

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.

" ____ " _____ 2025р.

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**

на тему

**" Розробка і дослідження системи автоматичного
керування тиском у технологічних зонах сушіння при
виготовленні котунів "**

**" Development and research of an automatic pressure control
system in drying areas during the manufacture of cotton wool "**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу
групи АК-24 М (1,4)

174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка»

_____ Новіков Д.С.

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

д.т.н, професор

_____ Мацуї А.М.

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

_____ 2025 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 Призначення та область застосування системи керування подачею повітря в зону сушки при виготовленні котунів.....	
1.1 Коротка характеристика технологічного процесу виробництва котунів.....	
1.2 Аналіз особливостей функціонування технологічної зони сушки конвеєрної випалювальної машини.....	
1.3 Загальна характеристика існуючої системи керування тиском при сушінні залізородних котунів.....	
1.4 Обґрунтування необхідності модернізації системи керування тиском при сушінні залізородних котунів.....	
1.5 Розробка технічних вимог до системи керування тиском в процесі сушіння залізородних котунів.....	
2 Обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу.....	
2.1 Розробка принципів керування тиску в процесі сушіння котунів.....	
2.2 Математичне забезпечення автоматизованої системи керування тиском.....	
2.2.1 Розробка структури системи автоматичного керування тиском.....	
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій.....	
3.1 Опис структури комплексу технічних засобів АСК тиском.....	
3.2 Вибір обладнання автоматизації польового рівня.....	
3.2.1 Датчики тиску.....	
3.2.2 Виконавчий механізм.....	
3.2.3 Блоки ручного керування.....	

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

4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що
підтверджують працездатність системи.....

4.1 Комп'ютерне моделювання системи автоматичного
керування тиском.....

4.2 Розробка програмного забезпечення для програмованого
логічного контролера.....

4.3 Розробка системи контролю та візуалізації
технологічного процесу сушки кутунів.....

Висновок.....

Література.....

Додаток А. Охорона праці.....

ВСТУП

На сучасному етапі залізорудні котуни є одним із ключових видів сировини, що застосовується у сталеплавильному виробництві. Технологічний цикл їх виготовлення передбачає обов'язкову термічну обробку у спеціальних випалювальних агрегатах. Процес випалювання здійснюють на трьох основних типах установок: конвеєрних випалювальних машинах, комбінованих комплексах типу «конвеєрні грати – трубчаста піч» та шахтних печах. В умовах металургійних підприємств України переважно використовуються конвеєрні машини, що пояснюється відносною простотою їх конструкції, надійністю роботи та зручністю експлуатації.

За даними світової практики близько половини всього обсягу котунів, а саме приблизно 52 %, виробляється на конвеєрних випалювальних машинах. Ще близько 34 % продукції отримують у комбінованих установках з трубчастими печами, 13 % – у шахтних печах, тоді як частка інших типів агрегатів не перевищує 1 %.

Випалювання котунів належить до найбільш відповідальних і технологічно складних етапів їх виробництва. Основним завданням цієї стадії є формування котунів з необхідними металургійними характеристиками, зокрема забезпечення високої міцності та максимально можливого видалення шкідливих домішок, передусім сірки. Досягнення заданих властивостей гарантує стійкість котунів під час транспортування, перевантажувальних операцій і подальшого використання в доменному процесі.

У процесі термічної обробки залізорудних котунів матеріал послідовно проходить стадії сушіння, попереднього нагріву, випалювання, рекуперації тепла та остаточного охолодження, при цьому для кожної ділянки встановлюється власний температурний і газодинамічний режим.

Зона випалювання як об'єкт автоматизованого керування є найбільш відповідальною та технічно складною ланкою всього процесу термообробки котунів. Керування таким технологічним об'єктом зводиться до формування

керуючих впливів, здатних компенсувати дію зовнішніх і внутрішніх збурень та забезпечити досягнення заданих показників у складних умовах виробництва.

Збереження конкурентних позицій української металургії на світовому ринку можливе лише за умови впровадження модернізованих рішень, використання сучасних технологій, концентрації інвестиційних ресурсів і поглиблення інтеграції виробничих процесів.

Автоматизація технологічних операцій виступає одним із ключових чинників зростання продуктивності, поліпшення умов праці персоналу та підвищення стабільності якості готової продукції.

У зв'язку з цим розроблення системи керування подачею повітря до зони сушіння є актуальним прикладним завданням, реалізація якого дозволяє знизити енергоспоживання та підвищити ефективність процесу випалювання.

Розрахункові дослідження виконувалися з використанням сучасних персональних комп'ютерів і спеціалізованих пакетів прикладного програмного забезпечення, що забезпечило необхідну точність та оперативність отримання результатів.

1 Призначення та область застосування системи керування подачею повітря в зону сушки при виготовленні котунів

1.1. Коротка характеристика технологічного процесу виробництва котунів

Фабрика огрудкування ПрАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат» введена в експлуатацію за проектом інституту «Механообрчермет» у 1961 році. Під час розроблення проектних рішень було враховано практичний досвід роботи досвідної фабрики огрудкування цього ж підприємства. Пусконаладжувальні роботи та освоєння технології виготовлення офлюсованих котунів завершено наприкінці 1963 року. У період подальшої експлуатації на фабриці реалізовано комплекс заходів з модернізації обладнання й удосконалення технологічних процесів, що забезпечило зростання продуктивності агрегатів і підвищення якісних показників готової продукції.

Фабрика огрудкування функціонує як окремий виробничо-господарський підрозділ у структурі ПрАТ «Полтавський ГЗК». Її основним призначенням є забезпечення виконання планових завдань з виготовлення та відвантаження котунів заданої якості відповідно до чинних стандартів, технічних умов і затверджених графіків, із раціональним використанням трудових, матеріальних, енергетичних і фінансових ресурсів.

Фабрика огрудкування спеціалізується на виробництві обпалених залізородних котунів, які використовуються в металургійному виробництві. До основних компонентів шихти належать залізородний концентрат, флюсуючі добавки у вигляді вапняку та зв'язувальний матеріал – бентоніт.

Питомі витрати концентрату, вапняку й бентоніту на одиницю готової продукції встановлюються відповідно до технологічної карти процесу огрудкування. Під час її розроблення враховуються показники якості вихідного концентрату, зокрема вміст заліза та діоксиду кремнію SiO_2 , а також тип котунів, що визначається заданим рівнем основності.

Виробництво на фабриці здійснюється у безперервному режимі. Згідно з вимогами експлуатаційної документації опалювальної машини типу ОК-324/336, після кожних двох тижнів роботи передбачається планова зупинка тривалістю до 12 годин для виконання профілактичних і регламентних ремонтних робіт. Окрім цього, один раз на пів року проводиться середній ремонт усього комплексу обладнання ОК-324/336 із частковою заміною футерування горна, виконаного з вогнетривкої цегли, що потребує простою машини протягом приблизно двох тижнів.

Цех огрудкування котунів є складною виробничою ділянкою, до складу якої входять склад сирих матеріалів, корпус підготовки шихтових компонентів, відділення формування сирих котунів, ділянка їх термічної обробки та склад готової продукції. Основні етапи технологічного процесу, їх взаємозв'язок і послідовність виконання наведені на рис.1.1.

Вихідною сировиною для отримання котунів слугує зволожена шихта, що являє собою суміш залізорудного концентрату та спеціальних добавок. Сирі котуни мають володіти достатньою механічною міцністю для запобігання деформації й руйнуванню під час транспортування до випалювального агрегату, а також високою термостійкістю, яка забезпечує збереження їх цілісності в процесі випалювання. З метою покращення цих характеристик до складу шихти вводять сполучні компоненти, зокрема бентоніт, його водні суспензії, вапняк та інші добавки. Операція формування шихти передбачає точне дозування всіх складників і їх інтенсивне рівномірне перемішування.

Залізорудний концентрат є продуктом глибокого збагачення руди з підвищеним вмістом заліза та виступає базовим компонентом шихтової суміші. Його подача зі складу збагачувальної фабрики на ділянки приготування шихти здійснюється за допомогою розгалуженої конвеєрної системи. Вимоги до якості концентрату, зокрема гранулометричного складу та вмісту заліза, встановлюються технологічною картою виробництва.

Вапняк використовується у складі шихти як флюсова складова з метою поліпшення фізико-механічних характеристик котунів. Сировина надходить

залізничним транспортом у піввагонах окремими партіями масою до 4000 тонн зі складів зберігання у відділення подрібнення добавок. Для забезпечення повноцінної хімічної взаємодії з рудними компонентами вапняк повинен мати високу дисперсність, оскільки зменшення розміру частинок сприяє підвищенню однорідності готових котунів. З цієї причини матеріал піддається дробленню до фракції 3-0 мм, після чого подається транспортними засобами до відділення приготування шихти.

На початковому етапі здійснюється надходження вапняку та бентоніту на сировинний склад. Складське господарство являє собою відкриту територію розміром 156×46 м із заглибленням до 6,9 м, обладнану розвантажувальною траншеєю та трьома консольно-козловими кранами. Майданчик розділений перегородкою на окремі зони для зберігання вапняку і бентоніту, а також додатково передбачено площадку площею 36×32 м для підлогового складування матеріалів.

Після цього всі складові шихти, необхідні для виробництва котунів, подаються на ділянку приготування суміші. До їх складу входять залізорудний концентрат, вапняк, бентоніт та матеріал повернення. Сировина, що надходить у виробництво, повинна відповідати вимогам технічних умов і супроводжуватися паспортами, у яких зазначені показники якості та маса кожної партії.

Контроль параметрів вхідної сировини здійснює служба технічного контролю, яка проводить випробування кожної партії відповідно до затверджених карт випробувань. Результати хімічного аналізу компонентів шихти передаються оператору ділянки та використовуються майстром зміни і дозувальником для уточнення та коригування кількісного складу суміші.

Концентрат є базовим компонентом шихти та за допомогою системи стрічкових конвеєрів транспортується зі складу збагачувальної фабрики до витратних бункерів дільниці приготування шихти місткістю по 100 м³ кожен. Завантаження бункерів здійснюється реверсивними пересувними конвеєрами. Вимоги до якості концентрату визначаються технологічною картою та контролюються в процесі виробництва.

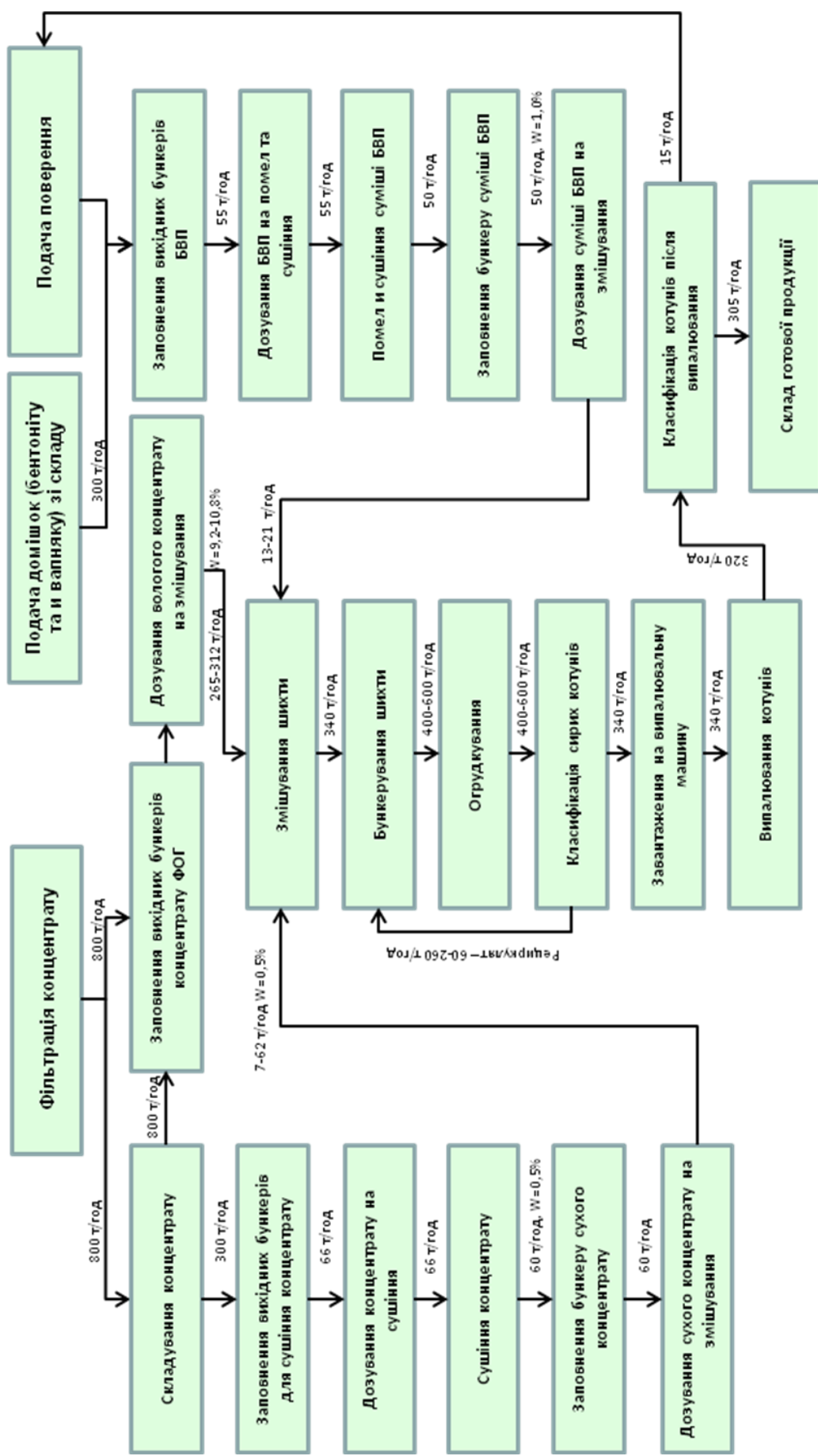


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу виробництва котунів

Вапняк використовується як флюсуючий компонент шихти. Сировина надходить залізничним транспортом у піввагонах партіями масою до 4000 тонн і розвантажується на естакаді складу сирих матеріалів. Після розвантаження вапняк за допомогою грейферних кранів укладається у штабелі, звідки подається в самохідні бункери. На дільниці приготування шихти підготовка вапняку до подальшого застосування виконується у два етапи: на першій стадії здійснюється дроблення вихідного матеріалу в молоткових дробарках до розміру частинок близько 20 мм, на другій – тонке подрібнення в кульових млинах сухого помелу до фракції 0,071 мм, що забезпечує необхідні фізико-хімічні властивості матеріалу.

Бентоніт використовується як зв'язувальна добавка у шихті з метою підвищення міцності сирих котунів та активізації процесу їх сушіння під час термічної обробки. Його введення забезпечує покращення формування гранул і стабільність технологічного режиму.

Розглянемо детальніше склад та оснащення корпусу приготування шихти. Дана ділянка являє собою єдиний технологічний комплекс, до складу якого входять:

а) корпуси дроблення та сушіння бентоніту, оснащені самохідними бункерами й розгалуженою системою стрічкових і ланцюгових конвеєрів;

б) відділення механічного подрібнення сировинних матеріалів, що включає п'ять подрібнювальних установок, об'єднаних у систему млинів;

в) вузол приготування шихти, укомплектований групою накопичувальних бункерів, дозувальних пристроїв, транспортних конвеєрів, системою пневмотранспорту, ваговими вимірювальними приладами та змішувачами, які працюють у двох паралельних технологічних потоках.

Слід підкреслити, що на даній виробничій дільниці реалізовано автоматизоване дозування всіх складових шихти, що забезпечує високу точність подачі компонентів, сталість їх співвідношень і стабільність технологічного режиму приготування.

У цілому, коректно підібраний та точно віддозований склад шихти забезпечує стабільність процесу огрудкування, що позитивно впливає на якість сирих котунів, сприяє зростанню продуктивності огрудковувачів і підвищує ефективність роботи випалювальної машини. Формування складу шихти здійснюється шляхом розрахунків з урахуванням хімічних характеристик вихідних матеріалів і заданих вимог до складу готових випалених котунів. Ключовим завданням етапу приготування шихти є забезпечення точного та стабільного дозування всіх її складових.

Після підготовки шихта надходить до корпусу огрудкування. На початковому етапі матеріал за допомогою конвеєрної системи транспортується у витратні бункери, звідки через стрічкові дозатори рівномірно подається на чашеві огрудковувачі. Сформовані сирі котуни вивантажуються на збірні конвеєри окремих напівсекцій, а далі по загальному збірному конвеєру спрямовуються на випалювальну машину для подальшої термічної обробки.

Якісні показники сирих котунів визначаються ступенем однорідності шихтової суміші, вмістом вологи та рівномірністю введення вапняку й бентоніту по всьому об'єму матеріалу, тривалістю зволоження шихти в чашовому огрудковувачі, а також кількістю і властивостями домішок. Досягнення необхідної однорідності забезпечується точним дозуванням компонентів і їх інтенсивним перемішуванням. За умов формування котунів з рівномірно підготовленої шихти процес огрудкування відбувається стабільно: гранули утворюються з однаковою швидкістю, мають близькі розміри та однакові фізико-механічні характеристики, що забезпечує максимальний вихід придатної фракції.

У разі порушення режимів дозування або недостатнього перемішування суміші формуються котуни неправильної форми з підвищеним вмістом дрібних частинок. Це негативно впливає на умови подальшого випалення, погіршує газопроникність шару та зменшує продуктивність випалювальної установки.

Після завершення процесу огрудкування сирі котуни надходять на ділянку термічної обробки у випалювальну машину ОК-324. Даний агрегат призначений для випалення котунів із залізорудних концентратів з метою надання їм

необхідних фізико-хімічних та механічних властивостей. Випалювальна машина ОК-324 є тепловим агрегатом конвеєрного типу, що працює в безперервному режимі та забезпечує послідовні операції завантаження, нагрівання, випалення і розвантаження готової продукції.

Сирі котуни з відділення огрудкування за допомогою стрічкового конвеєра після проходження конвеєрних ваг транспортуються до човникового укладальника завантажувального вузла. У цьому пристрої потік матеріалу рівномірно розподіляється по ширині тихохідного проміжного конвеєра. Далі котуни подаються на роликовий грохот-укладальник, з якого надходять безпосередньо на візки випалювальної машини.

З метою захисту випалювальних візків на їх поверхні формується донна та бортова постіль із випалених або некондиційних котунів. Сирі котуни, розміщені на такій постелі, під час руху візків із заданою швидкістю послідовно проходять технологічні зони сушіння, попереднього нагрівання, високотемпературного випалу та подальшого охолодження.

Після завершення термічної обробки випалені котуни стрічковими конвеєрами транспортуються до перевантажувального вузла, де здійснюється їх грохочення. У результаті класифікації матеріал поділяється за розмірами на чотири фракції: дрібну (0-6 мм), середню (6-10 мм), товарну (10-16 мм) та крупну, розміром понад 16 мм.

Після проходження грохочення частина котунів розміром 10-16 мм за допомогою системи стрічкових конвеєрів транспортується на випалювальну машину, де використовується як захисний шар. Матеріал дрібної фракції 0-6 мм утворює зворотний потік і надходить до шихтового відділення для повторного подрібнення та введення в сировинну суміш. Придатні до відвантаження котуни розміром 6-10 мм направляються на склад готової продукції, де за допомогою штабелеукладчика формуються складські штабелі.

Випалювальна машина є теплотехнічним агрегатом конвеєрного типу, що працює у безперервному режимі та забезпечує послідовне завантаження, термічну обробку і вивантаження котунів. Конструктивно вона складається з механічної та теплової частин, змонтованих на спільному несівному каркасі. Основні експлуатаційні та технічні параметри випалювальної машини типу ОК-324 наведено в таблиці 1.1.

Механічна складова агрегату містить 142 випалювальні візки, що з'єднані між собою в безперервну конвеєрну систему, замкнуті напрямні, по яких здійснюється їх переміщення, привідний механізм із зірочками та пристрій для розвантаження готового матеріалу.

Теплова частина установки охоплює горн із форкамерними відсіками та інжекційними пальниковими вузлами, захисні кожухи горну, колектор прямооточного руху газів, газоповітряні камери та систему ущільнень, що забезпечує герметичність процесу.

Колосникове поле випалювальних візків, розміщених між горном у верхній частині та газоповітряними камерами в нижній зоні, формує робочу поверхню загальною площею 336 м². Згідно з технологічним призначенням, робоча довжина машини поділяється на функціональні ділянки: зони первинного та вторинного сушіння, попереднього нагрівання, дві стадії випалювання, рекуперації тепла, а також послідовні етапи охолодження матеріалу.

У ході термічної обробки сирих котунів протікає комплекс взаємопов'язаних фізичних і хімічних змін, що суттєво впливають на їх структуру, фазовий склад та подальші експлуатаційні властивості.

- 1) видалення вологи;
- 2) розклад карбонатів;
- 3) десульфуратія;
- 4) окислення магнетиту; твердофазні реакції; утворення рідкої фази;
- 5) рекристалізація рудної фази;
- 6) утворення кінцевої структури при охолодженні вже випалених котунів.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики випалювальної машини ОК-324

№з/п	Найменування	Од. вим.	Значення
1.	Площа активних технологічних зон	м ²	324
2.	Робоча площа	м ²	336
3.	Загальна довжина робочої поверхні.	м	84
4.	Робоча ширина машини.	м	4
5.	Потужність по готовим котунам, до	т/год	259,2
6.	Площа зон: – сушіння 1 – сушіння 2 – підігріву – випалювання 1 – випалювання 2 – рекуперації – охолодження 1 – охолодження 2	м ²	60 18 24 36 48 24 60 66
7.	Швидкість руху випалювальних візків	м/хв.	0,72...2,52
8.	Висота слою сирих котунів, до	мм	400
9.	Висота слою донної постілі	мм	100
10.	Кількість горілочних пристроїв	шт.	18
11.	Максимальна розрахункова температура теплоносія над шаром котунів по зонах: – сушіння 1 – сушіння 2 – підігріву – випалювання 1 – випалювання 2 – рекуперації – охолодження 1 – охолодження 2	°С	80 350 600 ÷ 800 1000 ÷ 1200 1300 900 1020 ÷ 910 440 ÷ 120
12.	Максимальна температура у вакуум-камері №14.	°С	500
13.	Потужність електроприводу	кВт	22
14.	Маса машини із електроустаткуванням	т	2614

Детальніше проаналізуємо роботу окремих технологічних зон випалювальної машини.

Зони сушіння 1 і 2 конвеєрної машини призначені для попередньої підготовки залізородних котунів перед їх подальшим високотемпературним випалюванням. Під час сушіння в шарі котунів відбувається нерівномірний

розподіл вологи по висоті. Насамперед нагріванню піддається зовнішня поверхня котунів, яка безпосередньо омивається газом-теплоносієм. Унаслідок цього вода у рідкій фазі переміщується з більш прогрітих ділянок до холодніших шарів матеріалу.

Такі процеси призводять до локального накопичення вологи в окремих зонах шару, що додатково посилюється конденсацією водяної пари з газового потоку. Міграція рідкої вологи між котунами або всередині одного котуна від поверхневих шарів до центральної частини послаблює міжчастинкові зв'язки. Це негативно впливає на механічну міцність структури котунів і може спричинити їх часткове пошкодження або повне руйнування ще на стадії сушіння.

У випалювальних зонах котуни піддаються тепловій обробці потоками високотемпературних продуктів згоряння природного газу, а також вторинним теплоносієм, що надходить із зони першого охолодження та просмоктується крізь шар матеріалу. Спалювання газу здійснюється за допомогою дев'яти пар інжекційних пальників, установлених над кожною вакуум-камерою зон підігріву та випалу I і II симетрично з обох боків машини.

Кожна зона оснащена спеціальними камерами – форкамерами, у яких відбувається процес горіння. Винесення факела зони горіння за межі основного робочого простору забезпечує вирівнювання температурних полів і сприяє рівномірному випалюванню котунів по всій ширині випалювальних візків. Для підтримання стабільного горіння на інжекційні пальники вентилятором типу ВДН-12,5 подається необхідна кількість первинного повітря.

З метою формування теплоносія з оптимальними параметрами температури та витрати, достатніми для якісного випалу котунів за умов мінімального споживання палива, у форкамери додатково подається вторинний теплоносій. Він надходить із зони охолодження I через преточний колектор та опускні патрубки і має температуру близько 880 °С, що дозволяє підвищити енергоефективність процесу та стабільність теплового режиму.

З метою зменшення споживання природного газу під час термічної обробки котунів, підвищення продуктивності машини та покращення фізико-

механічних характеристик готової продукції до складу шихти огрудкування додають 0,5-1,0 % твердого палива, яке виконує функцію додаткового джерела тепла.

Зона підігріву призначена для поетапної підготовки котунів до високотемпературного випалу при 600-800 °С у наступних зонах. У цій частині установки здійснюється прогрів верхніх шарів матеріалу до температури близько 600 °С та завершення процесу сушіння нижніх горизонтів шару. Зона підігріву розміщується над вакуум-камерами № 6-7, при цьому розрідження в горні підтримується в межах 10-70 Па.

У зонах випалювання I та II, які розташовані над вакуум-камерами № 8-14 і працюють за аналогічного рівня розрідження, відбувається основне формування міцнісних властивостей котунів. У цей період інтенсивно протікають процеси окислення магнетиту, завершується термічний розклад вапняку, утворюються нові мінеральні фази, що забезпечують структурне зміцнення матеріалу. Котуни з достатнім ступенем окислення характеризуються рівномірною та однорідною структурою по всьому перерізу. До завершення зони випалювання практично повністю закінчується вигорання вуглецю у верхніх і середніх шарах матеріалу.

У неопалюваній зоні рекуперації завершуються процеси випалювання котунів і відбувається остаточне формування їх міцності в нижніх шарах за рахунок передачі теплової енергії повітряними потоками з верхніх рівнів шару. Зона рекуперації розміщується над вакуум-камерами № 15 та 16. Як теплоносій використовується повітря прямого перетоку, що надходить із першої зони охолодження та має температуру в межах 800-920 °С. У цій ділянці також закінчується процес вигорання вуглецю, що входить до складу котунів. Температурний режим газів під шаром у вакуум-камері № 15 становить близько 400 ± 50 °С.

Зони охолодження розташовані над вакуум-камерами № 17-27. Для зниження температури матеріалу застосовується нереверсивна схема подачі охолоджувального повітря вздовж усієї довжини зони. Вона поділяється на дві підзони – охолодження I та охолодження II. Такий поділ виконано з урахуванням

ефективного використання отриманого теплоносія та забезпечення необхідної інтенсивності фільтрації повітря крізь шар котунів.

Зона охолодження I розміщена над повітряними камерами №№ 17-21. У межах цієї ділянки відбувається початкове поетапне зниження температури котунів за рахунок подачі холодного повітря, яке надходить із першої зони охолодження. Повітря, нагріте до 800-920 °С, відводиться до колектора прямого перетоку та повторно використовується як теплоносій для розбавлення продуктів згоряння природного газу в зонах підігріву, випалення I та II, а також у рекупераційній ділянці, що підвищує енергоефективність процесу.

Зона охолодження II забезпечує кінцеве охолодження шару котунів до температури нижче 120 °С. Для цього атмосферне повітря за допомогою вентилятора ВДН 25×2 (Д4б) подається через повітряні камери №№ 22-27. Рухаючись крізь шар котунів у напрямку знизу догори, повітря інтенсивно відбирає тепло від матеріалу. Підігріте повітря після цього спрямовується в зону сушіння I, де використовується для попереднього нагрівання шихти.

Випалювання залізорудних котунів на випалювальній машині ОК-324 здійснюється із застосуванням природного газу.

Обпалені котуни після проходження випалювальної машини транспортуються стрічковим конвеєром до складу готової продукції для подальшого зберігання та відвантаження.

1.2 Аналіз особливостей функціонування технологічної зони сушки конвеєрної випалювальної машини

У сушильній зоні здійснюється інтенсивне видалення вологи з сирих котунів та їх підготовка до наступних стадій технологічного процесу. Для забезпечення випаровування води в цю ділянку подається потік теплоносія з заданими температурними параметрами.

З метою збереження геометричної цілісності гранул і недопущення їх розтріскування чи деформації, що можуть виникати внаслідок повторної конденсації вологи на холодніших ділянках шару, передбачено двоступеневий

режим сушіння з подачею теплоносія у протилежних напрямках руху матеріалу. Такий підхід забезпечує рівномірне зневоднення котунів по всьому перерізу шару та підвищує стабільність подальшої термічної обробки.

- зона сушіння I,
- зона сушіння II.

У першу зону сушіння теплоносії з температурним діапазоном 300-350 °С подається димососами типу Д15000-12-1 (Д1) із зони охолодження через газоповітряні камери 0-4а. Проходячи крізь шар котунів, гарячий газ забезпечує їх прогрівання та попереднє зневоднення знизу вгору. У другу зону сушіння надходить газовий потік із температурою 250-350 °С.

Відпрацьовані гази першої зони сушіння після проходження стадії вологої очистки в скруберах-краплеуловлювачах з трубами Вентурі за допомогою димососів ДН26х2-0,62 (Д5) відводяться та спрямовуються в димову трубу.

З метою часткового підвищення температури зволжених газів, що виходять із шару матеріалу в зоні сушіння I, а також для запобігання утворенню конденсату на внутрішніх поверхнях кожуха, передбачено додаткове введення теплоносія з температурою близько 350 °С, який подається з ковпака зони сушіння II. Горн першої зони сушіння функціонує в умовах розрідження, величина якого перебуває в межах 30-100 Па.

У другу зону сушіння, яка розміщена над камерами 4б-5, теплоносії з температурним діапазоном 250-350 °С надходить із колектора відпрацьованих газів другої зони випалювання, що охоплює газоповітряні камери № 11-16. Переміщення газового потоку забезпечується димососами типу ГД26х2-0,62 (Д3). Перед димососами для сухого очищення газів встановлено три циклони марки ЦП 2Л-3750, які зменшують вміст твердих домішок у теплоносії.

У процесі проходження теплоносія крізь шар котунів відбувається інтенсивне просмоктування газів, унаслідок чого ефективно висушуються верхні шари матеріалу. Загальна результативність процесу сушіння котунів у першій та другій зонах становить близько 60-80 %, що забезпечує необхідну підготовку матеріалу до подальших технологічних операцій.

У ковпаку другої зони сушіння підтримується розрідження в межах 10-50 Па, яке регулюється зміною об'ємів подачі та відсмоктування газових потоків, що проходять через шар матеріалу.

Відпрацьовані гази після виходу із зони сушіння II надходять на мокре очищення у скрубери-краплеуловлювачі з трубами Вентурі, де здійснюється додаткове видалення пилових частинок. Після цього очищені гази димососами Д27,5х2 (Д2) відводяться та скидаються у димову трубу.

Режим сушіння є одним із визначальних чинників, що безпосередньо впливають на якість випалених котунів. Надлишковий вміст вологи в них найчастіше спостерігається на початковому етапі процесу сушіння. За умови надмірного підвищення інтенсивності теплового впливу можливе істотне зменшення механічної міцності котунів, у крайніх випадках – їх руйнування. Саме ця обставина обмежує допустимі значення температури та швидкості сушіння. Збільшення термічної стійкості котунів створює умови для підвищення початкової температури сушильних газів, що дає змогу прискорити перебіг сушильного процесу та підвищити його ефективність.

1.3 Загальна характеристика існуючої системи керування тиском при сушінні залізорудних котунів

Автоматизована система керування технологічними процесами виготовлення котунів є сукупністю взаємопов'язаних систем автоматичного регулювання, побудованих із використанням сучасних мікропроцесорних засобів. Структура системи включає окремі функціональні підсистеми, кожна з яких орієнтована на виконання конкретної функції або забезпечення розв'язання визначеного комплексу технологічних задач у межах загального виробничого процесу.

1. Підсистема контролю і керування завантаженням обпалювальної машини: стабілізація висоти донної постелі; регулювання висоти шару котунів.

2. Підсистема контролю і керування газоповітряним режимом процесу обпалювання: регулювання тиску гарячого повітря в зоні підігріву; стабілізація тиску в горні; стабілізація тиску в ковпаку «нульової» вакуум-камери; стабілізація тиску в ковпаку зони сушіння 1; стабілізація тиску в газоповітряній камері №2; стабілізація тиску в ковпаку зони сушіння 2.

3. Підсистема контролю і керування температурним режимом процесу випалювання: регулювання температури в ковпаку зони сушіння 1; регулювання температури на вході димососу Д1; регулювання температури в горновому просторі під провідними пальниками; регулювання витрати газу у ведені пальники; регулювання температури в ковпаку зони сушіння 2; регулювання температури на вході димососу Д3; регулювання температур середніх у газоповітряних вакуум-камерах №10 й №13,14; регулювання температури в ковпаку зони охолодження 2; регулювання температури в газопроводі після зони охолодження 2; регулювання витрати газу у ГПРП № 1-5.

4. Підсистема оптимального керування теплотехнічними параметрами процесу випалу котунів, що забезпечує підтримання раціональних температурних режимів та стабільність технологічного процесу.

5. Підсистема контролю та захисту обпалювального агрегату від перевищення допустимих температур, яка здійснює керування обладнанням під час короткочасних перерв у роботі, планових тривалих зупинок, аварійних відключень обпалювальної машини, а також у разі припинення подачі сирих котунів.

6. Підсистема обліку питомих витрат енергетичних ресурсів, що виконує визначення питомого споживання електричної енергії та природного газу, формує звітні дані у вигляді рапортів, а також здійснює розрахунок і контроль пористості шару сирих котунів.

7. Підсистема керування допоміжним устаткуванням: керування та підтримання необхідного рівня тиску повітря, що подається на поздовжнє ущільнення обпалювальної машини з метою забезпечення стабільності технологічного режиму та надійної роботи обладнання; регулювання маси

котунів у бункері донної постелі; регулювання маси котунів у бункері готової продукції.

8. Підсистема автоматизації процесів огрудкування: розрахунок середньої крупності і вологості котунів; розрахунок навантажень на огрудковувачі; контроль і керування подачею сировини; контроль і керування крупністю котунів;

9. Підсистема контролю технологічних параметрів.

Наведені підсистеми розміщуються між мікропроцесорними комплексами з урахуванням рівня використання оперативної пам'яті та можливостей пристроїв зв'язку з об'єктом керування.

Система забезпечує моніторинг технологічних параметрів, що належать до відповідних підсистем і є необхідними для реалізації функцій керування процесом. Під час термічної обробки здійснюється контроль ключових показників, які визначають стабільність і ефективність роботи обладнання, а саме:

- значень температури та тиску газового середовища у вакуумних камерах, а також уздовж газоповітряних трактів, включно з ділянками після димососів;

- параметрів температури і тиску горнових газів та рециркульованого повітря;

- температури й тиску охолоджувальної води на виході з холодильників горна;

- витрати та тиску природного газу і повітря як у магістральних мережах, так і безпосередньо на кожній окремій горілці;

- маси котунів, що транспортуються конвеєрами огрудковувачів, а також їх кількості перед подачею на роликовий укладальник.

- висоту шару котунів та висота шару донної постелі;

- рівень матеріалу в бункері постелі;

- прогинання візків;

- токове навантаження електричних двигунів димососів.

Формування та передавання керуючих сигналів здійснюється контролерами серії «Реміконт», які функціонують на нижньому рівні системи керування. Використання цих контролерів підвищує відмовостійкість і надійність автоматизованої системи, зокрема у випадках збоїв або виходу з ладу обчислювальної техніки, забезпечуючи безперервність керування технологічним процесом.

1.4 Обґрунтування необхідності модернізації системи керування тиском при сушінні залізородних котунів

Технологічний регламент визначає допустимі межі вологості, температури шару котунів, темпів зміни цих параметрів у кожній функціональній зоні, а також граничні значення перепаду тиску в зоні сушіння. Вихід будь-якого з показників за встановлені межі може спричинити суттєве погіршення якості продукції, зокрема зниження механічної міцності, надмірне зволоження, утворення тріщин, а також оплавлення чи спікання котунів. Керування процесами сушіння та випалу котунів у випалювальній машині є складним завданням через сукупність технологічних і динамічних чинників, серед яких можна виділити такі:

- відсутні засоби безпосереднього контролю температури та вологості котунів у межах зон обпалювальної машини;

- на технологічний процес впливає низка збурювальних факторів, зокрема зміна швидкості переміщення палет обпалювальної установки, коливання середнього розміру котунів і варіації їх початкової вологості.

Наявність зазначених чинників на сучасному етапі зумовлює необхідність здійснення контролю та керування технологічним процесом на основі вимірювання температурних параметрів і різниці тисків газового середовища над та під шаром котунів у межах кожної технологічної зони.

Проведений аналіз рівня автоматизації процесу термічної обробки котунів на конвеєрній випалювальній машині ОК-324 свідчить, що чинна система керування характеризується рядом суттєвих недоліків:

– відсутність інтегрованої системи управління процесами випалювання, огрудкування та підготовки шихти, що ускладнює узгоджену роботу окремих технологічних ланок і знижує загальну ефективність виробництва.

– застарілі засоби комунікації і керування;

– зношені кабельні траси;

– застосування морально та фізично зношених вимірювальних приладів і виконавчих пристроїв, застарілих імпульсних ліній, а також непридатних або неефективних приміщень для розміщення датчиків;

– відсутність можливості реалізації та розроблення на наявній елементній базі спеціалізованих програм автоматизованого пуску, зупинки й оптимального керування режимами роботи випалювальної машини.

Для ліквідації зазначених проблем доцільним є створення проєкту автоматизованої системи керування процесом термічної обробки залізородних котунів, що передбачає виконання комплексу таких заходів:

1. Обґрунтування та вибір нових датчиків технологічних параметрів,.

2. Обґрунтування вибору, конфігурування та програмної реалізації контролерів ключових контурів автоматичного регулювання підсистеми керування процесами сушіння залізородної сировини, а також розширення функціональних можливостей контролерів за кількістю та типами вхідних і вихідних сигналів.

Метою розробки системи є:

– модернізація системи моніторингу та керування технологічними процесами, зокрема об'єктами, що розташовані на віддалених ділянках;

– зростання продуктивності функціонування обладнання та раціональне використання енергетичних і матеріальних ресурсів;

– забезпечення персоналу своєчасними, точними та повними даними про перебіг технологічного процесу;

– реєстрація, збереження й накопичення інформації, оцінювання роботи операторів і технічних засобів, а також аналіз аварійних і нестандартних режимів на основі архівних матеріалів.

Розроблена система контролю й керування забезпечує оперативний нагляд у реальному часі за процесами, що відбуваються під час термічної обробки котунів на конвеєрній випалювальній машині. Вона надає можливість коригувати режими функціонування основного технологічного обладнання та автоматизованих засобів, які обслуговують виробничі комплекси, а також здійснювати ручне й автоматичне керування з підтриманням заданих параметрів технологічного процесу на необхідному рівні.

1.5 Розробка технічних вимог до системи керування тиском в процесі сушіння залізородних котунів

З урахуванням особливостей об'єкта автоматизації, функціонального призначення та цілей впровадження системи керування, а також вимог відповідності сучасному науково-технічному рівню і забезпечення необхідних режимів керування, автоматизована система керування процесом термічної обробки котунів на КВМ має відповідати положенням ГОСТ 24.104-85 та вимогам, визначеним у цьому технічному завданні.

Система автоматизації процесу сушіння повинна базуватися на технічних засобах, призначених для створення високонадійних систем керування технологічними процесами. Вона має забезпечувати централізований моніторинг, реалізацію технологічних захистів і ефективне керування всім комплексом обладнання в усіх передбачених режимах роботи. Архітектура системи повинна бути реалізована як людино-машинний комплекс реального часу, що поєднує апаратні, програмні та інформаційні засоби для стабільної та безпечної експлуатації технологічного процесу.

Система має бути побудована за розподіленим принципом і включати багаторівневу ієрархію керування.

Нульовий, або польовий, рівень охоплює контрольно-вимірювальні засоби та виконавчі пристрої, елементи місцевого ручного керування, а також кабельні лінії, клемні з'єднання, кросові шафи й допоміжні монтажні елементи, що забезпечують взаємодію обладнання з системою керування.

Перший, контролерний, рівень представлений програмованими логічними контролерами, модулями дистанційного вводу та виводу сигналів, а також операторськими панелями, які реалізують алгоритми автоматичного керування та обробку технологічної інформації.

Другий рівень операторського керування, або SCADA-рівень, включає операторські робочі станції, сервери збору й зберігання даних, комунікаційні засоби та клієнтські автоматизовані робочі місця, призначені для візуалізації процесів, аналізу параметрів і прийняття керуючих рішень.

Система автоматизованого керування подачею повітря в зону сушіння випалювальної машини включає такі складові:

- засоби контрольно-вимірювальних приладів, джерела електроживлення польового обладнання та виконавчі механізми, що належать до нижнього рівня системи;

- пристрої ручного керування, змонтовані на наявному щиті центральної операторної;

- центральний програмований логічний контролер ПЛК1, розміщений у шафі керування ШУ1, яка встановлена в приміщенні центральної операторної;

- модулі введення та виведення дискретних і аналогових сигналів, розподілені між групами 1-4 та 5-8 шин розширення контролера ПЛК1 і розташовані в шафах керування ШУ1 та ШУ2.

Розроблена система автоматизації має забезпечувати безперервне функціонування в режимі реального часу протягом усього періоду експлуатації, включно з цілодобовою роботою, з виконанням періодичних перевірок і регламентного технічного обслуговування під час запланованих зупинок обладнання.

2 Обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу

2.1 Розробка принципів керування тиску в процесі сушіння котунів

Автоматизована система керування процесом сушіння котунів призначена для підвищення ефективності видалення вологи з сирих котунів та їх підготовки до наступних стадій термічної обробки шляхом регулювання подачі повітря в окремі зони сушіння. Під час формування температурних режимів у цих зонах необхідно, з одного боку, забезпечити максимально можливу інтенсивність фільтрації теплоносія крізь шар котунів, що сприяє прискоренню процесу зневоднення та підготовці верхніх шарів матеріалу до впливу високих температур у подальших технологічних секціях.

З іншого боку, з метою запобігання руйнуванню структури та зменшенню механічної міцності сирих котунів, швидкість сушіння не повинна перевищувати гранично допустимих значень. Перевищення критичного режиму призводить до утворення дефектів і зростання кількості дрібних фракцій. Зокрема, за даними джерела [1], збільшення швидкості сушіння з 100 до 150 кг/хв спричиняє зростання вмісту фракції 10-0 мм з 7 % до 23 %, що негативно впливає на якість готової продукції.

Таким чином, основною метою керування процесом сушіння є підтримання сталої витрати теплоносія, який проходить крізь матеріальний шар, за умови поступового зростання температури вздовж сушильної зони. Ключовими керуючими параметрами виступають температура теплоносія та швидкість його фільтрації, що визначається перепадом тисків над шаром і під ним. Водночас реалізація ефективного регулювання значно ускладнюється дією зовнішніх і внутрішніх збурень, зумовлених зміною властивостей шару котунів, зокрема вологості, товщини шару, гранулометричного складу та нерівномірності укладання, а також коливаннями температури теплоносія, який надходить із зон випалювання, рекуперації та охолодження.

Проведене дослідження технологічного процесу та чинної схеми газоповітряних потоків конвеєрної випалювальної машини ОК-324 засвідчило, що

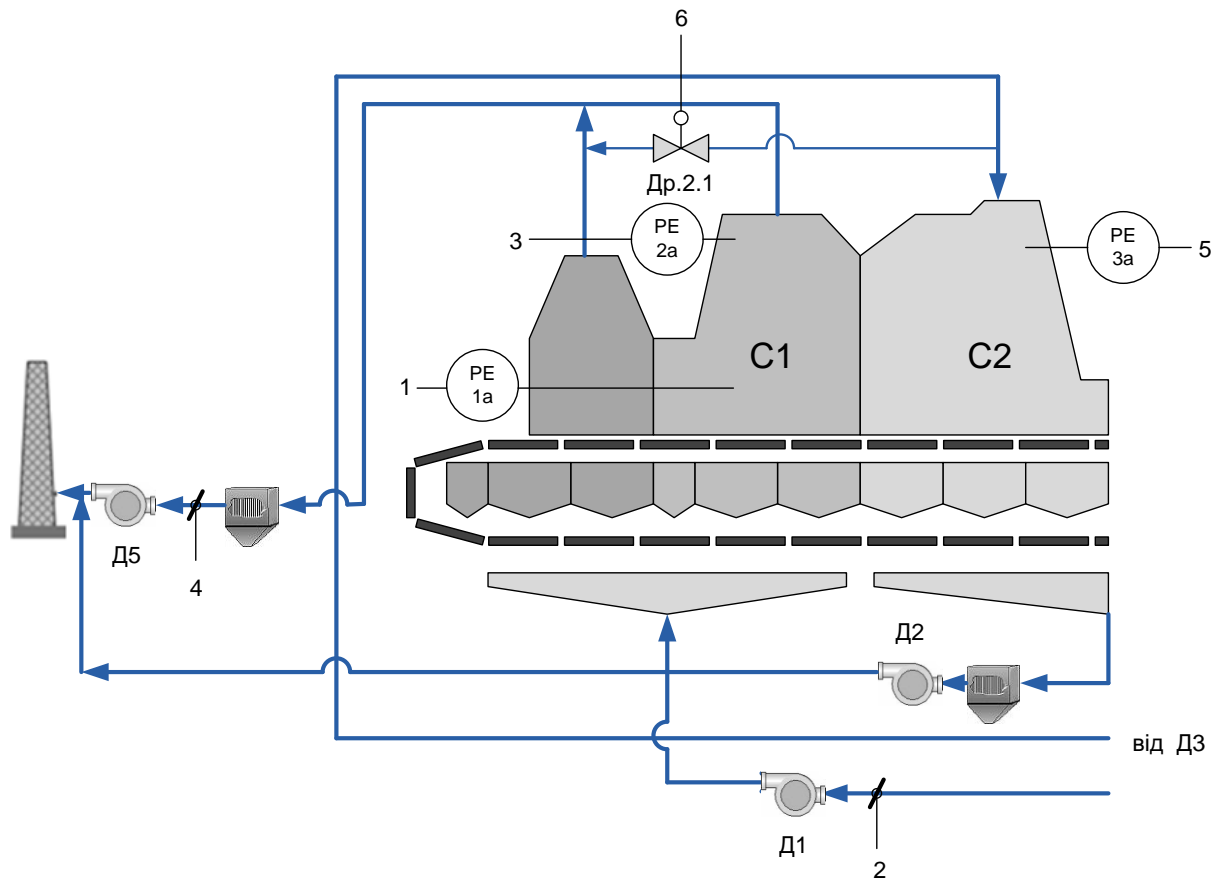
для забезпечення ефективної роботи система автоматизованого керування процесом сушіння котунів має реалізовувати комплекс таких функціональних завдань:

- регулювання тиску у газоповітряній камері № 2 зони сушки 1;
- регулювання розрідження у ковпаку зони сушки 1;
- регулювання тиску у ковпаку зони сушки 2;

Підтримання необхідного тиску в газоповітряній камері № 2 першої зони сушіння здійснюється шляхом зміни кута відкриття направляючого апарата димососа Д1 (рис. 2.1). Дані про фактичний рівень тиску в зоні безперервно надходять від вимірювального перетворювача тиску PE-1a. Отриманий сигнал передається на вхід системи керування, де він зіставляється з установленим значенням технологічного параметра. За результатами порівняння регулятор РС-1в формує керуючий сигнал, величина якого визначається відхиленням поточного тиску від заданого, та забезпечує відповідну зміну положення направляючого апарата димососа, що дозволяє стабілізувати режим роботи сушильної зони.

За аналогічним принципом здійснюється керування розрідженням у ковпаку зони сушки 1. Інформація про фактичне значення розрідження в ковпаку надходить від датчика PE 2a, після чого керуючий сигнал 4 впливає на зміну положення направляючого апарата димососа Д5, коригуючи його ступінь відкриття.

Підтримання необхідного тиску в ковпаку зони сушки 2 реалізується шляхом регулювання відкриття регулювальної заслінки. Поточні значення тиску фіксуються датчиком PE 3a та передаються на систему керування, де вони зіставляються із заданим параметром. За результатами порівняння регулятор РС 3в формує керуючий вплив 6, який змінює положення дроселя Др.2.1, забезпечуючи стабілізацію тиску в заданих межах.



	1	2	3	4	5	6
<i>Шкаф керування (фабрика огрудкування, відділення випалювання котунів)</i>	PIR 16 PC 1в		PIR 26 PC 2в		PIR 36 PC 3в	
	<i>Тиск у газоповітряній камері № 2 зони сушки 1</i>		<i>Розрідження у ковпаку зони сушки 1</i>		<i>Тиск у ковпаку зони сушки 2</i>	

Рисунок 2.1 – Схема автоматизації функціональна процесу сушки котунів та подачі повітря у зону сушки на КВМ ОК-324

Для регуляторів встановлено граничні положення відкривання та закривання направляючих апаратів, що відповідають верхній і нижній межах їх переміщення. У разі переведення регуляторів у режим ручного керування оператор здійснює безпосередній вплив на ступінь відкриття направляючих апаратів шляхом задання необхідних уставок у вікнах керування відповідними контурами. Усі регулятори виконані як аналогові та передбачають перетворення

керуючого сигналу у трьохпозиційний формат для управління моторизованими електричними виконавчими органами.

2.2 Математичне забезпечення автоматизованої системи керування тиском

2.2.1 Розробка структури системи автоматичного керування тиском

Структурну побудову системи автоматичного регулювання тиску в газоповітряній камері № 2 першої зони сушіння, яка узгоджується з функціональною схемою автоматизації, наведеною на рис.2.1, подано на рисунку 2.2.

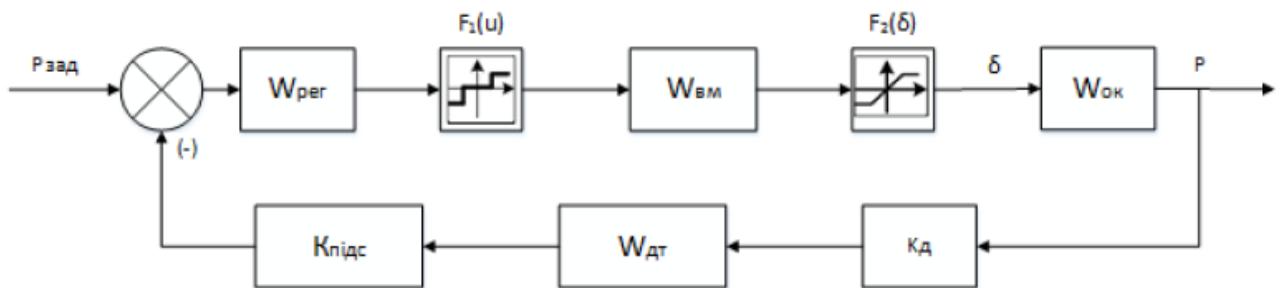


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи регулювання тиску у газоповітряній камері № 2 зони сушки 1

На структурній схемі на рис. 2.2 позначено: $W_{рег}$ – передавальна функція регулятора тиску; $F_1(u)$ – нелінійний елемент з характеристикою типу «трьохпозиційний перемикач», що відповідає алгоритму трьохпозиційного керування виконавчим механізмом типу МЕО; $W_{вм}$ – передавальна функція виконавчого механізму; $F_2(\delta)$ – нелінійний елемент з характеристикою типу «обмеження»; $W_{ро}$ – передаточна функція регулюючого органу; $W_{ок}$ – передавальна функція об'єкту керування; $W_{п}$ – передавальна функція підсилювача; $W_{дт}$ – передавальна функція датчика тиску.

Направляючий апарат димососу Д1 використовується як регулювальний елемент системи керування. Вважається, що об'єм повітряного потоку, який

змінюється за допомогою цього апарату, прямо залежить від ступеня його відкриття в діапазоні від 0 до 100 %.

За умови повного відкриття направляючого апарату, що відповідає 100 %, витрата повітря, яка проходить крізь шар котунів у зоні сушіння, досягає свого граничного значення і становить 250 000 м³/год. Таким чином, направляючий апарат доцільно подати у вигляді пропорційної ланки системи автоматичного регулювання, тобто підсилювального елемента з постійним коефіцієнтом передачі, значення якого визначається співвідношенням між максимальною витратою повітря та діапазоном зміни керуючого сигналу

$$K_3 = \frac{Q_g}{\delta_{на}}, \quad (2.1)$$

де Q_g – максимальна витрата повітря, м³/год; $\delta_{на}$ – процент відкриття направляючого апарату, %.

$$K_3 = \frac{250000}{100} = 2500 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \%).$$

Оскільки ступінь відкриття напрямного апарата фізично обмежена інтервалом від 0 до 100 %, для коректного врахування цієї умови перед передаточною функцією регулювального органу доцільно ввести нелінійну ланку типу «обмежувач». Такий елемент запобігає виходу керуючого сигналу за допустимі межі та забезпечує адекватну роботу системи керування.

Як виконавчий пристрій у структурній схемі, наведеної на рис.2.2, застосовано електричний однообертний механізм МЕО, призначений для керування напрямними апаратами й заслінками. Після досягнення на його вхідних клеммах заданого порогового значення напруги механізм активується та, залежно від полярності керуючого сигналу, здійснює переміщення заслінки в необхідному напрямку. Рух триває до моменту досягнення граничного положення або до зникнення керуючої напруги.

Виконавчий механізм містить асинхронний електродвигун, динаміка якого описується передаточною функцією за каналом «керуюча напруга – кутова швидкість обертання вала». Така модель дозволяє врахувати інерційні

властивості привода та підвищити точність математичного опису системи автоматичного регулювання

$$W_{\text{вм}} = \frac{K_{\text{вм}}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \quad (2.2)$$

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

З урахуванням інформації, отриманої безпосередньо з виробничого підприємства, передавальну характеристику виконавчого механізму доцільно визначити та прийняти у відповідному аналітичному вигляді

$$W_{\text{вм}} = \frac{4}{0,3p^2 + 1,6p + 1}.$$

Статичний коефіцієнт підсилення моделі асинхронного двигуна визначається з умови, що за значення керуючого сигналу, яке дорівнює одиниці, привід забезпечує повне переміщення заслінки на весь робочий діапазон (100 %) протягом часу t . Виходячи з цього, коефіцієнт підсилення моделі приймається рівним відношенню максимального переміщення виконавчого органа до тривалості перехідного процесу, що дозволяє надалі використовувати отримане значення під час математичного моделювання та синтезу системи автоматичного керування

$$K_{\text{вм}} = \frac{\delta_{\text{на}}}{t}, \quad (2.3)$$

де $\delta_{\text{на}}$ – процент відкриття направляючого апарату, град; t – час повороту направляючого апарату з нульового положення в максимальне (100 %),

$$K_{\text{вм}} = \frac{100}{1 \cdot 25} = 4.$$

Оскільки керуючим вихідним параметром виконавчого механізму є відсоток відкриття, для перетворення частоти обертання електродвигуна у відповідну величину відкриття в структурну схему необхідно ввести інтегруючу ланку. Це забезпечує коректне узгодження сигналів керування та адекватне відображення положення регульовального органа.

Для контролю тиску в газоповітряній камері № 2 першої зони сушіння доцільно застосувати ємнісний датчик тиску, верхня межа вимірювань якого, з урахуванням робочого діапазону параметра в даній зоні, становить 3,4 кПа. Завдяки незначній сталій часу такого датчика його динамічні властивості можна описати передавальною функцією пропорційної ланки, що спрощує математичну модель системи керування

$$W_{om} = K_{om} , \quad (2.4)$$

де K_{om} – коефіцієнт підсилення датчика.

Приймаючи верхнє значення вимірювального діапазону відповідно до технічних параметрів найближчого за характеристиками датчика тиску Rosemount 3051 CD, що становить 2-6,2 кПа, визначається коефіцієнт підсилення вимірювального перетворювача. Відомо, що при зміні вимірюваного тиску на 6,2 кПа вихідний сигнал датчика змінюється в межах 16 мА (від 4 мА до 20 мА). На основі цього встановлюється значення коефіцієнта підсилення датчика тиску

$$K_{om} = \frac{\Delta I_{вих}}{\Delta P_{c1}} , \quad (2.5)$$

де $\Delta I_{вих}$ – діапазон змінення вихідного струму датчика тиску, мА; ΔP_{c1} – діапазон змінення тиску, кПа ;

$$K_{om} = \frac{16}{6,2} = 2,58$$

Під час моделювання, з метою спрощення аналізу отриманих результатів і задання рівнів усталеної температури, доцільно прийняти коефіцієнт підсилення зворотного зв'язку в точці встановлення датчика рівним одиниці.

Водночас при практичній реалізації системи автоматичного регулювання цей аспект необхідно врахувати: підсилення додаткового каскаду зворотного зв'язку слід включити до загального коефіцієнта регулятора. Для зручності контролю та інтерпретації вимірювань струмовий сигнал доцільно перетворити у значення тиску в кПа та доповнити контур зворотного зв'язку коригувальним підсилювачем із коефіцієнтом, оберненим коефіцієнту підсилення датчика тиску

$$W_{\text{підс}} = \frac{1}{K_{\text{дм}}}, \quad (2.6)$$

де $K_{\text{дм}}$ – коефіцієнт підсилення датчика.

Отже, передавальна функція підсилювача

$$W_{\text{підс}} = \frac{1}{2,58} = 0,3875.$$

Для формування динамічної моделі об'єкта керування на основі експериментальних відомостей достатньо мати репрезентативні розгінні характеристики як за каналом керуючого впливу, так і за дією збурень. Для значної кількості промислових об'єктів такі характеристики наведені у спеціалізованих джерелах, однак під час практичного проектування доцільніше використовувати дані, отримані безпосередньо в ході експериментів. Зняття розгінних характеристик здійснюється шляхом ступінчастої зміни керуючих сигналів і збурювальних дій на невелику частку від номінальних значень за умови роботи об'єкта в усталеному режимі з подальшою реєстрацією зміни керованого параметра у часі.

Відповідно до даних, наведених у [1], динамічну модель процесу автоматичного регулювання тиску в газоповітряній камері № 2 зони сушки 1 доцільно подати у вигляді послідовного з'єднання нелінійної статичної залежності та лінійної динамічної ланки. З позицій динаміки процес зміни тиску в зоні сушки може бути наближено описаний аперіодичною ланкою першого порядку, яка характеризується відповідною передаточною функцією [1]

$$W_{\text{ок}}(p) = \frac{F_3(Q_n)}{T_{\text{ок}}p + 1}, \quad (2.7)$$

де $T_{\text{ок}}$ – стала часу об'єкту керування; $F_3(Q_n)$ – функція, що описує нелінійну статичну характеристику об'єкту керування; Q_n – витрата повітря.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що у разі стрибкоподібного зростання параметра Q_n процес зміни температури відхідних газів завершується орієнтовно через 180 с. З урахуванням того, що для

аперіодичних ланок тривалість перехідного режиму відповідає трьом сталим часу, можна зробити висновок, що стала часу досліджуваного об'єкта становить близько 60 с.

Отже, передавальна функція об'єкта керування

$$W_{ок} = \frac{1}{60p + 1} \quad (2.8)$$

Отримані експериментальні та розрахункові результати використовуються для формування математичної моделі об'єкта керування та подальшого дослідження його динамічних властивостей у програмному середовищі MATLAB.

З урахуванням наведених положень структурну схему системи автоматичного регулювання тиску в газоповітряній камері зони сушіння подано у вигляді, наведеному на рис.2.3.

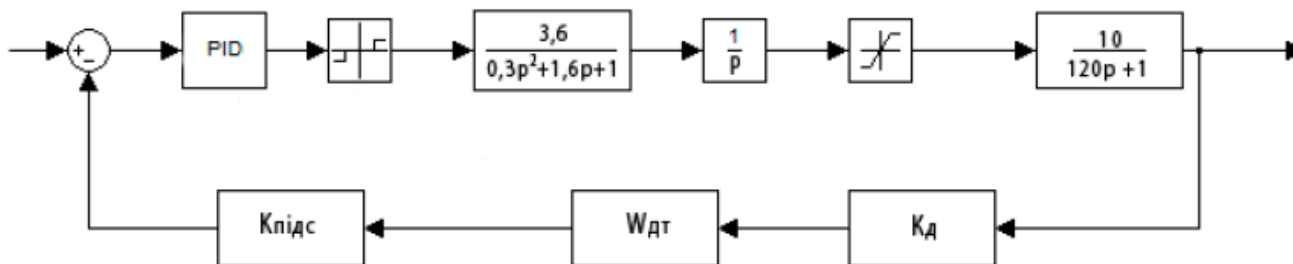


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи автоматичного регулювання тиску у газоповітряній камері зони сушки

За таким самим підходом будуть сформовані математичні описи решти контурів автоматичного регулювання тиску, що функціонують у сушильній зоні випалювальної машини, з урахуванням їхніх динамічних властивостей та умов роботи.

3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій

3.1 Опис структури комплексу технічних засобів АСК тиском

Комплекс технічних засобів автоматизованої системи керування процесом сушіння котунів і подачею повітря в сушильні зони конвеєрної випалювальної машини ОК-324 фабрики огрудкування ПрАТ «Полтавський ГЗК» доцільно формувати за ієрархічною структурою з трирівневою організацією.

Нижній, нульовий рівень, призначений для безпосередньої взаємодії з технологічним процесом і включає контрольно-вимірювальні прилади, первинні перетворювачі, виконавчі механізми, пристрої місцевого та ручного керування, а також кабельні лінії, клемні коробки, кросові шафи й допоміжні елементи.

Перший, контролерний рівень, реалізується на базі програмованих логічних контролерів і модулів розподіленого вводу-виводу, які забезпечують збір, обробку та передачу технологічних сигналів, а також операторських панелей для локального контролю й налаштування режимів роботи обладнання.

Другий рівень операторського керування, або SCADA-рівень, охоплює операторські станції, комунікаційні засоби, клієнтські автоматизовані робочі місця та сервери баз даних, що забезпечують візуалізацію процесів сушіння, архівування параметрів, формування звітів і централізоване керування всією системою.

Верхній, другий рівень системи призначений для реалізації оперативно-диспетчерського керування та віддаленого моніторингу основних параметрів технологічного процесу термічної обробки котунів. До складу цієї підсистеми належать автоматизовані робочі місця спеціалістів, зокрема головного диспетчера-технолога, начальника виробничого цеху та головного інженера, оснащені засобами виведення й друку інформації. Робочі станції підтримують функції резервування та взаємного дублювання, що забезпечує безперервність керування і стабільну роботу системи навіть за умов зниження або короткочасних збоїв напруги електроживлення.

Завдання, які вирішуються системою верхнього рівня :

- автоматизоване формування диспетчером керуючих команд із подальшим автоматичним контролем правильності та повноти їх виконання;
- візуалізація поточної технологічної інформації на робочих станціях у вигляді мнемосхем, графіків зміни контрольованих величин, а також журналів аварійних, попереджувальних і службових подій.
- паролний захист прав доступу до інформації.

Також передбачена можливість:

- паралельного виконання обчислювальних процедур та інших функціональних операцій, включно з керування базами даних, підготовкою звітної інформації й формуванням завдань;
- створення єдиного централізованого переліку контрольованих параметрів із підтримкою глобальних змінних, доступних для всіх клієнтських застосунків програмного комплексу, а також із реалізованим механізмом резервування ОРС-серверів та підвищення надійності роботи системи;

На цьому рівні передбачено використання мережевих засобів, що забезпечують інформаційний обмін із нижнім рівнем автоматизованої системи керування та з вищими рівнями диспетчерського управління підприємства.

Нижній рівень виконує реалізацію алгоритмів ведення технологічного процесу, забезпечує функції технологічного захисту й аварійної сигналізації у разі відхилення параметрів роботи обладнання від допустимих значень, а також організовує обмін даними з верхнім рівнем АСК процесу термічної обробки котунів. Раціональним є впровадження цього рівня на основі промислових програмованих логічних контролерів. З урахуванням аналізу кількості дискретних і аналогових вхідних та вихідних сигналів системи, а також технічних вимог до контролерного обладнання, для реалізації зазначених функцій доцільно застосувати ПЛК серії Simatic S7-300 компанії Siemens.

Польовий рівень автоматизованої системи включає первинні засоби вимірювання технологічних параметрів, зокрема тиску в зонах сушіння випалювальної машини, а також елементи контролю технічного стану

обладнання, такі як індикація режимів роботи і фіксація граничних положень виконавчих пристроїв. До складу цього рівня входять магнітні пускачі, виконавчі механізми та локальні пости ручного керування приводами. Для забезпечення сумісності сигналів датчиків зі стандартними вхідними діапазонами контролерних модулів застосовуються перетворювачі аналогових величин, що виконують функції нормалізації та масштабування.

Для вимірювання тиску в першій і другій технологічних зонах, а також у колекторі першої зони випалювальної машини раціонально використовувати вимірювальні перетворювачі серії Rosemount 3051 виробництва компанії Emerson Electric Co, які відзначаються високою точністю, стабільністю показників та надійністю в умовах промислової експлуатації.

Функції нагляду та керування регуляторними контурами продубльовані блоками ручного керування, які забезпечують місцеву індикацію вимірювальних сигналів і можливість дистанційної зміни положення регулювального органу. Зазначені технічні пристрої розміщуються на лицьових панелях шаф керування, що підвищує зручність обслуговування та надійність експлуатації.

Для обміну даними із суміжними автоматизованими системами фабрики огрудкування передбачено застосування промислової мережі стандарту Profibus, яка забезпечує стійкий та швидкий зв'язок між вузлами. Взаємодію програмованого контролера з верхнім рівнем автоматизованої системи керування технологічним процесом планується реалізувати за допомогою мережі Ethernet, що дозволяє передавати великі обсяги інформації та інтегрувати систему в єдиний інформаційний простір підприємства.

Отже, побудова комплексу технічних засобів автоматизованої системи керування процесами сушіння котунів і подачі повітря в зони сушіння відповідає структурній схемі, поданій на рис.3.1.

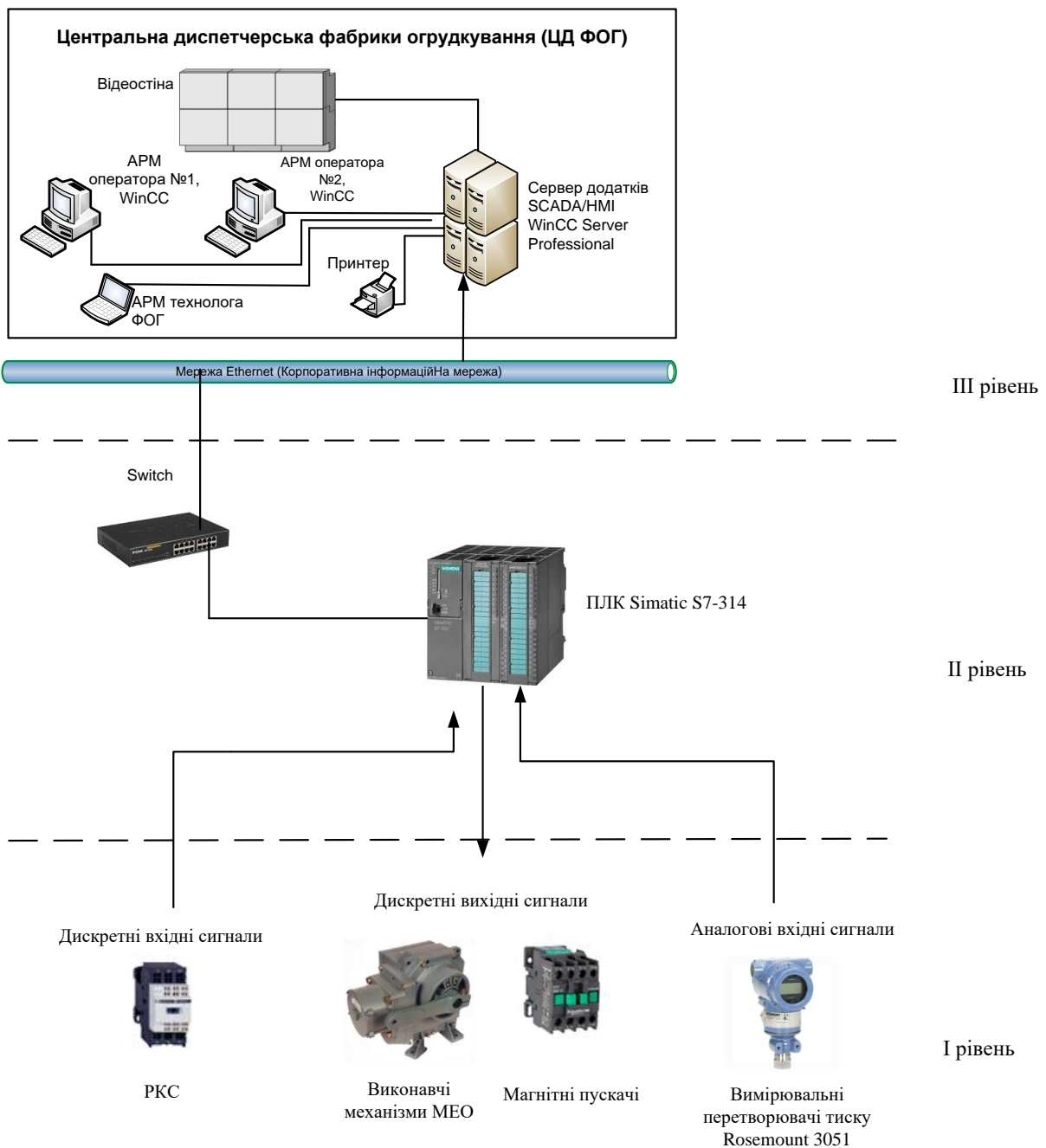


Рисунок 3.1 – Структура комплексу технічних засобів АСК процесу сушки котунів

3.2. Вибір обладнання автоматизації польового рівня

3.2.1. Датчики тиску

З огляду на робочі інтервали тиску та розрідження в технологічних зонах сушіння, а саме: надлишковий тиск у зоні сушіння 1 на рівні 300-350 мм вод. ст., вакуум у ковпаку цієї зони в межах 150-250 мм вод. ст., а також тиск у ковпаку

зони сушіння 2 в діапазоні 150-250 мм вод. ст., і з урахуванням технічних вимог до обладнання польового рівня автоматизованих систем, для вимірювання та контролю тиску в зонах сушіння 1 і 2 випалювальної машини доцільно застосувати вимірювальний перетворювач Rosemount 3051 виробництва компанії Emerson Electric Co, який забезпечує необхідну точність, надійність і стабільність роботи в промислових умовах.



Рисунок 3.2 – Вимірювальний перетворювач тиску Rosemount 3051

У вимірювальних перетворювачах тиску Rosemount 3051 використовується ємнісний принцип вимірювання. Тиск робочого середовища передається через розділові мембрани та заповнювальну рідину на чутливу вимірювальну мембрану, що розміщена між електродами конденсатора, унаслідок чого відбувається зміна його ємності. Діапазон вимірювань від 0,12 кПа до 6,2 кПа.

Під дією прикладеного тиску чутлива мембрана деформується, що призводить до зміни електричної ємності комірок, сформованих мембраною сенсора та обкладинками конденсатора. Сформований аналоговий сигнал проходить перетворення у цифровий формат і надалі надходить на обробку мікроконтролером.

Сенсорний модуль перетворювачів серії 3051 оснащений інтегрованим датчиком температури, призначеним для компенсації та врахування температурних впливів. У процесі заводської характеристикації всі сенсори випробовуються в повному діапазоні робочих температур і тисків. За результатами цих випробувань визначаються коригувальні коефіцієнти, які

зберігаються в постійній пам'яті та застосовуються для автоматичної компенсації похибок вихідного сигналу під час експлуатації перетворювача.

Схемне рішення електронного перетворювача забезпечує оперативне та зручне виконання налагодження, перевірки і параметрування пристрою з використанням локального інтерфейсу оператора, що включає вбудовані кнопки РКІ та/або зовнішні дублюючі органи керування, розміщені під табличкою, а також за допомогою комунікатора 475.

Двосекційне виконання електронного модуля дає змогу здійснювати підключення до клемних з'єднань без порушення цілісності електронних компонентів і друкованих плат. Вихідний модуль плати забезпечує перетворення сигналів вимірювального каналу у стандартизований вихідний сигнал, придатний для подальшої обробки в системах автоматизації.

За окремим замовленням пристрій може комплектуватися рідкокристалічним дисплеєм, який відображає поточні значення вимірюваного сигналу як у фізичних величинах, так і у відсотковому співвідношенні до встановленого діапазону вимірювання.

Параметри налаштування зберігаються в енергонезалежній пам'яті електронного модуля перетворювача. Завдяки цьому інформація не втрачається під час знеструмлення обладнання, а після подачі живлення пристрій одразу переходить у робочий режим без потреби повторного налаштування.

3.2.2. Виконавчий механізм

Для забезпечення зміни положення заслінки необхідно здійснити обґрунтований вибір відповідного виконавчого механізму.

Електричні виконавчі механізми однообертового типу є пристроями, призначеними для автоматичного переміщення та фіксації регулювальних органів у заданому положенні в системах керування та контролю різноманітних технологічних процесів. Переміщення здійснюється відповідно до керуючих сигналів, що надходять у вигляді команд від програмованого контролера.

У таблиці 3.1 подано основні технічні параметри виконавчого механізму МЕО-100, які підтверджують можливість його використання для керування заслінкою.

Керування механізмом МЕО-100 з боку контролера реалізується через контактор LOVATO Electric 11B1150024, що забезпечує надійне комутаційне керування та узгодження силових і керуючих кіл.



Рисунок 3.3 – Виконавчий механізм МЕО-100

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики виконавчого механізму МЕО-100

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Номінальний обертовий момент на вихідному валу	Н·м	100
2	Номінальний час повного ходу вихідного валу	с	25
3	Номінальний повний хід вихідного валу	обертів	0,25
4	Споживана потужність, не більше	Вт	200
5	Маса, не більше	кг	27
6	Живлення: – напруга – частота	В Гц	380 50
7	Люфт вихідного валу механізму, не більше	°	0,75
8	Тип електродвигуна		ЗДСТР 135-1,6-150(180)
9	Ступінь захисту механізму		IP54

3.2.3. Блоки ручного керування

Для реалізації ручного режиму керування виконавчими механізмами доцільно застосувати блоки ручного керування БРУ-10. Даний пристрій є універсальним засобом ручного управління імпульсними та аналоговими виконавчими механізмами і використовується в складі локальних та комплексних систем автоматизації виробничих процесів. Блок забезпечує приймання сигналів від вхідних фізичних величин, їх перетворення та обробку, а також індикацію поточних значень параметрів на вбудованому дисплеї.

Зовнішній вигляд блоків БРУ-10 наведено на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Блок ручного керування, завдання, індикації БРУ-10

Область 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;
- пристрій перетворення імпульсних сигналів типу «більше–менше» у стандартизований вихідний сигнал;
- модуль перетворення імпульсних ШІМ-сигналів у уніфікований вихідний сигнал;
- конвертор, що забезпечує перетворення вхідних аналогових уніфікованих сигналів у відповідний вихідний аналоговий сигнал стандартного формату.

3.3 Вибір та обґрунтування промислового контролера та модулів введення-виведення

З урахуванням технічних вимог, що висуваються до системи керування процесом сушіння котунів і регулювання подачі повітря в сушильні зони, доцільним є використання програмованого логічного контролера Simatic S7-300 як базового контролерного обладнання. Дана серія вирізняється модульною архітектурою, можливістю роботи з природним повітряним охолодженням, підтримкою як локальних, так і розподілених систем введення-виведення, розвинутими комунікаційними інтерфейсами та широким набором функцій, реалізованих на рівні операційної системи. Зручність експлуатації та технічного обслуговування забезпечує економічну доцільність застосування цих контролерів у складі сучасних систем автоматичного керування.

Підвищенню ефективності використання ПЛК сприяє можливість вибору центральних процесорів із різною обчислювальною потужністю, наявність великого асортименту модулів введення-виведення для обробки дискретних і аналогових сигналів, а також використання спеціалізованих функціональних модулів і комунікаційних процесорів для інтеграції з іншими рівнями автоматизованих систем.

Основними показниками під час вибору процесорного модуля є допустима кількість каналів введення та виведення сигналів, а також рівень його обчислювальних можливостей. З урахуванням аналізу складу вхідних і вихідних сигналів як центральний елемент системи доцільно застосувати процесорний блок CPU 314.

Процесор CPU 314 оснащений вбудованим інтерфейсом MPI, що забезпечує побудову ефективних систем керування з високою швидкістю обробки даних і підтримкою локальних підсистем введення-виведення. Даний модуль дозволяє підключати до 32 розширювальних модулів, що робить його придатним для реалізації масштабованих та гнучких автоматизованих систем керування.

Центральні процесорні модулі SIMATIC S7-300 мають низку конструктивних і функціональних характеристик, що визначають їх ефективне застосування в автоматизованих системах керування. В основі процесорів використовується мікропроцесор, який забезпечує виконання логічних операцій над бітами з часом порядку 200 нс. Для обробки та виконання користувацьких програм передбачена оперативна пам'ять обсягом до 32 Кбайт.

Зберігання програм і технологічних даних здійснюється у завантажуваній пам'яті на мікрокарті NVFlash-EEPROM ємністю до 8 Мбайт, що гарантує збереження інформації навіть при знеструмленні. Процесори оснащені вбудованим інтерфейсом MPI, який використовується для програмування, діагностики, сервісного обслуговування та побудови простих мереж з пропускною здатністю до 12 Мбіт/с.

Архітектура системи дозволяє об'єднувати до 16 центральних процесорів серій SIMATIC S7 або C7 з підтримкою механізму обміну глобальними даними між ними. Для організації промислових мереж передбачено інтегрований інтерфейс PROFIBUS DP у режимах «ведучий» або «ведений», що забезпечує швидкість передавання даних до 12 Мбіт/с.

Залежно від типу центрального процесора можливе підключення до 8 модулів серії S7-300 у CPU 312 або до 32 модулів локальної системи введення-виведення в інших модифікаціях, з реалізацією чотирирядної конфігурації. Також підтримується пряме під'єднання розподілених систем введення-виведення на базі промислових мереж PROFIBUS DP та PROFINET, що дозволяє гнучко масштабувати систему та ефективно інтегрувати її в сучасні автоматизовані комплекси.

На підставі аналізу основних технічних параметрів процесорного модуля контролера встановлено, що його обчислювальні можливості, швидкодія, обсяг оперативної та програмної пам'яті, а також допустима кількість каналів введення й виведення повністю відповідають вимогам системи автоматизації. Це дозволяє ефективно використовувати даний контролер для реалізації алгоритмів

керування процесом сушіння котунів у складі конвеєрної випалювальної машини.

Для організації дискретного введення та виведення сигналів доцільно застосувати модулі SM 321 як вхідні та SM 322 як вихідні. Їхні основні технічні характеристики наведено в таблицях 3.2 і 3.3, що підтверджує відповідність обраних модулів вимогам до надійності та функціональності системи.

Таблиця 3.2 – Характеристика дискретного вхідного модуля SM 321

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Кількість входів		32
2	Номінальна вхідна напруга	В	24
3	Споживаний струм	мА	15
4	Споживана потужність	Вт	6,5
5	Ізоляція	В	500
6	Габарити	мм	40x125x117
7	Маса	кг	0,26

Таблиця 3.3 – Характеристика дискретного вихідного модуля SM 322

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Кількість виходів		16
2	Номінальна вхідна напруга	В	24
3	Споживаний струм	мА	110
4	Споживана потужність	Вт	6,6
5	Ізоляція	В	500
6	Габарити	мм	40x125x117
7	Маса	кг	0,26

У складі системи передбачена наявність аналогових вхідних сигналів, що зумовлює необхідність застосування спеціалізованих модулів аналогового вводу. Такі модулі виконують перетворення безперервних електричних сигналів у цифровий формат, який використовується центральним процесором контролера під час виконання алгоритмів керування.

З урахуванням фактичної кількості сигналів, що надходять від датчиків тиску, а також із резервом близько 10 % відповідно до вимог щодо проектування та побудови автоматизованих систем керування технологічними процесами, для

приймання аналогової інформації доцільно використати модуль типу SM 331 (табл. 3.4).

Обраний модуль забезпечує обробку восьми аналогових каналів, які об'єднані у чотири функціональні групи. Для кожної групи окремо передбачена можливість налаштування типу вхідного сигналу – за напругою в діапазоні 0-10 В або за струмом 0-20 мА чи 4-20 мА, що підвищує універсальність та гнучкість системи при підключенні різних вимірювальних перетворювачів.

Таблиця 3.4 – Характеристика аналогового вхідного модуля SM 331

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Кількість входів		8
2	Роздільна здатність	біт	13 + знаковий розряд
3	Споживаний струм	мА	100
4	Споживана потужність	В	165 Вт
5	Ізоляція	В	500
6	Основний час перетворення, на канал	мкс	52
7	Габарити	мм	40x125x117
8	Маса	кг	0,23

Для організації обміну даними з іншими апаратними засобами через мережу Ethernet передбачено використання спеціалізованого комунікаційного модуля CP 343-1.

Зовнішній вигляд корзини ПЛК з обраними модулями зображено на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд ПЛК

4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність системи

4.1 Комп'ютерне моделювання системи автоматичного керування тиском

Для проведення комп'ютерного дослідження спроектованої системи автоматичного регулювання тиску в технологічних зонах сушіння випалювальної машини доцільно застосувати середовище Simulink, яке є складовою програмного комплексу MATLAB.

Побудова математичної моделі здійснюється з використанням результатів розрахунків, виконаних у другому розділі роботи, а також отриманих передавальних функцій окремих ланок системи. Структурну схему автоматичної системи керування подано на рис. 2.3.

На розробленій моделі (рис. 4.1) реалізовано процес регулювання тиску в газоповітряній камері № 2 першої зони сушіння. На вхід моделі подається сигнал заданого значення тиску, після чого регулятор формує керуючу дію на виконавчий механізм. Останній змінює положення напрямного апарата димососа Д1, забезпечуючи подачу необхідної кількості повітря. Після досягнення встановленого рівня тиску в зоні сушіння напрямний апарат повертається у вихідне положення, що забезпечує стабілізацію тиску в технологічній зоні випалювальної машини.

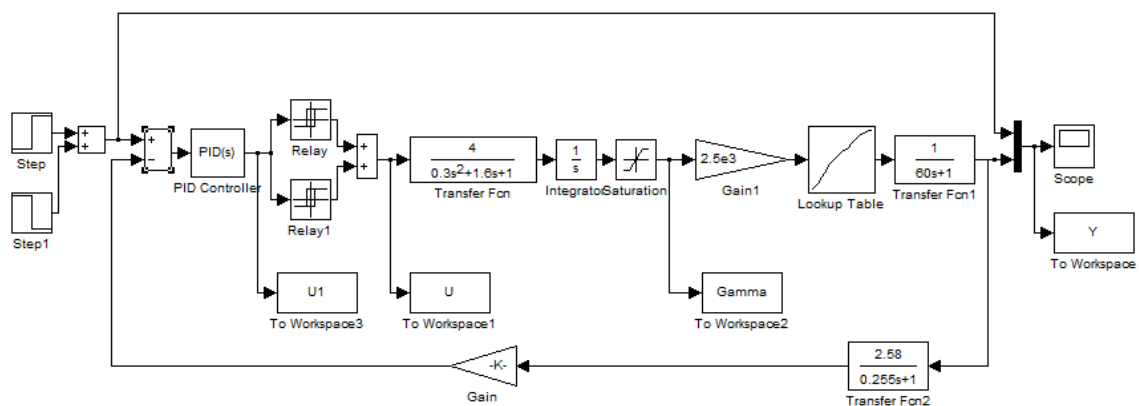


Рисунок 4.1 – Модель системи автоматичного керування тиском у зоні сушки 1 випалювальної машини ОК-324

Для побудови статичної характеристики об'єкта керування за каналом «витрата повітря з колектора зони сушіння – тиск у газоповітряній камері № 2 зони сушіння 1» у середовищі Simulink застосовано елемент Lookup Table.

На початковому етапі в програмному середовищі MATLAB було введено експериментальні дані, отримані безпосередньо в умовах виробництва. Масиви значень витрати повітря з колектора зони сушіння та відповідного тиску в газоповітряній камері № 2 зони сушіння 1 систематизовано, об'єднано та оформлено у вигляді змінних MATLAB для подальшої обробки.

З метою формування нелінійної статичної залежності використано блок Lookup Table, який дає змогу відтворити реальну характеристику об'єкта. Застосування цього елемента дозволяє наочно проаналізувати вплив зміни витрати повітря на рівень тиску в зоні сушіння 1 та використати отриману залежність у подальшому синтезі системи керування.

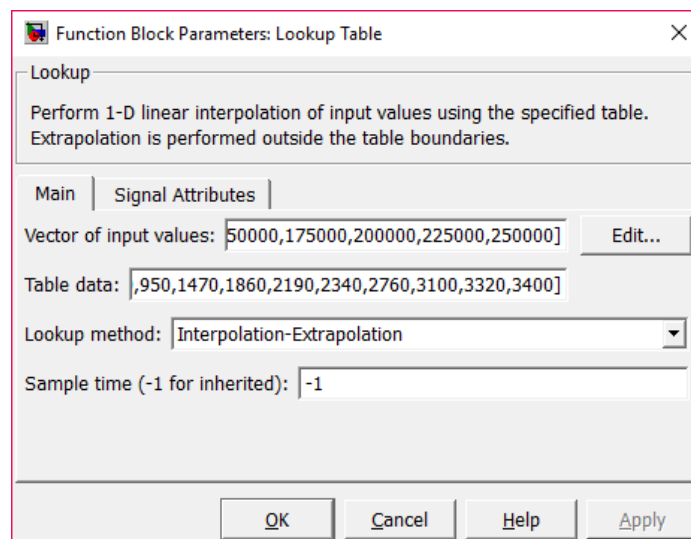


Рисунок 4.2 – Створення нелінійної статичної характеристики об'єкта керування за допомогою елемента Lookup Table

На рис.4.3 подано часову діаграму перехідного режиму в автоматизованій системі регулювання тиску в зоні сушки 1, яка реалізується шляхом зміни витрати повітря з колектора відповідної зони за умов ступінчастого підвищення заданого значення тиску до рівня 255 мм водяного стовпа (2500 Па). З метою оцінювання точності роботи розробленої системи керування при моменті часу $t =$

500 с виконано імітаційне моделювання зменшення уставки на 250 Па до значення $P_{c1завд} = 2250$ Па.

Результати аналізу отриманих графічних залежностей підтверджують коректність проведених розрахунків і вибраних параметрів системи. Автоматична система керування тиском у зоні сушки 1 забезпечує стабільне та точне відпрацювання сигналу завдання з підтриманням необхідного рівня тиску. Час перехідного процесу становить $t_p = 240$ с, при цьому перерегулювання та статична похибка відсутні. Разом із тим у роботі системи спостерігаються автоколивальні режими, що зумовлені наявністю нелінійної ланки – трьохпозиційного перемикача, який використовується для моделювання процесу керування виконавчим механізмом типу МЕО-100.

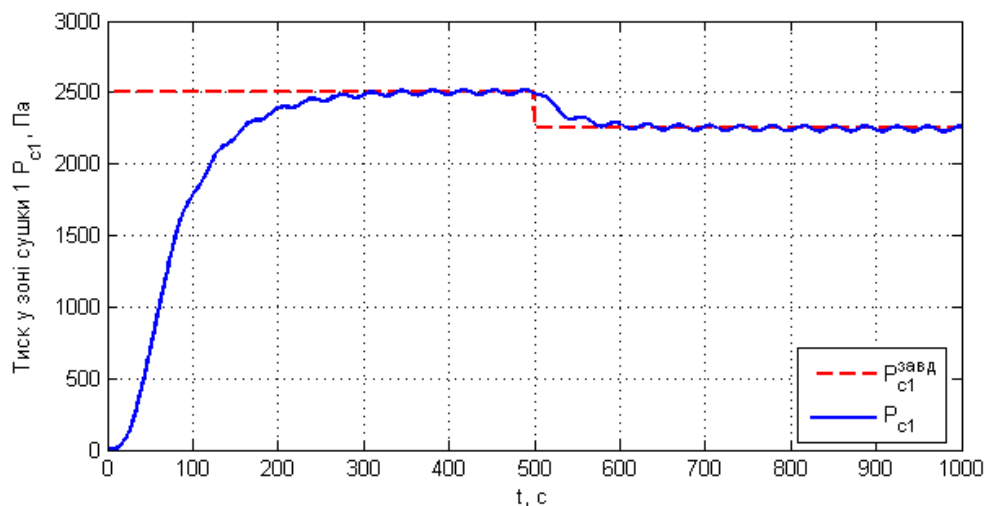


Рисунок 4.3 – Графік змінення тиску у зоні сушки 1

На рис.4.4 і 4.5 подано часові залежності зміни положення регулювального елемента та керуючого сигналу, що подається на виконавчий механізм МЕО, у процесі роботи системи.

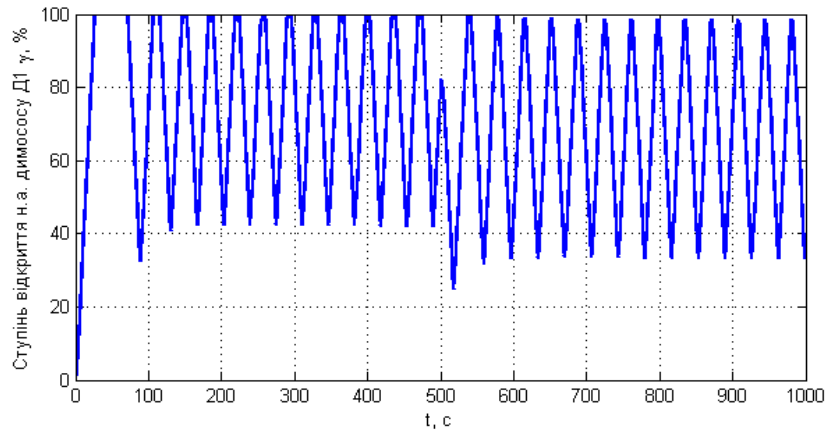


Рисунок 4.4 – Графік змінення ступеня відкриття напрямляючого апарату димососу Д1 в процесі регулювання тиску у зоні сушки 1

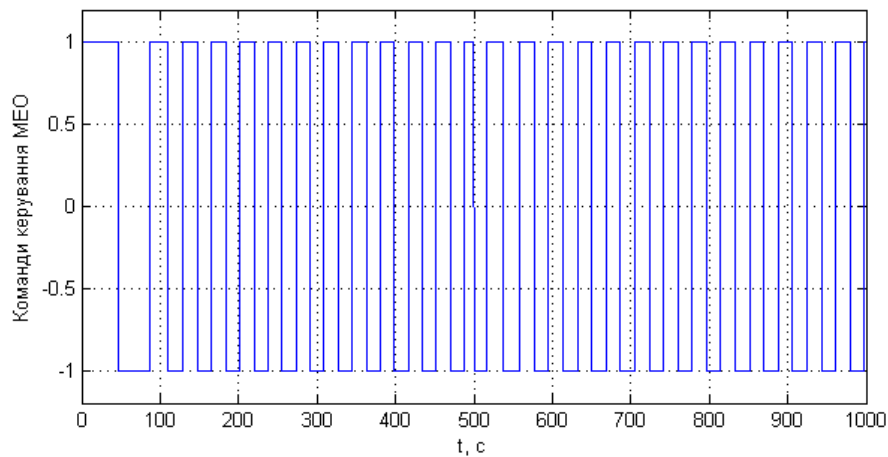


Рисунок 4.5 – Графік змінення сигналів керування виконавчим механізмом в процесі регулювання тиску у зоні сушки 1

Недоліком даної системи є виникнення автоколивального режиму, зумовленого наявністю у структурі нелінійної ланки – трипозиційного перемикача, який відтворює принцип роботи виконавчого механізму МЕО-100. Унаслідок цього в системі спостерігаються періодичні коливання тиску в першій зоні сушки, що може погіршувати умови підтримання раціонального режиму видалення вологи з котунів і знижувати стабільність технологічного процесу.

Для усунення зазначеного недоліку доцільно використати відомий метод корекції динаміки релейних систем, який базується на введенні додаткового гнучкого зворотного зв'язку з використанням передавальної функції. Застосування реальної диференційної ланки як елемента такого зворотного

зв'язку обумовлене неможливістю практичної реалізації ідеального диференціювання, а також наявністю готових функціональних модулів у стандартних бібліотеках промислових контролерів, зокрема Simatic S7-314. Це дозволяє без ускладнення апаратної частини реалізувати алгоритми керування процесами сушки котунів і регулювання подачі повітря в зони сушки. Структурну модель удосконаленої системи подано на рис.4.6.

$$W_{362}(p) = \frac{k_{362}p}{T_{362}p + 1}$$

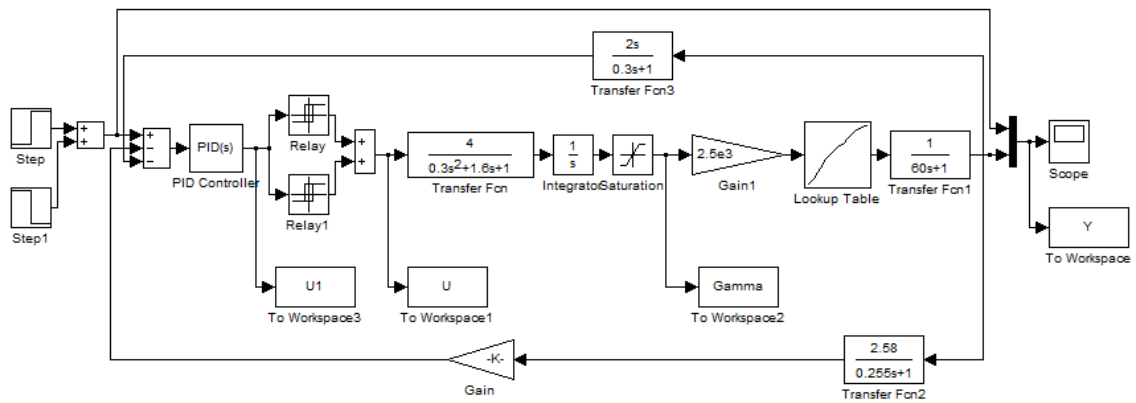


Рисунок 4.6 – Модель системи автоматичного керування тиском у зоні сушки 1 випалювальної машини ОК-324

На рис.4.7 подано графічне зображення перехідного процесу в скоригованій системі автоматичного регулювання тиску в зоні сушіння 1, який реалізується за рахунок зміни витрати повітря з колектора відповідної зони. Процес досліджувався за умов ступінчастої зміни заданого значення тиску до рівня 255 мм водяного стовпа (2500 Па), після чого в момент часу $t = 500$ с уставку було зменшено до значення 2250 Па.

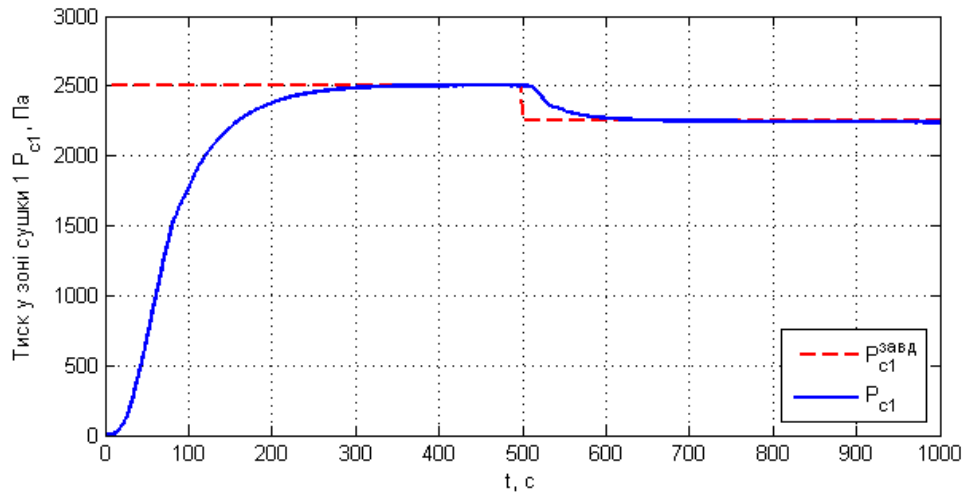


Рисунок 4.7 – Графік змінення тиску у зоні сушки 1 у скорегованій системі керування тиском у зоні сушки 1

На рис. 4.8 і 4.9 подано часові залежності, що відображають зміну положення регулювального органа та динаміку керуючого сигналу, який подається на виконавчий механізм МЕО у процесі його роботи.

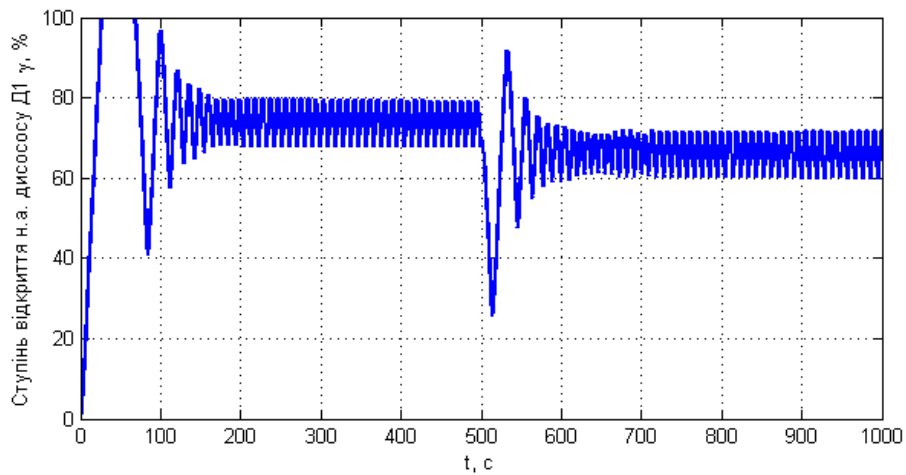


Рисунок 4.8 – Графік змінення ступеня відкриття направляючого апарату димососу Д1 в процесі регулювання тиску у зоні сушки 1 у скорегованій системі керування

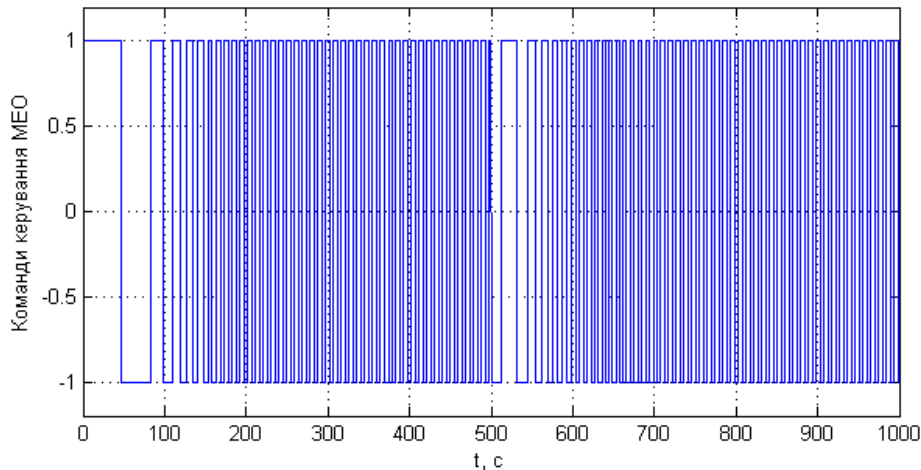


Рисунок 4.9 – Графік змінення сигналів керування виконавчим механізмом в процесі регулювання температури у зоні сушки 1 у скорегованій системі керування

Аналіз отриманих графічних залежностей свідчить, що модернізована система автоматичного керування тиском у зоні сушки 1 забезпечує стабільне та точне дотримання заданого значення параметра. Час встановлення режиму становить $t_p = 240$ с.

Перехідний процес характеризується відсутністю перерегулювання та нульовою статичною похибкою. Коливальні режими за вихідною координатою, а саме тиском у зоні сушки 1, не спостерігаються, що підтверджує стійкість роботи системи. Таким чином, спроектована система повністю відповідає вимогам, які висувуються до автоматизованих систем керування процесом сушки кутунів і регулювання подачі повітря в сушильні зони, та може бути рекомендована до промислового впровадження на фабриці огрудкування.

Алгоритмічні та структурні підходи до побудови систем автоматичного регулювання розрідження в ковпаку зони сушки 1 і тиску в ковпаку зони сушки 2 є однаковими та базуються на спільних принципах керування.

4.2 Розробка програмного забезпечення для програмованого логічного контролера

Програмний комплекс Simatic TIA Portal V12 надає можливість розробити прикладне програмне забезпечення для керування технологічним процесом сушіння котунів з подальшим безпосереднім завантаженням програми в програмований логічний контролер Simatic S7-314. Розробка алгоритму здійснюється з використанням мови функціональних блоків FBD на основі структурної схеми системи, поданої на рис.2.3.

Мова програмування FBD базується на застосуванні функціональних елементів, що реалізують окремі логічні операції, функції та підпрограми. На рис.4.10 наведено фрагмент програми, який забезпечує зчитування поточного значення сигналу тиску з вимірювального датчика та його збереження у тимчасовій змінній. Також реалізовано алгоритм масштабування й перетворення вхідного сигналу до формату, придатного для обробки контролером, з подальшим записом обчисленого значення у відповідну змінну.

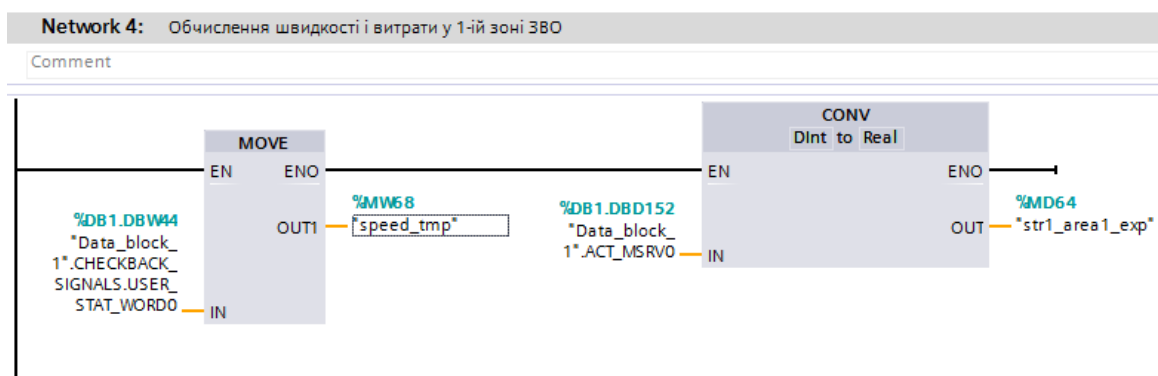


Рисунок 4.10 – Отримання значення тиску у газоповітряній камері №2 зони сушки 1

У даному дата-блоці задіяно два функціональні елементи – «Move» та «Conv to Real». Блок «Move» приймає на вхід аналоговий сигнал від вимірювального датчика та передає його значення у визначену проміжну змінну без додаткової обробки. Блок «Conv to Real» також отримує сигнал з датчика, однак перед записом до змінної виконує перетворення значення у заданий числовий формат, що забезпечує коректність подальших обчислень.

Для реалізації зворотного зв'язку за положенням направляючого апарата використано математичні блоки «Mul», які здійснюють множення сигналу датчика на відповідні коефіцієнти масштабування. Подальше приведення

результату до зручного для сприйняття та аналізу вигляду виконується за допомогою блока «Scale», який нормалізує отримане значення та зберігає його у тимчасовій змінній, як показано на рис.4.11.

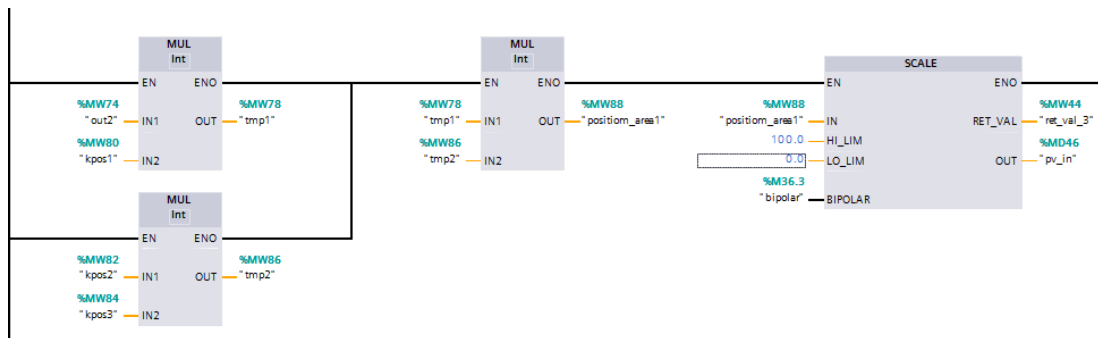


Рисунок 4.11 – Зворотний зв’язок по положенню направляючого апарату

Для реалізації PID-регулювання застосовується спеціалізований функціональний блок відповідного типу. Він має розширений набір параметрів конфігурування, серед яких доцільно виокремити основні. Зокрема, параметр *sp_int* визначає задане значення регульованої величини, тобто опорний рівень вихідного сигналу, яким у даному випадку є тиск у першій зоні сушіння.

- *pv_in* – значення що повертається зі зворотного зв’язку;
- *lmn_per* – вихідне значення з регулятора.

Надалі вихідний сигнал PID-регулятора передається на вхід функціонального блоку «Move», який забезпечує запис отриманого значення у задану змінну. Графічне представлення регулятора наведено на рис. 4.12.

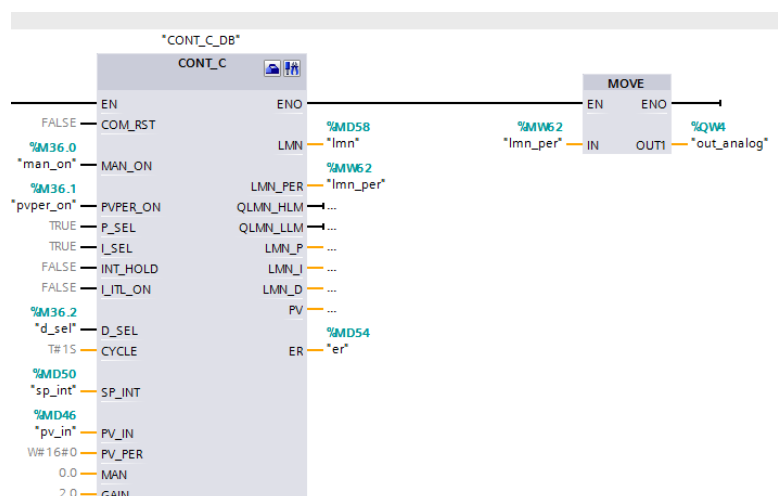


Рисунок 4.12 – Зовнішній вигляд PID-регулятора та запис сигналу у вказану змінну

Аперіодична ланка першого порядку має вигляд, зображений на рис. 4.13.

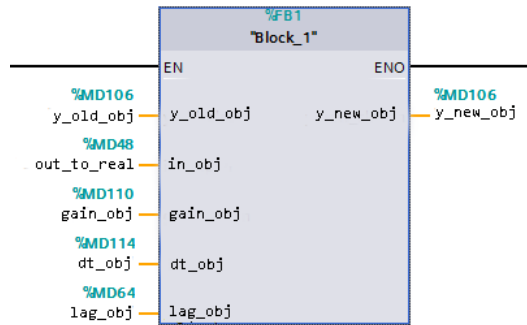


Рисунок 4.13 – Зовнішній вигляд аперіодичної ланки

Блок включає в собі такі параметри:

- `y_old_obj` – попереднє значення $n-1$;
- `in_obj` – перетворення до типу `real`;
- `gain_obj` – статичний коефіцієнт передачі;
- `dt_obj` – час диференціювання;
- `lag_obj` – стала часу;
- `y_new_obj` – наступне значення $n+1$.

Функціональні блоки, зображені на рис.4.12–4.13, застосовуються для формування трьох PID-регуляторів, які є складовими системи автоматичного керування процесом сушіння котунів і регулювання подачі повітря до відповідних зон сушіння.

Для забезпечення взаємодії з SCADA-системою всі змінні, що підлягають обміну даними, мають бути занесені до спеціальної таблиці Default Tag Table (рис. 4.14). Наведений перелік параметрів стосується першої зони сушіння випалювальної машини та поданий як типовий приклад налаштування інформаційного зв'язку.

	Name	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...	Comment
1	str1_area1_exp	Real	%MD0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	str1_area1_temp	Real	%MD8		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	str1_area1_temp_enter	Real	%MD12		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	str1_area1_valve	Real	%MD16		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	str1_motor_speed	Real	%MD4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	str1_motor_speed_enter	Real	%MD6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	str1_motor_work	Real	%MD20		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	<Add new>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рисунок 4.14 – Таблиця для визначення змінних у проекті

4.3 Розробка системи контролю та візуалізації технологічного процесу сушки котунів

З огляду на обраний комплекс технічних засобів автоматизації процесу сушіння котунів і подачі повітря в зону сушіння випалювальної машини ОК-324 на фабриці огрудкування, для побудови системи контролю та візуального супроводу застосовано програмний продукт WinCC Professional компанії Siemens.

WinCC Professional є сучасною комп'ютерною SCADA-платформою, призначеною для моніторингу та керування технологічними процесами, виробничими лініями, окремими агрегатами й цілими промисловими комплексами в різних галузях виробництва. Система забезпечує збір, обробку та відображення технологічних параметрів у реальному часі, а також підтримує інтеграцію з промисловими контролерами та іншими засобами автоматизації.

Застосування WinCC Professional дає можливість реалізувати як автономні однокористувацькі робочі станції оператора, так і масштабовані багатокористувацькі розподілені системи з використанням резервованих серверів, мережевої взаємодії та віддаленого доступу через Web-клієнти, що підвищує надійність і гнучкість керування технологічним процесом.

Основними перевагами WinCC Professional є:

- можливість використання в різних галузях промислового виробництва. Реалізація багатомовного користувацького інтерфейсу з підтримкою формування текстових повідомлень кількома мовами, зокрема російською. Відповідність нормативним вимогам FDA 21 CFR Part 11.

- наявність повного комплексу вбудованих засобів людино-машинного інтерфейсу, що відповідають чинним промисловим стандартам і забезпечують сигналізацію подій з підтвердженням повідомлень, архівування подій та змінних, реєстрацію оперативних даних і параметрів конфігурації, а також функції адміністрування й візуального відображення інформації.

– підтримка клієнт-серверної моделі побудови системи з можливістю застосування резервованих або стандартних структур керування, а також реалізація Web-доступу і засобів віддаленого сервісного обслуговування.

– використання відкритих комунікаційних протоколів і технологій, зокрема OPC, WinCC OLE-DB, VBA, VB Script та C-API (ODK), що забезпечує інтеграцію з іншими інформаційними системами.

– збереження архівних даних у форматі MS SQL Server із подальшою обробкою історичної інформації за допомогою різноманітних прикладних програм на робочих станціях офісних користувачів.

– зручна та продуктивна конфігурація системи завдяки застосуванню бібліотек типових об'єктів, модульного принципу побудови, наявності засобів групового редагування даних і підтримки інтерактивного налаштування параметрів завантаження і зміни проекту.

– можливість модульного нарощування функціоналу за рахунок опційних пакетів і додаткових модулів, використання VB Scripts, VBA, C-API (ODK) та ActiveX-компонентів.

Головне вікно системи візуалізації технологічного процесу сушіння котунів у випалювальній печі фабрики огрудкування призначене для наочного відображення перебігу процесу та контролю основних технологічних параметрів і показників роботи обладнання.

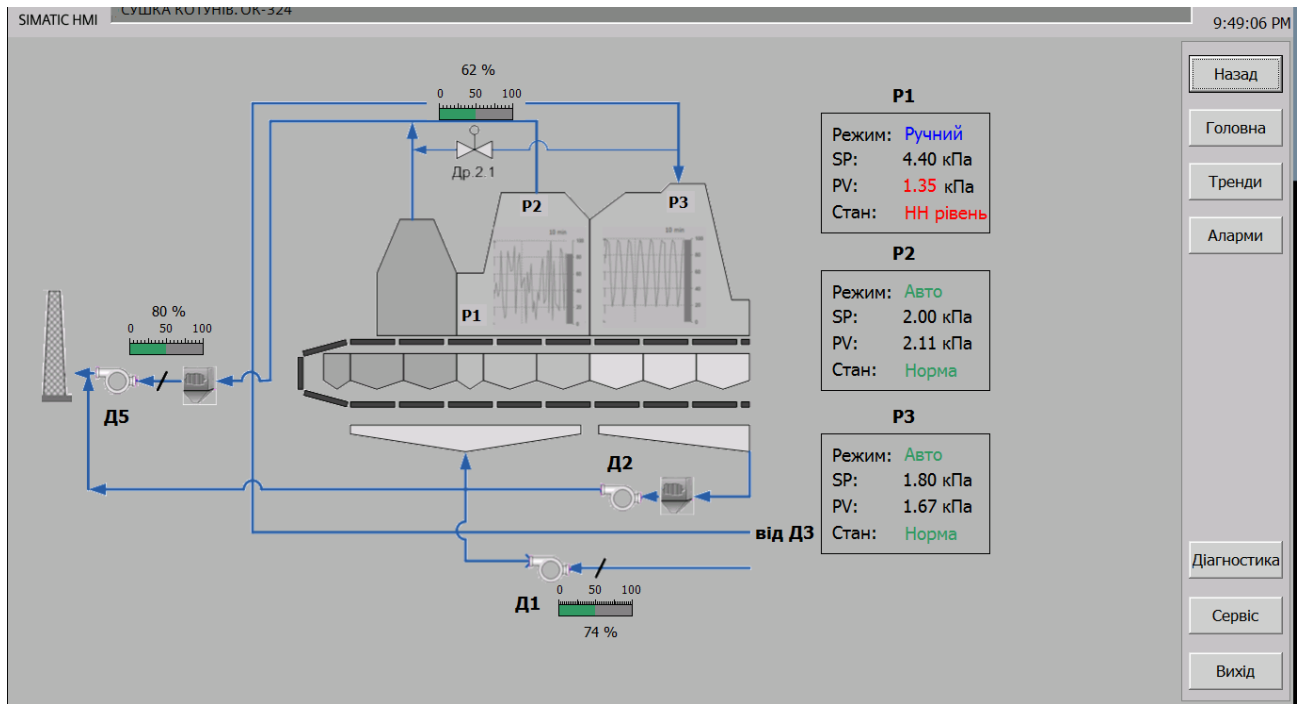


Рисунок 4.15 – Головна сторінка системи візуалізації технологічного процесу

ВИСНОВОК

У межах кваліфікаційної роботи спроектовано автоматизовану систему керування тиском повітря в зонах сушіння під час виробництва котунів. У процесі виконання роботи отримано такі результати.

Досліджено специфіку технологічного процесу сушіння котунів і особливості повітроподачі у відповідну зону конвеєрної випалювальної машини ОК-324 за умов роботи фабрики огрудкування ПрАТ «Полтавський ГЗК». Проаналізовано взаємозв'язок параметрів повітряного потоку з якісними показниками термічної підготовки котунів.

Проведено аналіз чинної системи автоматизації процесу термічної обробки котунів, у результаті якого встановлено низку недоліків. Визначено, що ключовою проблемою існуючих рішень є недостатній рівень автоматизованого контролю параметрів процесу та відсутність сучасних засобів візуалізації й оперативного інформування персоналу.

З урахуванням проведеного аналізу обґрунтовано необхідність модернізації автоматизованої системи керування процесом подачі повітря в зони сушіння конвеєрної випалювальної машини ОК-324 на фабриці огрудкування шляхом впровадження сучасної системи візуалізації технологічного процесу. Запропонований комплекс контролю та керування забезпечує оперативний моніторинг у реальному часі параметрів, що характеризують перебіг термічної обробки котунів, а також дає можливість коригувати режими роботи основного технологічного обладнання й засобів автоматизації як у ручному, так і в автоматичному режимах із підтриманням заданих значень процесу.

Реалізація такої системи сприятиме підвищенню стабільності технологічних режимів, покращенню фізико-механічних властивостей котунів та зростанню обсягів випуску готової продукції за рахунок оптимізації параметрів термообробки. Крім того, створюються умови для подальшого розвитку та масштабування системи керування під час модернізації виробництва, підвищується рівень безпеки й комфорту праці обслуговуючого персоналу.

Централізація контролю й керування обладнанням, а також забезпечення оператора повною, достовірною та своєчасною інформацією про стан технологічного об'єкта дозволяють перейти на більш ефективний і сучасний рівень управління виробничим процесом.

Проведено аналіз специфіки керування процесом сушіння котунів на конвеєрній випалювальній машині. Досліджено математичні моделі регулювання режимів сушіння котунів і подачі повітря в зони сушіння КВМ, а також запропоновано структуру системи автоматичного керування тиском у газоповітряній камері № 2 першої зони сушіння, розрідженням у ковпаку першої зони та тиском у ковпаку другої зони сушіння.

Обґрунтовано архітектуру комплексу технічних засобів автоматизації процесу сушіння котунів, яка передбачає трирівневу організацію: рівень оперативно-диспетчерського керування, підсистему регулювання параметрів сушіння котунів та польовий рівень технологічного обладнання. Показано, що реалізація нижнього, контролерного рівня автоматизованої системи керування процесом термічної обробки котунів на базі програмованих логічних контролерів Simatic S7-300 є доцільною, оскільки забезпечує високу обчислювальну швидкість, надійність функціонування та безпосередню близькість до об'єкта керування. Відповідно до обраної концепції підібрано необхідні технічні засоби для реалізації всіх рівнів системи автоматизації.

Проведено комп'ютерне моделювання системи автоматичного керування тепловим режимом із застосуванням математичного пакета Matlab. Отримані результати підтвердили відповідність показників роботи системи заданим вимогам та критеріям якості регулювання.

Розроблено програмне забезпечення для відображення та контролю процесу сушіння котунів. Програмно-апаратний комплекс автоматизації процесу сушіння та подачі повітря в окремі зони реалізовано у вигляді керуючих програм промислових контролерів і системи моніторингу та візуалізації технологічного процесу, що встановлюється на автоматизованому робочому місці оператора.

З метою підвищення ефективності інформаційного забезпечення персоналу фабрики огрудкування створено систему контролю й візуалізації, яка відображає поточні параметри та стан обладнання процесу сушіння котунів. Використання запропонованої SCADA-системи забезпечує своєчасне отримання оперативних даних, сприяє прийняттю обґрунтованих керуючих рішень і підвищує рівень захисту технологічного обладнання від аварійних режимів. Систему візуалізації технологічного процесу реалізовано на базі програмного пакета WinCC, а програму керування для програмованого логічного контролера розроблено з використанням середовища Simatic TIA Portal 12.

У розділі з охорони праці приведено розрахунок системи припливно-витяжної вентиляції для виробничого приміщення, де відбувається експлуатація системи автоматичного керування тиском у технологічних зонах сушіння при виготовленні котунів.