

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кафедра електричної інженерії та кібербезпеки систем  
(повна назва кафедри)

### Кваліфікаційна робота (проект)

Другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему: розроблення автоматизованої системи управління процесом випалювання сталі на прокатні мартинівського виробництва

Виконав: студент 2 курсу, групи 315.12

спеціальності 151. Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованої технології  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованої технології  
(назва освітньої програми)

Доренко П.М.  
(ініціали та прізвище)

Керівник в.т.н. доцент Овчинникова Т.А.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Курієць Т.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2023

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

Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем  
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
 Спеціальність 151, Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код та назва)  
 Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
 Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
 « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Лоренціну Петру Михайловичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Функціональна автоматизована система управління процесом випалювання сталі на прокатні мартемівського виробництва

керівник роботи Свишнікова Ірина Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 20 23 року № 639-с

2 Строк подання студентом роботи 5.12.2023

3 Вихідні дані до роботи Технічна документація, технічні умови, інструкції, дані, отримані під час попереднього виробничого проміжку

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз існуючого рівня автоматизації, розробка технічного завдання, проектування системи автоматизації, розробка технічної документації, математичне моделювання САР, імітаційне моделювання САР, розробка програмної забезпечення, оцінка ризику технічної безпеки, економічне обґрунтування проекту

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

початок роботи мартемівської печі, математична модель САР, результати імітаційного моделювання САР, початок управління САР

## 6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Облишнікова І.А.	Юрину	Юрину
2	Облишнікова І.А.	Юрину	Юрину
3	Облишнікова І.А.	Юрину	Юрину
4	Облишнікова І.А.	Юрину	Юрину
5	Облишнікова І.А.	Юрину	Юрину
6	Облишнікова І.А.	Юрину	Юрину
7	Облишнікова І.А.	Юрину	Юрину

7 Дата видачі завдання 5.06.2023

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення особливостей технологічного процесу	5.06.23	викон
2	Вибір технологічного завдання	15.06.23	викон
3	Математичне моделювання САР	3.07.23	викон
4	Проєктування автоматизованої системи регулювання	18.08.23	викон
5	Проєктування програмного забезпечення	11.09.23	викон
6	Виконання іспитів на предмет знань і навичок	8.10.23	викон
7	Проєктування техніко-експлуатаційних характеристик проекту	8.11.23	викон
8	Проєктування презентації роботи, проєктування нормоконтролю	5.12.2023	викон

Студент

Юрину

(підпис)

Юрину І.М.

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

Юрину

(підпис)

І.А. Облишнікова

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

Юрину

(підпис)

І.А. Облишнікова

(ініціали та прізвище)

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічними процесами

АРМО – автоматизоване робоче місце оператора

ГПУ – графічний процесор управління

МНЛЗ – машина неперервного лиття заготовок

ПІ – пропорційно-інтегральний

ПЛК – програмований логічний контролер

ППК – прилади приймально-контрольні

САР – система автоматизованого регулювання

ОРС – Open Platform Communications

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	1
ВСТУП .....	7
1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	12
1.1 Характеристика конвертерного процесу .....	12
1.2 Принцип роботи конвертера .....	16
1.3 Опис об'єкту автоматизації.....	21
1.4 Аналіз існуючих технологій управління газовим режимом конвертера .....	23
2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ....	29
2.1 Розробка математичної моделі об'єкту управління .....	29
2.2 Параметри управління і функції АСУТП .....	37
2.3 Опис функціонування рівнів АСУ ТП .....	38
3 РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ .....	42
3.1 Розробка САР газовим режимом конвертера.....	42
3.2 Верхній рівень АСУТП.....	49
3.3 Імітаційне моделювання САР газовим режимом конвертера .....	57
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ .....	68
4.1 Алгоритм програми управління.....	68
4.2 Розробка керуючої програми контролера.....	69
4.3 Розробка програми управління контролера .....	71
5 ПАНЕЛЬ ОПЕРАТОРА АСУ ТП САР ГАЗОВИМ РЕЖИМОМ КОНВЕРТЕРА .....	76
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ .....	81
6.1. Загальні заходи з охорони праці плавильних цехів.....	81
6.2 Охорона праці оператора АСУ ТП.....	89
6.3 Конвертери у аспектів забруднення навколишнього середовища.....	93
7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ .....	95

7.1	Визначення капітальних вкладень.....	95
7.2	Розрахунок річних експлуатаційних витрат.....	96
7.3	Річні витрати на ЗП.....	96
7.4	Розрахунок річних амортизаційних відрахувань.....	97
7.5	Річні витрати на ремонт.....	98
7.6	Витрати електроенергії на живлення .....	98
7.7	Інші витрати.....	98
7.8	Річна економія експлуатаційних витрат .....	99
	ВИСНОВКИ.....	104
	ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА .....	107

## ВСТУП

### АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Згідно з прогнозами Міжнародної асоціації виробників залізної і сталевий продукції, яка представляє 85% глобальних виробників, очікується значний зріст світового попиту на сталь у найближчі роки. Для відповіді на зростаючий попит необхідно розширювати виробничі потужності, скорочувати час виробничого циклу і загалом підвищувати продуктивність технологічних установок. Стабільний ріст використання сталі також вимагає постійної оптимізації процесів для збереження конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Мартенівські печі використовуються для виробництва сталі методом конверсії. Цей метод базується на окисленні заліза з вуглецем за участю кисню. Мартенівські печі були розроблені у XIX столітті та використовують високу температуру та повітря для перетворення чавуну в сталь. Вони вважаються менш ефективними та менш екологічно чистими порівняно з деякими новітніми технологіями виробництва сталі. У розвинених країнах світу застосовуються більш сучасні технології, такі як кисневі конвертери, які можуть бути більш ефективними та екологічно безпечнішими.

Киснево-конвертерний процес вигідно відрізняється від інших схем виробництва сталі відсутністю додаткових джерел енергії, таких як електрична енергія, природний газ, вугілля та інші. Сучасний киснево-конвертерний процес слід розглядати як систему поєднаних високоефективних технологій, що включають підготовку чавуну після випуску з мартенівської печі, процес виплавки в конвертері та ковшового доведення сталі, яка потім розливається на машині безперервного лиття заготівок.

Разом із зростанням попиту на сталь спостерігається збільшення вимог до фізичних характеристик та хімічного складу цього матеріалу.

Особливо високі стандарти ставляться для сталі, яка використовується в автомобільній промисловості, виробництві авіаційної та приладобудівної техніки, а також для конструкцій, що працюють в екстремальних умовах, наприклад, при низьких температурах або в космосі. Зокрема, вимагається мінімізація кількості газів, неметалевих включень та інших домішок у сталі. Підвищення стандартів щодо охорони навколишнього середовища також призводить до необхідності збільшення інвестицій у вдосконалення систем очищення газів у конвертерних цехах.

З метою забезпечення високої якості продукції, технологічної надійності та експлуатації виробництва, що не потребує технічного обслуговування, потрібний максимальний рівень автоматизації. Високопродуктивний киснево-конвертерний процес є одним із найважливіших металургійних об'єктів автоматизації. Удосконалення його управління необхідне для отримання сталі із заданими температурою і складом за максимальної економічності плавки. Підвищення стійкості роботи інформаційно-керуючих систем є надзвичайно актуальним завданням. Однак процес повної автоматизації на основі досконалої моделі процесу є вкрай складним і потребує знання закономірностей впливу безлічі факторів: фізико-хімічних, газо-гідродинамічних та інших, дотепер недостатньо досліджених. Отже, розробка та дослідження ситуаційної системи управління газовим режимом конвертера прогнозовано дозволить задовольняти специфічні вимоги до якості сталі на ринку і скоротити виробничі витрати плавильних цехів металургійних підприємств.

#### МЕТА, ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи: удосконалення автоматизованої системи управління процесом виплавлення сталі на прикладі кисневого конвертера.

Об'єкт дослідження: кисневий конвертер плавильного цеху.

Предмет дослідження: технологічний процес управління газовим режимом конвертера.



Відповідно до поставленої мети досліджень в роботі сформульовані наступні задачі:

- сформулювати стислу характеристику об'єкта управління;
- провести огляд та аналіз рішень з управління процесами киснево-конвертного виробництва сталі;
- розробити математичну модель роботи конвертера;
- спроектувати систему автоматичного управління газовим режимом конвертера;
- вибрати алгоритми керування та розробити програмне забезпечення;
- виконати імітаційне моделювання ситуаційної системи управління газовим режимом конвертера;
- проаналізувати надійність розробленої системи;
- розглянути організацію охорони праці, провести аналіз умов праці та визначити заходи зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів;
- виконати розрахунок економічного обґрунтування проекту та визначити економічну ефективність впровадженої автоматизованої системи управління технологічним процесом.

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження використовуються методи математичного моделювання, які базуються на вимірюванні концентрацій CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> та O<sub>2</sub> у конвертерному газі. Це виконується за допомогою сухих і вологих газоаналізаторів у різних точках системи.

## НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Теоретично обґрунтований процес зниження об'єму надходження кисню в газгольдер до 2 % через збільшення концентрації CO<sub>2</sub> до 30 %, що в свою чергу запобігає утворенню вибухонебезпечної суміші в системі.

2. Використання модельно-прогнозуючого регулятора призвело до значного покращення якості регулювання: для контуру витрати кисню відносне зменшення склало 1,63 рази (9075/5577), а для контуру вмісту  $\text{CO}_2$  у конвертованих газах – 32,5 рази (1397/43). Максимальне динамічне відхилення вмісту  $\text{CO}_2$  у конвертованих газах було зменшено на 17,5% – 0,95% = 16,55% у порівнянні з комбінованою системою регулювання із ПД-регуляторами.

3. Шляхом управління газовим режимом конвертера вдосконалено продуктивність системи: забезпечено високу калорійність газу та стабільність параметрів під час плавки. Це, в свою чергу, сприяє досягненню високої якості сталі за всіма показниками

4. Шляхом реалізації автоматичної системи через отримання даних з газоаналізаторів продуктивність відбору проб конвертера було вдосконалено, і безпека процесу та персоналу забезпечена постійною доступністю даних про концентрації  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$ .

5. Розроблена гнучка адаптивна системи на основі ПЛК дозволяє усунути ручне втручання при експлуатації, а також швидко проводити будь-яку модифікацію і легше впроваджувати будь-які зміни в майбутньому.

6. Проєкт готовий до впровадження на виробництві, після тестування системи та внесення необхідних змін у часові параметри програми.

## ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Практичне значення отриманих результатів роботи – вдосконалена система управління газовим режимом конвертера, яка готова до застосування на виробництві за умов тестування системи та зміни часових параметрів програми.

В майбутньому розроблена САР має перспективи розвитку та модифікацій. Можливо розширення системи, додавання більшої кількості датчиків та приладів, які будуть показувати склад чавуну за допомогою

автоматизованих датчиків, які можуть виявляти хімічний склад металів та додати опціонал для донного дуття, який за певних умов, може бути ефективнішим за поверхневий, але він є складнішим та більш вимогливим в плані обладнання для реалізації і автоматизації.

### ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК

Теоретичні дослідження виконані автором самостійно. Його особистий внесок полягає: в розробці системи управління технологічним процесом управління газовим режимом конвертера. Представлені дані також підтверджуються розрахунками надійності розробленої системи для забезпечення стабільної роботи конвертерної установки і безпеки персоналу. Розроблені рішення будуть актуальним тому, що існує досить невелика кількість відомих систем автоматизованого управління параметрами киснево-конвертерного виготовлення сталі, а готова система, виконана в проекті, буде доволі гнучкою та налаштованою до підключення в різних умовах металургійного виробництва. Також, система матиме основу для доповнень та більш детального програмування і подальшого удосконалення.

### СТРУКТУРА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Магістерська робота складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку літератури із 51 найменування і вміщує 109 сторінок основного тексту, 13 таблиць, 22 рисунків, усього 112 сторінок.

## 1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 1.1 Характеристика конвертерного процесу

Сталеплавильним виробництвом називають процес одержання сталі з чавуну і шлаку у спеціальних агрегатах на сталеплавильних заводах. Саме це виробництво є другою ланкою в загальному циклі чорної металургії. На сьогоднішній день, в світовій металургії, основним способами виплавки сталі є: мартенівський спосіб, електросталеплавильний та киснево-конвертерний процеси. Співвідношення їх популярності постійно змінюються в залежності від економічних, екологічних та інших аспектів розгляду застосованих способів отримання сталі. Мартенівський використовується все рідше, а киснево-конвертерний та електросталеплавильний – частіше. Дані два підходи наразі і борються за першість в своїй ефективності та вигідності.

В Україні для виплавки сталі, до 2008 року, широко використовувались мартенівські технології, які були ефективні майже сто років тому. Витрати палива при цьому, були надзвичайно великими, тоді як весь світ давно перейшов на киснево-конвертерне виплавлення, яке вимагає в шість разів менше енерговитрат на тону сталі. Економічна криза 2008 році застала таки закрити заводи з таким методом виготовлення, або ж встановити кисневі конвертери для виробництва. Мартенівський спосіб уже просто не міг витримувати конкуренції в цьому плані.

Процес плавки сталі є окисним процесом, адже сталь утворюється тільки за умов окислення, що і видаляє з чавуну такі домішки, як фосфор, кремній, марганець та вуглець. В конвертерній установці можливо створити окисну атмосферу для окислення домішок чавуну та відбувається за допомогою кисню, який має властивість утримуватись в оксидах заліза та марганцю. Інші домішки окислюються та виводяться разом із

розплавленим шлаком, після чого, отримується м'яка або тверда сталь, залежно від заданих параметрів протікання процесу.

Кисневий конвертер призначений для виробництва сталі з рідкого чавуну та сталевого брухту при продуванні киснем.

Процес плавки сталі в кисневих конвертерах поділяють на такі етапи [3]:

- завантаження металевого брухту;
- заливка рідкого чавуну, продування ванни киснем;
- введення сипучих матеріалів, що утворюють шлак;
- контроль температури металу та відбір проб;
- злив металу і шлаку;
- огляд футерування конвертера і підготовка до наступної плавки.

На рисунку 1.1 наведена схема конвертерного виробництва сталі.

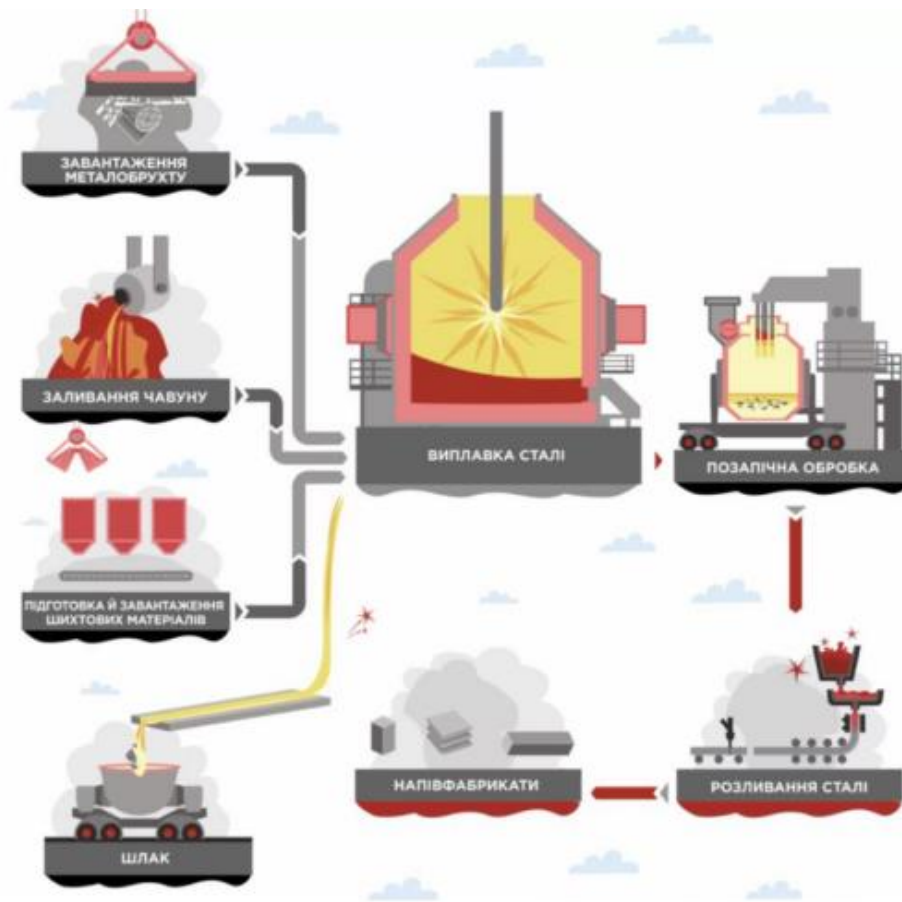


Рисунок 1.1 – Схема конвертерного виробництва сталі [27]

Киснево-конвертним процесом називають процес виробництва сталі, в якому чавун та шлак продувається зверху через охолоджувальну фурму.

Киснево-конвертерний спосіб є дуже ефективним в порівнянні з мартенівським. Три конвертера на 400 тонн, можуть забезпечити річний обсяг виробництва та виробити приблизно 10 тонн сталі, на що точно не спроможний мартенівський метод. Конвертерне виробництво сталі є основним етапом виробництва сталі з рудної сировини з використанням доменного чавуну та сталевого брухту як основної сировини. Близько 70% сталі в даний час виробляється за допомогою різних варіантів основних кисневих конвертерів.

Конвертерний процес був розроблений у середині дев'ятнадцятого століття з використанням повітря, що продувається знизу, для окислення. Перетворення кисню було розроблено приблизно століттям пізніше, у 1950-х роках, спочатку шляхом застосування кисню, що видувається зверху через фурму, а трохи пізніше, як кисень, що видувається знизу через сопла. Ближче до кінця минулого століття було розроблено кілька нових технологій конвертерів шляхом поєднання верхнього та нижнього видування кисню та інертного газу, аргону або азоту.

Виділяють два підходи до реалізації киснево-конвертерного плавлення – безсемерівський та томасівський. Однак сучасні методики відрізняються від них низьким вмістом азоту в печі, що підвищує якість робочого процесу.

Безсемерівський процес – перший масовий спосіб одержання рідкої сталі відкрив англійський винахідник Генрі Бессемер у 1856. Основний недолік процесу – невисока якість металу за рахунок невилучених при продуванні шкідливих домішок (фосфору та сірки). Для виплавки безсемерівських чавунів потрібні дуже чисті за вмістом сірки та фосфору залізняку, природні запаси яких обмежені.

Томасівський спосіб – продування через рідкий метал повітря, але футерування основне і завдяки цьому стає можливим видалення фосфору.

Футерівка доломітова (MgO, CaO). Застосовується для переплавлення сталі чавунів марок Т-1 і Т-2, що містять підвищений % фосфору до 2,2% і сірки.

Розглянуті конвертерні методи виплавки стали мають такі переваги:

- висока продуктивність (час плавлення 20 – 30 хв);
- простота конструкцій печей (конвертерів) і, отже, малі капітальні витрати;
- мінімальні експлуатаційні витрати;
- не потрібно при плавці спеціально вводити тепло, оскільки воно виходить у конвертерах за рахунок реакцій окиснення домішок.

Недоліки:

- значний чад заліза (до 13%);
- неможливість переплавляти у великих кількостях скрап (металевий брухт);
- нижча якість сталі (головний недолік конвертування) – наприклад, за рахунок продування повітрям сталі збільшується вміст азоту (до 0,025-0,048%), яке помітно знижує якість сталі;
- через нетривалість процесу неможливо в конвертерах виплавляти сталі складного хімічного складу, а через невисокі температури (найбільша  $t_{\text{плавл.}} = 1600^{\circ}\text{C}$ ) неможливо додавати тугоплавкі легуючі компоненти (W, Mo, Nb і т.д.).

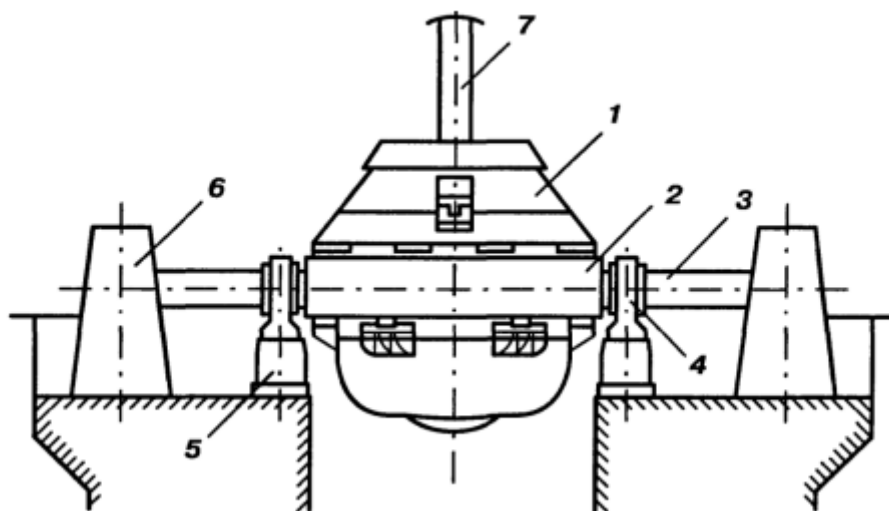
Киснево-конвертерний процес вигідно відрізняється від інших схем виробництва стали відсутністю додаткових джерел енергії, таких як електрична енергія, природний газ, вугілля та інші. Сучасний киснево-конвертерний процес слід розглядати як систему поєднаних високоефективних технологій, що включають підготовку чавуну після випуску з доменної печі, процес виплавки в конвертері та ковшового доведення сталі, яка потім розливається в машину безперервного лиття заготовок.

До цього часу конвертерне виробництво сталі було обмежене через вищевикладені недоліки. У конвертерах виплавлялися лише прості вуглецеві сталі звичайної якості. Технологія видування в конвертері, методологія керування процесом, конструкція печі та довговічна футеровка відіграють ключову роль в оптимальному виробництві сирової сталі в різних конвертерних процесах, включаючи оптимальне досягнення бажаного кінцевого складу та температури сталі.

## 1.2 Принцип роботи конвертера

Конвертер зазвичай на вигляд – посудина грушоподібної форми. Верхня його частина називається «шоломом», або ще «козирком». Вона являє собою отвір, через який відбувається зливання рідкого чавуну, сталі та шлаку.

На рисунку 1.2 наведена будова конвертера для продувки киснем зверху.



1 – корпус конвертера; 2 – кільце опорне; 3 – цапфа; 4 – підшипники;  
5 – станина; 6 – механізм повороту; 7 – киснева фурма із системою кріплення

Рисунок 1.2 – Будова конвертера для продувки киснем зверху [27]



Середня частина – це пуста циліндрична оболонка з товстими стінками, в якій і відбувається даний процес. Нижня частина являє собою приставне днище, яке має властивість часто (відносно інших частин) зношуватися і тому, його часто замінюють новим. До днища конвертера приєднують повітряну коробку, яка слугує для потрапляння стислого повітря під великим тиском.

Процес киснево-конвертерного виготовлення сталі, складається з наступних етапів:

- завантаження брухту. Близько 25 – 27% від загальної маси шихти завантажуються в нахилений конвертер за допомогою совків;
- заливка чавуну чи сталевих сплаву. Рідкий метал за нормальної температури до 1450 °С ковшами заливається в нахилений конвертер. Операція триває трохи більше 3 хв;
- продування. У цій частині технологія виплавки сталі в кисневих конвертерах допускає різні підходи щодо подачі газо-повітряної суміші. Потік може прямувати зверху, знизу, донним та комбінованим способами залежно від типу конструкції обладнання;
- отримання проб. Виконується вимірювання температури, видаляються непотрібні домішки, очікується аналіз складу. Якщо його результати відповідають проектним вимогам, плавка випускається, а якщо ні – вносяться коригування.

Завантаження металевих брухту. Кількість сталевих брухту має досягати 25% від маси шихти. Метал, як при звичайних сталеплавильних процесах, має задовольняти наступним вимогам: відсутність високого вмісту фосфору, сірки, добавок кольорових металів та іржі, адже видалити ці матеріали в процесі плавки не являється можливим. Тим більше, що присутність фосфору в сталі, робить її доволі крихкою та здатною ломатись.

Для видалення присутнього вмісту фосфору, сама обкладка конвертера робиться з суміші окислів кальцію та магнію. Крім того, має

бути обмежений максимальний розмір шматків брухту, адже великі бруски можуть не встигати розчинитись в металі за час продувки. Також, під час завантаження, вони можуть пошкодити футеровку конвертера. Для конвертерів ємністю 100 – 350 т, розмір шматків брухту не повинен бути більше, чим такі габарити: 0,3 x 03 x 10 м, а для пакетів лома не більше чим 0,7 x 1,0 x 2,0 м. Початок завантаження брухту та заливка чавуну в конвертер дозволяється за температури футеровки не нижче, чим 1000 °С, по команді майстра (відповідального за перевірку) конвертеру.

Заливка рідкого чавуну. Основний шихтовий матеріал для киснево-конвертерного цеху – це рідкий чавун. Рідкий чавун потрапляє в конвертер з міксерного відділення або з чавуновізного відділення. В чавуновізний ківші проводяться хімічні процеси окису вуглецю з металу та видалення розчинених в ньому шкідливих газів – водню та азоту.

Утворення шлаку методом засипки сипучих добавок. Сипучі компоненти, що утворюють шлак, завантажують за допомогою автоматизованої системи, яка складається з бункерів для зберігання матеріалів, живильників, ваги лотків, за якими матеріали зсипаються в горловину конвертера. Система забезпечує завантаження сипучих матеріалів без зупинки продувки за програмою, заданої оператором з пульта управління конвертером.

Завантаження добавок в конвертер можна виконувати за такими схемами:

- до заливки чавуну в конвертер 100% завантажують на скрап;
- до заливки чавуну в конвертер 50% іде завантаження під чавун або скрап, залишок дається на протязі продувки;
- режим завалювання – «доведення» в процесі продувки (перша найбільша порцію завантажується на початку продувки, а залишок два-три рази – під час продувки);
- режим «посипання», який представляє собою засипання рівномірними невеликими порціями на протязі продувки. Кількість таких

порцій може бути не більшою чим 10 та визначається складом устаткування і кількістю автоматичних ваг-дозаторів тракту подачі сипучих шихтових матеріалів.

У цехах старої структури є можливі до реалізації тільки перші дві схеми. Сипучі матеріали додаються в конвертер у подрібненому вигляді (20 – 25 мм).

Контроль температури металу та відбір проб. Для отримання заданого хімічного складу і температури сталі після закінчення продувки, по ходу плавки, бажано вимірювати температуру металу і брати проби металу з шлаком. Для цього, конвертерні печі обладнуються спеціальними термозондами. Ці зонди є невід'ємними елементами обладнання сучасних кисневих конвертерів. Результати вимірювань подаються до моменту випуску попередньої плавки. Конвертер знаходиться в похилому положенні, як і під час операції з завалення металобрухту. Не роблячи великої перерви, в конвертер на скрап заливається рідкий чавун за допомогою заливного крана з чавуновізним ківшом, який пересувається по робочому майданчику вздовж фронту конвертерів. Маса чавуну, що заливається в конвертер, розраховується залежно від заданої марки сталі, маси виливків, кількості охолоджувачів (брухту, окатишів, руди). Завантажений конвертер встановлюється у вертикальне положення. Температура рідкого чавуну, який переробляють у конвертерах на сталь, зазвичай становить 1300 – 1450°C.

Використання чавуну з температурою нижче не бажано, оскільки це призводить до «холодного» початку продувки та уповільнення утворення шлаку. Після того, як чавуну долили, конвертер повертають у вертикальне, робоче положення.

Процес продувки. У порожнину конвертера вводиться фурма та вмикається подача кисню. Перед початком продування, обов'язково перевіряється готовність датчиків, двигунів та іншого обладнання. Особливо це стосується котла-охолоджувача і газоочищення. Багато уваги

приділяється роботі тракту для відводу конвертерних газів без догорання CO.

Перевіряється робота димососа, газових пальників та пристосування для систем газовідвідного тракту, витрата води. Автоматично вмикається регулятор, виставляється заданий тиск в гирлі кесона охолоджувача конвертерних газів, який становить приблизно 6 – 10 Па, і забезпечується в відвідних газах 60% CO. За рахунок кисню, яким продувається чавун, відбувається окислення вуглецю, який є зайвим як і кремній, марганець та невелика кількість заліза, причому окислення кремнію і марганцю закінчується в перші 3-4 хвилини продувки. З окислів, які утворилися (за винятком CO), утворюється шлак . Під час продувки, з металу в шлак виділяється фосфор та сірка. Бульбашки CO, що утворюються при окисленні вуглецю, спінюють метал зі шлаком та значно посилюють циркуляцію шлаку і металу, що позитивно впливає на швидкість процесу окислення, дефосфорації, нагріву металу та ін.

Злив металу і шлаку. Після того, як розплавлений метал набуває заданого хімічного складу, густини і температури, продувка припиняється, фурма піднімається і конвертер нахиляється для зливу цього металу. Вилив сталі з конвертера, виконується через сталевипускний отвір (летку), за командою оператора з головного посту керування або з допоміжного посту на робочому майданчику. Після закінчення зливу сталі конвертер нахиляється в протилежну сторону для виливу рідкого шлаку, який зливається в шлаковий ківш через горловину конвертера.

Процес плавки. Тривалість плавки в сучасному конвертері складає від 30 до 45 хвилин, з яких:

- завалка брухту та заливка чавуну – 5 – 10 хвилин;
- продувка киснем – 12 – 17 хвилин;
- відбір проб та заміри температури – 5 – 6 хвилин;
- злив металу та шлаку, огляд і ремонт футерування – 8 – 12 хвилин.

### 1.3 Опис об'єкту автоматизації

Мартенівський цех – ключова ланка сталеливарного заводу, складається з конвертера, в якому рідкий метал із доменної печі перетворюється на рідку сталь у процесі декарбонізації. Чавун фактично є сумішшю домішок, таких як вуглець (3,5 – 4,25%), кремній (0,4 – 0,5%), марганець (0,3 – 0,4%), сірка (максимально 0,04%) та фосфор (максимально 0,09%). Це буде за температури 1300 – 1400 градусів за Цельсієм. Чавун знову з'єднують із залізною рудою, коксом, кальцієм, вапном і доломітом і нагрівають до 1700°C допомогою пального газу – кисню. Кисень подається в конвертер через фурму, яка є трубчастим корпусом зі спеціальної сталі з циркуляцією охолоджувальної води для запобігання його плавленню при такій високій температурі.

В таблиці 1.1 наведені величини, які контролюються в конвертері [28].

Таблиця 1.1 – Основні величини, що контролюються в конвертері

Величина	Межі виміру
Положення корпусу конвертера	0 – 360°
Положення кисневої фурми	2 м над рівнем спокійного металу
Витрата кисню	Залежить від ємкості конвертера (для 160 т – витрата 400м <sup>3</sup> /хв)
Витрата охолоджуючої води	Залежить від ємкості конвертера (для 160 т – витрата 180м <sup>3</sup> /год)
Надлишковий тиск кисню	1,5 МПа
Надлишковий тиск води	1,2 МПа
Температура охолоджувальної води	20 – 60°C
Температура металу	до 1700
Окриленість шлаку	FeO = 12%
Аналіз конвертерних газів	CO до 74%; CO <sub>2</sub> до 20%; O <sub>2</sub> до 5%; H <sub>2</sub> до 1%
Розрідження в кесоні	30 Па
Час продувки	12 – 17 хвилин (для сучасних конвертерів)

Усередині списа є корпус зі спіральних трубок, якими циркулює охолодна вода для запобігання пошкоджень. Індукція кисню підвищує температуру приблизно 1700°C.

Тиск кисню становить приблизно від 16 кг/см<sup>2</sup> до 18 кг/см<sup>2</sup>. Це проходження кисню через спис триває від 16 до 18 хвилин, що відомо як процес «видування». Під час цього процесу продування відбувається декарбонізація, і кінцевим виходом буде рідка сталь. Під час цього процесу продування виділяються шкідливі відпрацьовані гази. Їх слід очищати перед викидом в атмосферу або зберіганням для повторного використання.

Очищення газу здійснюється на газоочисній установці (GCP). Залежно від складу газу газ або рекуперується і зберігається в газгольдер для подальшого використання в нагрівальних печах прокатних станів, або викидається в атмосферу після спалювання. Два однакові ГПУ встановлені в ССМ для двох конвертерів зі збору, охолодження, очищення та утилізації газу та пилу.

Газ, що проходить через установку під час процесу продування, має високий вміст СО, який є корисним газом. У період, що не продується, відбувається всмоктування повітря через установку. З метою безпеки необхідно уникати утворення газоповітряної суміші на початку та в кінці продування, а також у період без продування. Природний буфер із інертного газу забезпечує безпеку експлуатації. Інертний буфер отримують, тримаючи заслінку Вентурі широко відкритою протягом перехідних періодів на початку та в кінці кожної послідовності продування.

На початку послідовності продування відбувається значне надходження повітря в горловину конвертера, що призводить до повного згоряння рафінуючого газу в ковпаку. Після цієї фази спрацьовування системи управління тягою поступово закриває скруббер і зменшує потік повітря, що всмоктується, у витяжці до тих пір, поки не спрацює отримані характеристики без горіння. Таким чином, протягом цього періоду існує

фаза, що відповідає стехіометричному згорянню газу, під час якої весь кисень повітря, що нагнітається, використовується для спалювання всього CO, що виділяється ванною.

Отриманий газ складається тільки з двоокису вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) і азоту ( $\text{N}_2$ ) і, отже, повністю інертний по відношенню до повітря, що видаляється з установки, а також по відношенню до газу, зібраного без спалювання. Те саме відбувається у зворотному напрямку в кінці послідовності продування. В результаті у всіх випадках проміжний буфер інертного газу, обсяг якого достатній для повного продування установки, поділяє повітря та горючий газ.

У вищезгаданому процесі стає обов'язковим вимір концентрації CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  та  $\text{O}_2$  для безпечної експлуатації установки. Теплотворна здатність газу, отриманого в процесі продування конвертера, становить близько 2000 кКал/Нм<sup>3</sup>. Склад газу, отриманого в процесі продування конвертера, наступний: окис вуглецю від 60 до 80 %, водень від 2,0 до 3,0 % двоокис вуглецю від 10 до 20,0 %  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  та інші газу.

#### 1.4 Аналіз існуючих технологій управління газовим режимом конвертера

Системи автоматичного управління газовим режимом конвертера виконують такі операції:

- отримання інформації про складові матеріалів і проведення розрахунків для одержання сталі бажаної марки;
- розрахунок кількості кисню, який необхідний для окислення домішок і витрати охолоджувачів з шлакоутворювачами;
- визначення моменту введення добавок охолоджувачів а також, шлакоутворювачів;

- регулювання інтенсивності подачі кисню та положення кисневої фурми по ходу плавки;

- автоматичний контроль температури і складу металу в процесі плавки.

визначення моменту закінчення продувки.

На сьогоднішній день, інформація по єдиному програмному забезпеченні системи з управління конвертерної плавкою не представлена в літературних джерелах. Відсутність даної інформації пояснюється з одного боку складністю подібних розробок на увазі не стаціонарності технологічного процесу плавки, а з іншого боку відсутністю аналогів такого продукту і чинником комерційної таємниці.

Разом з цим досить широко впроваджується програмне забезпечення для роботи з окремими підсистемами конвертерної плавки.

Сучасні автоматизовані системи управління є ієрархічними системами, що мають 2 – 3 і більше рівнів:

- на нижньому рівні, знаходяться первинні перетворювачі, модулі віддаленого вводу-виводу, місцеві прилади та виконавчі механізми з регулюючими органами;

- середній рівень складається з програмованих логічних контролерів;

- на верхньому рівні розташовуються промислові чи персональні комп'ютери та панелі оператора.

Для зв'язку верхнього рівня із середнім, крім Р2Р з'єднання, може ще створюватися локальна промислова мережа. З'єднання «точка-точка» (Р2Р), застосовується тільки в з'єднанні в простих випадках, наприклад з'єднання одного програмованого контролера з комп'ютером.

Для відображення інформації про стан системи управління приводами в приміщенні машинного залу передбачено автоматизоване робоче місце (АРМ) електрика, обладнане SCADA-системою Monitor Pro, що дозволяє архівувати інформацію про стан електроприводів з



можливістю подальшого перегляду архівів. Для оповіщення оператора конвертера про нештатні ситуації, а також видачі інформації про поточні значення параметрів приводів, кутах повороту конвертера і місцях знаходження фурм, на пульті ГПУ передбачений графічний термінал (панель оператора Magelis). Зв'язок між контролером комплектом системи управління і терміналами електрика і оператора здійснена за відмовостійкої промислової мережі через порти RS-485 по протоколу Modbus +. На конвертерах № 1-3 ВАТ «Северсталь» введені в експлуатацію вимірювальні зонди, які здійснюють багаторазові виміри температури, окислення, вмісту вуглецю, рівня ванни і відбір проб металу. Заміри і відбір проб виробляються під час продувки плавки без повалення конвертера в якості SCADA-пакета для розробки програмного забезпечення даної системи був обраний пакет InTouch версії 7.1 (Wonderware).

В умовах киснево-конвертерного цеху ПАТ «Єнакіївський металургійний завод» на конвертері № 2 введена в експлуатацію автоматизована система управління технологічним процесом «Мокрою» газоочистки реконструйованого газовідвідного тракту, яка також обладнана автоматизованим робочим місцем оператора з відповідним програмним забезпеченням. Програмне забезпечення операторського АРМ виконано за допомогою програмного продукту SIMANTIC WinCC V7.0 SP2.

Наразі є відомою тільки одна автоматизована система, яка стала відомою і влаштована на підприємстві, яке вирішило не публікувати свою назву – це АСУТП «Плавка» - «Сталь».

Програмно-апаратний комплекс успішно впроваджений в конвертерному цеху одного з найбільших підприємств з виробництва сталі в світі. Точність виведення плавки на задані параметри за хімічним складом і температурі в кінці плавки виробляється шляхом алгоритмічної обробки великого числа параметричних даних виробництва (значеннях

поточних параметрів під час плавки). АСУТП «Плавка» - «Сталь» має 3 режими роботи:

1. Рекомендаційний режим (без включення режимів «управління механізмами»). Машиніст задає всі необхідні параметри на плавку. Модель виробляє попередні розрахунки на плавку, розрахунки температури, сипучих матеріалів (якщо шихтовка гаряча, то кількість охолоджувачів). Чи не перемикаючи механізми конвертера в режим КОМ, тобто машиніст веде плавку вручну, модель веде розрахунок основних показників по ходу продувки, видає рекомендації.

2. Напівавтоматичний режим (включення режимів «управління механізмами»). Машиніст задає всі необхідні параметри на плавку. Машиніст приймає самостійне рішення підтвердження розрахунків моделі (сипучі на плавку) або веде продування згідно процесно-технологічної діаграми, вводячи коригування. Для початку продувки (конвертер в вертикалі) переводить режими управління механізмами кисневого тракту і вертикального тракту подачі сипучих в режим «КОМ». По ходу продувки система видає рекомендації. у вигляді діалогових вікон з прийняттям подальших дій, після натискання відповідних кнопок.

3. Повнофункціональний автоматичний режим. В автоматичному режимі управління процесом плавки проводиться централізований контроль за ходом технологічного процесу з сигналізацією і реєстрацією відхилень від заданих параметрів. Управління металургійним процесом (розрахунок оптимального складу шихти, з планованих завдань, управління завантаженням печі, розрахунок кисню, легуючих і шлакообразуючих, що забезпечують отримання металу заданої якості і економію матеріалів). Управління допоміжними операціями з відбору проб, заміру температури металу та ін. Збір і обробка інформації з видачею необхідної документації.

## 1.5 Постановка задачі

Основна задача ситуаційної системи управління газовим режимом конвертера полягає в аналізі концентрації CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> та O<sub>2</sub>, присутніх у конвертерному газі у різних місцях, а саме в аналізаторі сухого газу, аналізаторі вологого газу та загальний аналізатор вологого газу, який вивільняється в результаті процесу продування. Вимірювання концентрації CO у сухому газоаналізаторі важливо для вилучення газу, зберігання та розподілу газу різним споживачам для нагрівання печей.

Вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> у сухому газоаналізаторі важливо для контролю надходження повітря в систему, а також для зниження надмірного тепла, що виділяється в газоході. Вимірювання концентрації H<sub>2</sub> у сухому газоаналізаторі важливо знати для витоку води в конвертер, щоб запобігти вибуху, зупинивши удар. Вимірювання концентрації O<sub>2</sub> в аналізаторі вологого газу та загальному аналізаторі вологого газу важливе для контролю надходження повітря в систему, а також для запобігання утворенню в системі вибухонебезпечної суміші, що призводить до небезпечних умов, таким як потужний вибух, якщо відсотковий вміст кисню перевищує 2%.

Удосконалення автоматизованої системи керування конвертерною плавкою вирішує наступні завдання:

1. Реалізація динамічної стабілізації для забезпечення постійного ходу процесу за основними параметрами;
2. Управління середньо траекторною зміною параметрів стабілізованого процесу, включаючи контроль динамічних параметрів та регулювання продувки у замкненому режимі;
3. Наліз виробництва та його управління з метою забезпечення оптимальних техніко-економічних показників процесу;
4. Система призначена для роботи в автоматичному режимі під час увімкнення живлення, тому при включенні система переходить на режим

виміру, система залишається в режимі вимірювання відповідно до часу циклу;

5. Система повинна реагувати на зниження об'єму надходження кисню в газгольдер через збільшення концентрації CO, регулювання кисню об'єму надходження кисню дозволить запобігти утворенню вибухонебезпечної суміші в системі.

6. Регулювання газовим режимом конвертера (концентрації CO, CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>) дозволить підтримати високу калорійність газу, стабілізувати параметри під час плавки, що в свою чергу дозволить досягти високої якості сталі за усіма показниками.

7. Впровадження удосконалень до автоматичної системи через отримання даних з газоаналізаторів має підвищити продуктивність відбору проб конвертера, вдосконалити систему безпеку процесу та персоналу забезпечена постійною доступністю даних про концентрації CO, CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>.

8. Удосконалення системи управління на основі ПЛК дозволить усунути ручне втручання при експлуатації, а також швидко проводити будь-яку модифікацію і легше впроваджувати будь-які зміни в майбутньому.

*Висновки.* Огляд існуючих рішень дав зрозуміти, що не дивлячись на те, що Україна є однією із провідних країн-виробників сталі в світі, але інформації, щодо вітчизняних та іноземних технологій та методів організації автоматизованих систем управління киснево-конвертний виготовленням сталі, є дуже мало по причині складності реалізації та комерційної таємниці фірм, причому засобами вибирається доволі широкий спектр програм, що дає подвійну свободу в будь-яких розробках в цій сфері.

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

### 2.1 Розробка математичної моделі об'єкта управління

За доволі короткий термін (2-5 хвилин) після зливу попередньої плавки з конвертера у ківш, оператор конвертерного виробництва має сформулювати шихтову суміш для виконання наступної плавки [32]. Вихідними даними, якими володіє оператор при прийнятті рішень, є:

- марка сталі, що буде виготовлятися, а саме верхні та нижні межі вмісту в розплаві вуглецю, марганцю, сірки, фосфору, легуючих елементів;
- бажана температура сталі під час виливання з конвертера у ківш;
- хімічний склад (вуглець, кремній, сірка, фосфор, марганець), температура чавуну та ступінь його зашлакованості;
- наявність охолоджувачів (брухт, вапно, залізовмісні брикети, плавииковий шпат, окатиші, вапняк, доломіт), їх хімічні параметри та ціна;
- наявність розкислювачів (силікомарганець, феросиліцій, феромарганець, алюміній), їх ціна та хімічний склад.

Основою розрахунку шихти, крім вимог до марки сталі, є так зване рівняння теплового балансу:

$$\sum_{i=1}^n Q_i^{in} - \sum_{j=1}^m Q_j^{out} \rightarrow 0 \quad (2.1)$$

де  $\sum_{i=1}^n Q_i^{in}$  – сума тепла, що надходить до конвертера від усіх джерел  $i = 1 \dots n$ ;

$\sum_{j=1}^m Q_j^{out}$  – сума тепла, що витрачається  $j = 1 \dots m$  процесі.

Традиційно розглядають п'ять основних джерел тепла у ванні конвертера:

$$\sum Q^{in} = Q_{\text{чав}} + Q_{\text{м.шлак}} + Q_{\text{дом}} + Q_{\text{зал}} + Q_{\text{шл-утв.}} \quad (2.2)$$

де  $Q_{\text{чав}}$  – тепло від окислення чавуну, пропорційне його масі та початковій температурі;

$Q_{\text{м.шлак}}$  – тепло від окислення міксерного шлаку, пропорційне температурі, масі чавуну та ступеню зашлакованості;

$Q_{\text{дом}}$  – тепло від окислення неметалевих домішок шихти, що нелінійно залежить від хімічних параметрів готової сталі, чавуну й охолоджувачів;

$Q_{\text{зал}}$  – тепло від окислення заліза, що переходить у шлак і пил – нелінійно залежить від ступеня окислення та маси шлаку;

$Q_{\text{шл-утв}}$  – тепло від шлакоутворення.

На практиці кількість шлаку в чавуні не перевищує 1%, тому теплотою, що вносить ця складова, можна знехтувати.

Водночас уся енергія, що утворюється в конвертері, витрачається наступним чином:

$$\sum Q^{out} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{пил}} + Q_{\text{шл}} + Q_{\text{газ}} + Q_{\text{дис}} + Q_{\text{вкв}} + Q_{\text{втр}}, \quad (2.3)$$

де  $Q_{\text{ст}}$  – тепло, що залишається в готовій сталі, пропорційне її масі та температурі розливки;

$Q_{\text{пил}}$  – тепло, що уноситься пилом, пропорційне середній температурі плавки та ступеню випаровування заліза;

$Q_{\text{шл}}$  – тепло, що залишається в шлаку, пропорційне його масі та температурі розливки;

$Q_{\text{газ}}$  – тепло, що виноситься із продуктами згоряння, пропорційне середній температурі плавки та сумі об'ємів газів, що відходять;

$Q_{\text{дис}}$  – тепло дисоціації сполук заліза та вапна – нелінійна функція мас скрапу та ступенів забруднення;

$Q_{\text{вкв}}$  – тепло, що уноситься з викидами металу, корольками металу в шлаку й виплесками – нелінійна функція початкового хімічного складу та ступеню забруднення скрапу;

$Q_{\text{втр}}$  – тепло, що передається фурмі, футеровці й корпусу конвертера – пропорційне сумі вхідного тепла.

Звичайно, крім теплового балансу, у конвертері зберігається матеріальний баланс:

$$\sum_{k=1}^p M_k^{in} - \sum_{l=1}^q M_l^{out} \rightarrow 0 \quad (2.4)$$

де  $\sum_{k=1}^p M_k^{in}$  – сума мас усіх речовин  $k = 1 \dots p$ , що потрапляють до конвертера під час плавки.

$\sum_{l=1}^q M_l^{out}$  сума мас усіх речовин  $l = 1 \dots q$ , що утворюються у процесі плавки.

У реальних процесах конвертерної плавки фіксованою величиною є вихід природного металу  $M_{st}^{out} = \text{const}$ , що має дорівнювати наперед заданій величині. Це обумовлено тим, що готова сталь розливається у виливниці заздалегідь відомими порціями. Міркування щодо розподілу металу у виливниці розглянуто в попередніх роботах, зокрема [32].

Кількість решти речовин, що утворюються у процесі виготовлення сталі, потенційно не лімітується, визначаючись початковими умовами плавки та речовинами, що були витрачені.

Корегуючі операції виконуються, якщо різниця між приходом і витратою тепла перевищує 0,5–0,8%, що відповідає відхиленню фізичної температури сталі від заданої на 10–15°C.

Найчастіше корекція полягає у введенні додаткового металевго скрапу (брухт, окатиші, залізовмісні брикети) для охолодження надмірно

перегрітої сталі. Однак бувають і протилежні випадки, коли необхідно здійснювати додувку з метою підвищення температури або ж вводити вугілля для компенсації надмірно випаленого вуглецю.

Будь-яка корекція затягує процес плавки, призводить до збільшення експлуатаційних витрат і, як наслідок, – собівартості розливої сталі.

Ефективність перетворення оксиду вуглецю (II) до вуглекислого газу в порожнині конвертера залежить від висоти, на якій розміщена фурма в порівнянні з рівнем спокійної ванни (див. рис. 2.1, де штрихована лінія позначає область, де подача газів не є технологічно обґрунтованою). Збільшення висоти розміщення фурми над рівнем спокійної ванни призводить до підвищення ефективності окиснення вуглецю (II) в порожнині конвертера. Це пов'язано зі збільшеним потоком кисню у верхній зоні агрегату [54].

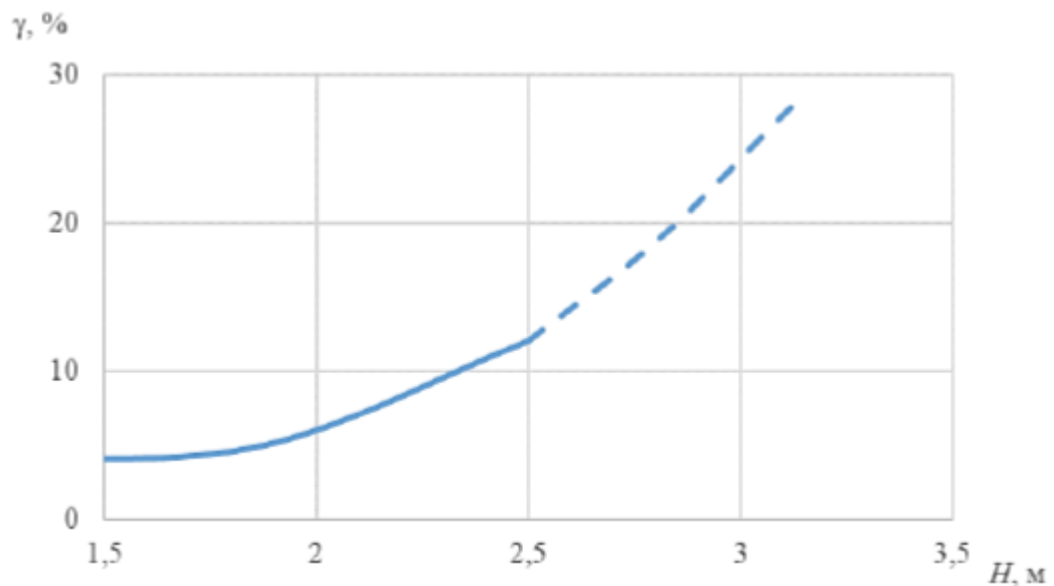


Рисунок 2.1 – Вплив висоти розміщення фурми над рівнем спокійної ванни на ступінь допалювання CO до CO<sub>2</sub> у порожнині конвертера

Найбільш поширеним методом для збільшення ефективності допалювання оксиду вуглецю (CO) у порожнині конвертера є регулювання відстані між фурмою та рівнем спокійної ванни. Ступінь згоряння CO в



порожнині конвертера визначається параметрами дуття, зокрема відстанню фурми від рівня спокійної ванни. Регулюючи цю відстань, можна досягти оптимального виділення тепла при окисненні CO до вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). Дослідження показують, що при використанні системи керування для одноярусної фурми, спрямованої на регулювання вмісту CO<sub>2</sub>, його вміст може бути підвищений до 12,7%, що дозволяє збільшити частку брухту у шихті на 2,7%. Найкращі результати можна досягти застосовуючи двоярусну фурму, що дозволяє максимально підвищити вміст CO<sub>2</sub> до 25% та, відповідно, частку брухту у шихті на 5,3%, не порушуючи умови утворення шлаку.

Отже, підвищення розміщення фурми над рівнем спокійної ванни призводить до збільшення основності та окиснення кінцевого шлаку, ступеня допалювання CO в порожнині конвертера, зменшення масової частки мангану в металі наприкінці продувки, витрат плавикового шпату й зношення футерівки.

Виконаємо моделювання режиму продувки кисневого конвертерного процесу в середовищі Matlab Simulink. Було обрано алгоритм вирішення рівнянь ode23s (stiff/mod. Rosenbrock) зі зміною величиною кроку (variablestep). Абсолютна і відносна точність розрахунків – 0,00001. Механізм переміщення фурми опишемо інтегральною ланкою першого порядку, швидкість переміщення фурми становить 0,2 м/с.

Модель електроприводу у Matlab Simulink зображена на рис. 2.2. Регулятор положення фурми (рис. 2.3) можна представити у вигляді трипозиційного елемента із зоною нечутливості  $\Delta_H = 0,01$  та зоною повернення  $\Delta_{\Pi} = 0,005$ .

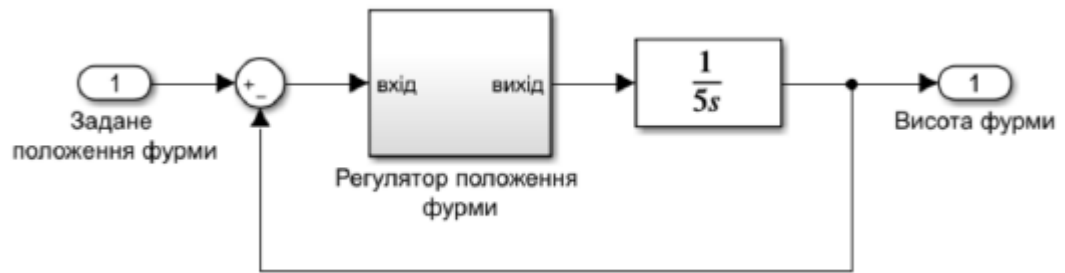


Рисунок 2.2 – Модель переміщення фурми

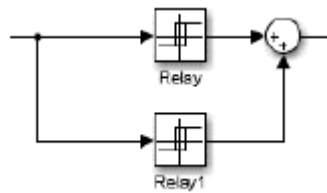


Рисунок 2.3 – Модель регулятора положення фурми

Перехідний процес моделі переміщення фурми наведений на рис.

2.4.

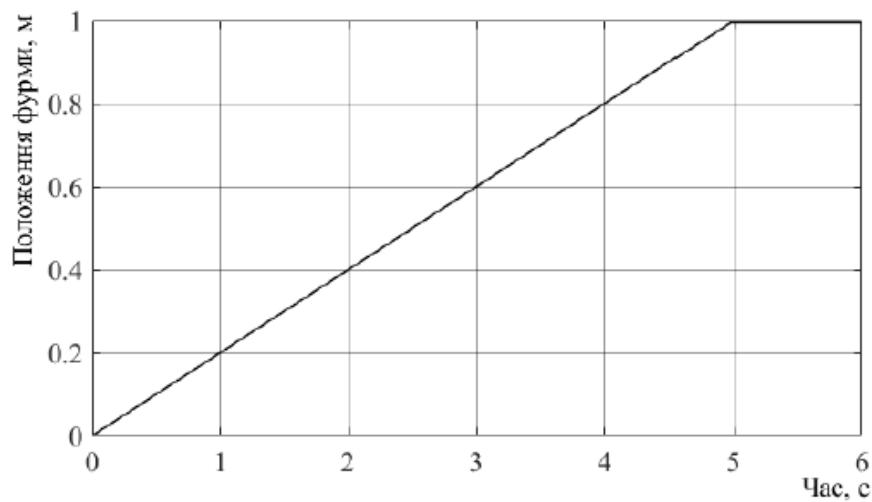


Рисунок 2.4 – Перехідний процес моделі переміщення фурми

Перехідна характеристика системи по каналу зміна положення пневмоклапану кисню – вміст CO наведена на рис. 2.5.

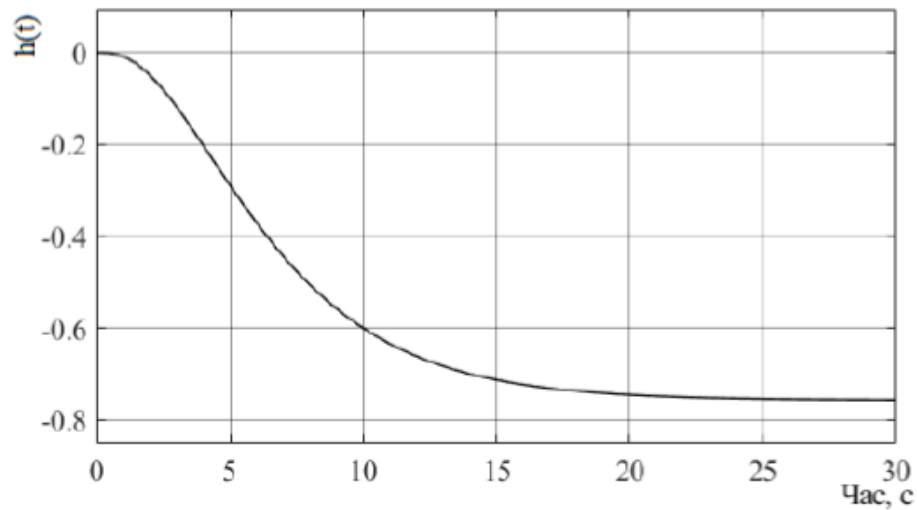


Рисунок 2.5 – Перехідна характеристика системи по каналу зміна положення пневмоклапану кисню – вміст CO

Перехідна характеристика системи по каналу «зміна положення пневмоклапану кисню – витрата  $O_2$ » приведена на рис. 2.6.

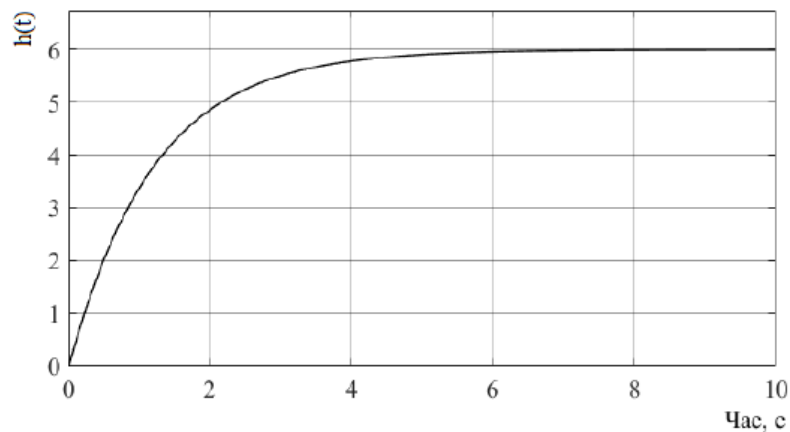


Рисунок 2.6 – Перехідна характеристика системи по каналу зміна положення пневмоклапану кисню – витрата кисню

Перехідна характеристика системи по каналу зміна положення фурми – вміст вуглекислого газу на рис. 2.7.

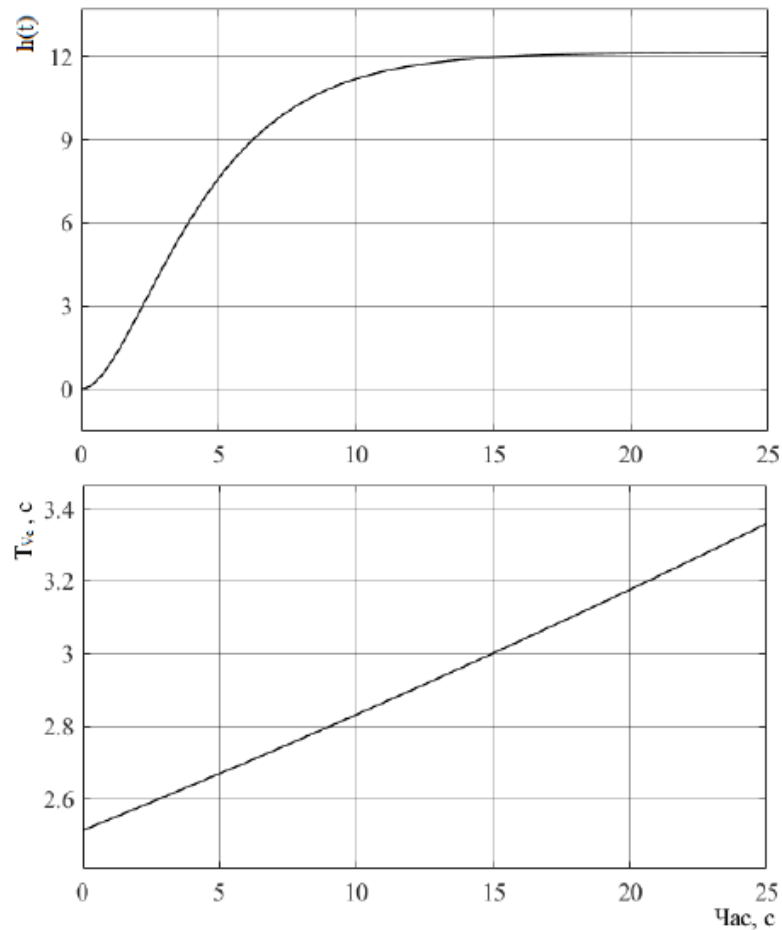


Рисунок 2.7 – Перехідна характеристика системи по каналу зміна положення фурми – вміст вуглекислого газу

Виконаємо перетворення неперервної моделі в дискретну модель в просторі станів використовуючи метод Ейлера. Він ґрунтується апроксимації першої похідної в момент часу:

$$x'(t) = \frac{dx(t)}{dt} \approx \frac{1}{T_0} \left( x((k+1)T_0) - x(kT_0) \right), \quad (2.5)$$

Отримана модель режиму продувки кисневоконвертерного процесу у вигляді керованої канонічної форми дискретної моделі в просторі станів в подальшому буде використана під час розробки прогнозуючої моделі процесу, складової МПР.

## 2.2 Параметри управління і функції АСУТП

Загальним завданням управління конвертерним процесом є досягнення критерію оптимальності, конкретний вибір якого визначається умовами роботи конвертерного цеху, наприклад, максимальна продуктивність конвертера. Виконання цієї вимоги можна досягти впровадженням, наступним контурів автоматизації та контролю:

### 1. Автоматичний контроль параметрів:

- тиск повітря перед фурмами;
- температура розплаву;
- вміст SO<sub>2</sub> у газах після електрофільтрів;
- аналіз концентрації CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> та O<sub>2</sub>, присутніх у конвертерному газі через газоаналізатори;

- витрата повітря;

- температура газів, що відходять;

- розрідження у пиловій камері.

### 2. Стабілізація температури зміною завдання витрату повітря.

### 3. Автоматична стабілізація витрати повітря, що подається в піч.

### 4. Автоматична стабілізація температури у пиловій камері.

### 5. Автоматична стабілізація температури води в напилку.

АСУ ТП призначена для виконання наступних функцій:

- збір даних із засобів вимірювання, опитування датчиків;

- контроль технологічних параметрів, названих вище;

- автоматичне керування виконавчими механізмами;

- вимірювальні перетворення;

- контроль та сигналізація стану обладнання та відхилення параметрів;

- стабілізуюче регулювання;

- дистанційне керування приводами технологічного обладнання

через реєстрацію параметрів.

### 2.3 Опис функціонування рівнів АСУ ПТ

Система автоматизації процесу конвертування є комплексом технічних засобів, відображення інформації про хід процесу.

Вона реалізована за ієрархічним принципом, де кожному рівні системи забезпечується збирання та зберігання інформації.

а) нижній рівень:

- контроль витрат повітря, флюсу;
- температур кладки фурменого поясу та відхідних газів у газоході; рівня у бункері;
- вмісту  $\text{SO}_2$  у відпрацьованих газах;
- маса штейна, що завантажується, і шлаку і фінштейну, що вивантажуються;
- вміст металів у фінштейні та шлаку та  $\text{SO}_2$  у шлаку;
- тиск дуття та розрядження в пиловій камері;
- аналіз концентрації  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  та  $\text{O}_2$ , присутніх у конвертерному газі.

б) середній рівень:

- обробка аналогових та дискретних вхідних сигналів;
- реалізація контурів регулювання витрат дуття, флюсу, положення напилка і конвертера, рівня в бункерах флюсу;
- система захисту фурм від заливки розплавом при падінні тиску на повітропроводі методом аварійного повороту конвертера.
- система запобігання розведенню газів повітрям, при припиненні дуття, зміною положення заслінки на газоході.
- система управління положенням напилка при зливі продуктів плавки та завантаженні вихідних матеріалів;

- увімкнення та відключення подачі флюсу та холодних оборотів у бункери та з бункерів на конвеєр;

- стабілізація витрати дуття (повітря);

- сигналізація про падіння тиску на подачі дуття;

в) верхній рівень:

- збереження історії за тривалий період;

- складання змінних звітів;

- обчислення балансів;

- сигналізація про падіння тиску дуття та про падіння напруги в мережі живлення.

Зі складу завдань АСУТП на верхньому рівні управління реалізуються такі завдання:

- обслуговування функцій обміну інформацією з мікропроцесорними пристроями нижнього рівня та оновлення інформації у глобальній базі даних.

- перевірка дотримання технологічних меж для основних технологічних параметрів;

- обслуговування діалогу оператора-технолога з ППК та протоколу роботи АСУТП;

- автоматичний рестарт завдань АСУТП.

Подання інформації:

- розрахунок показників ефективності роботи основного устаткування;

- формування звітних документів та рапортів про роботу конвертера;

- інформація про роботу систем автоматичного контролю та регулювання;

- виявлення збоїв у роботі апаратури контролю та регулювання;

- формування повідомлень про відмову апаратури;

- перевірка достовірності інформації;
- подання даних про надійність АСУТП та контрольованого агрегату.

*Висновки.* Було проаналізовано технологічні особливості керування параметрами режиму дуття кисневого конвертера та розроблено модель в просторі станів даного процесу:

- встановлено, що одним з ключових параметрів режиму дуття є інтенсивність продувки, яка визначає хід процесів окиснення домішок і утворення шлаку; проте, підвищення інтенсивності продувки призводить до зменшення окиснення заліза, його переходу в шлак, і зменшення зношення футерівки. Це зумовлено скороченням тривалості продувки і обмеженням контакту вогнетривів з агресивним шлаком та високотемпературним факелом;

- проаналізовано вплив розміщення фурми над рівнем спокійної ванни, зокрема виявлено, що підвищення розміщення фурми призводить до збільшення основності та окиснення кінцевого шлаку. Також спостерігається підвищення ступеня допалювання оксиду вуглецю (CO) в порожнині конвертера, зменшення масової частки мангану в металі наприкінці продувки, а також зменшення витрат плавикового шпату та зношення футерівки. Регулюючи відстань, можна досягти оптимального виділення тепла від окиснення CO до вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). Дослідження показують, що при використанні системи керування, спрямованої на регулювання вмісту CO<sub>2</sub>, його вміст в середньому можна підвищити до 12,7%, що дозволяє збільшити частку брухту у шихті на 2,7%;

- встановлено, що зміна ступеня окиснення вуглецю до вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) у порожнині конвертера залежить від зміни швидкості зневуглецювання. Ця швидкість, у свою чергу, залежить від відстані фурми до рівня спокійної ванни. Процес зміни швидкості зневуглецювання від зміни відстані фурми до рівня спокійної ванни є



нестационарним і описується диференціальним рівнянням першого порядку. Константа часу цього рівняння залежить від періоду продувки;

– досліджено вплив інтенсивності подачі дуття на швидкість зневуглицювання металу. Перехідний процес зміни ступеня окиснення вуглецю до  $\text{CO}_2$  від зміни положення пневмоклапану дуття кисню описується диференціальним рівнянням третього порядку;

– отримана модель режиму продувки киснево-конвертерного процесу виражена у формі керованої канонічної дискретної моделі в просторі станів. Ця модель залежить від зміни відстані фурми до рівня спокійної ванни та інтенсивності дуття і використовується як прогнозуюча модель для металургійного процесу. Наведено чисельні значення динамічних властивостей отриманої моделі.

В наступному розділі розроблена і досліджена САР газового режиму конвертера.

## 3 РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ

### 3.1 Розробка САР газовим режимом конвертера

В даній випускній кваліфікаційній роботі магістра акцент зроблений на удосконаленні системи автоматизації газового режиму конвертера і моделюванні об'єкту та його периферії, огляд та вибір технічних засобів автоматизації не виконувався, а був наведений у вигляді переліку обладнання із курсових робіт, виконаних раніше.

Термометр опору ТС-1088/8 призначені для вимірювання температури різних середовищ. Термометри опору використовуються для роботи з рідкими, твердими і газоподібними середовищами. Використання термометрів опору допускається для контролю сипучих середовищ, неагресивних, а також агресивних, по відношенню до яких матеріали, що контактують з вимірюваним середовищем, є корозійностійкими до матеріалу, з якого виготовлений корпус приладу.

Термомагнітний геоаналізатор ГТМК18 з перетворювачем ПП-16, призначений для безперервного вимірювання об'ємної частки кисню або оксиду азоту в двокомпонентних газових сумішах, а також для вимірювання кисню в газах.

Датчики витрати води – витратомір «Метран – 360» має модульну конструкцію, що складається з:

- сенсора;
- вимірювального мікропроцесорного перетворювача моделі 2700;
- основного процесора;
- фланцев для приєднання до магістралі.

Витрата кисню – вихровий витратомір Yokogawa DY 150, (вибухозахищена версія), який включає в себе блок спектральної обробки сигналу (SSP), функціонує за температури – 196° – 450 °С.

Датчика надлишкового тиску – Yokogawa EJX430A із дисплеєм, який призначений для вимірювання надлишкового тиску різних середовищ: рідини, газу та пара:

- клас точності – 0,049;
- максимальний робочий тиск – 16мПА;
- час відгуку – 90 мсек;
- робота при температурі -40 °С – 120 °С;
- усі елементи з нержавіючої сталі для вологого середовища.

Вимірювання концентрації CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> та O<sub>2</sub> є обов'язковим для безпечної роботи конвертера. Теплотворна здатність газу, виробленого в процесі продувки установки, становить близько 2000 ккал / нм<sup>3</sup>. Склад газу, який утворюється в процесі продування конвертера: оксид вуглецю 60 – 80 %, водень 2,0 – 3,0 %, діоксид вуглецю 10 – 20,0 %, що залишилося: N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> і інші гази.

Система аналізу газу складається з наступних частин:

- зонд HS в зборі – 2 шт.;
- панель очищення – 1 шт.;
- панель аналізу – 1 шт.

Збірка спеціального зонда використовується для збору з магістрального газопроводу для надсилання до газоаналізаторів для аналізу газу. Кожен блок зонда складається з:

- трубки втулки зонда HS;
- керамічного фільтру HS Probe;
- головки датчика HS;
- збірки трубки зонда HS;
- кільцевий нагрівач.

Панель очищення – це набір електромагнітних клапанів для обох зондів. Він складається з електромагнітних клапанів для обох зондів. Він складається з електромагнітних клапанів для продувки та відбору проб.

Основною функцією очисної панелі є збір газу з головки зонда та відправка його на аналізаторну панель для аналізу. Іншою функцією очисної панелі є очищення як ліній відбору проб, так і зондів через електромагнітні клапани, щоб забезпечити чистоту зондів, фільтрів і трубопроводів. Панель очищення встановлена біля зонда. Максимальна рекомендована відстань від зонда до очисної панелі становить 5 метрів. Продувний газ (азот), вільний від вологи, підключений до панелі. Азот при 6 бар підключається до PG<sub>01</sub>; лінія ½" від зонда до очисної панелі підключена до OP<sub>01</sub> і OP<sub>02</sub>. Лінія ½ дюйма від зонда підключається до IP<sub>01</sub> і IP<sub>02</sub>. Для роботи електромагнітних клапанів реалізовано гнучким армованим мідним кабелем перетином 10 x10 мм<sup>2</sup>, від панелі аналізу до панелі очищення. Для підключення реле тиску реалізовано 2-жильний кабелем 1,5 мм<sup>2</sup>. Слід зазначити, що різниця між очисною панеллю та зондом має бути мінімальною, наскільки це можливо, щоб зменшити падіння тиску та ефективність очищення.

Панель аналізатора використовується для збирання газу з панелі очищення, охолодження газу та відправлення газу в різні аналізатори (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> і O<sub>2</sub>) для аналізу.

Панель аналізатора складається з наступного:

- електромагнітні клапани для калібрування та відбору проб;
- мембранні насоси для збору проб газу з газоходу;
- газоохолоджувачі для конденсації газової вологи в пробному газі;
- перистальтичні насоси для відведення конденсату в газоохолоджувачах;
- спуск повітря з насосів для випуску газу в атмосферу та підготовка іншого зонду готовим до відбору проб;
- ротаметри для подачі необхідного потоку (60 л/год) до окремих газоаналізаторів;
- монітори конденсату з фільтром для вимірювання вмісту вологи в

пробах газу;

– сигналізація верхнього рівня конденсату та припинення аналізу газу, що призведе до припинення продування.

Система ПЛК складається з процесора, джерела живлення, цифрового входу, цифрового виходу та модулів аналогового входу. Цей ПЛК виконує наступні функції:

– містить логіку, необхідну для ручної та автоматичної роботи системи відбору проб;

– приймає всі вхідні дані поля та обробляє їх;

– дає вихідні дані для роботи соленоїдів, насосів тощо;

– відображає інформацію про всі входи та виходи через панельний дисплей;

– дає можливість через інтерфейс панелі НМІ тактування системи в ручному режимі;

– управляє газоаналізаторами CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> і O<sub>2</sub> для аналізу концентрації різних газів;

– налаштовує калібрування з соленоїдами та газовими балонами для калібрування різних газоаналізаторів (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> та O<sub>2</sub>).

Аналізування вмісту O<sub>2</sub>.

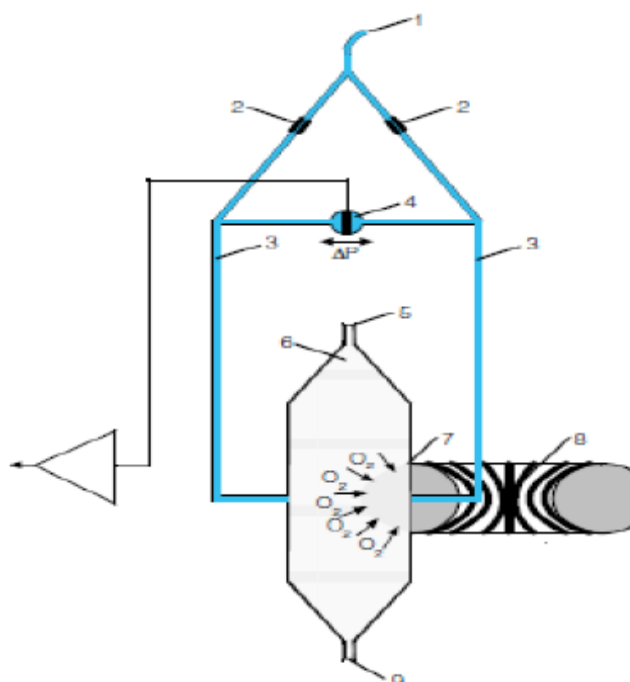
На відміну від майже всіх інших газів кисень парамагнетик. Ця властивість використовується, як принцип вимірювання каналом газоаналізатора. Молекули кисню в однорідному магнітному полі втягуються в напрямку підвищеної напруженості поля через їх парамагнетизм. Коли два гази з різними концентраціями кисню зустрічаються в магнітному полі, між ними виникає тиск.

Для каналу одного аналізу один із газів є еталонним газом (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> або повітря), інший є газом зразка. Еталонний газ вводиться в камеру зразка через два канали. Один із цих потоків контрольного газу зустрічається зі зразком газу в зоні дії магнітного поля. Оскільки два канали з'єднані, тиск,

який пропорційний концентрації кисню, викликає потік. Цей потік перетворюється в електричний сигнал мікродатчиком потоку.

Це призводить до зсуву містка, який залежить від концентрації кисню в газі зразка. Оскільки датчик потоку розташований у потоці еталонного газу, на вимірювання не впливають теплопровідність, питома теплоємність або теплове тертя зразка газу.

На рисунку 3.1 приведена принципіальна схема роботи контуру вимірювання  $O_2$



1 – вхід еталонного газу; 2 – обмежувачі; 3 – канали еталонного газу;  
4 – датчики мікропотуку для корегування сигналу; 5 – вхід вимірюваного газу; 6 – вимірювальна камера; 7 – зона парамагнетичного вимірювання;  
8 – зона електромагнетичного потоку; 9 – вихід еталонного і вимірюваного газу

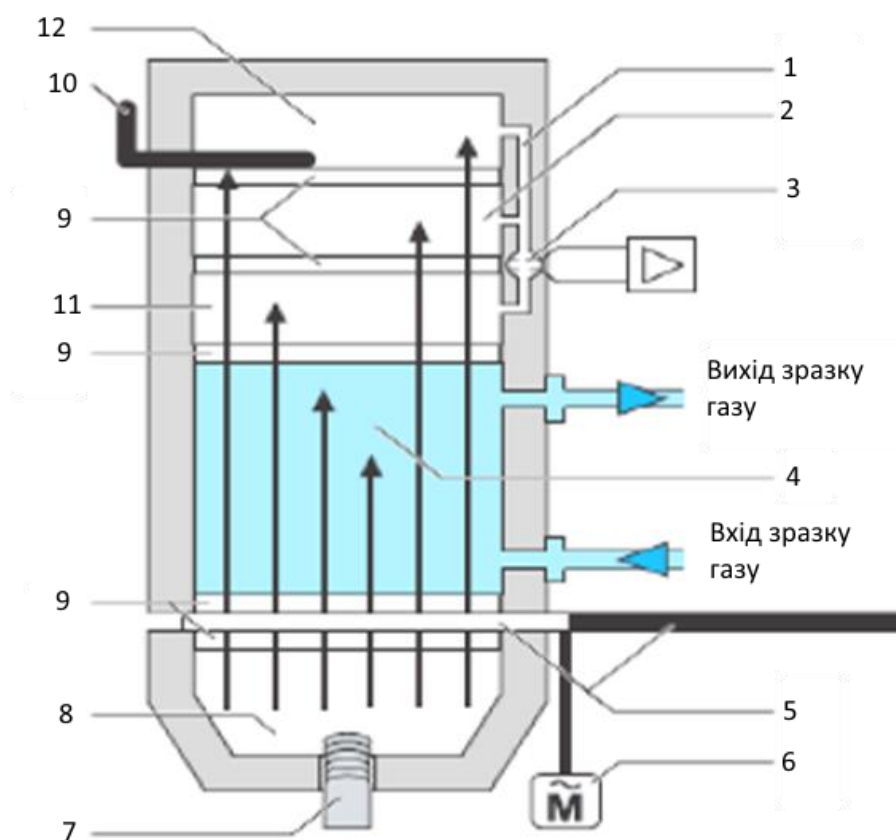
Рисунок 3.1 – Принципіальна схема роботи контуру вимірювання  $O_2$

Це також забезпечує високий ступінь стійкості до корозії, оскільки датчик потоку не піддається прямому впливу пробного газу. Завдяки використанню магнітного поля зі змінною силою ефект фонових потоків в датчику мікропотуку не виявляється, і, таким чином, вимірювання не

залежить від орієнтації приладу. Камера для зразків знаходиться безпосередньо на шляху проходження зразків і має невеликий об'єм. Таким чином, регулятор має дуже короткий час відгуку. Після аналізу кисню зразок газу випускається через випускний отвір для зразка газу.

Аналізування CO та CO<sub>2</sub>.

На рисунку 3.2 приведена принципіальна схема роботи контуру вимірювання і аналізу CO та CO<sub>2</sub>.



1 – датчик; 2 – другий шар вимірювання; 3 – сенсор мікропотуку;  
 4 – зразок газу; 5 – колесо подрібнювача; 6 – двигун подрібнювача;  
 7 – джерело ІЧ-променів; 8 – рефлектор; 9 – вікно; 10 – отвір; 11 – перший шар вимірювання; 12 – четвертий шар вимірювання

Рисунок 3.2 – Принципіальна схема роботи контуру вимірювання і аналізу CO та CO<sub>2</sub>

Джерело ІЧ – променів при 600 °С випромінює інфрачервоне випромінювання, яке модулюється з частотою 1/3 Гц за допомогою подрібнювача (5). Після проходження комірки зразка (4) інтенсивність випромінювання вимірюється детектором (11, 12). Представлений детектор складається з шарів, заповнених компонентом, що підлягає аналізу. Енергія середини ІЧ-діапазону вимірюваних газів в основному поглинається в першому шарі. Другий шар поглинає крайову енергію, яка вибірково налаштовується на високий рівень у третьому шарі через отвір.

При проходженні через шари поглинання випромінювання призводить до різного підвищення тиску, а отже, до потоку через капілярний отвір. Датчик мікропотуку генерує сигнал, який майже не залежить від перешкод від компонентів на краях смуги. Цей аналізатор використовує навколишнє повітря для автоматичного калібрування. Для сертифікованого циліндра потрібне калібрування лише раз на рік або кожні 18 місяців.

Система датчиків встановлена на рівні нижче 54 метрів у конвертері. Це використовується для вимірювання концентрації CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> та O<sub>2</sub> у газі, що утворюється в процесі продування конвертера. Газ знаходиться в гарячому стані при температурі приблизно 800 – 1000°C.

Система в основному вимірює концентрацію CO<sub>2</sub>, коли починається процес видування. Продування здійснюється за допомогою оксигенату зі швидкістю потоку приблизно 500 нм<sup>3</sup>/хв за допомогою фурми з водяним охолодженням. Коли починається продування, завдяки процесу декарбонізації продування кисень реагує з вуглецем у рідкому металі та утворює газ CO. Частина цього газу CO перетворюється на CO<sub>2</sub> завдяки спалюванню частини вивільненого газу CO з повітрям у процесі спочатку протягом 2 хв. Коли CO<sub>2</sub> перевищує 15% над конвертером спрацьовує засувка постачання повітря, припиняє надходження повітря в систему і спалювання газу CO зменшується. Це призводить до зменшення вуглекислого газу з 25% до 10%. На цій фазі CO починає збиратися і



досягає понад 30% приблизно за 2 хвилини. Під час початку удару через проникнення повітря  $O_2$  також збільшиться до 20% і знизиться нижче ніж на 2%, коли  $CO$  почне підніматися вище 30%. Під час нормального удару концентрація  $O_2$  зазвичай становить близько 0,2%. Під час продування через будь-яке проникнення повітря або витік у системі  $O_2$  збільшиться, і якщо він перевищить 2% у будь-який час після 2 хвилин початку продування, процес продування буде зупинено, оскільки це може спричинити вибухонебезпечну суміш разом із утвореним газом  $CO$ .

### 3.2 Верхній рівень АСУТП

Для управління газовим режимом в конвертері на верхньому рівні необхідні наступні елементи:

- ПЛК;
- пристрій програмування;
- програмне забезпечення;
- кабель з'єднувальний.

#### 1. ПЛК.

Для управління газовим процесом використаний контролер SIMATIC S7-300.

SIMATIC S7-300 – це модульний програмований контролер, який працює з природним охолодженням.

Модульна конструкція, можливість побудови розподілених структур управління, наявність дружнього користувачеві інтерфейсу дозволяє використовувати контролер для економічного вирішення широкого кола завдань автоматичного управління в різних областях промислового виробництва.

Зовнішній вигляд контролера показаний на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вид контролера SIMATIC S7-300 [34]

Ефективному застосуванню контролерів сприяє можливість використання декількох типів центральних процесорів різної продуктивності, наявність широкої гами модулів вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів, функціональних модулів і комунікаційних процесорів.

Контролер SIMATIC S7-300 має модульну конструкцію і може включати до свого складу:

- модулі центральних процесорів (CPU). Залежно від ступеня складності розв'язуваної задачі в контролері можуть бути використані різні типи центральних процесорів, що відрізняються продуктивністю, об'ємом пам'яті, наявністю або відсутністю вбудованих входів-виходів і спеціальних функцій, наявністю або відсутністю комунікаційних інтерфейсів;

- сигнальні модулі (SM), призначені для введення-виведення дискретних і аналогових сигналів з різними електричними і часовими параметрами;

- комунікаційні процесори (CP) для підключення до мереж PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS інтерфейсу або організації зв'язку по PPI (point to point) інтерфейсу;

- функціональні модулі (FM), здатні самостійно вирішувати завдання автоматичного регулювання, позиціонування, обробки сигналів.

Функціональні модулі забезпечені вбудованим мікропроцесором і здатні виконувати покладені на них функції навіть у разі відмови центрального процесора ПЛК.

При необхідності в складі контролера можуть бути використані:

- модулі блоків живлення (PS), що забезпечують можливість харчування контролера від мережі змінного струму напругою 120 або 230В;

- інтерфейсні модулі (IM), що забезпечують можливість підключення до центрального контролера стійок розширення введення-виведення. Контролери SIMATIC S7-300 дозволяють використовувати в своєму складі до 32 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів, розподілених по 4 монтажним стійок.

Всі модулі працюють з природним охолодженням.

Діапазон робочих температур стандартне виконання від 0 до 60 ° С, з розширеним температурним діапазоном (від -25 до 60 ° С) і підвищеною стійкістю до дії вологості, конденсату і морозу.

В даному контролері можуть використовуватися наступні модулі центрального процесора CPU312IFM, CPU313, CPU314IFM, CPU314, CPU315, CPU315-2DP, CPU316-2DP, CPU318-2DP.

В управлінні процесом використаний модуль процесора CPU315-2DP

Технічні параметри CPU315-2DP:

- обсяг пам'яті програм 48Кбайт, 16 Кбайт інструкцій, вбудована RAM 80Кбайт, карта пам'яті Flash-EEPROM до 4 Мбайт;

- захист даних при аварійному відключенні харчування: без буферної батареї 4Кбайт (прапори, таймери, лічильники, дані); з буферної батареєю додатково все блоки даних дата і час;

- вбудований годинник реального часу.

Набір інструкцій дозволяє працювати з логічними операціями, операціями з дужками, збереження, рахунок, завантаження, передача,

порівняння, зрушення, а також, операції над числами з фіксованою і плаваючою комою, функції переходів.

Системні функції (SFC):

- обробка переривань, помилок і відмов;
- копіювання даних; тимчасові функції (годинник);
- діагностичні функції;
- визначення параметрів модулів;
- перевизначення режимів роботи.

Час виконання операцій: логічних операцій 0,3...0,6 мкс, операцій зі словами 1,0 мкс, операцій з таймерами і лічильниками 12 мкс, складання цілих чисел 2,0 мкс, складання дійсних чисел 50,0 мкс.

Проектне компонування контролера здійснюється на основі інформації про кількість та вид вхідних і вихідних сигналів, з якими працює контролер у процесі автоматичного управління технологічним процесом, бажану конфігурацію вводів-виводів та мережну структуру.

Кількість інформаційних сигналів, що надходять від датчиків до контролера дорівнює 14. Усі вони уніфіковані струмові з діапазоном 4-20 мА. На такий вхідний сигнал орієнтований 8-канальний аналоговий модуль вводу SM331.

Компоновка контролера проводиться виходячи з кількості і типу сигналів на вході і виході. В даній роботі маємо 14 приладів з аналоговим вихідним сигналом. На вихід з контролера подаються сигнали на пускачі типу ПБР. Кількість модулів розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} & \text{Кількість модулів} = \\ & = \text{кількість сигналів з об'єкту/розрядність плати}, \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$14 \text{ вхідних сигналів} / 8 \text{ каналів вводу} = 1,75 = 2 \text{ шт.}$$

Серед існуючих аналогових модулів Simatic S7-300 підходить модуль SM332 (серія 6ES7332-5HD01-0AB0). Споживчий струм: 100 мА (на 2 модулі – 200 мА), 5 В постійного струму.

Серед існуючих дискретних модулів Simatic S7-300 для керування роботою виконавчих механізмів найбільш підходить модуль SM322 (серія 6ES7322-1BF01-0AA0), 24 В/0,5А постійного струму.

Для опитування 14 входів, обробки інформації, відповідно до алгоритмів керування окремими технологічними параметрами, оновлення станів вихідних каналів, реалізації однієї гілки розподіленого вводу-виводу та здійснення інших процедур у системі управління, можна використати центральний процесор CPU315-2DP (серія 6ES7315-2АН14-0AB0). Він має можливість підключення до 32 модулів S7-300 (4-рядна конфігурація), вбудований блок живлення =24 в, 256 кбайт робочої пам'яті, 2 інтерфейси DP-MASTER/SLAVE. Споживчий струм шини з 850 мА.

Оскільки, відповідно до завдання, необхідно сконфігурувати розподілений ввід-вивід, для віддаленої панелі потрібен адаптер вузлу, 6GK1571-0BA00-0AA0 – PC USB-адаптер A2 (USB V2.0) для підключення PG / PC чи ноутбука SIMATIC S7 к PROFIBUS чи MPI В комплекті (USB-кабель 5М ).

Для функціонування контролера потрібен модуль живлення, який необхідно розрахувати, користуючись підсумковим струмом, що споживаються усі модулі контролера. Аналогові модулі споживають струм 200 мА, дискретний модуль виводу – 0,5 А, центральний процесор – 850 мА. Тобто сумарний струм, що споживають модулі центрального шасі дорівнює 1550 мА. Щоб забезпечити такий струм споживання необхідно використати модуль живлення

В якості джерела живлення для контролеру використовується універсальний модуль живлення PS307 (серія 6ES7307-1EA01-0AA0): має вхідну напругу ~120/230 В, а вихідний струм шини дорівнює 5 А.

Для конфігурування розподіленого вводу-виводу потрібно два шасі. На центральному необхідно встановити модуль живлення, центральний процесор, аналоговий модуль вводу, а на виносному – адаптер вузлу підключення PG / PC і аналоговий модуль вводу. Обираємо профільну шину довжиною 480 мм S7-300, серії 6ES7390-1AE80-0AA0.

Структурна схема розподіленої адаптивної системи автоматичного управління приведена на рисунку 3.4.

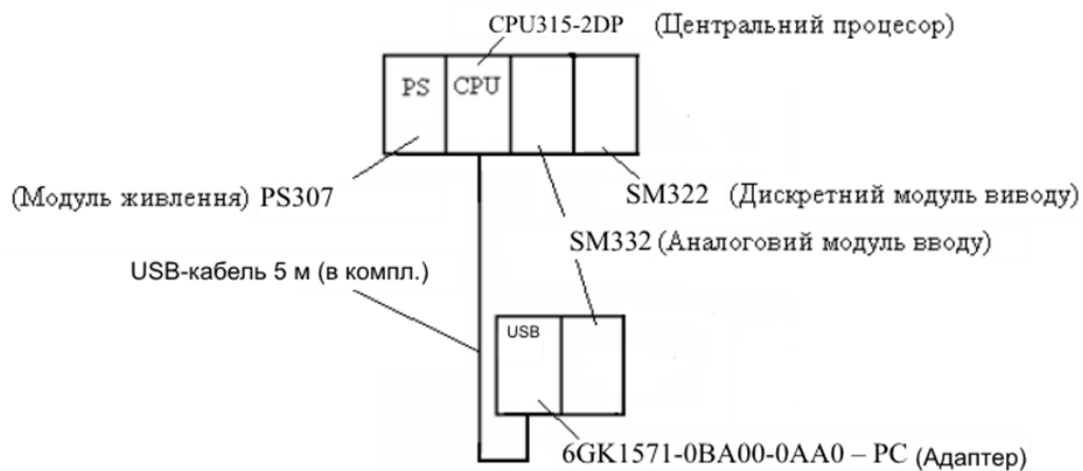


Рисунок 3.4 – Структурна схема розподіленої системи автоматичного  
Управління

## 2. Пристрій програмування

Програма створюється в пристрої програмування (PG), а потім передається на ПЛК. Програму для S7-300 можна створити за допомогою спеціального пристрою для програмування Siemens SIMATIC S7, такого як PG 720 або PG 740. Персональний комп'ютер (ПК) із встановленим STEP 7 Micro/WIN також можна використовувати для програмування пристрою з S7-300.

## 3. Програмне забезпечення.

Потрібне програмне забезпечення, щоб повідомляти ПЛК, яких інструкцій він має виконувати. Програмне забезпечення для програмування зазвичай стосується ПЛК. Пакет програмного забезпечення для одного ПЛК або однієї сімейства ПЛК, наприклад сімейства S7, не

буде корисним для інших ПЛК. S7-200 використовує програмне забезпечення на базі Windows під назвою STEP 7-Micro/WIN32. PG 720 і PG 740 мають попередньо встановлене програмне забезпечення STEP 7. Micro/WIN32 встановлюється на персональний комп'ютер так само, як і будь-яке інше програмне забезпечення.

#### 4. З'єднувальні кабелі.

З'єднувальні кабелі PPI необхідні передачі даних від пристрою програмування (інтерфейс «точка-точка») до ПЛК. Зв'язок може мати місце лише тоді, коли два пристрої використовують ту саму мову або протокол. Зв'язок між пристроєм програмування Siemens та S7-300 називається протоколом PPI (інтерфейс «точка-точка»). Для пристрою програмування, такого як PG 720 чи PG 740, потрібен відповідний кабель. S7-300 використовує 9-контактний D-роз'єм. Це прямий послідовний пристрій, сумісний з програмуючими пристроями Siemens (MPI-порт) і стандартним роз'ємом для інших послідовних інтерфейсів.

Спеціальний кабель, званий кабелем ПК/PPI, необхідний, коли персональний комп'ютер використовується як пристрій програмування. Цей кабель дозволяє послідовному інтерфейсу ПЛК обмінюватись даними з послідовним інтерфейсом RS-232 персонального комп'ютера. DIP-перемикачі на кабелі ПК/PPI використовуються для вибору відповідної швидкості (швидкості передачі), з якою інформація передається між ПЛК та комп'ютером.

#### Циклічні функції ПЛК:

- S7-300 виконує свої завдання в циклі сканування S7-300 виконує серію завдань повторно. Таке циклічне виконання завдань називається циклом сканування;
- читання вхідних даних: S7-300 копіює стан фізичних вхідних даних у вхідний регістр зображення процесу;
- виконання логіки керування в програмі: S7-300 виконує інструкції програми та зберігає значення в різних областях пам'яті;

- обробка будь-яких запитів на зв'язок: S7-300 виконує будь-які завдання, необхідні для зв'язку;
- виконання діагностики самоперевірки процесора: S7-300 гарантує, що вбудоване програмне забезпечення, пам'ять програм і будь-які модулі розширення працюють належним чином;
- запис до виходів: значення, що зберігаються у вихідному регістрі зображення процесу, записуються до фізичних виходів.

S7-300 має два режими роботи: режим STOP і режим RUN. Світлодіоди стану на передній панелі процесора вказують на поточний режим роботи. У режимі STOP S7-300 не виконує програму, і програму та конфігурацію ЦП можна завантажити. У режимі RUN S7-300 виконує програму.

S7-300 має перемикач режимів для зміни режиму роботи. Перемикач режимів використовується для ручного вибору режиму роботи:

- встановлення перемикача режимів у режим STOP зупиняє виконання програми;
- встановлення перемикача режимів у режим RUN запускає виконання програми;
- встановлення перемикача режимів у режим TERM (термінал) не змінює режим роботи.

Якщо відбувається цикл живлення, коли перемикач режимів встановлено в положення STOP або TERM, S7-300 автоматично переходить у режим STOP, коли живлення відновлюється. Якщо відбувається цикл живлення, коли перемикач режимів встановлено в положення RUN, S7-300 переходить у режим RUN, коли живлення відновлюється.

STEP 7 – Micro/WIN дозволяє змінити режим роботи онлайн S7-300. Щоб увімкнути програмне забезпечення для зміни режиму роботи, вручну перемикач режимів установіть на S7-300 на TERM або RUN. Для зміни



режиму роботи можна використовувати команди меню PLC > STOP або PLC > RUN або відповідні кнопки на панелі інструментів.

Інструкція STOP вставлена в програму для переведення S7-300 в режим STOP. Це використовується для зупинки виконання вашої програми на основі логіки програми.

### 3.3 Імітаційне моделювання САР газовим режимом конвертера

Процедура імітаційного моделювання комбінованої системи автоматичного регулювання (САР), з параметрами вентилятора кількісного контролю параметрів дугтя (рис. 3.5), була реалізована за допомогою середовища Matlab Simulink.

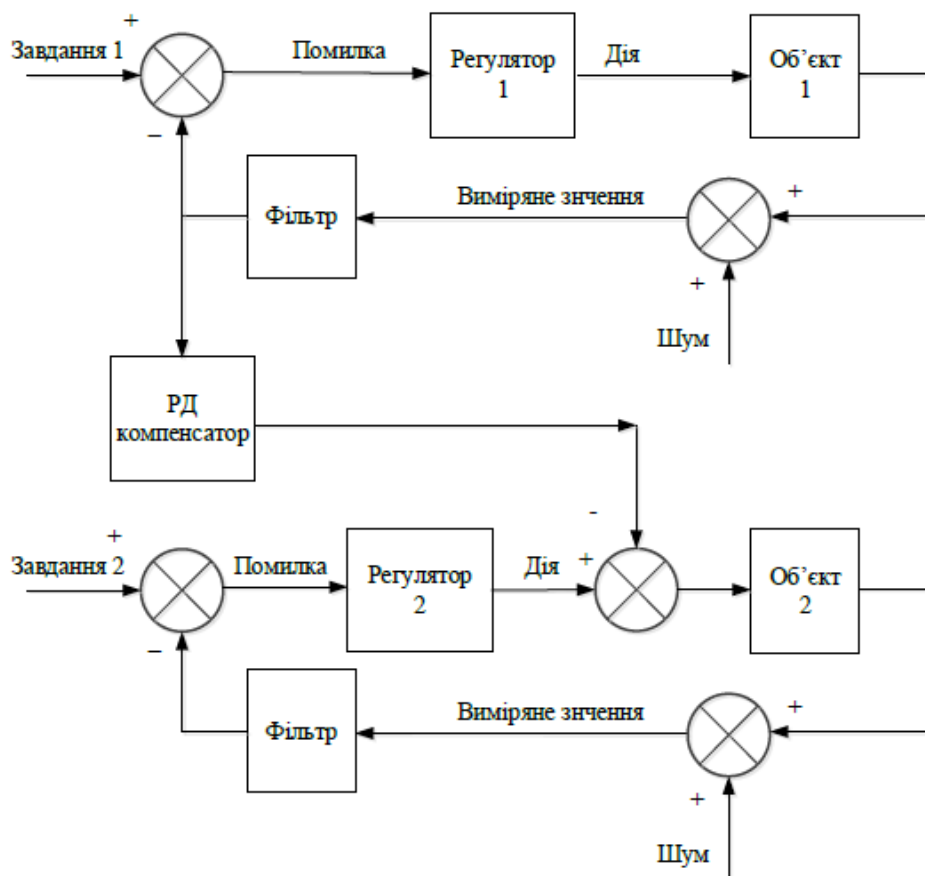


Рисунок 3.5 – Структурна схема комбінованої системи автоматичного регулювання

Для розв'язання диференціальних рівнянь використовувався алгоритм ode23s (stiff/mod. Rosenbrock) зі змінною величиною кроку (variablestep). Задана абсолютна і відносна точність обчислень становила 0,001.

Розрахунок параметрів налаштування пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД) регуляторів та компенсатора для комбінованої системи керування виконаний у розділі 3 за допомогою експрес-методу Minimum ISE Zhuang and Atherton та методу РД-компенсатор. Тепер проведемо моделювання перехідних характеристик для описаних вище систем автоматичного регулювання режиму подачі повітря в кисневоконвертерний процес.

Модель системи автоматичного регулювання режиму подачі повітря в кисневоконвертерному процесі представлена на рис. 3.6.

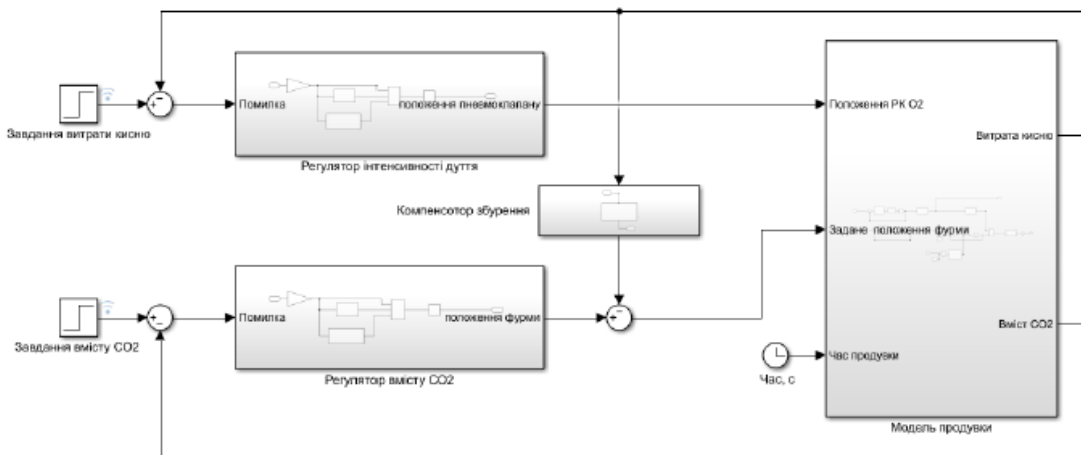


Рисунок 3.6 – Модель комбінованої системи регулювання режиму дуття кисневого конвертера

Завдання – вихід:

$$\Delta_{ст} = y_{зад} - y(\infty) = 0; \quad (3.2)$$

$$\Delta_{дин} = y_{дин} - y(\infty) = \frac{1,025 - 1}{1} = 0,025; \quad (3.3)$$

$$t_{пер} = 4,35с; \quad (3.4)$$

$$\psi = 1 - \frac{y_3}{y_1} = 1; \quad (3.5)$$

$$\sigma = \frac{y_{\text{дин}}}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{0,025}{1} \cdot 100\% = 2,5\%. \quad (3.6)$$

Розглянемо динаміку зміни інтенсивності подачі повітря в кисневого конвертера, представлену на рис. 3.7.

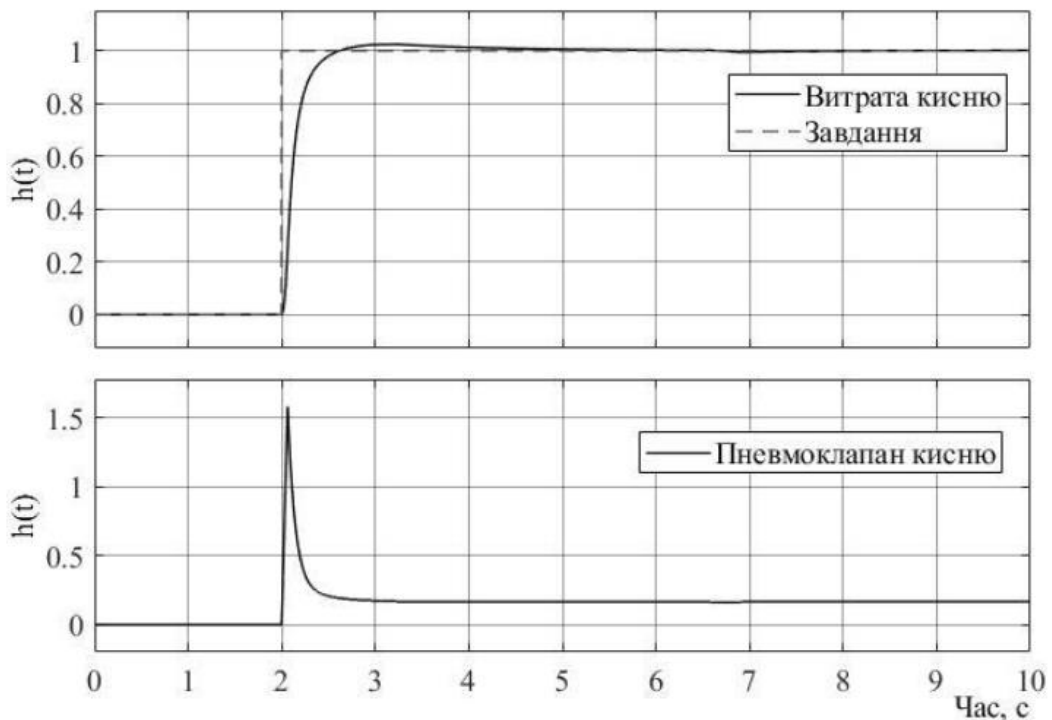


Рисунок 3.7 – Перехідний процес системи регулювання продувки киснем по каналу положення клапану подачі кисню-витрата кисню

У контексті системи керування концентрацією  $\text{CO}_2$  під час продувки кисневого конвертера розглядається задача програмного керування та стабілізації в умовах виникнення різних збурень, таких як зміни витрати кисню для продувки, зміна швидкості зневуглецювання, введення сипучих матеріалів тощо.

Результати оцінки ефективності системи вказані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники якості САР витрати кисню

Показники якості	Завдання - вихід
Статична похибка	0
Динамічна похибка	0,025
Час регулювання, с	4,35
Показник затухання	1
Перерегулювання, %	2,5
Integral of the square error (ISE)	0,085

Графіки перехідних характеристик для каналу вихід-завдання (де при моделюванні витрата кисню залишалась незмінною) та каналу вихід-збурення (вплив зміни витрати кисню з боку системи керування) представлені на рисунках 3.8 та 3.9 відповідно.

Завдання – вихід:

$$\Delta_{ст} = y_{зад} - y(\infty) = 0; \quad (3.7)$$

$$\Delta_{дин} = y_{дин} - y(\infty) = \frac{1,13 - 1}{1} = 0,13; \quad (3.8)$$

$$t_{рег} = 18,4с; \quad (3.9)$$

$$\psi = 1 - \frac{y_3}{y_1} = 1 - \frac{0,0205}{0,13} = 0,84; \quad (3.10)$$

$$\sigma = \frac{y_{дин}}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{0,13}{1} \cdot 100\% = 13\%. \quad (3.11)$$

Збурення – вихід:

$$\Delta_{ст} = y(\infty) - y_{зад} = 0; \quad (3.12)$$

$$\Delta_{дин} = y_{дин} - y(\infty) = -0,805; \quad (3.13)$$

$$t_{рег} = 51с; \quad (3.14)$$

$$\psi = 1 - \frac{y_3}{y_1} = 1; \quad (3.15)$$

$$\sigma = \frac{y_2}{y_1} \cdot 100\% = \frac{0,2}{0,8} \cdot 100\% = 25\%. \quad (3.16)$$

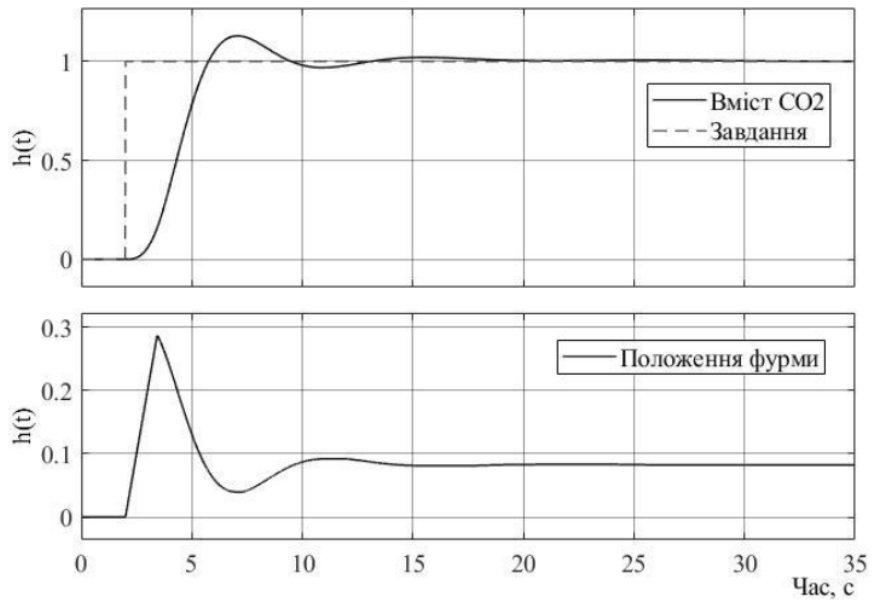


Рисунок 3.8 – Перехідний процес системи регулювання по каналу положення фурми-вміст  $\text{CO}_2$  у димових газах

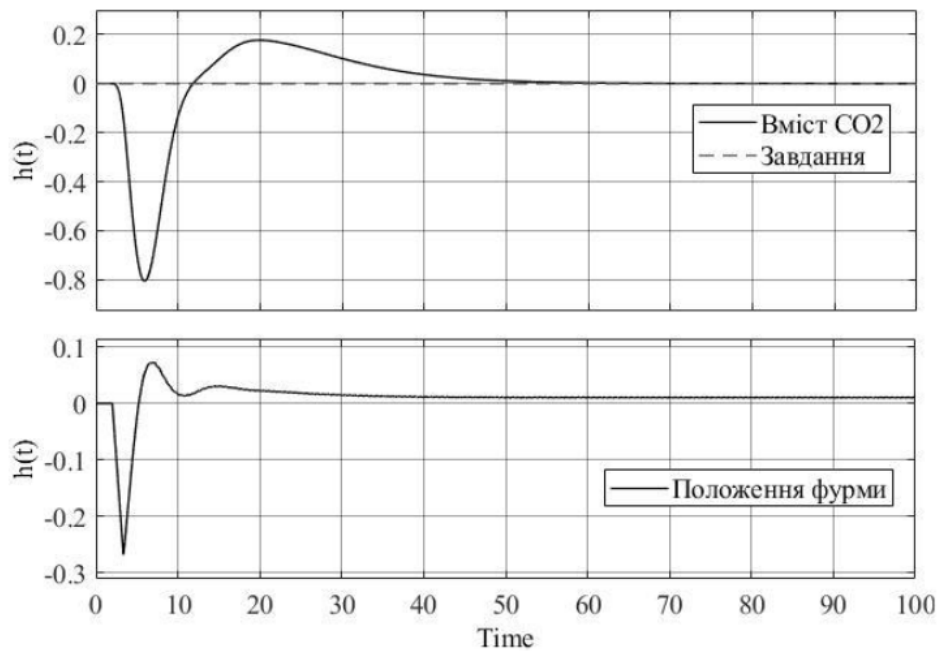


Рисунок 3.8 – Перехідний процес комбінованої системи регулювання з РД-компенсатором по каналу зміна завдання системи керування витрати кисню – вміст  $\text{CO}_2$  у димових газах

Результати оцінки ефективності системи вказані у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Показники якості САР вмісту CO<sub>2</sub>

Показники якості	Завдання - вихід	Збурення -вихід
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0,13	-0,805
Час регулювання, с	18,4	51
Показник затухання	0,84	1
Перерегулювання, %	13	25
Integral of the square error (ISE)	1,87	2,5

Здобуті перехідні процеси системи автоматичного регулювання режиму подачі повітря в кисневоконвертерній плавці, використовуючи комбіновану систему автоматичного регулювання, призвели до значень ISE для контуру витрати кисню – 9075 та вмісту CO<sub>2</sub> у конвертованих газах – 1397.

Максимальне динамічне відхилення вмісту CO<sub>2</sub> у конвертованих газах становило 17,5 %. Однак отримані показники ефективності роботи системи автоматичного регулювання не відповідають встановленим вимогам до якості роботи системи, що вказує на необхідність впровадження вдосконаленої системи автоматичного регулювання, зокрема, модельно-прогнозуючого керування.

Процедура імітаційного моделювання модельно-прогнозуючого керування (МПК) з параметрами вентилятора кількісного контролю газового режиму (рис. 3.9) виконувалась у середовищі Matlab Simulink для моделі процесу та Soft PLC CODESYS V3.5 для реалізації МПР.

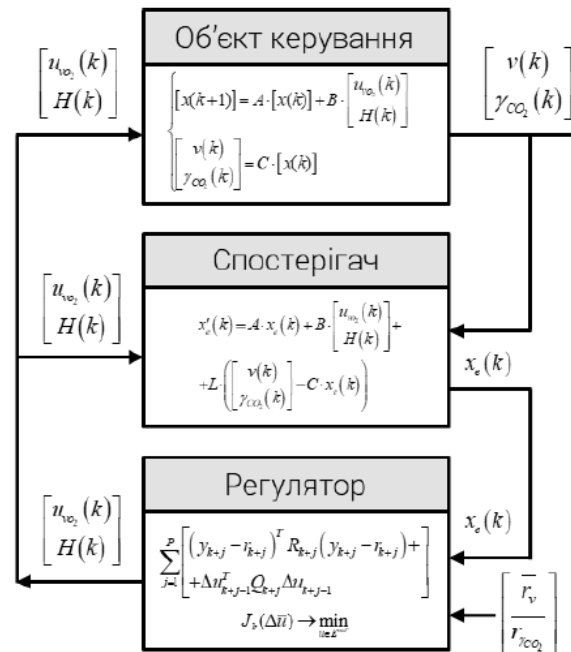


Рисунок 3.9 – Структурна схема систему автоматичного регулювання газового режиму кисневого конвертера з використанням модельнопрогнозуючого регулятора

У середовищі Matlab Simulink (рис. 3.10) було використано алгоритм розв'язання рівнянь Euler з фіксованим кроком величиною 0,1 секунди. Абсолютна і відносна точність обчислень складала 0,001.

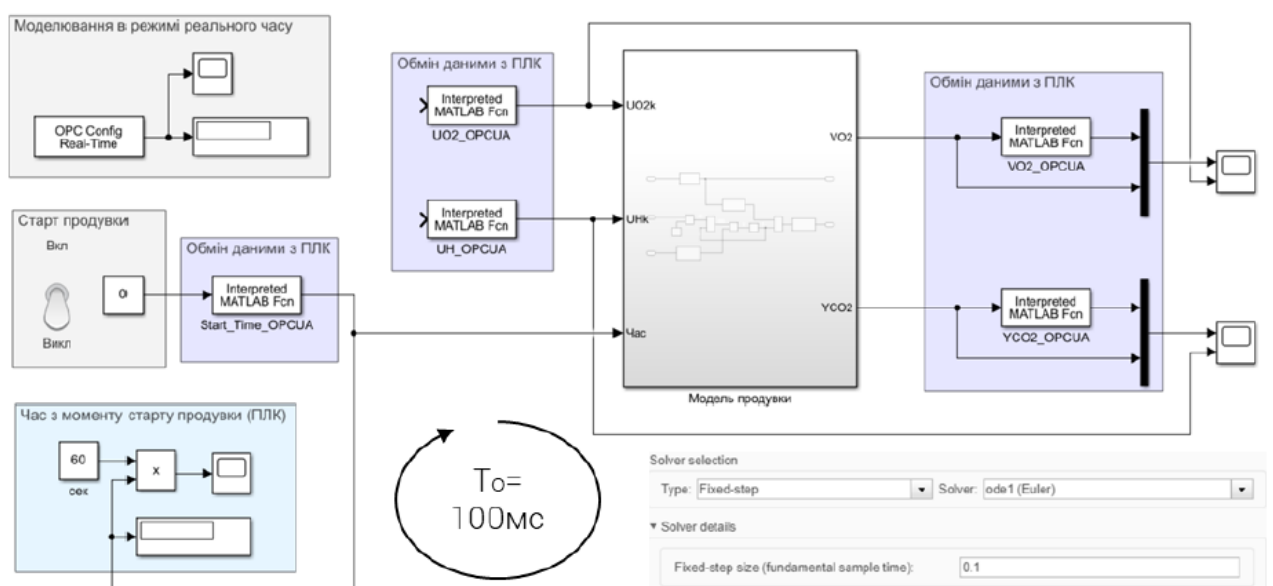


Рисунок 3.10 – Модель газового режиму кисневого конвертера у середовищі Matlab Simulink

У середовищі програмування CODESYS V3.5 визначено циклічне виконання основної задачі з кроком 0,1 секунда (рис. 3.11).

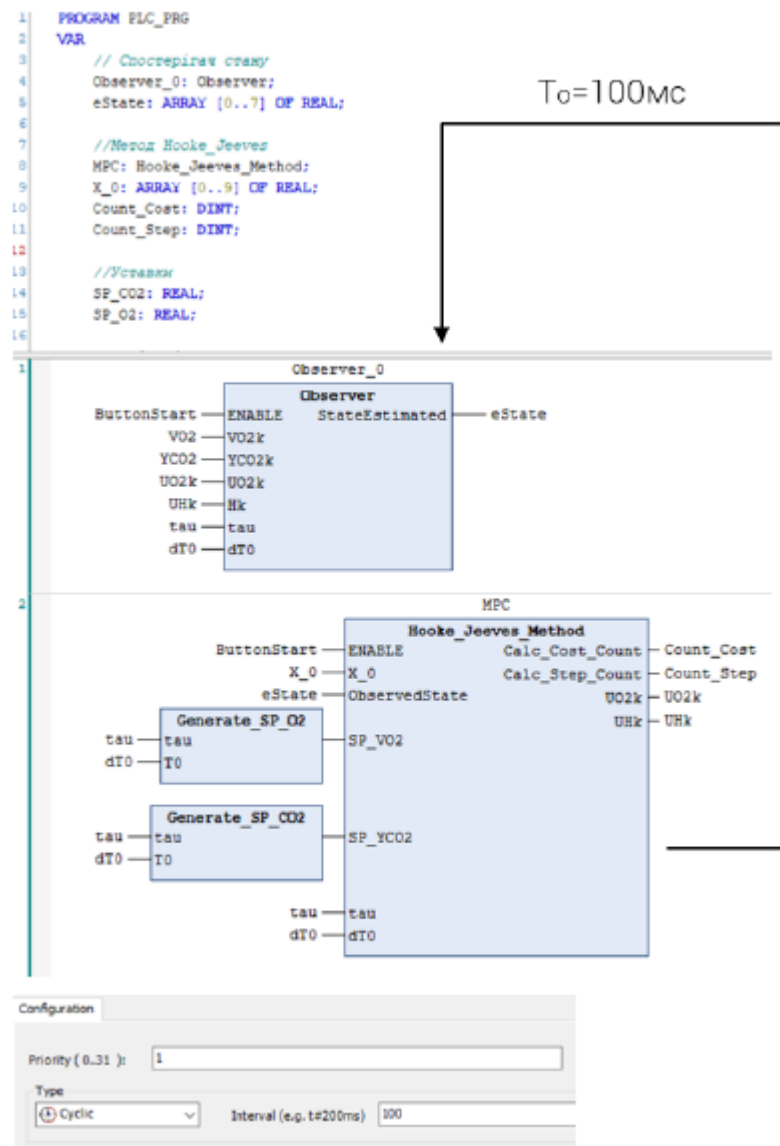


Рисунок 3.11 – Код модельнопрогнозуючого регулятора у середовищі програмування CODESYS V3.5

Виконаємо моделювання перехідних характеристик для описаних вище систем автоматичного регулювання режиму дугтя кисневоконвертерного процесу. Для дослідження особливостей МПР розглянемо два випадки: зміна завдання визначена наперед та завдання відоме тільки у даний момент часу. Розглянемо перехідну характеристику



системи регулювання інтенсивністю дуття кисневого конвертера з наперед визначеною зміною завдання (рис. 3.12).

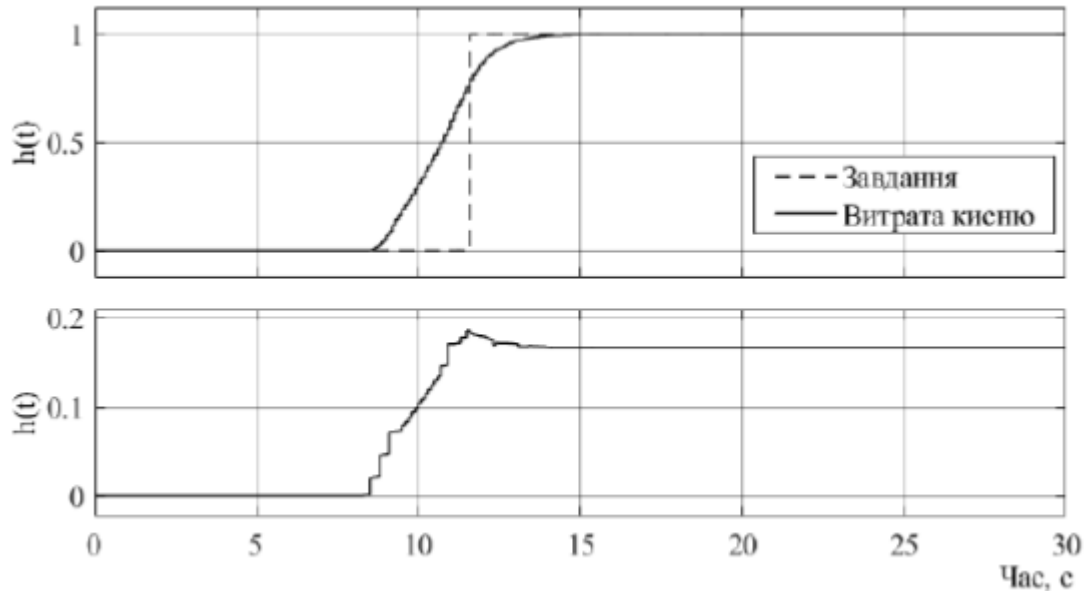


Рисунок 3.12 – Перехідна характеристика системи регулювання продукції киснем з наперед визначеною зміною завдання

Отримані показники якості системи наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Отримані показники якості системи

Показники якості	Завдання - вихід
Статична похибка	0
Динамічна похибка	0
Час регулювання, с	5
Показник затухання	1
Перерегулювання, %	0
Integral of the square error (ISE)	0,53

Для системи керування концентрацією  $\text{CO}_2$  під час продувки кисневоконвертерного процесу розглядається задача програмного керування та стабілізації в умовах виникнення різних збурень, таких як

зміни витрати кисню для продувки, зміна швидкості зневуглицювання, введення сипучих матеріалів тощо. Графіки перехідних характеристик для каналу вихід-завдання (з наперед визначеною зміною завдання) представлені на рис. 3.13.

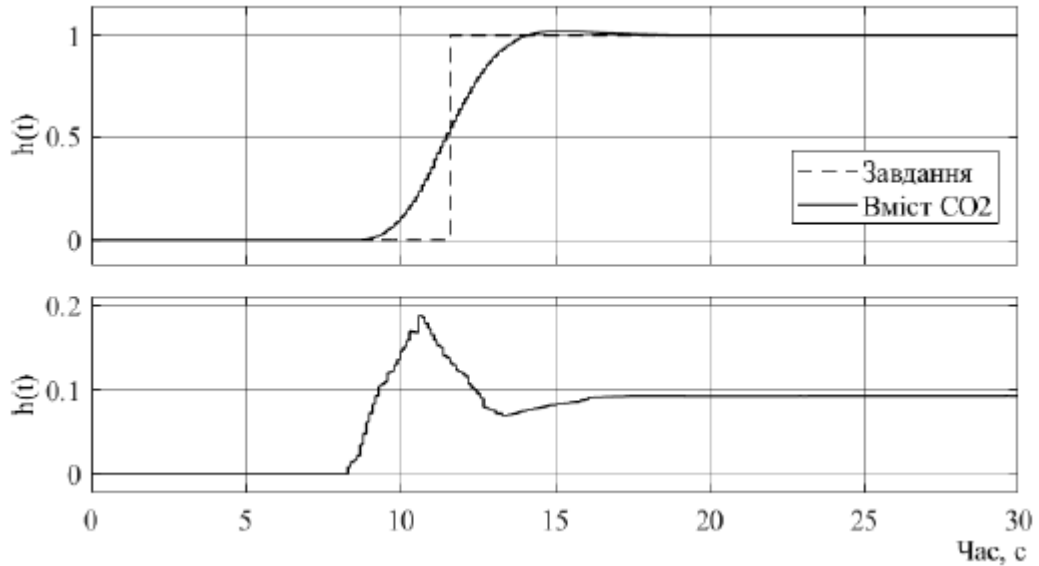


Рисунок 3.13 – Перехідна характеристика системи регулювання вмісту  $\text{CO}_2$  у димових газах з наперед визначеною зміною завдання

Результати оцінки ефективності системи вказані у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Показники якості САР вмісту  $\text{CO}_2$

Показники якості	Завдання - вихід
Статична похибка	0
Динамічна похибка	0,005
Час регулювання, с	7
Показник затухання	1
Перерегулювання, %	0,5
Integral of the square error (ISE)	0,293

Отримані перехідні процеси системи автоматичного регулювання режиму дуття киснево-конвертерної плавки з використанням модельно-прогнозуючого регулятора забезпечили ISE для контуру витрати кисню – 5577 та вмісту CO<sub>2</sub> у конвертерних газах – 43; максимальне динамічне відхилення вмісту CO<sub>2</sub> у конвертерних газах склало 0,95%.

Взаємодія між Matlab Simulink та CODESYS V3.5 здійснюється за допомогою протоколу OPC UA, а відповідний код наведено в наступному розділі.

*Висновки.* Основною метою розробки адаптивної системи газового режиму конвертера є аналіз концентрації CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> та O<sub>2</sub>, присутніх у конвертерному газі, які виділяються в результаті процесу продування. Вимірювання концентрації CO є важливим для відновлення газу, зберігання та розподілу газу різним споживачам для опалення печей. Вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> є важливим для контролю надходження повітря в систему, а також для зменшення надлишкового тепла, що утворюється в газопроводі.

Використання модельно-прогнозуючого регулятора призвело до значного покращення якості регулювання: для контуру витрати кисню відносно зменшення склало 1,63 рази (9075/5577), а для контуру вмісту CO<sub>2</sub> у конвертованих газах – 32,5 рази (1397/43). Максимальне динамічне відхилення вмісту CO<sub>2</sub> у конвертованих газах було зменшено на 17,5% – 0,95% = 16,55% у порівнянні з комбінованою системою регулювання із ПД-регуляторами.

Отримані показники ефективності роботи системи автоматичного регулювання відповідають вимогам щодо якості роботи, що підкреслює доцільність впровадження вдосконаленої системи автоматичного регулювання з використанням модельно-прогнозуючого керування.

## 4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ

### 4.1 Алгоритм програми управління

Програма управління газовим режимом конвертеру складається з наступних етапів:

1. Перевірка цілісності програми та готовність САР до виконання завдання – відбувається відкриття засувки заливального крану для дозування чавуну чавуновозним ковшем. Включається датчик температури чавуну, що контролює його температуру (не нижче 1000 °С).

2. Після досягнення необхідного рівня засувка закривається – вмикаються двигуни переміщення фурму в вертикальне положення. Алгоритм системи постійно запитує, чи досягнуто кінцеве положення фурми (вертикальне). Якщо завдання не виконане, то система не вимикає двигуни і рухає фурму далі

3. Коли на запит переміщення фурми наявності кінцевого положення приходить позитивна відповідь від датчика двигун переміщення вимикається.

4. Після вимкнення двигуна, вмикається подача кисню та охолодження, а також датчик контролю густини чавуну. Система збирає дані з датчика густини речовини в конвертері, постійно надаючи запит, чи досягнула густина необхідного значення. Якщо завдання густини не відбулося – охолодження та продувка продовжується. Якщо необхідна густина досягнула – подача кисню та води припиняється. Процес займає приблизно 17 хвилин.

5. Далі починається перевірка проб утвореної сталі і вмикається двигун осьового повороту конвертера, який нахиляє сам конвертер для виливу сталі через сталевипускний отвір. Коли замір об'єму конвертера буде менший чи рівний нулю, двигуни повертають його в початкове положення для початку процесу заново.

6. Коли продувка починається, ПЛК головного перетворювача надає контакт для початку аналізу  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  і  $\text{O}_2$ . Якщо контролер газоаналізатора фіксує перевищення завдання сигнал подається на засувки подачі кисню і закриває вхідний клапан газгольдера. Якщо відбувається зниження об'єму надходження кисню в газгольдер до 2 % через збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  до 30 %, то ПЛК вмикає вентилятор виведення  $\text{CO}_2$ , що запобігає утворенню вибухонебезпечної суміші в системі.

#### 4.2 Розробка керуючої програми контролера

Програму управління було вирішено створити в програмному середовищі STEP 7 Micro/Win 1.

Переваги застосування STEP 7 Micro/Win 1.

- просте, легке в освоєнні програмне забезпечення для програмування під Windows 200/XP для SIMATIC S7-300;
- велика кількість майстрів підтримує програмування навіть складних завдань автоматизації;
- швидкий запуск та економія часу програмування;
- великим набір функцій;
- на основі стандартного програмного забезпечення Windows (інтерфейс користувача подібний до стандартних програм, таких як Microsoft Word, Outlook);
- працює зі стандартними редакторами STL, LAD і CS, є можливість перемикатися між цими редакторами в будь-який час;
- є можливість створення, експорту та імпорту бібліотек користувача (включаючи стандартні команди та визначені користувачем підпрограми);

– є компакт-диск з документацією з посібниками, програмними інструментами та прикладами програм для підтримки користувача.

У основі програми лежить функціонування регулятора, на який будуть поступати дані з програми та оброблятися в ньому, для подальшої їх передачі. Також, був створений двохфазний контролер в програмному коді, який при збільшенні температури повітря, припиняє його подачу, закриваючи клапан.

В таблиці 4.1 наведені значення і тип змінних для програмування контролера.

Таблиця 4.1 — Таблиця змінних

Змінна	Тип	Значення
valve_A	BOOL	Клапан для подачі кисню
valve_B	BOOL	Клапан для подачі води
Z	BOOL	Засувка для подачі рідкого чавуну
M1_1	BOOL	Двигун переміщення фурми за год. стрілкою
M1_2	BOOL	Двигун переміщення фурми проти год. стрілки
M2_1	BOOL	Двигун переміщення конвертера за год. стрілкою
M2_2	BOOL	Двигун переміщення конвертера за проти. стрілкою
LS	BOOL	Датчик нижнього рівня
TE1	REAL	Датчики температури води
TE2	REAL	Датчик температури кисню
TE3	REAL	Датчики температури води, що відводиться з системи
TE4	REAL	Датчик температури чавуну
FE1	REAL	Датчик витрати води
FE2	REAL	Датчик витрати кисню
PE1	REAL	Датчик надлишкового тиску
QE1	REAL	Датчик концентрації кисню
QE2	REAL	Датчик концентрації чавуну
QE3	REAL	Датчик концентрації CO
QE4	REAL	Датчик концентрації CO <sub>2</sub>
QE5	REAL	Датчик концентрації H <sub>2</sub>
GE1	REAL	Двигун повороту фурми
GE2	REAL	Двигун повороту конвертера

### 4.3 Розробка програми управління контролера

Етапи розробки програми управління:

1. Створено блок «Main.fb», який буде задавати параметри в підлеглі етапи. В ньому, була запрограмована ініціація всіх змінних у проєкті та вказані їх типи. В програмі, змінні використовують тільки два вида даних: Bool для передачі сигналу «True» або «False» і Real – 6-бітний символ для передання цифрових значень.

2. Створивши змінні, необхідно їх встановити в початкове положення. Умовні нулі, до яких буде зводитися всі значення перед початком нового процесу. За дану функцію, відповідає дія «Init\_active»

3. В додатку REG(FB), було створено двохфазний регулятор. Якщо температура (T) в системі перевищує задану в коді TE4 – то клапан подачі кисню перекривається.

4. Створено дію «REG\_active», в якій і відбувається виклик даного регулятора.

5. Створено перехід «STRT», який відповідає за початок процесу. Встановлена затримка слугує для того, щоб була певна перерва між процесом, який скінчився та новим.

6. Створено дію «Step0\_active». В ньому запрограмована активація двигуна переміщення фурми в позицію для наливання чавуну, тобто зміна значення параметра «M2\_1» на «TRUE».

7. Створено перехід «Trans0». В даному переході задається кут нахилу конвертера для переведення його в положення для набору чавуну. В даному проєкті, кут повороту встановлений на 60°.

8. Створено дію «Step1\_active», яка відповідальна за зупинку двигуна переміщення конвертера (M2\_1 = FALSE), та активацію заслінки чавуновізного ковша(змінна «Z» вказується як «TRUE»), який пускає в конвертер розплавлений рідкий чавун.

9. Далі був створений перехід «Trans1», в якому задається час, протягом якого, буде встановлене значення «TRUE» у заслінки, тобто час, який був вказаний (у проєкті – 10 секунд), буде виливатись чавун.

10. Створено дію «Step2\_active», яка відповідає за завдання параметру «FALSE» заслінці (Z), тим самим закриваючи її та припиняючи подачу чавуну. Після цього, проводиться активація двигуна повороту конвертера проти годинникової стрілки ( $M2\_2 = TRUE$ ) для переведення конвертера з чавуном всередині в положення для опускання фурми.

11. Створено перехід «Trans2», який відповідає за переведення конвертера в вертикальне положення для подачі фурми, але вже за допомогою двигуна кута повороту (GE2).

12. Створено дію «Step3\_active», яка відповідає за зупинку двигуна переміщення конвертера ( $M2\_2 = FALSE$ ) під фурмою.

13. Створено перехід «Trans3», в якому зазначається час переміщення конвертера проти годинникової стрілки та затримку передопусканням фурми.

14. Створено дію «Step4\_active», яка вмикає двигун переміщення фурми ( $M1\_1 = TRUE$ ), яка «за годинниковою стрілкою», опускається вконвертер.

15. Створено перехід «Trans4», в якому вказане значення зміни кута повороту фурми для того, щоб виконувалась умова переміщення і двигун не рухався безкінечно вниз.

16. Створено дію «Step5\_active», в якому по досягненню умови переходу «Trans4», припиняє рух двигун переміщення фурми ( $M1\_1$ ).

17. Створено перехід «Trans5», в якому встановлюється затримка перед подачею кисню. В програмі, цей час рівний 5 секундам.

18. Створено дію «Step6\_active», який відповідає за зміну параметра кисневого клапана «Valve\_A» на «TRUE», що і буде початком продувки киснем.



19. Створено перехід «Trans6», у якому був зазначений час продувки киснем, тобто час активованого кисневого клапана.

20. Створено дію «Step7\_active», де прописано закриття клапану «Valve\_A», та активацію двигуна фурми ( $M1\_2 = TRUE$ ) для її підйому.

21. Створено «Trans7», де вказане значення кута повороту фурми (GE1). Саме значення було вказане для того, щоб виконувалась умова припинення роботи двигуна.

22. Створено «Step8\_active», у якому подається сигнал припинення підйому фурми ( $M1\_2 = FALSE$ ) та сигнал активації двигуна конвертера за годинниковою стрілкою ( $M2\_1 = TRUE$ ).

23. Створено «Trans8», де прописане значення кута повороту конвертера (GE2), яке функціонує для видачі команди на вилив сталі.

24. Створено «Step9\_active», де віддається сигнал припинення роботи двигуна конвертера.

25. Створено «Trans9», у якому віддається команда датчику нижнього рівня загорітися, що свідчить про те, що конвертер пустий.

26. Створено «Step10\_active», у якому активується двигун переміщення конвертера ( $ME2\_2$ ) у початкове положення.

27. Створено «Trans 10», який задає кут повороту конвертера в вертикальне положення.

Код MATLAB комунікації за допомогою OPC UA

```
function [out] = RW_YCO2_OPSCUA(input)
```

```
persistent init_Server;
```

```
persistent init_Nodes;
```

```
persistent uaClient;
```

```
persistent ReadVal;
```

```
% ноди вхідних змінних
```

```
persistent Var_Node_SP_CO2;
```

```
% ноди вихідних змінних
```

```

persistent Var_Node_YCO2;
% ініціалізація змінних
if (isempty(init_Server))
ReadVal = 0;
init_Server = 0;
init_Nodes = 0;
end
% OPC UA server (PLC) адреса, підключення клієнта (Simulink) до
серверу
if (init_Server == 0) || (uaClient.Status=="Disconnected") ||
isempty(uaClient)
init_Server = 1;
uaClient = opcua('Mariash',4840);
connect(uaClient);
end
% визначення нодів змінних в сервері
if uaClient.isConnected == 1 && init_Nodes == 0
init_Nodes = 1;
Var_Node_SP_CO2 = opcuanode(4,'|var|CODESYS Control Win V3
x64.Application.PLC_PRG.SP_CO2',uaClient);
Var_Node_YCO2 = opcuanode(4,'|var|CODESYS Control Win V3
x64.Application.PLC_PRG.YCO2',uaClient);
end
% зчитування та запис змінних серверу
if uaClient.isConnected == 1 && init_Nodes == 1
[SP_CO2, ~, ~] = readValue(uaClient, Var_Node_SP_CO2);
writeValue(uaClient, Var_Node_YCO2, input);
ReadVal = SP_CO2;
end
out = double(ReadVal);

```

end

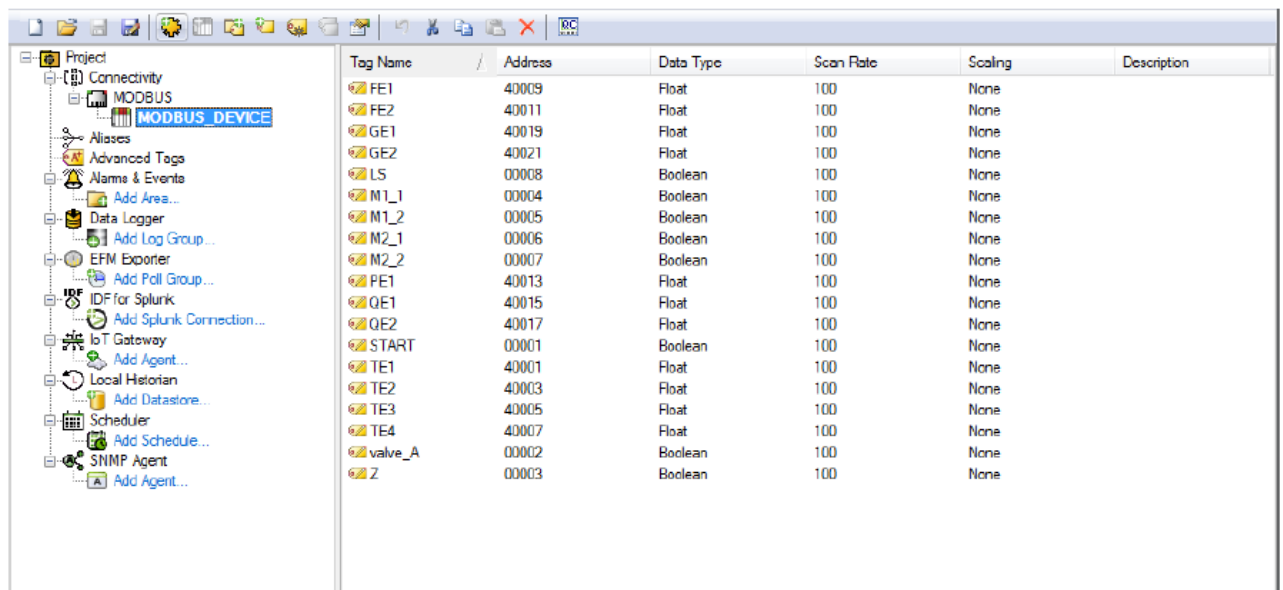
*Висновки.* В даному розділі було розроблено програмне забезпечення САР газовим режимом конвертера на базі програмування контролера SIMATIC S7-300 створена в програмному середовищі STEP7. Розроблений код управління контролером. Початкове введення вхідних даних до системи робить розроблене програмне забезпечення достатньо гнучким, і дає можливість швидко підлаштувати САР під умови виробництва, а також проводити будь-яку модифікацію і легше впроваджувати будь-які зміни в майбутньому. Розроблена САР дозволяє усунути ручне втручання при експлуатації.

## 5 ПАНЕЛЬ ОПЕРАТОРА АСУ ТП САР ГАЗОВИМ РЕЖИМОМ КОНВЕРТЕРА

Для відображення інформації про стан системи керування приводами у приміщенні машинного залу передбачено автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора АСУПТ, обладнане SCADA-системою Monitor Pro, що дозволяє архівувати інформацію про стан електроприводів з можливістю подальшого перегляду архівів.

Для оповіщення оператора конвертера про нештатні ситуації, а також видачі інформації про поточні значення параметрів приводів, кутах повороту конвертера та місця знаходження фурм, на пульті ГПУ передбачений графічний термінал (панель оператора Magelis). Зв'язок між контролерним комплектом системи керування та терміналами електрика та оператора здійснено по відмовостійкій промисловій мережі через порти RS-485 за протоколом Modbus.

У вкладці «MODBUS», були прописані всі змінні, їх тип та адресу (рис. 5.1).



Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
FE1	40009	Float	100	None	
FE2	40011	Float	100	None	
GE1	40019	Float	100	None	
GE2	40021	Float	100	None	
LS	00008	Boolean	100	None	
M1_1	00004	Boolean	100	None	
M1_2	00005	Boolean	100	None	
M2_1	00006	Boolean	100	None	
M2_2	00007	Boolean	100	None	
PE1	40013	Float	100	None	
QE1	40015	Float	100	None	
QE2	40017	Float	100	None	
START	00001	Boolean	100	None	
TE1	40001	Float	100	None	
TE2	40003	Float	100	None	
TE3	40005	Float	100	None	
TE4	40007	Float	100	None	
valve_A	00002	Boolean	100	None	
Z	00003	Boolean	100	None	

Рисунок 5.1 – Вигляд та характеристики змінних OPC сервера

Для того, щоб активувати OPC сервер, необхідно знайти клавішу «Quick Client» (рис. 5.2), яка є самою правою клавішою на панелі інструментів, та відділена від інших, та натиснути її. В результаті цього, відкриється зверху вікно сервера, де будуть відображатись «логи» – тобто історія змін, функціональність сервера та список з'єднань та змін значень.

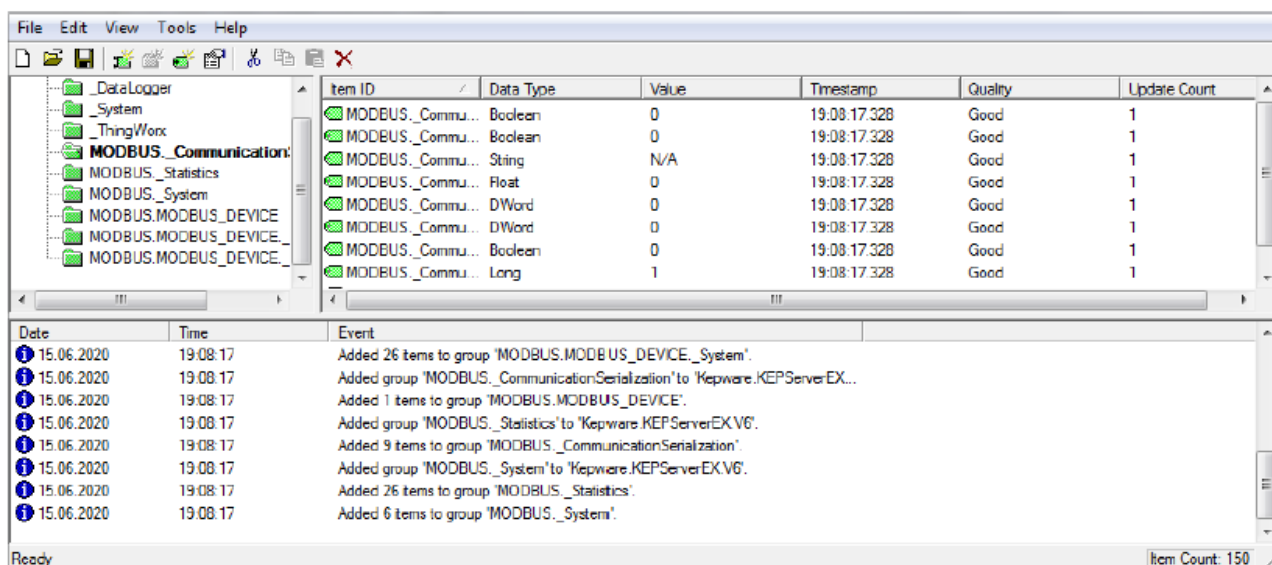


Рисунок 5.2 – Активний клієнт програми

Але на цьому етапі, налаштування ще не завершено. Останнє, що необхідно зробити – це налаштувати сполучення від програми-контролера до OPC сервера. Це буде відбуватись так само, як і при з'єднанні до моделі автоматизації – через протокол Modbus.

Користуючись структурною схемою та теоретичними відомостями про встановлення обладнання на металургійних заводах, було вирішено, що автоматизоване робоче місце оператора (АРМО) має знаходитись окремо від всієї системи за причиною несприятливих умов для техніки в середовищі протікання процесу. Саме тому, між керувим контролером, та АРМО, необхідно встановити найдійний та швидкодійний зв'язок. Оглянувши існуючі рішення, можна було прийти до висновку, що є два найпопулярніші методи реалізації цього: організувавши локальну провідну

мережу, що є хоч і менш складним, але менш надійним підключенням, або ж, організувати локальний сервер, де по безпроводній мережі, буде передаватися сигнал від системи оператора. На підприємствах, даний вид з'єднання буде більш надійним та економічним в плані вимог до розташування контролера. В даній випускній кваліфікаційній роботі магістра було прийнято рішення використати другий варіант, з використанням OPC сервера.

На конвертерах встановлені вимірювальні зонди, що здійснюють багаторазові вимірювання температури, окиснення, вмісту CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, рівня ванни та відбір проб металу. На рисунку 5.3 наведено приклад відповідної екранної форми.

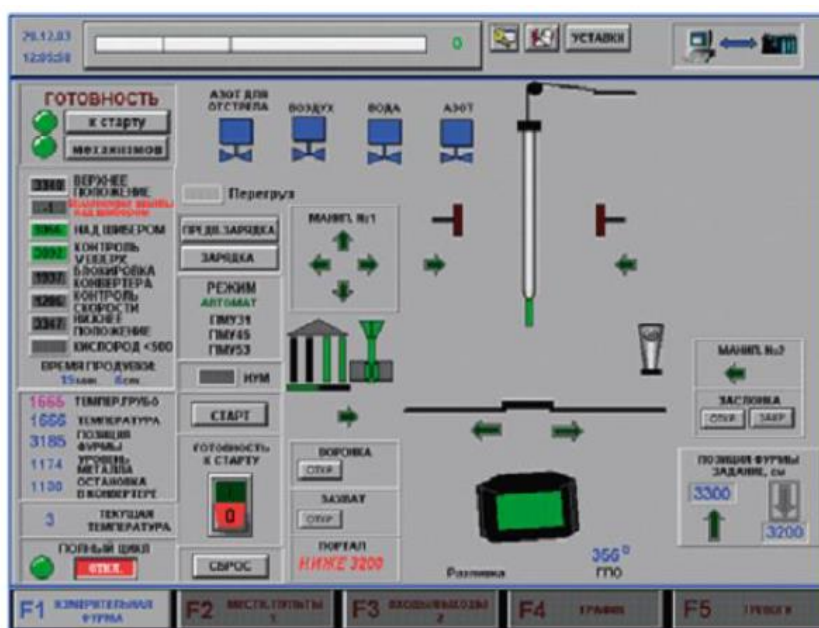


Рисунок 5.3 – Вікно системи управління вимірювальними зондами

У додатковому робочому вікні передбачено можливість оперативного відстеження технологічних параметрів, таких як температура металу, його окиснення, вміст вуглецю та інших.

Програмне забезпечення операторського АРМ виконано з допомогою програмного продукту SIMANTIC WinCC V7.0 SP2. На представленому відеокадрі операторського інтерфейсу (рис. 5.4) можна

спостерігати весь шлях газів, що відходять з конвертера, до свічки допалювання на димарі.

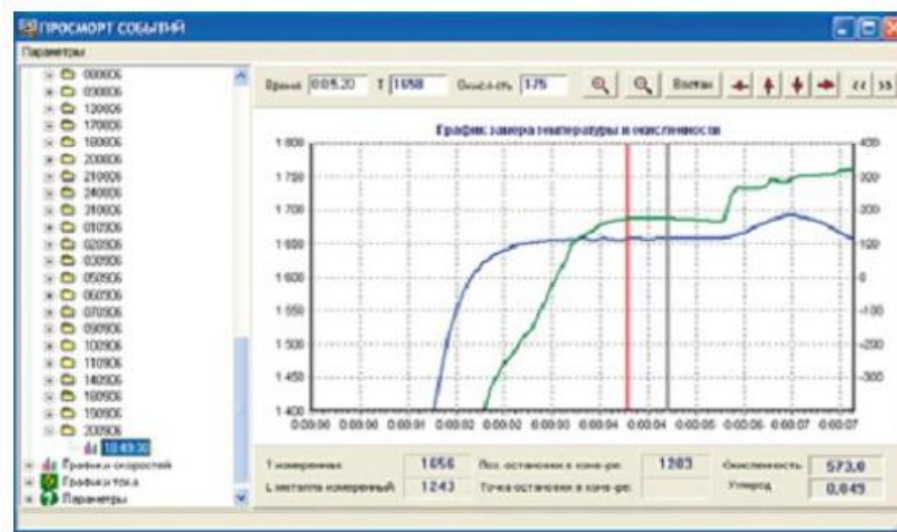


Рисунок 5.4 – Робоче вікно архіву замірів

Оператор має можливість при необхідності здійснювати моніторинг та управління технологічним процесом за допомогою мнемосхем, представлених на відповідному АРМО. На мнемосхемах представлені:

- схеми ділянок технологічного обладнання;
- значення змінених параметрів;
- стан виконавчих механізмів технологічного обладнання.

На рисунку 5.5 наведено відеокадр «Газовідводного тракту конвертера».

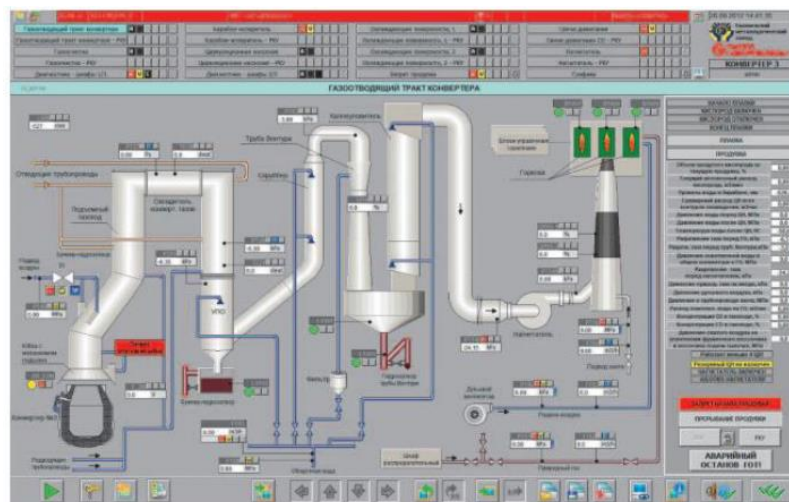


Рисунок 5.5 – Відеокадр «Газовідводного тракту конвертера»

*Висновки.* В даному розділі наведені розроблене автоматизоване робоче місце для відображення інформації про стан системи керування приводами у приміщенні машинного залу. В майбутньому розроблена САР має перспективи розвитку та модифікацій. Можливо розширення системи, добавлення більшої кількості датчиків та приладів, які будуть показувати склад чавуну за допомогою автоматизованих датчиків, які можуть виявляти хімічний склад металів та додати опціонал для донного дуття, який за певних умов, може бути ефективнішим за поверхневий, але він є складнішим та більш вимогливим в плані обладнання для реалізації і автоматизації.



## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

### 6.1. Загальні заходи з охорони праці плавильних цехів

У процесі технологічних операцій киснево-конвертерного цеху створюються несприятливі умови для обслуговуючого персоналу. За умовами праці конвертерне відділення є найскладнішою ділянкою цеху, оскільки він насичений обладнанням та механізмами. У ньому розміщені конвертери, їх приводи, пристрої для подачі кисню в конвертер, механізми та пристрої для завантаження шихтових матеріалів, приймальні пристрої системи очищення та утилізації тепла газів, що працюють, працюють вантажопідйомні механізми і крани.

Конвертери та розплавлений метал виділяють велику кількість тепла, газів та є потенційними джерелами травматизму та аварій, призводять до виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Шкідливі виробничі чинники.

Основними шкідливими виробничими факторами у конвертерному відділенні є:

- тепловиділення від технологічного обладнання, розплавленого металу та шлаку;
- газовиділення, що утворюються при завалці металобрухту та заливанні чавуну в конвертер, при продуванні конвертера і при сушінні футерування відремонтованих конвертерів;
- пиловиділення, що утворюються при транспортуванні сипких матеріалів в конвертер, при завалці металобрухту та заливанні чавуну в конвертер, при продуванні конвертера, заливці чавуну в конвертер, зливі плавки та шлаку з конвертера;
- виробничий шум і вібрація (машина ломки футерування конвертера, пост управління шлаковозом, сталевозом, електромостові

крани, звукова сирена, що включається під час руху сталевоза та шлаковозу);

– вибухонебезпечні та отруйні гази, що використовуються у технологічному процесі.

Джерелами тепла, що виділяється в конвертерному відділенні, служать кожух і розплавлена горловина конвертера, відхідні гази, розплавлений чавун, а також рідкі шлак і сталь. Особливо великому тепловому опроміненню піддаються працівники під час взяття проби, вимірі температури, огляді та ремонті горловини конвертера.

Загазованість повітряного середовища киснево-конвертерного цеху дуже незначна, але при продуванні і при сушінні відремонтованих конвертерів у повітря виробничого приміщення потрапляють токсичні гази, концентрація яких у ряді випадків перевищує санітарні норми [4].

Шкідливий вплив на людину має також пил. Конвертер служить найбільш значним джерелом пиловиділення. Середня кількість пилу, що міститься в конвертерних газах, становить 25 – 30 кг/т і має наступний склад:

– гранулометричний: 0 – 40 мкм – 59%; 40 – 500 мкм – 21%; 500 – 1000 мкм – 13%; понад 1000 мкм – 8%;

– хімічна: залізо до 70%; оксид марганцю – 0,3...0,5%; діоксид кремнію – 1...2%; оксид кальцію – 0,8 ... 32%;  $Al_2O_3$  – 0,5 ... 1%.

Наявність у повітрі пилу, що містить оксиди Si, Fe та інших мінеральних складових, може викликати найбільш важкі захворювання, що отримали назву пневмоконіози.

У великих кількостях виділяють пил шихтові матеріали, що перевантажуються, кладка конвертерів при її руйнуванні під час ремонту [4].

Найбільш повна характеристика шкідливих виробничих факторів на деяких робочих місцях наведена у таблицях 6.1, 6.2, 6.3, 6.4.

Таблиця 6.1 – Фізичні виробничі фактори на робочих місцях конвертерного відділення

Найменування професії	Номер робочого місця	Теплове випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>		Температура повітря, °С		ТНС (теплове навантаження середовища) WBGT индекс, °С		Швидкість руху повітря, м/с		Вологість повітря, %	
		ГДК	Факт	ГДК	Факт	ГДК	Факт	ГДК	Факт	ГДК	Факт
Сталевар конвертера	1	140	4872	15-22	16	21-23,9	25,3	0,2	0,41	15-75	20
Підручний сталевара конвертера	2	140	4872	15-22	16	21-23,9	25,5	0,2	0,42	15-75	20
Підручний сталевара конвертера (торкретувальник)	3	140	696	15-22	16	21-23,9	24,3	0,2	0,2	15-75	22
Підручний сталевара конвертера (управління машиною ломки футеровки конвертера)	4	140	4176	22-24	20,2	19-21,8	24,3	0,2	0,2	15-75	55
Машиніст крана мет. виробництва	5	140	34,8	22-24	25,4	20,2-22,8	26,8	0,2	0,11	40-60	21
Машиніст завалочної машини	6	140	696	22-24	26,1	20,2-22,8	27	0,2	0,13	40-60	32

Таблиця 6.2 – Фізичні виробничі фактори на робочих місцях конвертерного відділення

Найменування професії	Номер робочого місця	Природне освітлення, %		Освітленість робочої поверхні, лк		Шум (екв. рівня звуку), дБА		Вібрація загальна (екв. рівень віброшвидкості), дБ		Вібрація локальна (екв. рівень віброшвидкості), дБ	
		ГДК	Факт	ГДК	Факт	ГДК	Факт	ГДК	Факт	ГДК	Факт
Сталевар конвертера	1	0,6	отс.	200	19	80	88				
Підручний сталевара конвертера	2	0,6	отс.	200	19	80	88				
Підручний сталевара конвертера (торкретувальник)	3	0,6	отс.	200	18	80	84				
Підручний сталевара конвертера (управління машиною ломки футеровки конвертера)	4	0,6	отс.	150	13	70	88	101	108	112	113
Машиніст крана мет. виробництва	5	0,6	отс.	200	17	70	75	101	105	112	110
Машиніст завалочної машини	6	0,6	отс.	200	23	70	74	101	105	112	104

Аналіз таблиць 6.1 і 6.2 показує, що фактичні значення багатьох виробничих факторів лежать вище за нормативні параметри. Найбільшу шкідливість для наведених професій становить теплове випромінювання.

Спостерігаються дуже високі відхилення щодо освітленості робочих місць.  
Є перевищення по шуму, вібрації та тепловому навантаженню середовища.

Таблиця 6.3 – Хімічні виробничі чинники робочих місцях конвертерного відділення

Найменування професії	Номер робочого місця	Пил, що містить кристалічний SiO <sub>2</sub> (аерозоль змішаного складу)		Аерозоль оксиду марганцю		Аерозоль оксиду нікеля		Аерозоль свинцю		Аерозоль оксиду заліза	
		ГДК	Факт	ГДК	Факт	ГДК	Факт	ГДК	Факт	ГДК	Факт
Сталевар конвертера	1	10	12	0,05	0,25	0,05	0,01			6	1,3
Підручний сталевара конвертера	2	10	12	0,05	0,25	0,05	0,01	0,01	0,007	6	1,3
Підручний сталевара конвертера (торкретуваль-ник)	3	10	64,6	0,05	1,10	0,05	0,259	0,01	0,086	6	13,4
Підручний сталевара конвертера (управління машиною ломки футеровки конвертера)	4	4	26,8								
Машиніст крана мет. виробництва	5	10	40,1	0,05	0,5	0,05	0,158			6	10,7
Машиніст завалочної машини	6	10	13,3	0,05	0,24	0,05	0,032	0,01	0,069	6	2,4

Таблиця 6.4 – Хімічні виробничі чинники робочих місцях конвертерного відділення

Найменування професії	Номер робочого місця	Аерозоль оксиду цинку		Аерозоль кобальту		Аерозоль міді		Аерозоль оксиду хрому (ЗВ)		Пари монооксиду вуглецю		Пари оксиду азоту	
		ПДК	Факт	ПДК	Факт	ПДК	Факт	ПДК	Факт	ПДК	Факт	ПДК	Факт
Сталевар конвертера	1	0,5	0,04					1	0,02	20	5,8	2	1,9
Підручний сталевара конвертера	2	0,5	0,04					1	0,02	20	5,8	2	1,9
Підручний сталевара конвертера (торкретувальник)	3	0,5	0,5	0,5	0,005	0,5	0,09						
Підручний сталевара конвертера (управління машиною ломки футеровки конвертера)	4												
Машиніст крана мет. виробництва	5									20	5,8	2	0,96
Машиніст завалочної машини	6	0,5	0,38	0,5	0,004	0,5	0,02			20	5,8	2	1,92

Аналіз таблиць 6.3 і 6.4 показує значні перевищення кремнію, оксиду марганцю, свинцю (машиніст завалочної машини, торкретувальник), нікелю і заліза (торкретувальник, машиніст крана металургійного виробництва).

Крім шкідливих виробничих чинників у конвертерному прольоті є небезпечні виробничі чинники.

Небезпечні фактори виробництва:

- сталевози, що рухаються, шлаковози (можливий наїзд на працюючих, попадання розплавленого чавуну, шлаку або сталі на працюючий персонал при аварії);
- мостові крани (обрив та падіння вантажу, зіткнення кранів, падіння робітників з висоти);
- електрика (внутрішньоцехова електрична мережа, електричне обладнання електромостових кранів, електроприводи, електродвигуни);
- займання (наявність великої кількості паливно-мастильних матеріалів в приміщеннях маслостанцій);
- падіння з висоти;
- вибухи та викиди розплавленого металу та шлаку.

Продування чавуну киснем супроводжується викидами розплавленого металу та шлаку з конвертера. Це становить велику небезпеку обслуговуючого персоналу. Розплавлений метал і шлак можуть не тільки обпалити, а й викликати вибух під час потрапляння на воду. Можливий також викид металу із сталерозливного ковша під час зливу плавки.

Вибухи у конвертерних цехах відбуваються порівняно рідко, але мають велику руйнівну силу.

У конвертерних цехах вибухи відбуваються головним чином при контакті розплавленого металу і шлаку з водою або вологими матеріалами, або внаслідок бурхливого протікання хімічних реакцій при продуванні.

Вибухи від дотику рідкого металу та шлаку з водою становлять велику небезпеку, тому до стану розташованої над конвертером фурми потрібна особлива увага. Неприпустимо попадання води в конвертер із

фурми (прогар, течі). При утворенні навіть невеликої течі фурму слід негайно замінити на нову.

Особливу небезпеку попадає вологи при зливі плавки в ківш. Опинившись під металом, вода охолоджує прилеглі шари, утворюючи тверду кірку, під якою йде випаровування та розкладання вологи з утворенням гримучої суміші. Вибух у разі призводить до викиду металу з ковша. Серйозною небезпекою є наявність води на робочому майданчику у конвертерів, в шлакових чашах і на майданчику, під конвертерами, оскільки випуск шлаку в мокру чашу або попадання викидів розплавленого металу і шлаку на воду може призвести до вибухів. До вибуху у конвертерному відділенні також може призвести:

- прогар котла ОКГ-400-2Б;
- обрив металорукавів, що підводять воду та кисень до фурм;
- прогар фурми та попадання в порожнину конвертера води;
- падіння кисневої фурми (через несправність приводу) у конвертер з рідким металом або шлаком при одночасному прогарі фурми та течі котла ОКГ-400-2Б.

Вибухи при виплавці стали можуть статися у конвертері, а й у ковші після випуску металу. Джерелами таких вибухів є розкислювачі: феромарганець, феросиліцій та ін., оскільки збільшення їх у ківш завжди порушують рівновагу між складовими елементами ванни та реакції не завжди можуть протікати спокійно.

У процесі обезуглероживання металу в ковші і введення в нього значної частини домішок кремнію і марганцю знижується температура плавлення, тобто метал перегрівається без підвищення температури. Перегрів металу є імпульсом у розвиток ендотермічних (поглинаючих тепло) реакцій. Ці реакції часто мають вибуховий характер.

Виявлені шкідливі та небезпечні виробничі фактори можуть призвести до низки серйозних аварій, травматизму, аж до смертельних наслідків.



## 6.2 Охорона праці оператора АСУ ТП

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і посадових обов'язків оператора АСУТП у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ сформовані заходи по забезпеченню безпеки праці.

Приміщення, у якому здійснюються заходи пов'язані з виконанням посадових обов'язків та проведенням досліджень та розрахунків (розробкою, модернізацією, удосконаленням, тощо), є спеціалізованим, яке обладнане ПК з ВДТ.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», «Правил улаштування електроустановок» (далі – «ПУЕ»), ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом», НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» та буде використовуватися згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі – «ПБЕЕ»), НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі – «ПБЕЕС») та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Згідно «ПУЕ», за ступенем небезпеки ураження електрострумом, робоче місце оператора АСУТП приміщення належить до 1-го класу, тобто є приміщенням без підвищеної небезпеки, у якому відсутні умови, що створюють підвищену та особливу небезпеку.

Згідно глави 1.7 – «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «ПУЕ», обладнання має основну ізоляцію струмовідних частин, яка забезпечує захист від прямого дотику та

подвійну, яка складається з основної та додаткової ізоляції, для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження основної ізоляції.

Відповідно до вимог п. 6.7.4. НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» усі доступні для доторкання металеві деталі електрообладнання у приміщенні з ПК, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм.

Оскільки робоче місце оператора АСУТП за ступенем небезпеки ураження електрострумом належить до 1-го класу, тому відповідно до вимог п. 6.7.6 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» та додатку №1 до НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» користувачі ПК пройшли інструктаж з електробезпеки з оформленням в журналі інструктажу та мають I групу з електробезпеки.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неухважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними, яка відповідає нормованим значенням (площа на одне робоче місце має становити не менше ніж  $6,0 \text{ м}^2$ , а об'єм не менше ніж  $20,0 \text{ м}^3$ ). Поверхня підлоги є рівною, неслизькою, з антистатичними властивостями.

У зв'язку із стресовими ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями у працівників може виникнути ймовірність захворювань загально-невротичного характеру.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з

візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» для робітників із застосування ЕОМ, передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години, а також обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження передбачені пристрої для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою

Для оптимізації відносин у колективі проводяться тренінги з залучанням психологів на теми: «Адаптація у новому колективі», «Поведінка в суспільстві».

Для запобігання кістково-м'язових порушень робочі місця користувачів ПК оператора АСУТП відповідають ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680-800 мм, а ширина і глибина – забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою 600 мм, шириною – 500 мм, глибиною (на рівні колін) – 450 мм, на відстані витягнутої ноги – 650 мм.

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для робочого місця оператора, обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних

машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Основними причинами недостатньої або надмірної освітленості робочих місць є несправність або хибний вибір освітлювальних приладів, неправильне розташування робочих місць по відношенню до джерел освітлення.

Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм. Недостатнє або надмірне освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровій і загальній втомі.

Робоче місце оператора АСУТП обладнаному ПК з екранним пристроєм (далі – «ЕП»), згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Метеорологічні умови для приміщенні з комп'ютеризованими робочими місцями – температура, відносна вологість та швидкість переміщення повітря цілком відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Роботи у приміщенні з ПК, належать до категорії Іб – легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

– у холодний період року: температура 21 – 23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

– у теплий період року: температура 22 – 24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

### 6.3 Конвертери у аспектів забруднення навколишнього середовища

Процеси виплавки чавуну і переробки його на сталь супроводжуються викидом в атмосферу різних газів. Викид пилу в розрахунку на 1т передільного чавуну складає 4,5 кг., сірчистого газу – 2,7 кг і марганцю 0,5 – 0,1 кг. Разом з доменним газом в атмосферу в невеликих кількостях викидаються також сполуки миш'яку, фосфору, сурми, свинцю, пари ртуті і рідких металів, ціанистий водень і смолисті речовини.

Значну роль у забрудненні атмосфери грають викиди мартенівських сталеплавильних цехів. При веденні мартенівського процесу пил утворюється з металевої шахти (сталевий брухт при її окислюванні, зі шлаку, руди, вапняку, що йдуть на окислювання домішок шихти, і з доломіту, що застосовується для заправлення підлоги печі). У період кипіння сталі виділяються також пари окисів шлаку і металу, газів. Розміри часток пилу не перевищує 3 мкм. Переважна частина пороши мартенівських печей складається з триокису заліза (67%) і триокису алюмінію (8,7%). При безкисневому процесі на 1 т мартенівської сталі виділяється 3000 – 4000 м<sup>3</sup> газів з концентрацією пилу в середньому 0,5 г/м<sup>3</sup>. У період подачі кисню в зону розплавленого металу пилоутворення багаторазово збільшується, досягаючи 15 – 52 г/м<sup>3</sup>. Крім того, плавлення сталі супроводжується вигоранням деякої кількості вуглецю і сірки, у зв'язку з чим у газах мартенівських печей, що відходять при кисневому дутті, міститься до 60 кг. окису вуглецю і до 3 кг сірчистого газу в розрахунку на 1 т. виданої сталі.

Головною особливістю конвертерного процесу є одержання сталі з рідкого чавуну без застосування палива. Виплавка сталі за таким

принципом здійснюється в конвертерах ємністю 50,100, 250 і більше тонн шляхом продування рідкого чавуну киснем. Це забезпечує вигорання небажаних домішок, наприклад, марганцю, фосфору і вуглецю, що містяться у чавуні.

Процес одержання конвертерної сталі носить циклічний характер і при кисневому дутті триває 25 – 30 хвилин. Димові гази, що утворюються, складаються з часток окисів кремнію, марганцю і фосфору. У складі диму міститься значна кількість окису вуглецю – до 80%. Концентрація пилу в газах що відходять, складає приблизно 15 г/м<sup>3</sup>. Основна маса пилу – 90%, складається з часток розміром 0,2 – 1 мкм.

*Висновки.* В даному розділі подані рекомендації що до охорони праці і навколишнього середовища, що відповідають законодавству України.

## 7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

### 7.1 Визначення капітальних вкладень

У зв'язку з розробкою ситуаційної системи управління (САУ) газовим режимом конвертера для умов удосконалення мартенівських цехів сталеплавильного виробництва системи проводиться техніко-економічне обґрунтування проекту.

До складу АСУТП управління газовим режимом конвертера входять 10 шаф управління (ШУ) вартістю 68000 гривень за одиницю.

Сума капіталовкладень ( $K_{об}$ ) на устаткування без урахування ПДВ включає вартість придбаного устаткування ( $V_{уст}$ ) та витрати на транспортні ( $V_{тр} = 6\%$ ) і заготівельно-складські ( $V_{зс} = 5\%$ ) операції у визначених відсотках від  $V_{уст}$ .

$$K_{об} = V_{уст} + V_{тр} + V_{зс}, \quad (7.1)$$

де  $V_{уст} = V_{ШУ}$

$$V_{ШУ} = 680000 \cdot 10 = 6800000, \text{ грн.}$$

$$K_{об} = 6800000 \cdot (1 + 0,06 + 0,05) = 7548000, \text{ грн.}$$

Додаткові капіталовкладення  $K_{САУ}$  на модернізацію САУ складаються з таких витрат:

$$K_{САУ} = K_{дм} + K_{об} + K_{м}, \quad (7.2)$$

де  $K_{дм}$  – витрати на демонтаж існуючої апаратури ( $K_{дм} = 0,05 \cdot K_{об}$ , грн);

$K_{м}$  – витрати на монтаж нового устаткування ( $K_{м} = 0,4 \cdot K_{об}$ , грн).

$$K_{дм} = 0,05 \cdot 7548000 = 377400, \text{ грн.}$$

$$K_{м} = 0,4 \cdot 7548000 = 303200, \text{ грн.}$$

$$K_{САУ} = 377400 + 303200 + 7548000 = 8228600, \text{ грн.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.1 .

Таблиця 7.1 – Визначення капітальних вкладень.

<b>Визначення капітальних вкладень</b>	
Витрати на монтаж нового устаткування $K_m$	323200 грн.
Сума капіталовкладень $K_{ов}$	7548000 грн.
Витрати на демонтаж існуючої апаратури $K_{дм}$	377400 грн.
Вартість придбаного устаткування $V_{уст}$	6800000 грн.
Додаткові капіталовкладення модернізацію САУ $K_{САУ}$	8228600 грн.

### 7.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати ( $V_{САУ}$ ), пов'язані з обслуговуванням нової САУ складаються з річних витрат на:

- зарплату персоналу ( $V_{зп}$ );
- амортизацію нового обладнання ( $V_a$ );
- поточний ремонт нового обладнання ( $V_p$ );
- електричну енергію для живлення нового обладнання ( $V_{ел}$ );
- інші експлуатаційні витрати ( $V_i$ ).

$$V_{САУ} = V_{зп} + V_a + V_p + V_{ел} + V_{ін}. \quad (7.3)$$

### 7.3 Річні витрати на ЗП

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$V_{зп} = n \cdot \text{ФОП}, \quad (7.4)$$

де  $n$  – чисельність обслуговуючого персоналу ( $n = 50$  роб.);

ФОП – середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори.



Розрахуємо середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори:

$$\text{ФОП} = \Phi_{\text{зп}} \cdot K_{\text{ін}}, \quad (7.5)$$

де  $K_{\text{ін}} = 1,1$

$\Phi_{\text{зп}}$  – щорічна витрата на зарплату робітника з урахуванням нарахувань на ФОП, грн.

$$\Phi_{\text{зп}} = 12 \cdot \text{ЗП} \cdot N_{\text{зп}}, \quad (7.6)$$

де ЗП – середня місячна зарплата робітника (ЗП = 8500 грн.);

$N_{\text{зп}}$  – нарахування на ФОП складають 20%.

Тоді:

$$\Phi_{\text{зп}} = 12 \cdot 8500 \cdot (1+0,2) = 122400, \text{ грн.}$$

$$\text{ФОП} = 122400 \cdot 1,1 = 134640, \text{ грн.}$$

$$B_{\text{зп}} = 50 \cdot 134640 = 6732000, \text{ грн.}$$

#### 7.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування ( $B_a$ ) на реновацію придбаного устаткування на соціальні збори визначаються за виразом:

$$B_a = K_{\text{сав}} \cdot N_A / 100, \quad (7.7)$$

де  $N_A$  – річна норма амортизації на реновацію ( $N_A = 24\%$ );

$$B_a = 1332000 \cdot 24/100 = 319680, \text{ грн.}$$

### 7.5 Річні витрати на ремонт

Ці витрати обчислюють через коефіцієнт  $K_p = 3\%$  від загальної суми капіталовкладень.

$$V_p = K_p \cdot K_{CAU}, \text{ грн.} \quad (7.8)$$

$$V_p = 0,03 \cdot 1332000 = 39960, \text{ грн.}$$

### 7.6 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САР визначаються так:

$$V_{ел} = P_{ел} \cdot T_{\phi} \cdot K_3 \cdot CB_{ел}^{од}, \text{ грн.} \quad (7.9)$$

де  $P_{ел}$  – встановлена електрична потужність САУ ( $P_{ел} = 3,5$  кВт);  
 $T_{\phi}$  – фактичний термін роботи САУ за рік ( $T_{\phi} = 7800$  год.);  
 $K_3$  – коефіцієнт для врахування реального споживання ( $K_3 = 0,8$ );  
 $CB_{ел}^{од}$  – собівартість виробленого 1кВт · год ( $CB_{ел}^{од} = 90$  коп.)

$$V_{ел} = 3,5 \cdot 7800 \cdot 0,8 \cdot 0,90 = 19656 \text{ грн.}$$

### 7.7 Інші витрати

Інші витрати визначаються так:

$$V_{ін} = 0,25 \cdot (V_a + V_{зп} + V_p) \quad (7.10)$$

$$V_{ін} = 0,25 \cdot (319680 + 6732000 + 39960) = 1772910 \text{ грн.}$$

Підставляючи отримані значення маємо загальну суму річних

експлуатаційних витрат ( $V_{CAU}$ , грн.):

$$V_{CAU} = 6732000 + 319680 + 39960 + 19656 + 1772910 = 8884206 \text{ грн.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок річних експлуатаційних витрат

<b>Розрахунок річних експлуатаційних витрат</b>	
Зарплата персоналу $V_{зп}$	6730000 грн.
Амортизація нового обладнання $V_a$	319680 грн.
Поточний ремонт нового обладнання $V_p$	39960 грн.
Електричну енергію для живлення нового обладнання $V_{ел}$	19656 грн.
Інші експлуатаційні витрати $V_{ін}$	1772910 грн.
Експлуатаційні витрати $V_{CAU}$	8884206 грн.

### 7.8 Річна економія експлуатаційних витрат

Економія ( $E$ ) від впровадження САУ визначається за виразом:

$$E = E_{п} + E_{н} + E_{вп} - V_{CAU}$$

де  $E_{п}$  – економія від зменшення кількості пусків через зниження відмов конвертера, грн.;

$E_{н}$  – економія у зв'язку з підвищенням надійності роботи, грн.;

$E_{вп}$  – економія у зв'язку зі скороченням витрат електроенергії на власні потреби через впровадження САУ, грн.;

$V_{CAU}$  – вартість річних експлуатаційних витрат.

Економія ( $E_{п}$ ) від зменшення кількості пусків через зниження відмов визначається за виразом:

$$E_{п} = (1 - K_{від}) \cdot t_{від} \cdot c_{п} \cdot CB_{ел}^{од} / 100, \quad (7.11)$$

де  $P_B$  – встановлена електрична потужність ( $P_B = 10^6$ ), кВт;

$t_{\text{від}}$  – відрізок часу виведення системи з мережі при його відключенні ( $t_{\text{від}} = 9$  год);

$c_n$  – число скорочених пусків ( $c_n = 1$ );

$CB_{\text{ел}}^{\text{од}}$  – собівартість 1 кВт\*год виробленої електроенергії ( $CB_{\text{ел}}^{\text{од}} = 5$  коп);

$K_{\text{від}}$  – коефіцієнт корисного навантаження за час  $t_{\text{від}}$  ( $K_{\text{від}} = 0,7$ ).

Тоді

$$E_{\text{п}} = (1 - 0,7) \cdot 10^6 \cdot 9 \cdot 1 \cdot 5/100 = 135000 \text{ грн.}$$

Економія ( $E_{\text{н}}$ ) у зв'язку з підвищенням надійності роботи ЕС і додатковим виробленням електроенергії ( $dE_{\text{в}}$ ) визначається за виразом:

$$E_{\text{н}} = (CB_{\text{ел}}^{\text{од}} - CBM_{\text{ел}}^{\text{од}}) \cdot W_{\text{в}}, \quad (7.12)$$

де  $CBM_{\text{ел}}^{\text{од}}$  – собівартість 1 кВт · год з урахуванням додаткової роботи доменної печі після модернізації САР визначається за виразом:

$$CBM_{\text{ел}}^{\text{од}} = CB_{\text{ел}}^{\text{од}} (1 - A_{\text{п}} \cdot (1 - W_{\text{в}} / (W_{\text{в}} + dW_{\text{в}}))) \quad (7.13)$$

де  $A_{\text{п}}$  – доля умовно-постійних витрат в собівартості 1 кВт · год:

$$A_{\text{п}} = 1 - V_{\text{п}} / СВП, \quad (7.14)$$

$$V_{\text{п}} = 183,45 \cdot 10^6 \text{ грн.},$$

$$СВП = 210,3 \cdot 10^6 \text{ грн.},$$

$$A_{\text{п}} = 1 - 183,45 \cdot 10^6 / 210,3 \cdot 10^6 = 0,27$$

$$W_{\text{в}} = 7 \cdot 10^9 \text{ кВт*год.}$$

$$CBM_{\text{ел}}^{\text{од}} = 5 \cdot (1 - 0,128 \cdot (1 - 7 \cdot 10^9 / (7 \cdot 10^9 + 24 \cdot 10^6))) = 0,45 \text{ коп.}$$

Тоді:

$$E_H = (5 - 0,45) \cdot (7 \cdot 10^9 + 24 \cdot 10^6) / 100 = 31959200 \text{ грн.}$$

Економія ( $E_{ВП}$ ) у зв'язку зі скороченням витрат електроенергії на власні потреби через модернізацію САР визначається за виразом:

$$E_{ВП} = (CP^{од}_{ел} - CPM^{од}_{ел}) / 100 \cdot WM_p, \text{ грн.} \quad (7.15)$$

де  $WM_p$  – річний обсяг реалізованої ел.енергії зі скороченими витратами на власні потреби на 20%,

$$WM_p = W_B \cdot (1 - qM^{ВП} / 100), \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (7.16)$$

де  $qM^{ВП} = 0,8 q^{ВП}, \quad (7.17)$

$$q^{ВП}_C = 4,22\%.$$

$$WM_p = 7,8 \cdot 10^9 \cdot (1 - 3,38 / 100) = 7,54 \cdot 10^9, \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Собівартість продукції, з урахуванням зменшення витрат на власні потреби  $CPM^{од}_{ел}$  визначається за виразом:

$$CPM^{од}_{ел} = CP^{од}_{ел} (1 - A_{П} * (1 - W_p / WM_p)) \quad (7.18)$$

$$CPM^{од}_{ел} = 5 \cdot (1 - 0,27 * (1 - 6,76 * 10^9 / 7,54 * 10^9)) = 4,92 \text{ коп.}$$

$$E_{ВП} = (5 - 4,92) / 100 \cdot 7,54 \cdot 10^9 = 603200, \text{ грн.}$$

Підставляючи числові значення, розрахуємо економію ( $E$ ) від провадження САУ:

$$E = 31959200 + 603200 + 135000 - 3944277 = 2875312, \text{ грн.}$$

Приріст чистого прибутку визначається так:

$$d\Pi = K_e \cdot E, \text{ грн.} \quad (7.19)$$

де  $K_e$  – коефіцієнт економічної ефективності ( $K_e = 0,7$ ):

$$d\Pi = 0,7 \cdot 2,9 \cdot 10^6 = 7889000, \text{ грн.}$$

Термін окупності ( $T_o$ ) додаткових капіталовкладень ( $dK = K_{CAU}$ ) визначається:

$$T_o = K_{CAU} \cdot (1 + \alpha_a + \alpha_p + \alpha_{зсв}) / d\Pi, \text{ років} \quad (7.20)$$

де  $\alpha_a$  – додаткові нарахування на амортизацію ( $\alpha_a = 0,14$ );

$\alpha_p$  – додаткові нарахування на поточний ремонт ( $\alpha_p = 0,01$ );

$\alpha_{зсв}$  – доля загально станційних витрат, визначена додатковими капіталовкладеннями ( $\alpha_{зсв} = 0,20$ ).

$$T_o = 8884206 \cdot (1 + 0,14 + 0,01 + 0,20) / 7889000 = 2 \text{ роки.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Річна економія експлуатаційних витрат

<b>Розрахунок економічного ефекту від впровадження САУ конвертера</b>	
Економія від модернізації САУ Е	2875312 грн.
Економія від зменшення кількості пусків через зниження відмов САУ Еп	135000 грн.
Економія у зв'язку з підвищенням надійності ЕС Ен	31959200 грн.
Економія у зв'язку зі скороченням витрат електроенергії на власні потреби Е <sub>вп</sub>	603200 грн.
Вартість річних експлуатаційних витрат В <sub>САУ</sub>	8884206 грн.
Приріст чистого прибутку d\Pi	7889000 грн.
Термін окупності додаткових капіталовкладень T <sub>o</sub>	2 роки

*Висновок.* В результаті проведеного розрахунку економічних показників були визначені капітальні витрати на будівництво, щорічні

витрати, чистий приведений прибуток, внутрішня норма прибутку, індекс доходності, термін окупності проекту, рентабельність і так далі.

Термін окупності проекту 2 року, що свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін.

## ВИСНОВКИ

Киснево-конвертерний процес вигідно відрізняється від інших схем виробництва сталі відсутністю додаткових джерел енергії, таких як електрична енергія, природний газ, вугілля та інші. Сучасний киснево-конвертерний процес слід розглядати як систему поєднаних високоефективних технологій, що включають підготовку чавуну після випуску з доменної печі, процес виплавки в конвертері та ковшового доведення сталі, яка потім розливається на МНЛЗ.

Огляд існуючих рішень дав зрозуміти, що не дивлячись на те, що Україна є однією із провідних країн-виробників сталі в світі, але інформації, щодо вітчизняних та іноземних технологій та методів організації автоматизованих систем управління киснево-конвертерний виготовленням сталі, є дуже мало по причині складності реалізації та комерційної таємниці фірм, причому засобами вибирається доволі широкий спектр програм, що дає подвійну свободу в будь-яких розробках в цій сфері.

У випускній кваліфікаційній роботі магістра розроблена математична моделі процесу конвертування. Основною метою розробки адаптивної системи газового режиму конвертера є аналіз концентрації CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> та O<sub>2</sub>, присутніх у конвертерному газі, які виділяються в результаті процесу продування. Вимірювання концентрації CO є важливим для відновлення газу, зберігання та розподілу газу різним споживачам для опалення печей. Вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> є важливим для контролю надходження повітря в систему, а також для зменшення надлишкового тепла, що утворюється в газопроводі.

Використання модельно-прогнозуючого регулятора призвело до значного покращення якості регулювання: для контуру витрати кисню відносно зменшення склало 1,63 рази (9075/5577), а для контуру вмісту CO<sub>2</sub> у конвертованих газах – 32,5 рази (1397/43). Максимальне динамічне



відхилення вмісту  $\text{CO}_2$  у конвертованих газах було зменшено на 17,5% – 0,95% = 16,55% у порівнянні з комбінованою системою регулювання із ПД-регуляторами.

Управління об'єму надходження кисню в газгольдер (до 2 %) запобігає утворенню вибухонебезпечної суміші в системі (через збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  до 30 %).

Отримані показники ефективності роботи системи автоматичного регулювання відповідають вимогам щодо якості роботи, що підкреслює доцільність впровадження вдосконаленої системи автоматичного регулювання з використанням модельно-прогнозуючого керування.

Також розроблена і досліджена САР газового режиму конвертера. Для управління газовим процесом використаний контролер SIMATIC S7-300. Програмне забезпечення для САР створено в програмному середовищі STEP7. Розроблений код управління контролером.

За рахунок управління газовим режимом конвертера покращується продуктивність роботи системи: підтримується висока калорійність газу, стабільність параметрів під час плавки, що в свою чергу дозволяє досягти високої якості сталі за усіма показниками.

З реалізацією автоматичної системи через отримання даних з газоаналізаторів продуктивність відбору проб конвертера можливо вдосконалити безпеку процесу та персоналу завдяки постійній доступності даних про концентрації  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$ .

Початкове введення вхідних даних до системи робить розроблене програмне забезпечення достатньо гнучким, і дає можливість швидко підлаштувати САР під умови виробництва, а також проводити будь-яку модифікацію і легше впроваджувати будь-які зміни в майбутньому. Розроблена САР дозволяє усунути ручне втручання при експлуатації. Розроблене також автоматизоване робоче місце для відображення інформації про стан системи керування приводами у приміщенні машинного залу.

Також подані рекомендації що до охорони праці, що відповідають законодавству України. А також проведено техніко-економічні розрахунки. Термін окупності проекту 2 року, що свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін.

## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.
2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ *Голос України*. 2022. 19 серпня. С. 10–22.
3. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с.
4. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. Вид. офіц. Київ, 1998. 18 с. (Інформація та документація).
5. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с. (Інформація та документація).
6. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. К. : Міненерговугілля України, 2021. 617 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с. (Інформація та документація).
8. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [На заміну глав 5.4 5.5 7.1 7.2 7.3 7.4 7.6 Правил устроювання електроустановок, затв. Міненерго СРСР 06.07.1984 р. ; чинний від 2002-01-01]. К. : Мінпраці України, 2001. (Інформація та документація).
9. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. К. : МВС України, 2014. 91 с. (Інформація та документація).

10. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [На заміну НАОП 1.1.10-1.01-85 ; чинний з 1997-10-06]. К. : Держнаглядхоронпраці, 1997. 97 с. (Інформація та документація).

11. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний з 1998-01-09]. К. : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Інформація та документація).

12. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. (Інформація та документація).

13. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Інформація та документація).

14. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с. (Інформація та документація).

15. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016]. К. : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Інформація та документація).

17. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Інформація та документація).

18. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Інформація та документація).
19. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01]. К. : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Інформація та документація).
20. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. (Інформація та документація).
21. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем: навч. посіб. Черкаси : Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.
22. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: довідник / за заг. ред. Б. Б. Тимофеева ; уклад. Н. Г. Скрипаненко. Київ : Техника, 2003. 351 с.
23. Ананьєв В. П. Синтез і налагодження квазіоптимальних систем підпорядкованого регулювання в металургії: навч. посіб. Київ : Просвіта, 2007. 344 с.
24. Анзимиров Л. В. SCADA TRACE MODE – нові технології для сучасних АСУТП : навч. посіб. Київ : *Автоматизація в промисловості*, 2007. 113 с.
25. Арбузов В. В., Лакиза А. М., Войцицкий В. В., Недельчев П. А., Литвиненко И. А. Створення інтегрованої розподіленої АСУТП енергопостачальної компанії із застосуванням системи TRACE MODE : стаття. Київ : *Промислові АСУ і контролери*, № 7, 2005. 45 с.
26. Бойченко Б. М., Охотський В. Б., Харлашин П. С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, конструкції агрегатів : навч. посіб. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-Вал», 2006. 454 с.

27. Величко А. Г., Иващенко В. П., Верховская А. А., Головки В. И., Селегей А. Н. АСУ ТП в конвертерном производстве: навч. посіб. Днепропетровск: НМетАУ, 2016. 245 с.
28. Вітров И. В. CoDeSys – щоденний інструмент програміста ПЛК// *Автоматизация в промышленности*, № 8, 2012. 45 с.
29. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: <http://wikipage.com.ua/1x400f.html> (дата звернення: 13.11.2023).
30. Вимоги до системи. URL: <https://mydocx.ru/2-120435.html> (дата звернення: 13.11.2022).
31. Горохова В. О., Тубольцев Л. Г. Екологічні аспекти промислової безпеки роботи кисневих конвертерів. «I Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених «Наука і металургія». *Національна академія наук України Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Д.*, 2017. 56 с.
32. Иващенко В. П. Конвертерне виробництво як об'єкт управління в АСУ ТП: навч. посіб. : під. редак. В. П. Иващенко, А. О. Верховська : Дніпропетровськ: вид-во Маковецький, 2012. 200 с.
33. Ельперін І. В. Промислові контролери: навч. посіб. Київ, НУХТ, 2013. 320 с.
34. Кустов К. І., Шершевер М. А. Автоматичне регулювання і регулятори. Київ, Металургія, 2007. 180 с.
35. Курілов А. И. АСУ в конвертерном производстве : навч. підруч. А. И. Курилов, А. Я.Иваненко, А. В. Сколобанов. Донецк : «Донбас», 1975. 68 с.
36. Манько О. О. Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології» для студентів заочної форми навчання. Рівне, 2012. 40 с.
37. Манько О. О., Кутя В. М. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Основи проектування

систем автоматизації» для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології». Рівне, 2010. 31 с.

38. Маріяш Ю. І., Степанець О. В. Оптимальне керування параметрами дуттьового режиму кисневого конвертера. *Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: XIX міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених та студентів*, 20 кв. 2021 р.: мат. конф. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 45 с.

39. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Метод.вказівки до вик. курс. проекту для студ. спец. 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» ден. та заоч. форм навчання : уклад.: К. С. Архангельська, О. Й. Рішан. Київ : НУХТ, 2005. 223 с.

40. Методичні вказівки до практичних занять з кредитного модуля «Електричні системи керування» навчальної дисципліни «Технічні засоби автоматизації – 2» для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» по спеціалізації «Автоматизація хімікотехнологічних процесів і виробництв» : укладач В. М. Ковалевський, Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. 60 с.

41. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» : уклад. А. М. Ніколаєнко. Запоріжжя: ЗДІА, 2016. 34 с.

42. Мочалін В. Н., Кочнев Н. В. Моделювання та дослідження систем авто-тичних управління з використанням ПЕОМ: навч. посіб. Київ : КГП, 2005. 178 с.

43. Основи охорони праці: підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. укладен. К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний,

Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. за ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. Київ : Основа, 2006. 448 с.

44. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР: метод. вказівки до практичних занять для студ. напряму 0925 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч. уклад.: В. Г. Трегуб. Київ : НУХТ, 2008. 67 с.

45. Проектування систем керування: конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» : уклад. М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленський. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 279 с.

46. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: <http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html> (дата звернення: 15.11.2023).

47. Рішан О. Й. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Курс лекцій для студентів спеціальностей: 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» ден. та заочн. форм. навчан. Київ : НУХТ, 2007. 162 с.

48. Сідлецький В. М., Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації : методичні рекомендації до виконання курсового проекту для студентів напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології» денної та заочної форм навчання : Київ, 2013. 46 с.

49. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації: навч. посібник. Київ : НМК ВО, 2015. 80 с.

50. Kumar A.V., Aruna S. Automation of gas analyzer at converter shop in steel melt shop. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (9), 2012. P. 25-36.

51. Mariiash Y., Stepanets O. Optimal control of the blowing mode parameters during basic oxygen furnace steelmaking process. Modelling Control and Information Technologies. 2021. No. 5. P. 94–96. <https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.30>. (дата звернення: 15.11.2023).