

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій  
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Інтелектуальні системи управління  
в гірничо-металургійному виробництві»  
за спеціальністю 151 Автоматизація  
і комп'ютерно-інтегровані технології

на тему «Система автоматизації сушильного барабану  
помольного відділення»

Керівник роботи

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

Консультант від  
бази практики

Олексій ПІПКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають  
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Максим УВАРОВ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Андрій ЛЕОНОВ

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>автоматизації виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>автоматизації, електро- та робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>151 Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології</u>
ОПП	<u>Інтелектуальні системи управління в гірничо-металургійному виробництві</u>

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

«24» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Уварову Максиму Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Система автоматизації сушильного барабану помольного відділення, керівник роботи Мірошниченко Вікторія Ігорівна, канд. техн. наук, доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом Університету від 29.08.2023 р. №137.1/29.08.2023
2. Термін подання роботи 10.01.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи управління та сигналізації технологічних параметрів (Основні задачі АСУТП, концепція роботи системи, обґрунтування та вибір технічних рішень). 3. Реалізація запропонованої системи (3.1. Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації, 3.2. Проєктування САР температури, 3.3. Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення окремих задач системи).
4. Економічне обґрунтування запропонованої системи. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема структурна автоматизації. Схема функціональна автоматизації. Схема структурна комплексу технічних засобів. Блок-схеми алгоритмів керування та програмного забезпечення. Результати розрахунків

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 24.11.2023

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	03.01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

(Уваров М. О.)

Керівник роботи

(Мірошніченко В. І.)

## АНОТАЦІЯ

Уваров Максим Олегович. Система автоматизації сушильного барабану помольного відділу. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ОПП «Інтелектуальні системи управління у гірничо-металургійному виробництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Кам'янське, 2024.

*Об'єктом дослідження є технологічний процес сушіння матеріалів у сушильному барабані*

*Предметом дослідження є система автоматизації, розроблена для оптимізації технологічного процесу сушіння матеріалів у сушильному барабані*

У першому розділі виконаний аналіз предметної області процесу сушіння в сушильних барабанах. Розглянуто методи підвищення продуктивності сушильного барабану для гранульованих матеріалів, наявні математичні моделі стаціонарного процесу сушіння. Проведений огляд поточного стану автоматизації сушильного барабану №2.

У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу сушіння вогнетривів в сушильному барабані як об'єкта автоматизації. Описаний та обґрунтований вибір структури системи автоматизації та взаємозв'язок функціональних задач АСУ ТП.

У третьому розділі обґрунтовано вибір технічних засобів для всіх рівнів автоматизації; спроектовано САР температури. Визначено аналітичні залежності, що описують розподіл параметрів процесу сушіння матеріалу в барабані з урахування швидкості переміщення. На підставі математичної моделі технологічного процесу виконане налаштування PID регулятора та змодельована робота системи управління. Розроблено алгоритм роботи системи управління сушильним барабаном

У четвертому розділі відповідними розрахунками підтверджено економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації.

СУШИЛЬНИЙ БАРАБАН, ВОЛОГІСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА, ТОПКА, РУДА, АВТОМАТИЗАЦІЯ

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	8
1.1 Літературний огляд .....	8
1.2 Поточний стан автоматизації сушильного барабану №2 .....	9
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	12
2.1 Технологічний процес сушіння вогнетривів в сушильному барабані як об'єкт автоматизації .....	12
2.2 Вибір та обґрунтування структури системи автоматизації.....	15
2.3 Взаємозв'язок функціональних задач АСУ ТП сушильного барабана .....	16
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	19
3.1 Обґрунтування вибору технічних засобів .....	19
3.2 Проектування САР температури та тиску .....	21
3.3 Програмне забезпечення системи автоматизації.....	25
3.4 Математичне моделювання технологічного процесу.....	32
3.5 Налаштування PID регулятора та моделювання роботи системи управління .....	36
3.6 Опис алгоритму роботи автоматизованої системи управління сушильним барабаном .....	40
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ .....	42
ВИСНОВКИ .....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	47
ДОДАТОК А. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	49
А.1 Технологічний потік сировини до сушильного барабану .....	49
А.2 Опис технологічного процесу сушки .....	50
А.3 Конструкція сушильного барабану .....	52
ДОДАТОК Б. АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	57

## ВСТУП

В технологічному процесі сушіння сипких матеріалів в сушильному барабані у більшості випадків промислового застосування не використані усі можливості для оптимізації енергоспоживання. Багато виробництв використовують застарілі методи автоматизації виробництва, де контроль за регулюванням газу та інших параметрів сушіння виконується вручну, що призводить до неефективного споживання енергетичних ресурсів. Відсутність автоматичного контролю параметрів, що визначають якість готового продукту, призводить до її зниження та нераціонального використання енергоресурсів. Впровадження автоматизованого управління процесом сушіння сипких матеріалів дозволить досягти високого рівня якості продукції та енергоефективності технологічних агрегатів.

Ключова проблема, яку вирішує ця кваліфікаційна робота, полягає в неефективності та недостатній гнучкості технологічного процесу сушіння вогнетривів у сушильному барабані одного з підприємств України через повну відсутність автоматизації агрегату. Недосконалість ведення процесу призводить до нерівномірності сушіння та збільшених витрат енергії, негативно впливаючи на результативність виробничого процесу та якість продукції. З урахуванням зазначеного, доцільно розробити та впровадити автоматизовану систему управління технологічним процесом, спрямовану на підвищення енергоефективності роботи сушильного барабану.

Мета дослідження - розробити автоматизовану систему управління технологічним процесом сушіння вогнетривів у сушильному барабані для підвищення енергоефективності та продуктивності його роботи.

Задачі дослідження включають аналіз поточного стану сушильного процесу, побудову моделі сушильного барабана, та розробку програмного забезпечення для контролю та регулювання технологічними параметрами.

Об'єктом дослідження є сушильний барабан для сушіння вогнетривів.

Предметом дослідження є система автоматизації, розроблена для оптимізації технологічного процесу сушіння матеріалів у сушильному барабані.

Розроблена система автоматизації сушіння вогнетривів у сушильному барабані має на меті поліпшення технологічного процесу. Її впровадження сприятиме підвищенню ефективності сушіння та стабільності умов промислового виробництва.

Отримані результати дослідження мають важливе практичне значення для промислових підприємств, зайнятих сушінням матеріалів у сушильних барабанах. Впровадження розробленої системи автоматизації дозволить підвищити ефективність та стабільність процесу сушіння, сприяючи зниженню енерговитрат та покращенню якості кінцевої продукції.

Методи дослідження включають в себе:

1. Аналіз технічної літератури: Детальне вивчення наукових та технічних публікацій, що стосуються сушіння матеріалів та автоматизації типових технологічних процесів.

2. Інженерне моделювання: Використання сучасних інженерних програм для розробки віртуальних моделей сушильного барабана та системи автоматизації.

3. Експериментальні вимірювання: Збирання даних на реальному обладнанні для аналізу його роботи під різними умовами та навантаженнями.

Апробація результатів роботи була проведена під час виступу з тезами на науковій конференції та публікації тез доповіді:

1. M.O. Uvarov, V.I. Miroshnychenko. AUTOMATION OF DRYING DRUM. International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» conference proceedings, Riga, the Republic of Latvia, November 29–30, 2023. «Baltija Publishing», Riga, Latvia, 2023. V.2. С. 72–74.  
<https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-103>

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Літературний огляд

Позаяк технологічний процес сушіння саме вогнетривів в сушильному барабані є нешироко розповсюдженим, враховуючи обмежену потребу у вказаній продукції, були розглянуті типові системи автоматизації сушильних установок сипких матеріалів, зокрема, вугілля, рис.1.1 [1]. Зазвичай подібні системи передбачають регулювання вологості матеріалу шляхом зміни маси матеріалу, що подається на вхід сушильного барабану.

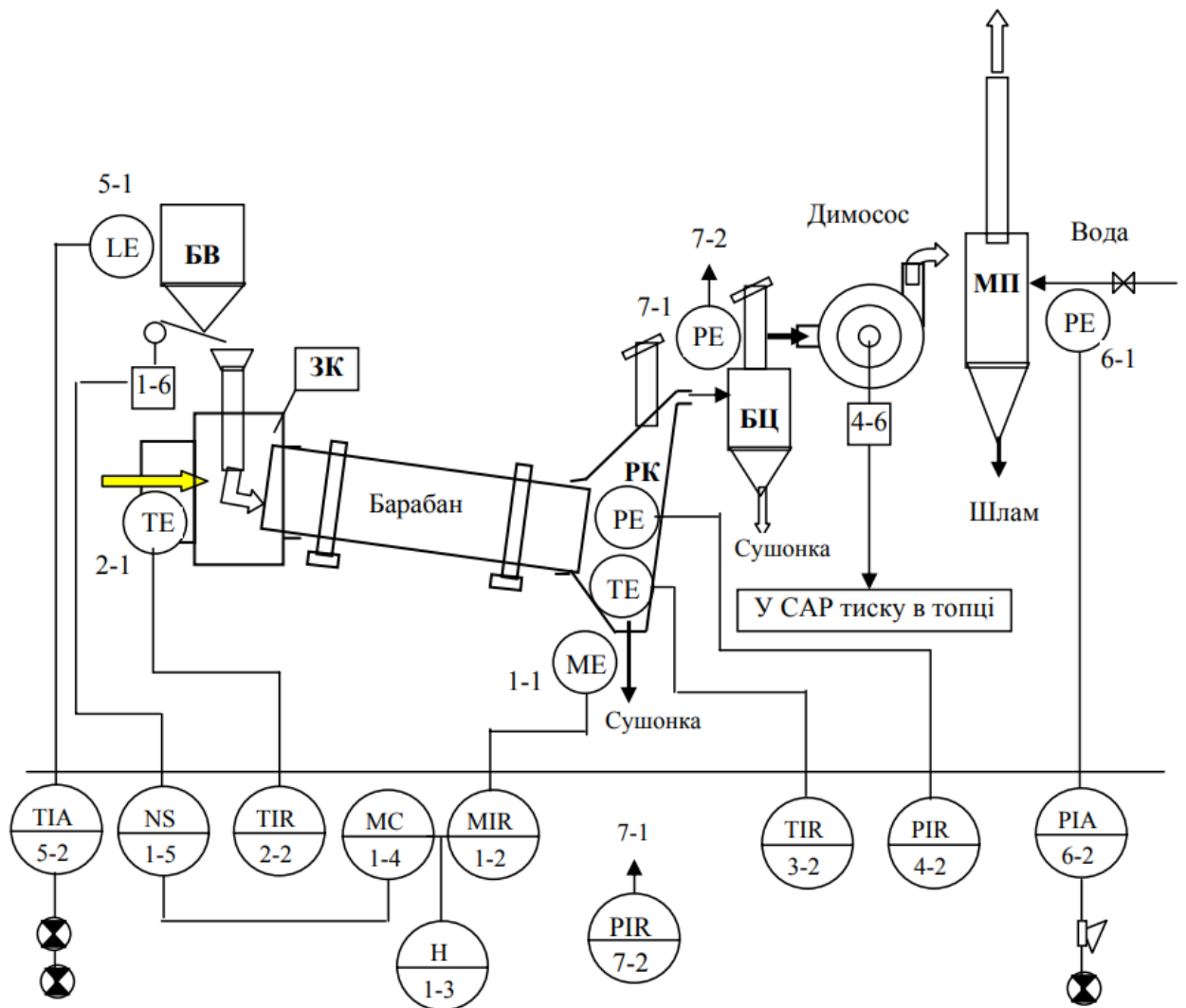


Рисунок 1.1 - Схема автоматизації сушильного барабану в умовах збагачувальної фабрики [1]

Також передбачено регулювання температури газів на вході в барабан шляхом управління температурним режимом топки та контроль температури газів на виході з барабану для визначення кількості тепла, що було витрачено на сушіння вугілля, шляхом порівняння з температурою газів на вході в барабан.

В роботі [2] розглянуто методи підвищення продуктивності сушильного барабану для гранульованих матеріалів, що передбачають регулювання кута нахилу установки та дисперсного складу матеріалу на вході.

В роботі [3] наведено приклад технологічної лінії сушіння гранульованого продукту в барабанній печі із зонними й аксіальними пальниками, що використовують різні види палива. Враховано взаємовплив компонентів лінії на її продуктивність, якість і витрати. Для пошуку оптимального режиму роботи агрегату обрано метод динамічного програмування, що визначає оптимальну фазову траєкторію для максимізації адитивного критерію, який був сформульований для цього методу.

Авторами [4] одержано математичну модель стаціонарного процесу сушіння рослинного матеріалу в пневмобарабанному агрегаті. Визначено аналітичні залежності, що описують розподіл параметрів процесу сушіння матеріалу в барабані з урахування швидкості переміщення.

## **1.2 Поточний стан автоматизації сушильного барабану №2**

На поточний момент в цеху магнезіальних виробів одного з підприємств України наявні три сушильні барабани (СБ). Рівень автоматизації СБ №2 є мінімальним.



Рисунок 1.2 – Щит КВПтаА сушильного барабану №2

Зокрема, процес регулювання подачі газу та повітря на сушильний барабан здійснюється виключно в ручному режимі за допомогою кранів.

З урахуванням зазначеної специфіки, зумовленої застарілим технологічним обладнанням та відсутністю систем автоматичного регулювання в сушильному барабані №2, виникає необхідність впровадження системи автоматизації на цьому агрегаті.

Основні кроки вирішення завдання:

1. Модернізація метрологічного забезпечення та технічних засобів системи автоматизації.

2. Розробка структури системи автоматизації, що відповідає потребам та стану технологічного агрегату

3. Розробка програмного забезпечення контролера для збору, аналізу технологічної інформації, регулювання робочих параметрів сушильного барабана.

4. Розробка програмного забезпечення для візуалізації технологічної інформації, видання рекомендацій операторам по управлінню агрегатом на підставі розрахунків керуючих впливів та моделювання технологічного

процесу, а також забезпечення взаємодії з іншими системами підприємства.

Очікувані результати та переваги впровадження:

1. Зниження витрати паливних ресурсів завдяки визначенню та дотриманню вимог технологічного процесу сушіння.

2. Підвищення екологічної ефективності завдяки раціональному використанню енергії та уникненню небезпечних газових сумішей в просторі цеха.

3. Покращення конкурентоспроможності підприємства через оптимізацію виробничих процесів та підвищення якості продукції.

4. Забезпечення стабілізації вологості сировини, що впливає на якість кінцевого продукту.

5. Зменшення ризиків та підвищення безпеки робочого середовища завдяки впровадженню автоматизованих процесів.

Це завдання та ціль є стратегічно важливими для вдосконалення виробничих процесів та забезпечення стійкості підприємства на ринку.

Впровадження системи автоматизації дозволить збирати та обробляти інформацію про технологічні параметри сушильного барабану, реалізовувати регулювання в автоматичному та/або дистанційному режимі, мінімізувати вплив людського фактору на технологічний процес, максимально використовувати потенціал працездатності агрегату та забезпечувати ефективність його роботи. Це також сприятиме зменшенню споживання паливних ресурсів, що важливо для підвищення екологічної ефективності та економічного ефекту виробництва. Впровадження системи автоматизації сушильного барабану не лише підвищить його продуктивність, але й створить передумови для оптимізації виробничого процесу в цілому.

## **2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

### **2.1 Технологічний процес сушіння вогнетривів в сушильному барабані як об'єкт автоматизації**

Сушильний барабан відноситься до класу об'єктів управління зі значною ємністю та розподіленими параметрами, а також значним транспортним запізненням, тобто його можна розглядати як теплообмінник та транспортувальний пристрій.

Принцип сушіння вогнетривів прямоточний, технологічний процес є безперервним.

Перелік вхідних та вихідних параметрів сушильного барабану як об'єкта автоматичного керування.

При розгляді технологічного процесу сушіння вогнетривів в сушильному барабані як об'єкту автоматизації були виділені вхідні параметри:

Сушильний барабан відноситься до класу об'єктів управління зі значною ємністю та розподіленими параметрами, а також значним транспортним запізненням, тобто його можна розглядати як теплообмінник та транспортувальний пристрій.

Принцип сушіння вогнетривів прямоточний, технологічний процес є безперервним.

Перелік вхідних та вихідних параметрів сушильного барабану як об'єкта автоматичного керування.

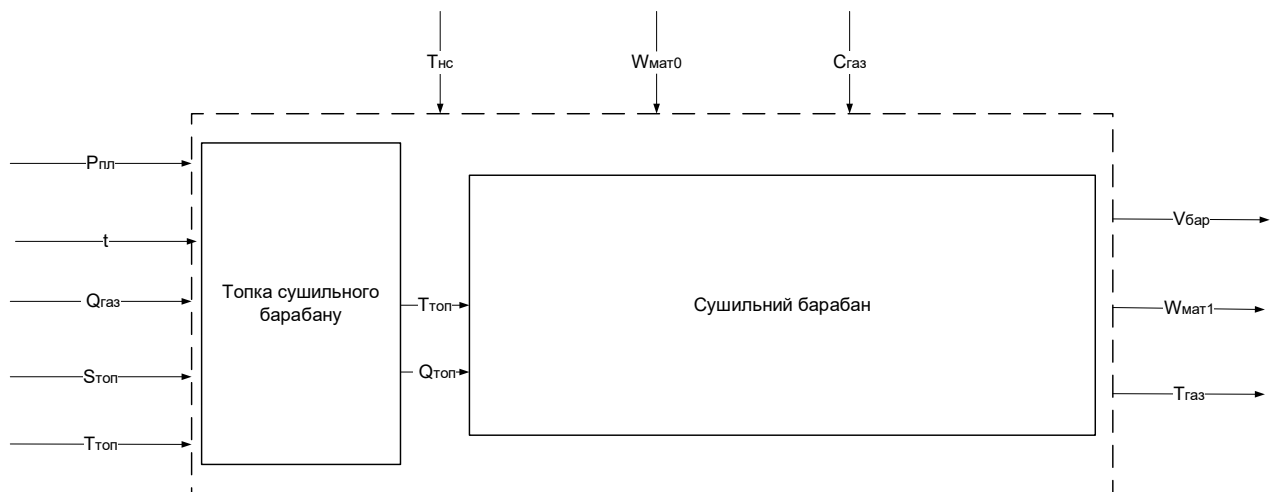


Рисунок 2.1 - Вхідні та вихідні параметри сушильного барабану

При розгляді технологічного процесу сушіння вогнетривів в сушильному барабані як об'єкту автоматизації були виділені вхідні параметри:

- витрата природного газу ( $Q_{газ}$ ) – 30-110 м<sup>3</sup>/год ;
- витрата повітря ( $Q_{пов}$ ) – 30-1000 м<sup>3</sup>/год ;
- співвідношення паливо-повітря ( $\alpha$ );
- маса матеріалу ( $M_{мат}$ ) – 0-5 т/год.

Вихідні параметри:

- температура в топці ( $T_T$ ) – 150 – 950 °С ;
- кількість сушильного агенту( $Q_T$ ) – 0-1200 м<sup>3</sup>/год ;
- продуктивність барабану ( $Q_{бар}$ ) – 4-12 т/год;
- вологість матеріалу ( $W_{мат1}$ ) – 0,4 -1,0 %;
- температура димових газів ( $T_d$ ) - 120°С;

Основними збуреннями є вологість сировини (1-15%) та теплота згоряння газу, що впливає на його спалювання. Також як збурення можна розглядати зміну гранулометричного складу матеріалу, а також можливі зміни розподілу матеріалу та гідродинамічних умов його обтікання сушильним агентом. Поверхня контакту сушильного агенту та матеріалу залежить від товщини шару матеріалу та його гранулометричного складу. Гранулометричний склад визначається перебігом попередніх

технологічних процесів. Величина вологості сушильного агенту залежить від його витрат, що проходять через сушильний барабан.

У зв'язку з цим, доцільно розглядати вологість твердого матеріалу як основний регульований параметр, а регулюючий вплив здійснювати зміною витрати сушильного агенту. Однак через достатньо великі транспортні запізнення в сушарці та утруднене безперервне вимірювання вологості матеріалу під час процесу сушіння в якості регулюючого впливу використовують температуру сушильного агенту в барабані. Це доцільно з погляду динаміки, так як на збурення ця величина реагує швидше. Точка відбору імпульсу температури знаходиться у межах першої третини довжини барабану позаяк ближче до топки температура теплоносія змінюється інтенсивніше, ніж на виході з барабану, також це зменшує час запізнення об'єкта.

Повнота згоряння природного газу забезпечується регулюванням співвідношення паливо-повітря. Для відслідковування повноти спалювання та змін теплотворної здатності палива доцільно контролювати склад димових газів.

Контроль температури димових газів на виході з барабана дозволяє визначати різницю з температурою на вході, що характеризує тепловіддачу теплоносія на сушіння матеріалу.

Контроль витрати матеріалу, що надходить до сушильного барабану, необхідно проводити для визначення продуктивності роботи барабану.

Контроль вологості матеріалу на вході в сушильний барабан дозволяє враховувати відповідне збурення в системі автоматизації.

Таким чином, основною задачею управління процесом сушіння в прямоточному сушильному барабані є стабілізація вологості матеріалу на виході з барабану із забезпеченням економного спалювання палива. Для цього слід забезпечувати заданий тепловий режим в барабані, зокрема, в топці, шляхом регулювання витрат палива та

повітря, забезпечувати повне спалювання палива регулюванням співвідношення паливо-повітря, контролювати кількість та вологість матеріалу на вході в барабан, температуру сушильного агента на вході та виході з барабану. Також перед системою автоматизації процесу сушіння стоїть завдання стабілізації розрідження в топці сушильного барабана.

## **2.2 Вибір та обґрунтування структури системи автоматизації**

Враховуючи специфіку стану автоматизації технологічної дільниці сушіння вогнетривів магнезійного цеху та вимоги до проєктованих систем автоматизації, що наведені у Стандарті АСУ ТП для підприємств структуру АСУ ТП сушильного барабану запропоновано дворівневою.

До верхнього рівня відносяться робочі станції (АРМ), представлені персональними комп'ютерами зі SCADA. Їхнє основне призначення – забезпечення взаємодії операторів технологічного процесу сушіння з системою управління. Також передбачена наявність серверу зі базою даних технологічного процесу сушіння.

На нижньому рівні системи управління передбачено програмований логічний контролер Siemens S7 1200 з відповідними модулями вводу-виводу аналогових та дискретних сигналів для заведення сигналів від датчиків технологічних параметрів та видачі керуючих впливів на виконавчі механізми.

Взаємодія між робочими станціями та контролером за протоколом PROFINET. Для забезпечення безперервності електроживлення всі пристрої живляться від джерел безперебійного живлення.

Схематично структура комплексу технічних засобів АСУ ТП сушильного барабану наведена у графічних матеріалах кваліфікаційної роботи (Лист 1).

## **2.3 Взаємозв'язок функціональних задач АСУ ТП сушильного барабана**

Для забезпечення функціонування технологічного агрегату відповідно до вимог технологічного процесу в системі автоматизованого управління виокремлюють підсистеми, що мають відповідні функціональні задачі. Схема їхнього взаємозв'язку наведена у графічних матеріалах кваліфікаційної роботи (Лист 2), а опис взаємозв'язку функціональних задач АСУ ТП наведений нижче.

### **Підсистема нижнього рівня АСУ ТП**

На нижньому рівні АСУ ТП виконується комплекс функцій, спрямованих на оптимізацію сушильного процесу. Ці функції включають:

- Прийом та обробка вхідних сигналів: Підсистема отримує дані від датчиків, які визначають технологічні параметри сушильного барабана, такі як витрата, вага, температура, вологість та інші.
- Сигналізація відхилень технологічних параметрів: В разі виявлення аномальних значень підсистема генерує сигнали для інформування оператора та інших систем.
- Регулювання технологічних параметрів: Автоматичне налаштування параметрів сушильного процесу для досягнення мети регулювання.
- Діагностика обладнання КВП та А: Моніторинг та аналіз стану обладнання, забезпечення раннього виявлення можливих несправностей.
- Взаємодія з ключами керування: Забезпечення інтерфейсу для взаємодії з оператором, підтримка режимів роботи системи.
- Зв'язок з верхнім рівнем АСУ ТП: Встановлення ефективного зв'язку з верхньою системою для обміну інформацією та отримання вказівок.

### **Підсистема діагностики обладнання ТОК та АСУ ТП**

Ця підсистема відповідає за систематичну діагностику та моніторинг технічного стану сушильного барабана. Основні функції включають:

- Діагностика протікання процесу сушіння: Аналіз відхилень технологічних параметрів для виявлення можливих несправностей чи аварійних ситуацій у сушильному процесі.
- Стан обладнання КВП та А: Моніторинг роботи ключових компонентів та агрегатів, що забезпечує вчасне виявлення проблем.

#### Підсистема запуску/перезапуску АСУ ТП

Ця підсистема відповідає за безперервність роботи АСУ ТП та включає наступні функції:

- Запуск системи при готовності обладнання: Ініціювання роботи системи при наявності достатніх даних про готовність обладнання.
- Перезапуск системи при несправностях: Автоматичне відновлення роботи системи в разі виявлення несправностей або відхилень в технологічних параметрах.
- Плавний перехід між режимами роботи: Забезпечення плавного переходу між різними режимами роботи АСУ ТП для уникнення різких змін параметрів.

Інформаційна підсистема відіграє ключову роль у забезпеченні зв'язку та обробці інформації:

- Зв'язок верхнього та нижнього рівнів: Забезпечення ефективного обміну інформацією між верхнім та нижнім рівнями АСУ ТП.
- Візуалізація та реєстрація параметрів: Систематичне відображення та реєстрація технологічних параметрів для подальшого аналізу.
- Функціонування моделі теплового стану сушильного барабану: Аналіз та обробка даних моделі для надання рекомендацій оператору.

– Співпраця з системою інформаційного супроводження: Забезпечення взаємодії з іншими суміжними системами для узгодженого управління процесом сушіння.

Підсистема ведення баз даних відіграє ключову роль у зберіганні та обробці інформації:

– Формування поточної бази даних: Створення та підтримка бази даних з поточними технологічними та техніко-економічними параметрами.

– Формування архівної бази даних: Створення архіву з історичними даними для аналізу та статистичних висновків.

– Формування бази тривог: Запис та аналіз тривогових ситуацій для подальшого вдосконалення системи.

Підсистема розрахунку та видачі техніко-економічних параметрів (ТЕП) виконує наступні функції:

Розрахунок та видача ТЕП технологічного процесу: Аналіз та обчислення ключових параметрів для оцінки ефективності технологічного процесу.

Підсистема управління відіграє центральну роль у керуванні технологічним процесом сушіння:

– Видача рекомендацій оператору: Надання рекомендацій оператору для оптимізації управління сушильним барабаном.

– Формування та видача керуючих впливів: Автоматичне створення та впровадження керуючих впливів на основі аналізу технологічних параметрів.

– Моделювання управління відведенням газів: Часткове моделювання процесу відведення газів для ефективного управління.

Отже, взаємодія вказаних підсистем дозволяє досягти поставлених задач управління технологічним процесом сушіння.

## **3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

### **3.1 Обґрунтування вибору технічних засобів**

Обрані датчики та їх розташування в системі обумовлені необхідністю точного та ефективного контролю параметрів технологічного процесу сушіння. Вибір конкретних моделей здійснено з урахуванням їхньої специфікації, специфіки виробництва та здатності забезпечувати високу точність вимірювань.

На стрічковому конвеєрі:

Siwarex WL260 (ваги): діапазон ваги: 0.3 – 500 кг; вихідний сигнал: 0 або +24V. Цей датчик встановлено для точного вимірювання маси сировини на вході сушильного барабана, що є одним з ключових параметрів для подальшого контролю та регулювання процесу сушіння.

Berthold LB 350 (вологість матеріалу): діапазон вимірювання вологості: 0-15%, вихідний сигнал: 4-20 мА. Датчик вологості встановлено для постійного моніторингу вологості сировини, що дозволяє системі автоматизації реагувати на зміни та забезпечувати оптимальні умови сушіння.

В топці сушильного барабана:

Siemens QRA2 (присутність полум'я): дискретний сигнал, 0 або +24V. Датчик присутності полум'я встановлено для безпечного та ефективного управління газовим паливом, забезпечуючи його спалення лише при належних умовах.

Термопара типу К(ТХА): діапазон температури: до +1000°C використовується для точного вимірювання температури в топці сушильного барабану, що є ключовим параметром для контролю ефективності сушіння.

Sitrans FX330 (датчик витрати газу): діапазон витрати газу: 0-160000 м<sup>3</sup>/год, вихідний сигнал: 4-20 мА. Встановлено для точного контролю рівня

споживання газу, забезпечуючи ефективне газопостачання та необхідний рівень тепла.

Sitrans P500 (датчики тиску газу та повітря):діапазон тиску газу: 0-100 кПа, діапазон тиску повітря: 0-4 кПа, вихідний сигнал: 4-20 мА. Регулюють тиск для забезпечення стабільності газопостачання та ефективного горіння в сушильному барабані.

AUMA SQ 05.2 (виконавчий механізм) - крутний момент від 50 нм до 2400 нм, кут повороту від 75° до 105°, час повороту на 90° від 4 с до 100 с, відключення за шляхом і за моментом, сумісність з 3-фазними та 1-фазними електродвигунами змінного струму, ручний маховик для ручного управління, механічний вказівник положення.

Siemens VGG10.2041P (клапан регулювання витрати газу) та Siemens VGG41 (клапан регулювання витрати повітря): діапазон регулювання: 0-100%, вхідний сигнал: 0 – 10В.Клапани керують витратою газу та повітря, забезпечуючи оптимальні умови для сушіння.

Siemens VGD40.065U (відсічний клапан газу): дискретний сигнал: 0 або +24V. Відповідає за безпечне відключення газу подачі у разі необхідності.

В сушильному барабані:

Термопари типу K(TXA): діапазон температури: до +1000°C. використовуються для вимірювання температури в двох точках - на вході і на виході в сушильному барабані, що дозволяє системі контролювати тепловий режим та ефективність сушіння.

Siemens SAL81.00T40 (датчик розрідження): дискретний сигнал: 0 або +24V. Вимірює і контролює рівень розрідження в топці сушильного барабана.

Цей комплекс засобів автоматизації та їх розташування максимально враховують технологічні особливості процесу сушіння та гарантують стабільність та ефективність виконання завдань автоматизації. Усі датчики відповідають встановленим діапазонам роботи

та забезпечують необхідну точність вимірювань для ефективного контролю та управління процесом сушіння.

Модулі введення-виведення S7-1200: Analog Input SM 1231 TC, Analog Input SM 1231, 8AI, Analog Output SM 1232, 4AO, забезпечують зчитування та передачу аналогових сигналів, необхідних для моніторингу та керування параметрами технологічних процесів.

### **3.2 Проектування САР температури та тиску**

Функціональна схема систем автоматизації технологічних процесів є основним технічним документом, що визначає структуру та характер систем автоматизації технологічних процесів, а також оснащення їх приладами та засобами автоматизації (Лист 3). На функціональній схемі дано спрощене зображення агрегатів, що підлягають автоматизації, а також приладів, засобів автоматизації та управління, що зображуються умовними позначеннями за стандартами, що діють, і лінії зв'язку між ними. У даній роботі автоматизації сушильного барабана розроблено такі системи автоматичного регулювання та контролю:

- Автоматичне регулювання системи «паливо-повітря».
- Система контролю температури в сушильному барабані.
- Система контролю за рівнем вологості матеріалу на вході та виході з сушильного барабану.
- Система контролю ваги сировини що подається до сушильного барабану.
- Система контролю та сигналізації по факелу.

На основі технологічної інструкції та переліку засобів виміру основними параметрами для реалізації системи автоматизації для сушильного барабану є:

- Витрата газу;
- Тиск газу та повітря;
- Температура сушильного барабану на вході, виході та в топці;

- Масу матеріалу який подається до сушильного барабану;
- Відсоток вологості матеріалу до процесу сушіння.

Крім того необхідно визначити засоби керування, а саме:

- Клапани регулювання витрати газу;
- Клапани регулювання витрати повітря;
- Датчик присутності полум'я ;
- Кнопка аварійної зупинки;
- Контрольна лампа роботи, зупинки;
- Кнопка аварійної зупинки;
- Запальник.

Після визначення основних параметрів для реалізації системи автоматизації потрібно визначити необхідні датчики, виконавчі механізми, прилади керування, тощо.

Опираючись на проаналізовані параметри та стандарти АСУТП групи Метінвесту обрані наступні датчики.

Таблиця 3.1 – Перелік необхідних датчиків

Аналогові датчики			
Параметр	Модель	Діапазон	Сигнал
1	2	3	4
Витрата газу	Sitrans FX330	0-160000м <sup>3</sup> /ч	4-20мА
Тиск газу	Sitrans P500	0-100 кПа	4-20мА
Тиск повітря	Sitrans P500	0-4 кПа	4-20мА
Вологість матеріалу	Berthold LB 350	0-15%	4-20мА
Дискретні датчики			
Присутність полум'я	Siemens QRA2	-	0 або +24V

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Перемикач режиму(on)	Siemens SU1052	-	0 або +24V
Кнопка зупинки(off)	Siemens SU1152	-	0 або +24V
Ваги	Siwarex WL260	0.3 – 500 Kг	0 або +24V
Аналогові виконавчі механізми			
Клапан регулювання витрати газу	Siemens VGG10.2041P	0-100%	0 – 10B
Клапан регулювання витрати повітря	Siemens VGG41	0-100%	0 – 10B
Дискретні виконавчі механізми			
Відсічний клапан газу	Siemens VGD40.065U	-	0 або +24V
Звуковий сигнал(дзвінок)	Siemens 8WD4408-0AA	-	0 або +24V
Лампа роботи	Siemens 8WD5320-0CC	-	0 або +24V
Лампа зупинки	Siemens 8WD5320-0CB	-	0 або +24V
Розрядження	Siemens SAL81.00T40	-	0 або +24V

Визначившись з переліком датчиків, виконавчих механізмів треба створити апаратну частину в TIA PORTAL, яка починається з програмованого логічного контролеру (ПЛК)

ПЛК отримує вхідні сигнали від датчиків (входи) та керує виходами для виконавчих механізмів (виходи) на основі програмної логіки. Його завдання – ефективно реагувати на зміни у робочому

середовищі чи умовах роботи. Отже, ПЛК виступає як головний компонент, забезпечуючи стабільну та ефективну роботу системи автоматизації.

Вибір програмованого логічного контролера (ПЛК) S7-1200 є обґрунтованим для цієї системи автоматизації, враховуючи економічні переваги порівняно з більш новою моделлю S7-1500.

Ключові особливості:

- Середній і нижній сегмент автоматизації.
- Компактний ПЛК із вбудованими входами та виходами
- Програмне забезпечення: TIA Portal, TIA Portal(basic)
- Кабель: Ethernet.

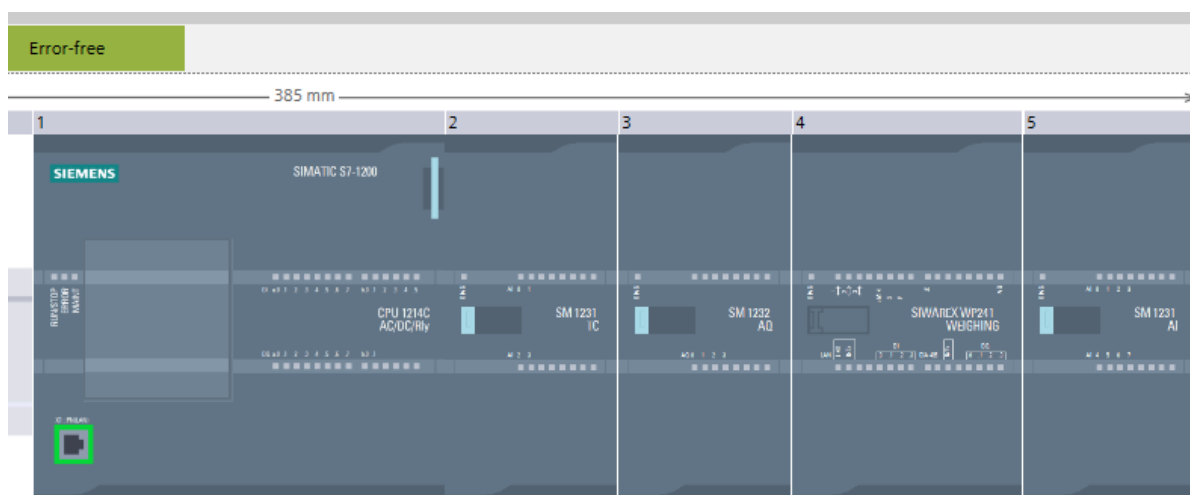


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд ПЛК S7-1200 з встановленими модулями

ПЛК SIMATIC S7-1200 мають компакту конфігурацію і можуть використовуватися в широкому спектрі програм. Моделі процесорів S7-1200 варіюються від CPU 1211C до CPU 1217C, в нашому випадку обраний процесор 14 серії, CPU 1214C. Коли потрібен додатковий вхід/вивід, крім наявного на платі, і з додаванням сигнальної плати, процесори S7-1200, крім CPU 1211C, дозволяють монтувати сигнальні модулі праворуч.

Всі модулі S7-1200 мають вбудовані кліпси, які дозволяють легко і зручно монтувати на стандартну 35-міліметрову DIN-рейку.

Сигнальні модулі мають шинний роз'єм на передній панелі. Коли модуль встановлено, роз'єм шини переміщується ліворуч, щоб модуль міг спілкуватися з ЦП.

У нашому випадку, система буде використовувати модуль SIWAREX WP241 для конвеєрних ваг, які вимірюють вагу матеріалів, що подаються в сушильний барабан.

### 3.3 Програмне забезпечення системи автоматизації

Після вибору програмованого логічного контролера (ПЛК), ми для кожного датчика, виконавчого механізму та приладу керування відбираємо відповідний модуль, який буде взаємодіяти з ПЛК.

▼   Device details			
Slot list			
Special product properties		Messages	
Module	Slot	Article number	
▼ Stand.sectional Rail 35mm, Length 483mm		6ES5710-8MA11	
SIMATIC PM1207/1AC/24VDC/2.5A	0-A	6EP1332-1SH71	
CPU 1214C, AC/DC/Relay, 14DI/10DO/2AI	1	6ES7214-1BG40-0XB0	
S7-1200, analog Input SM 1231 TC, 4 AI	2	6ES7231-5QD32-0XB0	
Analog Output SM 1232, 4AO	3	6ES7232-4HD32-0XB0	
SIWAREX WP241 WEIGHING ELECTRONIC	4	7MH4960-4AA01	
Analog Input SM 1231, 8AI	5	6ES7231-4HF32-0XB0	

Рисунок 3.2 - Лист необхідних модулів з TIA selection TOOLS

Таблиця 3.2– Модулі контролера SIMATIC S7-1200

Назва	№ каналу	Адреса	Параметр
1	2	3	4
Центральний процесор - CPU 1214C, AC/DC/Relay, 14DI/10DO/2AI			
SIMATIC PM1207/1AC/DC24B/2.5A			
Модуль SIWAREX WP241			
Analog Input SM 1231, 8AI	0	%IW112	Витрата газу
	1	%IW114	
	2	%IW116	Тиск газу
	3	%IW118	
	4	%IW120	Тиск повітря
	5	%IW122	
	6	%IW124	Вологість матеріалу
	7	%IW126	
S7-1200, analog Input SM 1231 TC, 4 AI	0	%IW96	Температура –вхід СБ
	1	%IW98	Температура –вихід СБ
	2	%IW100	Температура– топка
	3	%IW102	
Analog Output SM 1232, 4AO	0	%QW128	Клапан регулювання витрати газу
	1	%QW130	Клапан регулювання витрати повітря
	2	%QW132	
	3	%QW134	
CPU 1214C, AC/DC/Relay, 14DI/10DO/2AI	0	%I20.0	Присутність полум'я
	1	%I20.1	Кнопка старт
	2	%I20.2	Кнопка зупинки
	3	%I20.3	

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4
CPU 1214C, AC/DC/Relay, 14DI/10DO/2AI	4	%I20.4	
	5	%I20.5	
	6	%I20.6	
	7	%I20.7	
	0	%Q20.0	Відсічний клапан газу
	1	%Q20.1	Звуковий сигнал(дзвінок)
	2	%Q20.2	Лампа роботи
	3	%Q20.3	Лампа зупинки
	4	%Q20.4	Розрідження
	5	%Q20.5	
	6	%Q20.6	
	7	%Q20.7	

Було створено проект в програмному середовищі TIA Portal. Сконфігурована система, що включає в себе розміщення модулів та інтерфейсних модулів у таблиці конфігурації

Для визначення конфігурації обладнання, обирається опція 'Пристрої та мережі', після чого виконується 'Настроювання пристрою'. Обрані параметри, такі як центральний процесор (ЦПУ), додаються до проекту кнопкою 'Додати'.

Завершується налаштування відображенням апаратних модулів на строго визначених слотах, враховуючи їх реальне розташування. Модулі вибираються з директорії пристрою, що розташована в правій частині вікна."

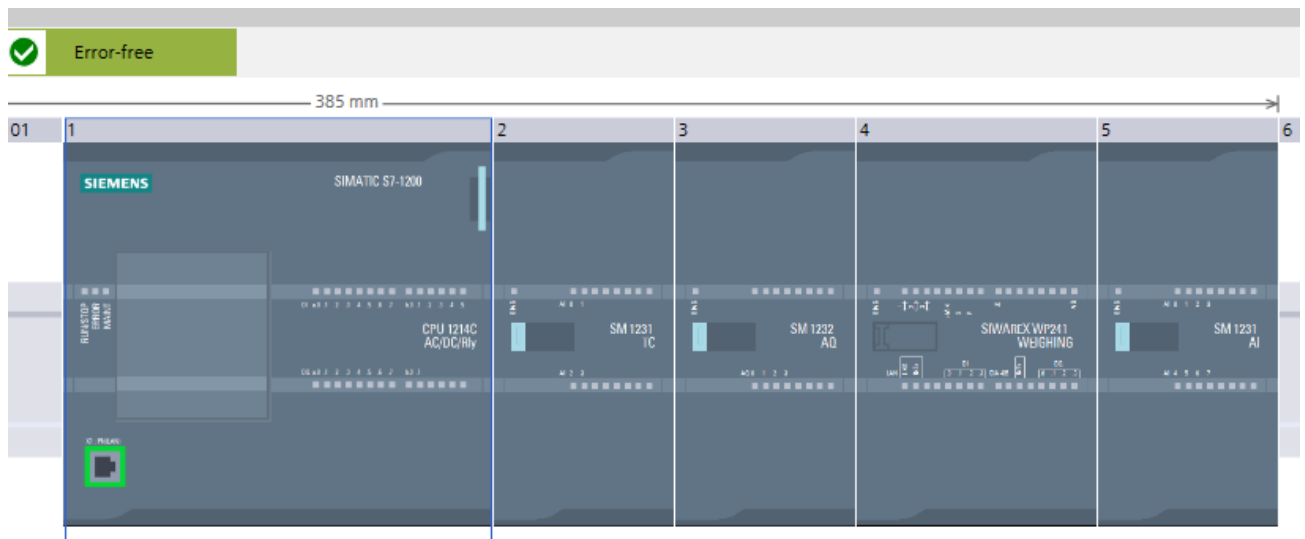


Рисунок 3.3 - Створення апаратної частини проекту в середовищі TIA PORTAL, остаточна конфігурація

Створення блоків FC для обробки аналогових вхідних параметрів. У першому функціональному блоку (FB) інтегровано обробку вхідних аналогових сигналів за допомогою двох блоків - Norm\_X і Scale\_X. Norm\_X виконує нормалізацію числа, отриманого з аналого-цифрового перетворювача (АЦП), до відносного значення в межах 0-1. Для налаштування цього блоку виконуються наступні кроки.

По-перше, встановлюється тип даних – вихідний тип Real, оскільки дані з АЦП надходять у форматі Int. Далі, визначаються значення Min і Max для перетворення АЦП, що відповідають конкретному діапазону в зазначеному діапазоні 0-27648, який можна взяти з інструкції до модуля або визначити для 4-20 mA. Також, встановлюється адреса вхідного каналу та проміжна частина пам'яті на виході, наприклад, MD0.

Другий блок, Scale\_X, виконує масштабування відносного значення в межах 0-1 до необхідного діапазону. Для налаштування Scale\_X виконуються наступні етапи.

Спочатку визначається тип даних – вхідний і вихідний типи є Real. Потім задаються значення Min і Max для необхідного діапазону, враховуючи технологічні вимоги. Також вказується проміжна частина пам'яті на вході і зазначена комірка DB на виході.

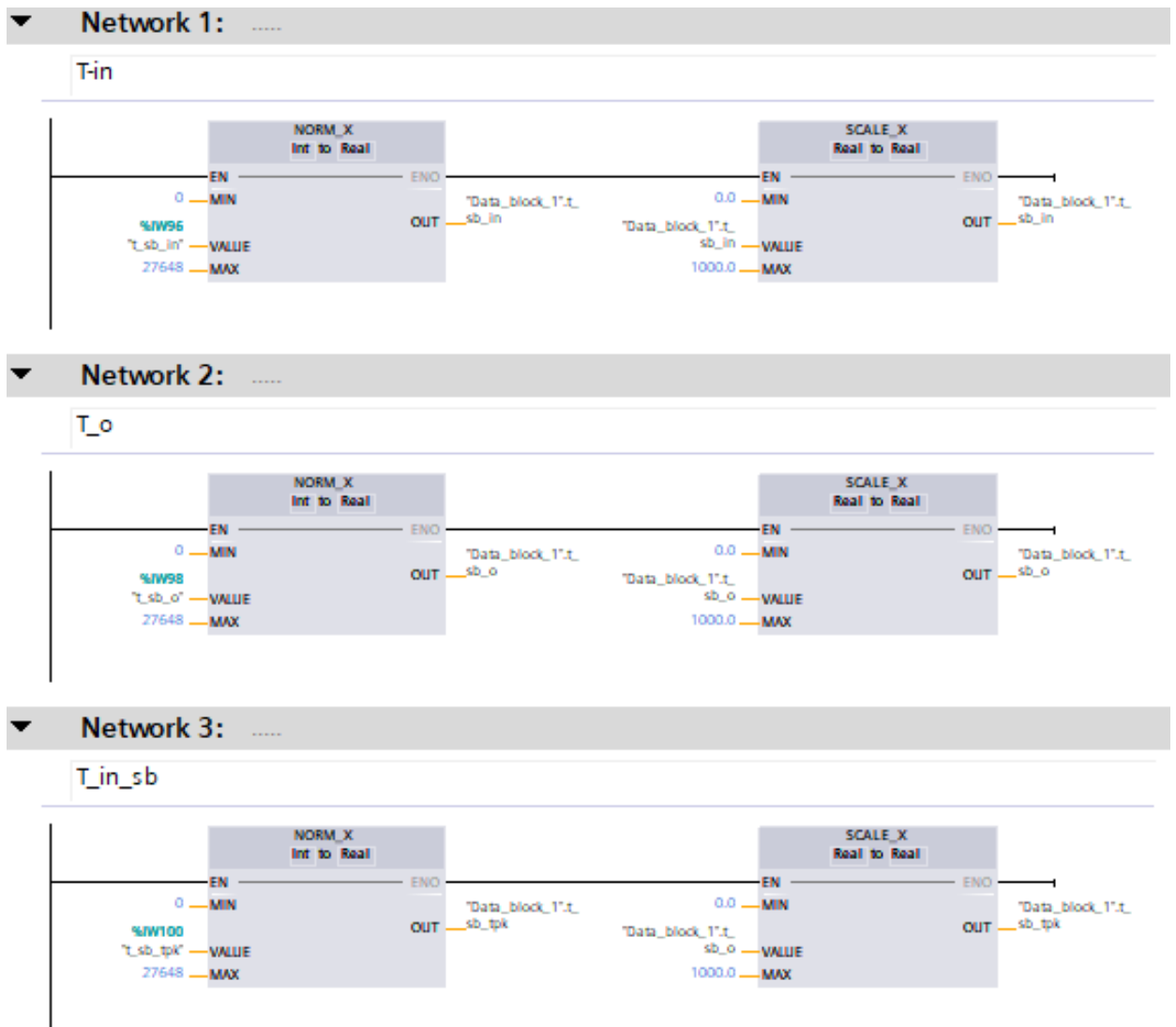


Рисунок 3.4 - Створення обробки вхідних сигналів на аналогові модулі

На основі технологічної інструкції розглянуто процес створення системи сигналізації у TIA-порталі з урахуванням вказаних параметрів. Відповідно до технічних вимог, визначених у зазначеній інструкції, встановлюються алгоритми сигналізації для різних параметрів об'єкта автоматизації.

Першим параметром є температура повітря (суміші) на виході з сушильного барабану, яка не повинна перевищувати 150 °С. Відповідний алгоритм сигналізації налаштовується для виявлення перевищення цього значення і спрацювання сигналу.

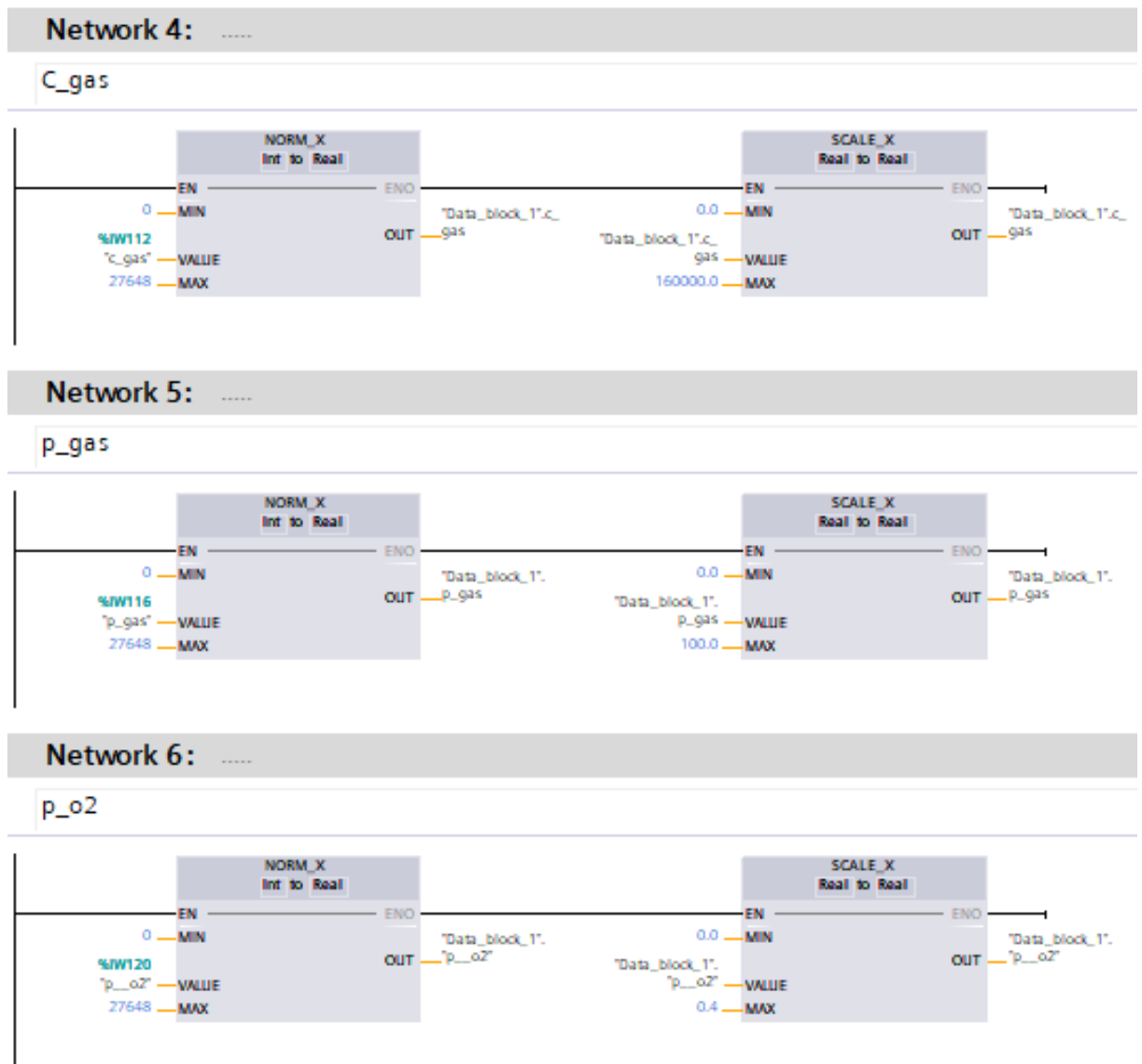


Рисунок 3.5 - Створення обробки вхідних сигналів на інші аналогові модулі

Другий параметр – присутність полум'я у пальниках. Алгоритм сигналізації реагує на наявність полум'я та активує відповідний сигнал при його виявленні.

Третій та четвертий параметри відносяться до тиску газу перед топкою відповідно. Алгоритми сигналізації налаштовуються згідно з технічними вимогами, обмежуючи тиск в заданих межах.

Останній параметр вказує на верхню межу тиску газу перед топкою, яка не повинна перевищувати 0,5 кПА. Алгоритм сигналізації ініціює відповідний сигнал у разі перевищення цього обмеження.

Ці налаштування створюють комплексну систему сигналізації, спрямовану на ефективне виявлення та реагування на різноманітні технічні аспекти роботи об'єкта автоматизації.

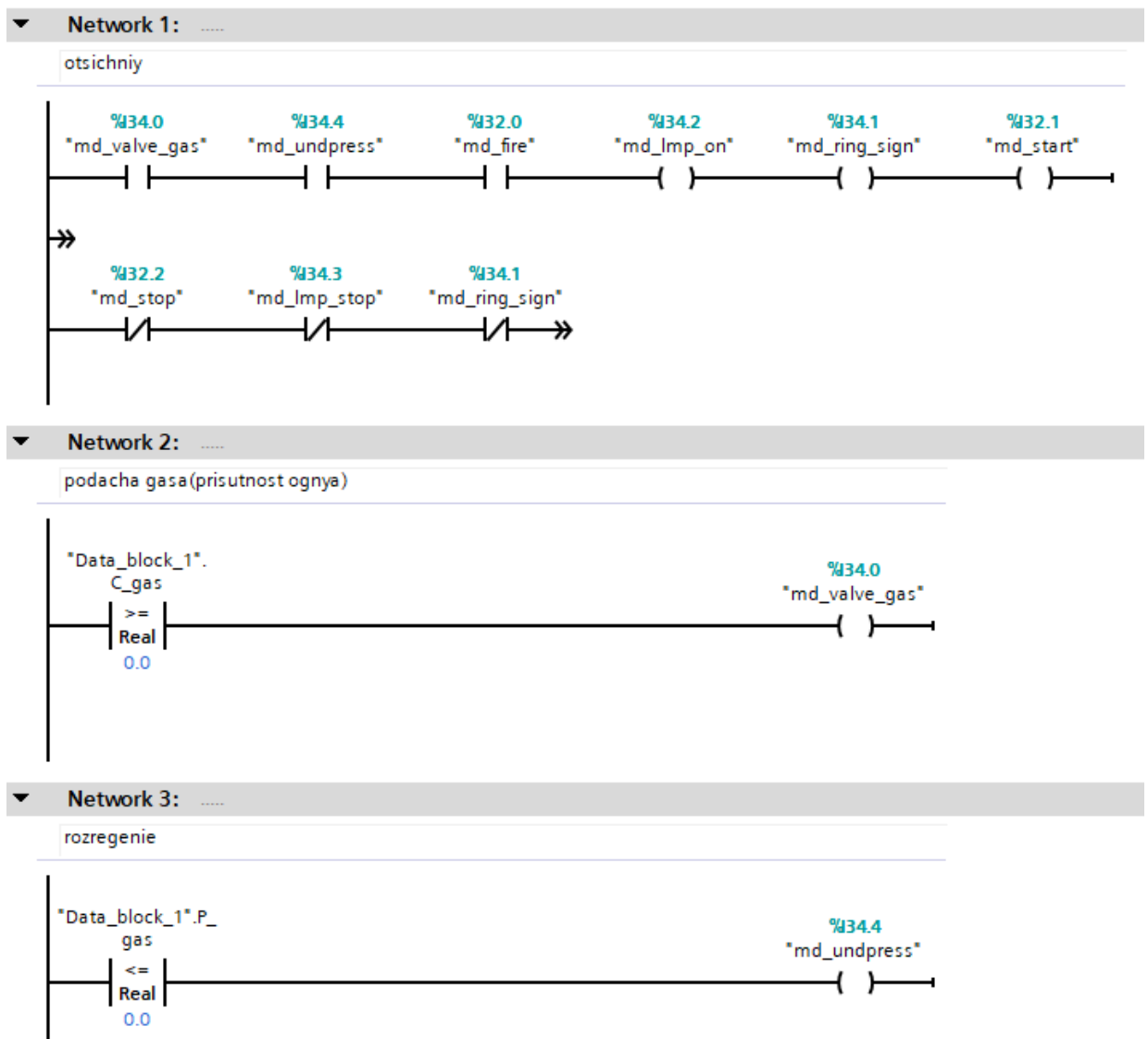


Рисунок 3.6 - Створення алгоритму роботи відсічного клапану, та обробки порівнювальних параметрів

Блок PID Contrast призначений для регулювання технічних процесів, де величини входу та виходу є безперервними. Цей блок використовує пропорційно-інтегрально-диференційний (ПІД) закон регулювання для ефективного забезпечення стабільності процесу.

Зазначені блоки в TIA-порталі відкривають можливості для вдосконаленого та спеціалізованого керування різноманітними

технічними процесами в залежності від їхніх конкретних характеристик та вимог.

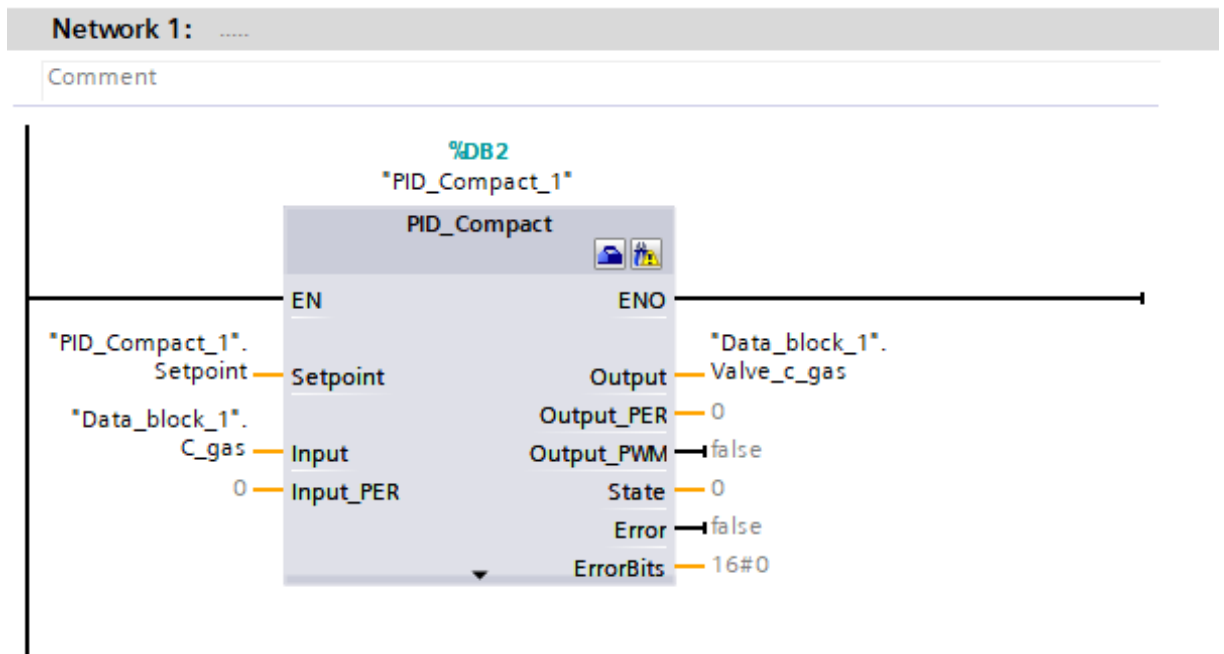


Рисунок 3.7 - Створення блоку PID Compact

### 3.4 Математичне моделювання технологічного процесу

В даному розділі змодельовано технологічний процес сушіння вогнетривів в сушильному барабані. Модель передбачає встановлення залежності кількості палива (газу) від параметрів технологічного процесу, зокрема, ваги (кількості) матеріалу, що подається в сушильний барабан, та його вологості. Для того, щоб в залежності від вказаних параметрів мати змогу ефективно регулювати подачу палива з метою дотримання заданої температури теплоносія, інформація про яку надходить від датчиків температури.

Позначимо:

$G$  - витрата газу (маса газу), кг/год;

$T$  - температура сушильного барабана, °C;

$T_m$  - температура топки, °C;

$W_{поч}$  - початкова вологість сипучого матеріалу, %;

$W_{кінець}$  - кінцева вологість сипучого матеріалу, %;

$M_{поч}$  - маса сипучого матеріалу, яка подається в барабан, кг;

Визначимо віддану паливом енергію  $Q$  як різницю теплових потоків для сушіння сипучого матеріалу:

$$Q = Q_{від} - Q_{до}, \quad (3.1)$$

де  $Q_{від}$  - тепловий потік на виході (після сушіння), і  $Q_{до}$  - тепловий потік на вході (при початковій вологості).

Тепловий потік  $Q$  може бути виражений як:

$$Q = c_p \cdot M_{поч} \cdot (W_{поч} - W_{кінець}), \quad (3.2)$$

де  $c_p$  - теплоємність сипучого матеріалу, кДж/(кг·°C).

Тепловий потік на вході  $Q_{до}$  залежить від розходу газу, температур барабана і топки:

$$Q_{до} = G \cdot (T_m - T_c). \quad (3.3)$$

Тепловий потік на виході  $Q_{від}$  також залежить від розходу газу та температур:

$$Q_{від} = G \cdot (T_m - T_c - \Delta W \cdot c_p), \quad (3.4)$$

де

$$\Delta W = W_{поч} - W_{кінець} \quad (3.5)$$

Отже, математична модель може бути записана у вигляді:

$$Q = c_p \cdot M_{\text{поч}} \cdot (W_{\text{поч}} - W_{\text{кінц}}) + G \cdot (T_m - T_c) + G \cdot \Delta W \cdot c_p \quad (3.6)$$

Під час проходження практики була отримана інформація щодо роботи сушильного барабану, яка наведена у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення експериментів

№ п/п	Витрата газу на тону сировини	Температура барабану	Температура топки	Початкова волога	Необхідна волога	Маса сировини	Час роботи	Питома теплоємність
1	9,5	414	904	3	<1	49	8	0,461
2	12	423	943	5	<1	101	19,5	
3	9,5	457	967	3	<1	220	39	
4	15	454	954	8	<1	203	51	
5	9	427	917	2	<1	366	49	
6	12	488	988	5	<1	120	22	

Підставляючи ці данні в математичну модель можна визначити спожиту енергію для кожного випадку.

$$Q_1 = c_p \cdot 49 \cdot (3 - 1) + 9,5 \cdot (414 - 904) + 9,5 \cdot 2 \cdot c_p, \quad (3.7)$$

$$Q_1 = 0,461 \cdot 49 \cdot 2 + 9,5 \cdot (-490) + 9,5 \cdot 2 \cdot 0,461,$$

$$Q_1 \approx 537,057 \text{ кДж}.$$

Результати розрахунків занесемо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати обчислень спожитої енергії для кожного з дослідів

№ п/п	Споживана енергія $Q$ , кДж
1	537,057
2	2368,276
3	2101,607
4	3313,873
5	1367,221
6	1526,838

На основі отриманих результатів досліджень можна зробити висновок, що витрати природного газу в сушильному процесі суттєво залежать від маси сипучого матеріалу, що надходить в сушильний барабан, та особливо від його початкової вологості. Зазначена залежність підтверджується фактом, що зі збільшенням вологості початкового матеріалу спостерігається зростання енергетичних затрат для здійснення процесу сушіння.

Це визначено величинами теплових потоків  $Q$ , значення яких вказують на енергію, споживану системою для випаровування води з сипучого матеріалу. Зокрема, величина  $Q$  є функцією маси сипучого матеріалу та його початкової вологості.

Важливою характеристикою є вхідна вологість сипучого матеріалу, яка впливає на кількість теплової енергії, необхідної для досягнення певного рівня вологості на виході.

Отже, в контексті оптимізації витрат газу важливо удосконалювати стратегії обробки сипучого матеріалу, зокрема враховуючи його масу та початкову вологість, для досягнення ефективного та ресурсозберігаючого процесу сушіння. Автоматизація такого процесу допомагає не лише

економити природний газ, а й забезпечує стабільність та якість сушіння при різних параметрах вхідного матеріалу. Застосування АСУТП є ключовим фактором для ефективного управління процесом та досягнення необхідних технологічних показників сушіння матеріалів з різними характеристиками вологості.

### **3.5 Налаштування PID регулятора та моделювання роботи системи управління**

Вхідні дані, які використовуються для апроксимації математичної моделі, включають в себе параметри технологічного процесу: витрата газу на тонну сировини, температури сушильного барабана і топки, початкова вологість сировини, фактичний час роботи сушильного барабана та інші. Ці дані важливі для розрахунку функції передачі та подальшої реалізації математичної моделі в середовищі Simulink.

Для апроксимації математичної моделі процесу сушіння обрано метод AutoRegressive with eXogenous inputs (ARX). Вибір даного методу обумовлений його можливістю адаптації до динаміки системи з врахуванням вхідних сигналів. ARX модель визначається виразом, що враховує залежність виходу від попередніх значень входів та виходів.

Розрахунок ARX моделі здійснюється на основі вхідних даних, включаючи розхід газу, температури, вологість та час роботи сушильного барабана. Представимо розрахунок у вигляді коду який в подальшому інтегруємо в MATLAB:

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

>> % Вхідні дані
U = [9.5 414 904 3; 12 423 943 5; 9.5 457 967 3; 15 454 954 8; 9 427 917 2; 12 488 988 5];
Y = [1; 1; 1; 1; 1; 1]; % Величина виходу - вологість на виході (Y)
% Розрахунок ARX моделі
model = arx(iddata(Y, U), [2 1 1]);
% Вивід коефіцієнтів ARX моделі
disp('Коефіцієнти ARX моделі:');
disp('A:');
disp(model.A);
disp('B:');
disp(model.B);
disp('C:');
disp(model.C);
disp('D:');
disp(model.D);

```

Рисунок 3.8 – Лістинг

Отримані коефіцієнти ARX моделі використовуються для створення функції передачі. Отримана Transfer Function після апроксимації виглядає наступним чином:

$$W_n(p) = \frac{K_n}{T_n p + 1} e^{-\tau p} = \frac{11,57}{1920p + 1} e^{-75 p} \quad (3.8)$$

Далі визначимо параметри ПІД регулятора за допомогою пакета MatLab та його додатка Simulink. Для цього з блоків Simulink складемо модель САР.

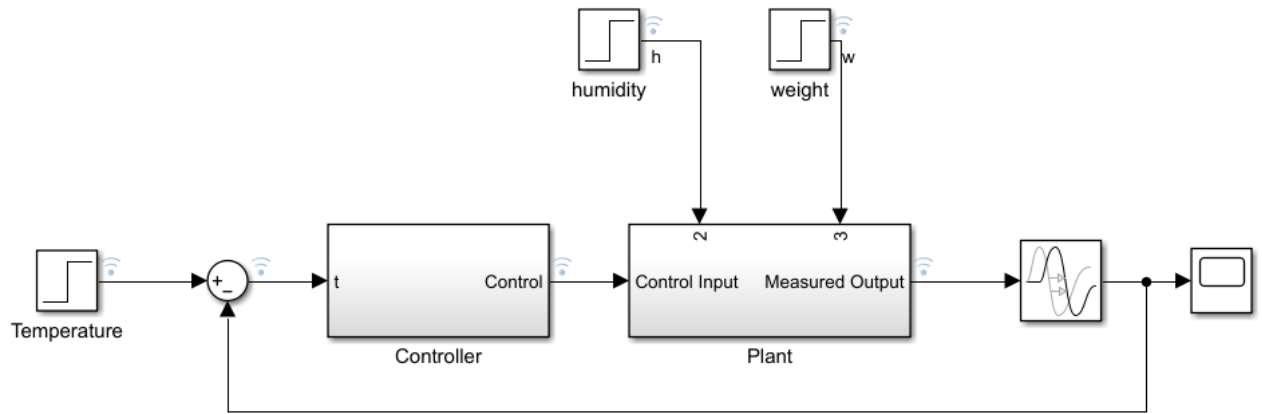


Рисунок 3.9 - Simulink-модель САР

Для налаштування параметрів ПІД-регулятора використані можливості блоку PID Controller. В діалоговому вікні блоку PID Controller ("ПІД-регулятор") слід вказати період дискретизації і натиснути кнопку Tune ("Налаштування"). Відкриється вікно PID Tuner (рис. 3.9). Налаштування параметрів ПІД-регулятора методом Tune використовує підбір значень в реальному часі.

Відкривши параметр Tune регулюючи за допомогою повзунка підбираємо такі параметри щоб наш перехідний процес мав плавний перехід.

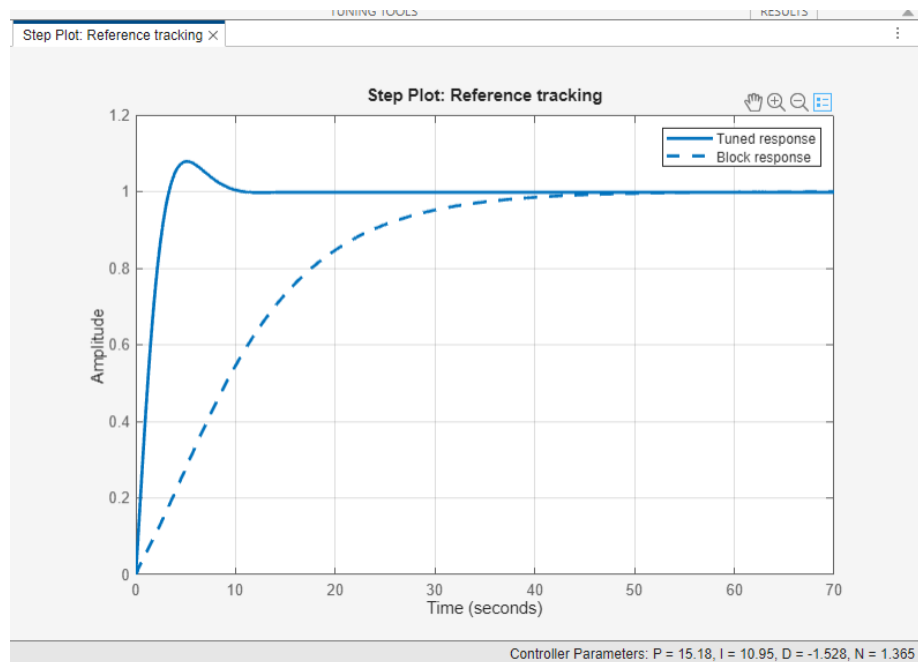


Рисунок 3.9 – Вікно налаштування ПІД регулятора

Отримуємо такі параметри  $P = 0.0923164259144291$ ,  $I = 4.95487827802819e-05$  і  $D = 4.76411486478708$ .

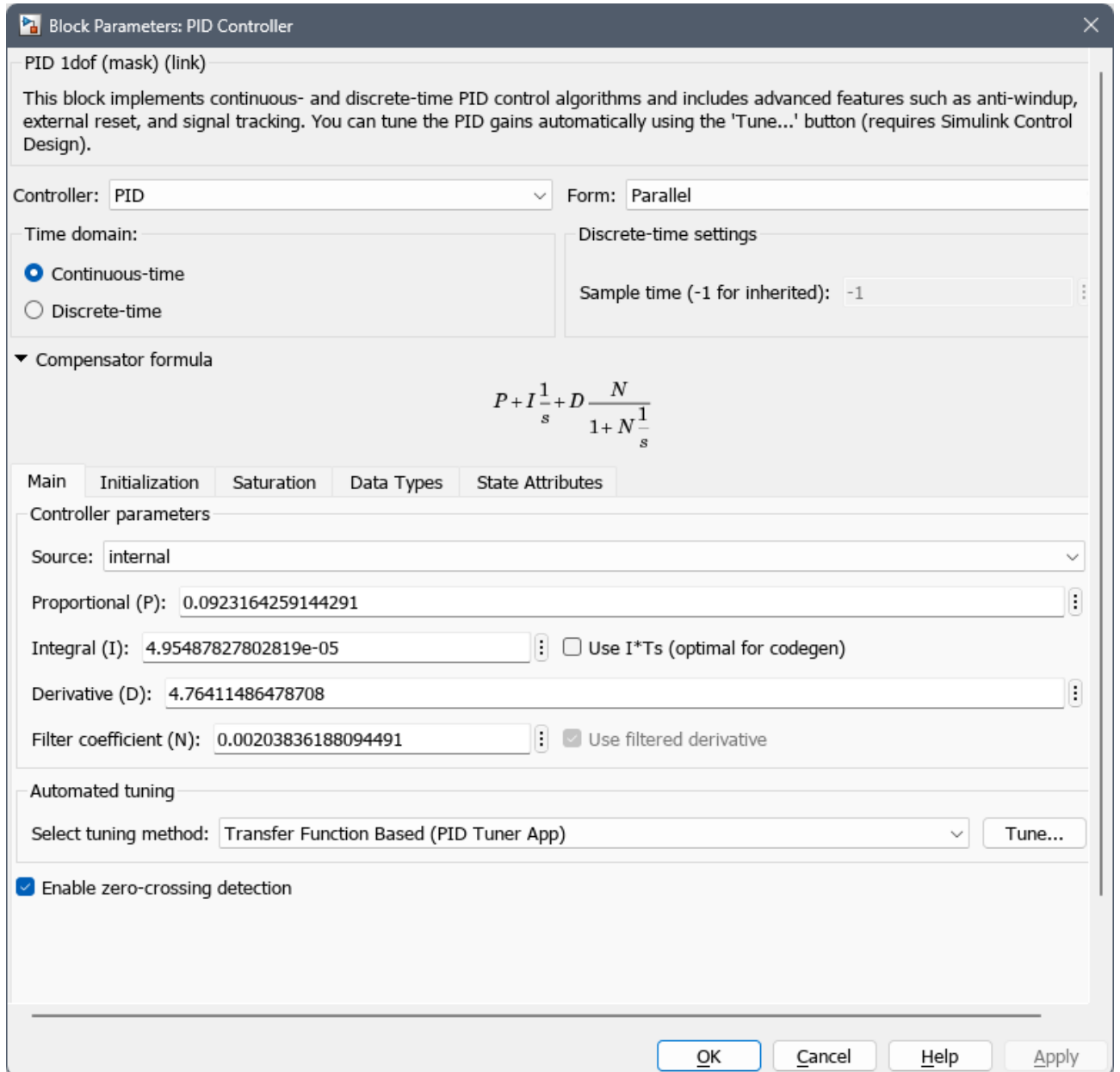


Рисунок 3.11 – Налаштування ПІД регулятора

В результаті налаштування регулятора з використанням інструменту PID Tuner був отриманий перехідний процес, який відображає зміну температури у топці сушильного барабану (рис. 3.12).

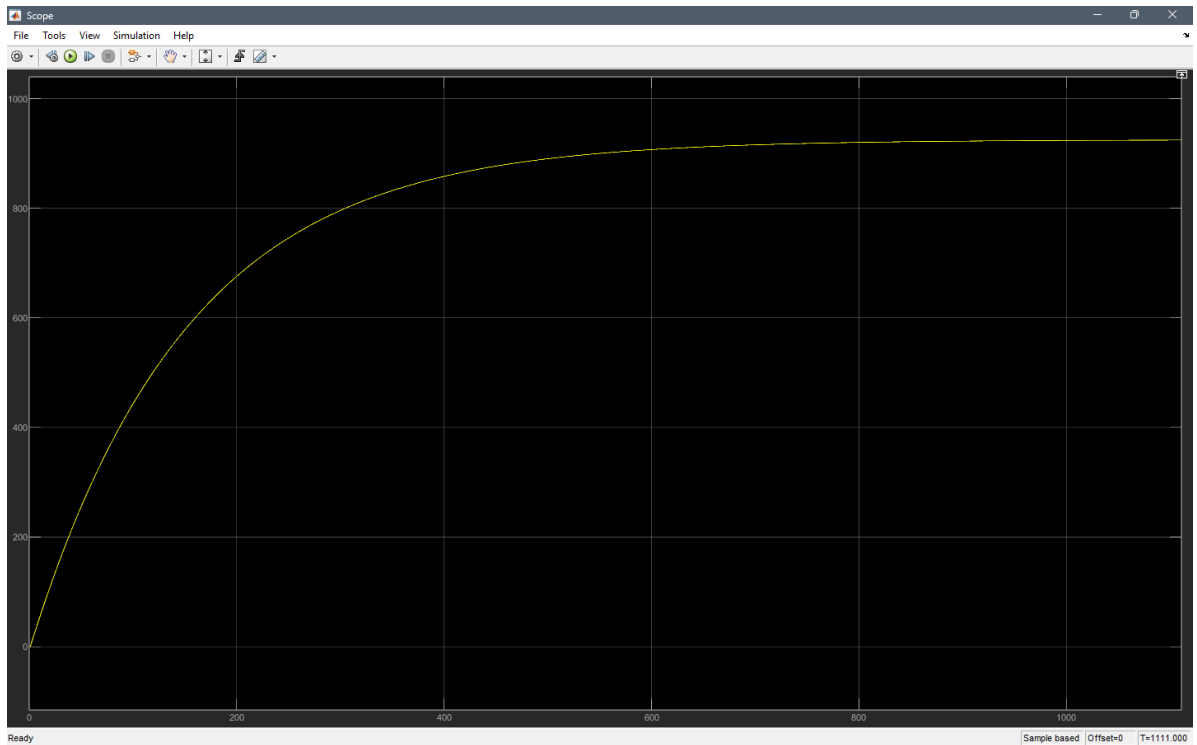


Рисунок 3.12 – Температура в топці сушильного барабану за визначених параметрів налаштування регулятора

Проаналізувавши результати моделювання системи регулювання температури в топці сушильного барабану, як параметра, що визначає нормальний хід технологічного процесу сушіння, можна зробити висновок, що при застосуванні ПІД закону регулювання було отримано задовільні показники якості перехідного процесу.

### **3.6 Опис алгоритму роботи автоматизованої системи управління сушильним барабаном**

Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи управління сушильним барабаном наведена в графічній частині кваліфікаційної роботи (Лист 4).

Після первинного процесу дроблення руда потрібного гранулометричного складу надходить на конвеєрні стрічки, спочатку на похилу, яка підймає з бункеру дробарки сировину на відмітку 12,5 ш потів вже потрапляє на конвеєрну стрічку, яка веде до

завантажувальної воронки. Для визначення маси сировини, що поступає до сушильного барабану, на стрічковому конвеєрі встановлюється датчик ваги Siwagex WL260, який визначає масу порції руди (блок 1). Інформація з цього датчика надходить до контролера, який з урахуванням сигналу від датчика Berthold LB 350, що містить інформацію про вологість сировини (блок 1), обирає в базі даних відповідний режим сушіння руди в барабані (блок 2), передбачає наявність інформації для розрахунку відповідних керуючих впливів.

Перед розпалюванням пальників сушильного барабану система управління отримує сигнали з інформацією про тиск природного газу перед пальниками (блок 1).

Після видачі керуючого впливу для розпалювання пальників (блок 3) в систему повинна надійти інформація про наявність полум'я від датчика Siemens QRA2, в інакшому випадку спрацьовує відсічний клапан Siemens VGD40.065U на газопроводі та аварійна сигналізація (блок 4).

На підставі обраного режиму сушіння контролер розраховує відповідні керуючі впливи (блок 5), що надходять на виконавчі механізми, які відкривають на певний кут заслінки на трубопроводах палива та повітря (блок 6).

По сигналам від термопар (блок 7), встановлених в барабані, для забезпечення необхідної температури контролер коригує витрату палива (блок 8). Для забезпечення повноти згоряння палива, відповідно, для дотримання заданого співвідношення паливо-повітря відбувається коригування витрат повітря на горіння (блок 9).

По завершенні визначеного часу сушіння проводиться контроль вологості в матеріалі на виході з барабану (блок 10) .

Цикл роботи вважається завершеним тоді, коли вологість сировини на виході дорівнює заданій вологості (блок 11), якщо ж це не виконується то параметри процесу сушки коригуються.

#### 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

Впровадження автоматизації технологічних процесів стає стратегічно важливим напрямком у сучасному виробництві, оскільки його головною метою є покращення економічних показників виробничих систем.

Економічна ефективність автоматизації визначається складним взаємозв'язком між отриманим економічним результатом та витратами, пов'язаними з розробкою та впровадженням системи. Підкреслення та ретельне обґрунтування витрат на автоматизацію є ключовим етапом, спрямованим на досягнення конкретних економічних вигід, таких як зменшення трудових витрат, підвищення продуктивності та оптимізація використання ресурсів.

В кваліфікаційній роботі запропоновано на впровадженні системи автоматизації в сушильному барабані, спрямованому на оптимізацію витрат енергоресурсів, зокрема, газу. В результаті аналізу показників ефективності, зокрема, собівартості одиниці продукції до та після впровадження автоматизації, визначена загальна економія та доведена ефективність запропонованого рішення.

Підходячи до цього завдання, розглядатимемо показники ефективності, зокрема, витрату газу, аналізуючи зміни витрат до та після впровадження автоматизованої системи. Це дозволить визначити загальну економію та підтвердити ефективність обраного рішення.

$$E_{\Sigma} = \sum \Delta C_i = (C_1 - C_2) * B_2, \quad (4.1)$$

де  $\sum \Delta C_i$  – сума економії і-их витрат на виробництво одиниці продукції, грн/т;

$C_1$  і  $C_2$  – витрати по статтям калькуляції, що змінюються до та після впровадження системи грн/т;

$B_2$  – виробництво продукції після впровадження системи, т.. У дослідженні приймається, що обсяг виробництва залишається незмінним, тому  $B_2$  рівне 1.

$E_{\Sigma}$  – загальна економія грн.

До впровадження системи автоматизації цех магnezіальних виробів виготовляє на рік близько 40 тис. т готової продукції, зважаючи що в ЦМВ 3 сушильні барабани можна цю цифру розділити на 3 і отримати 13,3 тис. т. Зважаючи на те що середня продуктивність сушильного барабану 3,75 т в годину, для того щоб переробити цю кількість сировини знадобиться 3,536 години. Питома норма витрати газу на тонну становить 13 м<sup>3</sup>. Для сушки 13,3 тис. т сировини потрібно буде витратити 172 900 м<sup>3</sup>, що буде дорівнювати 2 770 232 грн. На підставі моїх даних та з урахуванням оптимізації можна припустити, що ефективність системи може варіюватися від 10% до 30% зменшення розходу газу при оптимізації сушильного барабана. Проте, ця оцінка є приблизною і може бути переглянута на основі конкретних результатів оптимізації та додаткових досліджень, тому врахую середнє можливе зменшення – 15%. Виробництво продукції після впровадження системи не зміниться, тому цей коефіцієнт приймаю за 1.

Тому можна вважати що загальна економія буде дорівнювати :

$$E_{\Sigma} = \sum \Delta C_i = (C_1 - C_2) * B_2 = 415534 \text{ грн} \quad (4.2)$$

З урахуванням того що на підприємстві 5 сушильних барабанів показник економії може збільшитися на 5, що вже буде дорівнювати 2 077 674 грн.

Під час розгляду економічної ефективності впровадження автоматизації системи сушильного барабана, одним із важливих аспектів є аналіз терміну окупності інвестицій. Для цього проведемо оцінку вартості впровадження датчиків та їхнього впливу на економіку виробництва.

Під час обчислення враховані вартості датчиків, але також важливо врахувати додаткові витрати, які можуть виникнути в процесі впровадження. Такі витрати можуть включати в себе витрати на навчання персоналу,

налаштування системи, технічну підтримку та інші. Проведемо аналіз і визначимо їхню вартість, яка складе, наприклад, 5% від загальної вартості впровадження.

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку терміну окупності

Найменування обладнання	Ціна (грн)	Кількість (од)	Сума (грн)
1	2	3	4
Stand.sectional Rail 35mm, Length 483mm	500	1	500
CPU 1214C, AC/DC/Relay, 14DI/10DO/2AI	35 000	1	35 000
S7-1200, analog Input SM 1231 TC, 4 AI	20 000	1	20 000
Analog Output SM 1232, 4AO	8 000	1	8 000
SIWAREX WP241 WEIGHING ELECTRONIC	24 000	1	24 000
Analog Input SM 1231, 8AI	12 200	1	12 200
Sitrans FX330	65 000	1	65 000
Sitrans P500	66 000	1	66 000
Термопара K(TXA)	620	3	1 860
Berthold LB 350	12 000	1	12 000
Siemens QRA2	6 500	1	6 500
AUMA SQ 05.2	15 000	1	15 000
Siemens SU1152	4 000	2	8 000
Siemens VGG10.2041P	13 000	1	13 000
Siemens VGG41	15 000	1	15 000
Siemens VGD40.065U	33 300	1	33 300
Siemens 8WD4408-0AA	1 000	1	1 000
Siemens 8WD5320-0CC	1 000	1	1 000
Siemens 8WD5320-0CB	1 000	1	1 000

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
Siemens SAL81.00T40	4 000	1	8 000
Всього	345 360		
5% на впровадження	17 268		
Загальна сума	362 628		

Термін окупності можна визначити як відношення загальних витрат до щорічного економічного ефекту:

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{\sum \text{витрати}}{E_{\Sigma}} = \frac{362628}{415534} = 9 \quad (4.3)$$

Отриманий термін окупності проекту, який становить 9 місяців, свідчить про високу ефективність та швидкий фінансовий відгук від впровадження автоматизації сушильного барабана. Такий короткий термін окупності вказує на ефективне використання ресурсів та раціональність інвестицій, що робить запропоноване рішення перспективним і вигідним з фінансової точки зору.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було проведено аналіз предметної області, що стосується процесу сушіння сипких матеріалів в сушильних барабанах. Розглянуто методи підвищення продуктивності сушильного барабану для гранульованих матеріалів, наявні математичні моделі стаціонарного процесу сушіння. Проведений огляд поточного стану автоматизації сушильного барабану №2.

Проаналізовано технологічний процес сушіння вогнетривів в сушильному барабані як об'єкт автоматизації. Описано та обґрунтовано вибір структури системи автоматизації та взаємозв'язок функціональних задач АСУ ТП.

Також було обґрунтовано вибір технічних засобів для всіх рівнів автоматизації та спроектовано САР температури. Були визначені аналітичні залежності, що описують розподіл параметрів процесу сушіння матеріалу в барабані з урахування швидкості переміщення. На підставі математичної моделі технологічного процесу виконане налаштування PID регулятора та змодельована робота системи управління. Розроблено алгоритм роботи системи управління сушильним барабаном. В результаті відповідних розрахунків підтверджено економічний ефект від запропонованої системи автоматизації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Папушин Ю. Л., Білецький В. С. Основи автоматизації гірничого виробництва. Донецьк : Східний видавничий дім, 2007. 168 с. ISBN 978-966-317-004-6.
2. Korinchuk, D. Обґрунтування енергоефективних режимів роботи барабанної сушарки комплексу виробництва композиційного біопалива. Наукові праці ОНАХТ. 2018. С. 116-121. 82. 10.15673/swonaft.v82i1.1017.
3. Конох І. С., Істоміна Н. М. Аналіз ефективності й оптимізація технологічних режимів барабанних сушильних установок, Вісник ВПІ, вип. 6, 2019, С. 7–18 <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-147-6-7-18>
4. Котов Б. І. Математичне моделювання процесу сушіння рослинних матеріалів в барабанній сушарці при змінній швидкості переміщення матеріалу / Б. І. Котов, Р. А. Калініченко, А. В. Спирін // Інженерія природокористування. - 2017. - № 2. - С. 19-23. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/lprk\\_2017\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/lprk_2017_2_6).
5. Інструкція з експлуатації сушильного барабану №2 ЦМВ, 2019
6. Паспорт барабану сушильного 2,2x12 №2 ЦМВ, 1977
7. Технічний паспорт барабану сушильного 2 №2 ЦМВ, 2018
8. Попович М.Г., Ковальчук О.В. П58 Теорія автоматичного керування: Підручник. - К.: Либідь, 1997. - 544 с.
9. Ладанюк А. П., Архангельська К. С., Власенко Л. О. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами : навч. посіб. Київ : Нац. ун-т харч. технологій, 2014. 274 с.
10. Dunn W. C. Fundamentals of industrial instrumentation and process control. 2nd ed. McGraw Hill Education, 2018. 336 p.
11. MapleSim : User's Guide : 6 MapleSim Tutorials. – [Режим доступу]: <https://www.maplesoft.com/support/help/maplesim/view.aspx?path=MapleSimUserGuide%2FChapter06>
12. Разживін О.В. Конспект лекцій «Інтелектуальні системи управління», Запоріжжя, 2023

13. Мірошніченко В.І. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Застосування методів одномірної оптимізації в задачах ідентифікації об'єктів управління»: навч. посіб. Запоріжжя, 2023 с. 12

14. Дослідження перехідних функцій типових ланок: Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 1-1 за курсом «Теорія автоматичного управління» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання/уклад. А. Б. Ісаєв. - Маріуполь: ПДТУ, 2016. - 43 с.

15. Експериментальне визначення статичної характеристики та кривої розгону об'єкта управління: Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 1-4 за курсом «Теорія автоматичного управління» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання/уклад. А. Б. Ісаєв. - Маріуполь: ПДТУ, 2016. - 16 с.

16. НПАОП 26.26-1.08-97 (ДНАОП 1.2.10-1.08-97). ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ У ВОГНЕТРИВКОМУ ВИРОБНИЦТВІ. Чинний від 1997-01-19. Вид. офіц. 1997. 89 с.

## **ДОДАТОК А. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

### **А.1 Технологічний потік сировини до сушильного барабану**

Коли сировина прибуває на підприємство, вона проходить через важливий етап виробничого процесу - вхідний контроль та контрольне зважування, які гарантують якість початкового матеріалу. Після цих операцій сировина зберігається на складі, де відбувається розвантаження в спеціальні приямки перед подальшою обробкою.

Далі, використовуючи грейферний кран, сировина направляється в бункер для першого накопичення матеріалу перед подачею на наступний етап виробництва. З бункеру вона подається на стрічковий конвеєр, який забезпечує ефективний та рівномірний транспорт до наступного етапу виробничого процесу.

Наступним важливим етапом є шокова дробарка, де сировина піддається первинному дробленню, розбиваючись на менші частини для подальшої обробки. Роздроблена сировина переміщується на стрічковому конвеєрі, який піднімається під кутом до сушильного барабану.

На ключовому етапі сушіння матеріалу в сушильному барабані, внутрішні лопаті забезпечують оптимальне заповнення та рівномірне перемішування для ефективного сушіння. Після цього висушений матеріал направляється до млинів для створення більш дрібної фракції.

Оптимізований процес сушіння гарантує високу якість та ефективність виробництва вогнетривких виробів, що є ключовим для їхнього подальшого використання у різноманітних промислових галузях. Такий комплексний технологічний підхід допомагає забезпечити не лише високий стандарт продукції, але й оптимальні витрати та екологічну сталість виробництва.

## **А.2 Опис технологічного процесу сушки**

Процес сушіння є важливим методом для видалення вологи з різноманітних матеріалів, надаючи їм покращені характеристики та розширюючи область їхнього застосування. Основною метою сушіння є зниження об'ємної маси та підвищення міцності матеріалу. У хімічній промисловості, де багато технологічних процесів відбувається у рідкій фазі, сушіння дозволяє отримати кінцеві продукти у вигляді паст або зерен, що вимагає вибору відповідних методів сушіння.

Серед найбільш поширених конвективних сушарок в цій галузі варто відзначити сушильні барабани. Вони використовуються зокрема для обробки пожежобезпечних та вибухобезпечних нетоксичних матеріалів, таких як глини і каоліни, при виробництві вогнетривів. Застосування повітря та димових газів як сушильного агента в цих барабанах робить їх ефективними для сушіння різних матеріалів, включаючи солі, палива та пасти, знайшли своє застосування у виробництвах соди, добрив і отрутохімікатів.

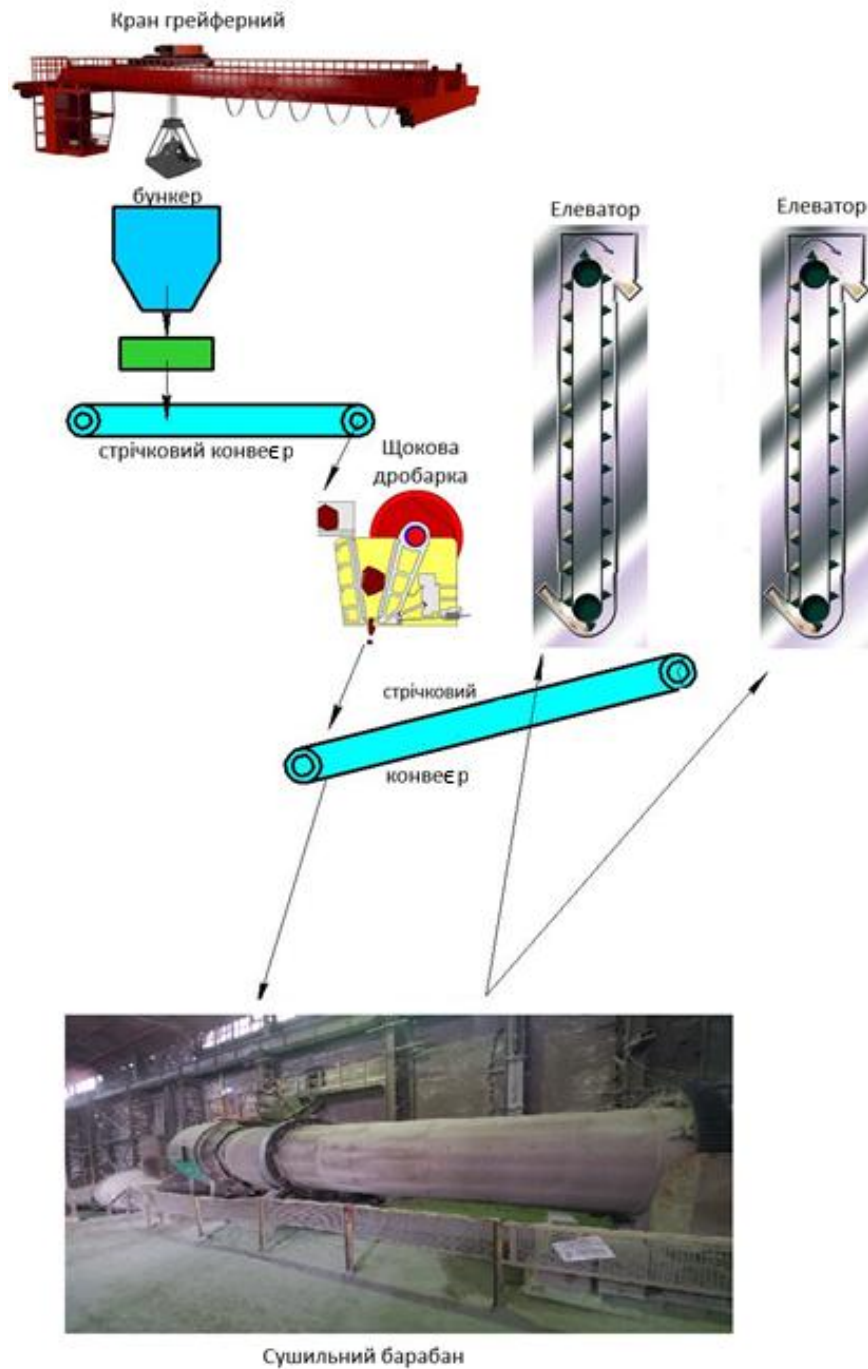


Рисунок А.1 – Технологічний потік сировини до сушильного барабану

Технічна конструкція сушильного барабана включає циліндричний барабан з бандажами, що опираються на опорні й опорно-упорні ролики. Використання електродвигуна, редуктора та зубчастого вінця забезпечує надійний обертання барабана, а система лопатей розподіляє матеріал під час процесу. Такий підхід дозволяє

використовувати високі температури газів, забезпечуючи ефективно та економічне сушіння при мінімальних витратах електроенергії та тепла.

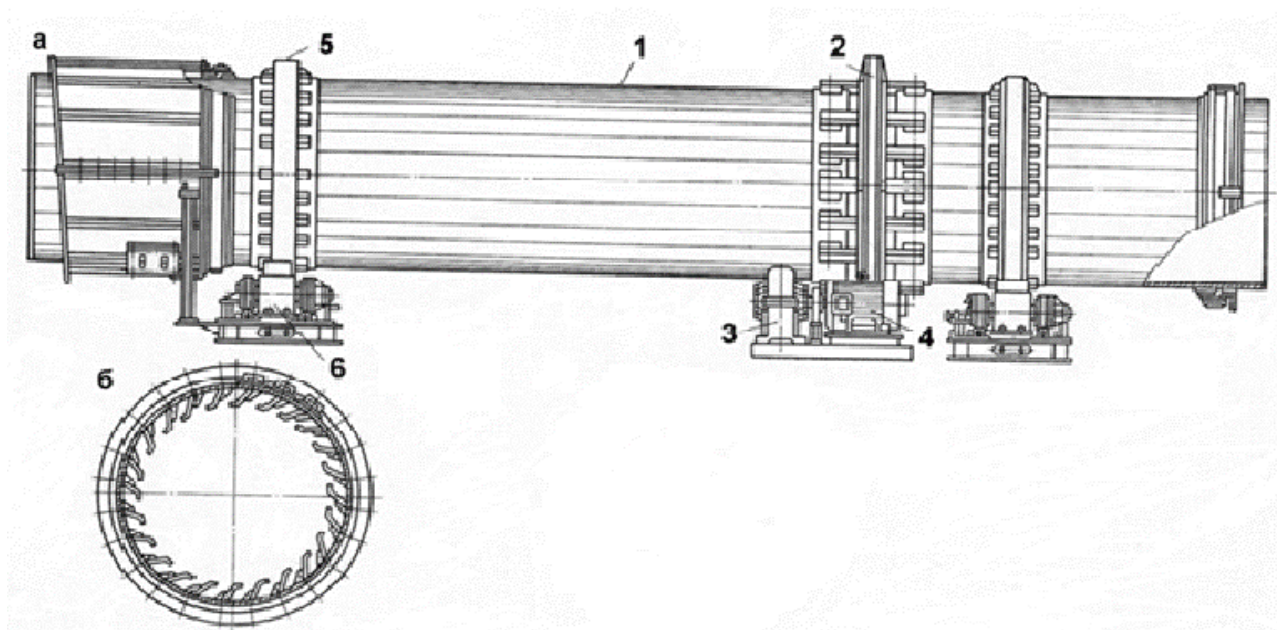
Крім того, важливим елементом сушильних барабанів є пальник, який сприяє отриманню високотемпературних димових газів. Ця теплова енергія може бути використана для генерації електроенергії, механічної енергії або для потреб технологічного процесу. Такий інтегрований підхід робить сушильні барабани не лише ефективними з точки зору сушіння матеріалів, але і екологічно сталими та енергоефективними.

### **А.3 Конструкція сушильного барабану**

Сушильний барабан 2,2 – 12 призначений для сушіння сипучих матеріалів за допомогою газів або підігрітого повітря з потоковою обробкою матеріалу. Рекомендований ухил становить від 1 до 4 градусів. Номінальна кутова швидкість обертання барабана складає 4,3 обороти в хвилину. В апараті використовується електродвигун А02-91-8/6/4, а передавальне число редуктора дорівнює 40. Потужність приводу розрахована з урахуванням коефіцієнта заповнення барабана (0,15) та маси насипної матеріалу (1500 кг/м<sup>3</sup>). Допустиме навантаження на одну опорну станцію становить 40 тонн. Апарат може експлуатуватися в діапазоні температур стінок корпусу від -20 до 350 °С.

На рисунку А.2 зображені основні компоненти агрегата: корпус зварного барабана (1) із двома насадженими на нього бандажами (5), які дозволяють барабану обертатися, спираючись на опорні ролики (6). Обертання барабана здійснюється за допомогою зубчастої шестерні (2), що взаємодіє зі шестернею приводу та передає кінетичну енергію через редуктор (4) від електричного двигуна (3). З одного боку до барабана прилягає топка із змішувальною камерою і пристроєм для завантаження, а з іншого - камера вивантаження для готового матеріалу.

Зауважу, що сушильний барабан відіграє важливу роль в процесі сушіння, забезпечуючи ефективну обробку матеріалу з використанням технологічної інфраструктури та високоефективної системи приводу.



1 – корпус барабану; 2 – вінцева зубчаста шестерня; 3 – електричний двигун; 4- редуктор; 5 – бандаж; 6 – опірний ролик

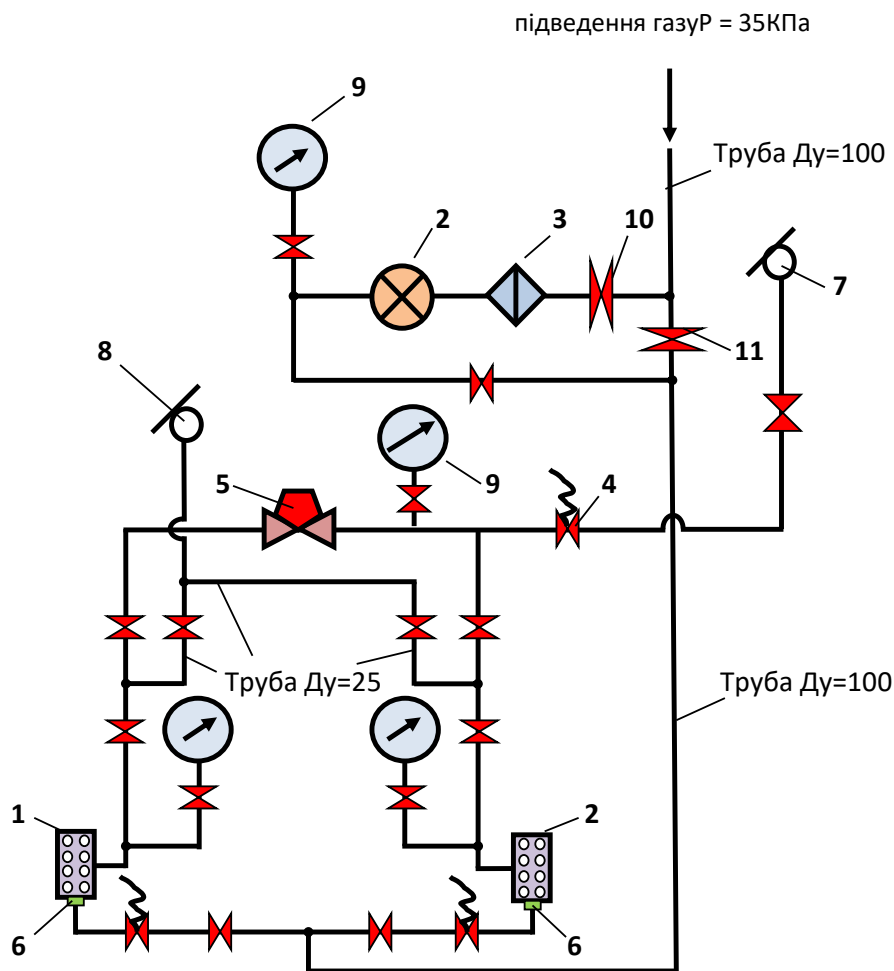
Рисунок А.2 – Схема сушильного барабану

Для уникнення можливості продовженого переміщення барабану по нахиленим площині передбачені опірні ролики. На боці завантаження матеріалу в барабані встановлене кільце, що заважає розсипанню матеріалу, а на боці вивантаження присутнє підпірне пристосування для збільшення наповнення барабану матеріалом.

Усередині барабану встановлюють насадки для оптимального наповнення сушильним матеріалом і ефективного перемішування його. Внутрішня частина барабану обладнана лопатями (рис. А.2, б), які, під час обертання барабану, захоплюють матеріал і розподіляють його тонкими паралельними каскадами (струменями), що заповнюють всю внутрішню площу барабану. Гарячі гази між каскадами падаючого матеріалу безпосередньо взаємодіють з вологими поверхнями його частинок.

Залишкова частина матеріалу знаходиться на дні барабана і піддається іншому методу теплообміну, на відміну від матеріалу, який сиплеться у вигляді каскадів. Кількість каскадів, що утворюються в сушильному барабані, залежить від числа і форми лопатей.

Топка всередині облицьована вогнетривкою кладкою; сушильні барабани і холодильники обладнані гвинтовими і розподільчими насадками, які сприяють переміщенню та пересипанню матеріалу для більш інтенсивного теплообміну; кристалізатори всередині корпусу обладнані скребками для очищення його внутрішньої поверхні від кристалів.



1,2 - великий пальник; 2 - лічильник газу; 3 – фільтр; 4 - запірний клапан ПKN-100; 5 - газовий регулятор; 6 - запальник ZZU; 7 - заглушка для продувки; 8 - запобіжна свічка; 9 – манометри

Рисунок А.3 – газова схема сушильного барабану

Цей сушильний барабан встановлений в ЦМВ. В цеху магнієвих виробів як основну сировину для виробництва вогнетривких виробів використовується хромова руда (хроміт), що надходить в цех залізничним транспортом з розмірами шматків до 200 мм. Якщо вологість руди перевищує 1%, то після попереднього розмелювання матеріал піддається сушінню в сушильному барабані (теплоносій - природний газ). Вологість матеріалу після сушіння становить менше 1%. Продуктивність сушильного барабана складає 8 т/год. Димові гази, що утворюються в процесі сушіння матеріалу, поступають у систему очищення - двоступінчасту очистку: групи з 4-х циклонів ЦН-11 - СДКЦН - 30. Залишкова пило утворення газів, що викидаються в атмосферу, становить до 2 г/м<sup>3</sup>.



Рисунок А.4 – Сушильний барабан загальний вигляд

Для попередження відхилень від встановлених режимів роботи сушильного барабана передбачено контроль за допомогою контрольно-вимірювальних приладів (таблиця А.1).

Таблиця А.1 – Метрологічне забезпечення

Контрольований параметр	Прилад	Од.вим.	Норматив
Тиск газу в колекторі	Манометр	кгс/см <sup>2</sup>	не більше 0,5
Розрідження в топці	Тягонапоромір	кПА	1,5-2,5
Тиск газу перед пальниками	Напоромір	кПА	не менше 0,5
Температура у топці	Термоперетворювачі типу ТХА	°С	не більше 950
Температура газів.		°С	не більше 120

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-103>

## AUTOMATION OF DRYING DRUM

### АВТОМАТИЗАЦІЯ СУШИЛЬНОГО БАРАБАНАУ

**Uvarov M.O.**

*student (group 151-22-1м),  
LLC "Technical university  
"Metinvest polytechnic",  
Zaporizhzhia, Ukraine*

**Уваров М.О.**

*студент гр. 151-22-1м,  
ТОВ «Технічний університет  
«Метінвест політехніка»,  
м. Запоріжжя, Україна*

**Miroshnychenko V.I.**

*PhD (Engineering), Associate  
Professor, LLC "Technical university  
"Metinvest polytechnic",  
Zaporizhzhia, Ukraine*

**Мірошниченко В.І.**

*к.т.н., доцент,  
ТОВ «Технічний університет  
«Метінвест політехніка»,  
м. Запоріжжя, Україна*

Поточний стан автоматизації сушильних барабанів на більшості промислових підприємств можна охарактеризувати як відсутність або наявність на мінімальному рівні. В умовах багатьох виробництв сушіння сировини виконується застарілими методами, де регулювання витрати газу для нагріву об'єкта сушіння відбувається в ручному режимі, на підставі візуальної оцінки процесу та досвіду операторів. Відсутність автоматичного контролю та моніторингу параметрів, зокрема, температури сушіння, призводить до зниження ефективності процесу та збільшення споживання енергоресурсів. Окрім цього необхідність постійно перебувати поблизу обладнання задля реалізації візуального контролю та ручного керування агрегатом створює додаткові ризики для здоров'я оператора. Відтак автоматизація сушильного барабана є суттєвим кроком до підвищення рівня безпеки його експлуатації, оскільки передбачає можливість віддаленого контролю та регулювання технологічних параметрів, зменшуючи вплив людського фактору на безпеку та ефективність процесу. Отже за відсутності належного рівня автоматизації сушильного барабану складно досягти стабільності показників технологічного процесу та знизити надлишкові затрати енергоресурсів.

Система автоматизованого керування сушильним барабаном передбачає вирішення задачі дотримання заданого теплового режиму сушіння задля запобігання невідповідності вихідного матеріалу вимогам до якості внаслідок його недо- або перегріву. Регульованими параметрами є: температура сушильного агенту, розрідження в барабані, витрати газу та повітря, продуктивність сушильного барабану.

Контрольованими параметрами, що використовують для корекції, є вологість вихідного матеріалу та температура сушильного агенту на виході з барабану.

Технічні засоби польового рівня для реалізації поставленої задачі автоматизації сушильного барабану були обрані у відповідності до Стандарту АСУ ТП, прийнятому в METINVEST ХОЛДІНГ. Для контролю витрати газу, тиску газу та тиску повітря запропоновані перетворювачі серії Sitrans FX330 та P500. Для контролю температури сушильного барабану на вході, виході та в топці пропонуються перетворювачі температури SITRANS TH200 з сенсором термопарою типу К. Для вимірювання вологості порошоків для вогнетривів згідно зі Стандартом АСУ ТП було обрано онлайн-аналізатор вологості LB 350 Berthold Technology, що забезпечує високу точність вимірювання вмісту вологи в сипких матеріалах за складних умов експлуатації. В системі також передбачені дискретні датчики, такі як Siemens QRA2 для контролю присутності полум'я, Siemens SU1052 для перемикання режиму та Siemens SU1152 для аварійної зупинки. Вони дозволять здійснювати моніторинг стану технологічного обладнання та вчасно реагувати на можливі аварійні ситуації.

Виконавчі механізми, такі як AUMA SA 16.2 та EQ 40 в комплекті з клапанами регулювання витрат газу та повітря Siemens VGG10.2041P і VGG41 пропонується застосувати для регулювання витрат газу та повітря в процесі сушіння, а також розрідження в робочому просторі барабану. Актуатор Siemens SKP25, що передбачає уповільнене відкриття та швидке закриття газового відсічного клапана Siemens VGD40.065U, а також сигнальні лампи Siemens 8WD4408-0AA, 8WD5320-0CC, 8WD5320-0CB покликані забезпечити надійну роботу та безперервне сповіщення про стан обладнання.

Впровадження запропонованої системи автоматизації сушильного барабану покликане забезпечити підвищення продуктивності його роботи та безпеки для персоналу. Завдяки моніторингу технологічних параметрів процесу сушіння порошоків для вогнетривів та відповідному аналізу даних є можливим оптимізувати роботу агрегату, обладнання та персоналу з метою енерго– та ресурсозбереження. Ця ініціатива підвищить безпеку експлуатації завдяки можливості аварійної зупинки обладнання в разі виникнення відповідних ситуацій.

Усі перелічені аспекти забезпечать ефективне та енергозберігаюче використання технологічного агрегату, стабільно високі показники якості вихідного матеріалу, повністю придатного для подальшої обробки, чим сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку.

**Перелік використаних джерел**

1. Інструкція по експлуатації сушильного барабану №2. ЦМВ, 2019.
2. Паспорт барабану сушильного 2,2x12 № 2, 1977.
3. Industrial Automation. siemens.com Global Website. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation.html> (date of access: 04.09.2023).