

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

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

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

**на тему «Модернізація системи управління блоком  
повітрянагрівачів доменної печі №1»**

Керівник роботи

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

Консультант від  
бази практики

Віктор БОНДАРЕНКО

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

Здобувач

Володимир СТЕЦЬКИЙ

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

Голова ЕК

Андрій ЛЕОНОВ

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

«24» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Стецькому Володимиру Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Модернізація системи управління блоком повітрянагрівачів доменної печі №1

керівник роботи Мірошниченко Вікторія Ігорівна, доцент, канд. техн. наук,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 10.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи управління та сигналізації технологічних параметрів (Основні задачі АСУТП, концепція роботи системи, обґрунтування та вибір технічних рішень). 3. Реалізація запропонованої системи (3.1. Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації, 3.2. Проектування САР температури дуття, 3.3. Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення окремих задач системи). 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема структурна автоматизації. Схема функціональна автоматизації. Схема структурна комплексу технічних засобів. Блок-схеми алгоритмів керування та програмного забезпечення. Результати розрахунків

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 24.11.2023

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач

(Стецький В. В.)

Керівник роботи

(Мірошніченко В. І.)

## АНОТАЦІЯ

*Стецький Володимир Володимирович.* Модернізація системи управління блоком повітрянагрівачів доменної печі №1. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

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

Об'єктом дослідження є система управління блоком повітрянагрівачів доменної печі №1.

Предметом дослідження є автоматизація технологічного процесу нагріву дуття.

У першому розділі проаналізована предметна область автоматизації роботи повітрянагрівачів доменної печі. Надана загальна характеристика технологічного процесу та наявної системи автоматизації роботи блоку повітрянагрівачів доменної печі. Приведено аналіз рішень на аналогічних об'єктах. В результаті визначена необхідність модернізації наявної системи та сформульована невирішена частина проблеми, яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.

У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації, визначено параметри об'єкту автоматизації, визначені задачі управління блоком повітрянагрівачів, задачі автоматичного контролю та регулювання відповідних технологічних параметрів, обґрунтована запропонована структура системи автоматизації, визначено розподіл основних задач, які вирішуються на рівнях автоматизації, наведено перелік основних функціональних задач та опис схеми їхнього взаємозв'язку.

У третьому розділі обґрунтовано вибір технічних засобів для всіх рівнів автоматизації; спроектовано САР температури дуття; розроблено математичну модель теплового режиму повітрянагрівача, програмне забезпечення системи автоматизації.

У четвертому розділі відповідними розрахунками підтверджено економічну доцільність впровадження запропонованої системи автоматизації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПОВІТРОНАГРІВАЧ, ДУТТЯ, УПРАВЛІННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ВСТУП .....	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	9
1.1 Огляд літературних джерел.....	9
1.2 Опис наявної системи автоматизації .....	11
1.2.1 Система стабілізації температури гарячого дуття .....	11
1.2.2 Система керування перемиканням клапанів ПН.....	12
1.2.3 Система автоматичного керування нагрівом ПН .....	12
1.2.4 Система керування охолодженням обладнання повітрянагрівачів.....	13
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ .....	15
2.1 Технологічний процес нагріву дуття як об'єкт управління .....	15
2.2 Постановка задач управління блоком повітрянагрівачів .....	18
2.3 Обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління .....	20
2.4 Взаємозв'язок функціональних задач АСУ блоком повітрянагрівачів .....	21
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	24
3.1 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації .....	24
3.2 Проєктування САР температури дуття .....	26
3.3 Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення інформаційних задач системи управління .....	27
3.3.1 Алгоритм розрахунку нагріву насадки повітрянагрівача.....	27

3.3.2	Визначення теоретичної температури горіння палива .....	30
3.3.3	Опис роботи розробленої програми .....	31
4	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ .	39
	ВИСНОВКИ .....	43
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44
	ДОДАТОК А. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ. <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
	A.1 Опис технологічного процесу нагріву дуття для доменної печі .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
	A.2 Режими роботи повітрянагрівачів .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
	A.3 Електрообладнання повітрянагрівачів .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
	A.4 Метрологічне забезпечення наявної системи автоматизації блоку повітрянагрівачів доменної печі 1 .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
	ДОДАТОК Б. АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку доменного виробництва спрямовані на покращення якості сировинних матеріалів; застосування пиловугільного палива та комбінованого дуття; підвищення тиску газів у пічному просторі та вдосконалення обладнання агрегату.

Автоматизація технологічного процесу виплавки чавуну в доменній печі є однією з найбільш актуальних задач сучасних підприємств – металургійних комбінатів. Суттєва концентрація ресурсів та виробничих потужностей в агрегаті потребує таких методів управління технологічним процесом, які зможуть забезпечити повне використання всіх можливостей доменної печі та отримання найкращих техніко-економічних показників доменної плавки. Саме тому модернізації систем автоматичного управління доменним процесом приділяється особлива увага.

В свою чергу безперебійна робота блоку повітронагрівачів, де відбувається нагрів дуття, яке подається в доменну піч, забезпечує зниження витрат палива, зокрема, та підвищення продуктивності доменної печі в цілому. Тому підтримка стану систем автоматизації цього технологічного процесу на сучасному рівні є актуальною задачею.

Апробація результатів роботи була проведена під час участі у науковій конференції та публікації тез доповіді:

1. Stetskyi V.V., Miroshnychenko V.I. analysis of the conditions for modernization of the blast furnace hot blast stove block control system. International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» conference proceedings, Riga, the Republic of Latvia, November 29–30, 2023. «Baltija Publishing», Riga, Latvia, 2023. V.2. С. 67–68.  
<https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-101>

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Огляд літературних джерел

Подачу гарячого дуття в доменну піч необхідно забезпечувати в постійному режимі. Для забезпечення постійного потоку гарячого дуття для однієї печі зазвичай використовують блок повітронагрівачів (ПН), який включає в себе найчастіше чотири агрегати для нагріву повітря, які працюють по черзі.

Температура під куполом повітронагрівача може досягати 1300-1400 °С, щоб досягати таких температур спалюванням тільки доменного газу в якості палива для нагріву недостатньо, з цієї причини доменний газ збагачують, тобто змішують з коксівним або природним газом. Однак вартість і дефіцит природного газу обмежують його використання. Для зменшення впливу природного газу на процес горіння існує можливість нагріву компонентів горіння за рахунок утилізації димових газів [1].

Використання нагріву компонентів за рахунок теплоти від продуктів згорання крім обумовленої вже вище економії також дозволить зменшити вплив металургії на навколишнє середовище. Використання теплоти відхідних газів можливо як для обох компонентів горіння відразу, а також окремо для повітря горіння. При підігріві одночасно повітря і доменного газу, з'являється можливість відмовитися від застосування природного газу. Підігрів ж тільки повітря буде більш безпечним рішенням, внаслідок можна отримати нагріте повітря близько 170 °С і знизити температуру газу до ~100 °С, цей спосіб не виключає потреби використовувати природний газ, однак знижує його витрату [2].

В роботі [3] запропонований метод розрахунку теплового стану повітронагрівачів, що базується на моделі теплопереносу з урахуванням масивності насадки, постійних теплофізичних характеристик насадки та коефіцієнтів тепловіддачі теплоносіїв по

протяжності каналу. В результаті наведеного методу авторами були розраховані температура насадки та витрата димових газів повітрянагрівача.

Система автоматичного управління повітрянагрівачами, а саме нагріву і стабілізації температури купола за допомогою зміни витрати повітря горіння була запропонована авторами [4]. Регулювання витрати повітря горіння при постійно максимальній витраті палива, яке позитивно впливає на час нагрівання купола зменшуючи його.

В роботі [5] наведено метод оптимізації теплового режиму за допомогою розрахунку загальної кількості тепла всіх повітрянагрівачів.

Автор статті [6] описав реалізацію інтелектуальної системи управління блоком повітрянагрівачів із застосуванням нейромережевих технологій. Модель, розроблена в цій роботі, довела свою адекватність під час перевірки шляхом перерахункового моделювання. Серед недоліків можна відмітити складність реалізації даного методу в промислових умовах та можливість використання тільки для безшахтних повітрянагрівачів.

Експертна система, що базується на використанні нечіткої логіки, запропонована для спрощення та підвищення достовірності опису теплових процесів згоряння палива та нагріву насадки повітрянагрівачів в роботі [7].

Рішення, яке використовує тришарову нейронну мережу для прогнозування температури насадки, наведено в роботі [8]. Відмічено, що підвищення точності результатів моделі досягається за рахунок забезпечення зворотних зв'язків. Такий недолік запропонованого рішення, як достатньо висока складність обчислень для виробничих потужностей під час навчання нейронної мережі, частково вирішується використанням нечітких множин.

При управлінні процесом, яке ґрунтується на ситуаційному підході, існує проблема розпізнавання наявної ситуації та вибору алгоритму

управління. Принцип переходу між ситуаціями з набору певних ознак описано у роботі [9], де запропонована система базується на використанні нечіткої мережі, за вершинами якої визначається поточна ситуація.

У роботі [10] наведений спосіб збільшення ефективності управління групою повітрянагрівачів, заснований на встановленні додаткових датчиків і формуванні на підставі наданої інформації бази знань, яка використовується прогнозування тривалості періоду дуття.

В роботі [11] запропонований спрощений алгоритм управління блоком повітрянагрівачів, який не потребує значної модернізації обладнання.

## **1.2 Опис наявної системи автоматизації**

До складу автоматизованої системи управління блоком повітрянагрівачів входять системи:

- стабілізації температури гарячого дуття;
- керування перемиканням клапанів повітрянагрівачів;
- автоматичного керування нагрівом повітрянагрівача;
- контролю та керування охолодженням обладнання повітрянагрівачів.

### **1.2.1 Система стабілізації температури гарячого дуття**

Температура гарячого дуття стабілізується шляхом додавання холодного в потік гарячого дуття на виході ПН, кількість якого регулюється затвором поворотним дисковим. Від початку роботи ПН у режимі «дуття» по мірі його охолодження затвор з повністю відкритого стану поступово зачиняється, зменшуючи додавання холодної частини дуття. При повністю зачиненому затворі додавання холодного дуття

система видає сигнал, за яким відбувається перехід охолодженого ПН у режим «нагрів», а нагрітого ПН – у режим «дуття».

При переводі ПН у режим «дуття» в систему надходить сигнал про відкриття клапана гарячого дуття ПН. В результаті чого система знову повністю відкриває регулювальний орган для додавання частини холодного дуття вже при роботі нового ПН. Після цього вмикається система стабілізації температури гарячого дуття, на вхід якої поступає відхилення поточного від заданого значення температури дуття, в залежності від якого видається регулювальний вплив на прикриття затвору.

### 1.2.2 Система керування перемиканням клапанів ПН

Робота системи докладно описана в додатку А. Кадри SCADA наведені на рис. 1.1.

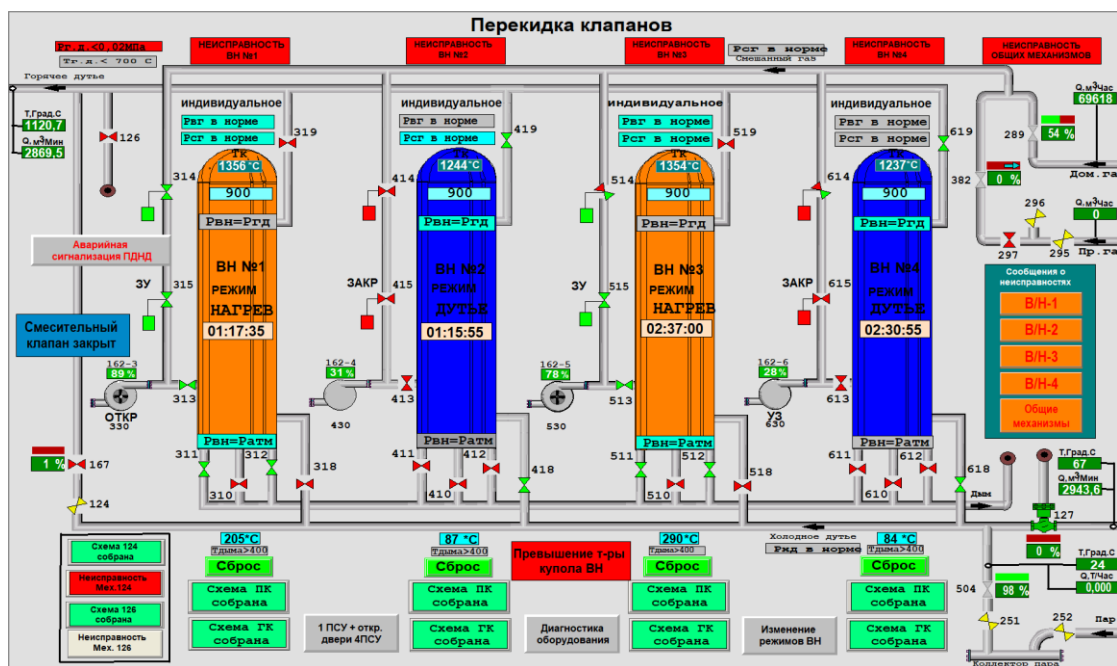


Рисунок 1.1 – Мнемосхема перемикання клапанів ПН

### 1.2.3 Система автоматичного керування нагрівом ПН

Після відкриття клапану палива, вмикання вентилятору повітря та фіксації фото-реле моменту запалювання надходить сигнал на запуск системи автоматичного керування режимом нагріву ПН. Підсистема

автоматичної стабілізації кількості газу за різницею заданого та поточного значень контрольованої витрати доменного газу на спалювання формує регульовальний вплив на клапан газу. Задачею підсистеми стабілізації температури склепіння ПН є досягнення її максимально можливого (заданого) значення та подальша підтримка на цьому рівні за допомогою збільшення кількості повітря на спалювання.

В процесі нагріву ПН в районі димового клапану постійно контролюється температура димових газів, яка по досягненню максимального значення є корегувальним впливом для системи стабілізації кількості газу на зменшення заданої кількості палива. Якщо при цьому знизиться температура склепіння, то відповідний регулятор зменшить кількість повітря, і тим самим підвищить температуру до заданого значення. Момент досягнення заданої температури диму видається сигнал про готовність ПН до переводу в режим «дутьтя».

### 1.2.4 Система керування охолодженням обладнання повітрянагрівачів

Система передбачає контроль температури, перепаду температур та тиску охолоджувальної води, що подається на шибери ПН. На рис. 1.2 наведено кадр SCADA даної системи.

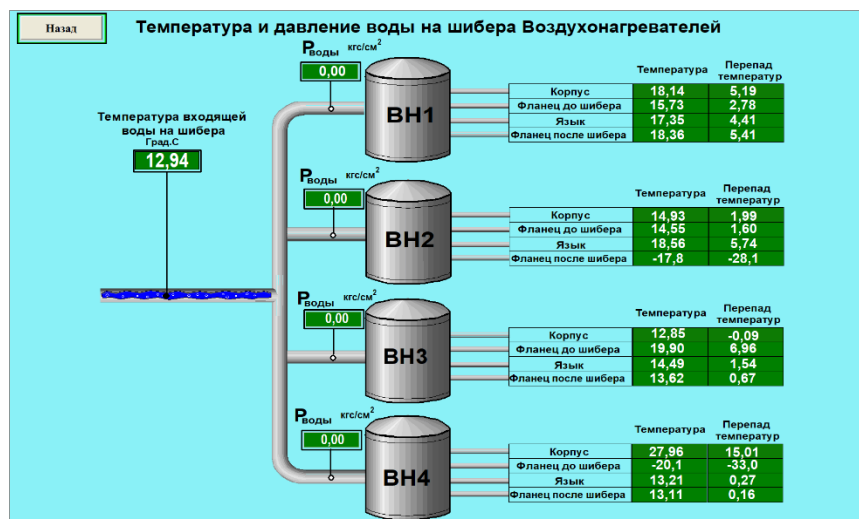


Рисунок 1.2 – Мнемосхема системи керування охолодженням обладнання повітрянагрівачів

Наявне метрологічне забезпечення інформаційних каналів АСУ ТП ПН наведено в додатку А.

В результаті аналізу наявної системи автоматизації виявлена необхідність модернізації як метрологічного, так і програмного забезпечення.

## **2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

### **2.1 Технологічний процес нагріву дуття як об'єкт управління**

Головним завданням управління блоком повітрянагрівачів є нагрів дуття до заданої температури за мінімальний час з мінімальною витратою енергоносіїв.

При розгляді ПН як об'єкта управління виділяють наступні вхідні і вихідні величини:

- вхідні: витрата змішаного газу, витрата повітря горіння, температура диму, час продувки, температура насадки, температура холодного повітря і витрата холодного повітря;

- вихідними величинами є температура купола і температура диму.

Основним вихідним параметром є температура готового дуття. Його регулювання є одним з основних завдань управління повітрянагрівачем. Цей параметр залежить від температури насадки, температури і витрати холодного повітря. Отримання готового дуття заданої температури здійснюється шляхом підмішування в гаряче повітря більшої чи меншої кількості холодного повітря, витрата якого в свою чергу залежить від його температури.

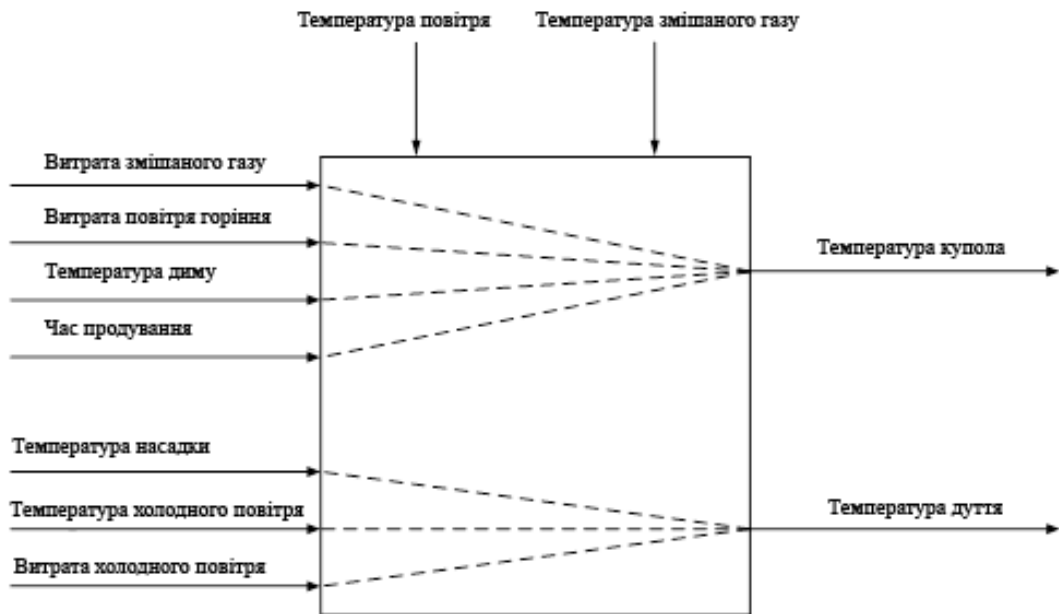


Рисунок 2.1 - Повітрянагрівач як об'єкт управління

Повітрянагрівач доменної печі являє собою складний теплової об'єкт автоматичного управління. Збурення, що діють в системі, пов'язані зі змінами теплоти згорання опалювального газу, його тиску і витрати холодного дуття на піч. Локальна автоматика повітрянагрівача керує процесом регенерації тепла в насадках головним чином за часом з обмеженням максимальної температури низу; для управління служать регулятори-стабілізатори тиску газу, температури купола і температури гарячого дуття.

Функція АСУ ТП повітрянагрівачів - оптимізація їх теплових режимів, що зводиться до вирішення трьох завдань:

- визначення оптимальної тривалості складових циклу роботи повітрянагрівачів (тривалості періоду нагріву або дуття);
- вибір оптимальних параметрів - температури купола, витрати газу і закону їх зміни в період нагріву повітрянагрівача;
- пошук оптимального режиму роботи блоку - послідовного, попарно-паралельного або змішаного.

Метою управління блоком повітрянагрівачів при обмеженні на їхню теплову потужність може служити забезпечення максимальної

температури гарячого дуття або максимального середнього теплосасвоєння кожного повітрянагрівача. В основу оптимізації покладено вартісний критерій - мінімум середніх витрат на нагрів дуття.

Для повітрянагрівача передбачений контроль наступних параметрів:

- наявність факела - для підтримки процесу нагріву;
- температура диму - температура газів, що відходять повинна досягати до 400°C, даний параметр необхідно контролювати, т. к. за рахунок зменшення температури продуктів згоряння стабілізується температура купола;
- витрата змішаного газу - для того, щоб не перегріти купол повітрянагрівача;
- витрата повітря горіння - для підтримки оптимального процесу горіння;
- витрата холодного повітря - для підтримки процесу нагріву і температури готового дуття;
- тиск змішаного газу;
- тиск вентиляторного повітря;
- розрядження в димовому тракті;
- перепад тиску гарячого дуття;
- вміст CO в димових газах;
- температура поверхні кожуха.

Автоматично регулюються такі параметри:

а) температура купола - температура купола повинна не перевищувати 1550 °C, даний параметр регулюється для забезпечення захисту купола, верху насадок і нижніх будівель повітрянагрівача від перегріву;

б) співвідношення паливо - повітря - підтримка оптимальності процесу горіння;

в) температура дуття - регулюється для того, щоб подавати таку кількість холодного повітря, яке необхідно, щоб розбавити гаряче дуття і отримати готове дуття необхідної температури.

## **2.2 Постановка задач управління блоком повітрянагрівачів**

Основні завдання управління тепловим режимом нагріву дуття в доменних повітрянагрівачах:

- забезпечення нагріву заданої кількості дуття до необхідної температури в режимі «дуття» шляхом акумуляції насадками повітрянагрівачів достатньої для цього кількості тепла в режимі «нагрів»;

- акумуляції зазначеної вище кількості тепла впродовж заданого часу при мінімальній витраті палива, або за мінімальний час при обмеженнях по витратах палива і повітря;

- недопущення перегріву купола, верхівок насадок і нижніх споруд повітрянагрівачів. Обмеження для температури купола і верхівок насадок визначається стійкістю вогнетривкої цегли, а нижніх споруд – будівельною міцністю елементів конструкцій (температура диму не повинна перевищувати 400 °С).

Окремі яруси повітрянагрівача зазвичай характеризуються певною автономністю щодо подачі палива і повітря і (іноді) відбору продуктів згоряння. Тому системи контролю і регулювання таких повітрянагрівачів містять вузли, призначені для регулювання температури купола, співвідношення паливо-повітря і тиску в самостійних зонах.

Для підтримки на заданому рівні температури купола необхідно коригувати завдання регуляторам температури купола в залежності від температури поверхні вогнетриву, його фізичних властивостей, розмірів і продуктивності повітрянагрівача.

Доменні повітрянагрівачі значною мірою оснащені вузлами автоматичного контролю та реєстрації розташовані в спеціальному приміщенні. Вимірювання температури диму, нагрітого кожуха нагрівача в залежності від рівня температури здійснюється хромель-алюмелевими або хромель-копелевими термопарами, сигнал з яких надходить на модуль введення аналогових сигналів контролера.

Витрати палива (газу) визначають за допомогою стандартних комплектів вимірювальної апаратури, що включають вимірювальну діафрагму і датчики різниці тисків. Від датчика різниці тисків значення перепаду надходить на модуль введення аналогових сигналів контролера,

Тиск газу та повітря горіння, що подаються в повітрянагрівач, вимірюється датчиками тиску і у вигляді стандартного сигналу йде на модуль введення аналогових сигналів контролера.

Регулювання тиску доменного газу на блок повітрянагрівачів забезпечується типовим комплектом апаратури, який забезпечує підтримку заданого значення тиску.

Регулювання температури здійснюється наступним чином, температура вимірюється термоелектричним перетворювачем, сигнал з якого надходить до модулю введення аналогових сигналів контролера. Регулятор, змінюючи витрату палива, підтримує зростання температури в повітрянагрівачів в заданому режимі, встановленим газівником в залежності від калорійності газу та кількості повітря.

Оптимальний режим горіння палива забезпечується типовим комплектом апаратури, який забезпечує підтримку заданого значення коефіцієнта співвідношення паливо-повітря за змістом CO (O<sub>2</sub>): оптимальному співвідношенню відповідає максимальна температура. Зміст CO (O<sub>2</sub>) вимірюється газоаналізаторами, встановлених на димовому тракті.

Для оповіщення персоналу про порушення в роботі і автоматичного відключення повітрянагрівача при виникненні аварійних ситуацій передбачається система звукової і світлової сигналізації та відключення газу і повітря горіння на повітрянагрівач. Відсічення подачі газу і повітря до пальників здійснюється при падінні тиску одного з компонентів горіння або відключенні живлення приладів КВП.

Натепер наявні системи оптимального управління нагрівом дуття [9]. Критерієм оптимальності управлінням нагріванням можуть бути мінімальне відхилення температури дуття від заданої; мінімальна сума витрат на нагрів, втрати тепла з димовими газами. Система управління отримує динамічну інформацію про стан повітрянагрівача, параметрах палива і повітря, температури дуття тощо і виробляє керуючі впливи у вигляді завдання локальним регуляторам температури. Також до складу моделі управління може входити розрахунок температури дуття в міру його просування по повітрянагрівачу за певним алгоритмом, на підставі вимірювання температури на ярусах. При цьому є можливість прогнозувати температурний стан дуття в будь-якій точці повітрянагрівача та до моменту виходу і виробити керуючі впливи.

### **2.3 Обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління**

На підставі Стандарту АСУТП, що діє для Активів Метінвест Холдингу, структура АСУ блоком повітрянагрівачів є дворівневою.

На верхньому рівні для забезпечення взаємодії технологічного персоналу з системою управління передбачені робочі станції (АРМ), представлені персональними комп'ютерами зі SCADA. Взаємодія між АРМ та контролером відбувається за протоколом PROFINET. Для забезпечення безперервності електроживлення всі пристрої живляться від джерел безперебійного живлення.

Нижній рівень системи управління представлений ПЛК Siemens S7-1200, який укомплектований відповідними модулями вводу-виводу аналогових та дискретних сигналів, які надходять від датчиків технологічних параметрів та на виконавчі механізми для реалізації керуючих впливів. Можуть бути застосовані RIO-станції для обміну інформацією з польовими пристроями з урахуванням надійності, мінімізації вартості, зменшення часу монтажу та зручності обслуговування.

Структурна схема комплексу технічних засобів системи управління блоком повітрянагрівачів наведена графічних матеріалах кваліфікаційної роботи (Лист 1).

#### **2.4 Взаємозв'язок функціональних задач АСУ блоком повітрянагрівачів**

Схема взаємозв'язку функціональних задач АСУ блоком повітрянагрівачів наведена в графічних матеріалах кваліфікаційної роботи (Лист 2).

Автоматизовану систему управління блоком повітрянагрівачів складають наступні підсистеми.

1. Підсистема нижнього рівня виконує наступні функції:
  - прийом та обробка вхідних сигналів;
  - сигналізація відхилень технологічних параметрів від установлених меж;
  - регулювання технологічних параметрів;
  - діагностика обладнання КВП та А;
  - підтримка режиму роботи системи;
  - зв'язок з верхнім рівнем системи.
2. Підсистема діагностики обладнання на основі інформації про відхилення технологічних параметрів від установлених меж та стану

обладнання КВП та А здійснює діагностику протікання процесу підготовки дуття та стану обладнання.

3. Підсистема запуску/перезапуску здійснює запуск системи при наявності інформації про готовність до роботи обладнання; при несправностях в роботі технологічного об'єкта і/або АСУ ТП здійснює перезапуск системи, маючи інформацію про стан обладнання, значеннях технологічних параметрів, при цьому дана підсистема забезпечує приведення основних параметрів бази даних в початковий стан, і, у випадку необхідності, плавний перехід між режимами роботи системи.

4. Інформаційна підсистема забезпечує зв'язок верхнього та нижнього рівнів; на основі отриманої інформації здійснює візуалізацію та реєстрацію параметрів технологічного процесу, які копіюються в поточну базу даних, а через деякий інтервал часу заносяться в архівну базу даних технологічних параметрів; також на підставі даної інформації функціонує модель нагріву дуття, яка в результаті надає дані для видачі оператору рекомендацій по управлінню процесом нагріву дуття, тобто для розрахунку завдань. Також інформаційна підсистема забезпечує зв'язок з АСУТП доменної печі та з іншими суміжними системами.

5. Підсистема ведення баз даних виконує функції формування поточної та архівної баз даних технологічних параметрів, а також формування бази тривог.

6. Підсистема розрахунку ТЕП.

7. Підсистема управління здійснює:

- видачу оператору рекомендацій по управлінню процесом (розрахунки уставок);

- формування та видачу на входи виконавчих механізмів керуючих впливів на підставі інформації про регулювання технологічних параметрів, яка отримана від підсистеми нижнього рівня АСУ ТП;

– аналіз та прогнозування ходу технологічного процесу та стану обладнання на базі інформації, отриманої від підсистеми нижнього рівня, моделі роботи повітрянагрівача, а також від підсистеми діагностики обладнання.

## **3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ**

### **3.1 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації**

Система управління блоком повітрянагрівачів включає контури контролю та регулювання, наведені на схемі автоматизації (Лист 3).

#### **1) Контроль і регулювання температури купола.**

Температура купола вимірюється термопарою типу В, сигнал з якої надходить на вхід модуля аналогового вводу сигналів термопар SM 1231 TC. Контролер генерує керуючий вплив, що через модуль виводу аналогових сигналів SM 1232 надходить на електропривод AUMA 10.2/16, який реалізує переміщення засувки на трубопроводі змішаного газу.

#### **2) Контроль і регулювання співвідношення паливо-повітря.**

Система під час нагріву купола повинна стабілізувати надлишок повітря на рівні 1,05, який розраховується за допомогою сигналу від газоаналізатора щодо поточного змісту  $O_2$  в димових газах. У зв'язку з запізненням та інерційністю газоаналізатора, для початку слід задати коефіцієнт співвідношення, який вже надалі буде коригуватися по сигналу від газоаналізатора. Процес горіння ведеться з надлишком повітря для повного спалювання палива (газу). Після досягнення заданої температури купола за допомогою ПІД регулювання відбувається стабілізація температури за допомогою збільшення витрати повітря горіння. На цьому етапі, щоб уникнути перегріву купола, коефіцієнт надлишку повітря збільшується і знаходиться в межах 1,05 - 1,5. Під час етапу підтримки температури завдяки збільшенню витрати повітря температура продуктів горіння зменшується, а кількість і швидкість руху до димової труби збільшується, що сприяє більш інтенсивному нагріванню насадки та збільшенню температури димових газів.

Вхідні параметри для регулювання співвідношення:

- витрати повітря та змішаного газу контролюються усереднювальною трубкою SITRANS FP330 в комплекті з перетворювачем диференціального тиску SITRANS P320,

- % вмісту кисню у відхідних газах – газоаналізатор SIPROCESS GA700

- температура купола – термопари типу В.

Ці сигнали надходять в контролер через відповідні модулі, зокрема, сигнали від термопар заводяться до SM 1231 TC, в той час як сигнали від витратомірів та газоаналізатора надходять до SM 1231. Після обробки отриманої інформації контролер формує керуючий вплив, який через модуль аналогового виводу SM 1232 відправляється на електропривод AUMA 10.2/16, який в свою чергу реалізує переміщення засувки на трубопроводі повітря горіння.

### 3) Контроль і регулювання температури дуття

Температура дуття вимірюється після байпасу термопарою типу В, сигнал з якої надходить на вхід модуля аналогового вводу SM 1231 TC Siemens S7-1200. Контролер генерує керуючий вплив, що через модуль виводу аналогових сигналів SM 1232 надходить на електропривод AUMA 10.2/16, який реалізує переміщення заслінки на байпасі (холодне дуття). Спочатку заслінка повністю відкрита, і в міру остигання повітрянагрівача прикривається.

### 4) Управління перекиданням клапанів.

Перекидання клапанів здійснюється за станом заслінки на байпасі. Якщо заслінка повністю закрита, це свідчить про те, що повітрянагрівач охолонув. У зв'язку з цим контролер виробляє сигнал закриття заслінок на трубопроводі з паливом (контур регулювання температури купола), повітрям (контур регулювання співвідношення паливо-повітря) і закриває заслінку в димовідвідному тракті. Сигнали відкриття надсилаються на виконавчі механізми на трубопроводах гарячого і холодного дуття. При переводі ПН в режим «нагрів» закриваються

заслінки на трубопроводах холодного та гарячого дуття і відкриваються димова заслінка та заслінки на трубопроводах палива і повітря.

5) Контроль витрати холодного повітря здійснюється за допомогою усереднювальною трубкою SITRANS FP330 в комплекті з перетворювачем диференціального тиску SITRANS P320, сигнал від якого надходить в контролер через модуль аналогового вводу SM 1231.

6) Для контролю наявності факела використаний датчик наявності полум'я LFE10, сигнал від якого надходить в контролер. При відсутності сигналу про наявність факела система подачі палива блокує його подачу.

7) Контроль тисків газу та повітря у відповідних трубопроводах здійснюється за допомогою датчиків тиску SITRANS P320, сигнали від яких надходять до контролеру через модуль аналогового вводу SM 1231.

Для програмованого логічного контролера SIMATIC S7-1200 було обрано модулі:

- CPU 1214C, compact CPU, DC/DC/DC, onboard I/O: 14 DI 24 V DC; 10 DO 24 V DC; 2 AI 0-10 V DC, power supply: DC 20.4-28.8 V DC, program/data memory 150 KB;
- Analog input, SM 1231 TC, 8 AI thermocouples;
- Analog input, SM 1231, 8 AI, +/-10 V, +/-5 V, +/-2.5 V, or 0-20 mA / 4-20 mA, 12 bit + sign or (13 bit ADC);
- Analog output, SM 1232, 4 AO, +/-10 V, 14-bit resolution, or 0-20 mA / 4-20 mA, 13-bit resolution

### **3.2 Проєктування САР температури дуття**

Технологічний параметр, що характеризує температуру гарячого дуття, яке подається в доменну піч, є одним з визначальних для оцінки якості роботи повітрянагрівача, а також для забезпечення стабільного ходу доменного процесу.

Контроль температури дуття здійснюється термопарою типу В. Точка відбору вказаного технологічного параметру розташована після байпасу. Сигнал з термопари надходить напряму на вхід модуля аналогового вводу SM 1231 Siemens S7-1200. Контролер, здійснюючи відповідну обробку інформації, генерує керуючий вплив, який через модуль виводу аналогових сигналів SM 1232 надходить на електропривод AUMA 10.2/16, що реалізує переміщення заслінки на байпасі (холодне дуття). Тобто при перевищенні температури дуття заданого значення відбувається додавання до цього потоку холодного повітря з метою стабілізації температури дуття. На початку роботи повітрянагрівача у режимі «дуття» заслінка на вказаному трубопроводі повністю відкрита, в міру остигання повітрянагрівача, і, відповідно, поступового зниження температури гарячого дуття, що надходить від повітрянагрівача, прикривається, тобто витрата холодного дуття, що підмішується до гарячого, зменшується. Витрата холодного дуття контролюється усереднювальною трубкою SITRANS FP330 в комплекті з перетворювачем диференціального тиску SITRANS P320, аналоговий сигнал від якого надходить на відповідний модуль аналогового вводу контролера.

### **3.3 Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення інформаційних задач системи управління**

#### **3.3.1 Алгоритм розрахунку нагріву насадки повітрянагрівача**

В якості палива використовується доменний газ, на підставі хімічного складу якого розраховується теплота його згорання. Питома теплота згорання доменного газу розраховується за формулою:

$$Q_{н.р}^0 = 127,7CO + 108H_2 + 358CH_4 + 234H_2S \quad (3.1)$$

де:

$CO, H_2, CH_4, H_2S$  – вміст горючих компонентів в паливі у відсотках;  
127,7; 108; 358; 234 – теплота згоряння компонентів доменного газу.

Стехіометрична кількість повітря визначається за рівнянням:

$$L_o = 0.0476 \cdot \left( 0.5(CO + H_2 + 3H_2S) + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right) \quad (3.2)$$

де:

$CO, H_2, C_m H_n, H_2S$  - об'ємні відсотки компонентів газоподібного палива, %;

$m, n$  - коефіцієнти, рівні значенням індексів газів;

Загальна теоретична кількість продуктів згоряння, що утворюються при спалюванні  $1\text{ м}^3$  палива:

$$V_o^{об} = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} \quad (3.3)$$

де  $V_{CO_2}$  - кількість  $CO_2$  в продуктах згоряння;

$V_{N_2}$  - кількість азоту в продуктах згоряння;

$V_{H_2O}$  - кількість водяної пари в продуктах згорання;

$V_{O_2}$  - кількість надлишкового кисню в продуктах згоряння.

Початкові значення температурного градієнту матеріалу насадки відповідають лінійній функції відстані від верхньої частини насадки повітрянагрівача та відстані від поверхні, де відбувається теплообмін з газом-теплоносієм. Температуру димових газів в точці входу в насадку повітрянагрівача визначають на підставі розрахунку згоряння палива з урахуванням теплових особливостей робочого простору повітрянагрівача як регенеративного теплообмінника, що описані у вигляді пірометричного коефіцієнта.

При досягненні температурою нижньої частини насадки значення 400 °С процес нагріву насадки припиняється. Математично ця задача являє собою систему рівнянь такого вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho V \frac{dT_2}{d\tau} = -\alpha S (T_2 - T_1) \\ c \rho V \frac{dT_1}{d\tau} = \alpha S_1 (T_2 - T_1) + \frac{\chi}{\delta} S_2 (T_2 - T_1) \\ \cdot \\ \cdot \\ c \rho V \frac{dT_i}{d\tau} = \frac{\chi}{\delta} S_1 (T_{i-1} - T_i) + \frac{\chi}{\delta} S_2 (T_{i+1} - T_i) \\ \cdot \\ \cdot \\ c \rho V \frac{dT_n}{d\tau} = \frac{\chi}{\delta} S_n (T_{n-1} - T_n) \end{array} \right. \quad (3.4)$$

де:

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі газу,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$ ;

$V$  - об'єм газу,  $\text{м}^3$

$\rho$  - щільність газу,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$c$  - теплоємність газу,  $\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3\text{кг}}$

$\chi$  - коефіцієнт теплопровідності цегли насадки,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$

$\delta$  - крок по товщині насадки, мм.

$T_r$  - температура газу, °С;

$T_1$  - температура поверхні насадки, °С;

$T_2$  - температура наступного шару по товщині насадки, °С;

$S_1$  - поверхня теплообміну 1го шару з газовим середовищем,  $\text{м}^2$

$S_2$  - поверхня теплообміну 1го шару з подальшим шаром,  $\text{м}^2$

Насадка повітрянагрівача умовно розділена по висоті на задалегідь визначену кількість ділянок. Система рівнянь (3.4) розв'язується для кожної з визначених ділянок. В цій системі перше рівняння визначає теплообмін між поверхнею насадки та газом-теплоносієм; друге – описує тепловий баланс для поверхні насадки, а з використанням наступних рівнянь отримують тепловий баланс кожного наступного шару по товщині насадки. Теплопередача від останнього шару по товщині насадки повітрянагрівача не відбувається, з огляду на те, що за умовами симетрії він вважається теплоізованим. Прийнято, що додаткові джерела тепла в розглянутій системі відсутні. [9].

### 3.3.2 Визначення теоретичної температури горіння палива

Значення калориметричної, тобто максимальної температури згоряння палива, при якій все тепло, що виділяється, повністю витрачається на нагрів продуктів згоряння, залежить від складу палива, теплоти його згоряння та обсягу продуктів згоряння, а також від умов спалювання палива: від ступеня розведення продуктів згоряння надлишковим повітрям та від температури палива і повітря.

Тепловий баланс процесу горіння  $1\text{ м}^3$  палива в умовах повного згоряння і використання всього тепла для нагріву продуктів згоряння визначається рівнянням:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} + c_{\text{г}}t_{\text{г}} + V_{\text{п}}c_{\text{п}}t_{\text{п}} = (V_{\Sigma}^0c_{\text{прод}} + V_{\text{п}}^{\text{над}}c_{\text{п}}^{\text{над}})T_{\text{кал}} \quad (3.5)$$

де:

$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  - нижча теплота згоряння палива, ккал /  $\text{м}^3$

$c_{\text{г}}$  - середня теплоємність палива, ккал /  $\text{м}^3\text{К}$

$V_{\text{п}}$  - об'єм повітря, що надходить для спалювання  $1\text{ м}^3$  палива,  $\text{м}^3$

$t_{\text{п}}$  - температура повітря, що надходить в топку,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$V_{\Sigma}^0$  - сумарний об'єм нерозбавлених повітрям продуктів згоряння палива,  $\text{м}^3$

$c_{\text{прод}}$  - середньозважена теплоємність нерозбавлених повітрям продуктів згоряння,  $\text{ккал} / \text{кг}$  або  $\text{ккал} / \text{м}^3$

$V_{\Pi}^{\text{над}}$  - обсяг надлишкового повітря, що міститься в продуктах згоряння,  $\text{м}^3$

$c_{\Pi}^{\text{над}}$  - середня теплоємність надлишкового повітря,  $\text{ккал}/\text{м}^3$

$T_{\text{кал}}$  - калориметрична температура горіння палива,  $^{\circ}\text{C}$ .

Відповідно до рівняння теплового балансу, калориметричну температуру горіння можна визначити за формулою:

$$T_{\text{кал}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}} + c_{\text{г}} t_{\text{г}} + V_{\Pi} c_{\Pi} t_{\Pi}}{V_{\Sigma}^0 c_{\text{прод}} + V_{\Pi}^{\text{над}} c_{\Pi}^{\text{над}}} \quad (3.6)$$

### 3.3.3 Опис роботи розробленої програми

Програма являє собою імітаційну модель роботи повітрянагрівача. Основне вікно програми (рис. 3.1) представляє схематичне зображення повітрянагрівача, на якому позначені основні контрольовані параметри технологічного процесу нагріву дуття. При натисненні лівою кнопкою миші на числове значення будь-якого параметру, відкриваються відповідні вікна з графіками або можливістю зміни параметрів (рис. 3.2 - 3.5).

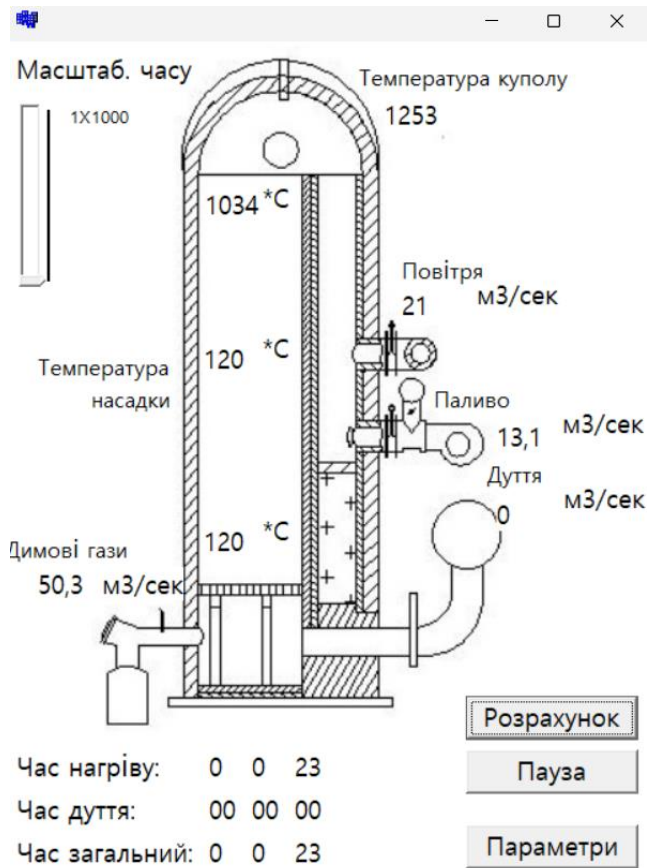


Рисунок 3.1 - Основне вікно програми візуалізації роботи повітрянагрівача



Рисунок 3.2 – Візуалізація витрати палива



Рисунок 3.3 – Візуалізація витрати повітря на горіння

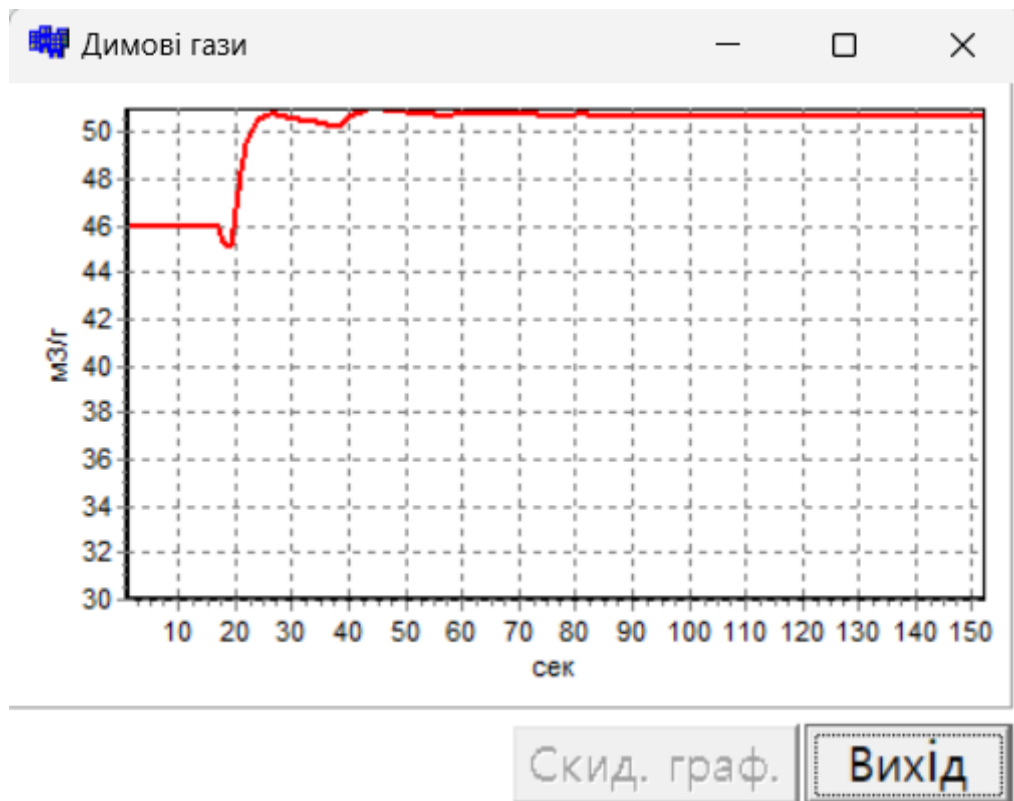


Рисунок 3.4 – Візуалізація температури димових газів

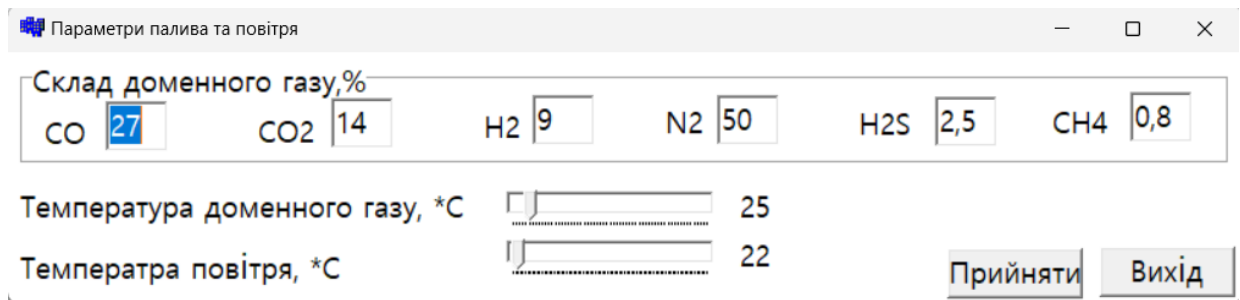


Рисунок 3.5 – Вікно «Параметри»

Кнопка «Розрахунок» запускає програму на виконання, «Пауза», дозволяє призупинити виконання програми. Для відновлення роботи програми необхідно натиснути на ту ж кнопку, яка буде називатися «Продовжити». У режимі паузи стають доступними кнопки «Скидання граф.» у вінках з графічною візуалізацією параметрів технологічного процесу.

Нижня кнопка «Параметри» призначена для зміни:

- хімічного складу доменного газу;
- температури доменного газу;
- температури повітря.

При натисканні з'являється вікно показане на малюнку 3.3. Для того, щоб внесені зміни хімічного складу вступили в силу, необхідно натиснути кнопку «Прийняти». Температури змінюються відразу при зміні положенні повзунків.

У лівому верхньому кутку головного вікна знаходиться повзунок масштабування часу моделювання. При виборі режиму 1x1000 швидкість моделювання становить 1 сек-1000 мс.

При натисканні на значення температури купола, з'являється вікно, в якому задаються параметри регулювання температури купола (рис. 3.6):

- уставка температури;
- управління режимом нагріву. Вибирається один з двох доступних режимів;

- Завдання витрати палива. Застосовується у другому методі регулювання температури купола.

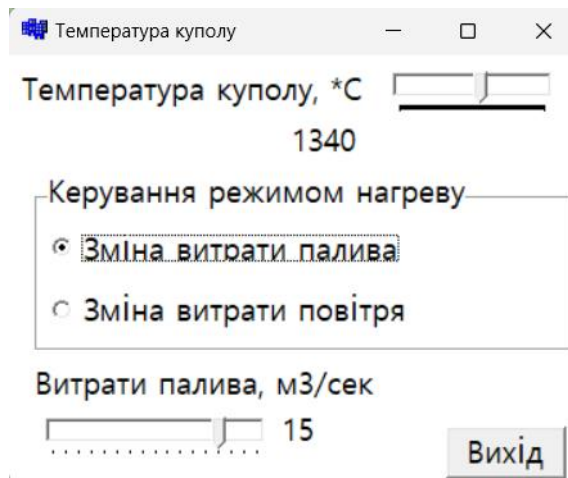


Рисунок 3.6 – Встановлення параметрів регулювання температури купола

При натисканні на значення дуття, з'являється форма, в якій крім графіків витрат дуття, знаходяться повзунки завдання витрати і температури дуття (рис. 3.7).

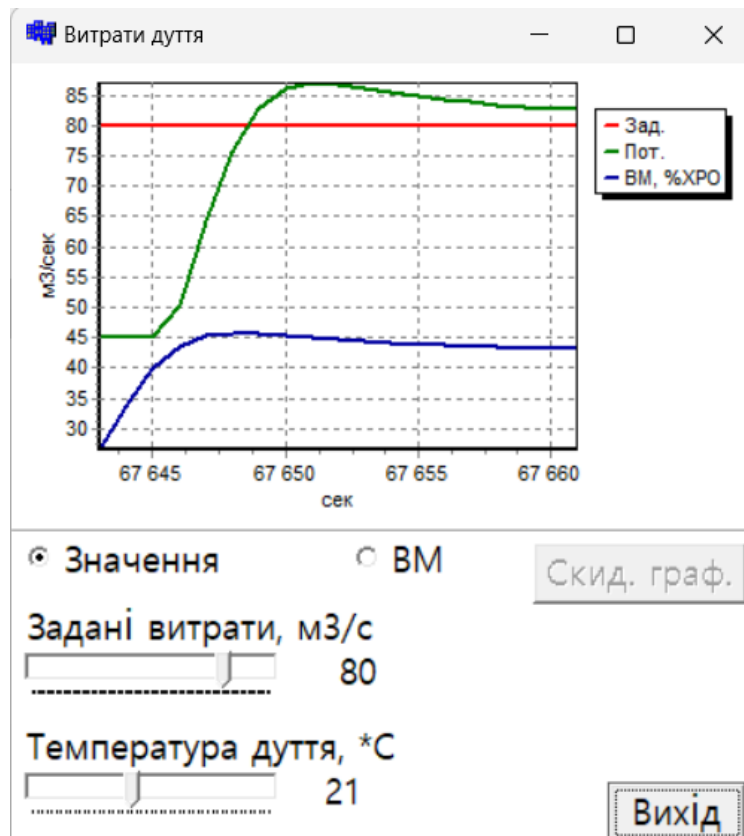


Рисунок 3.7 - Вікно зміни параметрів дуття і візуалізації витрати дуття в режимі «дуття»

У нижньому лівому кутку знаходиться три показника часу:

- Час нагріву;
- час дуття;
- загальний час.

Сталий режим утворюється після відпрацювання програмою трьох-чотирьох циклів нагріву-дуття. Умовою для зупинки нагріву насадки є досягнення температурою її нижньої частини 400 °С, а для зупинки дуття - досягнення температури верхньої частини значення 1050 °С.

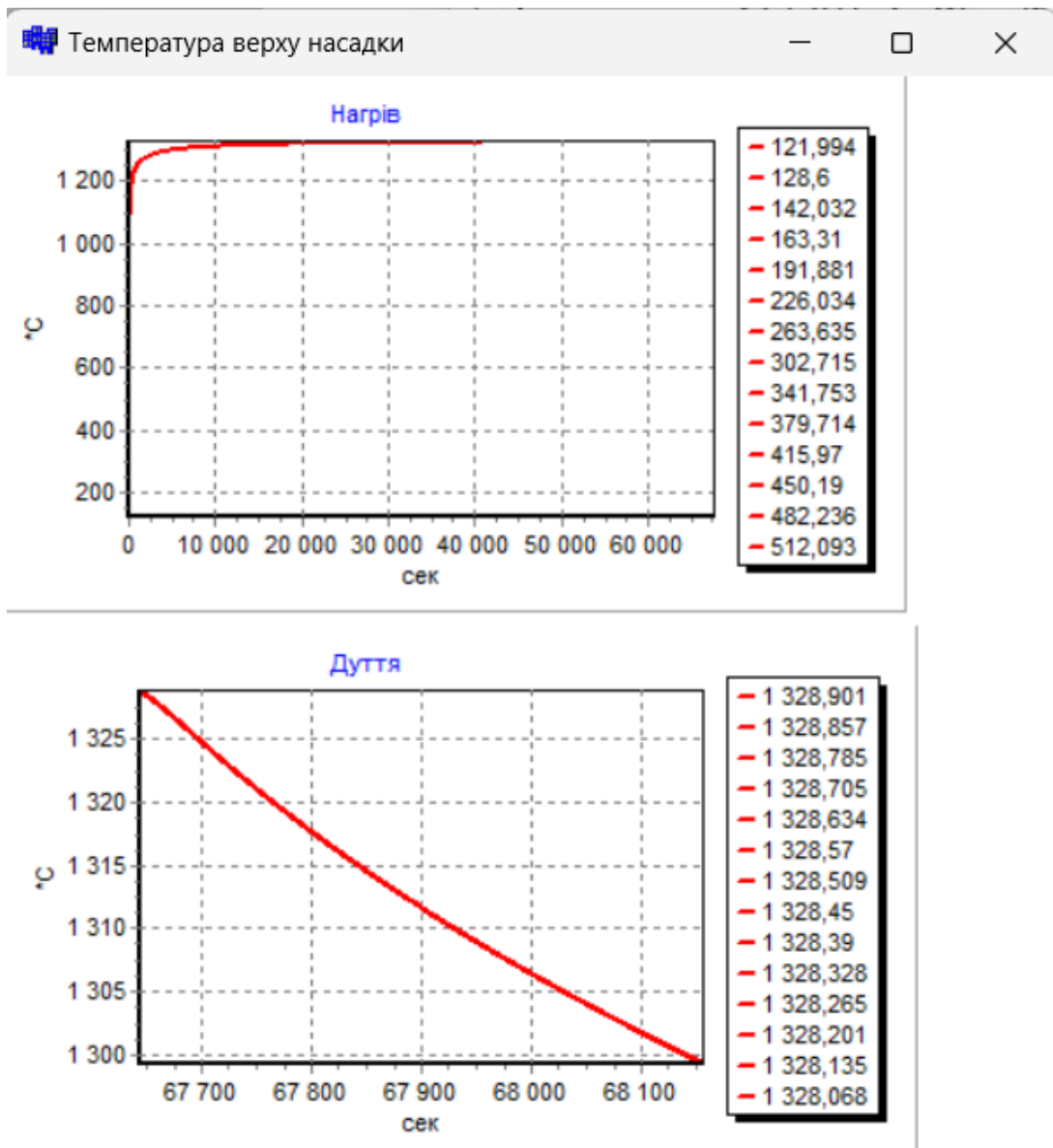


Рисунок 3.8 - Візуалізація температури верху насадки та дуття в режимі «дуття».

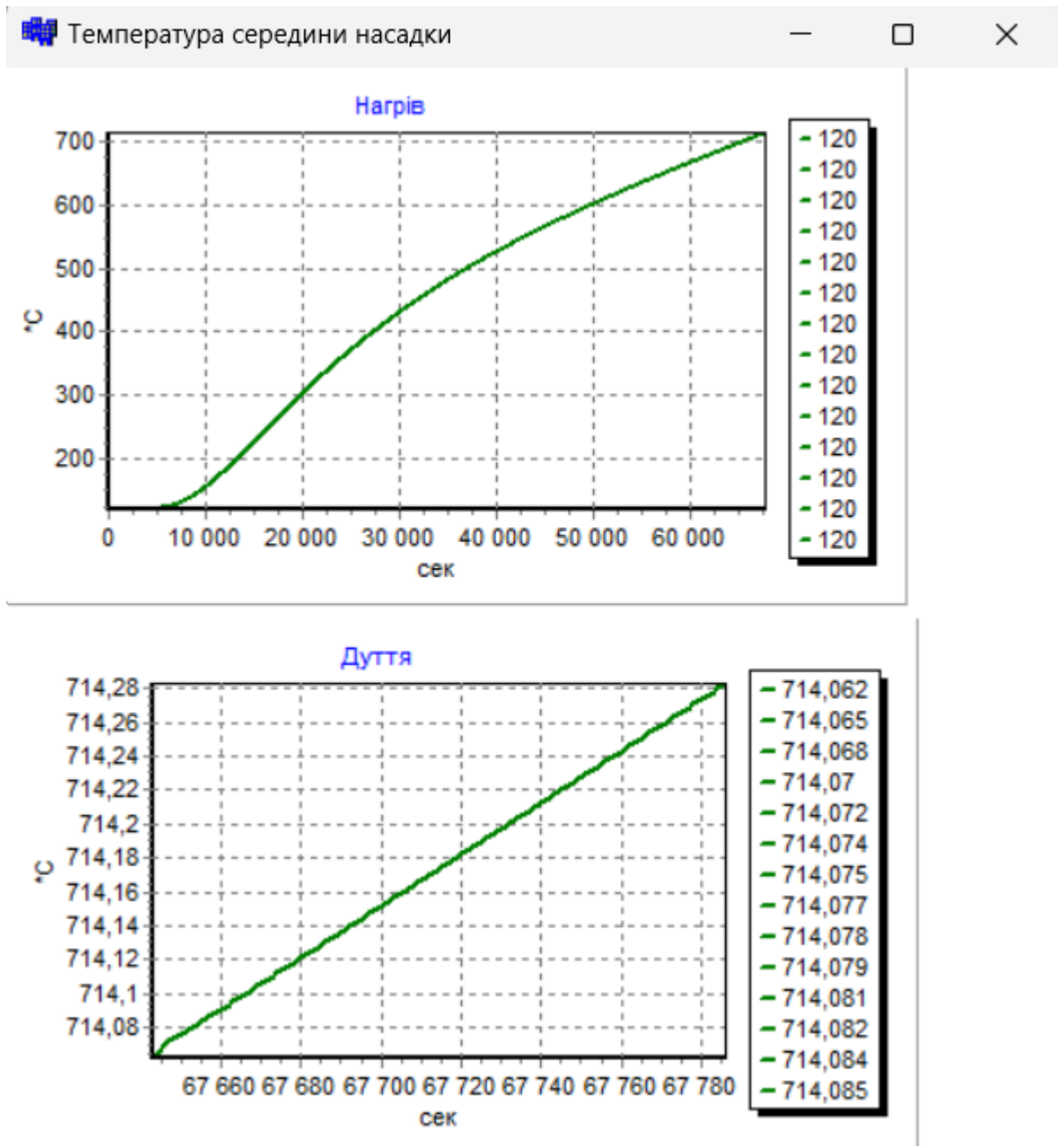


Рисунок 3.9 - Візуалізація температури середини насадки в процесі нагрівання і дуття

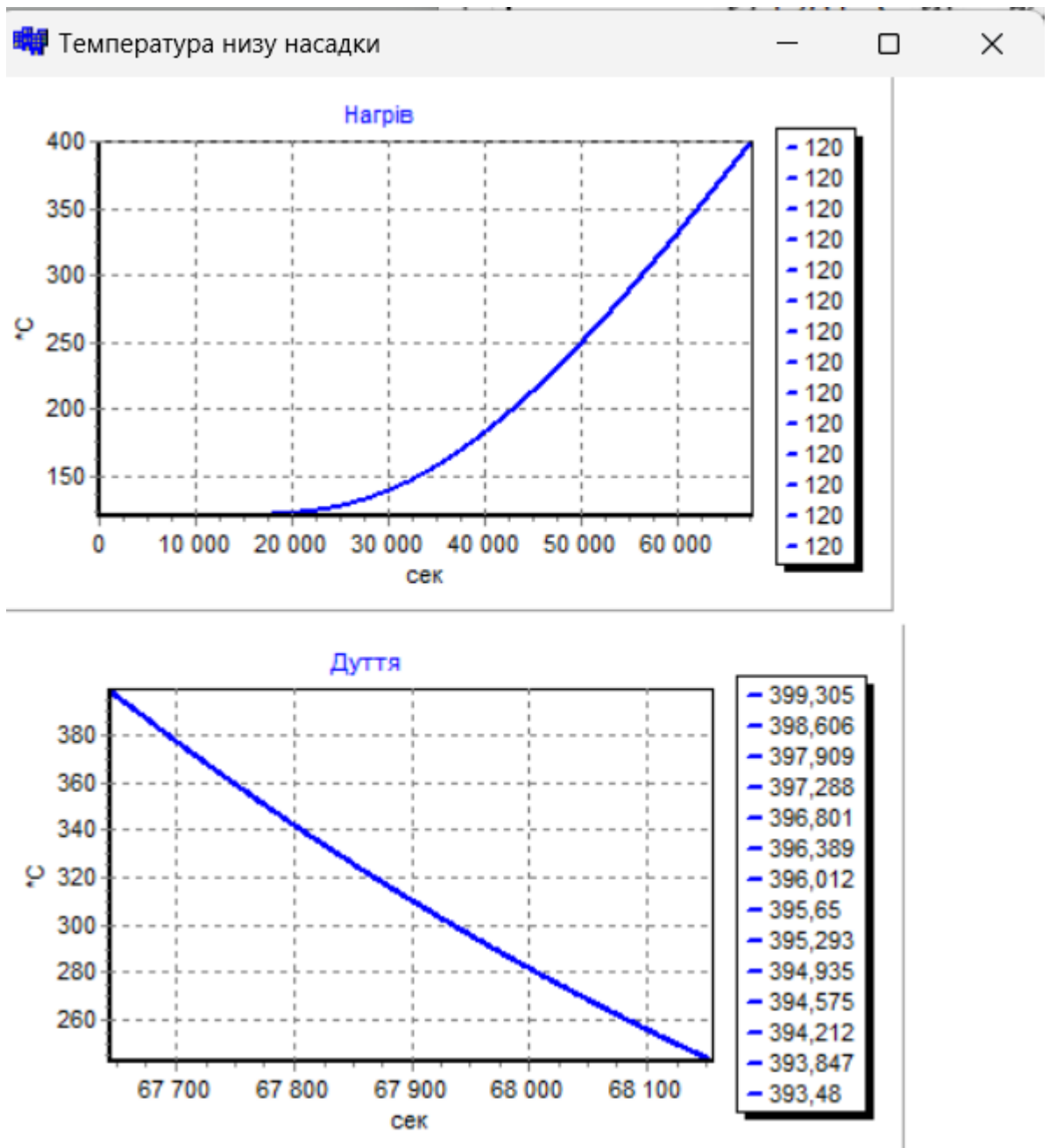


Рисунок 3.10 - Візуалізація температури низу насадки в процесі нагрівання і дуття

Розроблена програма візуалізує можливі зміни технологічних параметрів, що характеризують роботу повітрянагрівачів в режимах «нагрів» та «дуття», внаслідок зміни уставок та дії збурень.

#### 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

Модернізація системи управління блоком повітрянагрівачів доменної печі №1м покликана забезпечити стабільність роботи як технологічних агрегатів, так і технічних засобів автоматизації.

Автоматизація, як і будь-який технічний захід, може вважатися економічно ефективною, якщо, за умови результатів її впровадження, або, зокрема, модернізації системи управління:

- зменшуються експлуатаційні витрати і скорочуються капітальні витрати в народне господарство на виробництво одиниці продукції;
- зростають капітальні витрати і скорочуються експлуатаційні витрати, причому до ступеня, який дозволяє компенсувати додаткові капітальні витрати у терміни менші за нормативних;
- зменшуються капітальні витрати при незмінних експлуатаційних витратах;
- зменшуються експлуатаційні витрати при незмінних капітальних витратах;
- всі техніко-економічні показники роботи залишаються незмінними, але істотно полегшується праця та поліпшуються показники техніки безпеки.

Оцінка економічної ефективності ґрунтується на зіставленні економічного ефекту від модернізації системи управління і витратами на повноцінну реалізацію проєкту. Капітальні витрати на модернізацію системи управління складаються із початкової або балансової вартості контрольно-вимірювальних приладів. Таким чином, первинна вартість контрольно-вимірювального пристроїв і засобів автоматизації включає в себе: преїскурантну ціну, витрати на монтаж, витрати на матеріали та транспортні витрати. Отже, первинну вартість приладів визначимо за формулою:

$$K_{\text{(перв.)}} = C_{\text{(опт.)}} + C_{\text{(тр.)}} + Z_{\text{(м.)}} \quad (4.1)$$

тут, де:

Ц<sub>(опт.)</sub>- оптова ціна закупівлі приладу у офіційного постачальника;

Ц<sub>(тр.)</sub>- накладні транспортні витрати, у випадку даного проекту приймемо за 8% від оптової ціни закупівлі приладу (Ц<sub>(опт.)</sub>);

З<sub>(м.)</sub>- накладні витрати на монтаж, у випадку даного проекту приймемо за 7% від оптової ціни закупівлі приладу (Ц<sub>(опт.)</sub>).

На підставі обраного комплекту приладів та засобів автоматизації у попередніх розділах, можна зводимо кошторис на модернізацію систему управління. Зауважимо: у кошторисі не приводиться обладнання вузлів АСУ ТП, так як фактично, розраховується автоматизація ПН, яка вбудовується як складова АСУ ТП БПН.

Таблиця 4.1- Капітальні витрати на систему, яка вводиться

Найменування обладнання	Ціна (грн)	Кількість (од)	Сума (грн)
Stand.sectional Rail 35mm, Length 483mm	500	1	500
CPU 1214C	35 000	1	35 000
S7-1200, analog Input SM 1231 TC, 4 AI	20 000	1	20 000
Analog Output SM 1232, 4AO	8 000	2	16 000
Analog Input SM 1231, 8AI	12 200	1	12 200
Sitrans FP330	15 000	4	60 000
Sitrans P320	20 000	4	80 000
Термопара В	920	3	2 760
AUMA 10.2/16	15 000	2	30 000
Всього			256 460

5% на впровадження		5% на впровадження	12823
Загальна сума		Загальна сума	269283

Таким чином, підрахована сума капітального вкладу на модернізацію розробленої системи становить  $K_B = 807849$  грн. Відомо, що за умови модернізації системи управління вартість продукції підвищиться за рахунок амортизації кошторису розробленої системи, тоді, для характеристики ефективності прийнятих мір, розрахуємо підвищення річного прибутку ( $\Delta\Pi$ ), за формулою:

$$\Delta\Pi = V((C_2 - C_2) - (C_1 - C_1)), (\text{грн.}/\text{рік}) \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi &= 508127((3300.37 - 2850.41) - (1105.22 - 656.67)) \\ &= 716861.07(\text{грн.}/\text{рік}) \end{aligned}$$

де:

$V$ - річний об'єм виробництва даного агрегату, ( $\text{м}^3/\text{рік}$ );

$C_1, C_2$ - реалізована вартість гарячого дуття до та після модернізації, відповідно, ( $\text{грн.}/\text{м}^3$ );

$C_1, C_2$ - собівартість гарячого дуття до та після модернізації, відповідно, ( $\text{грн.}/\text{м}^3$ ).

Додатково визначимо термін окупності ( $T_0$ ) модернізації системи управління блоком повітрянагрівачів у вказаних умовах, а також зворотній показник відносної ефективності капітального вкладу ( $E_B$ , норматив у діапазоні  $0.33 \div 0.39$ ) у вказану систему:

$$T_0 = \frac{K_B}{\Delta\Pi}, (\text{рік}) \quad (5.3)$$

$$T_0 = \frac{716861.07}{243733} = 2.941(\text{рік})$$

$$E_B = \frac{K_B}{\Delta\Pi}, (\text{б/р}) \quad (5.4)$$

$$E_B = \frac{243733}{716861.07} = 0.341$$

Таким чином модернізація системи управління блоком повітрянагрівачів в умовах доменної печі № 1 буде мати термін окупності приблизно в три роки (що відповідає нормативному показнику ефективності), втім, варто зазначити, що вказана ефективність забезпечується, якщо відбувається постійне використання агрегату, що, відносно повітрянагрівачів, як складової безперервного доменного виробництва відповідає умові, тому можна зробити остаточний висновок, що запропоноване рішення щодо модернізації системи управління повітрянагрівачами є доцільним.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було запропоноване рішення щодо модернізації автоматизованої системи управління блоком повітрянагрівачів доменної печі.

Було проаналізовано предметну область автоматизації роботи повітрянагрівачів доменної печі. Надана загальна характеристика технологічного процесу та наявної системи автоматизації роботи блоку повітрянагрівачів доменної печі. В результаті визначена необхідність модернізації наявної системи та сформульована невирішена частина проблеми, яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.

Розглянуто технологічний процес як об'єкт автоматизації, визначено параметри об'єкту автоматизації та задачі управління блоком повітрянагрівачів, задачі автоматичного контролю та регулювання відповідних технологічних параметрів, обґрунтована запропонована структура системи автоматизації, визначено розподіл основних задач, які вирішуються на рівнях автоматизації, наведено перелік основних функціональних задач та опис схеми їхнього взаємозв'язку.

Було обґрунтовано вибір технічних засобів для всіх рівнів автоматизації; спроектовано САР температури дуття; розроблено математичну модель теплового режиму повітрянагрівача, програмне забезпечення системи автоматизації.

За допомогою розрахунків визначено економічну доцільність запропонованої модернізації системи автоматизації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Удосконалення технології нагріву дуття у доменних повітрянагрівниках з метою енергозбереження: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.16.02 / Л. П. Грес ; Нац. металург. акад. України. — Д., 2002. — 32 с.
2. Брагинский А. М. Интегрированные энергоэффективные технологии в производстве чугуна. Харьков: Колегіум, 2011. С. 112-118
3. US Patent 2016/0145700 A1, Int. C. C21B 9/14 (2006.01), F23C 9/00 (2006.01), F23L /00 (2006.01) Method for Heating a Blast Furnace Stove / Andrew Cameron, Tansley (GB); Tomas Ekman, Saltsjo-boo (SE); Mats Gartz, Sollentuna (SE). - Appl. No.: 15/010,154; Pub. Date: May, 2016.
4. Ma Zhuwu, Lou Shengqiang, Li Gang et al., The Intelligence Burning Control of the Hot Stove of Lianyuan Iron & Steel Group Co., Metallurgical Automation, no. 4, 2002, pp. 11-15.
5. Huang Zhaojun, Bai Fengshuang, Zhuang Bin et al., Flow Set and Control Expert System of Hot Stoves for Blast Furnace, Metallurgical Automation, no. 5, 2002, pp. 38-40.
6. Патент України 98080, МПК C21B 9/14 G05B 15/00. Система автоматичного регулювання температури гарячого дуття / Койфман О.О., Кравченко В.П., Сімкін О.І., Кобиш О.І. – № 201106165 ; заявл. 17.05.11 ; опубл. 10.04.12, Бюл. № 7.
7. Yaowu Tang Hot blast stove temperature control system based on neural network predictive control / Yaowu Tang, Xiang Liu // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 709, – pp. 281-284
8. Kobysh E.I. Situational control of hot blast stoves group based on decision tree / E.I. Kobysh, A.I. Simkin // Automation of technological and business processes. – 2016. – №3. – P. 80-88.
9. Kobysh E.I. Control model of the heating hot blast stove regenerative chamber based on fuzzy knowledge with training set / E.I.

Kobysh, A.I. Simkin // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No. 6. – P. 96-101.

10. Koifman A. Development and Software Implementation of the Hot Blast Stove Computer Model / A. Koifman, A. Simkin [Electronic resource] // Proceedings of The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020), Zaporizhzhia, Ukraine, April 27 – May 1, 2020 / [eds.: S. Subbotin]. – Vol. 2608.– P. 102-117.

11. Koifman A. Development and Software Implementation of the Hot Blast Stove Computer Model / A. Koifman, A. Simkin // Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019), Zaporizhzhia, Ukraine, April 15-19, 2019, P. 440-454. – (CEUR Workshop)