МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другого (магістерського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему Розробка верхнього рівня автоматизованої системи керування технологічним процесом спікального відділення в умовах металургійного виробництва

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1743
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно -інтегровані технології та робототехніка_____
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології_____
(назва освітньої програми)
_____К. Д. Абросімов_____
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н. Овчинникова І. А._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент директор ТОВ «Електротехмаш»____
_____Курілець І. А._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно -інтегровані технології та робототехніка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«06» грудня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Абросімову Кирилу Денисовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Розробка верхнього рівня автоматизованої системи керування технологічним процесом спікального відділення в умовах металургійного виробництва.

2 керівник роботи Овчинникова І. А, професор, докт.техн.наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» вересня 2024 року № 1483-с

3 Строк подання студентом роботи 05 грудня 2024 р.

4 Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики

5 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Технікоекономічне обґрунтування створення системи автоматизованого управління технологічним процесом;Технологічні особливості управління агломераційним виробництвом;розробка верхнього рівня системи автоматизованого управління;розробка моделі процесу завантаження та формування шару шихти на агломераційній стрічці; забезпечення надійності роботи системи автоматизації за рахунок апаратного резервування.

6 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Застарілі технології металургійного виробництва; технологічні особливості управління агломераційним виробництво;схема агломераційного процесу

7 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	проф. Овчинникова І. А.		
2	проф. Овчинникова І. А.		

8 Дата видачі завдання 27.05. 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження динаміки процесу формування шару аглошихти	14.05 – 25.06. 2024 р.	виконано
2	Дослідження особливостей управління агломераційним виробництвом	26.06 – 19.07 2024 р	виконано
3	Розробка верхнього рівня системи автоматизованого управління	20.07 – 17.09. 2024 р	виконано
4	Розробка моделі процесу завантаження та формування шару шихти на агломераційній стрічці	18.09-20.10. 2024 р	виконано
5	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю	21.11-06.12. 2024 р	виконано
6	Підготовка доповіді	06.12-09.12. 2024 р	виконано

Студент _____ Кирило Абросімов
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Ірина ОВЧИННИКОВА
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Ірина ОВЧИННИКОВА
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Абросімов К. Д. Розробка верхнього рівня автоматизованої системи керування технологічним процесом спікального відділення в умовах металургійного виробництва.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник І. А. Овчинникова, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем Запоріжжя, 2024.

У роботі виконано комплекс досліджень, спрямованих на підвищення ефективності агломераційного виробництва шляхом впровадження сучасних автоматизованих систем управління технологічними процесами. Основна увага приділена оптимізації параметрів завантаження шихти, підвищенню газопроникності шару та забезпеченню стабільності процесу спікання агломерату.

Розроблено методологію оцінювання впливу параметрів автоматизованої системи управління на технологічні показники агломераційного виробництва. Проведено оптимізаційні розрахунки, які дозволили зменшити питомі витрати енергоресурсів на одиницю продукції та покращити якісні характеристики агломерату. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення ефективності роботи агломераційних фабрик та зменшення екологічного навантаження.

Ключові слова: АГЛОМЕРАЦІЙНА МАШИНА, АГЛОШИХТА, ГАЗОПРОНИКЛИВІСТЬ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

ABSTRACTS

Abrosimov K. D. Development of the upper level of the automated control system for the technological process of the sintering department in the conditions of metallurgical production.

Master's thesis for higher education in the specialty 174 “Automation, computer-integrated technologies and robotics”, supervisor I. A. Ovchynnykova, Zaporizhzhia National University, Yuri Potebnyi Engineering Research and Education Institute, Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems, Zaporizhzhia, 2024.

The paper presents a set of studies aimed at improving the efficiency of sinter production through the introduction of modern automated process control systems. The main attention is paid to optimizing the parameters of charge loading, increasing the gas permeability of the layer and ensuring the stability of the sintering process.

A methodology for assessing the influence of automated control system parameters on the technological indicators of sinter production has been developed. Optimization calculations were performed, which made it possible to reduce the specific energy consumption per unit of production and improve the quality characteristics of the sinter. The proposed solutions are aimed at increasing the efficiency of sinter plants and reducing the environmental burden.

Keywords: SINTERING MACHINE, SINTER CHARGE, GAS PERMEABILITY, MATHEMATICAL MODEL

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИАВТОМАТИЗОВАННОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ 10
1.1 Цілі впровадження автоматизованої системи 10
1.2 Актуальність впровадження автоматизованої системи. 11
1.3 Розрахунок економічної ефективності. 14
1.4 Постановка цілі та задачі дослідження 15
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІНЯ АГЛОМЕРАЦІЙНИМ ВИРОБНИЦТВОМ 18
2.1 Конструкція технологічного агрегату і алгоритм його роботи. 18
2.2 Основні технологічні величини та особливості їх вимірювання 22
2.3 Схема інформаційних потоків 25
2.4 Технічне завдання до розроблюваної АСУ ТП для спікального відділення 26
2.5 Висновки 29
3 РОЗРОБКА ВЕРХНЬОГО РІВНЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ 31
3.1 Аналіз існуючих систем автоматизації для агломераційного процесу 31
3.2 Обґрунтування структури управління для спікального відділення .. 34
3.3 Обґрунтування структурної схеми ПТК АСУ ТП для спікального відділення 39
3.4 Вибір технічних засобів 42
3.5 Висновки 44
4 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ШАРУ ШИХТИ НА АГЛОМЕРАЦІЙНІЙ СТРІЧЦІ 46
4.1 Розробка математичної моделі 46
4.2 Визначення оптимальних показників для покращення газопроникності шару шихти 47
4.3 Висновки 49

5 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗА РАХУНОК АПАРАТНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ 51
5.1 Мета і завдання апаратного резервування 51
5.2 Ключові принципи апаратного резервування. 54
5.3 Архітектура системи з резервуванням. 56
5.4 Економічна ефективність резервування в АСУТП. 60
5.5 Структурна схема апаратного резервування 63
5.6 Впровадження резервування 64
5.7 Переваги апаратного резервування 67
5.8 Висновки 69
ВИСНОВКИ 71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 73

ВСТУП

Актуальність теми. Постійне зростання обсягів металургійного виробництва супроводжується необхідністю підвищення якості кінцевого продукту. Зокрема, незважаючи на зростання вартості шихтових матеріалів, якість сировини та готової продукції не завжди відповідає сучасним техніко-економічним вимогам. Для підвищення ефективності виробничих процесів необхідно удосконалювати технології, які забезпечують стабільні якісні показники. Важливим кроком у цьому напрямі є оптимізація процесу спікання агломерату, оскільки цей етап є базовим для ефективного функціонування металургійного виробництва.

Одним із ключових чинників, що впливають на ефективність агломераційного процесу, є газопроникність шару шихти, яка залежить від структурної однорідності завантажуваного матеріалу. Сучасні дослідження підтверджують, що збільшення шару шихти на агломераційній стрічці може підвищити продуктивність, однак це часто супроводжується зниженням газопроникності. У зв’язку з цим актуальним завданням є розробка верхнього рівня автоматизованої системи керування технологічним процесом, яка дозволить враховувати взаємозв’язок між параметрами завантаження шихти, структурною неоднорідністю шару та якісними характеристиками агломерату.

Мета і задачі роботи. Метою даної роботи є розробка верхнього рівня автоматизованої системи керування технологічним процесом спікального відділення, спрямованої на підвищення якісних показників агломераційного виробництва.

Об’єкт дослідження: технологічний процес завантаження шихти на агломераційну стрічку в умовах металургійного виробництва.

Предмет дослідження: параметри верхнього рівня автоматизованої системи керування та їхній вплив на якісні показники процесу агломерації.

Методи дослідження. Для створення математичних моделей використовувалися балансовий метод, методи математичної статистики та чисельного моделювання. Аналіз газодинамічних властивостей шару шихти проводився за допомогою експериментальних досліджень в промислових умовах. Визначення фракційного складу матеріалу здійснювалося ситовим методом. Розробка алгоритмів керування базувалася на результатах теоретичних та експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів. Встановлено закономірності впливу параметрів завантаження шихти та структурної неоднорідності шару на якісні характеристики агломерату. Запропоновано алгоритм, який враховує взаємозв'язок між фракційним складом матеріалу, кутом нахилу завантажувального лотка та газопроникністю шару.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено математичну модель, яка дозволяє оптимізувати параметри роботи завантажувального вузла з урахуванням специфіки металургійного виробництва. На основі моделі створено рекомендації для впровадження верхнього рівня автоматизованої системи керування, що забезпечує стабільність процесу спікання агломерату та покращення його якісних показників.

Структура та обсяг магістерської роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, п'яти розділів, висновків, переліку джерел посилання з 19 найменувань, викладена на 73 сторінках машинописного тексту, включаючи 9 рисунків, 2 таблиць.

1 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИАВТОМАТИЗОВАННОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Цілі впровадження автоматизованої системи

Зважаючи на складну екологічну ситуацію в регіоні Запоріжжя, викликану високою концентрацією промислових підприємств, виникає необхідність розробки ефективних проектів з нейтралізації токсичних і супер токсичних агломераційних газів, що утворюються в процесі виробництва.

В умовах ринкової економіки, конкуренції та загальної тенденції до зростання вартості енергоресурсів, першочергового значення набувають якість продукції та енерговитрати на її виготовлення. Досягнення цих цілей нерозривно пов’язане з покращенням екологічних характеристик виробництва, що є особливо актуальним для агломераційного процесу на підприємствах металургії.

Основними напрямами оптимізації для агломераційного виробництва є:

1. Підготовка шихтових матеріалів і шихти в цілому. Поліпшення рівномірності фракційного складу для забезпечення стабільного процесу спікання та підвищення газопроникності шару.

2. Збільшення висоти шару шихти. Це дозволяє підвищити продуктивність агломераційного процесу, проте потребує ретельної автоматизації для уникнення зниження газопроникності.

3. Оптимізація параметрів роботи. Поліпшення теплотехнічних характеристик запальної зони сприятиме зниженню витрат палива та підвищенню якості агломерату.

4. Використання тепла гарячого агломерату та відхідних газів. Реалізація проектів вторинного використання теплової енергії сприятиме енергоефективності та зниженню екологічного навантаження.

5. Оптимізація режимів роботи ексгаустерів. Вдосконалення керування ексгаустерами дозволить забезпечити стабільний потік відхідних газів і зменшити енергоспоживання.

Особливу увагу слід приділити зменшенню викидів шкідливих газоподібних речовин (оксидів вуглецю, сірки та азоту), які визначаються складом шихти та особливостями технологічного процесу.

Завдання впровадження автоматизованої системи керування:

1. Забезпечення стабільності технологічного процесу завдяки оперативному контролю за основними параметрами завантаження шихти та роботи агломераційних машин.

2. Зниження кількості газопилових викидів через вдосконалення процесу завантаження шихти та спікання.

3. Впровадження математичних моделей, які дозволяють оптимізувати параметри завантажувального вузла для досягнення найкращих екологічних і технологічних показників.

4. Інтеграція системи моніторингу екологічних показників з автоматизованою системою керування для підвищення оперативності прийняття управлінських рішень.

Таким чином, реалізація автоматизованої системи керування технологічним процесом спікання стане важливим кроком до екологічної модернізації підприємства, підвищення ефективності виробництва та зниження впливу на навколишнє середовище.

1.2 Актуальність впровадження автоматизованої системи.

Агломераційні фабрики України були побудовані в середині XX століття і на сьогодні мають значний ступінь фізичного та морального зносу (70-90%). Більшість технологічних схем та обладнання залишаються застарілими, що

негативно впливає на якість продукції, продуктивність процесів і екологічну ситуацію в регіоні.

Відсутність сучасного обладнання для усереднювання та дозування сировини, змішування, гранулювання шихти, а також охолодження, дроблення та грохочення агломерату обмежує можливості покращення якості агломераційної продукції, особливо за вмістом небажаних дрібних фракцій. У таких умовах модернізація виробництва є обов'язковою для досягнення сучасного рівня технологічного розвитку, зменшення екологічного навантаження та підвищення економічної ефективності.

Основні виклики для агломераційного виробництва :

1. Екологічні проблеми. Запорізький регіон характеризується високим рівнем забруднення повітря, спричиненим викидами пилу, оксидів вуглецю (CO), сірки (SO_2), азоту (NO_x) та інших шкідливих речовин. Застаріле обладнання не дозволяє ефективно контролювати викиди, що погіршує екологічну ситуацію.

2. Низька енергоефективність. Високі енергетичні витрати на виробництво агломерату, обумовлені застарілими технологічними процесами, знижують конкурентоспроможність підприємства на світовому ринку.

3. Нестабільність процесів. Низька точність дозування, недосконале змішування шихти та недостатня якість гранулювання негативно впливають на газопроникність шару, міцність агломерату та стабільність процесу спікання.

4. Застарілі системи завантаження. Системи завантаження шихти на агломераційних машинах не забезпечують формування оптимальної пористої структури шару, що ускладнює економічне високошарове спікання.

5. Невідповідність міжнародним стандартам. Агломераційне виробництво в Україні відстає від сучасних світових практик у 5-7 разів за продуктивністю, енергоефективністю та екологічними показниками.

Модернізація та впровадження автоматизованої системи управління технологічним процесом є важливим кроком для вирішення цих проблем.

Переваги автоматизації :

1. Оптимізація технологічного процесу. Сучасна система управління дозволить автоматизувати всі етапи підготовки та спікання шихти, забезпечуючи стабільність параметрів та контроль якості продукції.

2. Покращення екологічної ситуації. Застосування автоматизованих рішень для дозування, змішування та подачі шихти дозволить зменшити викиди пилу та шкідливих газів (CO, SO_2, NO_x) до 20-25%.

3. Підвищення енергоефективності. Завдяки автоматичному контролю та управлінню газодинамічними умовами спікання шару, можна досягти зниження витрат палива до 10% та ефективного використання тепла відхідних газів.

4. Підвищення продуктивності. Збільшення висоти шару шихти до 500-600 мм за рахунок покращення газопроникності дозволить підвищити продуктивність на 10-15% без втрати якості агломерату.

5. Відповідність світовим стандартам. Модернізація дозволить досягти параметрів агломерації, що відповідають провідним світовим практикам (Японія, Китай, Бразилія), та підвищить конкурентоспроможність підприємства.

Ключові напрями автоматизації:

- розробка та впровадження сучасних систем дозування та змішування шихти із використанням датчиків ваги, витрати та рівня матеріалу;
- оснащення агломашин новими двоступінчатими завантажувальними пристроями, що забезпечують рівномірність укладання шару;
- використання математичних моделей для прогнозування та оптимізації параметрів спікання;
- застосування технологій рециркуляції відхідних газів для зменшення викидів в атмосферу та використання їхнього тепла для процесу спікання.

Соціально-економічні ефекти:

- скорочення шкідливого впливу на здоров’я працівників та населення регіону;
- зменшення екологічних штрафів та витрат на очищення;

- збільшення конкурентоспроможності продукції на світовому ринку за рахунок підвищення якості та зниження собівартості виробництва.

Таким чином, впровадження автоматизованої системи управління технологічним процесом спікального відділення є невід'ємною складовою стратегії модернізації та важливим кроком на шляху до екологічної та економічної стабільності регіону Запоріжжя.

1.3 Розрахунок економічної ефективності.

Впровадження автоматизованої системи керування технологічним процесом спікального відділення дозволяє знизити собівартість продукції за рахунок зменшення питомої норми витрати природного газу на 4%.

Зміна собівартості в результаті зміни питомих норм витрати умовного палива розраховується за формулою:

$$\Delta C=(НБ-Нпл)\cdot Ц,$$

де Ц — ціна за 1 м³ природного газу (Ц=8,0 грн);

НБ, Нпл — питомі норми витрати палива у базисному (НБ=600 $м^3$) та плановому варіантах.

Розрахунок зміни собівартості:

$$\Delta C=(600-576)\cdot 8=24грн/т.$$

Додаткові капітальні вкладення включають:

- вартість контролерів;
- вартість комп'ютерів верхнього рівня АСУ;
- витрати на придбання та прокладку додаткових кабелів, монтаж додаткових шаф;

- вартість монтажних і пусконалагоджувальних робіт;
- загальна сума капітальних вкладень становить 380 000 грн;

Річний економічний ефект розраховується за формулою:

$$E=\Delta C\cdot Q_{пл}-Eн\cdot\Delta К,$$

де Ен — нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності нової техніки (Ен=0,18);

$Q_{пл}$ — плановий обсяг виробництва ($Q_{пл}$=8000 т/рік);

ΔK — капітальні вкладення *(380000 грн).*

$$E=24\cdot 8000-0{,}18\cdot 380000=192000-68400=123600\text{грн.}$$

Економічна ефективність капітальних вкладень розраховується за формулою:

$$E=\frac{\Delta C*Q_{пл}}{\Delta К};$$

$$E=\frac{24*8000}{380000}=0{,}51\ \text{грн/грн.}$$

Строк окупності визначається за формулою:

$$T=\frac{1}{E}$$

$$T=\frac{1}{0{,}51}\approx 1{,}96\text{роки.}$$

1.4 Постановка цілі та задачі дослідження

Аналіз сучасного стану агломераційного виробництва свідчить про необхідність модернізації процесів у зв’язку з нестабільністю якості вхідних

матеріалів та зростанням вимог до ефективності виробництва. Одним із критичних етапів агломераційного процесу є завантаження шихти на агломераційну стрічку, оскільки саме цей процес визначає рівномірність шару, його газопроникність та якість кінцевого продукту.

З ростом обсягів виробництва якість агломерату часто погіршується через зниження газопроникності шару шихти, що безпосередньо впливає на стабільність технологічного процесу. Основною причиною цього є недосконаліть процесу завантаження шихти, внаслідок чого формується нерівномірний шар на агломераційній стрічці.

Ціль дослідження: Підвищення якісних показників технологічного процесу спікального відділення шляхом визначення оптимального поєднання газодинамічних характеристик шару шихти та міцності агломерату.

Для досягнення поставленої мети сформовано наступні задачі:

- аналіз сучасного стану процесу завантаження шихти. Провести огляд існуючих методів завантаження шихти, оцінити стан завантажувальних пристроїв на агломераційних машинах та визначити можливості вдосконалення автоматизованої системи керування;

- визначення газодинамічних характеристик шару шихти. Дослідити параметри газопроникності шару шихти, що формується на агломераційній стрічці, та встановити залежності між структурою шару і його газодинамічним опором;

- дослідження впливу структури шару на якість агломерату. Вивчити вплив нерівномірності шару, зумовленої параметрами завантаження, на міцність агломерату, зокрема на формування дрібних фракцій та витрати палива під час спікання;

- оптимізація параметрів автоматизованої системи керування. Розробити рекомендації щодо впровадження алгоритмів автоматизованого управління завантаженням шихти з урахуванням оптимальних газодинамічних умов.

Очікувані результати:

- покращення рівномірності формування шару шихти;
- підвищення газопроникності шару, що забезпечить зменшення витрат палива на 5-7%;
- підвищення якості агломерату за рахунок зменшення вмісту дрібних фракцій до 0,5-0,7%.

Таким чином, дослідження спрямоване на вирішення ключових технологічних викликів агломераційного виробництва, забезпечення екологічної безпеки та підвищення конкурентоспроможності продукції підприємства.

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

2.1 Конструкція технологічного агрегату і алгоритм його роботи.

Агломерація - це процес окускування дрібних руд, концентратів іколошниковим пилуспіканням внаслідок спалювання палива на шаріспеканому матеріалі. Для виробництва агломерату призначені стрічкові агломераційні машини зі спіканням шари шихти на що просувалася колосниковій решітці при просасуванні повітря через шихту. Продукт спечення (агломерації) – агломерат – є кусковий, пористий продукт чорного кольору; спрощено можна характеризувати його як спечену руду чи спечений рудний концентрат. При агломерації видаляються деякі шкідливі домішки (сірка і лише частично миш'як), розкладаються карбонати на кусковий пористий, при цьому офлюсований матеріал. Фактично – це металургійна підготовка. На рис. № 2.1 наведено схему технологічного процесу аглофабрики.

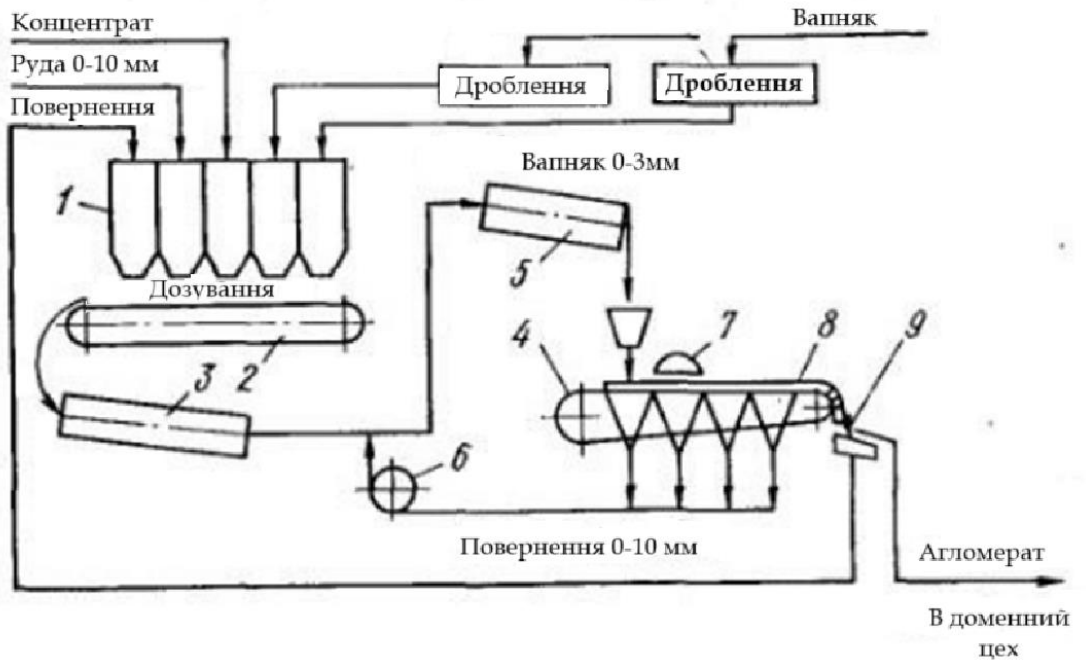


Рисунок 2.1 - Схема технологічного процесу аглофабрики

Основні складової агломераційної шихти - залізовмісні матеріали (рудний концентрат, руда, колошникова пилка); повернення (відсіяна дрібниця раніше виробленого агломерату); паливо (коксова дрібниця); волога, запроваджувана для огрудкування шихти; вапняк, впроваджуваний для отримання офлюсованого 1 агломерату. З іншого боку, в шихту найчастіше вводять вапняк (до 25—80 кг/т агломерату), що покращує комкуваність шихти, підвищуючи її газопроникність, міцність агломерату; марганцеву руду (до 45 кг/т агломерату) підвищення вмісту марганцю в чавуні та відходах (прокатну окалину, шламі та інші матеріали, вносять оксиди заліза). Підготовку шихти, як і збирання, ведуть на агломераційних фабриках. Підготовка шихти має забезпечити усереднення, необхідну крупність, дозування компонентів шихти, змішування та обкомкування її. Складові шихти з бункерів, де зберігаються, видають за допомогою вагових та об'ємних дозаторів. Дозування має забезпечити необхідний склад агломерату. Для більшого рівномірного розподілу компонентів зі всього обсягу шихти потрібен хороше змішування шихти, які зазвичай проводять у обертових барабанах, спочатку сумісному, потім у комокувальному, чи поєднавши ці дві операції щодо одного агрегату. При подачі в барабан води, що розбризкується від поверхні шихти, відбувається окомкування її внаслідок дії виникаючих між частинками матеріалу капілярних сил. Окомкована шихта характеризується вищою газопроникністю. Вплинувши на комкуваність, отже, і газопроникність, надає зміст вологи в шихті. Газопроникність шихти зростає зі збільшенням вологості до 6-9 %, а при перевищенні цієї величини шихта перетворюється на напіврідку масу, газопроникність якої низька. Після огрудкування шихту транспортують до спікальної машини.

Процес спікання

На колосникові грати конвеєрної стрічки завантажують так звану "постіль" заввишки 30-35 мм, що складається з повороту значущістю 10-25 мм. Потім завантажують шихту (250-350 мм). Під колосниковими гратами створюють розрідження близько 7-10 кПа, в результаті із поверхні у слоїв засмоктується

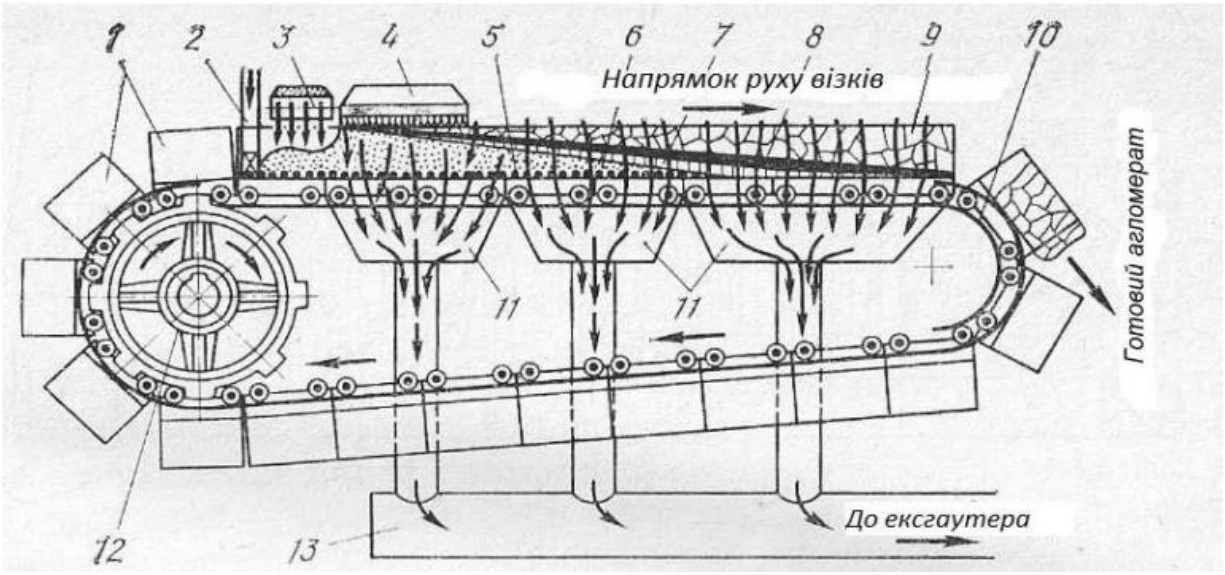
зовнішнє повітря. Щоб процес розпочався, спеціальним запальним пристроєм нагрівають верхній шар шихти до 1200-1300 С, і дизельне паливо спалюється. Горіння підтримується внаслідок просмоктування атмосферного повітря. Зона горіння високої близько 20 мм поступово просувається згори донизу (до колосників) зі швидкістю 20-30мм/хв. У зоні горіння температура сягає 1400-1500 °С. При таких температурах вапняк CaCO3 розкладається на CaO і CO2, а частина оксидів заліза шихти відновлюється до FeO і входить у хімічну взаємодію з оксидом кальцію(CaO),утворюючи легкоплавкі сполуки, які розплавляються. Рідина, що утворюється, просочує тверді частинки й хімічно взаємодіє зі ними. Коли зона горіння опуститься нижче за місце освіти рідкої фази, просаджуваний згори повітря відповідає масу, просочену рідкою фазою, і твердне, в результаті утворюється твердий пористий продукт - агломерат. Пори творяться внаслідок випаровування вологи і просочування повітря. Просування через шар шихти згори донизу зони, в якій відбувається горіння палива й формування агломерату (тобто спікається шар), Розглянемо основні хімічні реакції, які відбуваються при агломерації.

$$C + 0{,}5O_2 \rightarrow CO;$$

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

У відведених продуктах горіння відношення CO_2/CO становить 4-6, але поблизу запалених шматочків коксу атмосфера відновна, що викликає відновлення оксидів заліза. Більшість нетривких оксидів Fe203 перетворюється на Fe304 внаслідок відновлення:Fe2OC+CI=Fe3O4+CI2, або результаті дисоціації: 6Fe2>O3 =>4Fe3>O4. Частина оксидів Fe3>O4 відновлюється до FeO: Fe3>O4 + CI =CFeO + CI2. 3 Вміст FeO в агломераті звичайно знаходиться не більше 8—17 %, воно зростає зі збільшенням витрат коксу на агломерацію; одночасно зменшується залишкове зміст Fe2O3. Вапняк розкладається за реакцією CaCO3 = CaO + CI2, що йде з поглинанням тепла. При агломерації

видаляється сірка і лише частично (близько 20 %) миш'як. Сірка в шихті звичайно знаходиться як сульфіду залізу FeS2 (пірит), інколи ж як сульфатів CaSO4 •2H2O (гіпс) і BaSO4 (барит). >3FeS2+>2O2=Fe3>O4 +6SO2. Гіпс і барит розкладаються при 1200-1400°С за реакціями CaSO4 =CaO +SO3 >BaSO4 = Про +SO3. У процесі агломерації вигорає 90-98 % сульфідної сірки, асульфатної 60-70 %. Нижня межа належить до офлюсованого агломерату, а верхній до неофлюсованого. Відбувається багато реакцій взаємодії між оксидами шихти, в результаті яких утворюються десятки різних хімічних сполук. На рис. №2.2 наведено схему процесу спікання на агломераційній машині стрічкового типу



1 - спікальні візки-палети; 2 - укладальник постелі; 3 - челноковий живильник стрічки шихтою; 4 – газовий запальний горн; 5 - постіль; 6 - зона сирої шихти; 7 - зона сушіння й підігріву шихти; 8 - зона горіння твердого палива; 9 - зона готового агломерату; 10 - розвантажувальний кінець машини; 11 - вакуум-камери; 12 – провідне зубчасте колесо привода стрічки; 13 - збірний газопровід

Рисунок 2.2 - Схема процесу спікання на агломераційній машині стрічкового типу

2.2 Основні технологічні величини та особливості їх вимірювання

Метрологічне забезпечення є важливим елементом автоматизованої системи керування технологічним процесом спікального відділення. Його завдання полягає у підвищенні якості продукції, ефективності керування виробничими процесами, рівня автоматизації та забезпеченні високої точності виконання науково-дослідних і проектних робіт.

Основні цілі метрологічного забезпечення:

- підтримання високої якості продукції;
- забезпечення стабільності та ефективності виробничих процесів;
- збільшення точності вимірювань шляхом застосування сучасних засобів виміру.

Метрологічне забезпечення базується на державній системі забезпечення єдності вимірювань, яка регламентує:

- одиниці фізичних величин;
- методи їх зберігання, відтворення та передачі розмірів;
- правила застосування вимірювальних приладів.

Засоби виміру

До засобів виміру входять:

- вимірювальні прилади (датчики, трансформатори, перетворювачі сигналів);
- допоміжні пристрої (системи передачі даних, кабельні з’єднання, програмне забезпечення).

Основні характеристики засобів вимірювання:

- діапазон вимірювань;
- чутливість та швидкодія;
- клас точності;
- варіація показань.

Ключовим параметром засобів вимірювань є клас точності, який визначає максимально допустимі похибки вимірювань. Для якісного виконання технологічних завдань встановлюється перелік параметрів, які необхідно контролювати, з відповідними робочими діапазонами та класами точності.

Контрольовані параметри і методи вимірювань

У таблиці наведено ключові параметри, які контролюються в агломераційному виробництві, та вимоги до засобів вимірювання.

Таблиця 2.1 – Контрольовані параметри

Контрольований параметр	Робочий діапазон	Точність вимірювань
Висота шару шихти на аглострічці	350 мм	1%
Рівень шихти в проміжному бункері	0-100%	1%
Швидкість аглострічки	0-2 м/хв	0,5%
Кількість шихти в приймальному бункері	8-18 м³	0,5 м³
Витрата води в барабан-огрудкувач	8 м³/год	1%
Ступінь окомкування шихти	8,5 ± 0,8%	1%
Температура в запальному горні	800-1500 °C	0,5%
Витрата природного газу в запальному горні	400-800 м³/год	1%
Витрата повітря на запальне горно	4500-14000 м³/год	1%
Температура димових газів перед ексгаустером	70-150 °C	0,5%
Температура димових газів у загальному колекторі	300 °C	1%

Контрольований параметр	Робочий діапазон	Точність вимірювань
Температура димових газів у вакуум-камерах	400 °C	0,5%
Розрідження димових газів у вакуум-камерах	15 кПа	1%
Розрідження в ексгаустері	15 кПа	1%
Тиск газу перед пальником	12,5 кПа	1%
Тиск газу перед дроселем	15 кПа	1%
Тиск повітря перед пальником	4,5 кПа	1%

Особливості вимірювань:

- висота шару шихти. Контролюється датчиками рівня, які забезпечують високу точність вимірювання для рівномірного розподілу матеріалу;
- температурний контроль. Здійснюється термопарами з високою швидкістю реагування, особливо у зонах запального горна та вакуум-камер;
- розрідження у вакуум-камерах. Вимірюється манометрами та диференціальними датчиками, що забезпечують стабільність газового потоку;
- витрата природного газу та повітря. Використовуються масові витратоміри з автоматичною компенсацією для змінних параметрів середовища;
- тиск у системі. Контроль забезпечується електронними тензометричними датчиками високої точності.

Метрологічне забезпечення агломераційного виробництва дозволяє досягати стабільності технологічного процесу, високої якості агломерату та мінімізувати вплив людського фактора. Автоматизація систем вимірювань сприяє зниженню енергоспоживання, покращенню екологічних показників та забезпечує економічну ефективність виробництва.

2.3 Схема інформаційних потоків

Схематичне уявлення агломераційного виробництва наведено на рис. №2.3 . Воно являє собою схему виробництва від початкової підготовки сировини і до готового агломерату.

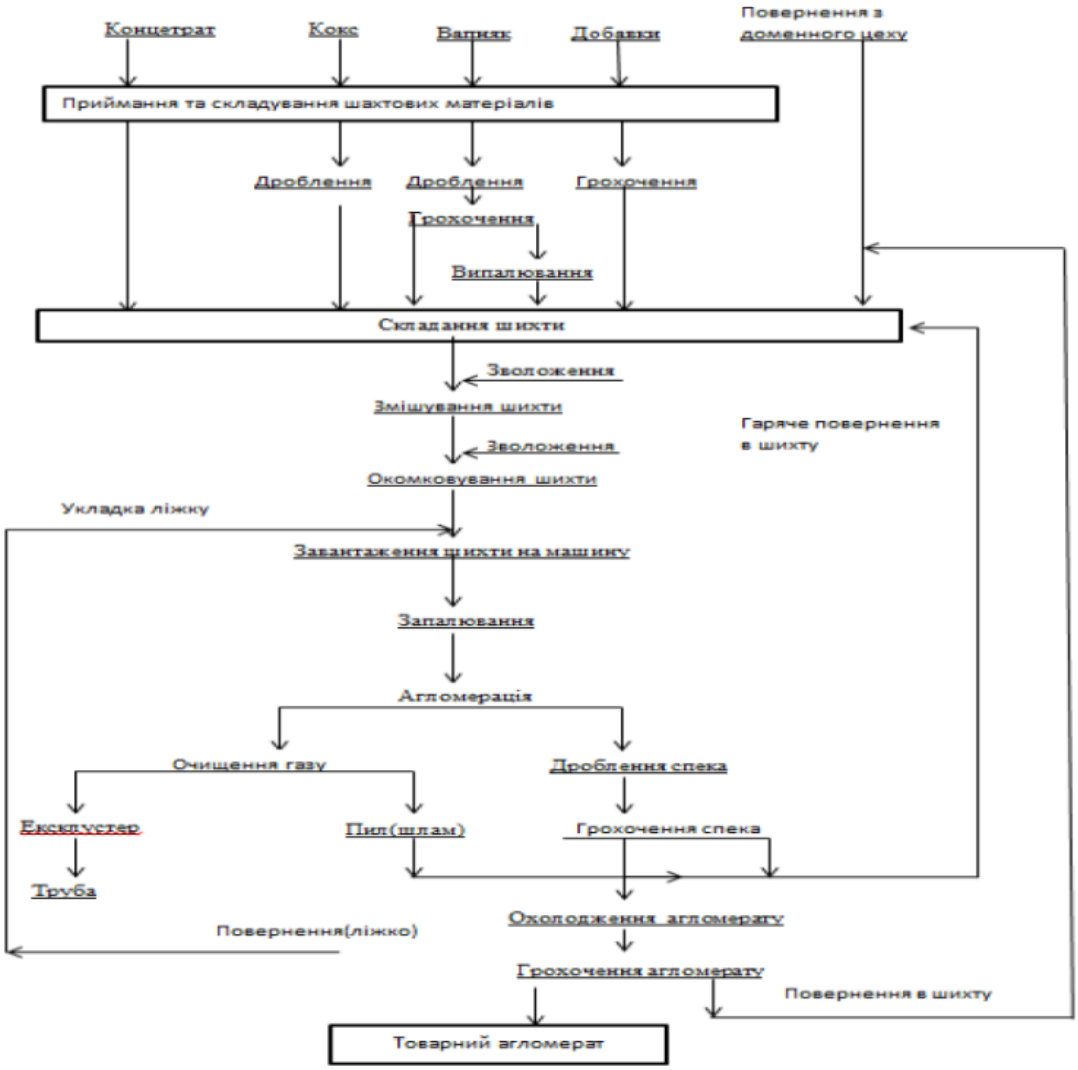


Рисунок 2.3 - Схема інформаційних потоків агломераційного виробництва

2.4 Технічне завдання до розроблюваної АСУ ТП для спікального відділення

Загальні положення

Метою впровадження автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) у спікальному відділенні є забезпечення максимальної продуктивності агломашин, стабілізація технологічних параметрів, підвищення якості агломерату та оптимізація витрат енергоресурсів. АСУ ТП має інтегруватися у загальну систему управління агломераційним виробництвом.

Цілі впровадження АСУ ТП:

- підвищення продуктивності агломашин;
- забезпечення стабільної якості агломерату;
- зменшення витрат енергоресурсів (природного газу, повітря, води);
- зниження частки повернення в шихті;
- полегшення управління технологічним процесом і забезпечення оперативного контролю параметрів;
- поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу.

Основні функції АСУ ТП:

Контроль та автоматичне управління процесом спікання:

- регулювання висоти шару шихти на агломераційній стрічці;
- контроль температури запалювання шихти;
- автоматичне регулювання витрати природного газу та повітря на запалювання;
- контроль закінченості процесу спікання на останніх вакуум-камерах.

Контроль технологічних параметрів:

- Швидкість руху аглострічки;
- Температура в різних точках процесу (запалювання, вакуум-камери, димові гази);
- Розрідження у вакуум-камерах;

- Рівень шихти в проміжному бункері;
- Витрати природного газу, повітря та води.

Оптимізація процесу підготовки шихти:

- контроль зволоження і огрудкування шихти;
- автоматичне регулювання пропорцій компонентів шихти.

Управління механізмами:

- управління ексгаустерами, дробарками, охолоджувачами;
- контроль рівня матеріалів у потоках і ємностях.

Об’єкт автоматизації

АСУ ТП охоплює такі елементи спікального відділення:

- агломераційну машину (аглострічку);
- проміжний бункер;
- систему вакуум-камер;
- дробарки, охолоджувачі та механізми повернення;
- систему подачі природного газу, повітря та води.

Нижче приведена таблиця контрольованих параметрів

Таблиця 2.2 - Контрольовані параметри

Параметр	Робочий діапазон	Точність вимірювань
Висота шару шихти на аглострічці	350 мм	±1%
Температура в запальному горні	800–1500 °C	±0,5%
Витрати природного газу	400–800 м³/год	±1%
Витрати повітря	4500–14000 м³/год	±1%
Розрідження у вакуум-камерах	15 кПа	±1%
Швидкість руху аглострічки	0–2 м/хв	±0,5%
Температура димових газів	70–400 °C	±1%

Завдання автоматизації

1. Підтримка висоти шару шихти. Автоматичне регулювання завантаження шихти на агломераційну машину для забезпечення рівномірного шару.

2. Контроль температурного режиму. Регулювання температури запалювання для забезпечення рівномірного прогріву та зменшення нерівномірностей у структурі агломерату.

3. Оптимізація витрат газу та повітря. Автоматичне управління витратами палива та повітря для забезпечення економічного режиму роботи.

4. Контроль процесу огрудкування. Підтримка оптимального рівня вологості та розміру гранул для забезпечення газопроникності шару.

5. Оперативний контроль вакуум-камер. Забезпечення стабільного розрідження для ефективного спікання.

6. Управління механізмами повернення. Стабілізація процесу подачі повернення на підготовку шихти.

Технічні вимоги до АСУ ТП

Вимоги до програмного забезпечення:

- програмне забезпечення для АСУ ТП повинно бути розроблене відповідно до сучасних стандартів розробки ПЗ.
- необхідно забезпечити:
- сумісність з обладнанням та технологічними параметрами системи;
- легкість масштабування та оновлення для розширення функціональних можливостей;
- програмне забезпечення може бути замовлене у спеціалізованих організацій або розроблене внутрішньо, залежно від ресурсів і потреб замовника.

Обладнання:

- датчики температури, рівня, тиску, витрат;
- регулятори для управління витратами газу, повітря та води;
- контролери для управління механізмами.

Сумісність:

- інтеграція із загальною АСУ агломераційного виробництва.

Очікувані результати:

- підвищення продуктивності агломашин на 10–15%;
- зменшення витрат природного газу на 5–7%;
- зниження частки повернення в шихті до 3%;
- поліпшення якості агломерату за рахунок стабілізації хімічного складу;
- зменшення аварійних ситуацій та простоїв обладнання;
- підвищення енергоефективності виробництва.

2.5 Висновки

Метрологічне забезпечення агломераційного виробництва дозволяє досягати стабільності технологічного процесу, високої якості агломерату та мінімізувати вплив людського фактора. Автоматизація систем вимірювань сприяє зниженню енергоспоживання, покращенню екологічних показників та забезпечує економічну ефективність виробництва.

Розроблювана АСУ ТП для спікального відділення сприятиме підвищенню ефективності агломераційного процесу, забезпечить стабільну якість продукції та оптимізує витрати ресурсів, що відповідає сучасним вимогам до автоматизації металургійного виробництва.

Впровадження АСУ ТП у спікальному відділенні сприятиме досягненню стабільності технологічних процесів, підвищенню якості продукції та забезпечить значну економію енергоресурсів.

Система автоматизації не лише оптимізує витрати, але й дозволяє адаптуватися до підвищених екологічних вимог, що є ключовим фактором у розвитку сучасної металургії.

Розроблена концепція та запропоновані рішення з автоматизації процесу спікання є технічно, економічно та екологічно обґрунтованими. Їх реалізація дозволить підприємству зберігати конкурентоспроможність та відповідати сучасним світовим стандартам якості виробництва.

3 РОЗРОБКА ВЕРХНЬОГО РІВНЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

3.1 Аналіз існуючих систем автоматизації для агломераційного процесу

Основні показники технологічного процесу агломерації:

- продуктивність агломашини — вимірюється у тонах придатного агломерату, отриманого за годину роботи;

- якість агломерату — оцінюється за хімічним складом, міцністю та відновлюваністю.

Управління процесом спікання є ключовим фактором для досягнення високих техніко-економічних показників. Завданням автоматизації є стабілізація процесу, компенсація впливу обурюючих факторів та забезпечення якісного кінцевого продукту.

Особливості процесу спікання як об’єкта автоматизації:

а) багатопараметричність. Процес характеризується великою кількістю вхідних і вихідних параметрів:

1) вхідні параметри: вологість шихти, висота шару, швидкість руху аглострічки, температура в запальному горні;

2) вихідні параметри: швидкість спікання, склад і температура газів, механічна міцність агломерату;

б) Безперервність процесу. Агломерація є безперервним процесом, що вимагає точного і стабільного управління параметрами;

в) обурюючі впливи:

1) зміна складу і вологості шихти;

2) зміна розрідження у вакуум-камерах;

3) вплив механічних характеристик обладнання.

Склад існуючих систем автоматизації

Сучасні системи автоматизації агломераційного процесу включають:

- контрольні системи: контроль температури, витрати газу, швидкості стрічки, розрідження у вакуум-камерах
- регулюючі системи: регулювання висоти шару шихти, складу і вологості шихти, співвідношення паливо-повітря.
- аналітичні системи: автоматичний аналіз хімічного складу шихти та агломерату.
- системи управління: управління запальним горном, ексгаустерами, транспортувальним обладнанням, охолоджувачами та дробарками.

Проблеми існуючих систем автоматизації

- недостатня адаптивність: Системи не завжди оперативно реагують на зміну характеристик шихти (вологість, склад).
- обмежена точність: контроль температури та хімічного складу у реальному часі потребує покращення через низьку частоту відбору проб.
- недостатня інтеграція: локальні системи контролю не завжди ефективно пов’язані в єдиний інформаційний комплекс.
- відсутність гнучкості: недостатньо розвинені алгоритми компенсації обурюючих впливів.

Можливості для вдосконалення

- інтеграція процесів у єдину АСУ ТП: Забезпечення зв’язку між системами контролю та управління для синхронізації параметрів у режимі реального часу.
- впровадження інтелектуальних алгоритмів: Використання математичних моделей для прогнозування та оптимізації технологічних параметрів.
- підвищення точності вимірювань: Використання сучасних датчиків і систем аналізу для оперативного контролю вологості, складу та температури.
- застосування методів машинного навчання: Для аналізу впливу змін вхідних параметрів на якість агломерату і продуктивність процесу.

Модель агломераційного процесу як багатовимірного об’єкта:

Вхідні параметри (X):

- вологість шихти (визначає рівень зволоження, необхідний для якісного спікання).
- висота шару (H), яка впливає на швидкість спікання та рівномірність процесу.
- швидкість аглострічки (w_l), яка визначає продуктивність установки.
- температура запалювання (впливає на якість та рівномірність спікання).
- витрати палива і повітря, які забезпечують оптимальні умови для процесу.

Непередбачувані впливи (Z):

- Зміна складу шихти (наприклад, співвідношення компонентів або домішок).
- Механічні збої (поломки, нестабільність механізмів).
- Коливання у системі розрідження (впливають на рівномірність розподілу повітря).

3 Вихідні параметри (Y):

- продуктивність системи (кількість агломерату на одиницю часу).
- механічна міцність агломерату (показник якості готового продукту).
- швидкість спікання шихти (залежить від температури, складу та інших факторів).

Рівняння управління швидкістю аглострічки:

$$w_l = w_c \frac{H}{L}$$

де w_l — швидкість аглострічки;

w_c — швидкість спікання шихти;

H — висота шару;

L — робоча довжина стрічки.

На рис. 3.1 наведено схему агломераційного процесу

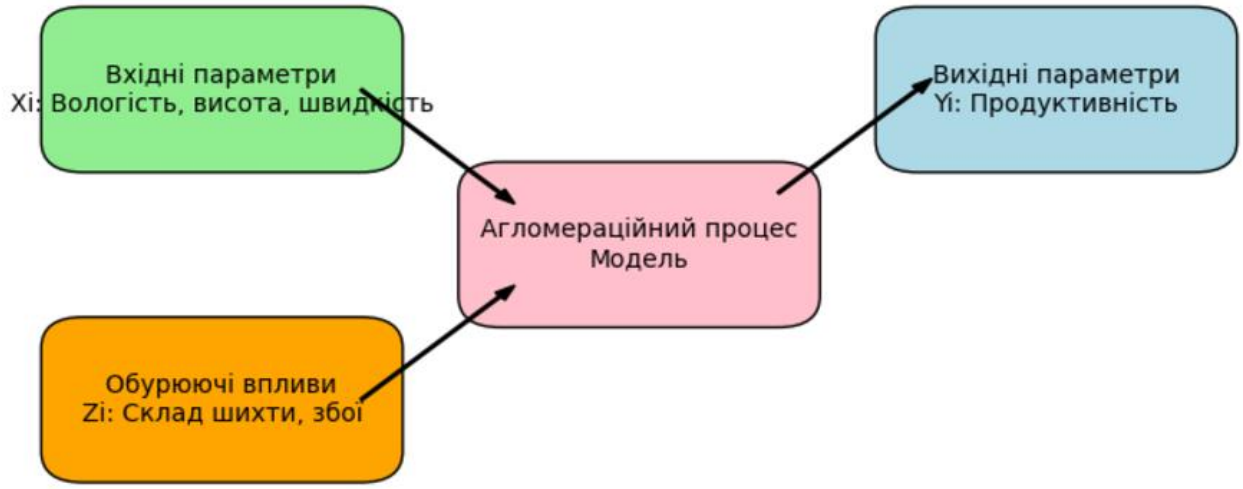


Рисунок 3.1 - Схема агломераційного процесу

Контрольні параметри та їх вплив:

- температура запалювання: оптимальна температура забезпечує рівномірне спікання та мінімальні втрати палива.

- швидкість аглострічки: контроль швидкості гарантує завершення процесу спікання на кінці стрічки.

- вологість шихти: надмірна вологість уповільнює процес спікання, низька — знижує якість агломерату.

- розрідження у вакуум-камерах: забезпечує ефективне просмоктування повітря через шар шихти, що впливає на швидкість горіння.

3.2 Обґрунтування структури управління для спікального відділення

Широке впровадження засобів автоматизації на підприємствах металургійної промисловості, зокрема в агломераційному виробництві, вимагає створення раціональної ієрархічної структури управління. Основною метою є забезпечення оперативного контролю, координації між виробничими ділянками, підвищення продуктивності та якості агломерату.

Структура управління будується на основі ієрархічного підходу, що включає верхній рівень (АРМ оператора) і нижній рівень (контролери, датчики та виконавчі механізми).

Структура управління:

1. Нижній рівень (локальне управління):

- Температура в запальному горні, вакуум-камерах;
- Тиск і розрідження в технологічних зонах;
- Витрати газу, повітря та води;
- Висота шару шихти;
- Збір даних з датчиків;
- Передачу даних на верхній рівень;
- Формування управляючих сигналів для виконавчих механізмів (наприклад, ексгаустерів, транспортерів, регуляторів витрат).

2. Верхній рівень (централізоване управління):

- Обробка великих масивів даних;
- Вибір оптимальних алгоритмів управління;
- Візуалізація даних для оператора (графіки, протоколи, попередження);
- Зберігання історичних даних для аналізу.

3. Інтерфейси зв’язку:

- Для обміну даними між рівнями використовується інтерфейс RS-485 (або його сучасні аналоги, наприклад, Ethernet/IP для швидшого обміну даними);
- Зв'язок між ЕОМ та контролерами є двостороннім, що забезпечує передачу параметрів у реальному часі та оперативне коригування уставок.

Основні контури регулювання

1 Контур температури:

- регулювання температури в запальному горні;
- забезпечення рівномірного нагріву шихти для покращення спікання.

2 Контур розрідження:

- підтримання стабільного розрідження у вакуум-камерах для оптимального проходження газового потоку.

3 Контур витрат:

- регулювання витрат газу та повітря для забезпечення ефективного процесу горіння.

4 Контур висоти шару шихти:

- автоматичне підтримання заданої висоти шару для забезпечення рівномірного спікання.

5 Аварійна сигналізація:

- система оповіщення про вихід параметрів за допустимі межі з можливістю ручного втручання оператора.

Функціонування системи

1 Датчики:

- зчитують основні технологічні параметри;
- передають інформацію в контролери у вигляді уніфікованого сигналу.

2 Контролери:

- обробляють дані, здійснюють первинний аналіз, формують управляючі дії;
- передають інформацію на верхній рівень.

3 ЕОМ:

- виконує складні розрахунки на основі вбудованих алгоритмів.
- оператор через АРМ може коригувати параметри, задавати уставки, отримувати звіти та попередження.

4 Виконавчі механізми:

- реагують на управляючі сигнали, забезпечуючи зміни в технологічному процесі (наприклад, зміна швидкості аглострічки, витрат газу, регулювання висоти шару шихти).

Взаємодія рівнів системи

1 Верхній рівень:

- працює з великими масивами даних, прогнозує відхилення параметрів та адаптує режим роботи системи;
- забезпечує інформування оператора про стан системи, попереджає про можливі аварійні ситуації;
- формує змінні завдання та звіти для вищих рівнів управління.

2 Нижній рівень:

- реагує на зміни в технологічних умовах у режимі реального часу;
- забезпечує стабільну роботу основних механізмів.

Переваги ієрархічної структури

- гнучкість: система легко адаптується до зміни технологічних параметрів;
- надійність: розподіл функцій між рівнями забезпечує високу стійкість до збоїв;
- ефективність: оптимізація процесів дозволяє підвищити продуктивність і знизити витрати енергоносіїв;
- простота керування: зручний інтерфейс оператора дозволяє швидко вносити зміни та відслідковувати стан системи.

На рис. 3.2 наведено схему ієрархічної структури

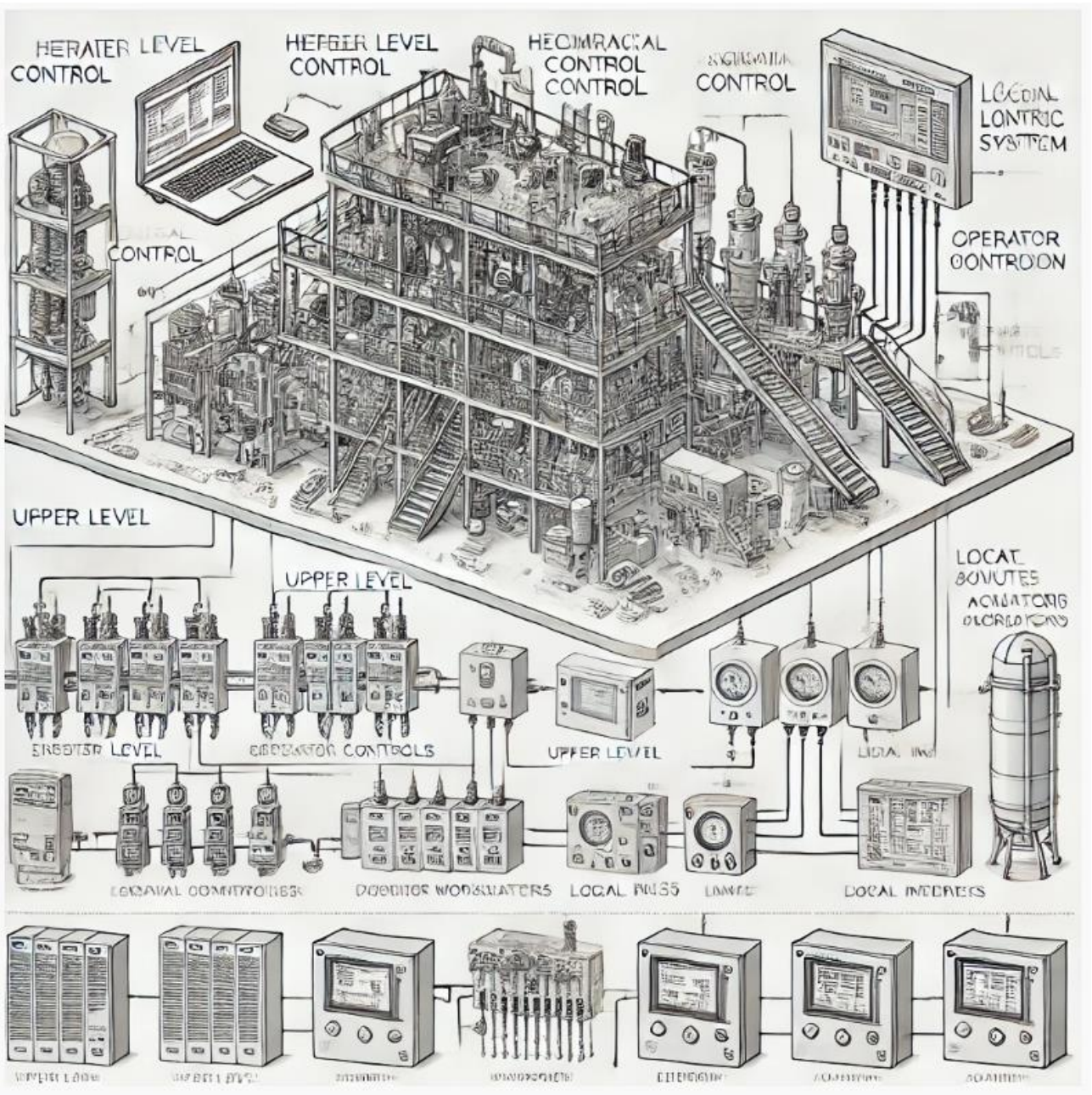


Рисунок 3.2 - Схема ієрархічної структури

Це схема структури управління, що ілюструє запропоновану ієрархічну систему управління процесу агломерації. Верхній рівень включає комп'ютер із робочою станцією оператора, а нижній рівень оснащений датчиками, контролерами (PLC) та виконавчими механізмами.

3.3 Обґрунтування структурної схеми ПТК АСУ ТП для спікального відділення

Автоматизована система управління технологічним процесом (АСУ ТП) спікального відділення має чотирирівневу ієрархічну структуру, яка забезпечує надійний контроль і управління агломераційним процесом. Нижче наведено опис рівнів системи.

Рівні структури АСУ ТП

1. Рівень збору/розподілу інформації:

- Вимірювання технологічних параметрів (температура, тиск, витрати газу, розрідження, висота шару шихти);
- Перетворення даних у уніфікований аналоговий або цифровий сигнал;
- Використовуються сучасні датчики з високою точністю для забезпечення достовірності інформації;

2. Рівень автоматичного управління

- приймають сигнали від датчиків;
- здійснюють локальне управління підсистемами, такими як регулювання температури, швидкості аглострічки, витрати газу тощо;
- передають дані на верхні рівні системи через промислові протоколи зв’язку;

3. Рівень оперативного контролю й управління

- контролювати технологічні параметри в реальному часі;
- управляти основними виробничими операціями, такими як регулювання висоти шару шихти, температурного режиму в запальному горні тощо;
- отримувати оперативні повідомлення про стан процесу та можливі відхилення.

4. Рівень диспетчерського контролю

- поєднує автоматизовані робочі місця диспетчера термічної ділянки та начальника цеху;
- узагальнення даних з усіх підсистем;

- моніторинг загального стану виробничих процесів;
- формування звітів і змінних завдань;
- координація дій між підрозділами.

Особливості структурної схеми:

- гнучкість. У разі виходу з ладу будь-якого елемента система продовжує працювати, передаючи управління на вищий або нижчий рівень. При збої комп’ютера завдання мікроконтролера виконується вручну. При збої мікроконтролера управління здійснюється через блок ручного управління;

- надійність. Використання децентралізованого підходу до управління дозволяє мінімізувати ризики простою через апаратні збої. Промислові протоколи зв’язку забезпечують стійкість до втрат сигналу;

- інтеграція. Система інтегрується у загальну АСУ підприємства, забезпечуючи обмін даними між підрозділами.

Структурна схема ПТК АСУ ТП

Описана структура ілюстрована на схемі (рис. 3.3-3.4), яка показує взаємозв'язок між рівнями системи та їх основні функції.

Схема включає:

- датчики та перетворювачі на рівні збору даних;
- PLC та локальні контролери на рівні автоматичного управління;
- АРМ оператора для оперативного контролю;
- АРМ диспетчера та начальника цеху для координації та прийняття рішень.

На рис. 3.3 наведено структуру системи автоматизації, на рис. 3.4 наведено розгалужену структуру системи автоматизації.



Рисунок 3.3 – Структура системи автоматизації

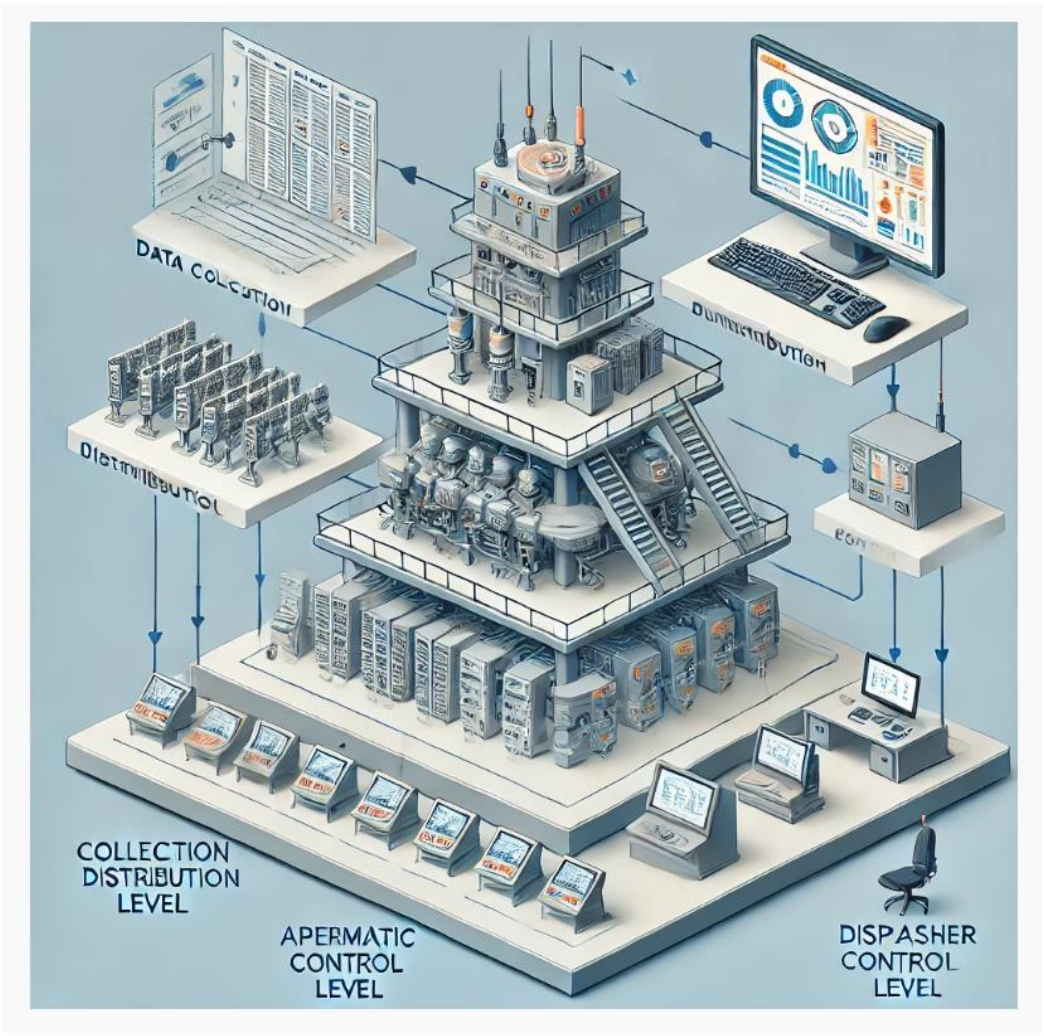


Рисунок 3.4 – Розгалужена структура системи автоматизації

Ця структура забезпечує безперервність виробничого процесу, високу якість агломерату та ефективне використання ресурсів, що відповідає сучасним вимогам до автоматизації металургійного виробництва.

3.4 Вибір технічних засобів

Для реалізації автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) спікального відділення важливо забезпечити правильний вибір технічних засобів, що відповідатимуть сучасним вимогам до точності, швидкодії та надійності.

Критерії вибору технічних засобів

- точність вимірювань. Забезпечення точного зчитування технологічних параметрів (температури, тиску, витрат, висоти шару шихти);
- швидкодія. Оперативна передача даних для аналізу та коригування параметрів процесу в реальному часі;
- надійність. Захист від зовнішніх впливів (високих температур, пилу, вібрацій);
- сумісність. Можливість інтеграції з існуючими системами підприємства;
- масштабованість. Простота модернізації у майбутньому.

Вибір обладнання за рівнями системи

а) рівень збору/розподілу інформації:

1) датчики:

- температури: високоточні термопари типу K або R із захисними гільзами;
- тиску: датчики розрідження типу Rosemount 3051 для вакуум-камер;
- Витрати: Ультразвукові витратоміри Endress+Hauser Proline для вимірювання витрат газу і повітря;

- висоти шару: лазерні датчики Sick для безконтактного вимірювання висоти шару шихти;
- вологість шихти: інфрачервоні аналізатори вологи серії MoistTech IR-3000;

2) перетворювачі сигналів: перетворювачі аналогового сигналу в цифровий типу Siemens SITRANS для уніфікації даних;

b) Рівень автоматичного управління:

1) Програмовані логічні контролери (PLC):

- Siemens S7-1500 — забезпечують надійне управління локальними підсистемами.

2) Комунікаційні модулі;

3) Підтримка стандартів Ethernet/IP та Modbus TCP для швидкого обміну даними між контролерами та верхнім рівнем.

c) Рівень оперативного контролю й управління:

1)Автоматизоване робоче місце (АРМ):

- Комп'ютер із спеціалізованим програмним забезпеченням (наприклад, SCADA-системою WinCC) для візуалізації та управління.;
- Сенсорні дисплеї для інтерактивного керування.

2)Програмне забезпечення:

- SCADA-система для візуалізації технологічного процесу, моніторингу аварійних ситуацій, формування звітів.

d) Рівень диспетчерського контролю:

1)АРМ диспетчера:

- Робочі станції із доступом до загальної бази даних підприємства.

2)Мережеве обладнання:

- Промислові комутатори Cisco IE 3000 для забезпечення надійної передачі даних.

Додаткове обладнання включає системи аварійної сигналізації (світлові та звукові оповіщувачі на основі реле Schneider Electric Harmony); джерела безперебійного живлення (UPS) (APC Smart-UPS для забезпечення безперебійної роботи обладнання під час перебоїв електропостачання); система охолодження (промислові кондиціонери для підтримання температури в приміщеннях з електронним обладнання).

Очікувані результати від впровадження технічних засобів

1. Підвищення точності:
    - Забезпечення стабільного процесу спікання шляхом отримання точних даних про стан технологічного процесу.
2. Оперативність управління:
    - Реагування на зміни параметрів у реальному часі для мінімізації відхилень.
3. Зниження аварійних ситуацій:
    - Забезпечення надійного моніторингу та сигналізації при порушеннях роботи обладнання.
4. Ефективність виробництва:
    - Зниження енергоспоживання та підвищення продуктивності завдяки оптимізації процесів.

3.5 Висновки

Вибрані технічні засоби забезпечують надійну, гнучку та масштабовану автоматизацію спікального відділення. Їх впровадження дозволить значно підвищити ефективність управління, якість агломерату та знизити енергетичні витрати підприємства.

Запропонована структура управління для спікального відділення базується на сучасних принципах автоматизації та ієрархічного управління. Вона забезпечує надійний контроль технологічних параметрів, оптимізацію процесів

спікання та інтеграцію з іншими системами автоматизації підприємства, що сприятиме підвищенню якості продукції, економії ресурсів та стабільності роботи обладнання.

Сучасні системи автоматизації забезпечують базовий рівень контролю процесу, проте мають значний потенціал для вдосконалення.

Основні напрями модернізації:

- Розробка єдиної інтегрованої АСУ ТП;
- Впровадження інтелектуальних систем аналізу даних;
- Підвищення точності контролю параметрів.

Оптимізація системи автоматизації дозволить підвищити продуктивність агломераційного процесу, стабілізувати якість агломерату та знизити енергетичні витрати.

4 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ШАРУ ШИХТИ НА АГЛОМЕРАЦІЙНІЙ СТРІЧЦІ

4.1 Розробка математичної моделі

Для досягнення найкращих показників газопроникності шару шихти на агломераційній стрічці розроблено математичну модель, що враховує основні параметри процесу. Ця модель дозволяє оцінити вплив пористості шару, розміру частинок шихти та швидкості подачі матеріалу на його газопроникність.

Математичний опис

Формула газопроникності шару: Газопроникність шару визначається за рівнянням Ергуна:

$$k=\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2}\cdot\frac{{d_p}^2}{150\cdot\mu}$$

де к — газопроникність, м²;
ε — пористість шару;
d_p — середній розмір частинок шихти, м;
μ — в'язкість газу, Па·с.

Формування рівномірного шару. Для забезпечення стабільної висоти шару шихти H, необхідно дотримуватися залежності між швидкістю подачі матеріалу Q_f, шириною стрічки B та швидкістю руху стрічкиV_S:

$$H=\frac{Q_f}{B\cdot V_S}$$

Оптимізація параметрів. Модель дозволяє змінювати параметри ε, d_p, Q_fдля досягнення оптимальної газопроникності.

Розрахунок для практичних умов

Параметри:

- Пористість (ε): 0.35–0.45;
- Розмір частинок (d_p): 0.002–0.004 м;
- Потік шихти (Q_x): 80–120 т/год;
- Ширина стрічки (B): 2 м;
- В'язкість газу (μ): 0.018 Па·с.

Результати розрахунків

Для визначення оптимальних параметрів була розроблена програма, яка допомагає виявити найкращі значення газопроникності шару шихти. На основі проведених розрахунків отримано наступні результати:

- Оптимальна газопроникність досягається при ε = 0.4, d_p = 0.0035 м;
- Висота шару H відповідає 0.35 м при швидкості подачі Q_x = 100 т/год та швидкості стрічки V_s = 0.3 м/с.

4.2 Визначення оптимальних показників для покращення газопроникності шару шихти

Газопроникність шару шихти є ключовим параметром у процесі спікання агломерату. Вона характеризує здатність шару пропускати повітря при заданому розрідженні та визначає швидкість фільтрації газів через шихту, що безпосередньо впливає на якість і продуктивність спікання.

Мета дослідження:

- Встановити залежність газопроникності шару від кута нахилу завантажувального лотка;
- Визначити оптимальні параметри для досягнення найкращої газопроникності та мінімального газодинамічного опору шару;
- Розробити алгоритм розрахунку для інженерного застосування.

Методика дослідження

Формула для визначення газопроникності: Газопроникність розраховується за формулою Ергуна:

$$\kappa = \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \cdot \frac{{d_\text{р}}^2}{150 \cdot \mu}$$

де ε — пористість шару;

$d_\text{р}$ — середній розмір частинок шихти, м;

μ — в'язкість газу, Па.

Вплив кута нахилу лотка на газодинамічний опір. Для дослідження використовується емпірична залежність:

$$R_g = \frac{K \cdot L}{\kappa}$$

де R_g — газодинамічний опір, Па;

K — коефіцієнт, що враховує властивості шихти;

L — висота шару шихти, м.

Визначення оптимального кута нахилу завантажувального лотка: Встановлюється залежність розподілу шихти за формулою:

$$H = H_0 \cdot \cos(\theta)$$

де H — висота шару після завантаження;

H_0 — початкова висота шару;

cos(θ) — кут нахилу лотка.

Розрахунки

Параметри для моделювання:

- Пористість (ε): 0.35−0.45;

- Розмір частинок (d_p): 0.003 м;

- В'язкість газу (μ): 0.018 Па;

- Кут нахилу cos(θ): 20∘−60∘.

Алгоритм:

- Розрахунок газопроникності κ для різних значень ε;
- Визначення R_g залежно від L, κ;
- Моделювання розподілу шихти за допомогою кута θ.

Результати

1. Оптимальний кут нахилу лотка:

- Найкраща газопроникність (κ) спостерігається при θ = 45°, що забезпечує рівномірний розподіл шихти по стрічці;

- Збільшення або зменшення кута викликає порушення структури шару.

2. Газодинамічний опір:

- Для пористості ε = 0.4 та розміру частинок d_p = 0.003 м, значення $R_э$ досягає мінімуму при θ = 45°.

3. Висота шару:

- Висота шару H залишається стабільною при значеннях θ = 40°–50°, що забезпечує оптимальні умови для спікання.

4.3 Висновки

Оптимальний кут нахилу завантажувального лотка становить 45°.

Параметри пористості ε = 0.4 і розмір частинок d_p = 0.003 м забезпечують найкращу газопроникність.

Розроблений алгоритм дозволяє інженеру розрахувати оптимальні умови для покращення газопроникливості шару шихти.

Розроблена математична модель дозволяє:

- Оптимізувати параметри завантаження та формування шару шихти на агломераційній стрічці;

- Забезпечити високі показники газопроникності для якісного спікання агломерату;

- Забезпечити рівномірний розподіл матеріалу по стрічці, мінімізуючи втрати та підвищуючи ефективність процесу.

5 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗА РАХУНОК АПАРАТНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ

5.1 Мета і завдання апаратного резервування

Забезпечити безперервність технологічного процесу агломерації шляхом впровадження апаратного резервування критичних елементів АСУТП, що дозволяє зменшити ризики простоїв та підвищити загальну надійність системи.

Завдання:

1) Резервування критичних компонентів:
   a) Датчики:
      - Датчики температури: WIKA TR10-C (резервний із тією ж специфікацією);
      - Датчики тиску: Rosemount 3051 із гарячим резервуванням;
      - Датчики витрати: Siemens SITRANS FS230.
   b) Контролери:
      - Основний і резервний контролери Siemens S7-1500, конфігурація з підтримкою гарячого резервування.
   c) Джерела живлення:
      - Phoenix Contact Quint Power із резервним блоком UPS на основі літій-іонної батареї (30 хвилин автономної роботи).
   d) Мережеве обладнання:
      - Два дубльовані комутатори Cisco Catalyst 9200 із протоколом RSTP.
2) Гарантування безперебійного функціонування:
   - Використання дубльованих мереж Ethernet для кожного рівня системи;
   - Використання резервного обладнання з автоматичним перемиканням у разі виходу з ладу основного.

Розрахунок відмовостійкості системи: Відмовостійкість системи розраховується за формулою для системи з резервуванням:

$$R=1-(1-R1)\cdot(1-R2)\cdot\ldots\cdot(1-Rn),$$

де R — ймовірність безвідмовної роботи системи;

R1,R2,...,RnR_1, R_2, ..., R_nR1,R2,...,Rn — ймовірності безвідмовної роботи окремих компонентів;

- Ймовірність безвідмовної роботи одного датчика температури — R1=0.99;
- Резервний датчик із такою ж ймовірністю — R2=0.99;

$$R=1-(1-0.99)^2=0.9999.$$

Таким чином, використання резервного датчика підвищує ймовірність безвідмовної роботи до 99.99%.

Зменшення часу простою

Гаряче резервування передбачає, що резервне обладнання працює паралельно з основним і готове миттєво підхопити роботу у разі виходу з ладу основного. У таких умовах перемикання між основним і резервним обладнанням фактично не відбувається, тому час перемикання можна вважати нульовим. Єдиний час простою в цьому випадку — це час виявлення збою системою, який зазвичай не перевищує 0,1 с.

Холодне резервування, у свою чергу, передбачає ручне перемикання, що включає час виявлення збою та час підключення резервного обладнання. На практиці:

- Час виявлення збою залежить від системи моніторингу та становить близько 0,1 с;
- Час перемикання залежить від оператора та складності системи. У випадку швидкої реакції інженера цей час може становити лише кілька секунд (наприклад, 10–20 с).

Розрахунки:

- Гаряче резервування:

$$T_{\text{простою гаряче}} = T_{\text{виявлення}} = 0{,}1 \text{ с}.$$

- Холодне резервування:

$$T_{\text{простою холодне}} = T_{\text{виявлення}} + T_{\text{перемикання}} = 0{,}1 + 10 = 10{,}1 \text{ с.}$$

- Різниця у часі простою:

$$\Delta T = T_{\text{простою холодне}} - T_{\text{простою гаряче}} = 10{,}1 - 0{,}1 = 10 \text{ с.}$$

У випадку складніших систем та менш швидкого реагування інженера час перемикання може досягати хвилин.

Підвищення рівня захищеності системи:

- Резервування основних джерел даних (серверів SCADA) із кластерною архітектурою;
- Застосування протоколів захисту даних (TLS 1.3) для забезпечення інформаційної безпеки.

Розрахунок запасу часу роботи джерел живлення (UPS):

- Для резервного живлення використовується Phoenix Contact Quint Power із ємністю батареї 500 Вт·год.

Розрахунок часу автономної роботи:

$$T_{\text{автономної}} = \frac{E_UPS}{P_{\text{споживання}}}$$

де E_UPSE — ємність UPS (500 Вт·год);

$P_{\text{споживання}}$ — потужність споживання системи (250 Вт).

$$T_{\text{автономної}} = \frac{500}{250} = 2 \text{ години}$$

Таким чином, UPS забезпечить до 2 годин роботи системи без електромережі.

5.2 Ключові принципи апаратного резервування.

1. Резервування за принципом N+1 або N+N

1) Принцип N+1:

- Для кожного основного компонента є один резервний екземпляр, готовий замінити основний у разі збою.
- Використовується в системах, де простій неприпустимий, наприклад:
- Датчики температури та тиску (WIKA TR10-C, Rosemount 3051);
- Контролери (Siemens S7-1500);
- Комутатори мережі (Cisco Catalyst 9200);
- Джерела живлення (Phoenix Contact Quint Power).

2) Принцип N+N:

- Весь комплекс системи дублюється, забезпечуючи повне резервування (наприклад, повна копія SCADA-сервера).
- Переваги:
- У разі збою вся система перемикається на резервну без порушення роботи;
- Використовується в критичних системах, таких як SCADA-сервери, із забезпеченням кластерної архітектури для безперебійної роботи.

2. Гаряче резервування

Резервний компонент працює в синхронізації з основним.

Приклад реалізації:

- Cisco Catalyst 9200 використовує протоколи STP (Spanning Tree Protocol) і RSTP для швидкого перемикання на резервний шлях.

3. Холодне резервування

Резервне обладнання знаходиться в стані очікування, його активація вимагає втручання оператора або автоматичного запуску системи резервування.

Переваги:

- Простота конфігурації;
- Нижча вартість у порівнянні з гарячим резервуванням;
- Основна перевага – немає зносу резервного обладнання, поки воно не працює.

Недоліки:

- Затримка у часі активації (до кількох хвилин);
- Основний недолік – полягатися на надійність перемикачів та резервний прибор може банально не включитися – зламався, поки стояв без діла.

Приклад реалізації:

- Резервні джерела живлення (UPS) для додаткового живлення серверів SCADA у разі аварії.

4. Відмовостійка мережа

Для забезпечення безперебійного зв'язку між компонентами використовується резервування мережевого обладнання.

Дубльовані мережі Ethernet:

- Основна і резервна мережа функціонують паралельно;
- У разі збою основної мережі передача даних автоматично перемикається на резервну.

Протоколи резервування:

- RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) забезпечує швидке відновлення мережі в разі обриву лінії;
- EtherChannel поєднання кількох фізичних з'єднань в одне логічне для підвищення пропускної здатності й надійності.

5. Джерела безперебійного живлення (UPS)

Забезпечують резервне живлення для контролерів, датчиків і серверів SCADA у разі відключення основного живлення.

Приклад реалізації:

- Phoenix Contact Quint Power із автономністю до 2 годин;
- Автоматичне перемикання на UPS у разі втрати електропостачання.

6. Резервування серверів SCADA

Для забезпечення безперебійної роботи SCADA-системи використовується кластер серверів:

- Основний сервер: обробляє всі дані в режимі реального часу;
- Резервний сервер: синхронізується з основним і бере на себе всі функції у разі його збою;
- Протоколи синхронізації: Active-Active або Active-Passive залежно від потреб.

Розрахунок часу перемикання на резервні компоненти

1. Мережа:
   - Протокол RSTP забезпечує перемикання за $t_{перемикання} \leq 0.1$ с.
2. Контролери:
   - Гаряче резервування забезпечує затримку $t_{перемикання} \leq 0.2$ с.
3. Джерела живлення:
   - UPS забезпечує миттєве перемикання $t_{перемикання} = 0$ с.

5.3 Архітектура системи з резервуванням

Розроблена архітектура АСУТП агломераційного виробництва враховує потребу в безперервності технологічного процесу та передбачає багаторівневе апаратне резервування. Система поділена на чотири основні рівні:

1. Рівень збору даних

На цьому рівні здійснюється первинний збір даних про стан технологічного процесу за допомогою датчиків і перетворювачів. Високий рівень надійності досягається завдяки резервуванню:

1. Датчики:

Кожен критичний параметр процесу контролюється основним і резервним датчиком.

- Температура: Датчики WIKA TR10-C із дублюванням для всіх ключових точок процесу;
- Тиск: Датчики Rosemount 3051 із двома сенсорами на один технологічний вузол;
- Витрата газу та повітря: Витратоміри ABB Sensyflow працюють у паралельному режимі (основний і резервний);
- Резервні датчики підключені до окремих входів контролерів, що забезпечує їх готовність до використання у разі відмови основних.

2. Апаратне дублювання:

- Всі датчики з'єднані з дубльованими конвертерами аналогових сигналів (Siemens SITRANS) для підвищення надійності передачі даних до контролерів.

2. Рівень автоматичного управління

Цей рівень забезпечує автоматизацію роботи системи за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК). Резервування досягається завдяки гарячому дублюванню та резервуванню мережевого з'єднання:

1. Контролери:

- Використовуються ПЛК Siemens S7-1500 з гарячим резервуванням:
- Основний і резервний контролери працюють у синхронному режимі;

- Перемикання між контролерами відбувається за tперемикання≤0.2 ct_{перемикання} \leq 0.2 \, ctперемикання≤0.2c, що гарантує безперервність процесу.

2. Синхронізація:
   - Контролери синхронізуються через резервну мережу Ethernet з використанням дубльованих кабелів;
   - Протокол PROFINET забезпечує надійну передачу даних із низькою затримкою.

3. Дубльовані входи та виходи:
   - Кожен вхід і вихід на контролерах дублюється. Якщо основний канал стає недоступним, система автоматично перемикається на резервний.

4. Резервне живлення:
   - Кожен ПЛК живиться від джерел безперебійного живлення (Phoenix Contact Quint Power), які забезпечують автономну роботу до 2 годин у разі збою електропостачання.

3. Рівень візуалізації

Рівень візуалізації дозволяє операторам отримувати інформацію про стан системи та керувати технологічними процесами. Надійність забезпечується резервуванням серверів і робочих станцій:

1 Сервери SCADA:

а) Використовуються сервери Dell PowerEdge у кластерному режимі:

- Основний сервер виконує обробку даних у реальному часі;
- Резервний сервер синхронізується з основним і автоматично активується в разі збою;

- Протоколи Active-Passive або Active-Active підтримують безперервність роботи.

2 Клієнтські робочі станції:

- Операторські робочі місця обладнані резервними терміналами;
- Дані з серверів передаються через дубльовані мережі Ethernet.

3.Резервні канали зв’язку:

- Для передачі даних між серверами та клієнтами використовується паралельне підключення через Ethernet і оптоволоконні лінії зв’язку.

4. Рівень управління мережею

Цей рівень відповідає за передачу даних між усіма компонентами системи. Надійність досягається резервуванням мережевого обладнання та каналів зв’язку:

1 Мережеві комутатори та маршрутизатори:

а) Дубльовані комутатори Cisco Catalyst 9200 підтримують протоколи резервування:

- RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol): Швидке перемикання у разі обриву основного мережевого шляху;
- HSR (High-availability Seamless Redundancy): Одночасна передача даних по основному і резервному каналах.

2 Топологія мережі:

- Використовується кільцева топологія з підтримкою дублювання;
- Усі компоненти мережі мають по два підключення: основне та резервне.

3 Резервне живлення:

- Джерела безперебійного живлення (APC Smart-UPS) забезпечують безперебійну роботу мережевого обладнання навіть у разі тривалого відключення електроенергії.

Архітектура АСУТП із апаратним резервуванням забезпечує:

- Безперервність роботи системи: Мінімізація простоїв за рахунок гарячого резервування ключових компонентів;
- Захист від збоїв: Використання дубльованих компонентів на всіх рівнях;
- Мінімальний час перемикання: Використання гарячого резервування та швидких протоколів синхронізації забезпечує перемикання за частки секунди;
- Високу надійність мережі: Дубльовані мережі Ethernet і резервні комутатори забезпечують постійну передачу даних.

Ця структура дозволяє системі залишатися функціональною навіть у разі збою основних компонентів, що особливо важливо для безперервних виробничих процесів агломераційного виробництва.

5.4 Економічна ефективність резервування в АСУТП

Впровадження системи резервування апаратних компонентів в АСУТП вимагає початкових інвестицій, але це виправдано довгостроковими перевагами. Розглянемо ключові аспекти оцінки економічної ефективності.

1. Переваги резервування

1 Зменшення простоїв:
   - У разі виходу з ладу основного обладнання резервування дозволяє уникнути простоїв;
   - Для агломераційного виробництва навіть короткочасні зупинки ведуть до значних втрат через перезапуск обладнання та недоотримання продукції.

2 Збільшення продуктивності:
   - Безперервність технологічного процесу забезпечує максимальне завантаження обладнання;

- Підвищується коефіцієнт використання агломераційних машин.

3 Зменшення втрат через брак:

- Стабільність роботи автоматизованої системи зменшує ризики браку продукції, спричиненого перебоями.

4 Підвищення якості продукції:

- Постійний контроль параметрів процесу за рахунок резервних датчиків і ПЛК дозволяє уникнути відхилень у якості агломерату.

2. Основні витрати на резервування

1 Інвестиції в обладнання:

- Вартість резервних компонентів (датчиків, контролерів, джерел живлення, мережевого обладнання);
- Гарячий резерв для ПЛК або серверів SCADA-систем.

2 Монтаж і інтеграція:

- Витрати на встановлення дубльованих компонентів;
- Налаштування резервних мережевих протоколів (RSTP, HSR).

3 Експлуатаційні витрати:

- Споживання енергії резервним обладнанням;
- Технічне обслуговування (перевірка працездатності резерву).

3. Розрахунок економічної ефективності

Методика оцінки

Для оцінки економічної доцільності резервування використовуються такі показники:

- Річний економічний ефект (Е):

$$E=(Вт_{запобігли}-В_{резерв})-Е_{експл},$$

де:

- $Вт_{запобігли}$ — втрати, яких вдалося уникнути завдяки резервуванню;
- $В_{резерв}$ — витрати на резервування;
- $Е_{експл}$ — експлуатаційні витрати резервного обладнання.

Окупність (Т):

$$T = \frac{\text{Врезерв}}{E}$$

- Т — строк окупності інвестицій.

Дані для розрахунку, потенційні втрати через простій:

- Добова продуктивність агломашини: 8000 т;
- Вартість 1 т агломерату: 2500 грн;
- Втрати через зупинку: 2 години;
- Втрати продукції: 8000 т/24×2=666.67 т;
- Вартість втрат: 666.67 т×2500 грн/т=1 666 675 грн;
- Вартість резервного обладнання: 3 млн грн;
- Річні експлуатаційні витрати: 200 тис. грн.

Розрахунок ефекту, зменшення втрат:

Втзапобігли=1 666 675 грн/рік.

Витрати на резервування:

Врезерв=3 000 000 грн.

Річний економічний ефект:

Е=1 666 675 грн−200 000 грн=1 466 675 грн.

Окупність:

$$T = \frac{3000000}{1466675} = 2.05 \text{ роки.}$$

На рис. 5.1 наведено діаграму резервування

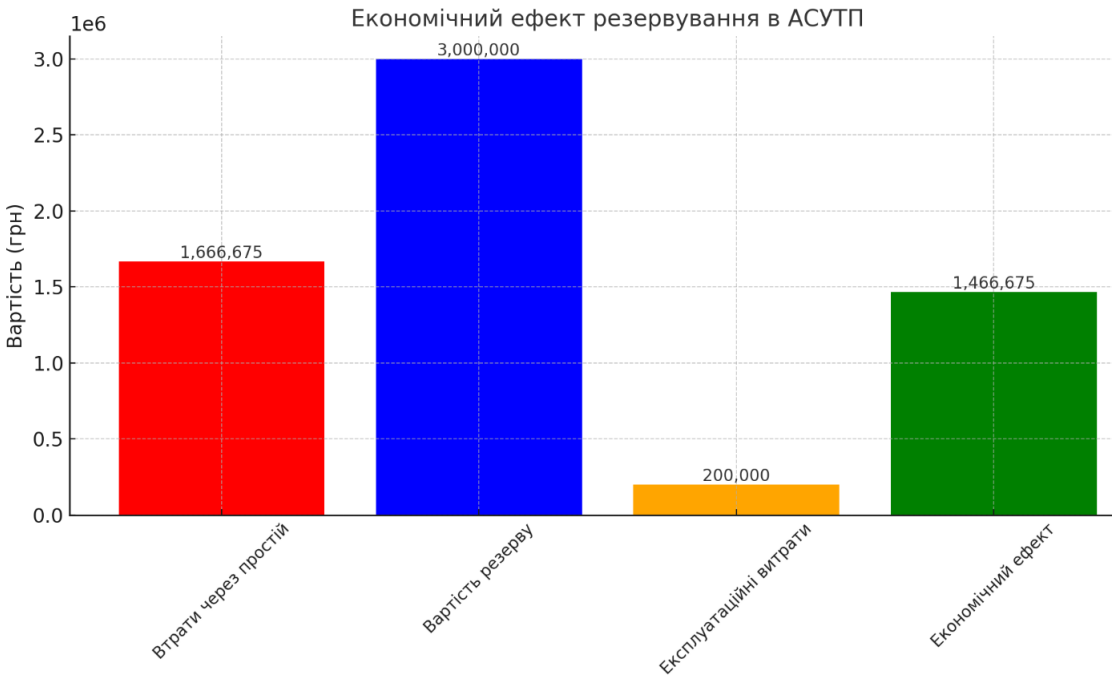


Рисунок 5.1 – Діаграма резервування

5.5 Структурна схема апаратного резервування

Для забезпечення надійності роботи АСУТП агломераційного виробництва розроблено структурну схему апаратного резервування, яка передбачає резервування основних компонентів системи: датчики, ПЛК, мережі, сервери та джерела безперебійного живлення (UPS).

Опис елементів схеми:

1 Датчики:

- Резервні датчики дублюють функції основних для критичних параметрів (температура, тиск, витрата);
- Резервування здійснюється за принципом 1:1 (N+1).

2 Контролери (ПЛК):

- Основний і резервний контролери з гарячим резервуванням;
- Синхронізація через дубльовану мережу Ethernet;
- Встановлення програмного забезпечення, що підтримує автоматичне перемикання на резерв.

3 Мережеве обладнання:

- Дубльовані маршрутизатори та комутатори з протоколами резервування (RSTP, HSR);
- Основна і резервна мережа Ethernet.

4 Сервери SCADA:

- Кластер з двох серверів, які працюють у режимі гарячого резервування;
- Дані зберігаються на обох серверах синхронно.

5 Джерела безперебійного живлення (UPS):

- Основний і резервний UPS забезпечують живлення для ПЛК, датчиків, мережевого обладнання та серверів.

Схема апаратного резервування

На рис. 5.2 наведено структурну схему системи апаратного резервування.

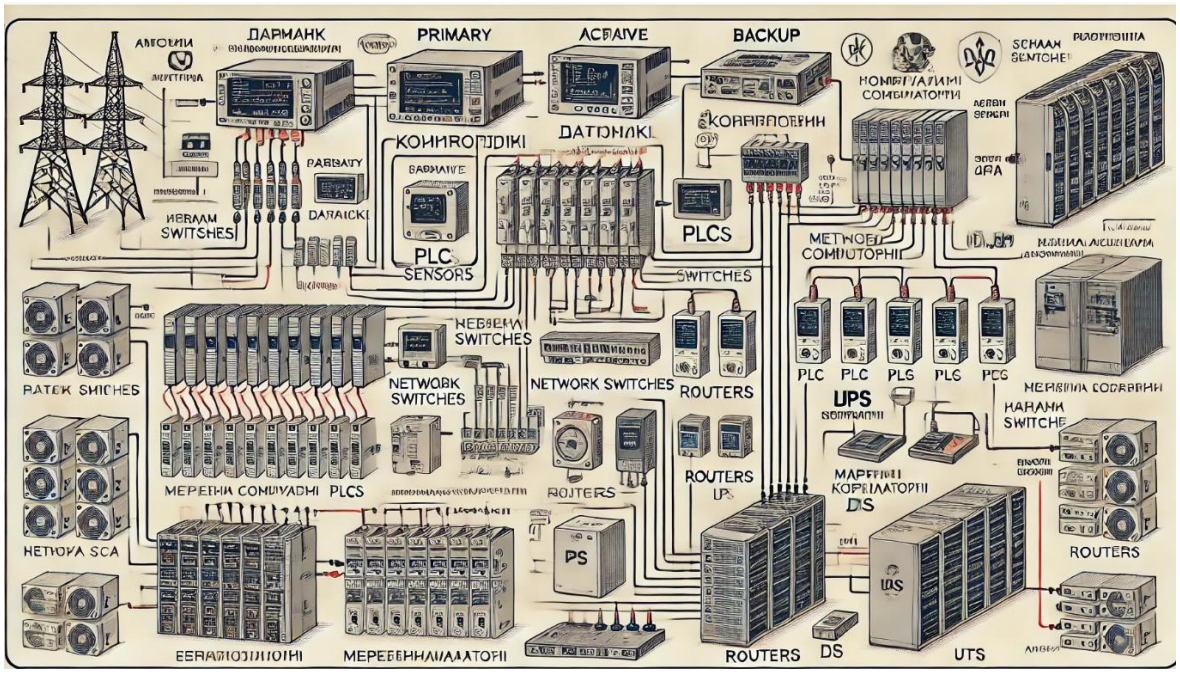


Рисунок 5.2 - Схема системи апаратного резервування

5.6 Впровадження резервування

1. Установлення резервних датчиків

Резервування датчиків є ключовим для забезпечення безперервності збору даних у критичних точках технологічного процесу:

1 Температури:

- Основний і резервний датчики працюють у паралельному режимі;
- У разі збою основного датчика система автоматично перемикається на резервний;
- Використовуються датчики типу PT100 із підключенням до контролера через аналогові входи.

2 Тиску:

- Для контролю тиску газів та повітря застосовуються дубльовані датчики, наприклад, Siemens P320;
- Резервний датчик підключений до тієї ж шини даних або через резервну мережу.

2. Інтеграція резервних контролерів

Встановлюються контролери Siemens S7-1500 із підтримкою гарячого резервування:

- Основний контролер працює в активному режимі, резервний синхронізується в реальному часі;
- У разі збою основного контролера резервний автоматично бере на себе управління без переривання процесу;
- Синхронізація між контролерами здійснюється через резервовану мережу Profinet;
- Контролери оснащені функціями самодіагностики та автоматичного перемикання.

3. Дублювання мережевого обладнання

Використання комутаторів Cisco Catalyst 9300 із підтримкою протоколу RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol):

- Забезпечується швидке відновлення мережевого з’єднання у разі збою основного шляху;

- Підключення обладнання здійснюється через два незалежних канали Ethernet;

- Дубльовані маршрутизатори забезпечують резервний доступ до мережі та серверів.

4. Встановлення UPS

Для резервування живлення ключового обладнання встановлюються джерела безперебійного живлення (UPS):

- Модель: APC Smart-UPS;

- Забезпечують автономне живлення протягом 30 хвилин у разі відключення електроенергії;

- Підключення UPS до контролерів, серверів SCADA і мережевого обладнання гарантує, що дані не будуть втрачені;

- UPS обладнані функцією автоматичного запуску та синхронізації з основною мережею після відновлення живлення.

5. Резервування серверів SCADA

Встановлюється два сервери SCADA із кластерним режимом роботи:

- Сервери працюють у конфігурації Active-Standby;

- Основний сервер обробляє дані, а резервний постійно синхронізується;

- У разі збою основного сервера резервний автоматично активується без втрати даних чи доступу;

- Для синхронізації даних використовуються протоколи Redundancy Protocols (наприклад, High-Availability Seamless Redundancy - HSR).

6. Інтеграція в загальну систему

Усі резервні компоненти інтегруються в загальну інфраструктуру через інтерфейси:

- Profinet/Profibus для підключення контролерів і датчиків;

- Ethernet із протоколами резервування для серверів і мережевого обладнання;

- Modbus TCP/IP для обміну даними між SCADA-системою і зовнішніми пристроями;

- Інтерфейс SCADA забезпечує візуалізацію стану основних і резервних компонентів у реальному часі.

7. Очікувані результати

- Забезпечення безперервності роботи системи навіть у разі збою ключового обладнання.

- Мінімізація простоїв технологічного процесу.

- Зниження ризику втрати даних.

- Поліпшення умов роботи обслуговуючого персоналу завдяки візуалізації стану резервного обладнання.

5.7 Переваги апаратного резервування

Апаратне резервування є ключовим компонентом сучасних автоматизованих систем управління виробництвом. Його впровадження забезпечує високу надійність, безперервність роботи, захист від збоїв і мінімізацію витрат у разі аварій. Нижче наведено детальний аналіз переваг апаратного резервування.

1. Безперервність роботи системи

- Економія часу на відновлення роботи: Завдяки резервним компонентам система автоматично перемикається на резервне обладнання без значних перерв у роботі.

- Зменшення часу на усунення аварій: Резервне обладнання дозволяє підтримувати технологічний процес у робочому стані, поки основне проходить ремонт.

- Підвищення стабільності процесів: Навіть у випадку збоїв окремих елементів система залишається функціональною, забезпечуючи безперервність ключових операцій.

2. Підвищення продуктивності

- Скорочення простоїв: Відсутність тривалих зупинок через вихід з ладу обладнання дозволяє збільшити кількість виробленої продукції за той самий час.

- Стабільність виконання плану: Завдяки апаратному резервуванню виконання виробничих планів стає передбачуваним, оскільки ризики збоїв мінімізуються.

- Оптимізація часу операційного управління: Автоматичне перемикання на резервне обладнання знижує потребу в ручному втручанні та прискорює відновлення нормальної роботи.

3. Мінімізація втрат

- Зменшення економічних втрат: Зупинка виробничої системи через збої обладнання може призвести до значних фінансових втрат, включаючи втрату продукції, штрафи за невиконання замовлень, підвищення витрат на ремонт. Резервування мінімізує ці втрати.

- Скорочення екологічних ризиків: У багатьох випадках аварії можуть призвести до викидів шкідливих речовин або забруднення довкілля. Резервування дозволяє уникнути таких ситуацій.

- Захист від втрати даних: У разі збою серверів SCADA дані про виробничі процеси залишаються доступними завдяки резервним серверам.

4. Захист від збоїв

- Відмова однієї лінії не впливає на весь процес: Резервні компоненти забезпечують роботу системи навіть у разі виходу з ладу основних компонентів.

- Інтеграція з функціями самодіагностики: Сучасні апаратні рішення забезпечують раннє виявлення несправностей, дозволяючи оперативно переключитися на резервне обладнання.

- Покращена безпека: Аварійні ситуації, викликані збоями, зводяться до мінімуму, що забезпечує захист персоналу та обладнання.

- Захист від зовнішніх впливів: У разі перебоїв у живленні або зовнішніх загроз (наприклад, кібератак) система залишається працездатною.

5. Додаткові переваги

- Гнучкість масштабування: Системи з апаратним резервуванням легко розширювати, додаючи нові резервні компоненти або збільшуючи потужність системи.

- Підвищення довіри до системи: Замовники та партнери більше довіряють виробничим процесам, якщо вони захищені від аварій.

- Зниження витрат на підтримку: Регулярна профілактика резервних компонентів значно дешевша, ніж усунення наслідків аварії.

- Енергоефективність: Завдяки резервуванню знижується кількість аварійних запусків або перезапусків системи, що економить енергоресурси.

Приклад у реальному виробництві

В агломераційному виробництві резервування є життєво важливим через складність і безперервність процесів. Наприклад:

- Резервування датчиків тиску та температури дозволяє уникнути збоїв у зоні спікання.

- Дублювання мережевих комутаторів і маршрутизаторів запобігає порушенням у передачі даних, забезпечуючи стабільну роботу SCADA.

- Використання UPS для забезпечення роботи обладнання у разі перебоїв електроенергії дозволяє уникнути аварійного завершення процесу спікання.

5.8 Висновки

Апаратне резервування за принципами N+1 або N+N із використанням гарячого резервування, дубльованих мереж Ethernet, відмовостійкого живлення (UPS) і кластерних SCADA-серверів гарантує:

- Безперервність технологічного процесу.
- Мінімальний час простою (до 0,2 с).
- Високу надійність і стійкість до збоїв.

Апаратне резервування є необхідною складовою сучасних автоматизованих систем. Його впровадження забезпечує безперервність роботи, знижує ризики аварій, підвищує продуктивність і дозволяє мінімізувати втрати. У сучасному виробництві це не лише опція, а й критично важлива умова для підтримки конкурентоспроможності та економічної ефективності.

Строк окупності: Резервування окупається за 2 роки, що є оптимальним показником для виробничих систем.

Запобігання втратам: Щорічно економія становить понад 1.46 млн грн за рахунок уникнення простоїв.

Покращення стабільності: Зниження аварійних простоїв і втрат продукції.

Довгостроковий ефект: Підвищення якості продукції та зменшення витрат на перезапуск виробництва.

Таким чином, резервування апаратних компонентів є економічно вигідним рішенням для агломераційного виробництва.

ВИСНОВКИ

1. Впровадження автоматизованої системи керування технологічним процесом є доцільним, оскільки:

- Річний економічний ефект становить 123 600 грн, досягається за рахунок економії витрат умовного палива;
- Економічна ефективність капітальних вкладень складає 0,51 грн/грн;
- Строк окупності капітальних вкладень дорівнює 1,96 роки.

2. Запропоновані заходи є ефективними з точки зору економії ресурсів, підвищення енергоефективності та зменшення собівартості продукції.

3. Проведено аналіз сучасного стану агломераційного виробництва, який показав необхідність модернізації процесу завантаження шихти для покращення її газопроникливості та стабільності процесу спікання агломерату.

4. Розроблено та обґрунтовано структурну схему автоматизованої системи управління технологічним процесом агломераційного виробництва, яка забезпечує ефективний збір, обробку даних та управління ключовими параметрами процесу.

5. Створено математичну модель процесу завантаження шихти, яка враховує вплив пористості, розміру частинок та швидкості завантаження на газопроникливість шару. Це дозволило визначити оптимальні параметри формування шару.

6. Встановлено залежність між кутом нахилу завантажувального лотка і газопроникливістю шару шихти. Дослідження показали, що газопроникливість шару шихти залежить від кута нахилу лотка, оскільки він впливає на рівномірність укладання шихти та щільність її шару. Оптимальний кут нахилу лотка становить 45-46 градусів оскільки саме в цьому діапазоні досягається мінімальний газодинамічний опір і забезпечується рівномірна укладка шихти. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню якості агломерату за показниками механічної міцності та газопроникності.

7. Впроваджено концепцію апаратного резервування для забезпечення надійності системи управління, зокрема використання дубльованих датчиків, контролерів і джерел живлення. Проведені розрахунки підтвердили підвищення безвідмовності системи до 99,99%.

8. Розроблено економічно ефективну стратегію впровадження резервування, яка дозволяє мінімізувати витрати на простої і підвищити продуктивність виробництва.

9. Проведено оцінку економічної ефективності впровадження розроблених рішень, яка показала значне зниження витрат на паливо і підвищення якості продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. Київ : Держспоживстандарт України, 2015. 34 с.

2. Ергун С. Теоретичні основи газодинаміки: дослідження потоків у пористих середовищах. Наукові записки. 1982. 120 с.

3. Вимірювальні системи для металургійних процесів / Ред. Іванов І. Г. Київ : Техніка, 2010. 220 с.

4. Основи автоматизованих систем керування : навчальний посібник. Харків : ХАІ, 2014. 156 с.

5. Тищенко В. П. Методи оптимізації у технічних системах. Запоріжжя : ЗНУ, 2018. 180 с.

6. ISO 14001:2015. Системи екологічного менеджменту. Вимоги. Київ : Держспоживстандарт України, 2015. 42 с.

7. Технології підготовки агломераційних шихт. *Інженерний журнал*. Запоріжжя, 2020. 85 с.

8. Агломераційне виробництво: сучасний стан та перспективи / Ред. О. С. Соколов. Донецьк : Видавництво металургів, 2012. 254 с.

9. ГОСТ 12.3.009-76. Процеси збагачення корисних копалин. Загальні вимоги безпеки. Київ : Стандарт, 1976. 30 с.

10. Воронцов В. Г. Автоматизація виробничих процесів. Київ : Вища школа, 2010. 203 с.

11. Кравець П. І. Системи керування технологічними процесами: сучасні методи. Львів : ЛНУ, 2015. 178 с.

12. Хоменко О. М. Моделювання енергозберігаючих процесів у металургії. Дніпро : Металург-прес, 2019. 110 с.

13. Національний стандарт України ДСТУ EN 62061:2017. Функціональна безпека електричних систем. Київ : Держспоживстандарт України, 2017. 50 с.

14. Гусєв І. В. Теорія автоматичного керування: підручник. Київ : Видавничий дім "Києво-Могилянська академія", 2018. 340 с.

15. Шевченко О. С. Методи оцінки ефективності промислових систем. Харків : ХПІ, 2016. 145 с.

16. ISO 45001:2018. Системи менеджменту охорони здоров'я та безпеки праці. Київ : Держспоживстандарт України, 2018. 60 с.

17. Новиков А. Г. Математичне моделювання у металургійних процесах. Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 187 с.

18. Хмельовський В. П. Прогресивні технології в агломераційному виробництві. Донецьк : Наукова думка, 2014. 234 с.

19. Захарченко В. М. Аналіз надійності систем керування. Київ : НАН України, 2019. 95 с.