

Міністерство освіти і науки України  
Криворізький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр  
за освітньо-професійною програмою  
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності  
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

тема роботи:

**«Автоматизація процесу випалювання котунів на фабриці  
огрудкування з розробкою системи візуалізації»**

Виконав студент гр. АКІТ-20	_____	Квашук А. О.
Керівник	_____	Тронь В.В.
Нормоконтроль	_____	Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____	Рубан С. А.

Кривий Ріг – 2024

# КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 25 » березня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКІТ-20 Квашуку Артему Олександровичу

**1. Тема кваліфікаційної роботи:** «Автоматизація процесу випалювання котунів на фабриці огрудкування з розробкою системи візуалізації»

затверджено наказом по університету № 231с від 25.03.2024 р.

**2. Термін здачі кваліфікаційної роботи:** 03.06.2024 р.

**3. Склад кваліфікаційної роботи:** Пояснювальна записка обсягом 49с., презентація у Microsoft PowerPoint (17 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

**4. Консультанти кваліфікаційної роботи:**

Розділ 1-2

доц. Тронь В. В.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

## 5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>01.03.24</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>05.04.24</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>01.05.24</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.24</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.24</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>20.05.24</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>03.06.24</i>

6. Дата видачі завдання: 29.01.2024р.

Керівник \_\_\_\_\_ / Тронь В. В./

7. Запевнення: Я, Квашук Артем Олександрович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент \_\_\_\_\_ / Квашук А. О./

## АНОТАЦІЯ

Квашук А. О. «Автоматизація процесу випалювання котунів на фабриці огрудкування з розробкою системи візуалізації».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеню вищої освіти – бакалавр, за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, списку літератури з 21 позиції. Загальний обсяг роботи становить 60 сторінок, з яких основний зміст роботи викладено на 53 сторінках, робота включає 12 таблиць і 43 рисунки.

Об'єктом керування піч для випалювання котунів.

Метою роботи є підвищення ефективності випалювання котунів на фабриці огрудкування за рахунок вдосконалення автоматичного керування процесом випалення котунів.

У першому розділі наведено загальну характеристику процесу випалювання котунів, описано характеристики існуючих систем автоматизації, висунуті вимоги до системи автоматичного керування, створено схеми автоматизації.

У другому розділі проведена перевірка функціональності системи автоматичного керування та інтерфейсу підтвердила, що програмне забезпечення для об'єкта керування, регулятора та інтерфейсу працює коректно і відповідає вимогам системи автоматичного керування процесом випалювання котунів.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВИПАЛЮВАННЯ КОТУНІВ, ЛЮДИНО-МАШИНИЙ ІНТЕРФЕЙС, МОДЕЛЮВАННЯ, СХЕМА, КОНТРОЛЕР, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Квашук А.О.</i>			<i>АНОТАЦІЯ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Тронь В.В.</i>					3	1
						<i>КНУ АКІТ-20</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Тронь В.В.</i>						

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА СТВОРЕННЯ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	6
1.1 Опис технологічного процесу випалювання котунів.....	6
1.2 Опис технологічного об'єкту керування.....	8
1.3 Огляд існуючих систем.....	9
1.4 Обґрунтування прийнятої системи керування.....	10
1.5 Функціональна схема.....	11
1.6 Вибір обладнання для автоматизації.....	14
1.7 Принципова електрична схема.....	26
1.8 Схема зовнішніх з'єднань.....	28
1.9 Щит автоматизації.....	30
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ.....	33
2.1 Математичне забезпечення автоматизованої системи керування випалюванням котунів.....	33
2.2 Комп'ютерне моделювання системи автоматичного керування процесом випалювання котунів.....	38
2.3 Визначення НМІ.....	41
2.4 Вибір програмного застосунку для програмування ПЛК та створення НМІ.....	43
2.5 Програмування контролера та створення людино-машинного інтерфейсу у PLCnext Engineer.....	46
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	59

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ВСТУП

У сучасному світі автоматизація виробничих процесів визнається ключовим чинником для підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств. Одним з важливих етапів виробничого процесу в багатьох галузях є випалювання котунів, який є критичним для досягнення високої якості продукції. Однак, з урахуванням ручної праці в цьому процесі, можуть виникати недоліки, які впливають на якість та рівень витрат виробництва.

Мета даної дипломної роботи полягає у розробці системи автоматизації процесу випалювання котунів, спрямованої на оптимізацію продуктивності та підвищення якості виробництва. Для досягнення цієї мети необхідно провести детальний аналіз та проектування автоматизованої системи, враховуючи специфіку процесу випалювання котунів.

У даній дипломній роботі будуть розглянуті основні етапи розробки системи автоматизації, включаючи визначення вимог до системи, вибір необхідного обладнання, тощо.

Результати даної дипломної роботи не лише сприятимуть оптимізації виробничого процесу випалювання котунів на конкретному підприємстві, але й можуть бути використані як база для подальших досліджень у сфері автоматизації виробничих процесів. Автоматизація випалювання котунів є важливим кроком у підвищенні ефективності та конкурентоспроможності підприємств у цьому секторі.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Квашук А.О.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архівів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Тронь В.В.</i>				5	1
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>КНУ АКІТ-20</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Тронь В.В.</i>					

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА СТВОРЕННЯ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 1.1 Опис технологічного процесу випалювання котунів

Технологічний процес випалювання котунів важливим етапом у виробництві. Котуни – це формовані вироби з сировини, які перед випалюванням мають певну вологість та низьку міцність. Процес випалювання призначений для видалення вологи з сировини та перетворення її в тверду, міцну та стійку до впливу зовнішніх факторів керамічну масу.

Нижче наведено загальний опис цього процесу:

– підготовка котунів: першим етапом є підготовка сировини – котунів. Це можуть бути покращені глинисті матеріали, які піддаються певній обробці для видалення забруднень та зміцнення;

– наповнення печі: котуни розміщуються у спеціальних формах або на роликах, що дозволяє їх легко переміщувати усередину печі. Печі для випалювання можуть мати різні конструкції, включаючи тунельні, камерні або роликові печі;

– просушування: просушування котунів відносно невисокою температурою для зменшення вологи, стабілізації форми та підвищення міцності виробів;

– нагрівання: Поступове підвищення температури, дозволяючи котунам рівномірно прогріватися та видаляє залишки води та інші леткі речовини;

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>РОЗДІЛ 1</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Квашук А.О.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Тронь В.В.</i>					6	28
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>				<i>КНУ АКІТ-20</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Тронь В.В.</i>						

– випалювання: основна фаза процесу, під час якої котуни піддаються високим температурам для видалення органічних домішок, зміцнення та відпалювання. Цей етап може тривати від кількох годин до кількох діб, залежно від типу виробів та вимог до них;

– охолодження: після завершення випалювання піч поступово охолоджується, що дозволяє котунам затвердіти та зафіксувати свою структуру;

– виведення котунів з печі: коли температура в печі опускається до безпечного рівня, котуни виводяться з печі та готуються до наступних етапів виробництва, таких як глазурування та декорування.

Важливою частиною технологічного процесу випалювання котунів є контроль температури, часу випалювання та атмосфери у печі, що дозволяє досягти потрібних характеристик кінцевого продукту. Автоматизація цих параметрів може значно підвищити якість та ефективність виробництва.

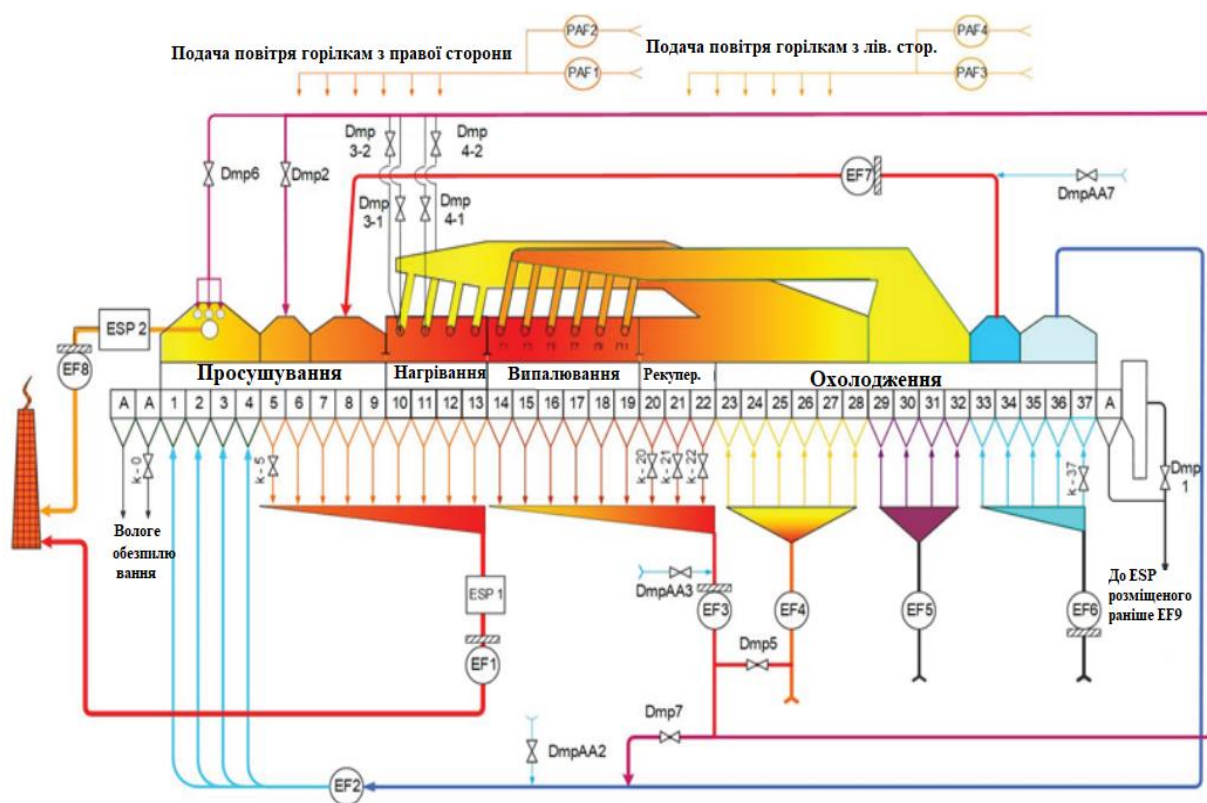


Рисунок 1.1 – схема виробництва котунів



## 1.2 Опис технологічного об'єкту керування

Технологічний об'єкт керування (ТОК) в контексті процесу випалювання котунів є ключовою системою, яка забезпечує контроль та регулювання параметрів випалювання для досягнення оптимальних результатів. Основним призначенням ТОК є забезпечення автоматизованого контролю та управління процесом випалювання для забезпечення якісної та ефективної продукції.

Загальний склад ТОК включає наступні компоненти:

– системи вимірювання та датчики: вони використовуються для збору даних про температуру, тиск, вологість тощо, що відображають стан процесу в печі;

– пристрої регулювання: елементи керування, такі як контролери, програмовані логічні контролери (ПЛК), приводи, які використовуються для автоматизованого впливу на параметри процесу на основі зібраних даних;

– системи візуалізації та моніторингу: екрани, панелі або програмне забезпечення, що дозволяють операторам спостерігати за станом процесу, а також відображати дані та інформацію про роботу ТОК;

– системи безпеки та захисту: включають системи виявлення витоків, аварійні вимикачі, системи гасіння, які забезпечують безпеку у разі виникнення небажаних ситуацій.

Функції, які виконує ТОК:

– контроль температури в печі та управління процесом нагрівання та охолодження;

– моніторинг рівня тиску та інших параметрів, які впливають на якість випалювання;

– регулювання подачі повітря або газу для забезпечення оптимальних умов в печі;

– запобігання надмірному нагріванню або охолодженню, що може призвести до пошкодження продукції або обладнання.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Основні технологічні параметри об'єкта:

- температура;
- вимір витрати газу;
- поступове нагрівання та охолодження;
- тиск в печі;

Ці параметри визначаються з урахуванням конкретних вимог до виробів та сировини, що використовуються в процесі випалювання котунів.

### 1.3 Огляд існуючих систем

Огляд існуючих систем керування технологічним об'єктом керування заснований на типових схемах керування, що використовуються в промисловості, а також на особливостях процесу випалювання котунів.

Пропорційно-інтегрально-диференційне (ПІД) керування:

– ця схема керування використовується для забезпечення стабільної температури в печі шляхом регулювання подачі тепла за допомогою пропорційного, інтегрального та диференційного компонентів;

– ПІД керування є ефективним для стабілізації температури в печі, але може бути складним у налаштуванні та схильним до затримок у відгуку при великих змінах навантаження або параметрів процесу.

Модельно-прогностичне керування:

– ця схема використовує прогностичні моделі для прогнозування поведінки системи та адаптує керування для досягнення бажаних результатів;

– модельно-прогностичне керування може бути корисним для оптимізації процесу випалювання в умовах змінних параметрів, але вимагає складних обчислень та точних моделей, що можуть бути складними у практичному впровадженні;

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

Параметричне керування:

– у цій схемі керування використовуються фіксовані параметри, які заздалегідь налаштовані для певних умов випалювання;

– параметричне керування може бути ефективним у стабільних умовах виробництва, але не дозволяє адаптуватися до змінних умов або вимог щодо якості.

#### 1.4 Обґрунтування прийнятої системи керування.

З урахуванням особливостей процесу випалювання котунів, найбільш підходящою системою керування є пропорційно-інтегрально-диференційне (ПІД) керування. Ця схема обрана, за наступними критеріями:

– стабільність температури: процес випалювання котунів вимагає підтримки стабільної температури протягом тривалого часу. Схема ПІД керування надає можливість ефективно регулювати подачу тепла в печі, щоб досягти та підтримувати потрібну температуру;

– швидкість реакції: ПІД регулятори зазвичай мають досить швидку реакцію на зміни параметрів процесу, що дозволяє швидко компенсувати будь-які відхилення від заданих значень;

– простота налаштування: схема ПІД керування має лише три параметри: пропорційний, інтегральний і диференційний коефіцієнти. Налаштування цих параметрів може бути відносно простими, а вони можуть бути оптимізовані для конкретного процесу випалювання котунів;

– стійкість до змін навантаження: ПІД керування добре справляється з змінами навантаження або інших параметрів процесу, таких як швидкість подачі палива або повітря, що робить його ідеальним для випалювання котунів;

– здатність до адаптації: Ця схема керування може бути легко адаптована до різних умов виробництва або змінних вимог щодо якості продукції.

Отже, обравши ПІД керування, ми можемо забезпечити стабільність, ефективність та якість процесу випалювання котунів.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.5 Функціональна схема

Система контролю і керування терморезимом процесу випалювання котунів розроблена для забезпечення необхідного розподілу температур в купі котунів вздовж печі для випалювання одночасно з рівномірним нагрівом котунів за шириною конвейера. Для цього система має вирішувати наступні завдання:

- регулювання температури у зоні випалювання шляхом зміни кількості використання газу у зоні випалювання;
- регулювання температури у зоні охолодження шляхом надходження повітря у зону охолодження;
- регулювання температури у зоні сушіння шляхом відведення гарячого повітря;
- регулювання розрідження в зоні сушіння;
- вимірювання температури у зоні підігріву;
- вимірювання температури у зоні випалювання;
- вимірювання температури у зоні охолодження;
- вимірювання розрідження у зоні сушки;
- вимірювання кількості витраченого газу;
- вимірювання тиску газу у газопроводі;
- вимірювання тиску живильного повітря;
- вимірювання температури живильного повітря;

При встановленні режиму контролю і керування температурою у зоні сушки необхідно, по перше, максимально підвищити швидкість фільтрації теплоносія через прошарок котунів, що дозволить прискорити процес сушіння та підготувати верхні прошарки до застосування високих температур у наступних зонах. По друге, необхідно не перевищувати максимально можливу швидкість сушіння, яка може задати шкоди сирим котунам.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

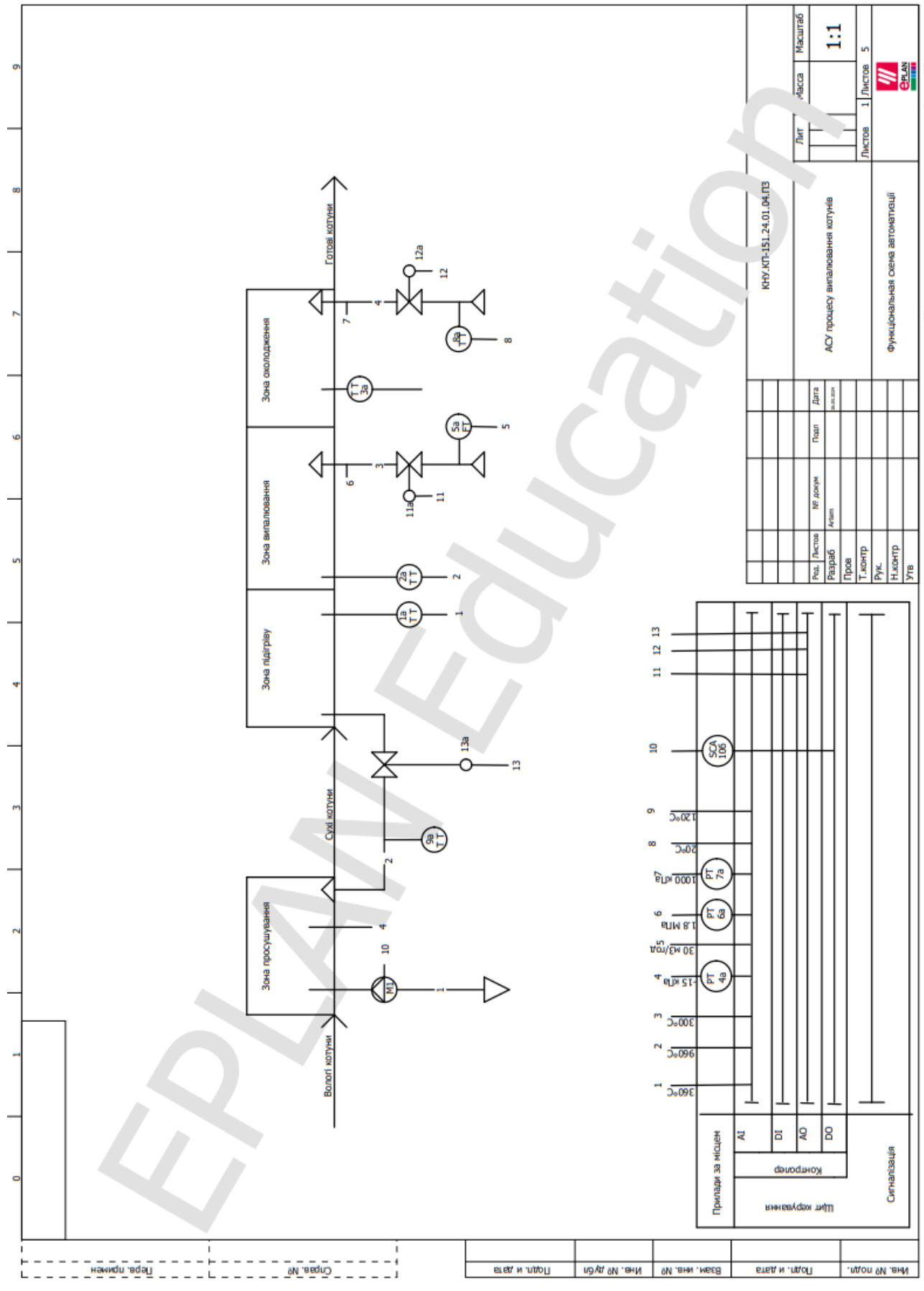


Рисунок 1.2- Функціональна схема печі випалювання котуни

На цій схемі зображена тунельна піч для випалювання котунів і позначенні виконавчі механізми та датчики.

Функціональна схема печі для випалювання котунів (рис. 1.2) яка була розроблена складається з секцій, залежних один від одного блоків, що гарантують продуктивність та якість процесу. Перша секція відповідає за процес сушіння, яка залежить від роботи печі, так як для просушування вологих котунів перед подальшим випалюванням використовується гаряче повітря що виходить з печі.

Після сушіння котуни потрапляють в блок випалювання, який є головною частиною процесу. Котуни в цьому блоці піддаються впливу високих температур, що сприяє їх випалюванню. Наявність правильної температури та можливості контролювати час випалювання гарантує досягнення необхідних властивостей виробу.

Блок охолодження відповідає за зниження температури котунів після випалу. Цей етап є важливим оскільки належне його виконання допомагає уникнути дефектів які можуть виникнути у котунів при надто швидкому зниженні температури.

Належне планування та виконання кожного етапу випалювання котунів забезпечує високу їх якість. Наведена схема, до складу якої входять всі виконавчі елементи та датчики, забезпечує весь необхідний контроль над процесом та ефективно виконує задані функції.

Заради можливості контролю над температурою та іншими необхідними параметрами в зонах печі використано різноманітні датчики та прилади. Температура в різних зонах печі вимірюється з використанням термопар типу ТХА (позначки: 1а, 2а та 3а). Температура у повітропроводах в свою чергу вимірюється завдяки термопар типу ТХК(8а, 9а).

Окрім температури також треба мати змогу вимірювати інші параметри, наприклад кількість витраченого газу, яка вимірюється з використанням витратоміра (5а). Розрідження в зоні просушування вимірюється давачем РТ

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

(4а). Тиск у газопроводі вимірюється манометром (6а), а тиск у повітропроводі манометром (7а).

Усі давачі, окрім термопар 1а, 2а і 3а, віддають сигнал зі уніфікованим діапазоном значень, що становлять значення від 4 до 20 мА, які можуть бути інтерпретовані ПЛК. Для можливості інтерпретації термопар 1а, 2а і 3а використовується нормуючий перетворювач з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА.

Виходи датчиків з'єднуються до аналогових входів контролера, що дає можливість збирати та обробляти дані з цих датчиків для подальшого контролю та керування процесом випалювання котунів. ПЛК отримує сигнал від давачів та аналізує їх, що дозволяє реагувати на зміни у параметрах технічного процесу, та надає всю необхідну інформацію яка дозволяє вжити всі відповідні заходи.

Уніфіковані вихідні сигнали датчиків суттєво спрощує збір даних, оскільки вони однаково інтерпретуються контролером. Це спрощує процес налаштування та полегшує збір і обробку даних з різних давачів.

Завдяки використанню цієї схеми, та збору даних від різних датчиків, можливо досягти високої автоматизації процесу випалювання котунів. ПЛК забезпечує моніторинг та реагує на зміни, що створює оптимальні умови для досягнення поставленої задачі.

## 1.6 Вибір обладнання для автоматизації

В якості ПЛК було обрано АХС 1152 від німецької компанії Phoenix Contact. Який є гарним вибором з наступних причин:

- потужність: ПЛК АХС 1152 має потужний процесор, що забезпечує швидку обробку даних та виконання розрахунків, що підвищує продуктивність;
- можливість розширення: АХС 1152 має архітектуру здатну до розширення завдяки додатковим модулям;

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

– комунікація: АХС 1152 підтримує багато протоколів зв'язку, наприклад OPC UA, ВАСnet, Modbus та інші, що дозволяє інтегрувати цей контролер в велику кількість систем;

– стабільність: ПЛК АХС 1152 відрізняється своєю надійністю та стабільністю. Він створений з якісних компонентів та має вбудовані заходи для захисту даних та забезпечення безпеки;

– простота: АХС 1152 має зручний додаток програмування PLCnext Engineer, який дозволяє легко запрограмувати та налаштувати ПЛК.

Зовнішній вигляд PLC АХС 1152 наведено на рис. 1.3



Рисунок 1.3 – PLC АХС 1152

Для можливості підключення додаткових пристроїв використано модулі розширення АХЛ Р EX IS AI8 HART 1F (рис. 1.4), АХЛ F AO8 XC 1F (рис. 1.5) та АХЛ SE DO16/1 (рис. 1.6).





Рисунок 1.4 – модуль розширення AXL P EX IS AI8 HART 1F



Рисунок 1.5 – модуль розширення AXL F AO8 XC 1F



Рисунок 1.6 – модуль розширення AXL SE DO16/1

Для виміру температури використано датчики температури Rosemount 0065 (рис. 1.7) та Rosemount 214C (рис. 1.8).

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17



Рисунок 1.7 – датчик Rosemount 0065



Рисунок 1.8 – датчик Rosemount 214C

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики датчику температури Rosemount 0065

№ з/п	Параметр	Од.вим.	Значення
1	Вихідний сигнал	мА	4-20, HART
2	Діапазон вимірюваних температур	°С	-50...+450 -40...+1200 (залежить від тип. чут. ел.)
3	Час оновлення показників	с	9

4	Глибина занурення	мм	60
5	Опір ізоляції	МОм	мінімум 1000 при 500 В постійного струму
6	Температура навколишнього середовища	°С	-40...+85 -60...+85 в залежності від налашт.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики датчику температури Rosemount 214С

№ з/п	Параметр	Од.вим.	Значення
1	Вихідний сигнал	мА	4-20, HART
2	Діапазон вимірюваних температур	°С	-50...+600 -40...+1200 (залежить від тип. чут. ел.)
3	Час оновлення показників	с	1,9
4	Глибина занурення	мм	10
5	Опір ізоляції	МОм	мінімум 1000 при 500 В постійного струму
6	Температура навколишнього середовища	°С	-40...+85 -60...+85 в залежності від налашт.

Для виміру тиску використано датчики PX2 SERIES (рис. 1.9) та Model 264 (рис. 1.10).



Рисунок 1.9 – датчик PX2 SERIES



Рисунок 1.10 – датчик Model 264

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики датчику тиску PX2 SERIES

№ з/п	Параметр	Од.вим.	Значення
1	Вихідний сигнал	мА	4-20, HART
2	Діапазон вимірювання тиску	бар	0...600
3	Час відгуку	мс	≤2
4	Робоча температура	°C	-40...+120
5	Точність	%	±0,5
6	Споживання струму	мА	≤15

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ

Арк.

20

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики датчику тиску Model 264

№ з/п	Параметр	Од.вим.	Значення
1	Вихідний сигнал	мА	4-20, HART
2	Діапазон вимірювання тиску	бар	0...600
3	Час відгуку	мс	$\leq 2$
4	Робоча температура	°С	-40...+82
5	Точність	%	$\pm 0,2$
6	Споживання струму	мА	$\leq 12$

Для виміру витраченого газу використано витратомір Rosemount 8800D (рис. 1.11)



Рисунок 1.11 – витратомір Rosemount 8800D

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики витратоміра Rosemount 8800D

№ з/п	Параметр	Од.вим.	Значення
1	Вихідний сигнал	мА	4-20, HART
2	Діапазон вимірювання	м/с	0.4... 152
3	Час відгуку	с	$\leq 2$
4	Робоча температура	°С	-40...+82
5	Точність	%	$\pm 0,5$
6	Споживання струму	мА	$\leq 100$

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

В якості джерела живлення використано електродвигун АІР71В2 (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – електродвигун АІР71В2

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики електродвигуна АІР71В2

№ з/п	Параметр	Од.вим.	Значення
1	Частота обертання	об/хв	3000
2	Потужність	кВт	1,1
3	Номінальна напруга	В	380/660
4	ККД	%	76,2
5	Робоча температура	°С	-40...+40
6	Допустима вібрація	мм/с	0,75

В якості перетворювача частоти використано АТV320 (рис. 1.13).



Рисунок 1.13 – перетворювач частоти АТV320

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики перетворювача частоти ATV320

№ з/п	Параметр	Од.вим.	Значення
1	Номінальна потужність	кВт	0,18...30
2	Номінальна напруга	В	230 або 380-500
3	Діапазон вихідної частоти	Гц	0,5-600
4	ККД	%	97
5	Робоча температура	°С	-10...+40
6	Допустима вібрація	мм/с	0,75

Для перетворення вимірюної температури в сигнал використано перетворювач температури Rosemount 3144P (рис. 1.14).



Рисунок 1.14 – перетворювач температури Rosemount 3144P

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики перетворювача температури Rosemount 3144P

№ з/п	Параметр	Од.вим.	Значення
1	Вихідний сигнал	мА	4-20 , HART
2	Точність	%	±0,15
3	Час відгуку	с	≤ 2
4	Споживання струму	мА	≤ 25
5	Робоча температура	°С	-51...+204
6	Напруга живлення	В	24 DC

В якості виконавчого механізму керуючого потоками газу використано електромагнітний клапан Belimo EV24A-SZ-TPC (рис. 1.15).



Рисунок 1.15 – виконавчий механізм EV24A-SZ-TPC

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики виконавчого механізму EV24A-SZ-TPC

№ з/п	Параметр	Од.вим.	Значення
1	Номінальний момент	Нм	24
2	Номінальний кут повороту	град.	90
3	Номінальний тиск	бар	6-8
4	Максимальний тиск	бар	10
5	Робоча температура	°C	-10...+80
6	Вага	кг	0,5

Для захисту короткого замикання та перевантаження встановимо в щит автоматизації блок живлення Tiras БЖ1230 (рис. 1.16).





Рисунок 1.16 – Tiras БЖ1230

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики блоку живлення Tiras БЖ1230

№ з/п	Параметр	Од.вим.	Значення
1	Напруга живлення	В	220
2	Вихідна напруга	В	12
3	Вихідний струм	А	3
4	Максимальна потужність	Вт	36
5	Робоча температура	°С	-5...+40
6	Вага	кг	2,55

Знання технічних характеристик обладнання має ключове значення при створенні системи автоматизації, розуміння цих характеристик допомагає забезпечити ефективну, та надійну роботу системи.

Знання характеристик дозволяє підібрати найбільш сумісні один з одним компоненти, що забезпечить оптимальну продуктивність системи.

В контексті виробничих процесів дуже важливо проводити регулярне обслуговування компонентів системи автоматизації, саме знаючи їх характеристики можливо провести регулярне обслуговування максимально ефективно та подовжити життєвий цикл системи на максимально довгий час.

Визначивши необхідні компоненти для автоматизації процесу випалювання котунів, створимо ієрархічно-графічну схему зв'язку між компонентами системи автоматизації.

Створена ієрархічна схема зв'язку зображена на рисунку 1.17.

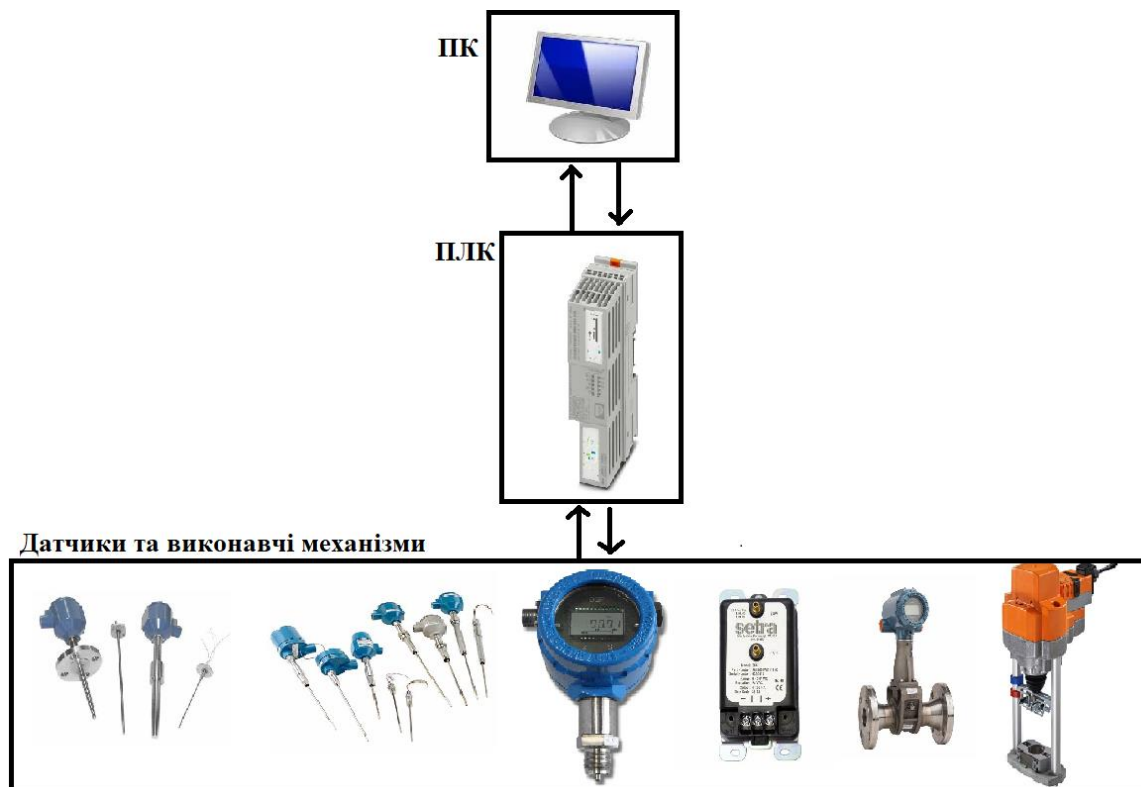


Рисунок 1.17 – Ієрархічний зв'язок між компонентами системи

Датчики температури, тиску та витратомір розташовані на першому рівні, вони розміщені безпосередньо в зоні технологічного процесу, вимірюють величини та передають або приймають сигнали з ПЛК.

ПЛК розташований на другому рівні та фізично знаходиться в щиті автоматизації, він приймає показники з датчиків та відправляє команди в залежності від коду закладеного в нього.

Третій рівень це рівень моніторингу та керування, який складається з оператора та людино-машинного інтерфейсу, розміщеного на ПК оператор отримує значення з датчиків та надає команди через елементи графічного інтерфейсу, команди які надаються мають бути задалегіть написані та завантажені в ПЛК.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

# 1.7 Принципова електрична схема

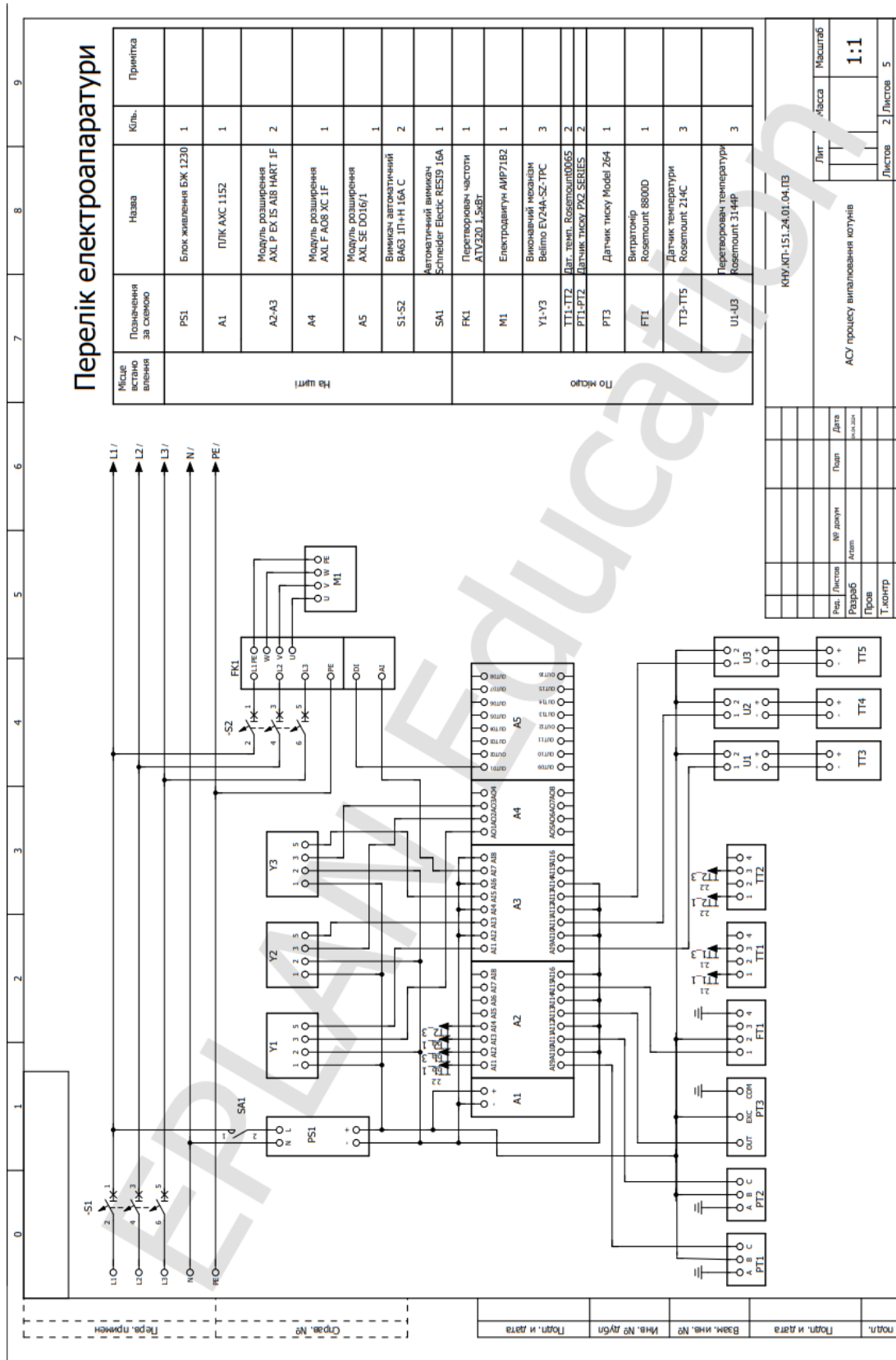


Рисунок 1.18 – Принципова електрична схема

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ

Арк.

27

Принципова електрична схема (рис.1.18) слугує для роз'яснення фахівцям зв'язку та шляхів підключення компонентів один до одного, також включає в себе перелік компонентів та їх умовні позначення.

Компоненти системи автоматизації під'єднуються один до одного наступним чином:

– термопара Rosemount 214С мають два контакти + та -, ці контакти приєднуються до контактів + та - нормуючого перетворювача Rosemount 3144Р, який додатково має контакти 1 та 2 що підключаються до аналогових входів контролера;

– датчик тиску PX2 SERIES має контакти А, В, С. А заземлюється, В контакт живлення тому під'єднаємо до контакту + блоку живлення PS1, контакт С до аналогового входу контролера;

– датчик Model 264 має контакти OUT, EXC та COM. OUT підключається до контролеру, COM заземлюється, EXC підключаємо до блока живлення;

– датчик температури Rosemount 0065 має 4 контакти, перший і третій підключаємо до ПЛК;

– витратомір Rosemount 8800D має 4 контакти, перший підключаємо до ПЛК, другий до блока живлення, четвертий заземлюємо.

Забезпечення правильного з'єднання між компонентами автоматизації системи є ключовим чинником для ефективного її функціонування, кожен пристрій має різні вимоги до підключення, саме дотримання цих вимог гарантує точність отриманих даних і роботу системи в цілому.

Правильно встановлене підключення термопар, датчиків тиску, витратомірів до програмованого-логічного контролера та блоку живлення дозволяє отримати високу точність вимірюваних величин, кожен з цих компонентів має свою важливу роль в системі керування температурою процесу випалювання котунів, забезпечуючи безперервний моніторинг та контроль технологічних процесів.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

# 1.8 Схема зовнішніх з'єднань

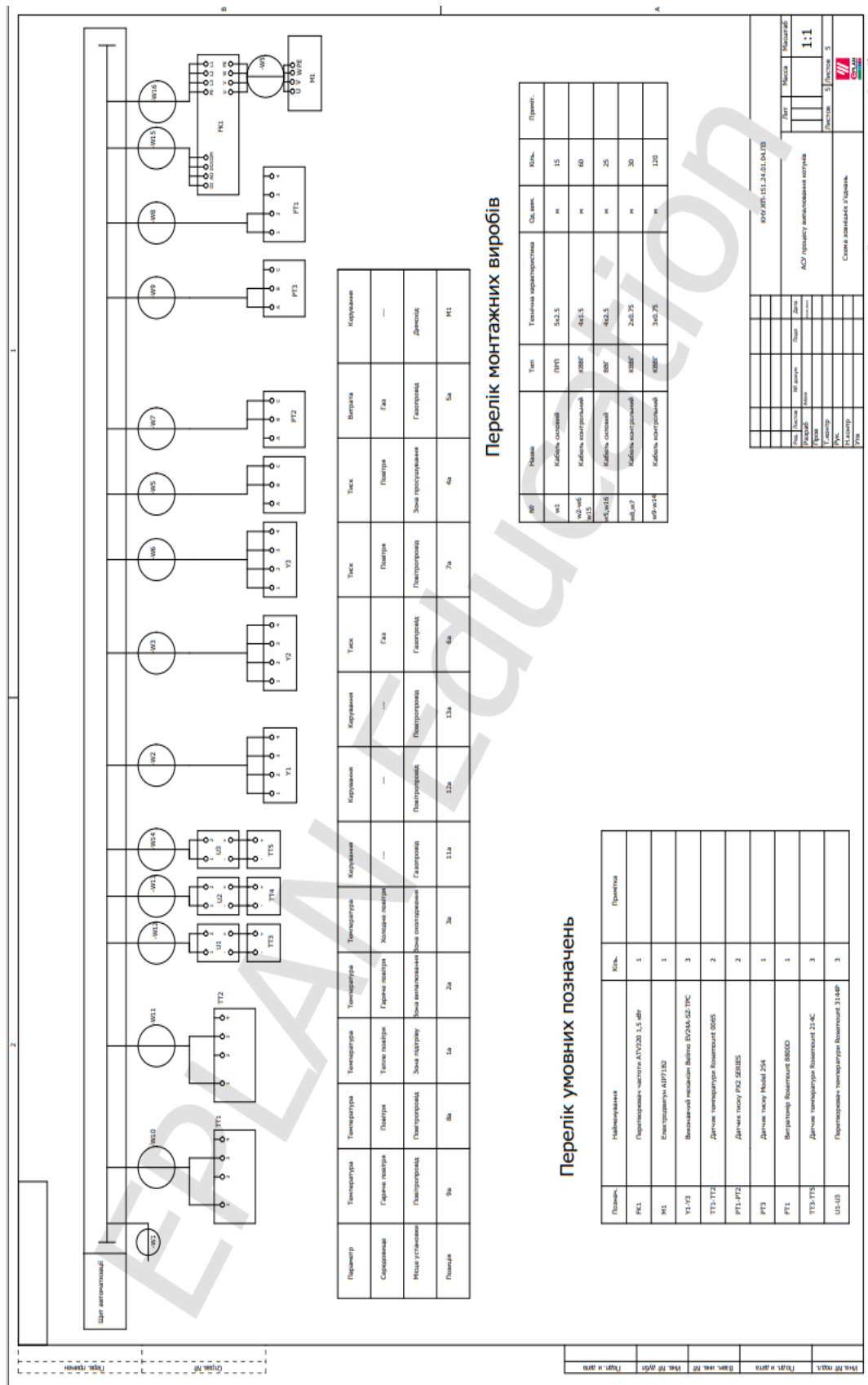


Рисунок 1.19 – Схема зовнішніх з'єднань

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ

Схема зовнішніх з'єднань потрібна для візуального відображення та опису з'єднань що встановлено між системами, або компонентами цих систем.

Схеми зовнішніх з'єднань зручно використовувати з наступних причин:

– графічне відображення: схема зовнішніх з'єднань дає чітке уявлення, про те як різні компоненти підключені один до одного. Це дозволяє фахівцям легко візуалізувати з'єднання та переконатися, що все підключено правильно;

– спрощення обслуговування: схема зовнішніх з'єднань використовуються під час монтажу системи для правильного підключення всіх компонентів. Вони також корисні при обслуговуванні системи, оскільки дозволяють легко знайти та від'єднати необхідні компоненти;

– стандартизація: схема зовнішніх з'єднань відповідає стандартам, тому с легкістю може бути використана фахівцями різних підприємств, що спрощує комунікацію між ними.

Окрім зазначених вище переваг, слід відмітити, що схема зовнішніх з'єднань можуть суттєво спростити навчання нових працівників. Завдяки наявності графічного відображення підключень нові фахівці можуть швидше зрозуміти як функціонує система та її структуру, це значно прискорює швидкість адаптації фахівців до нового проекту тим самим підвищуючи їх працездатність та ефективність, що в свою чергу підвищує ефективність всього підприємства.

Схема зовнішніх з'єднань є важливим інструментом при роботі з автоматизованими системами, їх проектуванні, монтажу та обслуговуванні.

Вона забезпечує чітке і наочне уявлення про підключення пристроїв один до одного та щита автоматизації, спрощує процеси обслуговування та ремонту системи, сприяє стандартизації та поліпшує комунікацію між працівниками, в тому числі між працівниками з різним рівнем досвіду.

Завдяки цьому схема зовнішніх з'єднань є вагомим складовою ефективних систем.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

# 1.9 Щит автоматизації

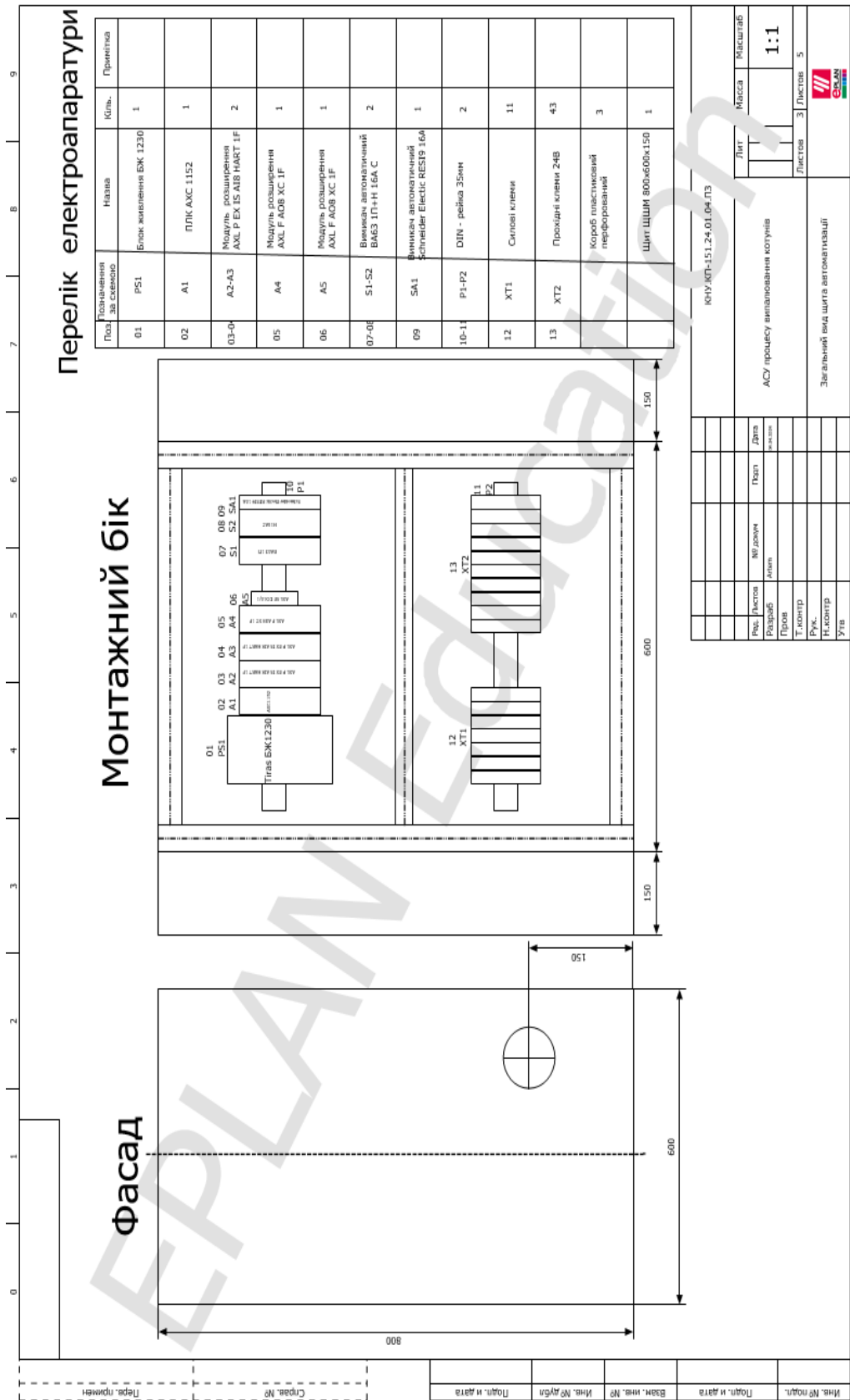


Рисунок 1.20 – Загальний вид щита автоматизації

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ

Арк.

31

Для щита автоматизації було підбрано ЩШМ 800x600x150. В щиті розміщено наступні засоби автоматизації:

- блок живлення БЖ 1230;
- ПЛК АХС 1152;
- два модулі розширення AXL P EX IS AI8 HART 1F;
- модуль розширення AXL F AO8 XC 1F;
- модуль розширення AXL SE DO16/1;
- вимикач автоматичний Schneider ВА63 1П+Н 16А С;
- автоматичний вимикач Schneider Electric RESI9 16 А;
- одинадцять силових клем;
- сорок три прохідні клеми 24В;
- короб пластиковий перфорований.

Щит автоматизації виконує роль єдиної точки контролю, що об'єднує всі елементи керування в одному місці, що значно спрощує можливості керування та обслуговування.

Також щит автоматизації захищає обладнання від перевантажень та коротких замикань чи інших аварійних ситуацій, що подовжує термін роботи обладнання.

Щити автоматизації включають в себе й захисні механізми що знижують ризик травм на інших небезпечних випадків для працівників.

Завдяки модульності щита автоматизації до нього легко додавати нові компоненти та замінити ті, що вийшли з ладу, це робить систему більш гнучкою та масштабованою

Підсумовуючи все вищесказане можна стверджувати що щит автоматизації є невід'ємною та корисною частиною будь якої системи автоматизації.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



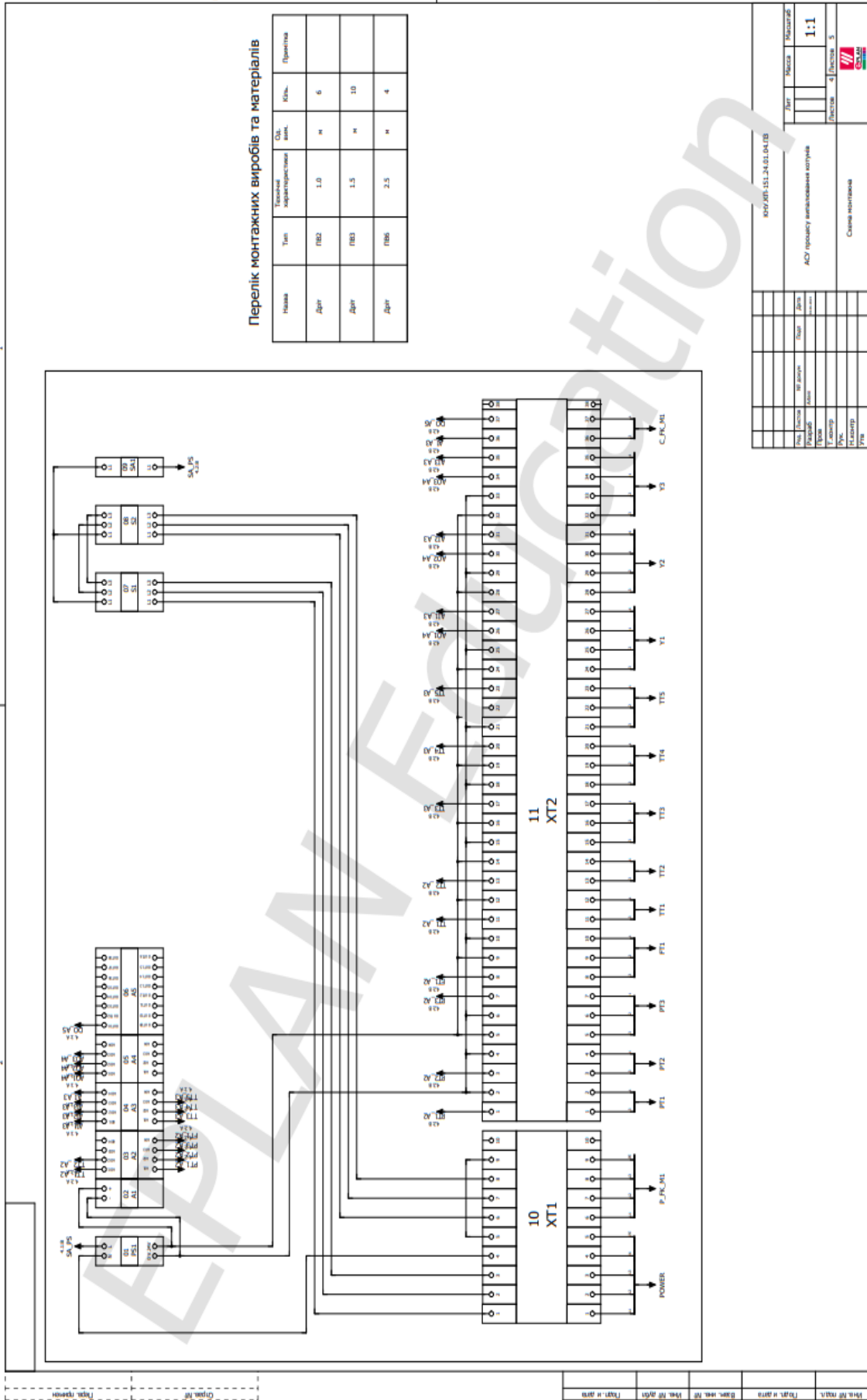


Рисунок 1.21 – Монтажна схема щита автоматизації

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ

Монтажна схема щита автоматизації (рис. 1.21) це план, який ілюструє розміщення та з'єднання елементів монтажного щита такі як контактори, блоки живлення, датчики, кабелі, вимикачі тощо.

Основна мета монтажною схемою щита автоматизації в наданні можливості ефективного та безпечного контролю за автоматизованою системою а також для полегшення обслуговування та ремонту системи.

Монтажна схема щита автоматизації включає в себе різноманітні компоненти і пристрої, такі як контролери, реле, автоматичні вимикачі, датчики, індикатори, інтерфейсні панелі та інше обладнання. Ця схема розробляється з урахуванням конкретних потреб автоматизованої системи і може мати різні конфігурації в залежності від завдань та вимог.

Монтажна схема дозволяє фахівцям зрозуміти як підключати та з'єднувати елементи для правильного функціонування системи. Загалом, монтажна схема щита є важливим інструментом для електриків та техніків, який допомагає забезпечити ефективне керування та обслуговування електричних систем.

Загалом, монтажна схема щита є важливим інструментом для електриків та техніків, який допомагає забезпечити ефективне керування та обслуговування електричних систем. Вона не тільки полегшує процес монтажу, але й спрощує діагностику та усунення несправностей, дозволяючи швидко ідентифікувати та замінювати несправні компоненти.

На монтажній схемі зазвичай вказується розташування та зв'язки між різними компонентами, лінії живлення та зв'язки даних. Також можуть бути вказані заходи безпеки, наприклад, захисні вимикачі та відступи.

Крім того, правильна монтажна схема щита автоматизації сприяє дотриманню стандартів безпеки та нормативних вимог, що є критично важливим для запобігання аварій та забезпечення безперебійної роботи обладнання.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		34

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

#### 2.1 Математичне забезпечення автоматизованої системи керування випалюванням котунів

Структурна схема зображена на рис. 2.1. Ця схема має наступні умовні позначення:  $W_{\text{рег}}$  - передаточна функція регулятора температури;  $F1(u)$ - трьохпозиційний перемикач;  $W_{\text{вм}}$  - передаточна функція регулюючого пристрою;  $F_{\text{ок}}(Q_{\text{в}}, Q_{\text{г}}, Q_{\text{п}})$  - нелінійна статична характеристика об'єктом керування;  $W_{\text{ок}}$  - передаточна функція об'єкту керування;  $W_{\text{підс}}$  - передаточна функція підсилювача;  $W_{\text{дт}}$ ,  $W_{\text{двг}}$  - передаточні функції датчиків температури, витрати газу.

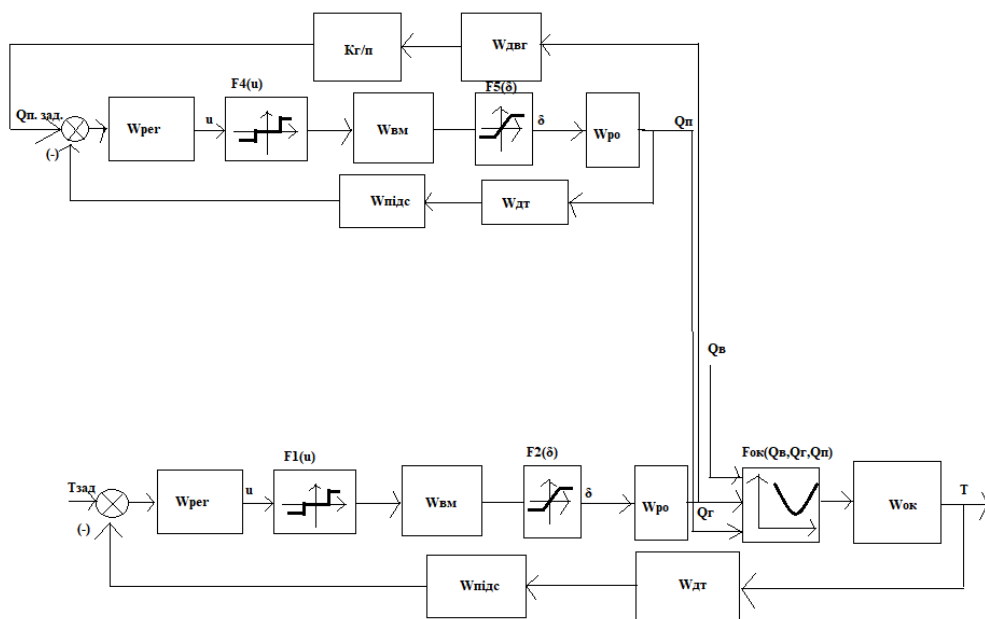


Рисунок 2.1- Структурна схема системи автоматичного керування температурою в горні зон підігріву та випалювання

<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Квашук А.О.		
Перевір.		Тронь В.В.		
Н. Контр.		Маринич І.А.		
Затверд.		Тронь В.В.		
<i>РОЗДІЛ 2</i>				
		Літ.	Арк.	Аркушів
		33	33	23
<i>КНУ АКІТ-20</i>				

Подача газу визначається заслінкою, яка виконує функції регулюючого елемента, це означає що кількість поданого газу залежить від куту відкриття заслінки, який може бути від 0° до 90°. Відповідно при максимальному куті відкриття подача газу максимальна та дорівнює 800 нм<sup>3</sup> / год. Отже, регулюючий елемент може бути змодельована підсилювачем, коефіцієнт підсилення якого наступний:

$$K_3 = \frac{Q_2}{\varphi_3}; \quad (2.1)$$

де  $Q_T$  – максимальна витрата газу, м<sup>3</sup>/год;  $\varphi_3$  – кут відкриття заслонки, град;

$$K_3 = \frac{800}{90} = 8,88 \text{ (нм}^3 \text{ / год} * \text{град)}; \quad (2.2)$$

Для врахування меж відкриття заслонки від 0 до 90 град перед передаточною функцією заслонки додамо нелінійний елемент F2( $\delta$ ) типу «обмеження».

До складу виконавчого механізму входить асинхронний двигун з передаточною функцією за каналом «керуюча напруга» - «швидкість обертання двигуна»

$$W_{\text{в.м}} = \frac{K_{\text{в.м}}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}; \quad (2.3)$$

де  $K_{\text{в.м}}$  – коефіцієнт підсилення виконавчого механізму;  $T_1$ ,  $T_2$  – сталі часу двигуна.

Отже маємо наступну передаточну функцію:

$$W_{\text{в.м}} = \frac{3.6}{0.3p^2 + 1.6p + 1}; \quad (2.4)$$

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо коефіцієнт посилення моделі асинхронного двигуна с того, що при надходженні керуючого сигналу, двигун відкриває заслонку, тобто повертає її на 90 градусів, отже:

$$K_{\text{в.м}} = \frac{\varphi_3}{t}; \quad (2.5)$$

де  $\varphi_3$  – кут повороту заслонки, град;  $t$  – час відкриття заслонки від 0 до 90

$$K_{\text{в.м}} = \frac{90}{1 \cdot 25} = 3.6(\text{град} / \text{сек}); \quad (2.6)$$

Додамо ідеальну інтегруючу ланку, для переходу від частоти обертання до куту повороту.

Використовуємо термопару типу ТХК, для вимірювання температури відхідних газів, діапазон вимірювання термопари -40 °С до 600 °С.

$$W_{\text{д.т.}} = K_{\text{д}}; \quad (2.7)$$

де  $K_{\text{д}}$ - коефіцієнт посилення датчика;

Отже, маємо наступну передаточну функцію датчика температури:

$$W_{\text{д.т.}} = 0.02 ; \quad (2.8)$$

При зміні температури на 600 °С зміниться вихідний струм датчика на 6 мА, отримаємо наступне значення коефіцієнта посилення датчика:

$$K_{\text{д}} = \frac{I_{\text{вих}}}{t}; \quad (2.9)$$

де  $I_{\text{вих}}$  – вихідний струм датчика температури, мА;  $t$  – зміна температури в печі;

$$K_{\text{д}} = \frac{6}{600} = 0.01(\text{мА} / \text{град } ^\circ\text{С}); \quad (2.10)$$

Перенесемо посилення додаткового підсилювача зв'язку в посилення ПД-регулятора, для зручності спостереження задаються величини в градусах цельсія, відповідний підсилювач, з коефіцієнтом підсилення, зворотним коефіцієнту посилення додаткового підсилювача зворотного зв'язку.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{підс}} = \frac{1}{K_{\text{д.т.}}}; \quad (2.11)$$

де  $K_{\text{д.т.}}$  – коефіцієнт підсилення датчика температури; маємо наступну передаточну функцію підсилювача:

$$W_{\text{підс}} = \frac{1}{0.01}; \quad (2.12)$$

Використовуємо пропорційний і диференційний (ПД) регулятор, передаточна функція якого:

$$W_{\text{підс}} = K_{\text{П}} \left( 1 + \frac{1}{T_{\text{и}} p} \right); \quad (2.13)$$

де  $K_{\text{П}}$  – коефіцієнт підсилення регулятора;  $T_{\text{и}}$  – стала часу інтегратора;

Знімемо експериментальні розгінні характеристики, ці характеристики визначаються через поступову зміну на невеликі відсотки від номінальних величин керуючих дій та збурень об'єкта, який функціонує в номінальному режимі і вимірювання змін керованої величини з часом.

Уявимо динамічну модель процесу регулювання температури в зоні підігріву та випалювання як послідовно з'єднану нелінійну статичну модель та лінійну динамічну модель. В динамічному відношенні піч для випалювання котунів можна апроксимувати аперіодичною ланкою першого порядку з передаточною функцією:

$$W_{\text{ок}}(p) = \frac{F_3(Q_a, Q_e, Q_n)}{T_{\text{ок}} p + 1} \quad (2.14)$$

Побудуємо модель системи автоматичного керування температурою у газоповітряних камерах підігріву та випалювання (рис. 2.2).

Ця модель являє собою математичну репрезентацію системи, яка регулює температуру в заданому середовищі.

Ця модель складається з кількох головних компонентів які працюють разом для досягнення поставленої мети.

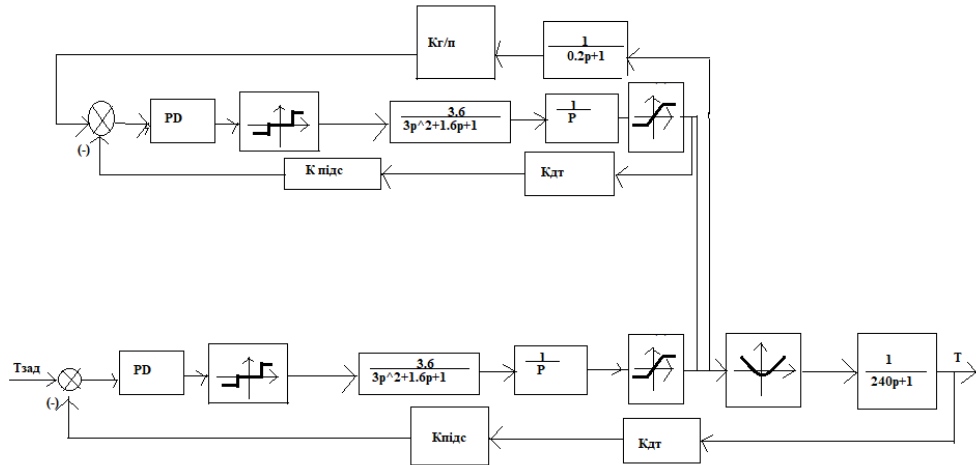


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи автоматичного керування температурою у газоповітряних камерах зон підігріву та випалювання

## 2.2 Комп'ютерне моделювання системи автоматичного керування процесом випалювання котунів

Для моделювання використовуємо пакет Simulink, який є частиною програмного додатку MATLAB.

В процесі моделюванні використовуємо отримані в попередньому пункті розрахунки, та отримані передаточні функції.

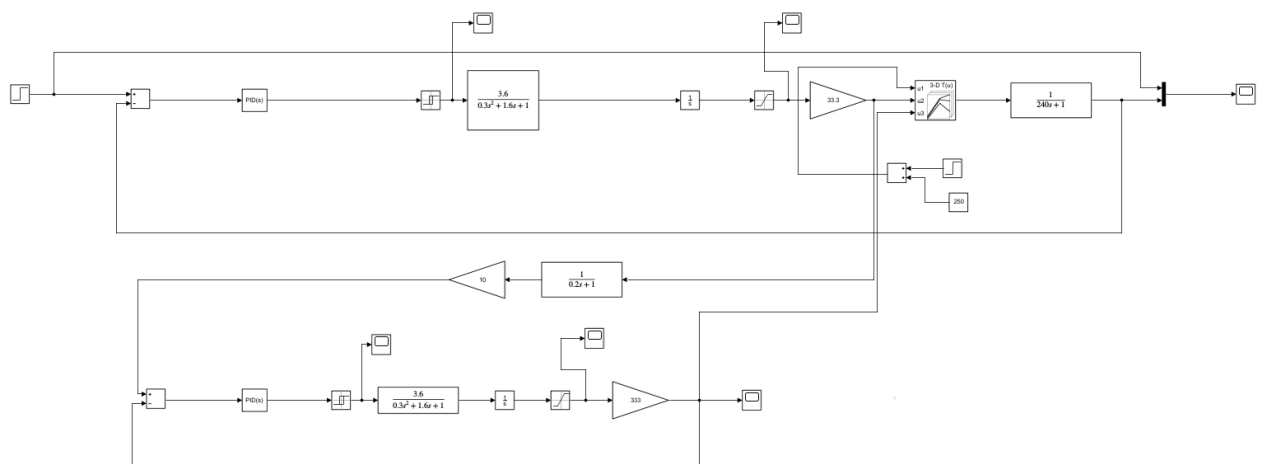


Рисунок 2.3 – Модель САК керування температурою процесу випалювання котунів

Оберемо блок Look Table (n-D) та створимо нелінійну характеристику, використовуючі цей блок ми можемо відслідковувати залежність температур в зонах випалювання та підігріву від продуктивності, та витрати газів.

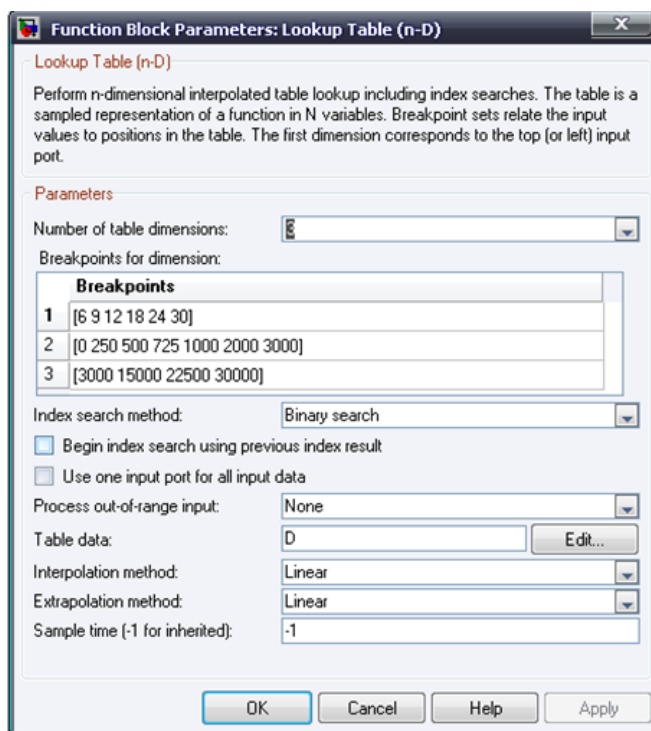


Рисунок 2.4 –Нелінійна статична характеристика об’єкту керування за допомогою елемента Look Table (n-D)

На рис. 2.5 приведено графік перехідного процесу в системі автоматичного керування температурою печі при поступовій зміні витрати газу до  $Q_{г} = 800$  м<sup>3</sup>/год при сталій продуктивності  $Q_{вм} = 250$  т/год. Виконано моделювання зі збільшенням витрати до  $Q_{в} = 290$  т/год, в момент часу  $t = 100$  с, яке дало змогу проаналізувати впливу збурень на якість керування.

Проаналізувавши графіки можна стверджувати про правильність розрахунків. Система керування температурою в зонах підігріву та випалювання виконує завдання підтримки необхідної температури з перерегулюванням  $\sigma = 12$  % та тривалістю перехідного процесу  $t_p = 600$  с. Статична похибка відсутня.



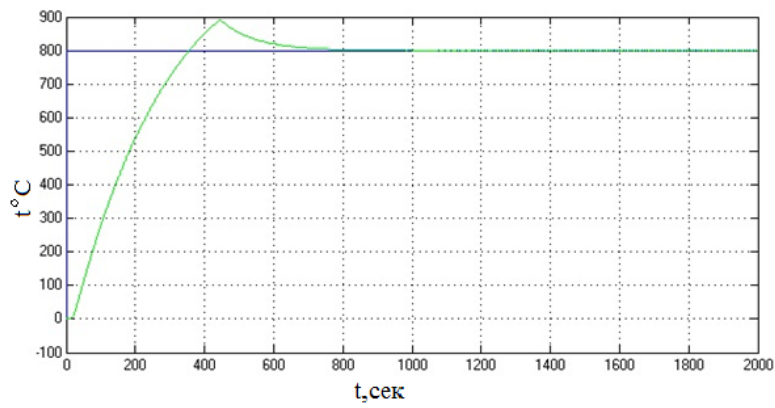


Рисунок 2.5 – Графік зміни температури

На рис. 2.6 зображено графік змінення положення заслінки за часом.

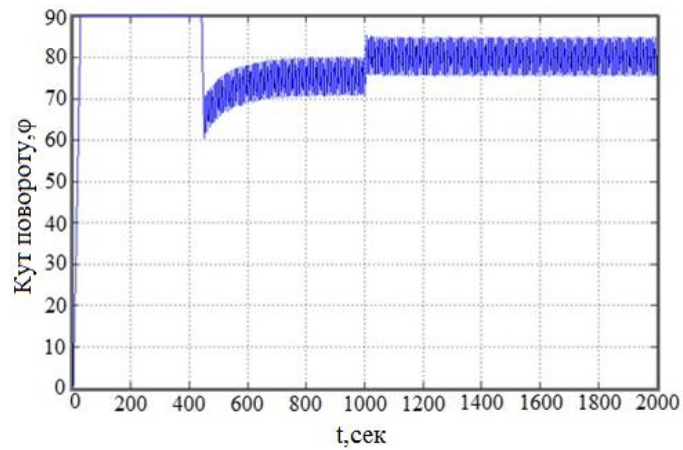


Рисунок 2.6 – Графік змінення положення заслінки за часом

На рис. 2.7 зображено графік змінення витрати газу за часом.

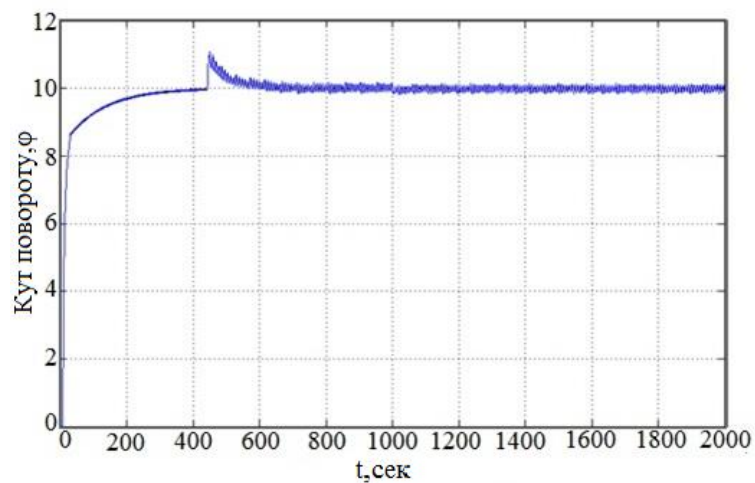


Рисунок 2.7 – Графік змінення витрати газу за часом

## 2.3 Визначення НМІ

Людино-машинний інтерфейс також відомий як НМІ (Human-Machine Interface) – це інтерфейс користувача, який дозволяє операторам взаємодіяти з машинами для моніторингу та керування процесами використовуючи зручний графічний вигляд елементів управління, такі як кнопки, панелі та інші.

Людино-машинні інтерфейси поділяються на різні форми та види, такі як:

– панелі оператора: Малі екрани, що інтегровані безпосередньо в обладнання або машини, часто з фізичними кнопками та поворотними перемикачами, що дозволяють операторам моніторити та керувати роботою системи

– програмовані логічні контролери з НМІ: Контролери що мають вбудовані дисплеї для налаштування та управління процесами.

– системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition): Використовуються для контролю та моніторингу промислових процесів використовуючи комп'ютери та спеціальне програмне забезпечення.

– промислові ПК: Персональні комп'ютери, які були розроблені з метою використання в жорстких виробничих середовищах, що можуть працювати НМІ програмним забезпеченням.

– додатки для смартфонів: Спеціально розроблені мобільні додатки які надають змогу отримати доступ до віддаленого управління системами.

– веб-браузери: Інтерфейси доступ до яких можна отримати використовуючи стандартні веб-браузери, через Інтернет або створивши локальну мережу.

Людино-машинні інтерфейси набули поширення у різних галузях, наприклад в промисловому виробництві системи НМІ використовують для контролю виробничих ліній, що включає в себе моніторинг та керування виробничим процесом, забезпечення контролю якості та підвищення продуктивності, також НМІ у промисловості використовують для програмування та моніторингу роботи промислових роботів.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

У галузі енергетики та комунальних послуг людино-машинний інтерфейс використовується для моніторингу роботи електростанцій, а саме контроль становища турбін, генераторів та іншого обладнання. Також використовується в управлінні розподільчими мережами що дозволяє забезпечити стабільне постачання електроенергії.

В управлінні транспортом та логістиці системи НМІ використовується для прокладуванні маршрутів руху та моніторингу стану транспорту в процесі руху, в випадку перевозок вантажу НМІ використовують для оптимізації логістичних процесів та управління запасами.

Для створення людино-машинного інтерфейсу слід мати наступні компоненти:

- дисплеї: Панелі на яких будуть відображенні виведені дані та буде можливість введення даних які оператор вважає за потрібне;
- промислові контролери: Обладнання що слугує для управління процесами та комунікації з іншими системами;
- програмне забезпечення: Додатки для створення системи НМІ, таких як Wonderware, Ignition, Vijeo Designer та інші;
- операційні системи: ОС на яких працюють людино-машинні інтерфейси, наприклад Windows або Linux;
- протоколи для обміну даних: Мережеві протоколи для обміну даних між НМІ та обладнанням, наприклад Ethernet/IP, PROFIBUS, Modbus та інші;
- фізичні засоби підключення: Інтерфейси підключення наприклад серійні порти або Ethernet.

Враховуючі все вищесказане можна зробити висновок що людино-машинний інтерфейс відіграє важливу роль в системах автоматизації забезпечуючи операторам зручний спосіб впливати на роботу системи автоматизації та відстежувати її стан, що в свою чергу збільшує надійність та продуктивність всій системи в цілому.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

## 2.4 Вибір програмного застосунку для програмування ПЛК та створення НМІ

Додатки для програмування логічних контролерів та створення людино-машинних інтерфейсів є важливими інструментами в справі автоматизації, загалом можна виявити три найпоширеніших постачальника обладнання для автоматизації, яке включає в себе і програмні застосунки для роботи з ним, це Siemens, Schneider Electric та Phoenix Contact.

Для програмування контролерів Siemens використовується пакет програмних застосунків TIA (Totally Integrated Automation) Portal (рис. 2.8) до списку основних можливостей якого входять: програмування ПЛК, конфігурація мереж, діагностика систем. До особливостей цього програмного додатку входять: Підтримка різних мов програмування LD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram), ST (Structured Text), IL (Instruction List), SCF (Sequential Function Chart), підтримка різни контролерів і панелей НМІ Siemens.

Для створення людино-машинного інтерфейсу контролера Siemens використовується програмний додаток WinCC (рис. 2.9), який окрім створення НМІ також надає можливість моніторингу та керування процесами, збирати та аналізувати дані, додаток має повну інтеграцію з TIA Portal та потужні інструменти візуалізації сумісні з різними платформами.

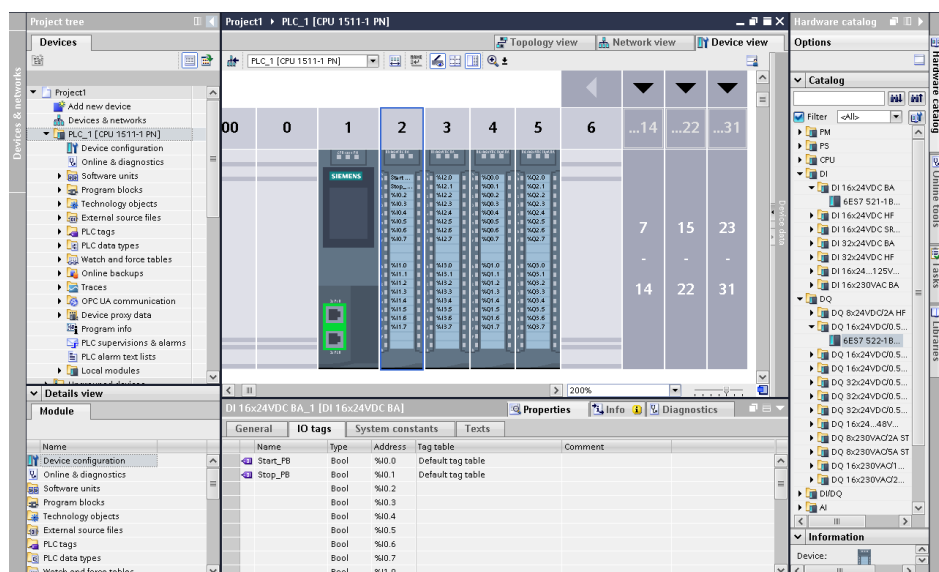


Рисунок 2.8 – Робоче поле додатку TIA Portal



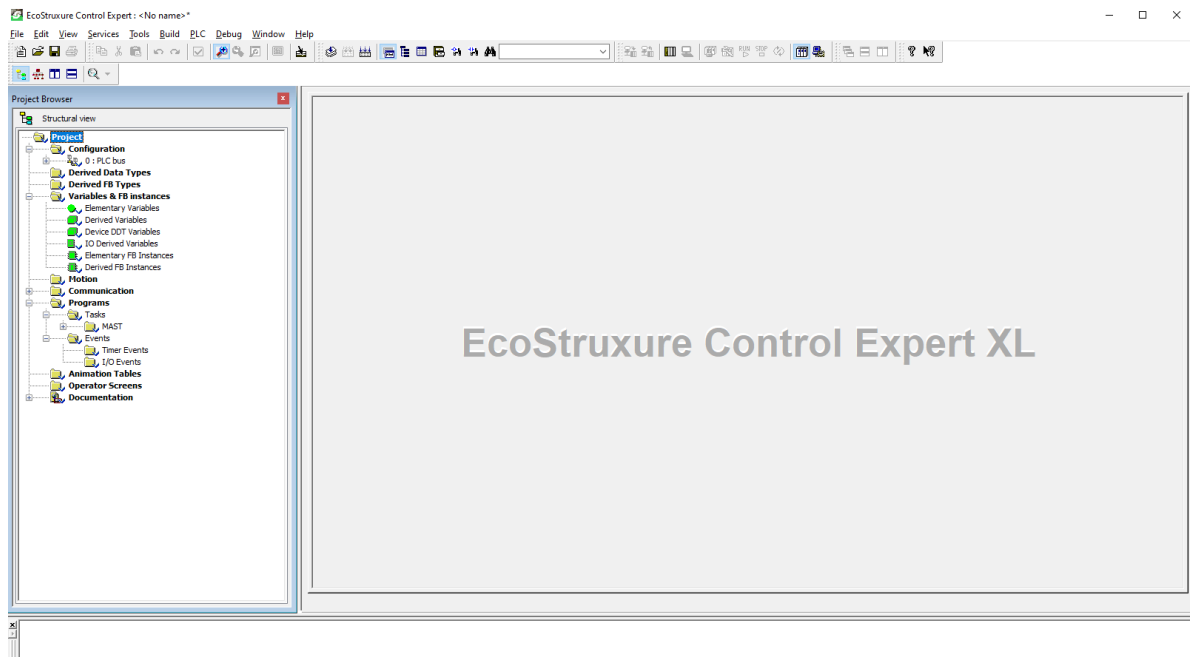


Рисунок 2.11 – Робоче поле додатку EcoStruxure Control Expert

Так як в роботі використовується контролер АХС 1152 від компанії Phoenix Contact буде використано програмний додаток PLCnext Engineer(рис. 2.12) який призначений для програмування та створення НМІ інтерфейсів саме для цього ПЛК, до особливостей програмного додатку можна віднести наступне:

- модульність та масштабованість: PLCnext надає можливість створення модульних програмних компонентів, які потім можна знову використати масштабуючи від маленьких до великих систем;

- інтеграція з ІТ-системами: PLCnext має відкриту архітектуру тому додатки розроблені в ньому зручно інтегрувати в різні системи та сервіси, наприклад бази даних, хмарні сервіси, ІоТ-платформи та інші в залежності від потреби розробника;

- стандарти програмування: PLCnext підтримує стандарт ІЕС 61131-3 що включає різні мови програмування Ladder Diagram, Function Block Diagram, Structured Text, Instruction List, Sequential Function Chart, крім цього додаток підтримує високорівневі мови програмування такі як С++, С#, Python;

– можливості налагодження та симуляції: застосунок має широкий інструментарій для налагодження та моніторингу створених програм, а вбудований емулятор дозволяє перевіряти роботу програми не використовуючи фізичне обладнання та інші додатки;

– вбудовані інструменти створення HMI: PLCnext не потребує додаткових застосунків для створення зручних і зрозумілих інтерфейсів керування для операторів, а підтримка сучасних веб-технологій при створенні HMI дозволяє отримати адаптивні та інтерактивні інтерфейси, які можуть працювати на різних пристроях, таких як смартфони та планшети, що забезпечує доступ до системи у будь-який час та будь-якому місці.

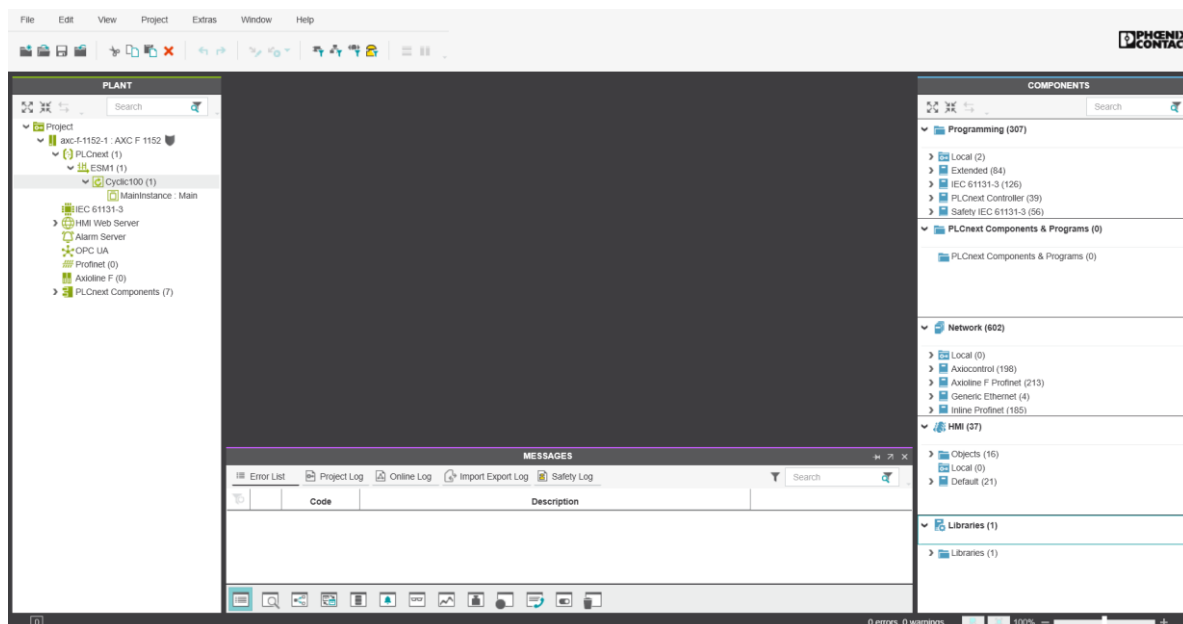


Рисунок 2.12 – Робоче поле додатку PLCnext Engineer

## 2.5 Програмування контролера та створення людино-машинного інтерфейсу у PLCnext Engineer

Контролер було запрограмовано на мові Structured Text (ST) яка є високорівневою мовою програмування та входить до мов визначених стандартом ІЕС 61131-3, перевагу надано цій мові через її високу читабельність та зрозумілість, так як вона схожа з традиційними мовами програмування такими як C++ та C# досвід роботи з якими я вже маю. Не в останню чергу цю

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

мову було обрано через зручність при реалізації алгоритмів та математичних обчислень, а модульність Structured Text дозволяє створювати функції та функціональні блоки, які зручно використовувати повторно за необхідністю, також так як ця мова програмування ПЛК одна з найпоширеніших код, написаний нею, можливо використовувати і в інших програмних застосунках для програмування контролера, наприклад Siemens TIA Portal та Schneider Electric EcoStruxure Control Expert.

Почнемо з об'яви змінних (рис. 2.13) які в подальшому будуть використані в програмуванні та створенні людино-машинного інтерфейсу. Змінні групи CurrentValue відповідають за відображення значення температури в печі для випалювання котунів яке вимірюють датчики температури, значення TargetValue відповідають за значення на слайдері, керуючи яким оператор контролює температуру в печі, змінні PressureValue відображають значення тиску в різних сегментах печі, змінні AirTemp та GasWasting позначають температуру повітря в повітряпроводі та витрату газу відповідно, змінні HighTempAlert потрібні для відображення повідомлення про надто високу температуру в печі.

PLCnext Engeneer має в собі багато різних типів даних:

- прості: BOOL, BYTE, WORD, SINT, INT, REAL, LREAL;
- складні: ARRAY, STRUCT, ENUM;
- спеціальні: TIME, DATE;
- користувачі.

Наявність такої кількості типів даних дозволяє гнучко та ефективно зберігати та обробляти інформацію.

В якості змінних використано тип даних INT що призначений для зберігання цілих чисел, BOOL який призначений для зберігання двох можливих значень TRUE і FALSE, REAL та LREAL що зберігають числа с плаваючою комою.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48



Name	Type	Usage	Translate	Comment	Init	Retain	Constant	OPC	HMI	Proficloud
PressureValue1	INT	External	<input type="checkbox"/>							
PressureValue2	INT	External	<input type="checkbox"/>							
PressureValue3	INT	External	<input type="checkbox"/>							
GasWasting	REAL	External	<input type="checkbox"/>							
TargetValue1	INT	External	<input type="checkbox"/>							
TargetValue2	INT	External	<input type="checkbox"/>							
TargetValue3	INT	External	<input type="checkbox"/>							
CurrentValue1	INT	External	<input type="checkbox"/>							
CurrentValue2	INT	External	<input type="checkbox"/>							
CurrentValue3	INT	External	<input type="checkbox"/>							
CurentValue4	INT	External	<input type="checkbox"/>							
AirTemp1	LREAL	External	<input type="checkbox"/>							
HighTempAlert	BOOL	External	<input type="checkbox"/>							
HighTempAlert2	BOOL	External	<input type="checkbox"/>							
HighTempAlert3	BOOL	External	<input type="checkbox"/>							
HighTempAlert4	BOOL	External	<input type="checkbox"/>							
Enter variable name here			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рисунок 2.13 – Створені змінні

В якості типу Usage обрано атрибут External, цей атрибут обирається при створенні змінної в середовищі PLCnext Engineer він вказує на можливість використовувати змінну для обміну даними між різними компонентами системи, у цьому випадку між середовищем програмування контролера та середовищем створення людино-машинного інтерфейсу, або з зовнішніми пристроями.

Використовуючи цей атрибут програміст має змогу організувати обмін даними не лише з іншими частинами одного проекту, а також отримати доступ до систем SCADA, адже дані Usage External можуть бути ними зчитані, також цей атрибут дозволяє інтегрувати зовнішні датчики та виконавчі механізми в загальну систему управління.

Таблиця 2.1 – Змінні та їх значення

Назва	Тип	Значення
PressureValue1	INT	Тиск в зоні сушки
PressureValue2	INT	Тиск в повітропроводі
PressureValue3	INT	Тиск в газопроводі
GasWasting	REAL	Витрата газу
TargetValue1	INT	Значення зі слайдера №1
TargetValue2	INT	Значення зі слайдера №2
TargetValue3	INT	Значення зі слайдера №3
CurrentValue1	INT	Поточне значення температури в повітропроводі №1
CurrentValue2	INT	Поточне значення температури в зоні підігріву
CurrentValue3	INT	Поточне значення температури в зоні випалювання
CurrentValue4	INT	Поточне значення температури в зоні охолодження
AirTemp1	LREAL	Температура в повітропроводі №2
HighTempAlert	BOOL	Повідомлення про підвищення температури в зоні просушування
HighTempAlert2	BOOL	Повідомлення про підвищення температури в зоні підігріву
HighTempAlert3	BOOL	Повідомлення про підвищення температури в зоні випалювання
HighTempAlert4	BOOL	Повідомлення про підвищення температури в зоні охолодження

В якості графічної основи при створенні людино-машинного інтерфейсу використано функціональну схему печі на якій позначені місця для виведення всієї необхідної інформації стосовно процесу випалювання котунів. Значення з датчиків температури, тиску, витратоміра та повідомлення про високу температуру виводяться в елемент графічного інтерфейсу text, для більшій зручності цим величинам було призначено кольорові умовні позначення червоний, синій та жовтий відповідно.

Для керування температурою печі було застосовано елементи типу slider, які умовно позначають виконавчі механізми які керують заслонками в газопроводі та повітряпроводі.

Створений інтерфейс представлено на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Створений графічний інтерфейс

Зовнішній вигляд елементів типу text було налаштовано через вбудований графічний інтерфейс, який дозволяє обрати шрифт, його розмір, колір, відступи від інших елементів та багато інших візуальних ефектів.

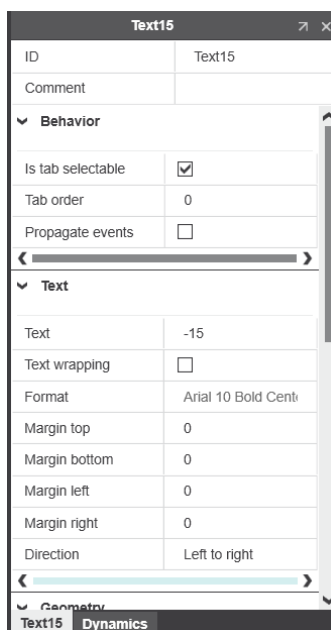


Рисунок 2.15 – Налаштування зовнішнього виду елементів типу text

Для зв'язку графічних елементів text зі змінними було використано вбудований графічний інтерфейс налаштування, а саме вкладку Dynamics, яка дозволяє обирати дію що буде виконувати графічний елемент та пов'язувати його з змінною.

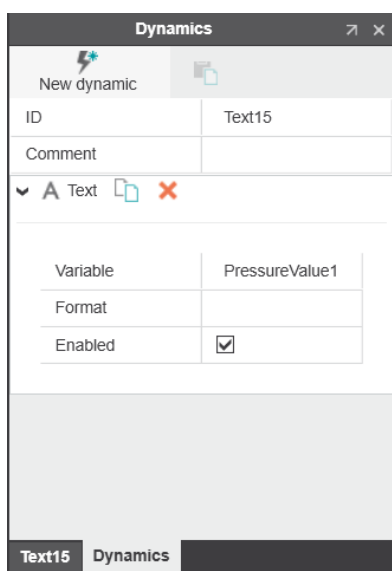


Рисунок 2.16 – Вікно Dynamics елементів типу text

Налаштування слайдерів відбувається в меню Settings, який дозволяє обрати початкові та кінцеві числові межі та ціну ділення шкали салйдера.

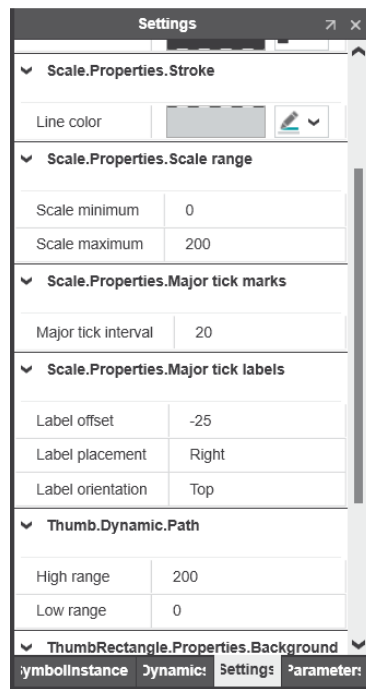


Рисунок 2.17 – Налаштування слайдера

Для двох інших слайдерів налаштування аналогічні, окрім числового діапазону шкали.

Створимо код встановлення необхідної температури в елементи інтерфейсу text в залежності від позначки на слайдері. Для цього було використано змінні груп CurrentValue і TargetValue та елементи розгалуження IF, THEN, ELSIF, END\_IF.

Для придання зміні температури більш реалістичного вигляду було використано математичну операцію додавання та віднімання що дозволило поступово змінювати температуру та візуально покращило сприйняття людино-машинного інтерфейсу.

```

1  IF CurrentValue1<TargetValue1 THEN
2      CurrentValue1:=CurrentValue1+1;
3  IF CurrentValue1>TargetValue1 THEN
4      CurrentValue1:=TargetValue1;
5
6      END_IF
7  ELSIF CurrentValue1>TargetValue1 THEN
8      CurrentValue1:=CurrentValue1-1;
9  IF CurrentValue1<TargetValue1 THEN
10     CurrentValue1:=TargetValue1;
11     END_IF
12     END_IF

```

Рисунок 2.18 – Створений код зміни температури відповідно слайдеру

Для написання коду відображення тиску було створено залежність величини тиску від температур в зонах печі, для створення симуляції витрати газу змінній GasWasting додається число 1, що дозволяє імітувати роботу витратоміра та транслювати кількість витраченого газу на панель оператора.

Для запобігання перевищення допустимих температур було створено тривожне повідомлення що виникає тільки при умові що змінна HighTempAlert типу BOOL дорівнює TRUE, числа при яких виникає це повідомлення відповідають максимальній вимірювальній потужності використаних датчиків.

```

PressureValue1 := CurrentValue1/2;
PressureValue2 := CurrentValue2/2;
PressureValue3 := CurrentValue3/2;
GasWasting:=GasWasting+0.01;
IF CurrentValue1>150 THEN
    HighTempAlert:=TRUE;
    ELSIF CurrentValue1<150 THEN
        HighTempAlert:=FALSE;
    END_IF

IF CurentValue4>600 THEN
    HighTempAlert2:=TRUE;
    ELSIF CurentValue4<600 THEN
        HighTempAlert2:=FALSE;
    END_IF

IF CurrentValue2>980 THEN
    HighTempAlert3:=TRUE;
    ELSIF CurrentValue2<980 THEN
        HighTempAlert3:=FALSE;
    END_IF

IF CurrentValue3>600 THEN
    HighTempAlert4:=TRUE;
    ELSIF CurrentValue3<600 THEN
        HighTempAlert4:=FALSE;
    END_IF

```

Рисунок 2.19 – Створений код зміни значення тиску, витрати газу, та повідомлення про високу температуру

Після визначення змінних, створення графічної сторінки панелі управління оператора та написання коду PLCnext дає можливість дослідити роботу проекту та виявити недоліки завантаживши його в симулятор, для керування створеним проектом PLCnext має вбудовану можливість розгорнути панель керування технологічним процесом в браузері, крім того PLCnext має вбудований захист панелі оператора від несанкціонованого доступу у вигляді логіну та паролю(рис. 2.20).

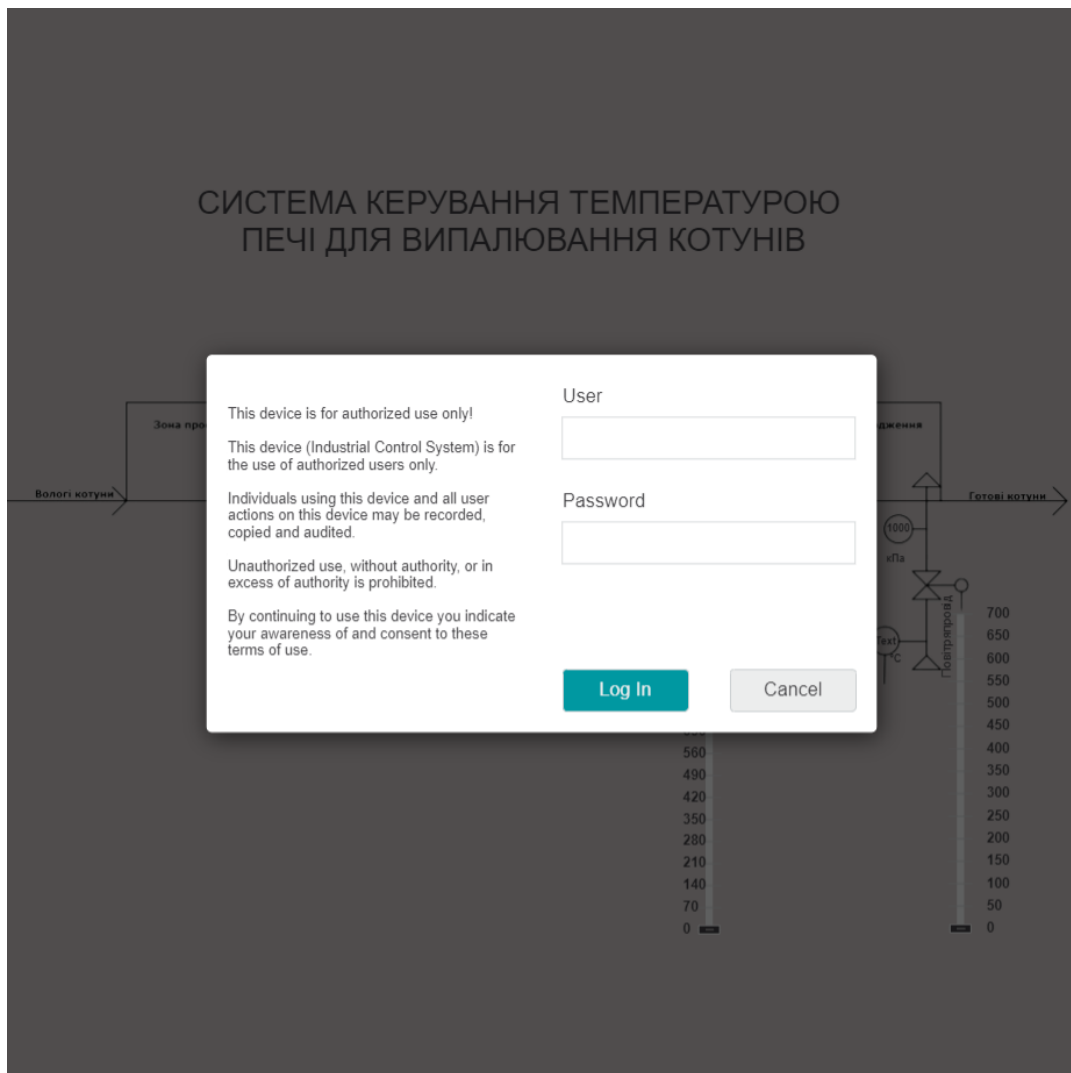


Рисунок 2.20 – Система захисту

PLCnext також включає в себе створену за замовчуванням веб-сторінку (рис 2.19), де оператор може побачити стан програмованого-логічного контролера, завантаженість його процесору, кількість використаної та залишкової оперативної пам'яті, статусні індикатори, поточні дату та час,

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

відомості про інших користувачів які мали доступ до цього ПКЛ та багато іншої інформації.

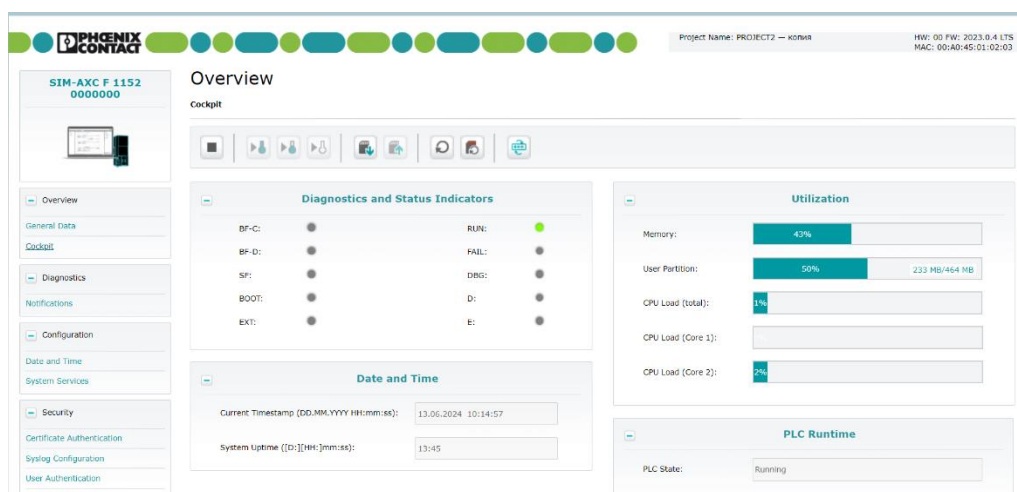


Рисунок 2.21 – Сторінка моніторингу статусу контролера

Після вводу логіну та паролю оператор отримає доступ до функцій інтерфейсу з керування та моніторингу температурою технологічного процесу випалювання котунів.

Приклад роботи створеного людино-машинного інтерфейсу наведено на рисунку 2.22.



Рисунок 2.22 – Створений людино-машинний інтерфейс



Було створено людино-машинний інтерфейс, який дозволяє оператору відстежувати зміни температури, тиску та витрату газу в технологічному процесі випалювання котунів.

Оператор може контролювати та корегувати температуру в зонах сушіння нагрівання, випалювання та охолодження використовуючи слайдери межі шкали яких створено відповідно до можливостей встановлених датчиків, у разі перевищення максимально допустимої температури оператор отримає повідомлення на своїй панелі управління.

Розроблений людино-машинний інтерфейс можна модифікувати за бажанням, наприклад полегшити оператору моніторинг показників додавши діаграми, або графік який показує зміну температури в печі протягом часу. Це допоможе оператору відстежувати хід процесу та ідентифікувати будь-які потенційні проблеми.

Додатково, створений інтерфейс може бути налаштований на збереження даних про попередні температури, тиск та витрату газу, це дасть змогу операторам інженерам проводити аналіз для вдосконалення процесу виробництва та швидкого реагування на відхилення від нормальних показань.

Для більшій доступності можна створити мобільний додаток з цим людино-машинним інтерфейсом, що дасть змогу фахівцям моніторити та керувати процесом випалювання котунів фізично не знаходячись біля панелі оператора.

Розширити можливості інтерфейсу можливо не лише збільшенням відображених поточних значень, а й додати прогнози які будуть засновані на поточних тенденція, що дасть змогу фахівцям заздалегідь побачити можливий збій та запобігти їм.

Завдяки таким вдосконаленням створений НМІ може стати ще більш зручнішим та ефективним інструментом автоматизації.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було розроблено систему автоматизації процесу випалювання котунів на фабриці огрудкування, разом зі створенням системи візуалізації яка дозволяє моніторити та керувати цим процесом. Проект охопив наступні ключові аспекти: аналіз та розбір технологічного процесу, вибір приладів для автоматизації, розробку програми для контролера а також розробку інтерфейса людина-машина.

В ході аналізу технологічного процесу було визначено основні параметри та виявлено критичні точки контролю, було обрано відповідне обладнання включаючи програмований логічний контролер та датчики, що забезпечують надійність та точність вимірювань і керування.

Було розроблено програмне забезпечення для контролера, що реалізує логіку керування процесом випалювання котунів, забезпечує моніторинг параметрів печі для випалювання та надає змогу контролювати їх, в якості мови програмування було використано Structured Text для реалізації алгоритмів управління, що підвищило ефективність системи.

Створено інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, що дозволяє контролювати процес випалювання котунів в реальному часі, отримувати дані про стан системи та вживати необхідні заходи в разі необхідності, інтерфейс користувача було розгорнуто в браузері завдяки можливостям PLCnext, що дозволяє отримати доступ до нього дистанційно та майже з будь якого пристрою.

Результати проведеного дослідження свідчать про високу ефективність створеної системи автоматизації випалювання котунів, запропоновані рішення можуть значно вплинути на ефективність та продуктивність технологічного процесу.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Квашук А.О.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Тронь В.В.</i>				56	2
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>КНУ АКІТ-20</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Тронь В.В.</i>					

*ВИСНОВКИі*

Також запропоновані рішення допомогли значно знизити людський фактор, що в свою чергу збільшило точність та безпеку на підприємстві.

Подальше вдосконалення системи автоматизації випалювання котунів ,зокрема, впровадження нових технологій та методів контролю та моніторингу сприятиме ще більшій ефективності та надійності виробничого процесу

В майбутньому людино-машинні інтерфейси можуть розвинути в напрямку інтеграції нейромереж, що будуть аналізувати отриману інформацію і значення та допомогати оператору приймати рішення навіть в надскладних та небезпечних умовах, або навіть брати контроль на себе.

Також цілком вірогідне створення панелей оператора з використанням доповненої реальності, що дозволить оператору не обмежуватись лише приміщенням з екранами, а й отримувати всю необхідну інформацію безпосередньо на місці проведення робіт, без використання планшетів чи смартфонів.

Впровадження всіх цих нововведень в майбутньому в поєднанні з вже існуючими рішеннями в сферах автоматизації та візуалізації дозволить підвищити ефективність підприємств, якість продукції та умови праці робітників.

Загалом, модернізація та вдосконалення систем автоматизації є ключовим фактором для досягнення стійкого розвитку, та створення здорового конкурентоспроможного середовища між сучасними промисловими підприємствами.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Борисенко М. В. Автоматизація технологічних процесів у промисловості: навч. посіб. Київ : Техніка, 2016. 320 с.
2. Козлов В. Г., Лазаренко П. М. Промислова автоматизація: Системи керування та їх програмування : Харків : Фоліо, 2018. 384 с.
3. Мартиненко І. В. Сучасні методи та засоби автоматизації виробничих процесів : Львів : Новий Світ, 2019. 410 с.
4. Павленко О. М. Технології автоматизації виробничих процесів: від теорії до практики: Одеса : Чорномор'я, 2020. 356 с.
5. Ткаченко О. В., Довгополий А. Ю. Системи автоматизованого управління технологічними процесами : Дніпро : Пороги, 2017. 298 с.
6. Шевченко М. М. Автоматизація промислових процесів: теорія і практика : Харків: Ранок, 2021. 278 с.
7. Яковенко Л. М., Петров І. О. Промислові системи автоматизації: технології та засоби : Київ : Знання, 2022. 342 с.
8. Захарченко В. І., Гончарук С. П. Основи промислової автоматизації та робототехніки : Львів : Львівська Політехніка, 2015. 389 с.
9. Лісовий А. П. Автоматизація технологічних процесів: від теорії до практики : Харків : Промінь, 2023. 305 с.
10. Даниленко В. І. Системи автоматизації промислових процесів: інноваційні підходи та рішення : Київ: Мегаполіс, 2014. 280 с.
11. Савченко А. В. Сучасні методи автоматизації промислових процесів : Київ: Наукова Думка, 2015. 290 с.
12. Гончар О. П. Технології автоматизації та керування промисловими процесами : Львів : Палітра, 2018. 315 с.
13. Іванов С. М. Системи автоматичного керування виробничими процесами : Одеса : Астропринт, 2016. 265 с.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>		
					<i>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Квашук А.О.</i>				48	2
<i>Перевір.</i>		<i>Тронь В.В.</i>			<i>КНУ АКІТ-20</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
<i>Затвердив</i>		<i>Тронь В.В.</i>					

14. Кравченко Ю. Г. Основи проектування систем автоматизації технологічних процесів : Дніпро : Ліра, 2019. 340 с.
15. Михайленко П. О. Програмовані логічні контролери в системах автоматизації : Харків : Тім Пабліш, 2021. 300 с.
16. Поліщук Р. В. Автоматизація виробничих процесів: теорія та практика : Львів : Світ, 2020. 320 с.
17. Моркун Н. В., Маринич І. А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2019. 50 с.
18. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).
19. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).
20. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація)
21. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація).

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

