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

першого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему: «Проєкт автоматизації агломераційної машини в умовах аглофабрики металургійного підприємства. Система автоматичного регулювання температури у запалювальному горні»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 6.1743-с2
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
І.Р. Коса
(ініціали та прізвище)
Керівник доцент кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем, доцент, кандидат технічних наук Міняйло Н.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент директор ТОВ «Електротехмаш»
Курілець І. А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2026

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 перший (бакалаврський)
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно- інтегровані технології та робототехніка»
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва)
Спеціалізація
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри Д.М. Морозов
"____" _____2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ
Косі Івану Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Проєкт автоматизації агломераційної машини в умовах аглофабрики металургійного підприємства. Система автоматичного регулювання температури у запалювальному горні
Керівник роботи Міняйло Наталія Олександрівна, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року №1833-С
2. Строк подання студентом роботи «01» червня 2026 року
3. Вихідні дані до роботи: звіт з виробничої практики, аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому об'єкті, технічна документація, ДСТУ
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вивчення особливостей функціонування агломераційної машини; розробка технічного завдання; проєктування системи автоматизації; розробка технічної документації; розрахунок надійності системи автоматизації; замовна специфікація на весь комплекс технічних засобів системи автоматизації; організаційне забезпечення системи автоматизації та розрахунок техніко-економічних показників; техніка безпеки та охорона праці; висновок.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) зовнішний вигляд агломераційної машини; схема інформаційних та матеріальних потоків; функціональна схема автоматизації; принципова електрична схема; принципова електрична схема живлення; монтажно-комутаційна схема щита КВПіА; схема зовнішнього вигляду щита КВПіА; схема зовнішніх з'єднань; результати моделювання САР у MatLab; проєктне

компонування контролера; прикладна програма для контролера; основні питання охорони праці; техніко-економічні показники; висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Міняйло Н.О. доцент	13.02.2026	24.02.2026
2	Міняйло Н.О. доцент	25.02.2026	10.03.2026
3	Міняйло Н.О. доцент	11.03.2026	23.03.2026
4	Міняйло Н.О. доцент	24.03.2026	24.04.2026
5, 6	Міняйло Н.О. доцент	27.04.2026	04.05.2026
7	Міняйло Н.О. доцент	05.05.2026	15.05.2026
8	Міняйло Н.О. доцент	18.05.2026	22.05.2026

7. Дата видачі завдання 09 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючого рівня автоматизації	13.02. – 19.02.2026	
2	Розробка схеми інформаційних та матеріальних потоків	20.02. – 24.02.2026	
3	Розробка технічного завдання	25.02. – 10.03.2026	
4	Вибір та обґрунтування комплексу технічних засобів	11.03. – 23.03.2026	
5	Проєктування системи автоматичного регулювання температури у запалювальному горні	24.03. – 24.04.2026	
6	Розробка технічної документації	27.04. – 01.05.2026	
7	Розрахунок надійності системи автоматизації	02.05. – 04.05.2026	
8	Розрахунок техніко-економічних показників	05.05. – 15.05.2026	
9	Розгляд питань охорони праці та безпеки	18.05. – 22.05.2026	
10	Розробка презентаційної роботи, проходження нормоконтролю, підготовка доповіді	25.05. – 29.05.2026	

Здобувач _____ (підпис) І.Р. Коса (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ (підпис) Н.О. Міняйло (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ (підпис) А.В. Колосок (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Коса І.Р. Проєкт автоматизації агломераційної машини в умовах аглофабрики металургійного підприємства. Система автоматичного регулювання температури у запалювальному горні.

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник Міняйло Н.О., Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2026.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення системи автоматизації процесу регулювання температури в запалювальному горні.

У загальному розділі наведено характеристику технології виробництва агломерату, розглянуто конструктивні особливості агломашини, описано процес спікання шихти і проаналізовано існуючий рівень автоматизації.

У спеціальній частині розроблено схему інформаційних та матеріальних потоків, функціональну схему автоматизації спікального відділення, принципову електричну схему, монтажно-комутаційну схему та схему зовнішніх з'єднань. Спроєктовано щит КВПіА та обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації. Створено прикладну програму для контролера. Проведено проєктну оцінку надійності системи автоматичного регулювання. Обґрунтовано економічну доцільність впровадження проєкту.

У розділі з охорони праці подано характеристику шкідливих і небезпечних виробничих факторів агломераційного цеху та запропоновано заходи щодо їх мінімізації.

Пояснювальна записка містить 92 сторінки, 24 рисунки, 29 таблиць, 2 додатки на 2 сторінках і 24 джерел у переліку посилань.

Ключові слова: спікальне відділення, агломерат, шихта, автоматизація, функціональна схема, контур управління, технічні засоби, контролер, щит, алгоритм, програма, проєкт, ефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП 7

1. ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ МАШИНИ. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ 9

1.1 Агломераційна машина і алгоритм її роботи 9

1.2 Етапи агломераційного процесу 13

1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації агломераційної машини на діючому виробництві 17

1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків 19

1.5 Стан рівня автоматизації на аналогічних об’єктах підприємств України та зарубіжжя 22

1.6 Недоліки існуючої системи управління 25

2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ 27

2.1 Вимоги до системи в цілому 27

2.2 Вимоги до функцій, які виконує система 28

2.3 Вимоги до видів забезпечення 29

2.4 Вимоги до надійності САР 30

3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 31

3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА 31

3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру 32

3.3 Вибір математичної моделі системи управління температурою в горні агломераційної машини 33

3.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА 38

3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючі пристрої, вторинні прилади ... 38

3.4.2 Промислові контролери 49
3.4.3 Виконавчі механізми та регулюючі органи 55
4. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ 62
4.1 Функціональна схема автоматизації 62
4.2 Принципова електрична схема 66
4.3 Принципова електрична схема живлення 67
4.4 Монтажна комутаційна схема щита КВПіА 67
4.5 Зовнішній вигляд щита та вид на внутрішні панелі 68
4.6 Схема зовнішніх з'єднань 68
5. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 70
6. ЗАМОВНА СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕСЬ КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 73
7. ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ 74
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації 74
7.2 Розрахунок техніко-економічних показників 77
7.2.1 Розрахунок капітальних втрат на створення СА 77
7.2.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на функціонування СА 79
7.2.3 Розрахунок очікуваної економії після впровадження СА 81
8. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ 83
ВИСНОВОК 87
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 90
ДОДАТОК А Замовна специфікація на комплекс технічних засобів 93
ДОДАТОК Б Фрагмент функції на мові ST 94

ВСТУП

Агломераційний процес уперше був застосований у металургійній промисловості для спікання сірчистих і мідних руд, а також свинцево- та цинковмісних руд. Подальший розвиток агломерації в промислових масштабах відбувався на основі двох способів: продування повітря крізь шар шихти та його просмоктування через шихтовий шар.

Зі зростанням обсягів виробництва агломерату, підвищенням вимог до його якості та впровадженням потокових технологічних схем виникла потреба у широкому застосуванні засобів автоматичного контролю й керування. Комплексна автоматизація агломераційного виробництва посідає важливе місце у вдосконаленні галузі. Особливу роль у технологічній схемі відіграють процеси спікання шихти, які є визначальними для формування якісних показників готового агломерату.

Головною метою автоматизації агломераційного виробництва є забезпечення максимальної продуктивності агломераційних машин при одночасному досягненні заданих показників якості продукції. Водночас автоматизація сприяє підвищенню рівня організації виробництва, оперативності управління технологічними процесами та загальної економічної ефективності підприємства. Одним із пріоритетних напрямів удосконалення управління є створення автоматизованих систем із використанням сучасної обчислювальної техніки.

Автоматизована система керування спікальним відділенням є новим етапом розвитку комплексної автоматизації та спрямована на суттєве підвищення продуктивності праці, покращення якості агломерату та оптимізацію техніко-економічних показників виробництва.

Ефективність автоматичного керування у спікальному відділенні визначається забезпеченням стабільної висоти шару шихти, що подається на агломашину, безперервним контролем і регулюванням процесу запалювання,

контролем температури в зоні запалювання, а також регулюванням ступеня завершеності процесу спікання наприкінці активної ділянки шару.

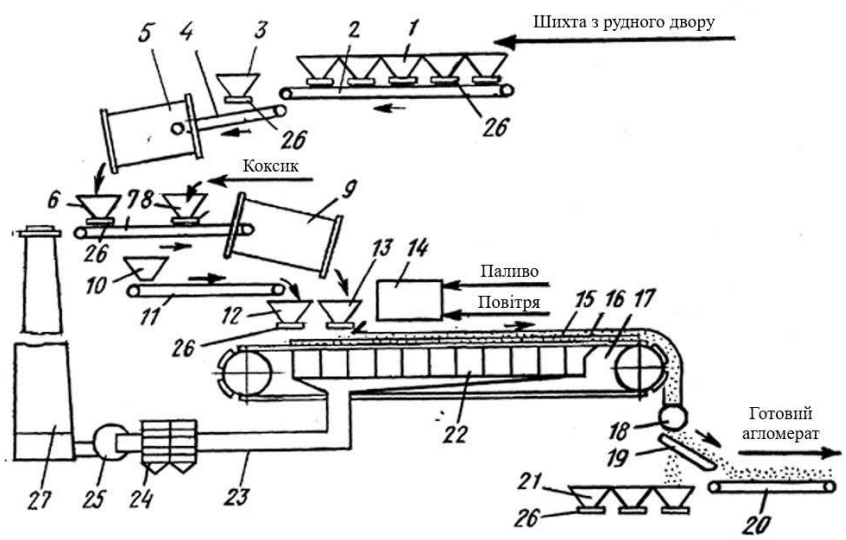
Метою даної кваліфікаційної роботи є розроблення системи автоматизації агломашини в умовах металургійного підприємства із застосуванням технічних засобів на базі програмованих контролерів. У роботі передбачено вибір і обгрунтування технічних і програмних засобів автоматизації, розроблення повного комплекту технічної документації: структурної та функціональної схем автоматизації, принципово-електричних схем, монтажно-комутаційної схеми шафи КВПіА, схеми зовнішних з'єднань, розрахунок техніко-економінчих показників від впровадження спроєктованої системи автоматизації на виробництві.

1. ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ МАШИНИ. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Агломераційна машина і алгоритм її роботи

На металургійних підприємствах для процесу агломерації застосовують машини конвеєрного типу з безперервним режимом спікання. Обладнання цього типу призначене для кускування дрібнодисперсних залізорудних матеріалів, концентратів та виробничих відходів із вмістом заліза, а також для часткового видалення шкідливих домішок і отримання офлюсованого агломерату, придатного для доменного виробництва.

Конструктивно агломераційна машина являє собою безкінечну стрічку, сформовану з окремих спікальних візків (палет), які не з'єднані жорстко між собою та переміщуються по напрямних за допомогою роликів. [1,2] Загальний вигляд машини подано на рис. 1.1.



1– приймальний бункер; 2,4– транспортні конвеєри; 3,6,8– бункери; 5 – барабан-змішувач; 7,11,20 – транспортери; 9 – барабан-окомковувач; 10 – приймальний бункер; 12,13 – проміжні бункери; 14 – горн; 15 – шихта; 16 – прошарок із підвищеною газопроникністю; 17 – агломашина; 18 – дробарка; 19 – грохот; 21 – бункер для возврату; 22 – вакуум-камери; 23 – колектор; 24 – циклон; 25 – ексгаустер; 26 – живильник; 27 – труба.

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд агломашини

Шихта з шихтового двору подається до приймальних бункерів (1), звідки у заданому співвідношенні за допомогою конвеєрів (2, 4) транспортується до барабана-змішувача (5). У цих апаратах здійснюється змішування компонентів, їх зволоження та окомкування. Основна мета цього етапу — отримання однорідної за хімічним складом суміші з оптимальною структурою, що забезпечує високу газопроникність шару під час спікання. [1,2]

Із бункера (3) у змішувач подається возврат, який складається з відсіву агломерату та непроспеченої шихти, отриманих під час грохочення готової продукції. Наявність возврату сприяє інтенсифікації процесу спікання, оскільки покращує газопроникність шихтового шару. Його кількість у складі шихти повинна підтримуватися стабільною і становити 20–25 % від загальної маси суміші.

У процесі перемішування дрібні зволожені частинки злипаються між собою, утворюючи грудочки. Завдяки цьому шихта набуває зернистої та пухкої структури, що позитивно впливає на проходження газів у процесі спікання.

Після змішування шихта надходить до бункера (6), звідки через транспортер (7) разом із коксиком з бункера (8), у встановленій пропорції, спрямовується до барабана-окомкувача (9). У цих барабанах передбачено автоматичний пристрій, який припиняє подачу води у випадку зупинки агломераційної машини.

Дозування компонентів шихти перед спіканням здійснюється безпосередньо на конвеєрах у режимі автоматичного регулювання співвідношення «вапняк – паливо». Необхідні витрати матеріалів задаються відповідно до технологічних норм і подаються на збірний транспортер (2) живильниками (26) з відповідних бункерів. Для розвантаження бункерів переважно застосовують тарілчасті та вібраційні живильники.

Із складів флюсів і палива суміш вапняків транспортується системою конвеєрів до бункерів дробильного відділення. Далі матеріал за допомогою

електровібраційних трубоконвеєрів або інерційних живильників спрямовується в молоткові дробарки. Після подрібнення продукт надходить на вібраційний грохот, де розділяється на три фракції, які відводяться різними конвеєрами.

Як паливо для агломерації використовують суміш антрацитового штибу та коксового дріб'язку. Компоненти паливної суміші дозуються у визначеній пропорції на складі флюсів і палива, після чого подаються конвеєрною системою до бункерів чотирьохвалкових дробарок.

Дозування шихтових матеріалів здійснюється ваговим (роздільним) способом відповідно до затверджених нормативів і розрахунків на поточний період роботи. Основна мета цього етапу — забезпечення отримання агломерату стабільної якості з заданими фізико-хімічними показниками. Подача шихти з дозувального відділення на всі працюючі агломашини відбувається єдиним потоком. Обсяг подачі повинен точно відповідати фактичній продуктивності машин, оскільки як надлишок, так і нестача шихти негативно впливають на перебіг процесу спікання. Контроль витрати компонентів здійснюється ваговимірювальними приладами двох типів: окремо для флюсів і палива та для рудної частини і возврату. Важливе значення має також порядок заповнення бункерів і видачі матеріалів, адже вони повинні забезпечувати максимальне усереднення суміші.

Підготовлена шихта (15) із проміжного бункера (13) безперервно й рівномірно подається завантажувальною системою на агломашину (17) та укладається на рухомий ланцюг колосникових візків (палет). Перед цим на палети наноситься прошарок із підвищеною газопроникністю (16), який надходить із приймального (10) та проміжного (12) бункерів транспортером (11).

Система завантаження повинна формувати шар шихти з максимально можливою та рівномірною по ширині палет газопроникністю. До її складу входять бункер із випускним вікном, барабанний живильник і завантажувальний лоток. Пристрій забезпечує подачу шихти на палети

рівномірним шаром як по ширині машини, так і в часі. Для завантаження застосовується спеціальний завантажувальний пристрій, кут нахилу й відстань якого до колосників регулюються залежно від висоти шару та властивостей шихти, забезпечуючи сегрегацію матеріалу за крупністю. Після укладання поверхню шару вирівнюють гладилкою, встановленою за завантажувальним пристроєм.

Висота шару визначається з урахуванням газопроникності. Зменшення товщини шару призводить до зниження міцності агломерату, зростання питомої витрати палива та збільшення виходу возврату. Тому рівномірність розподілу шихти є необхідною умовою стабільного перебігу процесу спікання.

Спікання розпочинається із запалювання верхнього шару шихти в камерному горні (14) із чотирма торцево розташованими пальниками, що працюють на природному газі. Подача газу допускається лише за умови гарантованого займання — від полум’я або розпеченої поверхні шихти. Запалювання залишатиметься ефективним при забезпеченні правильного співвідношення газу й повітря, їх рівномірним розподілом між пальниками, стабільної вологістю та вмісту вуглецю в шихті, а також рівномірному завантаженні палет.

Подальший процес спікання здійснюється відповідно до технологічної карти з урахуванням технічного стану агломашин і встановлених норм витрат матеріалів. У міру просування візків до хвостової частини машини зона горіння коксика переміщується з верхніх шарів у нижні. Цьому сприяє розрідження, створюване у вакуум-камерах (22) за допомогою ексгаустера (25), що забезпечує проходження повітря через шар шихти.

Охолодження агломерату відбувається безпосередньо на працюючій машині в зоні охолодження. Після сходження з палет готовий агломерат подрібнюється у дробарках (18), проходить відсів на грохотах (19), охолоджується та транспортером (20) направляється до доменного цеху. Дрібна неспечена фракція (возврат) надходить у бункери (21) і повторно повертається в процес спікання як добавка до шихти (через бункер 10).

Продукти згоряння разом із повітрям із вакуум-камер через колектор (23) подаються на очищення в циклони (24), після чого видаляються ексгаустером (25) в атмосферу через трубу (27). [1,2]

1.2 Етапи агломераційного процесу

Агломерація — це складний термохімічний процес, у ході якого дрібнодисперсні залізовмісні матеріали (рудні концентрати, пил, шлам), флюси та паливо спікаються в пористу масу — агломерат. Метою процесу є отримання високоякісного продукту з оптимальними фізико-хімічними властивостями для доменного виробництва і складається з таких основних етапів:

Підготовка сировини

Цей етап охоплює підбір, дозування, змішування та зволоження всіх компонентів аглошихти.

Основні компоненти:

- залізовмісна сировина — концентрати, оксидна руда, металургійні шлами та пил, які є побічними продуктами доменного і сталеплавильного виробництва.
- флюси — вапняк, доломіт, іноді магнезит, які забезпечують формування шлаку потрібного складу під час плавлення та сприяють агломерації.
- паливо — подрібнений кокс або антрацит, що служить джерелом тепла під час спікання.

Сировина дозується згідно з технологічною картою і перемішується в змішувачах. Перед подачею на агломераційну стрічку її зволожують до вологості 7–10 %, що забезпечує зв’язність шихти та її рівномірне укладання.

Завдання цього етапу:

- забезпечити однорідність шихти;
- створити оптимальні умови для ініціювання процесу спікання;
- покращити грануляцію суміші.

Формування шару шихти

Змішана та зволожена шихта транспортується стрічковими конвеєрами до бункерів агломашини, де подається на рухому колосникову решітку.

Особливості формування шару:

- товщина шару зазвичай становить від 200 до 500 мм;
- укладення відбувається рівномірно по ширині стрічки;
- верхній шар зазвичай складається з більш дрібнозернистого матеріалу для кращого запалювання;
- контроль товщини та швидкості стрічки забезпечується автоматизованими системами.

Однорідність шару — критичний параметр, оскільки від нього залежить рівномірність прогріву, час проходження фронту горіння, якість спікання та продуктивність машини.

Запалювання шихти

На початку агломераційної стрічки шихта піддається впливу високотемпературного газового потоку з пальників. Джерелом тепла є природний газ або мазут, що спалюються у спеціальних форсунках.

Мета запалювання:

- нагріти верхній шар шихти до 1200–1400 °C;
- запустити процес внутрішнього горіння коксу, що міститься в шихті;
- ініціювати подальше спікання шару згори донизу.

Процес запалювання — дуже чутливий до температурного режиму. Недостатній нагрів призводить до неповного спікання, тоді як надмірне — до перегріву та появи розтріскування агломерату.

Горіння та спікання шару шихти

Це основна фаза технологічного процесу агломерації, в якій формуються фізико-хімічні властивості майбутнього агломерату. Після запалювання верхнього шару шихти починається самостійне горіння паливної складової, закладеної в шихту (дрібний кокс або вугілля). Горіння супроводжується

інтенсивним виділенням тепла, яке поширюється по всьому шару зверху донизу.

У процесі горіння відбуваються такі ключові реакції:

- горіння вуглецю (C):

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + \text{тепло}$$

- часткове відновлення оксидів заліза:

$$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO$$

- формування шлакових фаз із флюсів (CaO, MgO): Шлакові компоненти плавляться й сприяють зв’язуванню частинок у монолітну масу.

Під час цього етапу частинки шихти частково плавляться на межах контакту, що призводить до утворення спеченої структури. Завдяки наявності порожнин, які залишаються після виділення газів, структура агломерату зберігає високу пористість — до 30–40%, що є важливою умовою для газопроникності в доменній печі.

Тривалість горіння залежить від товщини шару, швидкості руху стрічки та інтенсивності тяги. Зазвичай становить 20–40 хвилин.

Спікання шихти – це процес відбувається всередині агломашини під дією тяги димососів, що створюють потік повітря через шар. Рух повітря сприяє прогріву шихти й просуванню фронту горіння.

Охолодження агломерату

Після завершення спікання агломерат на виході з агломашини має температуру понад 1000 °C. Його необхідно охолодити до робочих температур (150–200 °C) перед подальшим подрібненням і транспортуванням.

Спосіб охолодження:

- агломерат потрапляє на охолоджувачі, де на нього діє потік холодного повітря;
- повітря забирає тепло, проходячи через пористу масу спеченого матеріалу знизу вгору.

Мета охолодження:

- стабілізувати мікроструктуру агломерату;
- запобігти утворенню тріщин і руйнуванню;
- знизити температуру до рівня, безпечного для дробильного обладнання.

Процес охолодження також виконує енергетичну функцію: нагріте охолоджувальне повітря може бути повторно використане у виробничому циклі (наприклад, для підігріву повітря в доменній печі).

Подрібнення та сортування агломерату

Після охолодження агломерат подається на дробарки, де його подрібнюють до фракцій необхідного розміру. Відтак матеріал надходить на грохоти або сортувальні установки, де виконується розділення на придатні та непридатні фракції.

- придатні фракції (зазвичай 5–40 мм) — транспортуються в бункери доменного цеху для подальшого використання.
- дрібні фракції (<5 мм) — повертаються у цикл як зворотна сировина (вторинна шихта).

Такий підхід забезпечує максимальне використання матеріалу, зменшуючи відходи і витрати сировини.

Контроль якості агломерату

Якість агломерату визначає ефективність його застосування в доменних печах, тому контроль здійснюється на всіх етапах — від підготовки шихти до виходу готової продукції.

Основні показники контролю наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Основні показники контролю

Параметр	Значення / Призначення
Міцність	Стійкість до механічного руйнування при транспортуванні
Пористість	Забезпечує газопроникність у доменній печі
Гранулометрія	Оптимальна фракція (5–40 мм)
Хімічний склад	Вміст Fe, SiO_2, CaO, MgO, S, P
Температурна стійкість	Стійкість до теплових ударів у печі

Контроль здійснюється автоматизованими системами та лабораторією технічного контролю. Застосовуються методи хімічного аналізу, просіювання, випробування на стирання, випалу з оцінкою залишку, пористості тощо.

1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації агломераційної машини на діючому виробництві

Автоматизація підготовки та дозування шихти

Найбільш відповідальною ділянкою є дозування компонентів шихти. На підприємстві цей процес організований у автоматичному режимі. Витрати рудної частини, флюсів, палива та возврату контролюються ваговими датчиками та регулюються зміною продуктивності живильників і швидкості конвеєрів.

Фактично оператор не «керує вручну» кожним потоком матеріалу, а задає необхідні параметри, після чого система підтримує встановлені співвідношення. Це дозволяє:

- зменшити коливання хімічного складу шихти;
- забезпечити стабільну якість агломерату;
- знизити перевитрату палива.

Разом з тим, повністю виключити вплив людського фактора неможливо: коригування складу шихти здійснюється залежно від якості сировини, що надходить, і часто потребує технологічного аналізу та втручання персоналу.

Контроль процесу спікання

Процес спікання на агломашині контролюється за основними технологічними параметрами:

- температурою запалювання;
- розрідженням у вакуум-камерах;
- швидкістю руху палет;
- висотою шару шихти;
- витратою природного газу на горні.

Усі ці параметри вимірюються датчиками та відображаються на пульті керування. Система автоматично підтримує задані значення розрідження через регулювання роботи ексгаустерів, а також стабілізує швидкість руху агломашини залежно від умов процесу.

Однак варто зазначити, що оптимізація процесу спікання переважно здійснюється за класичними алгоритмами регулювання (ПІД-контурів), без повноцінного впровадження адаптивних або інтелектуальних систем керування. Це означає, що система добре підтримує стабільність, але не завжди автоматично знаходить найбільш енергоефективний режим.

Диспетчеризація та візуалізація

На аглофабриці функціонує централізована система диспетчерського контролю. Технологічна інформація з датчиків (тиск, температура, витрата, струмові навантаження електроприводів тощо) передається до операторської, де відображається у вигляді мнемосхем.

Оператор у режимі реального часу бачить стан обладнання, аварійні сигнали, відхилення параметрів та може оперативно втрутитися у процес. Наявність архівування даних дозволяє аналізувати роботу агрегатів за певний період та виявляти причини нестабільності.

Автоматизація газоочищення

Важливим елементом є автоматизоване керування аспіраційними та газоочисними установками. Система підтримує необхідне розрідження у

вакуум-камерах агломашини, регулює роботу ексгаустерів і контролює параметри очищення газів.

Це має не лише технологічне, а й екологічне значення — стабільність режиму напряму впливає на рівень викидів.

Загальна оцінка

У цілому рівень автоматизації агломераційної машини на ПАТ «Запоріжсталь» можна охарактеризувати як достатньо високий для класичного металургійного виробництва.

Автоматизовані:

- дозування шихти;
- контроль спікання;
- регулювання розрідження;
- робота ексгаустерів;
- диспетчерський контроль.

Разом із тим, існують напрямки для подальшого розвитку:

- впровадження систем оптимізації процесу на основі математичних моделей;
- застосування адаптивного або предиктивного керування;
- глибша інтеграція виробничих даних із аналітичними платформами.

Таким чином, агломераційне виробництво підприємства працює на базі сучасних засобів автоматизації, однак потенціал для підвищення енергоефективності та якості продукції за рахунок цифровізації процесів залишається актуальним.

1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків

Управління технологічним процесом по суті є інформаційним процесом, який забезпечує нормальне протікання матеріального (виробничого) процесу та досягнення заданої технологічної мети. Тобто для того, щоб фізичний

процес спікання відбувався у встановлених режимах, необхідно постійно отримувати, аналізувати та використовувати інформацію про його стан.

Інформаційне забезпечення автоматизованої системи управління (АСУ) охоплює повний цикл роботи з даними: їх отримання, перетворення, зберігання, обробку та передачу керуючих впливів. Без налагодженого обміну інформацією між датчиками, контролерами та оператором ефективне управління технологічним процесом є неможливим.

З точки зору АСУ інформація поділяється на вхідну, проміжну та вихідну. Вхідна інформація надходить від первинних вимірювальних приладів, встановлених на агломашині. Це дані про температуру, тиск, розрідження у вакуум-камерах, витрати матеріалів, швидкість руху палет та інші технологічні параметри.

Проміжна інформація формується в процесі обробки отриманих сигналів. Вона є результатом перетворення, фільтрації, узагальнення та розрахунків, які виконуються засобами автоматизації для подальшого прийняття рішень.

Вихідна інформація — це, насамперед, керуючі дії, які система формує для впливу на технологічний процес (зміна швидкості конвеєрів, регулювання витрати палива, коригування розрідження тощо). Крім того, до вихідної інформації належать дані про поточний стан процесу, що відображаються оператору для контролю та аналізу.

Точність вимірювання параметрів, своєчасність їх обробки та достовірність передачі інформації оператору безпосередньо впливають на можливість підтримання заданих технологічних режимів. Помилки або затримки в інформаційних потоках можуть призвести до відхилень у процесі спікання та погіршення якості агломерату.

Отже, для ефективного ведення процесу спікання агломераційної шихти необхідно розглядати його як єдину систему, що складається не лише з технологічного обладнання, а й з взаємопов’язаних інформаційних потоків, які забезпечують управління цим обладнанням.

Схема інформаційних і матеріальних потоків наведена на рисунку 1.2.

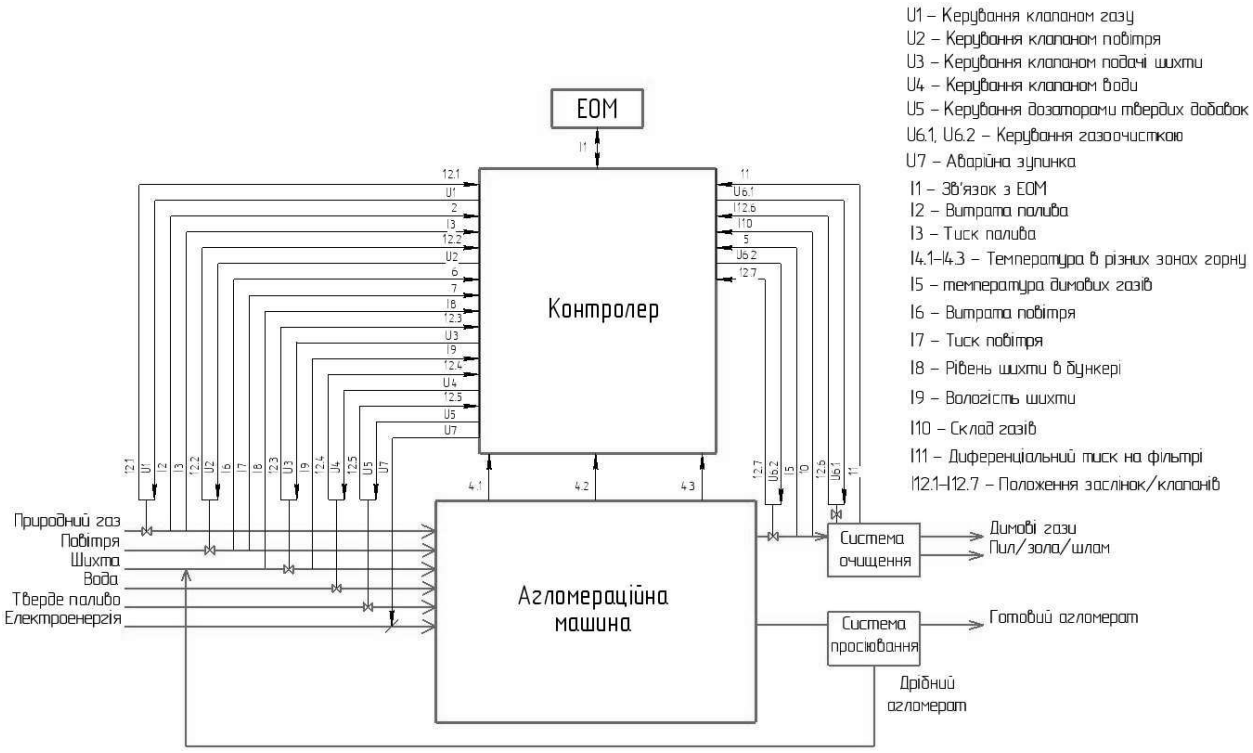


Рисунок 1.2 – Схема інформаційних та матеріальних потоків

Вихідною сировиною, що надходить на об’єкт управління, є агломераційна шихта, а кінцевим продуктом процесу — готовий агломерат. Окрім шихти, до технологічного об’єкта подаються допоміжні ресурси: природний газ, повітря та вода, необхідні для забезпечення процесу запалювання і спікання. У результаті роботи агрегату відводяться димові гази та возврат (дрібна фракція агломерату, що повертається у виробництво).

Передача інформації від датчиків до системи керування здійснюється через нормуючі перетворювачі. Вони забезпечують узгодження сигналів первинних вимірювальних приладів із входами контролера, а також формування вихідних сигналів для впливу на виконавчі механізми або електродвигуни. Таким чином, перетворювачі виконують функцію проміжної ланки між вимірювальними елементами та системою автоматичного керування.

Виконавчі механізми реалізують безпосередній вплив на технологічний процес — регулюють подачу газу, повітря та води відповідно до команд контролера. Після обробки вхідної інформації контролер формує керуючі сигнали, які передаються на відповідні приводи та регулюючі органи.

Електродвигуни забезпечують зміну швидкості роботи основного обладнання, зокрема віброживильника завантажувального бункера, барабанного живильника проміжного бункера або руху агломераційної стрічки. Регулювання швидкості цих механізмів дозволяє підтримувати необхідну продуктивність і стабільність процесу спікання.

Інформація про стан технологічного процесу з контролера передається на ЕОМ верхнього рівня. Там вона аналізується відповідно до закладених алгоритмів управління, після чого у контролер надходять технологічні завдання або коригуючі впливи. Використовуючи SCADA-систему, оперативний персонал здійснює моніторинг параметрів процесу в реальному часі та, у разі відхилень від заданих режимів, вводить необхідні коригування.

Безпосереднє оперативне керування технологічним процесом здійснюється з пульта (щита) управління, який забезпечує взаємодію оператора з автоматизованою системою.

1.5 Стан рівня автоматизації на аналогічних об’єктах підприємств України та зарубіжжя

ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

На заводі в м. Кривий Ріг впроваджена сучасна система автоматичного контролю технологічних параметрів на агломашинах [4]. Використовуються:

- SCADA/PLC-системи від провідних виробників;
- автоматичне дозування компонентів шихти;
- регулювання розрідження та аспірації;
- централізована диспетчеризація процесів.

Технічні рішення схожі з тими, що застосовуються на ПАТ «Запоріжсталь», але активно впроваджуються цифрові інструменти для:

- збору та аналізу великих масивів технологічних даних;
- прогнозування відмов обладнання.

МК «Азовсталь»

Агломашини металургійного комплексу [5] також оснащені сучасними системами ПЛК та SCADA, що забезпечують:

- автоматичне регулювання параметрів шихти;
- моніторинг режимів газоочищення;
- інтеграцію даних із центральною диспетчерською.

Водночас частково зберігається залежність від операторського контролю при налаштуванні:

- режимів запалювання;
- корекції параметрів при зміні якості сировини.

ІНТЕРПАЙП [6] та інші підприємства

На деяких середніх металургійних та прокатних підприємствах автоматизація агломашин частіше обмежується:

- контролем основних технологічних параметрів;
- автоматичним регулюванням дозування;
- автоматичними сигналами та захистами.

Однак повноцінних SCADA-систем і централізованої диспетчеризації може бракувати.

Автоматизація на великих європейських заводах

На провідних металургійних підприємствах Європи (наприклад, у Німеччині, Франції) автоматизація агломераційних об’єктів досягла дуже високого рівня:

Комплексні системи управління процесом, що включають:

- SCADA/PLC;
- системи прогнозної діагностики;

– системи оптимізації режимів у реальному часі (Real-Time Optimization);
– автоматичне калібрування датчиків.

Інтелектуальні алгоритми управління

Використовуються математичні моделі, штучний інтелект та машинне навчання для:

– автоматичного підбору оптимальних режимів;
– зниження енергоспоживання;
– підтримки стабільної якості агломерату.

Інтеграція з ERP та MES

Інформація з аглофабрик напряму інтегрується в корпоративні системи:

– планування виробництва;
– управління запасами;
– аналіз якості продукції.

Підприємства в Північній Америці (США, Канада)

Технічний рівень дуже схожий на європейський, але з більшою увагою до:

– енергозбереження;
– автоматичного контролю викидів;
– передового діагностування обладнання.

Тут широко застосовуються:

– бездротові сенсорні мережі;
– інтелектуальні системи підтримки рішень;
– моделі оптимального регулювання (model-predictive control).

Порівняльна характеристика систем автоматизації наведена у таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика

Аспект автоматизації	Україна	Провідні закордонні підприємства
SCADA/PLC мережі	так	так
Автоматичне дозування компонентів	так	так, із самонавчанням

Продовження табл. 1.2

Аспект автоматизації	Україна	Провідні закордонні підприємства
Центральна диспетчеризація	частково	повністю
Оптимізація у реальному часі	частково	активно впроваджується
Інтеграція з ERP/MES	обмежено	широко
Машинне навчання / AI	обмежено	застосовується

1.6 Недоліки існуючої системи управління

Незважаючи на те, що агломераційне виробництво на підприємстві ПАТ «Запоріжсталь» має достатньо високий рівень технічного оснащення та автоматизації, існуюча система керування не є повністю досконалою і має низку суттєвих обмежень. Ці недоліки не призводять до зупинки процесу, однак впливають на його енергоефективність, стабільність показників та якість кінцевого продукту.

Перш за все слід зазначити, що більшість контурів регулювання побудовані за класичним принципом стабілізації параметрів. Система добре підтримує задані значення витрати шихти, розрідження у вакуум-камерах, швидкість руху палет та подачу природного газу на горн. Проте вона працює переважно за наперед встановленими алгоритмами та не враховує повною мірою змінні властивості сировини. У реальних умовах якість руди, гранулометричний склад, вологість та частка возврату можуть суттєво коливатися. За таких обставин система не завжди здатна самостійно адаптувати режим спікання, і значна роль у коригуванні параметрів залишається за оператором.

Саме вплив людського фактора є одним із головних обмежень існуючого рівня автоматизації. Хоча основні параметри відображаються на пульті керування, рішення щодо зміни швидкості агломашини, коригування складу

шихти або режиму запалювання часто приймаються на основі досвіду персоналу. Різні зміни можуть працювати з різною ефективністю, що створює нестабільність показників якості агломерату. Таким чином, система виконує функцію контролю та підтримки, але не повністю автоматизує прийняття технологічних рішень.

Таким чином, існуючий рівень автоматизації забезпечує стабільність і керованість процесу спікання, проте має переважно класичний характер і не використовує повністю потенціал сучасних адаптивних та інтелектуальних систем керування. Виявлені недоліки створюють передумови для розробки удосконаленої автоматизованої системи, яка б поєднувала стабілізацію параметрів із їх оптимізацією, зменшувала вплив людського фактора та підвищувала енергоефективність агломераційного виробництва.

2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Вимоги до системи в цілому

Система автоматизації агломераційної машини повинна забезпечувати стабільну, надійну та ефективну роботу технологічного процесу спікання шихти при мінімальному втручанні оперативного персоналу. Основною метою її впровадження є підвищення якості готового агломерату, зниження витрат енергоресурсів та забезпечення безпечних умов праці.

У першу чергу система повинна працювати в безперервному режимі, оскільки агломераційний процес не допускає частих зупинок. Будь-які відмови або збої можуть призвести до значних виробничих втрат, тому особлива увага приділяється надійності обладнання та програмного забезпечення. Система має бути стійкою до впливу зовнішніх факторів, таких як пил, підвищена температура, вібрації та електромагнітні завади, що характерні для умов металургійного виробництва.

Важливою вимогою є забезпечення високої точності вимірювання та регулювання технологічних параметрів. Контроль температури, витрат газу і повітря, розрідження у вакуум-камерах, вологості шихти та швидкості аглострічки повинен здійснюватися з мінімальними похибками, оскільки навіть незначні відхилення можуть негативно вплинути на процес спікання.

Система повинна мати ієрархічну структуру, що включає нижній рівень (датчики, виконавчі механізми), середній рівень (програмований логічний контролер) та верхній рівень (операторська станція з SCADA-системою). Така структура забезпечує ефективний розподіл функцій управління та зручність обслуговування.

Система автоматизації повинна передбачати можливість архівування технологічних параметрів і подій. Це необхідно для аналізу роботи обладнання, виявлення причин відхилень та оптимізації технологічного

процесу. Збереження історичних даних також дозволяє проводити технічний аудит і підвищувати ефективність виробництва.

2.2 Вимоги до функцій, які виконує система

Система автоматизації агломераційної машини повинна виконувати комплекс функцій, які забезпечують повноцінне керування технологічним процесом спікання шихти. Ці функції охоплюють як контроль і регулювання параметрів, так і інформаційне забезпечення оператора та захист обладнання.

У першу чергу система повинна здійснювати безперервний контроль технологічних параметрів. До них належать температура в запалювальному горні та вакуум-камерах, витрати газу і повітря, тиск у газопроводах, розрідження, вологість шихти, рівень матеріалу в бункерах, а також швидкість руху аглострічки. Отримання достовірної інформації про ці параметри є основою для подальшого управління процесом.

На основі отриманих даних система повинна реалізовувати функції автоматичного регулювання. Зокрема, необхідно забезпечити підтримання заданої температури в горні, оптимального співвідношення «газ–повітря», стабільної вологості шихти, рівномірної подачі матеріалу та необхідного розрідження у вакуум-камерах. Регулювання має виконуватися в автоматичному режимі з можливістю коригування з боку оператора.

Важливою функцією є координація роботи окремих підсистем. Процеси завантаження, огрудкування, запалювання та спікання повинні працювати узгоджено. Наприклад, зміна продуктивності агломашини повинна автоматично впливати на подачу шихти, витрати палива та швидкість стрічки. Це дозволяє уникнути перевантажень або нестабільної роботи обладнання.

Не менш важливою є функція ручного та дистанційного керування. Оператор повинен мати можливість у будь-який момент втрутитися в процес, змінити уставки або перевести окремі вузли в ручний режим. Це особливо необхідно під час налагодження, ремонту або нестандартних ситуацій.

2.3 Вимоги до видів забезпечення

Для ефективного функціонування системи автоматизації агломераційної машини необхідно передбачити комплекс різних видів забезпечення, які разом формують основу її стабільної та безпечної роботи. До основних належать технічне, програмне, інформаційне, метрологічне, організаційне та ергономічне забезпечення.

Технічне забезпечення включає сукупність апаратних засобів, які використовуються для реалізації системи. До них повинні належати первинні перетворювачі (датчики температури, тиску, витрат, рівня, вологості), програмований логічний контролер, наприклад Siemens SIMATIC S7-1200, модулі введення/виведення, виконавчі механізми, електроприводи, а також операторські станції. Усе обладнання повинно відповідати умовам експлуатації в агломераційному цеху: витримувати підвищені температури, запиленість, вібрації та мати високий рівень надійності.

Інформаційне забезпечення передбачає організацію потоків даних у системі. Воно повинно включати формати сигналів, бази даних, архіви параметрів, журнали подій та аварій. Вся інформація повинна бути структурованою, доступною для аналізу та відображатися у зрозумілому вигляді для оператора. Особливу роль відіграє достовірність і своєчасність передачі даних, оскільки від цього залежить правильність управління процесом.

Метрологічне забезпечення спрямоване на забезпечення точності вимірювань. Воно повинно включати калібрування та перевірку вимірювальних приладів, контроль їх технічного стану, а також відповідність вимірювальних засобів чинним стандартам. Регулярна повірка датчиків повинна дозволити уникнути похибок у вимірюваннях і підвищує якість регулювання технологічних параметрів.

2.4 Вимоги до надійності САР

Система автоматизації (СА) є багатофункціональною та легко обслуговуваною. Вимоги до надійності СА повинні відповідати вимогам ДСТУ 2860-94 [7].

Надійність СА характеризується такими параметрами:

- середнім напрацюванням на відмову та середнім часом відновлення (для безперервно виконуваних процесів);
- коефіцієнтом готовності (для дискретно виконуваних функцій);

Рівень надійності виконання функцій СА має відповідати таким вимогам:

- середній час відновлення по кожній із функцій не більше 4 годин.
- середнє напрацювання на відмову не менше 1000 год.
- коефіцієнт відповідності по кожній із функцій не менше 0,998λ.
- середній строк служби АСУ ТП не менше 6 років.

Проєктна оцінка надійності СА здійснюється на стадії технологічного проєктування математичним методом у формі орієнтовного розрахунку надійності;

Експериментальна оцінка надійності СА здійснюється в умовах дослідної та промислової експлуатації шляхом збору та обробки даних про надійність виконання функцій АСУ ТП.

3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА

Функціонально автоматизована система керування агломераційною машиною на нижньому рівні управління поділяється на кілька підсистем. До них належать підсистеми керування електроприводами та виконавчими механізмами агломераційної лінії, а також підсистеми, що забезпечують контроль стану технологічного обладнання і формування законів керування технологічними процесами.

Підсистеми контролю та керування виконують ряд важливих функцій. Насамперед вони забезпечують збір інформації про стан обладнання і передачу цих даних до автоматизованої системи управління. До такої інформації належать дані про:

- стан контактної та комутаційної апаратури у шафах керування;
- роботу систем автоматики виконавчих механізмів;
- спрацювання захистів, блокувань і аварійних вимикачів.

Також здійснюється контроль комутаційної апаратури, що розміщена на постах місцевого керування та операторських пультах.

Крім збору інформації, система виконує прийом керуючих сигналів і забезпечує управління комутаційною апаратурою, частотними перетворювачами та пристроями плавного пуску, за допомогою яких регулюється робота основного обладнання агломераційної лінії. Одночасно вирішуються локальні завдання керування допоміжними системами та узгоджується робота різних виконавчих механізмів, що беруть участь у технологічному процесі. Також формується передпускова та аварійна сигналізація, що дозволяє оперативно інформувати персонал про стан обладнання та можливі відхилення.

У комплексі всі підсистеми повинні забезпечувати контроль основних технологічних параметрів процесу. До них належать температура

запалювального горна, витрати газу та повітря, що подаються до нього, а також тиск газу і повітря. Контролюється температура в двох передостанніх вакуум-камерах, величина розрідження у вакуумних камерах, витрати води, що подається в барабан-змішувач, швидкість руху агломераційної стрічки та висота шару шихти на її поверхні.

Окрім контролю параметрів, система автоматизації повинна забезпечувати їх регулювання. Зокрема, регулювання вологість шихти в барабані-окомковувачі, рівень шихти в проміжному бункері та висота шару шихти на агломераційній стрічці. Також здійснюється контроль і регулювання моменту завершення процесу спікання. Важливими параметрами регулювання є температура запалювального горна, тиск повітря і газу, що подаються до нього, а також оптимальне співвідношення газу і повітря для забезпечення стабільного горіння. Окремо регулюється розрідження у вакуум-камерах, що забезпечує правильний перебіг процесу спікання агломераційної шихти.

3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру

Список керованих величинах агломераційного процесу і відповідних керуючих впливах наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Контрольовані параметри та керуючі впливи

Контрольований параметр	Засоби вимірювання	Керуючий вплив
Вологість шихти	1. Нейтронні вологоміри 2. Кондуктометричний датчик 3. Фотометричний метод	Регулювання подачі води в змішувач
Рівень шихти у проміжному бункері	Датчик рівня	Регулювання витрати шихти у завантажувальний бункер
Тиск палива та повітря в горні	Датчик тиску	Зміна положення регулюючого органу

Продовження табл. 3.1

Контрольований параметр	Засоби вимірювання	Керуючий вплив
Висота шару шихти на аглострічці	Датчик висоти шару	Регулювання подачі шихти з бункера
Температура в горні запалювання	Радіаційний пірометр	Регулювання витрати палива у горн
Витрата палива та повітря в горні	Діафрагми у трубопроводах та дифманометри	Керування положенням регулюючого органу
Розрідження у вакуум-камерах	Тягоміри	Регулювання швидкості ексгаустера
Завершення процесу спікання	1. Температура у крайніх вакуум-камерах зони спікання 2. Аналіз складу відпрацьованих газів у цих камерах 3. Контроль освітленості у вакуум-камерах	1. Зміна швидкості руху агломераційної стрічки 2. Регулювання розрідження у вакуум-камерах

3.3 Вибір математичної моделі системи управління температурою в горні агломераційної машини

Для дослідження динамічних властивостей системи автоматичного регулювання температури в горні агломераційної машини необхідно розробити математичну модель об'єкта керування.

Об’єктом керування в даному випадку є температурний режим горна агломераційної машини, який визначає якість процесу спікання шихти та формування агломерату.

Температура в горні залежить від ряду технологічних факторів, основними з яких є: витрата газоподібного палива, кількість і тиск дуттьового повітря, склад та вологість аглошихти, швидкість руху агломераційної стрічки, теплові втрати через конструкції агрегату.

Процес горіння та теплообміну в горні характеризується значною інерційністю, оскільки нагрів відбувається поступово через шар матеріалу, а також присутні затримки, пов’язані з поширенням фронту горіння.

У зв’язку з цим об’єкт керування доцільно представити у вигляді аперіодичної ланки першого порядку із запізненням, аналогічно базовій моделі .

Передаточна функція такого об’єкта має вигляд:

$$W(s) = \frac{K}{Ts+1} e^{-\tau s}, \tag{3.1}$$

де K – коефіцієнт підсилення об’єкта;

T – постійна часу об’єкта;

τ – час транспортного запізнення;

s – оператор Лапласа.

Для горна агломераційної машини приймемо параметри:

- K = 1,5
- T = 180 с
- τ = 40 с

Тоді за формулою (3.1) передаточна функція об’єкта матиме вигляд:

$$W(s) = \frac{1{,}5}{180s + 1} e^{-40s}$$

Коефіцієнт підсилення показує, наскільки змінюється температура в горні при зміні витрати газу. Постійна часу характеризує інерційність теплового процесу, а запізнення обумовлене часом від моменту зміни керуючої дії до початку помітної зміни температури.

Для налаштування закону регулювання використаємо метод для аперіодичних об’єктів із запізненням.

1. Коефіцієнт підсилення регулятора:

$$K_p = 0{,}6 * \frac{T}{\tau * K} \tag{3.2}$$

$$K_p = 0{,}6 * \frac{180}{40 * 1{,}5} = 1{,}8$$

2. Інтегральний час:

$$T_i = 4 * \tau \tag{3.3}$$

$$T_i = 4 * 40 = 160\ c$$

Інтегральний коефіцієнт:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \tag{3.4}$$

$$K_i = \frac{1{,}8}{160} = 0{,}01125$$

Отримана математична модель дозволяє: дослідити динаміку зміни температури в горні, оцінити перехідні процеси при зміні витрати палива, виконати налаштування ПІ-закону регулювання, перевірити стійкість системи автоматичного регулювання.

Для моделювання поведінки системи доцільно використовувати середовище MATLAB/Simulink [8], що дозволяє аналізувати перехідні характеристики та оптимізувати параметри ПІ - закону регулювання.

Програмна реалізація ПІ- закону регулювання подана на рисунку 3.1, а результати підбору коефіцієнтів показані на рисунках 3.2–3.5.

```
clc;
clear;
close all;

K = 1.5;
T = 180;
tau = 40;

s = tf('s');
W_obj = (K / (T*s + 1)) * exp(-tau*s);

Kp = 1.8;
Ti = 160;
Ki = Kp / Ti;

W_reg = Kp + Ki/s;

W_closed = feedback(W_reg * W_obj, 1);

figure;
step(W_closed, 1000);
grid on;
title('Перехідний процес температури в горні агломераційної машини');

info = stepinfo(W_closed);

disp('Показники якості:');
disp(info);
```

Рисунок 3.1 – Програмна реалізація ПІ- закону регулювання

Після запуску програми, можна побачити перехідний процес:

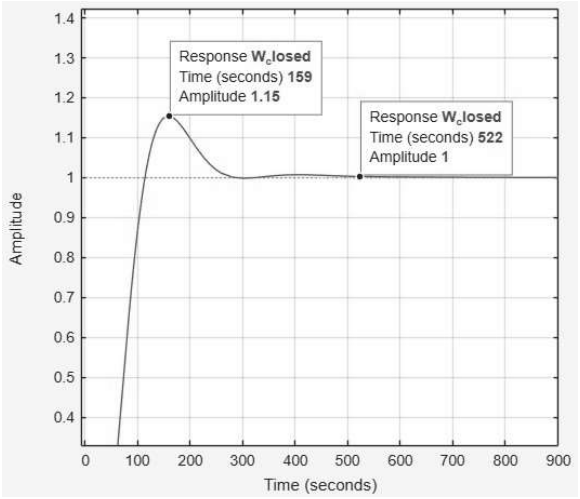


Рисунок 3.3 – Графік перехідного процесу при $К_і = 1,8$ і $Т_і = 160$

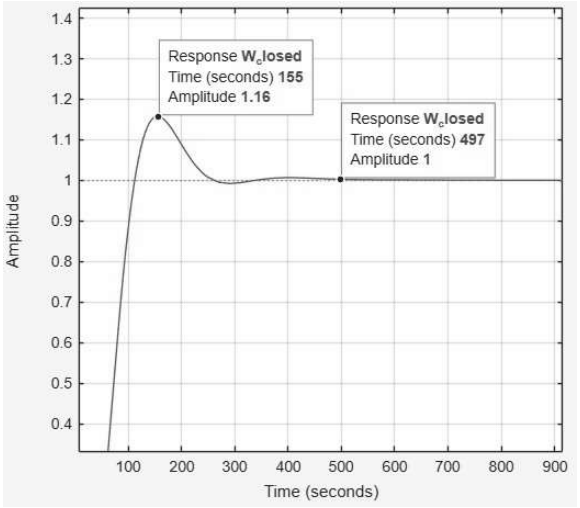


Рисунок 3.4 – Графік перехідного процесу при $К_і = 1,85$ і $Т_і = 165$

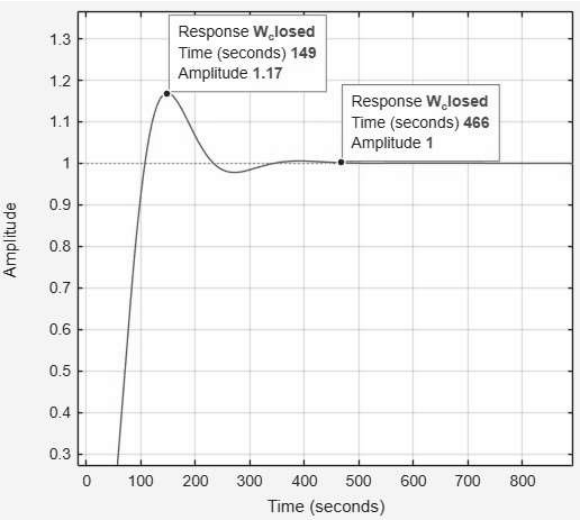


Рисунок 3.5 – Графік перехідного процесу при $К_і = 1,95$ і $Т_і = 175$

Після проведення аналізу отриманих графіків перехідного процесу з різними налаштуваннями встановлено, що графік перехідного процесу, представлений на рисунку 3.5, має найменший час перехідного процесу але при цьому в ньому присутня дещо більша амплітуда перерегулювання. Оскільки ця амплітуда не є критичною, а час значно менший в порівнянні з іншими варіантами, можна вважати найбільш оптимальним для системи регулювання температури в горні агломераційної машини.

Модель системи автоматичного регулювання температури в горні агломераційної машини реалізована у середовищі Simulink у вигляді замкненої системи з ПІ- законом регулювання. Модель показана на рисунку 3.6.

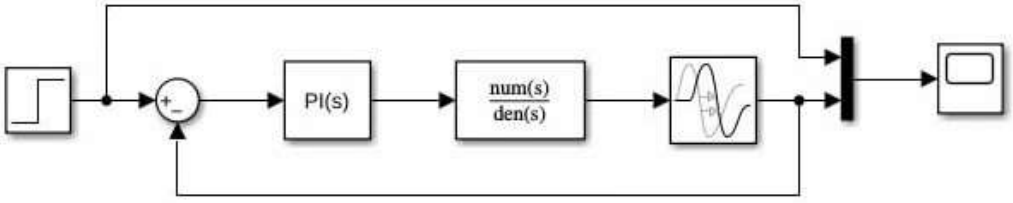


Рисунок 3.6 – Модель САР температури в середовищі Simulink

До складу моделі входять такі основні елементи:

- блок Step – задає зміну уставки температури;
- блок Sum – формує сигнал похибки;
- блок PI-регулятора – здійснює формування керуючого впливу;
- блок Transfer Function – описує динаміку об’єкта керування;
- блок Transport Delay – враховує запізнення теплового процесу;
- болк Mux – використовується для виведення завдання і фактичного значення на блок Scope;
- блок Scope – використовується для аналізу перехідного процесу.

Передаточна функція об’єкта враховує інерційність теплового процесу всередині горна та запізнення, що виникає від моменту зміни керуючої дії до початку помітної зміни температури.

Результат роботи моделі показаний на рисунку 3.7.

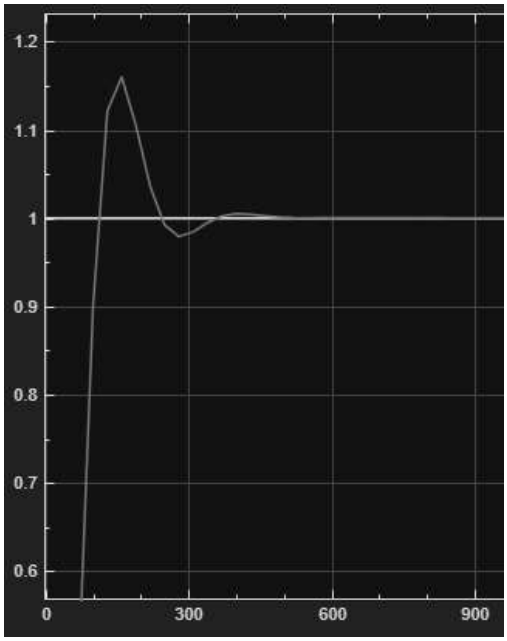


Рисунок 3.7 – Графік перехідного процесу моделі САР температури в горні у середовищі Simulink

3.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА

3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючі пристрої, вторинні прилади

У системі автоматизації агломераційного процесу важливу роль відіграють засоби вимірювання та обробки інформації, до яких належать первинні перетворювачі, нормуючі пристрої та вторинні прилади. Вони забезпечують отримання достовірних даних про стан технологічного процесу, їх перетворення у зручний для обробки вигляд та передачу до системи керування.

До первинних перетворювачів належать прилади, що безпосередньо взаємодіють із технологічним середовищем і здійснюють вимірювання основних параметрів процесу.

Безконтактний пірометр Raytek Thermalert 4.0 [9]

Raytek Thermalert 4.0 – це інфрачервоний (IR) пірометр для безконтактного вимірювання температури об'єктів, розташованих у

важкодоступних або високотемпературних зонах. Використовується в металургії, цементній промисловості, енергетиці, в т.ч. – для контролю температури у горні агломераційної машини.

Модель з 6-провідним інтерфейсом підтримує одночасно аналоговий вихід 4–20 мА та цифровий інтерфейс RS-485, що дає змогу підключати пристрій як до регулятора, так і до реєстратора MAS-100 або комп'ютера.

Загальний вигляд Raytek Thermalert 4.0 поданий на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Raytek Thermalert 4.0

Вхідні та вихідні сигнали подані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вхідні та вихідні сигнали

Тип сигналу	Призначення
Живлення (2 проводи)	Живлення пірометра (24 В DC)
Аналоговий вихід (2 проводи)	Сигнал 4–20 мА, пропорційний температурі
Цифровий інтерфейс (2 проводи)	RS-485 (Modbus RTU) для налаштування, обміну

Технічні характеристики подані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Діапазон температур вимірювання	250…1600 °C
Оптичне співвідношення (D:S)	60:1 або 100:1
Спектральний діапазон	0,8–1,1 мкм
Основна похибка вимірювання	±0,5% або ±2 °C

Продовження табл. 3.3

Параметр	Значення
Повторюваність	±1 °C
Вихідний сигнал	4–20 мА
Інтерфейс зв'язку	RS-485 (Modbus RTU)
Швидкість відгуку	120 мс
Живлення	24 В DC (18…30 В), споживання до 100 мА
Температура навколишнього середовища	–10…+60 °C без охолодження
Вихідна ізоляція	>500 В між аналоговим і цифровим контуром
Захист корпусу	IP65
Монтажна різьба	1/2" NPT або M30×1.5
Габарити	~170×40 мм
Маса	~0,5–0,7 кг

Реєстратор MAS-100 [10]

MAS-100 – це універсальний багатоканальний електронний реєстратор, призначений для:

– неперервного контролю та реєстрації технологічних параметрів;

– візуального моніторингу процесу у реальному часі;

– архівації вимірювань на внутрішній пам’яті або зовнішньому носії;

– передачі даних у АСУТП або на операторський комп’ютер.

Загальний вигляд MAS-100 поданий на рисунку 3.9.

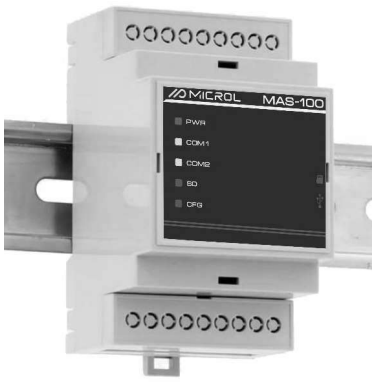


Рисунок 3.9 – MAS-100

Вхідні та вихідні сигнали подані в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Призначення
Аналогові входи (1 або більше)	Сигнал температури (0–5 В, 4–20 мА, термопара)
Інтерфейси передачі даних	RS-485, USB, Ethernet (залежно від моделі)
Відеовихід / дисплей	Вбудований графічний екран для індикації
Вихід тривоги (опц.)	Реле або транзистор (при перевищенні меж)
Пам’ять	Внутрішня + SD/USB (залежно від моделі)

Технічні характеристики подані в поблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Кількість аналогових каналів	1–4 (розширюється до 8/16)
Типи вхідних сигналів	0–10 В, 0(4)–20 мА, термопари, Pt100
Частота вибірки	1–10 Гц (залежить від кількості каналів)
Точність вимірювання	±0,2–0,5%
Дисплей	TFT або LCD, 3.5–7"
Інтерфейси	RS-232/RS-485, USB, Ethernet (опціонально)
Пам’ять	2–8 ГБ внутрішня + SD або USB (опція)
Формат зберігання	CSV, власний формат, сумісний з SCADA
Виходи тривоги	2–4 (реле 220 В / 5–10 А)
Напруга живлення	85–265 В AC або 24 В DC
Робоча температура	0…+50 °C
Захист передньої панелі	IP54–IP65
Монтаж	Щитовий (панельний виріз)
Габарити	~96×96 мм або 144×144 мм
Маса	~0,5–1 кг

Одноканальний індикатор-вимірювач МІКРОЛ ІТМ-310А [10]

ІТМ-310А – промисловий одноканальний індикатор - вимірювач, призначений для вимірювання температури, тиску, вологості, витрати, рівня

та інших фізичних величин у різних галузях промисловості (залежно від давача, який підключається).

Прилад може функціонувати як автономний індикатор або використовуватись у складі автоматизованих систем керування, контролю та диспетчеризації технологічних процесів (АСУ ТП) у хімічній, металургійній, енергетичній, машинобудівній та інших галузях.

Загальний вигляд ІТМ-310А поданий на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 – ІТМ-310А

Технічні характеристики ІТМ-310А подані в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Вхід універсальний	(4–20 мА, 0–10 В), термопари (ТХА, ТХК тощо), Pt100, Pt1000 тощо
Вихід	4–20 мА / 0–10 В (опція)
Дискретні виходи	до 4 (реле / транзистор)
Інтерфейс	RS-485 (Modbus RTU)
Індикація	LED, 4-розрядний
Живлення	100–230 В AC або 18–36 В DC
Монтаж	щитовий (48×96×106 мм)

Індикатор-вимірювач технологічних параметрів, чотириканальний з архівуванням МІКРОЛ ІТМ-304 [10]

ІТМ-304 – промисловий чотириканальний індикатор-вимірювач призначений для одночасного вимірювання, індикації, збереження та дистанційного моніторингу до чотирьох технологічних параметрів: температури, тиску, вологості, витрати, рівня та інших фізичних величин у різних галузях промисловості (залежно від давача, який підключається). Забезпечує формування вихідних сигналів керування та можливість доступу через WEB-інтрефейс.

Загальний вигляд ІТМ-304 поданий на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 – ІТМ-304

Технічні характеристики ІТМ-304 подані в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Вхід	4 канали (4–20 мА, 0–10 В), термопари, термометри опору тощо
Вихід	4–20 мА / 0–10 В (опція)
Дискретні виходи	до 8 (реле / транзистор)
Інтерфейс	RS-485 (Modbus RTU)
Живлення	100–230 В AC або 18–36 В DC
Монтаж	щитовий (96×96×153 мм)

Енкодер Siemens 1XP8000 [11]

Енкодер використовується як датчик зворотного зв’язку у системах електроприводу. Він перетворює механічне обертання валу в електричні

імпульси, що дозволяє визначати швидкість, кут повороту та положення. Застосовується в системах автоматичного керування для підвищення точності позиціонування.

Загальний вигляд Siemens 1XP8000 поданий на рисунку 3.12.



Рисунок 3.12 – Siemens 1XP8000

Технічні характеристики Siemens XP8000 подані в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип	інкрементальний / абсолютний
Роздільна здатність	до кількох тисяч імп./об
Напруга живлення	5–30 В DC
Вихідні сигнали	TTL / HTL
Інтерфейси	SSI, EnDat
Ступінь захисту	IP65–IP67
Температура	-20…+85 °C

Датчик витрати FVA 250 [12]

Призначений для вимірювання витрати рідин і газів у трубопроводах. Використовується в технологічних процесах для контролю подачі середовища та оптимізації роботи систем.

Загальний вигляд FVA 250 поданий на рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 – FVA-250

Технічні характеристики FVA 250 подані в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип	витратомір (турбінний / вихровий)
Діапазон витрати	залежить від діаметра трубопроводу
Точність	±1…2%
Робочий тиск	до 40 бар
Температура середовища	до 150 °C
Вихідний сигнал	4–20 мА / імпульсний
Матеріал корпусу	нержавіюча сталь

Датчик диференційного тиску SITRANS P DS III [12]

Використовується для вимірювання різниці тисків у технологічних системах. Часто застосовується для визначення витрати, рівня або контролю стану фільтрів.

Загальний вигляд SITRANS P DS III поданий на рисунку 3.14.



Рисунок 3.14 – SITRANS P DS III

Технічні характеристики SITRANS P DS III подані в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	від Па до десятків бар
Точність	до 0,065%
Вихід	4–20 мА + HART
Температура	до 125 °C
Матеріал мембрани	нержавіюча сталь
Захист	вибухозахист (опціонально)

Датчик вологості Hydronix Hydro-Probe II [13]

Мікрохвильовий датчик для вимірювання вологості сипучих матеріалів (пісок, цемент, бетон). Забезпечує високу точність і стабільність вимірювань у реальному часі.

Загальний вигляд Hydronix Hydro-Probe II поданий на рисунку 3.15.



Рисунок 3.15 – Hydronix Hydro-Probe II

Технічні характеристики Hydronix Hydro-Probe II подані в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Діапазон вологості	0–100%
Точність	±0,2…0,5%
Тип вимірювання	мікрохвильовий
Вихід	аналоговий + цифровий
Температура	до 60 °C
Монтаж	у бункері / конвеєрі

Датчик указання положення УП-4

Дворозрядний цифровий покажчик положення приводу РПН (логометр) УП-4 призначений для індикації в цифровому вигляді ступеня регулювання РПН та використовується для заміни стрілочного покажчика.

Загальний вигляд УП-4 поданий на рисунку 3.16.



Рисунок 3.16 – УП-4 [12]

Вхідні та вихідні сигнали подані в таблиці 3.12

Таблиця 3.12 – Вхідні та вихідні сигнали

Параметр	Значення
Тип вхідного сигналу	Аналоговий струмовий сигнал («токова петля»)
Підтримувані вхідні сигнали	0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА
Підключувані датчики	Датчики з токовим виходом
Цифрові виходи	RS-485, RS-232 (крім корпусу Е)
Протокол обміну	MODBUS RTU / ASCII
Призначення цифрового виходу	Передача даних у АСУ ТП, телемеханіку, ПК
Додаткові дискретні виходи	Сигналізація крайніх положень, перемикання ступенів (для окремих модифікацій серії)
Максимальний струм на контактах реле	120 мА
Максимальна напруга на контактах реле	400 В

Технічні характеристики подані в таблиці 3.13

Таблиця 3.13 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип пристрою	Цифровий вказівник положення приводу РПН (логометр)
Кількість розрядів індикації	2
Відображення положення	До 99 ступенів
Напруга живлення	90-370 В
Вхідна напруга AC	85-264 В
Вхідна напруга DC	120-370 В
Споживана потужність	Не більше 5 Вт
Яскравість індикатора	10000 мкд
Типи корпусів	Б, В, Г, Д, Е
Ступінь захисту	IP20
Температура експлуатації	від -40 °С до +50 °С
Кліматичне виконання	УХЛ, категорія розміщення 4.1

Продовження табл. 3.13

Параметр	Значення
Стійкість до механічних впливів	Група М7
Гарантійний термін	5 років
Термін служби	Не менше 15 років
Сумісні приводи	MR, ED-S, MZ-2, MZ-4 та інші з відповідними датчиками
Тип монтажу	Щитовий монтаж

3.4.2 Промислові контролери

Визначення кількості та типів вхідних і вихідних сигналів мікропроцесорного контролера проводиться шляхом аналізу інформації від датчиків, що вимірюють технологічні параметри, а також способів керування виконавчими механізмами, які отримують команди від контролера.

Для побудови системи автоматичного керування агломашиною необхідно забезпечити безперервний моніторинг основних параметрів процесу та приймати вхідні інформаційні сигнали, характеристики яких подано в таблицях 3.14 і 3.15.

Таблиця 3.14 – Характеристика інформаційних сигналів

Параметр	Тип датчика або перетворювача	Вихідний сигнал
Витрата газу	FVA-250	4-20 мА
Витрата повітря	FVA-250	4-20 мА
Витрата води	FVA-250	4-20 мА
Рівень шихти в бункері	Rosemount 5600	4-20 мА
Рівень твердого палива в бункері	Rosemount 5600	4-20 мА
Рівень шихти на конвеєрі	Rosemount 5600	4-20 мА
Швидкість конвеєра	Siemens 1XP8000	4-20 мА
Вологість шихти	Hydronix Hydro-Probe II	4-20 мА
Рівень шихти в проміжному бункері	Rosemount 5600	4-20 мА

Продовження табл. 3.14

Параметр	Тип датчика або перетворювача	Вихідний сигнал
Рівень шихти на аглострічці	Rosemount 5600	4-20 мА
Швидкість аглострічки	Siemens 1XP8000	4-20 мА
Температура в горні	Raytek Thermalert 4.0	4-20 мА
Розрідження у вакуум-камерах	SITRANS P DS III	4-20 мА
Температура повітря у вакуум-камерах	ITM-304	4-20 мА
Температура шихти на охолоджувачі	Raytek Thermalert 4.0	4-20 мА
Швидкість конвеєра охолоджувача	Siemens 1XP8000	4-20 мА

Таблиця 3.15 – Характеристика керуючих сигналів

Параметр	Назва і тип виконавчого пристрою	Сигнал керування виконавчим пристроєм
Зміна витрати природного газу	Пускач ПБР з виконавчим механізмом	Дискретний
Зміна витрати повітря	Пускач ПБР з виконавчим механізмом	Дискретний
Зміна витрати води	Пускач ПБР з виконавчим механізмом	Дискретний
Зміна швидкості роботи віброживильників	Перетворювач частоти SINAMICS G120	Аналоговий
Параметр	Назва і тип виконавчого пристрою	Сигнал керування виконавчим пристроєм
Зміна швидкості роботи конвеєра	Перетворювач частоти SINAMICS G120	Аналоговий
Зміна швидкості роботи аглострічки	Перетворювач частоти SINAMICS G120	Аналоговий
Зміна швидкості роботи ексгаустера	Перетворювач частоти SINAMICS G120	Аналоговий
Зміна швидкості роботи конвеєра охолоджувача	Перетворювач частоти SINAMICS G120	Аналоговий

Вибір контролера для системи автоматизації виконувався з урахуванням його функціональних можливостей. У запропонованій системі передбачено застосування програмованого контролера Siemens SIMATIC S7-1200 [14], який завдяки високій обчислювальній продуктивності придатний для реалізації середніх та складних систем керування і здатний вирішувати широкий спектр задач автоматизації.

Контролер характеризується великою різноманітністю модулів та широкою лінійкою центральних процесорів, що дозволяє максимально адаптувати його конфігурацію до вимог конкретного об’єкта. Така модульність забезпечує високу гнучкість, зручність використання систем розподілених вводів-виводів та потужні комунікаційні можливості.

До контролера надходить 16 уніфікований вхідний сигнал струмового типу 4–20 мА. На основі їх обробки контролер формує керуючі дії, спрямовані на регулювання витрати повітря та газу, продуктивності ексгаустера, швидкості руху аглострічки, а також роботи вібраційного та барабанного живильників.

Контролер підтримує сучасні мови програмування з символьною адресацією, роботою з масивами та структурами, та має повний набір математичних і логічних операцій. Бібліотека команд містить понад 200 інструкцій, а мова функціональних блоків доповнена спеціальними функціями керування процесами й позиціонування. Кількість внутрішніх змінних, контурів регулювання й інших елементів програми обмежується лише обсягом пам’яті процесора.

Усі функції контролера, зокрема обробка модулів та виконання ПІД-регуляторів, реалізуються базовими засобами мови програмування, без потреби в додаткових бібліотеках. Компонування програми може змінюватися без вимкнення процесора.

Проектування апаратної частини контролера здійснювалося за даними щодо кількості та типів вхідних і вихідних сигналів, потрібної конфігурації вводів-виводів та структури мережі. Згідно з таблицею 1, до контролера

підключено 16 інформаційних сигналів типу 4–20 мА. Для їх обробки застосовано два аналогові модулі вводу SM 1231, по 8 каналів кожний.

Модулі аналогових вводів-виводів виконують перетворення між цифровими величинами контролера S7-1200 та його аналоговими сигналами. Після обробки даних контролер формує команди на виконавчі механізми, змінюючи положення їхніх валів для регулювання витрати природного газу й повітря у запальному горні або витрати води на барабан-окомкувач.

Оскільки для коректного регулювання параметрів необхідно забезпечити можливість як збільшення, так і зменшення витрат, кожен виконавчий механізм потребує двох дискретних виходів — «більше» та «менше». Як показано у таблиці 2, у системі працює три такі механізми, тому необхідно 3 каналів дискретного виходу. Серед модулів Siemens найбільш придатним для цього є модуль дискретного вводу-виводу SM 1223. А для 5 аналогових сиходів використовується модуль аналогового виводу SM 1232 на 8 каналів.

Для опрацювання 16 вхідних сигналів, виконання алгоритмів керування та оновлення станів вихідних каналів використовується центральний процесор CPU 1214C, який є доволі потужним процесором у лінійці SIMATIC S7-1200. Він оснащений вбудованими інтерфейсами PROFIBUS DP, що значно спрощує використання систем розподіленого вводу-виводу, а також має два слоти для модулів IF 964-DP, які забезпечують додаткові інтерфейси PROFIBUS.

Живлення контролера здійснюється від зовнішнього джерела 24 В, яке необхідно обрати за сумарним струмовим навантаженням усіх встановлених модулів. Для цього застосовується модуль живлення PS 1207, що формує стабілізовані напруги +5 В та +24 В, необхідні для роботи системи автоматизації SIMATIC S7-1200. Подавання живлення на модулі здійснюється через внутрішню шину контролера.

Конфігурація шасі та структура обладнання

Схема заповнення слотів:

1) Слот 1 — SM 1231 модуль аналогового вводу 8 каналів;

2) Слот 2 — SM 1231 модуль аналогового вводу 8 каналів;

3) Слот 3 — SM 1223 модуль дискретного вводу-виводу 32 канали;

4) Слот 4 — SM 1232 модуль аналогового виводу 8 каналів.

Схема компонування контролера показана на рисунку 3.17.

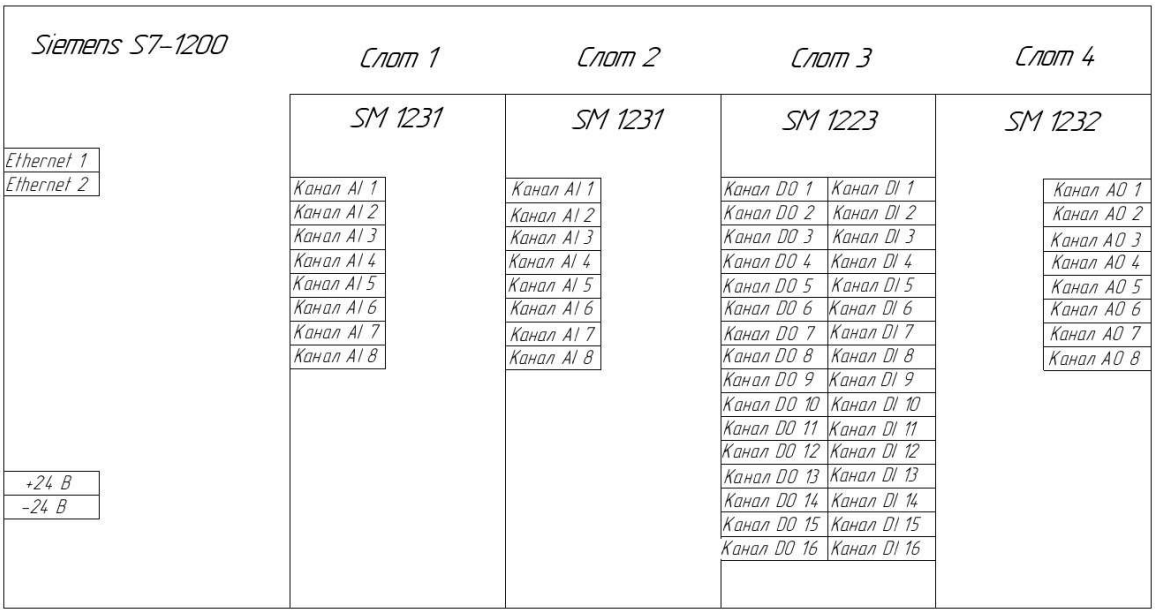


Рисунок 3.17 – Компонування контролера

Така конфігурація забезпечує оптимальне розташування модулів і мінімізує довжину внутрішніх шин. Додаткові шасі або дистанційні стояки не потрібні. Приклад скомпонованого контролера наведений на рисунку 3.18.



Рисунок 3.18 – Приклад скомпонованого контролера

Середовище програмування [15]

Для розробки програмного забезпечення контролера серії S7-1200 використовується інтегроване інженерне середовище TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal), яке є універсальною платформою для проєктування систем автоматизації компанії Siemens.

Дане середовище поєднує в собі всі етапи створення автоматизованої системи — від конфігурації апаратної частини до написання програм керування, налаштування мережевої взаємодії та діагностики роботи обладнання. У межах одного проєкту користувач має можливість працювати з контролерами, операторськими панелями та іншими пристроями, що значно спрощує процес розробки.

Програмування контролера здійснюється відповідно до стандарту IEC 61131-3. У середовищі TIA Portal доступні основні мови програмування, такі як LAD (релейно-контактні схеми), FBD (функціональні блоки) та SCL (структурована текстова мова). Вони дозволяють реалізовувати як прості логічні алгоритми, так і складні обчислювальні задачі.

Окрім цього, для опису послідовних технологічних процесів використовується мова SFC (Sequential Function Chart), яка у середовищі Siemens реалізована у вигляді технології GRAPH. Вона призначена для створення алгоритмів, що складаються з послідовних кроків і переходів між ними, що особливо актуально для керування технологічними циклами.

Слід зазначити, що підтримка мови SFC (GRAPH) доступна не у всіх версіях середовища TIA Portal. Для її використання необхідно застосовувати розширену версію програмного пакета — STEP 7 Professional (TIA Portal), яка містить відповідний інструмент S7-GRAPH.

Мова SFC (GRAPH) дозволяє описати алгоритм роботи системи у вигляді логічно впорядкованої послідовності дій. Кожен процес розбивається на окремі кроки (steps), між якими визначаються умови переходу (transitions).

Такий підхід забезпечує високу наочність програми та значно полегшує її налагодження і супровід. На рисунку 3.18 показана програма САР

температури в запалювальному горні агломераційної машини на SFC мові, а фрагмент функції на мові ST приведено у додатку Б.

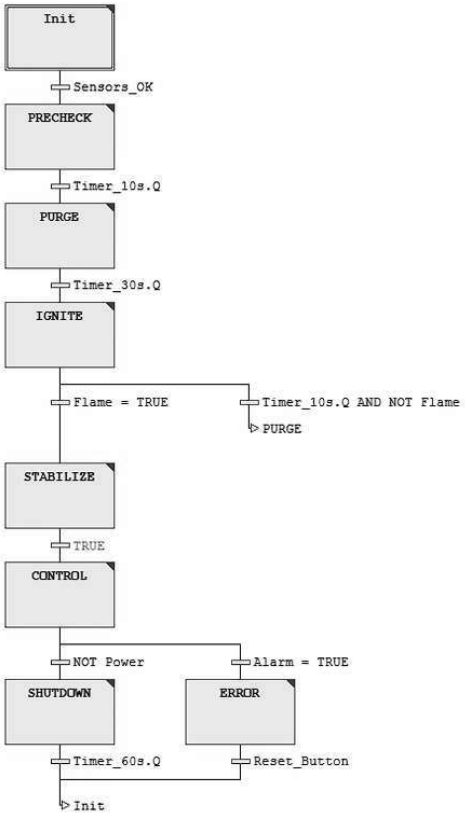


Рисунок 3.18 – Програма САР температури в запалювальному горні агломераційної машини

3.4.3 Виконавчі механізми та регулюючі органи

Виконавчі механізми та регулюючі органи є важливою складовою автоматизованої системи керування агломераційним процесом, оскільки саме вони забезпечують безпосередній вплив на технологічний процес відповідно до керуючих сигналів, що формуються контролером або регуляторами. Їх основне призначення полягає у зміні витрат робочих середовищ, положення регулюючих органів та режимів роботи технологічного обладнання.

Блок ручного управління БРУ-17 [10]

Блок ручного управління БРУ-17 призначений для ручного керування виконавчим механізмом (електроприводом), який є частиною автоматизованої системи регулювання. Застосовується у тих випадках, коли необхідно:

– провести налагодження або випробування системи;
– перейти на ручний режим у разі аварії, відмови регулятора або автоматичної системи;
– виконати обслуговування виконавчого механізму без втручання в автоматичний цикл.

БРУ-17 має компактну панельну конструкцію, встановлюється в передній частині щита, забезпечує інтерфейс для оператора з кнопками або перемикачами на:

- Пуск/Стоп
- Напрям обертання (вперед/назад)
- Режим (Авто/Ручне)

Загальний вигляд БРУ-17 поданий на рисунку 3.19.



Рисунок 3.19 – БРУ-17

Вхідні та вихідні сигнали подані в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 – Вхідні та вихідні сигнали

Тип сигналу	Призначення
Вхід живлення	Живлення логіки, індикації та кнопок
Вхід "Сигнал з регулятора"	Для переходу у режим автокерування
Вихід "Команда вперед"	Для запуску приводу в одному напрямку
Вихід "Команда назад"	Для запуску приводу в зворотному напрямку
Вихід "Стоп"	Зупинка виконавчого механізму

Технічні характеристики подані в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Напруга живлення	24 В DC
Споживаний струм	не більше 50 мА
Тип виходів	Безпотенційні "сухі" контакти
Максимальний струм комутації	2 А при 24 В DC
Режими керування	Автоматичний / Ручний
Кількість кнопок керування	3 (Пуск, Стоп, Реверс)
Температурний діапазон експлуатації	-10…+50 °C
Ступінь захисту передньої панелі	IP40 (IP54 опціонально)
Спосіб монтажу	Щитовий (на двері або DIN-рейку)
Габаритні розміри	~96×48×90 мм

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-21 [10]

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-21 - це електронний пристрій, призначений для безконтактного керування виконавчими механізмами з однофазними електродвигунами, оснащеними електромеханічним гальмом. Він широко використовується в системах автоматизації промислових об'єктів, особливо в енергетиці, металургії та хімічній промисловості.

Загальний вигляд ПБР-21 поданий на рисунку 3.20.



Рисунок 3.20 – ПБР-21

Вхідні та вихідні сигнали подані в таблиці 3.18.

Таблиця 3.18 – Вхідні та вихідні сигнали

Параметр	Значення
Тип вхідних сигналів	Дискретні, транзисторні
Напруга живлення вхідних сигналів	24 В DC
Логічний «0» (ВІДКЛЮЧЕНО)	0–3 В
Логічна «1» (УВІМКНЕНО)	18–30 В
Максимальний вхідний струм	≤ 50 мА
Вбудоване живлення входів	Є
Тип вихідної комутації	Однофазна реверсивна
Кількість керуючих виходів	1 двигун
Максимальний комутований струм	До 4 А
Тривалість безперервного включення при 4 А	Не більше 100 с

Технічні характеристики подані в таблиці 3.19.

Таблиця 3.19 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Призначення	Безконтактний реверсивний пускач
Тип двигуна	Однофазний
Напрямок керування	Реверсивний
Напруга живлення	230 В AC (+22 В / −33 В)
Споживана потужність	Не більше 7 ВА
Захист від короткого замикання	Є
Затримка реверсу	Є
Гальванічна розв'язка	Повна, між усіма вузлами
Напруга ізоляції	Не менше 1500 В
Параметр	Значення
Тип монтажу	DIN-рейка
Габарити	95 × 100 × 110 мм
Ступінь захисту	IP30
Температура експлуатації	від −40 °C до +70 °C

Виконавчий електромеханічний орган МЕО-630/63-0,25 [16]

МЕО-630/63-0,25 — це електричний виконавчий механізм (електропривід), призначений для плавного або позиційного керування регулюючими органами технологічного обладнання, наприклад:

- поворотними або плунжерними заслінками;
- клапанами, шиберами;
- повітряними або газовими дроселями.

Використовується в автоматичних системах регулювання, зокрема — в системах температурного керування горном агломераційної машини. Механізм перетворює електричний сигнал в обертальний рух з контрольованою швидкістю і зусиллям.

Загальний вигляд поданий на рисунку 3.21.



Рисунок 3.21 – МЕО-630/63-0,25

Вхідні та вихідні сигнали подані в таблиці 3.20.

Таблиця 3.20 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Призначення
Живлення трифазне (380 В)	Обертання електродвигуна
Команди «вперед/назад»	Зміна напрямку руху вихідного вала
Зворотний сигнал	Контроль положення

Технічні характеристики МЕО-630/63-0,25 подані в таблиці 3.21.

Таблиця 3.21 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Номінальний крутний момент	63 Н·м
Максимальний кут повороту	90° (опціонально до 180°/270°)
Параметр	Значення
Час повного ходу (0–100%)	~30–60 сек
Потужність електродвигуна	0,25 кВт
Живлення	3×380 В, 50 Гц
Захист від перевантаження	Так (вбудований термозахист)
Вбудовані кінцеві вимикачі	Так (на обидва напрямки)
Ступінь захисту	IP54–IP65
Робоча температура	–20…+55 °C
Спосіб монтажу	На фланець, через опору
Габарити	~300×250×250 мм
Маса	~15–25 кг

Перетворювач частоти SINAMICS G120 [12]

SINAMICS G120 — це модульний перетворювач частоти, призначений для керування електроприводами змінного струму. Він дозволяє плавно регулювати швидкість обертання двигуна, забезпечує енергоефективність та точне керування технологічними процесами. Завдяки модульній структурі (силовий і керуючий модулі) легко адаптується під конкретне завдання. Широко використовується у конвеєрах, насосах, вентиляторах та промислових установках.

Загальний вигляд SINAMICS G120 поданий на рисунку 3.22.



Рисунок 3.22 – SINAMICS G120 [14]

Технічні характеристики подані в таблиці 3.22.

Таблиця 3.22 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Діапазон потужності	0,55 – 250 кВт
Напруга живлення	200 / 400 / 690 В
Частота виходу	до 550–650 Гц
Тип керування	V/f, векторне
Перевантаження	до 200% (короткочасно)
Інтерфейси	PROFINET, PROFIBUS
Ступінь захисту	IP20 / IP55
Температура роботи	0…+40 °C
Особливості	вбудовані функції безпеки (STO, SS1)

4. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

4.1 Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації – основна схема проєкту і показує функціонально-блокову структуру управління, а також ступінь оснащення об'єкта управління пристроями контролю і управління.

На схемі прадставлені такі контури:

- автоматичного регулювання компонентів у барабан-окомковувач;
- автоматичного регулювання вологості шихти;
- автоматичного регулювання укладання шихти на аглострічку;
- автоматичного регулювання температури у горні агломашини;
- автоматичного регулювання спікання агломераційної шихти;
- автоматичного регулювання температури шихти на охолоджувачі.

ФСА представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23610.002.ФСА

САР температури агломерату на охолоджувачі

Система автоматичного регулювання температури агломерату на охолоджувачі призначена для забезпечення оптимального режиму охолодження готового продукту.

Температура агломерату контролюється за допомогою безконтактних пірометрів (1а, 1б), які встановлені на вході та виході охолоджувача. Сигнали з пірометрів надходять на багатоканальний показуючий-реєструючий прилад ІТМ-304 (1в), де здійснюється індикація та реєстрація температури після чого сигнал подається на контролер. Паралельно подається сигнал з енкодера (1г) подається на показуючий прилад ІТМ-310А (1д) і на реєструючий прилад (1е), після чого теж передається на контролер.

Контролер визначає відхилення температури від заданого значення і швидкість конвеєра-охолоджувача. На основі цього формується керуючий

сигнал, який через блок ручного управління БРУ-17 (1ж) передається на перетворювач частоти SINAMICS G120 (1з) який керує електродвигуном охолоджувача (1к).

Таким чином забезпечується необхідна швидкість охолодження агломерату та підтримується стабільна температура готової продукції.

САР спікання агломераційної шихти

Система автоматичного регулювання процесу спікання призначена для підтримання необхідного режиму розрідження у вакуум-камерах агломераційної машини.

Сигнали з датчиків диференційного тиску (2а, 2б, 2в) надходять на багатоканальний показуючий-реєструючий прилад (2г), після чого передаються на контролер. Додатково сигнали температури у вакуум-камерах з термопар (2д, 2е, 2ж) пердаються на багатоканальний показуючий-реєструючий прилад ІТМ-304 (2з) після чого передаються на контролер.

Після формування контролером керуючого сигналу, він подається на блок ручного управління (2к), який передає керуючий сигнал на перетворювач частоти (2л), який напряму керує електродвигуном ексгаустера(2м), що забезпечує необхідне розрідження у вакуум-камерах та стабільність процесу спікання.

САР температури у запалювальному горні агломераційної машини

Система автоматичного регулювання процесу запалювання агломераційної шихти забезпечує підтримання необхідної температури та співвідношення газу і повітря у запалювальному горні.

Сигнали датчику витрати газу (3а) та датчику витрати повітря (3б) подаються на багатоканальний показуючий-реєструючий прилад (3в), після чого передаються на контролер. Також на контролер подається сигнал безконтактного пірометра (3г) попередньо передаючись на показуючий прилад (3д) і реєструючий прилад MAS-100 (3е).

Програмований контролер отримує показання температури та витрат природного газу і повітря, після чого формує керуючі сигнали. Далі він

передає ці керуючі сигнали на блоки ручного управління (3ж, 3м), які в свою чергу передають їх на пускачі ПБР-21 (3з, 3н) які вже напряму керують виконавчими механізмами (3к, 3о) для регулювання подачі природного газу та повітря. Сигнал про положення виконавчіх механізмів передається на датчики указання положення (3р, 3с).

САР вологості шихти

Система автоматичного регулювання вологості шихти призначена для підтримання оптимальної вологості матеріалу перед подачею його на агломераційну стрічку.

Сигнал датчика витрати води (4а) подається на показуючий прилад (4б) і реєструючий прилад MAS-100 (4в) після чого подається на контролер. Разом з сигналом датчика (4а) на контролер поступає і сигнал датчика вологості шихти (4г), який показується на приладі (4д) і реєструється на приладі (4е), після чого передається на контролер. На основі цих сигналів контролер формує керуючий сигнал, і передає його на блок ручного управління (4ж), який в свою чергу передає сингал на пускач ПБР-21 (4з), після чого передається на виконавчий механізм (4к), який коригує положення заслінки для подачі потрібної кількості води. Сингал про положення заслінки передається на датчик указання положення УП-4 (4м)

Таким чином забезпечується підтримання необхідної вологості шихти та покращується її газопроникність у процесі спікання.

САР укладання шихти на аглострічку

Дана система автоматичного регулювання призначена для підтримання заданої висоти шару шихти на агломераційній стрічці.

Сигнал від датчика рівня шихти (5а) та датчика рівня шихти у проміжному бункері (5б) надходять до багатоканального показуючого-реєструючого приладу ІТМ-304 (5в). Додатково сигнал енкодера (5г), подається на показуючий прилад ІТМ-310А (5д) і на реєструючий прилад (5е). Разом сигнали з датчиків передаються на котролер, який формує керуючі сигнали.

Далі керуючі сигнали надходять на блоки ручного управління (5ж, 5л), які передають їх на перетворювачі частоти SINAMICS G120 (5з, 5м) і далі на електродвигуни (5к, 5н) один з яких регулює швидківсть аглострічки, а інший регулює швидкість живильника, зменшуючи або збільшуючи її для підтримання необхідної висоти шару шихти.

Завдяки такій системі забезпечується стабільна висота шару шихти, що є важливою умовою рівномірного проходження процесу спікання.

САР подачі компонентів у барабан-окомковувач

Система автоматичного регулювання подачі компонентів у барабан-окомковувач призначена для забезпечення необхідного співвідношення компонентів шихти перед процесом огрудкування.

Сигнали про рівень компонентів в бункерах надходять від датчиків рівня (6а, 6в), які встановлені у відповіднх бункерах. Сигнали передаються до багатоканального показуючого-реєструючого приладу (6г), де здійснюється їх реєстрація та передача на контролер. Після того як контролер обробив сигнали з датчиків рівня, він формує керуючий сигнал на блоки ручного керування (6з, 6м), для забезпечення правильних співвідношень матеріалів. Далі керуючий сигнал з блоків ручного управління (6з, 6м) подається на перетворювачі частоти (6к, 6н), після чого подається на електродвигуни живильників (6л, 6о), які забезпечують подачу компонентів шихти на конвеєр.

Одночасно з сигналами з датчиків (6а, 6в) на реєструючий прилад (6г) подається сингнал від датчика рівня (6б), розташованого на конвеєрі. Паралельно з сигналами датчиків рівня, є сигнал від енкодера (6д), який подається на показуючий прилад ІТМ-310А (6е) і на реєструючий прилад (6ж). Після реєстрації цих сигналів і формування контролером керуючого сигналу, він подається на блок ручного управління (6п) далі сигнал подається на перетворювач частоти SINAMICS G120 (6р), після чого передається на електродвигун конвеєра (6с), для забезпечення рівномірного розподілення компонентів шихти перед подачею в барабан-окомковувач.

Таким чином забезпечується підтримання необхідної продуктивності подачі матеріалів та стабільність складу шихти, що надходить у барабан-окомковувач. Це сприяє формуванню рівномірних гранул шихти та покращує умови подальшого процесу спікання.

4.2 Принципова електрична схема

Принципова електрична схема САР температури в запалювальному горні агломераційної машини розроблена на основі функціональної схеми і має в собі повний склад пристроїв і зв'язків між ними, робота яких забезпечує працездатність системи управління. ПЕС представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23610.003.ПЕС.

Сигнали на схемі промарковані наступним чином:

- 100-133 – інформаційні;
- 800-822 – живлення.

Температура вимірюється безконтактним пірометром Raytek Thermalert 4.0 (3г). Сигнал 4-20 мА з нього надходить на аналоговий вхід показуючого приладу ІТМ-310А (3д). З показуючого приладу сигнал через інтерфейс RS-485 сигнал йде на реєструючий прилад MAS-100 (3е) і паралельно через аналоговий вихід на модуль аналогового входу контролера. Після формування керуючого сигналу контролером, сигнал йде з модуля дискретного вводу-виводу контролера на дискретний вхід блоку ручного керування БРУ-17 (3ж, 3м). Далі дискретний сигнал передається на пускач ПРБ-21 (3з, 3н), який вже напряму керує виконавчі механізми (3к, 3о).

Витрата природного газу і повітря вимірюються датчиками витрати рідин і газів FVA-250 (3а, 3б), їх тип сигналу 4-20 мА тому вони напряму йдуть на багатоканальний показуючий-реєструючий прибор ІТМ-304 (3в), після чого передаються на контролер.

4.3 Принципова електрична схема живлення

Принципова електрична схема живлення є одним із ключових елементів проєктування будь-якої електротехнічної або автоматизованої системи. ПЕСЖ представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23610.004.ПЕСЖ.

Всі прибори в цій системі живляться напругою 220 В, через це живлення одразу подається на автоматичні вимикачі Schneider Electric RESI9 номіналом 16А позначені на схемі В1-В11. Також після кожного автоматичного вимикача на кабелі фази стоїть плавкий запобіжник номіналом 1А, на схемі запобіжники позначені ЗП1-ЗП11.

4.4 Монтажна комутаційна схема щита КВПіА

Монтажна комутаційна схема являється важливою схемою, на якій зображене розташування і підключення всіх пристроїв на щиті з урахуванням їх розташування і електричних зв’язків. МКС представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23610.005.МКС.

Оскільки на схемі зображені контур управління САР температури в горні агломераційної машини з урахуванням САР співвідношення паливо-повітря, то відповідно у верхній частині схеми розташовані два дистанційних покажчика положення УП-4. Під ними розташований реєструючий прилад MAS-100, який реєструє показання температури в горні, сигнал на нього приходить через інтерфейс RS-485 від показуючого приладу ІТМ-310А, розташованого нижче, на який він приходить з об’єкта. Справа від показуючого приладу ІТМ-310А розташований чотириканальний показуючий-реєструючий прилад ІТМ-304, який показує і реєструє показання датчиків витрат природного газу і повітря. Нижче розташовані два блоки ручного управління БРУ-17 на які приходить сигнал з контролера і які видають керуючий сигнал на пускачі, розташовані на об’єкті.

4.5 Зовнішній вигляд щита та вид на внутрішні панелі

На схемі зовнішнього вигляду щита зображується масштабований 1:10 вид щита КВПіА, на якому є вся розміщенна всередині нього апаратура, з необхідним врахуванням її взаємного розташування на різних площинах щодо один одного. Схема представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23610.006.ЗВЩ.

На вигляді зпереду показано розміщення всіх приладів для яких потрібен виріз в щиті. А саме 2 дистанційні покажчика положення УП-4, реєструючий прилад MAS-100, показуючий прилад ІТМ-310А, чотириканальний показуючий-реєструючий прилад ІТМ-304 і 2 блоки ручного управління БРУ-17. Також на окремому щиті розташований скомпонований контролер Siemens S7-1200.

На вигляді ззаду показано розташування DIN-рейки для кріплення приладів, а саме: реєструючого приладу MAS-100 та Siemens S7-1200, а також клемних колодок для підключення зовнішніх кабелів.

4.6 Схема зовнішніх з’єднань

Схема з'єднань зовнішніх – це комбінована схема, на якій показують електричні і трубні зв'язки між приладами та засобами автоматизації, встановленими на технологічному обладнанні, поза щитів, а також підключення проводок до приладів і щитів. СЗЗ представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23610.007.СЗЗ.

Безконтактний пірометр Raytek Thermalert 4.0 вимірює температуру в горні і передає сигнал на показуючий прилад ІТМ-310А. Пірометр з’єднаний з ІТМ-310А кабелем АКВВГ 6х2,5 на відстані 74 метрів.

Датчики витрат FVA-250, встановлені на трубопроводі, виміряють витрати природного газу передають на чотириканальний показуючий-реєструючий прилад ІТМ-304. Вони з’єднані з ІТМ-304 кабелями АКВВГ 4х2,5 на відстані 64 і 65 метрів.

Далі пускачі ПБР-21 з’єднуються з блоками ручного управління БРУ17 кабелем АКВВГ 6х2,5 на відстані 65 метрів, живлення на них покається через кабель ВВГНГ 3х2,5 0,5 з лінії 220 В. Також вони з’єднані з виконавчими механізмами МЕО-630/63-0,25 кабелями ВВГНГ 3х2,5 довжиною 1 метр кожен.

Виконавчі механізми МЕО-630/63-0,25 з’єднані з дистанційними покажчиками положення УП-4, розташованими на щиті КВПтаА, кабелями АКВВГ 4х2,5 довжиною 63 і 66 метрів.

Також кожен кабель проведений через захисну трубу 25х2 з запасом на підключення в 1 метр з кожної сторони.

5. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Виконаємо розрахунок надійність САР температури в запалювальному горні агломераційної машини.

САР складається з наступних компонентів:

- ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200;
- датчик витрати газ/повітря FVA250;
- блок ручного керування БРУ-17;
- багатоканальний показуючий-реєструючий пристрій ІТМ-304;
- показуючий прилад ІТМ-310А;
- ІЧ пірометр Raytek Thermalert 4.0;
- датчик указання положення УП-4;
- магнітний пускач ПБР-21;
- виконавчий механізм МЕО-630/63-0,25.

САР температури виконує регулюючу функцію, а отже задамо середній час відновлення працездатності Тв = 4год та допустимий час відмовної функції СА Тдоп=1год.

Інтенсивність відмов окремих компонентів системи наведена в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Інтенсивність відмов

Компонент САР	$\lambda*10^{-6}$
Siemens SIMATIC S7-1200	4,2
FVA250	8,3
БРУ-17	11,1
ІТМ-310А	1,3
ІТМ-304	1,6

Продовження табл. 5.1

Компонент САР	$\lambda*10^{-6}$
ПБР-21	12,5
МЕО-630/63-0,25	20
Raytek Thermalert 4.0	3,3
УП-4	6,2

Загальна інтенсивність відмов λ:

$$\lambda = \sum_1^n \lambda_i = 68{,}5 * 10 - 6 \quad 1/\text{год} \tag{5.1}$$

Середнє напрацювання до відмови $T_{ср}$:

$$T_{ср} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{68{,}5 * 10^{-6}} = 14598{,}5 \text{ год} \tag{5.2}$$

Ймовірність безвідмовної роботи системи протягом τ =1000 годин:

$$P_б(\tau) = e^{-(\sum \lambda)*\tau} = e^{-(68{,}5)*10^{-6}*1000} = 0{,}9337 \tag{5.3}$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи САР протягом 1000 годин складає 93,37%.

Ймовірність безвідмовної роботи протягом часу, з урахуванням відновлення відмовної функції за час $T_в$:

$$P_с(\tau) = P_б + [1 - P_б(\tau)] * P_б(\tau) \tag{5.4}$$
$$P_с(\tau) = 0{,}9337 + [1 - 0{,}9337] * 0{,}9337 = 0{,}9956$$

Ймовірність відновлення працездатності визначимо за формулою:

$$\frac{Тдоп}{Тв} = ¼ = 0{,}25 \tag{5.5}$$

Коефіцієнт готовності $К_{гот}$:

$$К_{гот}\frac{Tср}{Тср+Тв} = \frac{14598,5}{14598,5+4} = 0,9997 \quad (5.6)$$

Ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваного завдання:

$$Р_{оч}(\tau) = К_{гот} * P_б(\tau) = 0,9997 * 0,9337 = 0,9334 \quad (5.7)$$

Порівняємо показники:

$Т_{ср}$, год = 14598,4 >1000 год, середній час відновлення функції менше 4 годин, коефіцієнт готовності $К_{гот}$ = 0,9997. Тому резервування елементів САР не потрібне.

6. ЗАМОВНА СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕСЬ КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Замовна специфікація на весь комплекс технічних засобів оформлення у вигляді таблиці. Вона розділена на 7 розділів, у кожному з яких вказується найменування приладу чи обладнання, його тип чи марку, одиницю вимірювання та кількість.

У розділі «Прилади та засоби автоматизації» приведені датчики, індикатори, реєструючі прилади, пускачі, виконавчі механізми, блоки керування, рівнеміри та перетворювачі частоти.

У розділі «Агрегатні комплекси та засоби обчислювальної техніки» вказаний контролер, який використовується у системі та всі необхідні модулі, які були обрані у ході компоновки.

У розділі «Щити та пульти управління» вказані обрані щити КВПіА.

У розділі «Електроапаратура» описані типи автоматичних вимикачів, плавких запобіжників та клемних колодок.

У розділі «Трубопровідна арматура» вказана захисна труба, її розмір та довжина.

У розділі «Кабелі та проводка» надані кабелі, що використані в системі, їх тип, розмір та довжина.

У розділі «Монтажні матеріали» вказані тип та кількість DIN-рейок використаних для монтажу приладів у щиті КВПіА.

Замовна специфікація на весь комплекс технічних засобів системи автоматизації представлено у додатку А.

7. ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації

Цех КВПіА є невід'ємною складовою для нормального протікання виробничого процесу. У агломераційному цеху служба КВПіА забезпечує нормальне функціонування засобів виміру та автоматизації. Крім того вони, по можливості, впроваджують та розробляють нове устаткування, прилади, засоби виміру.

Агломераційне виробництво є непередбачуваним у плані протікання технологічного процесу спікання агломераційної шихти. Тому контроль і регулювання процесів спікання є дуже важливим для безпечного виробництва, запобігання браку продукції та покращення якості агломерату.

Забезпечення цехом КВПіА нормального функціонування засобів автоматизації та вимірювальних приладів дозволяє досягти високих показників виробництва, тому наявність такої служби обов'язкова.

Для забезпечення безперервної та надійної роботи системи автоматизації спікального відділення формується штат експлуатаційного та ремонтного персоналу, який виконує функції технічного керування, обслуговування, діагностики та ремонту засобів автоматизації. До складу персоналу входять начальник відділення експлуатації цеху, старший майстер КВПіА агломераційного цеху, два бригадири та ремонтно-експлуатаційна бригада у складі 16 працівників.

Начальник відділення експлуатації цеху

Начальник відділення експлуатації цеху здійснює загальне керівництво експлуатацією технологічного обладнання та систем автоматизації. До його функцій належать:

- організація безпечної та ефективної роботи спікального відділення;

- координація взаємодії між технологічним персоналом, службою КВПіА та ремонтними підрозділами;
- контроль виконання виробничих завдань і дотримання технологічних режимів;
- прийняття рішень у разі виникнення аварійних або нестандартних ситуацій;
- планування профілактичних та ремонтних робіт, пов’язаних із системами автоматизації.

Начальник відділення відповідає за організацію та координацію робіт на рівні підрозділу.

Старший майстер КВПіА агломераційного цеху

Старший майстер КВПіА є основною посадовою особою, відповідальною за технічний стан засобів контролю та автоматизації. Його функції включають:

- організацію експлуатації, технічного обслуговування та ремонту контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації;
- контроль справності датчиків, регуляторів, виконавчих механізмів, контролерів та засобів зв’язку;
- аналіз причин відмов та розроблення заходів щодо підвищення надійності системи;
- керівництво роботою бригадирів та ремонтного персоналу;
- ведення технічної документації, графіків профілактики та обліку несправностей.

Старший майстер забезпечує технічну готовність системи автоматизації до безперервної роботи.

Бригадири (2 особи)

Бригадири організовують роботу ремонтно-експлуатаційної бригади в змінному режимі. Основні обов’язки:

- розподіл завдань між працівниками бригади;

- контроль якості виконання ремонтних і профілактичних робіт;
- організація оперативного усунення несправностей;
- контроль дотримання правил охорони праці та електробезпеки;
- звітність перед старшим майстром КВПіА щодо виконаних робіт та виявлених дефектів.

Наявність двох бригадирів дозволяє забезпечити керівництво роботою персоналу в різних змінах або на різних ділянках спікального відділення.

Ремонтно-експлуатаційна бригада (16 осіб)

До складу бригади входять слюсарі КВПіА, електромонтери, наладчики та інші фахівці, які безпосередньо виконують роботи з обслуговування систем автоматизації. Їхні функції:

- технічне обслуговування датчиків температури, тиску, витрати, розрідження та інших первинних перетворювачів;
- перевірка та налагодження регуляторів, виконавчих механізмів і електроприводів;
- діагностика несправностей систем автоматизації та усунення відмов;
- проведення профілактичних оглядів, калібрування та повірки приладів;
- монтаж і заміна кабельних ліній, датчиків та допоміжного обладнання;
- участь у планових та аварійних ремонтах технологічного обладнання, пов’язаних із системами автоматизації.

Бригада забезпечує практичне виконання всіх робіт із підтримання працездатності системи.

Чисельність персоналу у зміні

Незважаючи на загальну чисельність персоналу, що бере участь в експлуатації та обслуговуванні системи, безпосередньо у зміні для оперативного обслуговування автоматизованого комплексу достатньо одного чергового спеціаліста КВПіА. Він виконує поточний контроль стану системи, реагує на сигнали про відхилення параметрів та викликає додатковий персонал

у разі необхідності проведення складних ремонтних або налагоджувальних робіт.

7.2 Розрахунок техніко-економічних показників

Метою техніко-економічного обґрунтування автоматизаваної системи управління є кількісний та якісний доказ економічної доцільності створення або розвитку системи автоматизації, а також визначення організаційно-економічних умов її функціонування.

Основними факторами, що визначають економічну ефективність системи управління є:

- збільшення випуску продукції і підвищення її якості;
- підвищення продуктивності праці виробничих робітників.

Основною умовою при визначенні економічної ефективності СА є зіставність усіх показників в часі, за елементами втрат та за цінами і тарифними ставками заробітньої плати, використаними для визначення показників. Економічні показники визначаються за діючими на момент розрахунку оптових цін і тарифними ставками.

При визначенні річного економічного ефекту в якості бази для порівняння приймаються планові в умовах відсутності СА показники виробничо-господарської діяльності виробництва в році впровадження системи.

7.2.1 Розрахунок капітальних втрат на створення СА

Одноразові виплати на створення СА визначають за формулою:

$$К^{А} = К^{А}_{Д} + К^{А}_{К} \qquad (7.1)$$

де $К^{А}_{Д}$ – довиробничі втрати, грн;

$К^{А}_{К}$ – капітальні втрати, грн.

Довиробничі витрати на розробку СА розраховується за формулою:

$$К^{А}_{Д} = К^{А}_{ПР} + К^{А}_{ПЗ} + К^{А}_{ІЗ} = 50000 + 45000 + 30000 = 125000 \text{ грн} \quad (7.2)$$

де $К^{А}_{ПР}$ – витрати на проектування СА, грн;

$К^{А}_{ПЗ}$ – витрати на розробку програмного забезпечення, грн;

$К^{А}_{ІЗ}$ – витрати на підготовку інформаційного забезпечення тривалого користування (створення бази даних СА), грн.

Величина капітальних витрат визначається за формулою:

$$К^{А}_{К} = К^{А}_{КТЗ} + К^{А}_{М} - К^{А}_{ВИВ} = 2905100 + 290510 - 0 = 3195610 \text{ грн} \quad (7.3)$$

де $К^{А}_{КТЗ}$ – кошторисна вартість комплексу технічних засобів, грн;

$К^{А}_{М}$ – витрати на установку, монтаж і запуск КТЗ в роботу, грн;

$К^{А}_{ВИВ}$ – кошторисна вартість комплексу технічних засобів, що вивільнилися у результаті впровадження СА, грн.

Комплекс технічних засобів для створення СА наведений в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – КТЗ для створення СА

Найменування	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Rosemount 5600	5	250000	1250000
ІТМ-304	6	16000	96000
ІТМ-310А	6	7000	42000
БРУ-17	10	13000	130000
SINAMICS G120	7	60000	420000
Siemens 1XP8000	3	30000	90000
FVA 250	3	27000	81000
Raytek Thermalert 4.0	3	70000	210000
SITRANS P DS III	3	35000	105000
ПБР-21	3	7700	23100
МЕО-630/63-0,25	3	55000	165000
УП-4	3	2000	6000
Hydronyx Hydro-Probe II	1	100000	100000
MAS-100	6	7000	42000
Siemens S-1200	1	145000	145000
Разом	63		2905100

Перелік одноразових витрат приведений в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Перелік одноразових витрат

Найменування	Сума, грн
1. Довиробничі витрати на розробку АСУ	
Витрати на проектування АСУ	50000
Витрати на розробку програмного забезпечення	45000
Витрати на підготовку інформаційного забезпечення	30000
2. Капітальні витрати	
Вартість компексу технічних засобів	2905100
Вартість на установку, монтаж і запуск КТЗ в роботу	290510
Вартість КТЗ, що вивільнилися у результаті впровадження	-
Всього одноразових витрат на створення АСУ	3320610

7.2.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на функціонування СА

Розрахунок річних експлуатаційних витрат на функціонування АСУ здійснюється за формулою:

$$З_{ЕКСП} = З_{ЗП} + З_{ЕЛ} + З_{А} + З_{МАТ} + З_{РЕМ} \quad (7.4)$$

де $З_{ЗП}$ – річні витрати на заробітню плату спеціалістів в умовах функціонування СА з відрахуванням на соціальне страхування, грн;

$З_{ЕЛ}$ – річні витрати на електроенергію, грн;

$З_{А}$ – річна сума амортизаційних відрахувань, грн;

$З_{МАТ}$ – Річна вартість матеріалів, необхідних для функціонування СА (2% від вартості КТЗ), грн;

$З_{РЕМ}$ – річна вартість ремонта обладнання (7% від вартості КТЗ), грн.

Розрахунок заробітньої плати фахівця в умовах функціонування СА здійснюється за формулою:

$$З_{ЗП} = ЕСВ + ФОП \quad (7.5)$$

де ЕСВ – єдиний соціальний внесок (22% від ФОП), грн;

ФОП – фонд оплати праці (річна ставка за рік), грн.

Оскільки ставка робітника в місяць складає = 18000 грн.

Звідси маємо, що ФОП = 12 * 18000 = 216000 грн.

За формулою (7.5):

$$З_{ЗП} = 216000 + 47520 = 263520 \text{ грн}$$

Річна вартість електроенергії, споживаної СА, визначається за формулою:

$$З_{ЕЛ} = W * Т_{еф} * Ц_{Е} = 0{,}4956 * 15500 * 4{,}8 = 36872{,}64 \text{ грн} \quad (7.6)$$

де W – встановлена потужність КТЗ, кВт;

$Т_{еф}$ – ефективний фонд часу роботи КТЗ, год.;

$Ц_{Е}$ вартість 1 кВт*год електроенергії, грн.

Річна сума амортизаційних відрахувань розраховуються за формулою:

$$З_{А} = \frac{К_{К}^{А} * Н_{А}}{100} = \frac{3195610 * 10}{100} = 319561 \text{ грн} \quad (7.7)$$

де $Н_{А}$ – норма амортизації, % (10%).

За формулою (7.4):

$$З_{ЕКСП} = 263520 + 36872{,}64 + 319561 + 58102 + 203357 = 881412{,}64 \text{ грн}$$

7.2.3 Розрахунок очікуваної економії після впровадження СА

На даний момент агломашина випускає 2,3 млн. тонн агломератук в рік. З них 2,5% не придатного агломерату, що дорівнює 57500 тонн. Система АСУ дозволить знизити на 0,03%, що дорівнюватиме 690 тоннам.

На данний момент ціна за тонну агломерата складає 5500 грн.

Річна економія від впровадження СА:

$$\text{Е} = 690 * 5500 = 3795000 \text{ грн} \quad (7.8)$$

Для знаходження річного економічного ефекту використовуємо формулу:

$$\text{ЕЕ} = \text{Е} - З_{\text{ЕКСП}} \quad (7.9)$$

де Е – річна економія від впровадження;

$З_{\text{ЕКСП}}$ – річні витрати на експлуатацію.

За формулою (7.9):

$$\text{ЕЕ} = 3795000 - 881412{,}64 = 2913587{,}36 \text{ грн}$$

Ефективність визначається за показниками:

– термін окупності капітальних затрат ($Т_р$) на СА:

$$\text{Т} = \frac{К^А}{\text{ЕЕ}} = \frac{3320610}{2913587{,}36} = 1{,}13 \quad (7.10)$$

де ЕЕ – річна економія від впровадження СА;

$К^А$ – капітальні вкладення.

– Розрахунковий коефіцієнт ефективності капітальних вкладень на СА:

$$E_р = \frac{ЕЕ}{К^А} = \frac{2913587,36}{3320610} = 0,87 \quad (7.11)$$

Зведені результати техніко-економічних показників наведено в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Результати техніко економічних показників

Показники	Одиниця вимірювання	Показник
Капітальні витрати		
Вартість засобів автоматизації	грн	2905100
Витрати на проектуваня	грн	50000
Витрати на розробку програмного забезпечення	грн	45000
Витрати на підготовку інформаційного забезпечення	грн	30000
Разом	грн	3030100
Експлуатаційні витрати		
Амортизаційні витрати	грн	319561
Витрати на утримання і обслуговування системи	грн	58102
Витрати на ремонт	грн	203357
Разом	грн	581020
Річна економія	грн	3795000
Річний економічний ефект	грн	2913587,36
Термін окупності капітальних вкладень	рік	1,13
Розрахунковий коефіцієнт	%	0,87

По результатам проведених розрахунків визначено, що за рахунок зниження системою управління кількості не придатного агломерату на 0,03% дозволить економити 3795000 грн в рік. А після відрахування річних витрат на експлуатацію, отримано економічний ефект, при якому строк окупності системи автоматизації складає 1,13 року.

8. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Агломераційне виробництво належить до складних та потенційно небезпечних видів промислового виробництва. Це пов’язано з використанням високих температур, роботою потужного механічного обладнання, виділенням пилу та шкідливих газів. У процесі роботи агломераційної машини працівники постійно перебувають під впливом різних небезпечних і шкідливих факторів, які можуть негативно впливати на здоров’я, працездатність та безпеку персоналу.

Умови праці в агломераційному цеху характеризуються підвищеним рівнем запиленості, шуму, вібрації, теплового випромінювання, а також наявністю токсичних газів. Крім фізичних і хімічних факторів, важливу роль відіграють психофізіологічні навантаження, пов’язані з високою відповідальністю персоналу та складністю технологічного процесу.

Одним із найнебезпечніших факторів є запиленість повітря робочої зони. Пил утворюється під час транспортування, дроблення, змішування та спікання шихти. У його складі можуть міститися частинки оксидів металів та діоксид кремнію. Особливо небезпечним є дрібнодисперсний пил, який легко потрапляє до дихальних шляхів працівників. Тривале вдихання такого пилу може призводити до професійних захворювань органів дихання, зокрема до силікозу, бронхіту та інших хронічних хвороб легенів. Концентрація пилу в окремих виробничих зонах може значно перевищувати допустимі норми, особливо в місцях пересипання шихти або роботи дробильного обладнання. Через це необхідно застосовувати системи аспірації, пиловловлювання та засоби індивідуального захисту органів дихання.

Ще одним важливим шкідливим фактором є шум. Основними джерелами шуму в агломераційному виробництві є дробарки, конвеєри, вентилятори, ексгаустери, приводи механізмів та інше обладнання. Рівень шуму в цеху може досягати 90–95 дБА, що перевищує допустимі санітарні норми. Тривалий вплив шуму негативно впливає на організм людини. У

працівників може погіршуватися слух, підвищуватися втомлюваність, знижуватися концентрація уваги та працездатність. Крім цього, постійний шум викликає нервове напруження та негативно впливає на серцево-судинну систему. Для зменшення шумового навантаження застосовують звукоізоляцію обладнання, вібропоглинаючі матеріали, а також індивідуальні засоби захисту — навушники та беруші.

У виробничих приміщеннях також присутня вібрація, яка виникає внаслідок роботи транспортних механізмів, двигунів, дробарок та інших агрегатів. Вібрація може передаватися як через обладнання, так і через підлогу та металеві конструкції. Тривалий вплив вібрації негативно позначається на стані організму людини. Вона може викликати порушення роботи нервової системи, захворювання суглобів та опорно-рухового апарату, а також погіршення загального самопочуття працівників. Для зниження рівня вібрації використовують амортизатори, балансування обертових частин та спеціальні демпфуючі матеріали.

Важливим фактором є підвищена температура та теплове випромінювання. Під час процесу спікання агломераційної шихти виділяється значна кількість тепла. Температура повітря у гарячих зонах може досягати 40–45 °C, а рівень інфрачервоного випромінювання значно перевищує нормативні значення. Висока температура негативно впливає на працівників, викликає швидку втому, перегрів організму, підвищене потовиділення та зниження працездатності. У важких випадках можливий тепловий удар. Для покращення умов праці застосовуються вентиляційні системи, теплоізоляція обладнання, дистанційне керування процесами та спеціальний термостійкий одяг.

До небезпечних хімічних факторів належать гази, які утворюються під час агломераційного процесу. Основними з них є оксид вуглецю (CO), діоксид сірки (SO_2) та оксиди азоту (NO_x). Ці речовини мають токсичну дію на організм людини та можуть викликати отруєння, подразнення слизових оболонок і захворювання дихальної системи. Оксид вуглецю є особливо

небезпечним, оскільки він не має запаху та кольору. Потрапляючи в організм людини, він зменшує здатність крові переносити кисень, що може призвести до кисневого голодування. Діоксид сірки та оксиди азоту подразнюють органи дихання та очі, а при тривалому впливі можуть викликати хронічні захворювання. Для зменшення концентрації шкідливих газів у виробничих приміщеннях застосовуються вентиляційні системи, газоочисне обладнання та постійний контроль повітряного середовища. Працівники також використовують респіратори та протигази.

Окрему небезпеку становлять механічні фактори. В агломераційному цеху використовується велика кількість рухомих механізмів: конвеєри, дробарки, приводи, вентилятори та інше обладнання. Недотримання правил безпеки під час обслуговування механізмів може призвести до травмування працівників. Основними причинами травматизму є потрапляння людини в зону рухомих частин обладнання, падіння предметів, порушення правил експлуатації та несправність техніки. Для зменшення ризику травм застосовують огородження небезпечних зон, системи блокування, сигналізацію та автоматичне відключення обладнання в аварійних ситуаціях.

Значну увагу необхідно приділяти електробезпеці. Агломераційне виробництво характеризується наявністю великої кількості електрообладнання, яке працює під напругою 380 В. Через високу температуру, запиленість і вологість ризик ураження електричним струмом значно підвищується. Основними небезпеками є пошкодження ізоляції, дотик до струмоведучих частин та виникнення коротких замикань. Для захисту працівників застосовуються заземлення, занулення, автоматичні вимикачі, пристрої захисного відключення та ізоляція струмоведучих елементів.

Не менш важливими є психофізіологічні фактори. Робота в агломераційному цеху потребує постійної концентрації уваги, швидкої реакції та відповідальності за роботу технологічного обладнання. Оператори повинні безперервно контролювати параметри процесу, а обслуговуючий персонал виконує важку фізичну роботу. Тривалі фізичні та нервові навантаження

можуть призводити до перевтоми, зниження уважності та підвищення ризику аварійних ситуацій. Саме тому важливе значення мають правильна організація праці, дотримання режиму відпочинку та автоматизація технологічних процесів.

Зведену інформацію щодо зниження впливу шкудливих факторів наведено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Основні заходи щодо зниження впливу шкідливих факторів

Шкідливий фактор	Заходи зниження впливу	Очікуваний ефект
Пил	Аспіраційні системи, герметизація обладнання, респіратори	Зменшення концентрації пилу в повітрі
Шум	Акустична ізоляція, вібропоглинання, ЗІЗ	Зниження рівня шуму до допустимого
Вібрація	Балансування, амортизатори, демпфування	Зменшення вібраційного впливу
Висока температура	Теплоізоляція, дистанційне керування	Покращення мікроклімату
Гази (CO, SO_2, NO_2)	Вентиляція, газоочистка, контроль витоків	Зниження токсичності повітря
Механічні небезпеки	Огородження, сигналізація, блокування	Зменшення травматизму
Електрична небезпека	Заземлення, ізоляція, захисні пристрої	Підвищення електробезпеки

ВИСНОВОК

У кваліфікаційнфій роботі розроблено проєкт автоматизації процесу спікання агломераційної шихти в умовах агломераційної фабрики. Особлива увага була надана системі автоматичного регулювання температури в запалювальному горні.

У першому розділі було розглянуто технологію виробництва агломерату та принцип роботи агломераційної машини. Проаналізовано основні етапи агломераційного процесу, починаючи від підготовки шихти та її запалювання до спікання, охолодження і сортування готового агломерату. Встановлено, що якість кінцевої продукції значною мірою залежить від стабільності температурного режиму, величини розрідження у вакуум-камерах, вологості шихти та швидкості руху агломераційної стрічки. Виявлені недоліки стали підставою для розробки удосконаленої системи автоматизації процесу регулювання температури у запалювальному горні агломераційної машини.

У другому розділі сформульовано основні вимоги до автоматизованої системи керування агломераційною машиною. Визначено вимоги до структури системи, її функціональних можливостей, технічного, інформаційного та метрологічного забезпечення, а також показників надійності та безперервності роботи. Розроблене технічне завдання стало основою для подальшого проектування системи автоматизації.

У процесі проектування було розроблено функціональну структуру автоматизованої системи керування спікальним відділенням, визначено принципи регулювання основних технологічних параметрів та обґрунтовано вибір математичної моделі системи автоматичного регулювання температури в запалювальному горні. Також виконано вибір технічних засобів автоматизації, включаючи первинні вимірювальні перетворювачі, програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200, виконавчі механізми та регулюючі органи.

Запропоновані технічні рішення забезпечують безперервний контроль технологічних параметрів, підвищення точності регулювання температури та зменшення впливу людського фактора на процес керування. Це створює передумови для підвищення якості агломерату та покращення техніко-економічних показників виробництва.

У четвертому розділі розроблено повний комплект проєктної документації, необхідної для впровадження автоматизованої системи керування. Створено функціональну схему автоматизації, принципові електричні схеми, монтажно-комутаційну схему щита КВПіА, схему зовнішніх з'єднань та виконано проектування шафи керування. Розроблена документація повністю відображає структуру та принципи функціонування системи автоматизації і може бути використана як основа для монтажу, налагодження та подальшої експлуатації системи на виробництві.

У п’ятому розділі виконано оцінку надійності системи автоматичного регулювання температури в запалювальному горні. Аналіз показав, що обрані технічні засоби автоматизації відповідають встановленим вимогам щодо безвідмовності, ремонтопридатності та довговічності. Отримані результати підтверджують можливість забезпечення стабільної роботи системи в умовах агломераційного виробництва.

У шостому розділі сформовано замовну специфікацію комплексу технічних засобів, необхідних для реалізації розробленої системи автоматизації. Складена специфікація забезпечує повну комплектацію системи автоматизації та дозволяє визначити необхідні матеріальні ресурси для її практичного впровадження на виробництві.

У сьомому розділі розглянуто організаційні аспекти експлуатації системи автоматизації та визначено склад персоналу, необхідного для її обслуговування. Також виконано розрахунок капітальних витрат на створення системи, експлуатаційних витрат та очікуваного економічного ефекту від її впровадження. Результати економічних розрахунків підтвердили доцільність впровадження автоматизованої системи керування.

У розділі проаналізовано основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, характерні для агломераційного виробництва. Для кожного фактора запропоновано комплекс технічних та організаційних заходів щодо зниження його впливу на персонал. Запропоновані заходи забезпечують підвищення рівня безпеки праці, покращення умов роботи обслуговуючого персоналу та відповідність виробництва вимогам чинних нормативних документів з охорони праці та промислової безпеки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Глинков Г.М. Автоматизація агломераційного виробництва. Харків: ХПІ, 2016. 300 с.
2. Лур'є М.С. Технологія агломерації залізних руд. Київ: Техніка, 2015. 280 с.
3. Міняйло Н. О., Пазюк М. Ю. Дипломне проектування : методичні вказівки до написання та оформлення дипломного проекту. Запоріжжя :ЗДІА, 2013. 76 с.
4. ПАТ «АрселорМіттал Кривій Ріг» URL:https://ukraine.arcelormittal.com (дата звернення 10.04.2026)
5. МК «Азовсталь» URL:https://azovstal.metinvestholding.com/uk-ua/company/about-azovstal (дата звернення 10.04.2026)
6. ІНТЕРПАЙП URL: https://interpipe.biz (дата звернення 10.04.2026)
7. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Київ : Держстандарт України, 1994. 92 с.
8. MathWorks URL: https://www.mathworks.com/products/matlab.html (дата звернення 18.04.2026)
9. Fluke Process Instruments (Raytek) (пірометри Thermalert) URL:https://www.flukeprocessinstruments.com (дата звернення 05.04.2026)
10. Microl (блоки ручного управління, індикатори, реєстратори) URL:https://microl.ua/ua (дата звернення 18.04.2026)
11. Transfer Multisort Elektronikc https://www.tme.eu/ua/details/1xp8001-1/koduiuchi-pristroyi/siemens (дата звернення 18.04.2026)
12. Siemens (каталог продукції) URL:https://www.siemens.com (дата звернення 18.04.2026)
13. Hydronix Ltd (датчики вологості Hydro-Mix, Hydro-View) URL: https://www.hydronix.com (дата звернення 18.04.2026)

14. Siemens SIMATIC S7-1200 Programmable Controller System Manual – Siemens AG URL: https://www.siemens.com (дата звернення 13.04.2026)
15. Керівництво по програмуванню контролерів (TiaPortal) URL:https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:6f74436a53942bf8f1c7b6ed34d2ae72e92ed8a8/programming-guideline-v14-ua.pdf (дата звернення 18.04.2026)
16. УКРМАШПРОМ URL: https://www.mashprom.com.ua (дата звернення 08.05.2026)
17. ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги . [Чинний від 1996-01-01]. Київ : Інститут медицини праці ім. Ю.І. Кундієва НАМН України, 1994.
18. ДСаНПіН 472/25249 Державні санітарні норми та правила. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового 107 процес. [На заміну ГК 4137-86. Чинний від 2014-05-30]. Київ : Міністерство охорони здоров'я, 2014.
19. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Зі змінами.
20. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006. Чинний від 2019-03-01]. Київ : ДП «Державний науково дослідний інститут будівельних конструкцій», 2018.
21. ПУЕ Правила улаштування електроустановок. Зміни (станом на 15.02.2017). [Чинний від 2017-02-15]. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2016.
22. ChatGPT. URL: https://chatgpt.com/ (дата звернення 30.05.2026).
23. Міняйло Н. О., Коса І. Р. Прототипування систем управління за допомогою онлайн-платформ. Інженерні інновації та розбудова національної економіки : матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-науко вого інституту ім. Ю. М. Потебні (09–10

травня 2024 року, м. Запоріжжя) / наук. ред. Н. Г. Метеленко Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2024. С. 1007-1010.

24. Хорев І., Коса І., Єрофєєва А. Технічні рішення для автоматизації енергообліку та механізми контролю технологічних втрат. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2026»: у 4 т. / Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2026. Т.3. С. 240-241.

ДОДАТКИ

Додаток А

Замовна специфікація на комплекс технічних засобів

Позиція	Найменування та технічна характеристика обладнання	Тип, марка обладнання	Одиниця вимірювання: Найменування	Одиниця вимірювання: Код	Код завода-виробника	Код обладнання матеріалу	Ціна одиниці, грн	Кількість	Маса одиниці обладнання, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1. Прилади та засоби автоматизації								
1A, 1B, 1C, 1D	Рідинний рівнемір	Rosemount 5600	шт.					5	
2A, 2B, 2C, 2D	Індикатор вимірювач з термопарним	ІТМ-310А	шт.					6	
3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D	Індикатор-вимірювач технологічних параметрів	ІТМ-310А	шт.					6	
5A, 5B, 5C, 5D, 6A, 6B, 6C, 6D	Блок ручного керування	БРУ-11	шт.					10	
7A, 7B, 7C, 8A, 8B, 8C	Перетворювач частоти	SINAMICS G120	шт.					7	
9A, 9B, 9C	Енкодер	Siemens 1XP8000	шт.					3	
7A, 8A, 9A	Двійник вимірювач рівня і тиску	FVA 250	шт.					3	
4A, 6A, 8A	Безконтактний термометр	Raytek Thermoflex 4A	шт.					3	
5A, 5B, 5C	Датчик диференційного тиску	SITRANS P DS III	шт.					3	
7A, 8A, 9A	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР-2М	шт.					3	
4A, 4B, 4C	Виконавчий механізм	МЕО 630/63-0,25	шт.					3	
2A, 4A, 6A	Датчик кінцевого положення	ПКП-М	шт.					3	
2B	Двійник вимірювач	Vaisala Humitter B	шт.					1	
1A, 2B, 2D, 4A, 6A, 6B	Реєструючий прилад	MAS-100	шт.					6	
1A, 1B, 1C, 3A, 3B, 3C, 4A	Електролічильник		шт.					7	
	2. Адресний контролер та засоби обчислювальної техніки								
	Модуль живлення (Power)	SM 1231	шт.					2	
	Модуль цифрового виходу	SM-1232	шт.					1	
	Модуль аналогового вводу-виводу	SM-1223	шт.					1	
	Центральний процесор	CPU 1214C	шт.					1	
	Модуль живлення	PS-1207	шт.					1	
	3. Щити та пульти управління								
	Однотерміна підлогова шафа	MCS7108SR5	шт.					2	
	4. Електроапаратура								
F1.1, F1.1	Автоматичний вимикач Schneider Electric	RCS19 16A 2P C	шт.					11	
3.1, 3.1	Запобіжник плавкий	ETI CH 5x20 1A	шт.					11	
KK1, KK2	Клемна коробка	КК	шт.					2	
	5. Трубопровідна арматура								
	Труба зварна	Тр. 25х2	м					430	
	6. Кабелі та проводка								
	Кабель	АКВВГ 1х2,5	м					392	
	Кабель	АКВВГ 6х2,5	м					75	
	Кабель	ВВГ НГ 4х2,5	м					5	
	7. Монтажні матеріали								
	DIN рейки	TS-35-15	шт.					4	

							ЗНУ ІННІ Д2 236.10.008.С			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				Арк.	Маса	Масштаб
Розробив		Коса І.Р.			Проект автоматизації сепараційної машини в умовах олійного технологічного підприємства (система автоматичного регулювання температури у вапоризаторі)			Д 1		1:1
Керівник		Мельник І.О.						Аркуш		Листів 1
Н.контр.		Мельник Н.О.								
Затв.		Бакалюк С.В.			Специфікація			ЗНУ, ІННІ, каф. ЕІтаКФС, гр. 6.174.3-с2		
		Мороз Ю.М.								

Додаток Б

Фрагмент функції на мові ST

```
(* --- 0. Ініціалізація входу в CONTROL --- *)
IF NOT ControlActive THEN
    (* перший цикл при вході в CONTROL *)
    ControlActive := TRUE;
    ControlEntryTimer(IN := TRUE, PT := ControlEntry_PT);   (* запускаємо таймер входу *)
    (* скидаємо таймери відсутності *)
    FlameMissingTimer(IN := FALSE);
    SensorMissingTimer(IN := FALSE);
END_IF;

(* --- 1. Перемикання режимів (тільки тут) --- *)
AutoTrig(CLK := Auto_Button);
ManualTrig(CLK := Manual_Button);
IF AutoTrig.Q THEN Mode_Auto := TRUE; Mode_Manual := FALSE; END_IF;
IF ManualTrig.Q THEN Mode_Auto := FALSE; Mode_Manual := TRUE; END_IF;
IF Alarm THEN Mode_Auto := FALSE; Mode_Manual := FALSE; END_IF;

(* --- 2. Визначення T_set у AUTO --- *)
IF Mode_Auto THEN
    T_set := T_set_Regulator;
END_IF;

(* --- 3. PID ГАЗУ / MANUAL --- *)
IF Mode_Auto THEN

    e := T_set - T_meas;
    P := PID_Gas_Kp * e;

    IF PID_Gas_Ti > 0.0 THEN
        PID_Gas_I := PID_Gas_I + (PID_Gas_Kp * 0.1 / PID_Gas_Ti) * e;
    END_IF;
    IF PID_Gas_I > 100.0 THEN PID_Gas_I := 100.0; END_IF;
    IF PID_Gas_I < -100.0 THEN PID_Gas_I := -100.0; END_IF;

    D := PID_Gas_Td * (PID_Gas_PV_prev - T_meas) / 0.1;
    PID_Gas_PV_prev := T_meas;

    Valve_Gas := P + PID_Gas_I + D;
ELSE
    Valve_Gas := Gas_Regulator;
END_IF;
IF Valve_Gas > 100.0 THEN Valve_Gas := 100.0; END_IF;
IF Valve_Gas < 0.0 THEN Valve_Gas := 0.0; END_IF;

(* --- 4. PID ПОВІТРЯ / MANUAL --- *)
IF Mode_Auto THEN

    e2 := Valve_Gas - Valve_Air;
    P2 := PID_Air_Kp * e2;
   IF PID_Air_Ti > 0.0 THEN
       PID_Air_I := PID_Air_I + (PID_Air_Kp * 0.1 / PID_Air_Ti) * e2;
   END_IF;
   IF PID_Air_I > 100.0 THEN PID_Air_I := 100.0; END_IF;
   IF PID_Air_I < -100.0 THEN PID_Air_I := -100.0; END_IF;

   D2 := PID_Air_Td * (PID_Air_PV_prev - Valve_Air) / 0.1;
   PID_Air_PV_prev := Valve_Air;

   Valve_Air := P2 + PID_Air_I + D2;
ELSE
   Valve_Air := Air_Regulator;
END_IF;
IF Valve_Air > 100.0 THEN Valve_Air := 100.0; END_IF;
IF Valve_Air < 0.0 THEN Valve_Air := 0.0; END_IF;


(* --- 5. Симуляція полум'я з утриманням при переході --- *)
(* поки ControlEntryTimer не спрацював, не змінюємо значення Flame (утримуємо те, що було зі STABILISE) *)
IF NOT ControlEntryTimer.Q THEN
    (* нічого не робимо — утримуємо Flame (залишаємо TRUE зі STABILISE) *)
ELSE
    (* після витікання ControlEntryTimer — застосовуємо реальну модель полум'я *)
    IF Valve_Gas > 5.0 THEN
        Flame := TRUE;
        FlameMissingTimer(IN := FALSE);   (* є полум'я — скидаємо таймер відсутності *)
    ELSE
        (* якщо полум'я відсутнє — запускаємо таймер відсутності *)
        FlameMissingTimer(IN := TRUE, PT := FlameMissing_PT);
        IF FlameMissingTimer.Q THEN
            Flame := FALSE;
        END_IF;
    END_IF;
END_IF;


(* --- 6. Симуляція температури --- *)
T_meas := T_meas + 0.05 * (Valve_Gas*10.0 + Valve_Air*3.0 - T_meas);
IF T_meas < 20.0 THEN T_meas := 20.0; END_IF;
IF T_meas > 1500.0 THEN T_meas := 1500.0; END_IF;


(* --- 7. Автоматичне налаштування (як раніше) --- *)
IF Mode_Auto AND AutoTune_Run AND NOT AutoTune_Done THEN
    CASE AT_State OF
        0:
            AT_TempInitial := T_meas;
```