторського управління (рівень SCADA): включає в себе операторські станції, засоби комунікації, робочі місця користувачів та сервери баз даних.

На другому рівні системи забезпечення виконуються функції оперативного диспетчерського керування та дистанційного моніторингу параметрів технологічного процесу термічної обробки обкотишів. Цей рівень включає в себе робочі станції фахівців (головного диспетчера-технолога, начальника цеху, головного інженера) з пристроями друку. Станції мають можливість взаємного дублювання і резервування, забезпечуючи безперебійну роботу навіть у разі відмови живлення.

Завдання, які вирішуються системою верхнього рівня :

- Диспетчер автоматично надсилає команди для керування та автоматично контролює їх виконання.

- Інформація, що стосується поточного стану, відображається на екранах робочих станцій у формі екранних форм (мнемосхем), графічних відображень контрольованих параметрів, журналів аварій та інших подій та інше.

- парольний захист прав доступу до інформації.

Також передбачена можливість:

- Передбачення одночасного здійснення обчислювальних процесів та інших операцій, а також керування базами даних, формування звітів та виконання завдань.

- Намір описати можливість створення централізованого списку контрольованих параметрів для всіх клієнтських застосунків програмного комплексу.

На даному рівні передбачені засоби з'єднання з мережею, яка забезпечує зв'язок із нижнім рівнем автоматизованої системи керування та з вищими рівнями, що контролюють фабрику.

Нижній рівень відповідає за виконання всіх процесів управління технологічним процесом, активує заходи захисту та сповіщає про аварійні стани у випадку відхилення обладнання від норми. Також він забезпечує зв'язок з верхнім рівнем АСК для термічної обробки обкотишів. Цей рівень оптимально реалізувати з використанням промислових логічних контролерів. Аналізуючи кількість вхідних та вихідних сигналів системи автоматизованого контролю, рекомендується використовувати ПЛК з родини Modicon TSX Premium виробництва компанії Schneider Electric.

На польовому рівні системи мають датчики, що вимірюють технологічні параметри, такі як температура і тиск у різних зонах машини, а також стан обладнання, наприклад, сигналізація щодо роботи та крайні положення виконавчих механізмів. Крім того, у системі є магнітні пускачі, виконавчі механізми та блоки керування виконавчими механізмами. Для того щоб забезпечити сумісність зі стандартними вхідними діапазонами контролера, використовуються перетворювачі аналогових сигналів.

Для регулювання температури в області сушіння 3 над установками ГПК 6 та ГПК 7 рекомендується використовувати термопари типу ТХА з діапазоном вимірювання від 0 до 1000°C.

Для моніторингу тиску у технічних зонах 1 і 2, а також у колекторі зони 1 випалювальної машини, рекомендується використовувати вимірювальний перетворювач Aplisens APR-2000AL.

Функції контролю та управління контурами регулювання повторюються за допомогою блоків ручного керування (БРУ), які забезпечують місцеву індикацію вимірювальних сигналів та віддалене управління положенням регулюючого органу. Ці технічні засоби розташовані на передніх панелях шафи керування.

Для забезпечення взаємодії з суміжними системами автоматизації у фабриці огрудкування планується використати промислову мережу Modbus Plus стандарту. Для зв'язку контролера з верхнім рівнем автоматизованої системи керування технологічним процесом передбачається використання Ethernet мережі.

Отже, структура комплексу технічних пристроїв АСК під час термічної обробки обкотишів виглядатиме так, як показано на рис. 2.14.

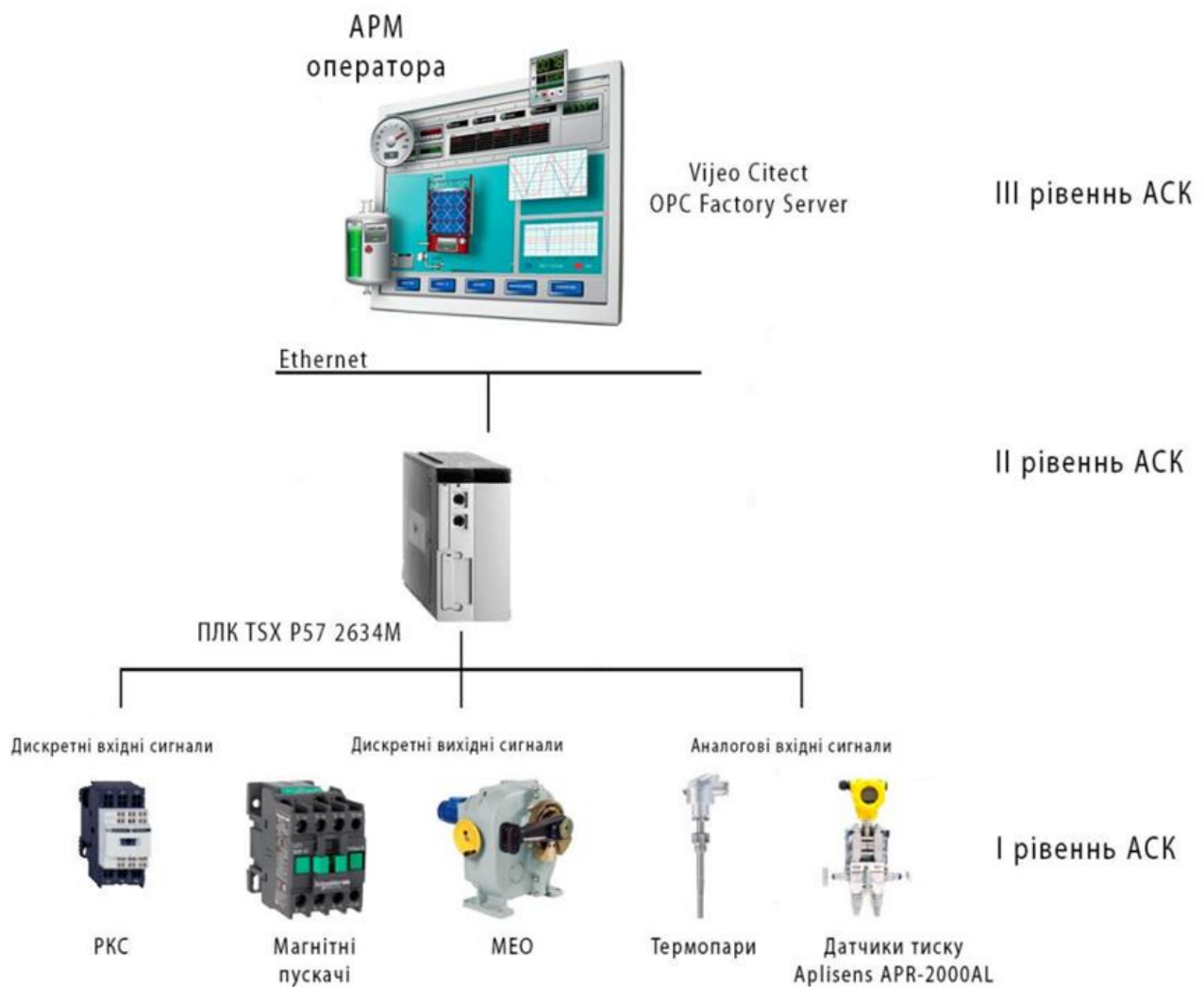


Рисунок 2.14 – Структура комплексу технічних засобів АСК процесу сушіння обкотишів

2.3.2. Вибір обладнання автоматизації польового рівня Датчики тиску

Для моніторингу тиску в технологічних зонах та колекторах випалювальної машини рекомендується використовувати вимірювальний перетворювач Aplisens APR-2000AL.

Перетворювач APR-2000AL призначений для вимірювання різниці тисків газів, пару і рідин. У ньому використовується п'єзорезистивна монолітна структура з кремнію, вбудована в приймач тиску. Цей приймач відділений від середовища, яке вимірюється, розділовими мембранами і заповнений спеціальною рідиною. Конструкція приймача забезпечує стійкість

перетворювача до ударів вимірюваного тиску і до перевантаження тиску до 40 МПа. Електронна схема розміщена в корпусі зі ступенем захисту IP66. Цей перетворювач дозволяє віддалено коригувати нуль, вибирати діапазон вимірювання і коефіцієнт демпфування.

Користувач взаємодіє з перетворювачем APR-2000 через протокол HART, використовуючи ланцюг вихідного сигналу для забезпечення зв'язку. Цей перетворювач може обмінюватися даними за допомогою:

- комунікатора, що підтримує протокол HART;
- застосування програмного забезпечення «Raport-01», розробленого компанією Aplisens, та конвертера RS-Hart для інтеграції з персональним комп'ютером.

Обмін даними з перетворювачем дозволяє здійснювати:

- ідентифікацію перетворювача;
- налаштування вихідних параметрів включає в себе визначення одиниць вимірювання, значень початку і кінця вимірювального діапазону, постійної часу демпфування та характеристик перетворення, таких як квадратична, зворотна або нелінійна характеристика користувача.

В даний момент проводиться моніторинг тиску, вихідного струму та рівня вихідного сигналу у відсотковому вираженні:

- завдання значення вихідного струму;
- калібрування перетворювача відносно зразкового тиску.

У зв'язку з невеликою вагою, перетворювач з приєднувальним пристроєм може бути встановлений безпосередньо на імпульсних трубках.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики вимірювальних перетворювачів тиску Aplisens APR-2000 AL.

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Вихідний сигнал	мА	4...20, мА HART
2	Стійкість до перевантаження за тиском	МПа	40
3	Межа припустимої основної похибки	%	0,075
4	Додаткова похибка, викликана зміненням температури оточуючого середовища	%/°C	±0,05%
5	Додаткова похибка, викликана зміненням напруги живлення	%	0,002%
6	Діапазон температур оточуючого середовища	°C	-40...+80
7	Діапазон температур середовища вимірювання	°C	-50...+120 >120 при використанні імпульсних трубок
8	Діапазон термокомпенсації	°C	-25... +80
9	Стабільність метрологічних характеристик	років	3
10	Час фіксації вихідного сигналу	с	0,5
11	Напруга живлення	В	10...55
12	Опір навантаження	Ом	>250

Датчики температури

Для моніторингу температури у технологічних зонах та колекторах випалювальної машини використовується термоелектричний перетворювач ТХА-2388 (рис. 2.14).

Термоелектричні перетворювачі ТХА-2388 широко використовуються для постійного контролю температури газів або рідин у різних промислових секторах. Зазвичай їх встановлюють в складі комплексних систем управління і контролю в печах для термообробки, реакторах, установках каталітичного

синтезу, а також автоклавах та глибинних шахтах. Докладні технічні характеристики перетворювача можна знайти у табл.2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики ТХА-2388

№ з/п	Параметр	Значення
1	Робочий діапазон вимірюваних температур	-40...1000 °С
2	Клас точності	1 або 2
3	Значення теплової інерції	≤ 180
4	Клас захисту	IP55
5	Тиск вимірюваного середовища	0,25 МПа
6	Матеріал	алюмінієвий сплав



Рисунок 2.14 – Перетворювач термоелектричний ТХА-2388

Блоки ручного керування

Для управління виконавчими механізмами вручному режимі рекомендується використовувати блоки ручного керування БРУ-10 (рис. 2.15). Ці блоки є універсальними засобами контролю імпульсних та аналогових виконавчих механізмів, призначеними для автоматизації виробничих процесів у комплексних та локальних системах. Вони використовуються для вимірювання вхідних фізичних параметрів, їх перетворення, обробки та відображення поточних значень на екрані.

Галузь застосування

- Індикатор двох фізичних величин
- Ручний аналоговий задатчик аналогових уніфікованих сигналів
- Ручний задатчик імпульсних сигналів типу більше-менше

- Станція ручного управління аналоговим виконавчим механізмом
- Станція ручного управління імпульсним виконавчим механізмом
- Перетворювач імпульсних сигналів здатний конвертувати вхідні імпульси в стандартизований вихідний сигнал.
- Перетворювач імпульсних сигналів методом широкої модуляції у стандартний вихідний сигнал.
- Цей пристрій перетворює вхідні аналогові сигнали у стандартізованому форматі в аналоговий сигнал вихідного формату.

Характеристики блоків БРУ-10 можна знайти у табл.2.4.



Рисунок 2.15 – Блок ручного керування, завдання, індикації БРУ-10

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики блоку ручного керування БРУ-1

Параметр	Значення	
Кількість каналів вимірювання	2	
період вимірювання	0,25 сек	
вхідні сигнали:	0(4) - 20 мА ($R_{вх} = 100 \text{ Ом}$)	
Вихідні аналогові сигнали:	4 - 20 мА ($R_n 500 \text{ Ом}$)	
Максимальна похибка установки сигналу завдання	$\pm 0,1\%$	
Діапазон зміни установки завдання	0 - 100%	
Основна приведена похибка вимірювання	$\pm 0,2\%$	
Точність індикації:	цифрова	$< 0,1\%$
	лінійна	$< 5,0\% (< 2,5\%)$
кількість розрядів:	цифрового індикатора	4
	лінійного індикатора	21
Висота цифр світлодіодних індикаторів	10 мм	
Висота сегмента лінійних індикаторів	5 мм	
Комутаційна здатність контактів реле з магнітною блокуванням:	постійний струм	$< 30 \text{ В}, < 0,250 \text{ А}$
	змінний струм	$< 220 \text{ В}, < 0,100 \text{ А}$
Температура навколишнього середовища	от -40°C до $+70^\circ\text{C}$	
Напруга живлення від мережі змінного струму	$\sim 220 (\pm 22) \text{ В}, 50 (\pm 1) \text{ Гц}$	
Споживана потужність не більше	6 Вт	
Маса блоку не більше	1,1 кг	

2.3.3. Вибір та обґрунтування промислового контролера та модулів введення-виведення

Для ефективного керування процесом сушіння залізорудних обкотишів на фабриці огрудування ПрАТ "Полтавський ГЗК" рекомендується використання програмованого логічного контролера серії TSX Premium від компанії Schneider Electric, враховуючи вимоги до технічного обладнання.

Контролер TSX Premium представляє собою нову платформу для створення систем управління. Він має широкий вибір модулів введення-виведення, що різняться за напругою, потужністю, кількістю каналів і вимогами до підключення. Витрато-ефективні рішення з передбачуваними з'єднаннями гармонійно доповнюють традиційні рішення з термінальним блоком "під гвинт". Використання модулів введення/виведення високої щільності (32 або 64 каналу) з з'єднувачами типу Telefast 2 або термінальними блоками з передбачуваними з'єднаннями знижує витрати і підвищує якість з'єднань.

Завдяки своїй багатопроцесорній архітектурі, TSX Premium забезпечує високу продуктивність. Комбінація швидких входів із програмованим часом фільтрації, завдань оброблення подій, короткого часу виконання прикладної програми та виводів схем швидкого розрядження значно скорочує час реакції. Багатозадачна структура програми та бібліотека, що містить безліч складних функцій, дають змогу розв'язувати найскладніші завдання. Структура пам'яті, яка може бути розширена з використанням PCMCIA карт, забезпечує доступний спосіб досягнення великих обсягів пам'яті для програм і даних.

Високопродуктивний процесор та потужна операційна система роблять TSX Premium ідеальним відповідником вимог, пов'язаних з реакційним часом, продуктивністю і складністю. Його компактні розміри та оптимальні рішення для підключення мінімізують загальні витрати на установку. Міцність конструкції та простота обслуговування TSX Premium роблять його особливо відповідним для застосування в умовах з високими вимогами.

При виборі оптимальної моделі процесорного блоку з родини ПЛК TSX Premium для системи автоматизованого сушіння обкотишів, ключовими факторами є кількість доступних каналів введення-виведення і обчислювальна потужність, включаючи можливість обробки заданої кількості регулюючих контурів. Аналізуючи кількість вхідних та вихідних сигналів, а також необхідну кількість регулюючих контурів (табл.2.1), рекомендується вибрати процесорний модуль TSX 57 2634M.

Процесор TSX 57 2634M, що використовується в системі автоматизації Premium, керує всіма програмованими логічними контролерами (ПЛК). Ці ПЛК складаються з різних модулів, зокрема дискретного та аналогового введення-виведення, модулів захисту Preventa та спеціалізованих модулів, таких як лічильники, керування переміщенням, вимірювання ваги та зв'язок. Кожен процесор має наступні характеристики:

- Вбудована RAM, що має захист, дозволяє завантажувати всі додатки та розширювати її, використовуючи PCMCIA-плату пам'яті.
- Здатність встановлення зв'язку за допомогою термінального порту для програмістів або інтерфейсів людина-машин.
- Можливість забезпечення комунікації за допомогою PCMCIA-плати з використанням протоколів Modbus Plus, Uni-Telway, AS-i та CANopen.

Контролер TSX 57 2634M входить у сімейство контролерів Premium з подвійною шириною (займає дві позиції на шасі) та має вбудований порт Ethernet TCP/IP 100Base-TX для зв'язку з іншими ПЛК, індустріальними ПК та робочими станціями технічного персоналу через мережу Ethernet.

Додаток розробляється у середовищі Windows за допомогою програми Unity Pro XL. Під час розробки можуть використовуватися п'ять мов програмування.

- Звідний мовний засіб (або мова) LD - це графічне зображення логічних операцій (релейних схем) у вигляді схеми з кроковими комутаторами.
- Малюнок, який відповідає стандартам класичного технічного електричного креслення.

– Мова ST (або Structured Text) представляє собою текстовий формат, схожий на PASCAL. Вона є вдалим вибором для розробки об'ємних програм та маніпулювання аналоговими сигналами та числами з плаваючою комою.

– Мова IL (Instruction List) подібна за синтаксисом до домови асемблера і складається зі списку інструкцій.

– Функціональні блокові діаграми (або FBD) є графічною мовою програмування, створеною спеціально для програмування програмованих логічних контролерів (ПЛК).

– Мова Sequential Function Chart (SFC) є однією з графічних мов програмування, яка використовується для створення функціональних діаграм для опису алгоритмів. Ця мова дуже популярна серед розробників SCADA/HMI пакетів.

Після аналізу характеристик процесорного блоку контролера Premium можна зробити висновок, що він відповідає вимогам до потужності обчислень, швидкості, об'єму пам'яті та кількості каналів введення-виведення. Це дає можливість використовувати його для впровадження систем управління процесом термічної обробки обкоти в умовах фабрики огрудкування.

Зручно скористатися аналоговими модулями вводу та виводу TSX AEY 810 та TSX ASY 410. Зовнішній вигляд ПЛК із встановленими модулями можна побачити на рис. 2.16.

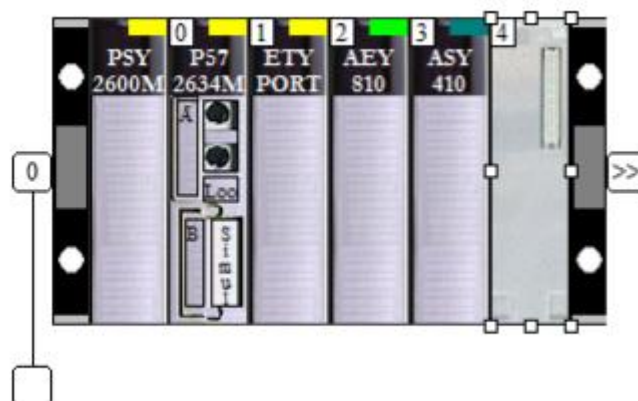


Рисунок 2.16 – Конфігурація ПЛК для реалізації функцій керування процесом сушіння обкотишів в умовах фабрики огрудкування

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики процесору TSX 57 2634M

Параметр		Значення	
Максимальна конфігурація		Кількість шасі	16
		Максимальна кількість слотів під модулі	128
Функції	Максимальна кількість на шасі	Дискретних каналів введення-виведення	1024
		Аналогових каналів введення-виведення	80
		Спеціалізованих каналів	24
		Контурів регулювання	10
	Максимальна кількість підключень	Вбудований порт термінала Uni-Telway	1
		Мережа	1
		Шина AS-i	4
		Шина CANopen	1
Пам'ять	Максимальний об'єм	Захищена внутрішня RAM, КБ	160
		PCMCIA-картка, КБ	768
	Максимальна кількість областей	Внутрішні біти(%Mi), біт	8056
		Адресовані внутрішні дані, КБ	64
		Глобальні безадресні внутрішні дані, КБ	64
Структура додатку		Головна задача	1
		Швидка задача	1
		Обробка подій	-
Час виконання		Одна стандартна логічна інструкція, мкс	0,21
		Одна стандартна цифрова інструкція, мкс	0,42
		Одна інструкція з плаваючою крапкою, мкс	1.75
Кількість інструкцій, що виконуються за 1 мс		100% логічних інструкцій, К.ін./мс	4.72
		65% логічних та 35% цифрових інструкцій, К.ін./мс	2.53
Системні витрати		Головна задача, мс	1,0
		Швидка задача, мс	0,3

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики модуля TSX AEY 810

Параметр		Значення
Діапазони вхідних сигналів		± 10 В, 0-10 В, 0-5 В, 1- 5 В, 0-20 мА, 4 - 20 мА
Аналого-цифрове перетворення		16 біт
Час зчитування	Нормальне сканування, мс	29,7
	Швидке сканування, мс	3,3*(кількість робочих каналів + 1)
Максимальна похибка		0,142
Спільний режим каналів		± 200
Максимальна перенапруга або перевантаження на входах		± 30 В за напругою ± 30 мА за струмом
Стандарт		IEC-1131

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики модуля TSX ASY 410

Параметр	Значення
Діапазони вхідних сигналів	± 10 В, 0-20 мА, 4 - 20 мА
Аналого-цифрове перетворення	11 біт + знак
Час перетворення, мс	2,5
Похибка вимірювання в % від повної шкали	0,45 ... 25°C, 0,75 від 0 до 60°C
Максимальна напруга	± 30 В
Стандарт	IEC-1131

Ці вхідні модулі виконують функції:

- сканування вхідних каналів з та збір значень;
- Вхідні вимірювання перетворюються з аналогового вигляду в цифровий, з точністю 12 біт. Окрім цього, процесор ПЛК виконує обробку сигналів, додатково до цих функцій.

- вхідний контроль перевищення;
- фільтрація вимірювань;

Перетворення вхідних даних в формат, зрозумілий для користувача, щоб їх можна було відобразити в зручних для використання одиницях вимірювання.

3 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність системи

3.1. Програмне забезпечення випалювання обкотишів температурним режимом АСК

Програмне забезпечення для автоматизованої системи контролю температурного режиму під час випалювання обкотишів на фабриці огрудкування складається з керуючої програми контролера та системи контролю і візуалізації технологічного процесу. Керуюча програма контролера TSX Premium, розташована на другому рівні системи, відповідає за:

- обробка сигналів, отриманих від первинних засобів збору інформації про стан технологічного процесу, та їх подальше введення для подальшого аналізу.
- регулювання температури в окремих сегментах процесу сушіння.
- функції регулювання тиску в технологічних зонах сушіння.

Для створення програмного забезпечення для керування контролерами програмованих логічних контролерів (ПЛК) з використанням стандартів МЕК 61131-3 використовується пакет Unity Pro XL 8.0 від Schneider Electric. Доступ до контролерів з робочих станцій здійснюється через мережу ETHERCAT з використанням протоколу TCP/IP. Для полегшення діагностики системи та розробки керуючих програм на програмованих пристроях, що використовуються операторами в температурних режимах обробки матеріалів, рекомендується створити спрощену систему візуалізації технологічного процесу за допомогою інструменту Runtime Screens у пакеті Unity Pro XL 8.0.

Щоб передавати дані з датчиків у технологічних зонах та обладнання робочого місця оператора на фабриці огрудкування, яке обладнане індустріальним ПК, рекомендується використовувати стандартний інтерфейс для зв'язку між різними контролерами, програмним забезпеченням SCADA та пристроями введення-виведення, а саме OPC-сервером [18].

Оскільки ми оперуємо контролерами від Schneider Electric, рекомендується застосувати OPC Factory Server (OFS) як сервер OPC. Цей продукт дозволяє одночасно зчитувати значення внутрішніх змінних з великої кількості контролерів та передавати їх клієнтським додаткам. Таким чином, сервер може служити драйвером між HMI/SCADA-системами будь-яких виробників та різними ПЛК.

Для реалізації інтерфейсу між людиною та машиною на третьому рівні автоматизованої системи контролю та керування (АСК), система контролю та візуалізації технологічного процесу базується на сучасному програмному забезпеченні SCADA. Під час роботи ця система використовує мережу Ethernet для звернення до сервера операційних даних (OPC) та передачі/отримання необхідної інформації про прогрес технологічного процесу. Архітектура клієнт-сервера в сучасних системах SCADA дозволяє створювати систему розподіленого збору даних та керування на вищому рівні, що працює в реальному часі.

Результати аналізу доступних на ринку систем SCADA для промислової автоматизації вказують на доцільність використання програмного забезпечення Vijeo Citect від компанії Schneider Electric для реалізації системи контролю та візуалізації процесу керування температурним режимом випалювання обкотишів на фабриці огрудкування.

Vijeo Citect - це програмне забезпечення, що належить до класу HMI/SCADA, що забезпечує функціонал системи моніторингу, управління та збирання даних (SCADA - Supervisory, Control And Data Acquisition). Його призначення полягає в управлінні технологічними процесами та задоволенні всіх потреб підприємства через єдину інтегровану систему. Vijeo Citect включає всі необхідні компоненти, що усувають потребу в додатковому програмному забезпеченні.

Програмне забезпечення Vijeo Citect включає всі основні функціональні компоненти, такі як моніторинг трендів, відслідковування тривоги, генерація звітів, робота з драйверами та протоколами. Це дозволяє розробникам

створювати проекти в одному інтегрованому середовищі. З урахуванням використання контролерів від Schneider Electric, рекомендується використовувати OPC Factory Server (OFS) як OPC-сервер. Він дозволяє одночасно зчитувати значення внутрішніх змінних з різних контролерів та передавати їх клієнтським додаткам. Таким чином, сервер може функціонувати як драйвер між HMI/SCADA-системами різних виробників та різними ПЛК.

Для створення інтерфейсу між людиною та машинами на третьому рівні автоматизованої системи керування температурним режимом випалювання обкотишів використовується система контролю та візуалізації технологічного процесу, що базується на сучасному програмному забезпеченні SCADA. Під час роботи ця система використовує мережу Ethernet для звернення до сервера оперативного рівня та передачі/отримання необхідних даних про хід технологічного процесу. Клієнт-серверна архітектура сучасних SCADA-систем дозволяє створювати систему розподіленого збору даних та керування вищого рівня, яка функціонує в реальному часі.

В результаті аналізу наявних рішень для промислової автоматизації SCADA-систем виявлено, що для ефективного контролю та візуалізації процесу керування температурним режимом випалювання обкотишів на фабриці огрудкування доцільно використовувати програмне забезпечення Vijeo Citect від компанії Schneider Electric.

Vijeo Citect є програмним рішенням в категорії HMI/SCADA, що об'єднує в собі засоби для моніторингу, керування та збору даних у технологічних процесах. Ця система розроблена з метою задоволення всіх потреб підприємства через інтегровану платформу. Vijeo Citect включає всі необхідні компоненти, що дозволяють уникнути потреби в додатковому програмному забезпеченні.

Програмне забезпечення Vijeo Citect володіє усіма важливими функціональними компонентами, такими як тренди, тривоги, звіти, драйвера та протоколи, що дозволяє розробнику створювати проекти в одному інтегрованому середовищі.

Використання потужних інструментів візуалізації та функціональних можливостей у програмному забезпеченні Vijeo Citect дозволяє створювати зручні системи диспетчеризації. Ці системи дають операторам повний контроль над технологічним процесом і можливість швидко реагувати на будь-які відхилення, що в результаті підвищує їх ефективність.

Високий рівень автоматизації операцій, повнота функціоналу, систематичний контроль якості та тестування гарантують надзвичайну надійність Vijeo Citect. Ця надійність дозволяє успішно використовувати його в критичних сферах, таких як атомна енергетика, авіація та інші.

Наступні компоненти входять до складу середовища розробки проектів візуалізації програми Vijeo Citect.

- Citect Explorer відображає перелік проектів та їх стандартні папки, забезпечуючи доступ до всіх складових елементів проекту.
- Редактор проектів, відомий як Project Editor, дозволяє налаштовувати, конфігурувати та редагувати проекти.
- Редактор інтерфейсу та графіки (Citect Graphics Builder) дозволяє створювати та змінювати візуальний інтерфейс користувача.
- Редактор Cicode (Cicode Editor) - це ключовий інструмент для створення та редагування програм на мові Cicode, відповідно до конкретних вимог проекту.

Система SCADA Vijeo Citect має значну перевагу в тому, що вона надає безкоштовне середовище для розробки проектів, що відрізняє її від інших наявних систем.

3.2. Розробка проекту системи візуалізації керування процесом сушіння обкотишів в умовах фабрики огрудкування

Система візуалізації керування процесом сушіння залізородних обкотишів в умовах випалювальної печі ОК-306 має дві складові частини:

- Розробка керуючої програми для контролеру;

- Створення інструменту для моніторингу та графічного відображення технологічного процесу (автоматизована робоча станція оператора).

Для впровадження проекту візуалізації процесів керування термічною обробкою обкоту було вибрано програмне забезпечення Vijeo Citect. Це програмне забезпечення дозволяє клієнтським додаткам отримувати доступ до даних з ПЛК в реальному часі за допомогою технології OPC (OLE для керування процесами). Технологія OPC часто використовується як універсальний інтерфейс до драйверів контролерів та периферійних пристроїв. Це означає, що разом з контролером може постачатися спеціальна програма - OPC-сервер, який забезпечує доступ до змінних, що контролюються цим контролером. OPC-сервер має драйвери для зв'язку з контролерами через конкретні протоколи промислових мереж, а також надає універсальний OPC-інтерфейс для зв'язку з SCADA-сервером. У такій системі SCADA виступає в ролі OPC-клієнта. У складі SCADA-системи Vijeo Citect є OPC-сервер OPC Factory Server (OFS), який забезпечує доступ клієнтських застосунків (наприклад, диспетчерські програми, бази даних та електронні таблиці) до внутрішніх змінних і входів-виходів ПЛК. OFS складається з наступних компонентів:

- засіб конфігурування сервера OPC (OFS Configuration Tool);
- програма, яка працює як сервер OPC, отримує запити від клієнта OPC і передає їх ПЛК (OFS Server).
- низькорівневі драйвери для зв'язку з ПЛК TSX Premium;
- система OPC, яка забезпечує моніторинг зв'язку "клієнт-сервер" між різними підключеними компонентами (OFS Testing Client);
- програма, яка дозволяє перевіряти функціонування одного або кількох клієнтів без необхідності з'єднання з контролером логічного програмування (ПЛК);
- електронна документація з налаштування.

Для налаштування OFS-сервера використовується програма OFS Configuration Tool.

3.2.1. Розробка програми для контролеру

При розробці системи автоматичного керування процесом сушіння обкотишів було обрано контролер TSX Premium 2634M. Тому для створення програмного забезпечення рекомендується використовувати програмне середовище Unity Pro XL 8.0, оскільки воно спеціально розроблене для конфігурування, програмування, налагодження та діагностики виконавчої системи промислових контролерів Modicon, виготовлених компанією Schneider Electric [12, 13].

ПЛК виконує обробку даних, які надходять з об'єкту (вхідні змінні процесу), і генерує вихідні дані (вихідні змінні процесу) згідно з програмою, що розроблена розробником системи управління (рис. 3.1).

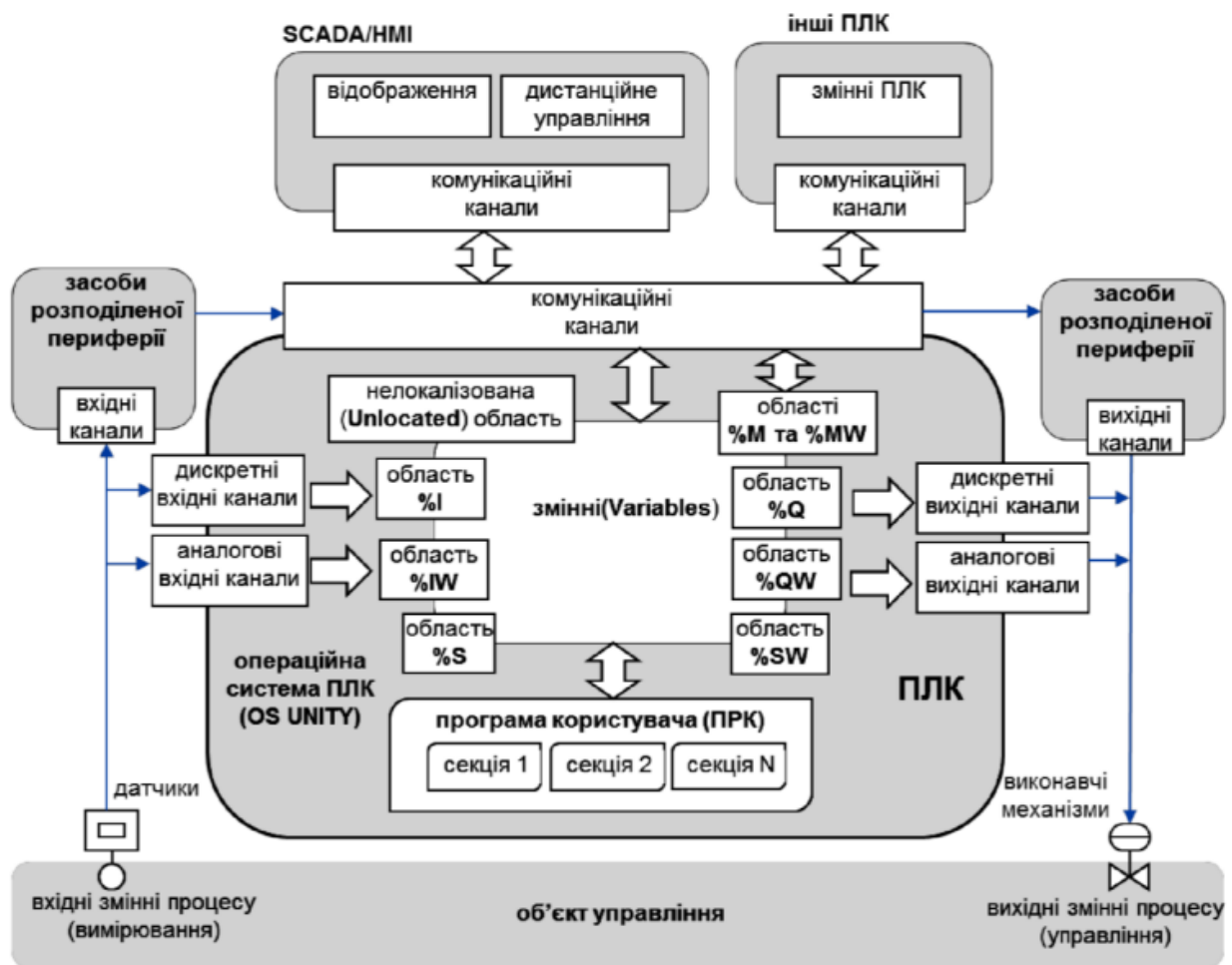


Рисунок 3.1. – Функціональна структура ПЛК з операційною системою UNITY

Користувачка програма управляє змінними ПЛК, що розділені на кілька категорій. Деякі змінні призначені для зберігання вхідних значень, інші - для вихідних значень процесів, частину використовують для тимчасового зберігання проміжних результатів обчислень або для обміну даними з іншими засобами через комунікаційні канали. Деякі змінні використовуються для взаємодії з операційною системою ПЛК. Операційна система UNITY забезпечує координацію всіх цих компонентів та управління їх взаємодією.

В залежності від того, для яких цілей використовуються дані, їх можна розмістити в різних областях.

- %I, %IW - область даних вхідних каналів;
- %Q, %QW – область даних вихідних каналів;
- %M – область даних для внутрішніх булевих (Boolean) змінних;
- %MW – область даних для внутрішніх числових змінних;
- %S – область даних для системних булевих змінних;
- %SW – область даних для системних числових змінних;
- %KW – область констант;

– "Unlocated" - це зона, де зберігаються нелокалізовані дані. Список змінних у програмному забезпеченні для програмованої логічної контролерної системи в середовищі UNITY PRO XL.8.0 наведено на рис. 3.2 та на рис. 3.3.

Програмне керування контролера TSX Premium операційно втілює другий рівень системи автоматизованого управління процесом сушіння обкотишів у місцевості випалювальної машини, виконуючи такі функції:

- обробка сигналів, що надходять від основних засобів збору даних про стан технологічного процесу;
- функції регулювання тиску в технологічних зонах сушіння 1 та 2;
- функції регулювання тиску в колекторі технологічної зони сушіння 1;
- можливості контролю температури в області технологічного процесу над ГПК 6-7 сушіння 3.

Variables DDT Types Function Blocks DFB Types						
Filter		Name		☒ EDT ☐ DDT ☐ IODDT ☐ Device DDT		
Name	Type	Address	Value	Comment	Custom	
● D59	REAL		65.0	ступінь відкриття напірного апарату димососу D59		
● DR2_2	REAL		81.0	ступінь відкриття дроселя Др 2.2		
● DR9	REAL		72.0	ступінь відкриття дроселя Др 9		
● P_K1_Current	REAL			поточне значення тиску в колекторі 1		
● P_K1_Out	REAL			ступінь відкриття заслінки для регулювання тиску в колекторі 1		
● P_K1_Real	REAL					
● P_K1_Regulate	REAL					
● P_K1_Scale	REAL					
● P_K1_Set	REAL			задане значення тиску в колекторі 1		
● P_K2	REAL		-1380.0	тиск в колекторі 2		
● P_Z1_Current	REAL			поточне значення тиску в зоні 1		
● P_Z1_Out	REAL			ступінь відкриття заслінки для регулювання тиску в зоні 1		
● P_Z1_Real	REAL					
● P_Z1_Regulate	REAL					
● P_Z1_Scale	REAL					
● P_Z1_Set	REAL			задане значення тиску в зоні 1		
● P_Z1_Set_Scale	REAL					
● P_Z2_Current	REAL			поточне значення тиску в зоні 1		
● P_Z2_Out	REAL			ступінь відкриття заслінки для регулювання тиску в зоні 2		
● P_Z2_Real	REAL					
● P_Z2_Regulate	REAL					
● P_Z2_Scale	REAL					
● P_Z2_Set	REAL			задане значення тиску в зоні 2		
● P_Z2_Set_Scale	REAL					
● P_Z3_1	REAL		131.0	значення тиску в зоні 3		
● P_Z3_2	REAL		131.0	значення тиску в зоні 3		
● T_K1	REAL		265.0	значення температури в колекторі 1		
● T_K2	REAL		280.0	значення температури в колекторі 2		
● T_Z1	REAL		274.0	значення температури в зоні 1		
● T_Z2	REAL		331.0	значення температури в зоні 2		
● T_Z3_1_Current	REAL			поточне значення температури над ГПК 6		
● T_Z3_1_Out	REAL			ступінь відкриття заслінки для регулювання температури над ГПК 6		
● T_Z3_1_Real	REAL					
● T_Z3_1_Regulate	REAL					
● T_Z3_1_Scale	REAL					
● T_Z3_1_Set	REAL			задане значення температури над ГПК 6		
● T_Z3_2_Current	REAL			поточне значення температури над ГПК 7		
● T_Z3_2_Out	REAL			ступінь відкриття заслінки для регулювання температури над ГПК 7		
● T_Z3_2_Real	REAL					
● T_Z3_2_Regulate	REAL					
● T_Z3_2_Scale	REAL					
● T_Z3_2_Set	REAL			задане значення температури над ГПК 7		

Рисунок 3.2 - Перелік змінних в середовищі UNITY PRO XL 8.0

Variables DDT Types Function Blocks DFB Types						
Filter		Name		☐ EDT ☒ DDT ☐ IODDT ☐ Device DDT		
Name	Type	Address	Value	Comment	Custom	
④ P_K1_Lag_mode	Mode_MH					
④ P_K1_mode_PID	Mode_PID					
④ P_K1_Para_mode	Para_LAG					
④ P_K1_PARA_PID	Para_PID					
④ P_Z1_Lag_mode	Mode_MH					
④ P_Z1_mode_PID	Mode_PID					
④ P_Z1_Para_mode	Para_LAG					
④ P_Z1_PARA_PID	Para_PID					
④ P_Z1_PARA_Scale_In	Para_SCALI...					
④ P_Z1_PARA_Scale_Out	Para_SCALI...					
④ P_Z1_PARA_SCALE_Set	Para_SCALI...					
④ P_Z2_Lag_mode	Mode_MH					
④ P_Z2_mode_PID	Mode_PID					
④ P_Z2_Para_mode	Para_LAG					
④ P_Z2_PARA_PID	Para_PID					
④ P_Z2_PARA_Scale_In	Para_SCALI...					
④ P_Z2_PARA_Scale_Out	Para_SCALI...					
④ P_Z2_PARA_SCALE_Set	Para_SCALI...					
④ T_Z3_1_Lag_mode	Mode_MH					
④ T_Z3_1_mode_PID	Mode_PID					
④ T_Z3_1_Para_mode	Para_LAG					
④ T_Z3_1_PARA_PID	Para_PID					
④ T_Z3_1_PARA_Scale_In	Para_SCALI...					
④ T_Z3_1_PARA_Scale_Out	Para_SCALI...					
④ T_Z3_2_Lag_mode	Mode_MH					
④ T_Z3_2_mode_PID	Mode_PID					
④ T_Z3_2_Para_mode	Para_LAG					
④ T_Z3_2_PARA_PID	Para_PID					
④ T_Z3_2_PARA_Scale_In	Para_SCALI...					
④ T_Z3_2_PARA_Scale_Out	Para_SCALI...					

Рисунок 3.3 - Перелік змінних для налаштування регулятора в середовищі
UNITY PRO XL 8.0



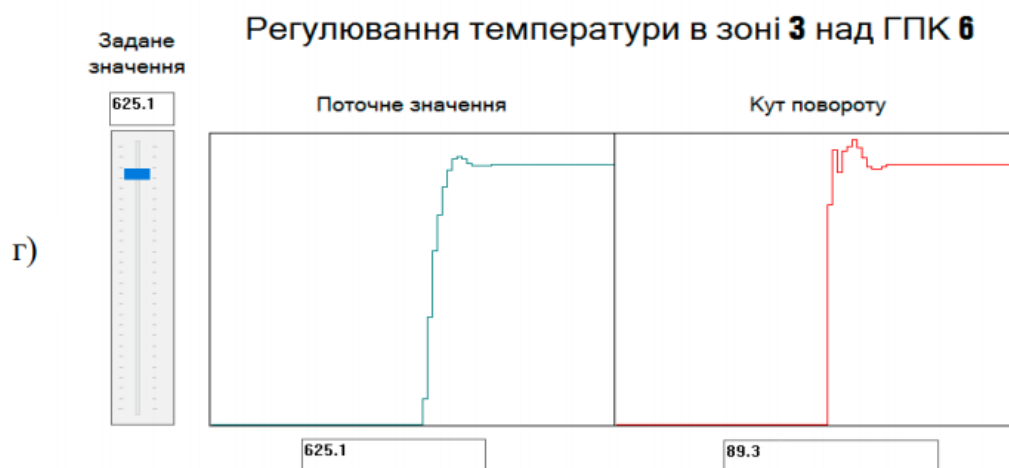
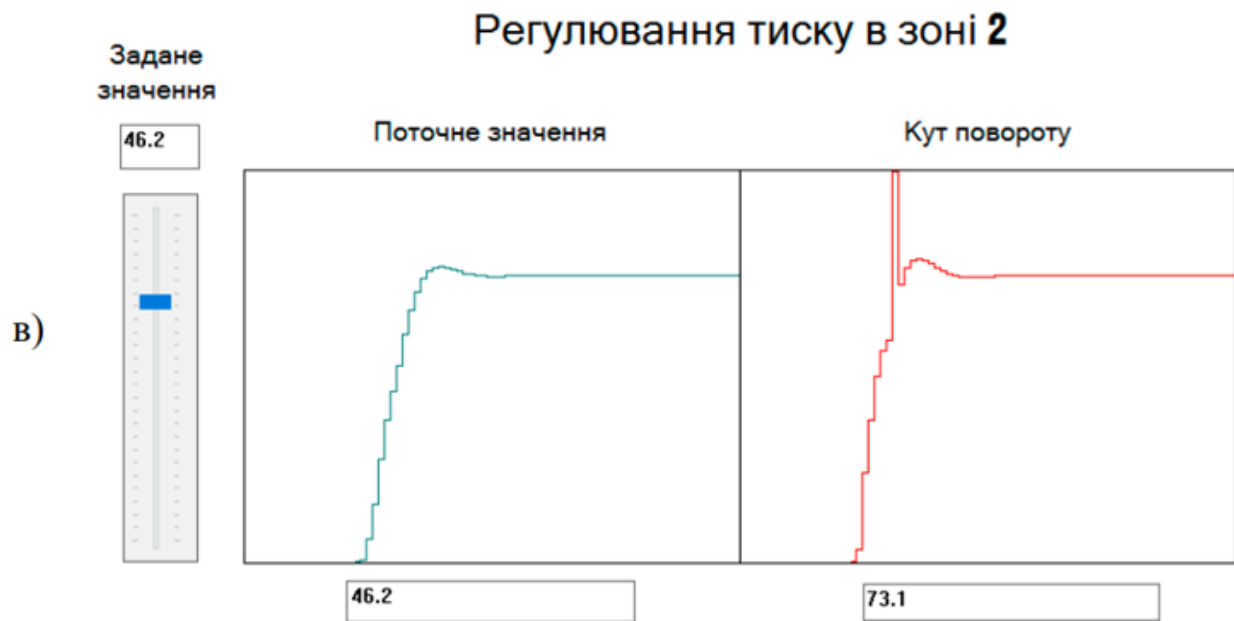


Рисунок 3.4 – Графік регулювання тиску (рис 3.4 а, рис 3.4 б, рис 3.4 в), та температури (рис 3.4 г, рис 3.4 д)

3.2.2. Розробка системи контролю та візуалізації технологічного процесу сушіння обкотишів

Для здійснення моніторингу та візуалізації процесу керування сушінням обкотишів у випалювальній печі ОК-306 на фабриці огрудкування, використовувалося програмне забезпечення Vijeo Citect від компанії Schneider Electric.

На головній сторінці системи візуалізації технологічного процесу (рис. 3.5) для сушіння обкотишів у випалювальній печі на фабриці огрудкування представлений інтерфейс для моніторингу ходу технологічного процесу та основних технологічних показників.

На графіку показані значення основних параметрів технології.

- температура в зоні сушіння 1;
- температура в зоні сушіння 2;
- температура в зоні сушіння 3 (над ГПК6);
- температура в зоні сушіння 3 (над ГПК7);
- температура в колекторі зони сушіння 1;
- температура в колекторі зони сушіння 2;
- тиск в зоні сушіння 1;
- тиск в зоні сушіння 2;
- тиск в зоні сушіння 3;
- тиск в колекторі зони сушіння 1;
- тиск в колекторі зони сушіння 2;
- ступінь відкриття прямого апарату димососу Д58;
- ступінь відкриття прямого апарату димососу Д59;
- ступінь відкриття дроселю Др. 2.1;
- ступінь відкриття дроселю Др. 2.2;
- ступінь відкриття дроселю Др. 3;
- ступінь відкриття дроселю Др. 9;

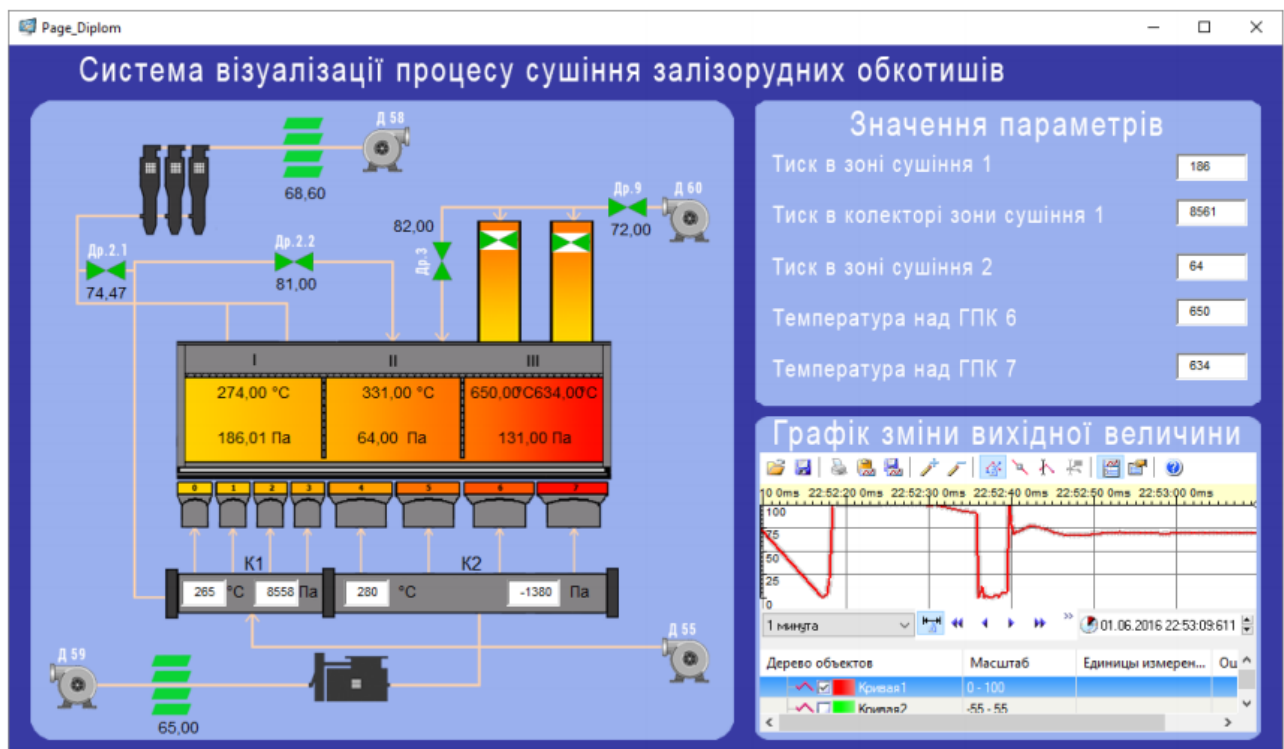


Рисунок 3.5 – Головна сторінка системи візуалізації технологічного процесу

У системі візуалізації технологічного процесу також передбачені спеціальні поля для введення потрібних значень технологічних параметрів (див. рис. 3.6). Після того як оператор введе всі необхідні значення параметрів, вони автоматично передаються до керуючої програми ПЛК за допомогою OPC Factory Server (OFS), де відбувається процес регулювання. Після цього вихідне значення з регулятора також передається до системи візуалізації через OPC Factory Server (OFS).

Рисунок 3.6 – Поля для введення бажаного значення технологічного параметру

Для ключових технологічних характеристик процесу, таких як тиск у технологічній зоні сушіння 1, тиск у колекторі технологічної зони сушіння 1, тиск у проміжній технологічній зоні сушіння 2, температура у технологічній зоні сушіння 3 (над ГПК6) та температура у технологічній зоні сушіння 3 (над ГПК7), можна відображати графіки їхньої зміни у часі (тренди). Зазвичай на екрані показуються графіки тривалістю 10 хвилин із періодом дискретизації 1 секунда. Оператор може вибрати, які саме параметри процесу відображати як тренди, а також визначити тривалість і період дискретизації за допомогою перемикачів (рис. 3.7 а, рис. 3.7 б).

Подання інформації про минулу та поточну діяльність на основі трендів (графіків часу) сприяє кращому розумінню роботи керованого об'єкту. Використання трендів дозволяє візуалізувати тенденції змінення значень змінних або процесів у графічному вигляді. Оскільки ці значення змінюються з часом, графік автоматично оновлюється, щоб відображати останні дані. Крім того, за допомогою засобів системи SCADA Vijeo Citect можна переглядати архівні дані, щоб аналізувати минулі значення змінних або параметрів процесу. Збір архівних даних продовжується навіть у тих випадках, коли тренди не відображаються.

Система Vijeo Citect підтримує три типи трендів: періодичні (Periodic), які будуються на основі заданого інтервалу часу; подійні (Event), які побудовані відповідно до виникнення певної події; та змішані (Periodic Event), що побудовані лише при задоволенні певної умови разом із заданим періодом. Додавання трендів до системи Vijeo Citect відбувається через створення тренд-тегів (Trend Tags). Кожен такий тег має бути пов'язаний з одним або кількома файлами для зберігання даних. Система Vijeo Citect автоматично зберігає дані трендів, незалежно від їх відображення на графічних сторінках. Для візуалізації трендів використовується інструмент "Аналізатор процесів" графічного редактора (Citect Graphics Builder) системи Vijeo Citect. Цей аналізатор є керуючим додатком ActiveX, який дозволяє оператору спостерігати дані трендів та тривоги з відповідних серверів у більш зрозумілій формі порівняння з шаблонами. Необхідність додаткового налаштування перед використанням

аналізатора процесів відсутня, оскільки він автоматично користується інформацією з існуючих серверів трендів та тривог. Деякі властивості аналізатора процесів можна налаштовувати як в процесі розробки, так і в період експлуатації системи візуалізації.

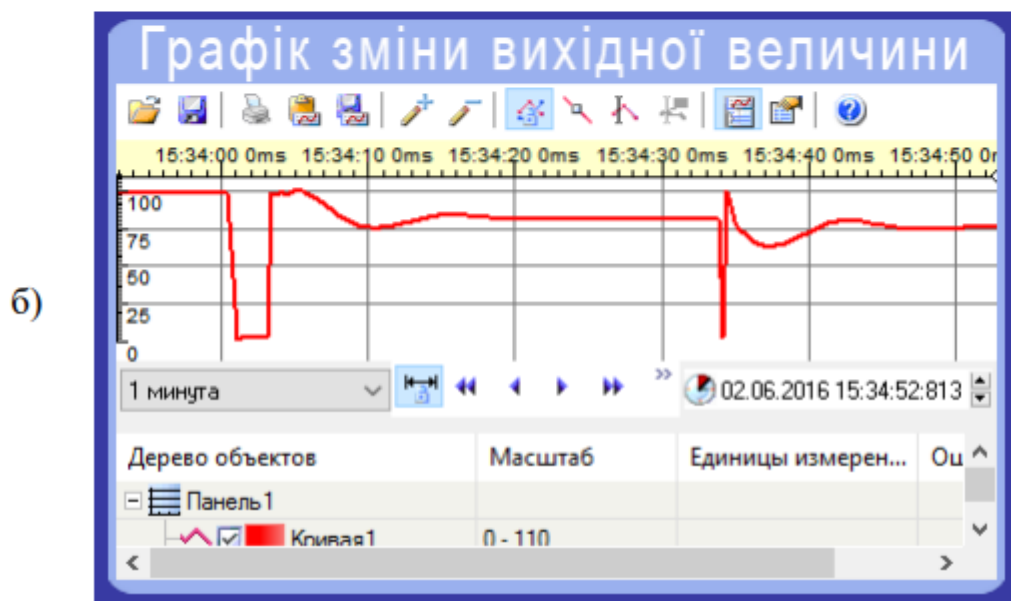
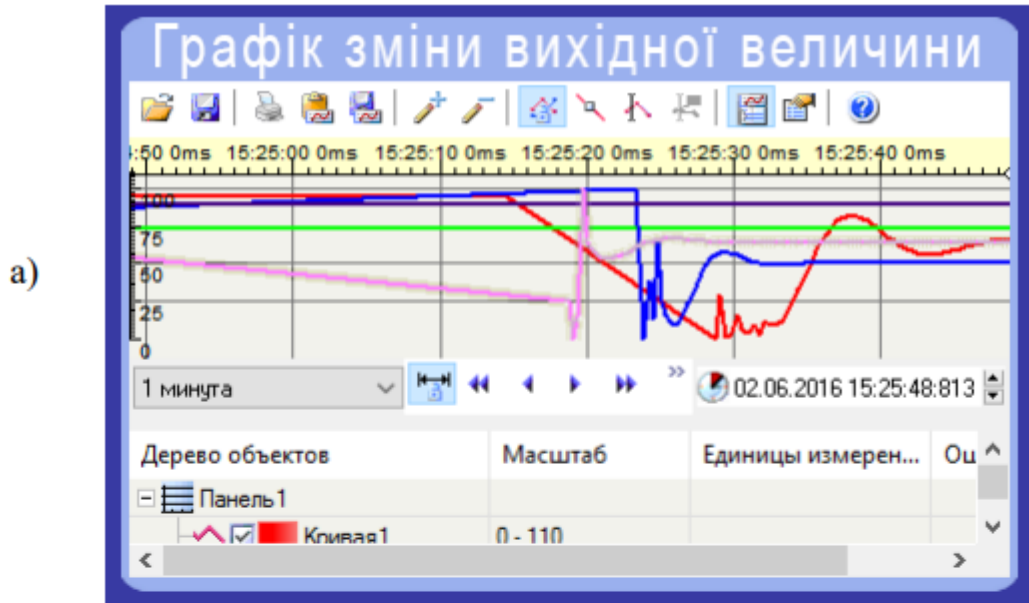


Рисунок 3.7 – Відображення трендів всіх параметрів процесу (рис. 3.7 а) та відображення окремого параметру (рис. 3.7 б)

ВИСНОВКИ

Мета кваліфікаційної бакалаврської роботи – автоматизація та управління процесом сушіння залізорудних обкотишів під час роботи конвеєрної вантажівки ОК-306 на території ПрАТ "Полтавський ГЗК".

У бакалаврській роботі розглянуто автоматизацію та управління процесом сушіння залізорудних обкотишів на фабриці огрудкування. Описано технологічний процес сушіння обкотишів, сформульовано вимоги до структури та функціонування системи та поставлені завдання, які вона має виконувати.

У процесі проектування визначили загальні принципи управління технологічним процесом. Розроблено структурну схему автоматизованої системи керування (АСК) та проведено математичне описання й комп'ютерне моделювання цієї системи. Обрано і обґрунтовано необхідне технічне забезпечення й обладнання, яке відповідає вимогам, що були сформульовані в аналітичній частині проекту.

Розглянуто і виправдано вибір програмного забезпечення для розробки системи контролю та візуалізації технологічного процесу. Зокрема, були обрані програмні платформи Vijeo Citect та Unity Pro XL 8.0 від Schneider Electric. Також був розроблений програмний додаток для програмованого логічного контролера, а також система контролю та візуалізації технологічного процесу HMI/SCADA для автоматизованого робочого місця оператора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рубан С.А. Розробка принципів керування температурним режимом процесу випалювання котунів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей / С.А. Рубан, В.Й. Лобов // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2008. – № 1. – С. 69–74.
2. Мовчан В.П., Бережной М.М. Основи металургії: Монографія.- Дніпропетровськ: Пороги, 2001.-335 с.
3. Ефименко Г.Г. Металлургия чугуна /Г.Г. Ефименко, А.А. Гиммельфарб, В.Е. Левченко. - [2-е изд.]. – К.: Вища школа, 1974. – 488 с.
4. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина III. Заключні процеси. – Кривий Ріг: Криворізький національний університет. 2019. – 230 с.
5. Іващенко В. П., Величко О. Г., Терещенко В. С. Безкоксова металургія. Дніпропетровськ : РВА «Дніпро-VAL», 2002. 338 с.
6. Федченко Н.Н. Исследование процесса термообработки железорудных окатышей и разработка системы автоматической оптимизации : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 / Николай Николаевич Федченко . – К., 1979. – 178 с.
7. Момот В.Ю. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Частина 1. Автоматизований електропривод механізмів безперервної дії: Навчальний посібник / В.Ю. Момот, А.А. Видмиш. – Вінниця: ВДТУ, 1998. – 129 с.
8. Платформа автоматизації Premium: Каталог обладнання фірми Schneider Electric. <http://surl.li/uskhk>.
9. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: Підручник / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
10. Основи металургії./ Мовчан В. П., Бережний М. М. –Дніпропетровськ: Пороги. 2001. – 336 с.
11. Давыдов В.Г. Система супервизорного управления Vijeo Citect. Базовый курс / В.Г. Давыдов. – СПб.: Из-во СПбГПУ, 2009. – 310 с.

12. Пупена О. М. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro: навч. посібник / О. М. Пупена, І. В. Ельперін; К.: Видавництво Ліра-К. – 2013. – 340с.
13. Каталог. Premium TSX фірми Schneider Electric. 2008-01-01.: Schneider Electric Automation Business. - 1124 с
14. Технологічні машини: підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти./ Гнітько С.М., Бучинський М.Я., Попов С.В., Чернявський Ю.А. - Харків: НТМТ, 2020. 258 с.
15. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металлургия чугуна. К.: Вища школа, 1988. - 351с.
16. Куцик А. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах: навч. посіб. / А. Куцик, В. Місюренко. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 200 с.
17. Tigerschiöld, M.: Aspects on palletizing of iron ore concentrates JISI May 1954. Special meeting in Sweden, pp. 13-24
18. Unity Pro Program Languages and Structure [Електронний ресурс]. – http://users.isr.ist.utl.pt/~jag/courses/api15/docs/PLC_2_Unity_Reference.pdf.
19. Bennet, R. L.; Lopez. R. D.: Agglomeration of iron ore concentrates. Chem. Eng. Progr. Sympos. Ser. (1963) 40-51.