

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**

студента Яцюка Дмитра Степановича  
(ПІБ)

академічної групи 151М-19-1  
(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі  
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Бубліков А.В.			
розділів:				
Синтез системи керування	доц. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	ст. викл. Бойко О. О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
<b>Рецензент</b>				
<b>Нормоконтролер</b>	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро  
2020

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та  
інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Ткачов В.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Яцюку Д.С. академічної групи 151М-19-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 20.11.2020 № 965-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.10.20 – 07.10.20
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.10.20 – 15.10.20
Синтез системи керування	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	15.10.20 – 01.11.20
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.11.20 – 15.11.20
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та впровадження системи керування	15.11.20 – 25.11.20
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	25.11.20 – 07.12.20

Завдання видано \_\_\_\_\_ доц. Бублік В.В.  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 01.09.2020

Дата подання до атестаційної комісії 14.12.2020

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Яцюк Д.С.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 85 с., 43 рис., 6 табл., 3 додатки, 12 джерел.

Об'єкт дослідження: система автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі.

Мета роботи: підвищення якості процесу нагріву злитків у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі за рахунок вдосконалення автоматичного керування температурою у цій зоні.

Вдосконалення алгоритму автоматичного керування температурою забезпечується через визначення залежностей критеріїв якості роботи системи автоматичного керування від параметрів регулятора, та обґрунтування на їх основі ефективних налаштувань регулятора.

З урахуванням особливостей технологічного процесу, критеріями якості роботи системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі є час перехідного процесу на виході системи, максимальна частота коливань збурення, за умови якої можливе його відпрацювання системою керування з заданою точністю, та ступінь збігу керуючих сигналів на виході ПД-регулятора та регулятора оптимального за швидкодією.

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра отримані наступні результати:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі;
- проведений синтез системи автоматичного керування з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості роботи системи керування, та визначене ефективне налаштування регулятора температури на основі встановлених залежностей критеріїв якості роботи системи від параметрів регулятора;
- розроблене програмне забезпечення системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі.

МЕТОДИЧНА ПІЧ, ТЕМПЕРАТУРА, СИНТЕЗ, РЕГУЛЯТОР, ЛЮДИНО-МАШИНИЙ ІНТЕРФЕЙС

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень .....	6
Вступ .....	7
1 Стан питання та постановка завдання .....	9
1.1 Галузь промисловості .....	9
1.2 Технологічний процес .....	10
1.3 Об'єкт керування .....	13
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування .....	13
1.3.2 Структура об'єкту керування .....	15
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування .....	17
1.4 Структура системи керування .....	18
1.5 Формулювання завдань дослідження .....	20
1.6 Висновки до розділу .....	21
2 Теоретичний розділ .....	23
2.1 Модель системи автоматичного керування .....	23
2.2 Критерії якості функціонування системи керування .....	32
2.3 Висновки до розділу .....	33
3 Синтез та дослідження системи керування .....	35
3.1 Синтез системи автоматичного керування .....	35
3.2 Дослідження якості роботи системи автоматичного керування .....	40
3.3 Висновки до розділу .....	47
4 Експериментальний розділ .....	50
4.1 Цифрова модель об'єкта керування .....	50
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування .....	54
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса ...	56
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення .....	60
4.5 Висновки до розділу .....	61
5 Економічна частина .....	62
5.1 Розрахунок капітальних витрат .....	63

	5
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на утримання .....	67
5.3 Оцінка економічної ефективності .....	69
5.4 Висновки до розділу .....	70
6 Охорона праці та безпека надзвичайних ситуацій .....	71
6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів у робочому просторі трьох- зонної методичної печі .....	71
6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці .....	73
6.3 Розрахункова частина .....	77
6.4 Пожежна профілактика .....	79
6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях .....	80
Висновки .....	82
Перелік посилань .....	86
Додаток А Програмні модулі системи керування .....	88
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування .....	93
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу .....	98

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА  
ВИЗНАЧЕНЬ**

САК	– Система автоматичного керування;
ЛМІ	– Людино-машинний інтерфейс;
ПК	– Персональний комп'ютер;
ОР	– Регулятор оптимальний за швидкодією
ПЗ	– Програмне забезпечення
ОУ	– Об'єкт управління
ОК	– Об'єкт керування

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Металургійна промисловість є однією з провідних бюджетоутворюючих галузей української економіки, яка забезпечує значну частину валютних надходжень завдяки розвиненому експортному потенціалу. З оглядом на це слід звернути увагу на потенціал цієї галузі за умови підвищення ефективності її функціонування. Одним зі шляхів підвищення енергоефективності в чорній металургії, зокрема у прокатному виробництві, є впровадження ефективних алгоритмів автоматичного керування технологічними процесами та об'єктами на основі сучасних інформаційних технологій. Прокатний переділ займає друге місце після доменного виробництва за витратами енергії на виготовлення готової продукції, причому 95% припадає на газ і електроенергію. На нагрів заготовок за умови прокату в печах приходиться 60%, а безпосередньо на прокатку – 40% енерговитрат. В якості палива для нагрівальних печей використовується природний газ – 40%, коксовий газ – 30%, доменний газ – 25%, та 5% мазут.

Тому підвищення ефективності автоматичного керування температурою у зварювальній зоні методичної печі на основі дослідження законів та алгоритмів автоматичного керування температурою є дійсно актуальним науково-практичним завданням.

**Мета і задачі дослідження.** Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу нагріву злитків у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі за рахунок вдосконалення автоматичного керування температурою у цій зоні. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі є час перехідного процесу на виході системи, максимальна частота коливань збурення, за умови якої можливе його відпрацювання системою керування з заданою точністю, та ступінь збігу керуючих сигналів на виході ПІД-регулятора та регулятора оптимального за швидкодією.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі поставлені і вирішені такі наукові задачі:

- аналіз процесу автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі, у ході якого визначені причини незадовільної якості автоматичного керування температурою з використанням класичних законів автоматичного керування;
- визначення залежностей критеріїв якості роботи системи від параметрів регулятора та встановлення на їх основі умови ефективного налаштування ПД-регулятора температури.

**Об'єкт дослідження** – процес автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі.

**Предмет дослідження** – закони та алгоритми автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі.

**Методи дослідження.** Для дослідження системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі використані методи сучасної теорії автоматичного керування та системний аналіз. Дослідження проведені за допомогою обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання якості роботи синтезованої системи автоматичного керування здійснене на основі методів математичної статистики.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у наступному:

Встановлено, що досягнення оптимальних значень швидкодії системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі та максимальної частоти коливань збурення, при якій відбувається його відпрацювання системою керування, можливе за умови забезпечення наступного співвідношення складових ПД-регулятора: пропорційна – 4,8%, інтегральна – 0,04% та диференційна – 95,2% за умови коефіцієнту фільтра даної складової 0,07.



## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Галузь промисловості

Забезпечення безпеки розвитку стратегічно важливих галузей економіки є орієнтиром для формування базису сталого зростання держави. Металургійна промисловість є однією з провідних бюджетоутворюючих галузей української економіки, яка забезпечує значну частину валютних надходжень завдяки розвиненому експортному потенціалу. Наприклад, частка металургії у структурі українського товарного експорту у 2018 р. була на другому місці серед усіх галузей промисловості. У рейтингу топ-10 експортерів за версією українського видання Forbes шість з десяти компаній представляють саме металургію.

У структурі експорту металургійної продукції частка чорних металів досить значна та складала 46,1% у 2018 р. Це свідчить про сировинну орієнтацію українського експорту металургійної продукції. Взагалі, найвагомішою серед експортних товарних позицій у 2018 році були чорні метали – 21% від загального обсягу, або 9,9 млрд доларів (на 14,7% більше, ніж у 2017 році). На другому місці – зернові культури: 15,3% загальноукраїнського експорту у 2018 році, або 7,2 млрд доларів (на 11,4% більше, ніж у 2017 році). Машини, обладнання та механізми займають третю сходинку: 9,8% у структурі вітчизняного експорту за минулий рік, або 4,7 млрд доларів (на 8,9% більше, ніж у 2017 році).

З оглядом на це слід звернути увагу на потенціал галузі, що сформований не лише інфраструктурою металургійних підприємств, значними обсягами природних запасів сировини, а й можливостями підвищення ефективності її функціонування. За оцінками експертів Українського центру економічних і політичних досліджень ім. О. Разумкова, найбільші резерви підвищення енергоефективності в чорній металургії знаходяться у виробництві чавуну (зниження питомих витрат приблизно на 25%) та виробництві сталі (зниження питомих витрат приблизно на 70%). Причому перспективи інвестування лише у зниження енергоємності галузі становлять близько 200 млн грн.

Одним зі шляхів підвищення енергоефективності в чорній металургії, зокрема у прокатному виробництві, є впровадження ефективних алгоритмів автоматичного керування технологічними процесами та об'єктами на основі сучасних інформаційних технологій. Прокатний переділ займає друге місце після доменного виробництва за витратами енергії на виготовлення готової продукції, причому 95% припадає на газ і електроенергію. На нагрів заготовок за умови прокату в печах приходиться 60%, а безпосередньо на прокатку – 40% енерговитрат. В якості палива для нагрівальних печей використовується природний газ – 40%, коксовий газ – 30%, доменний газ – 25%, та 5% мазут.

Тому підвищення ефективності автоматичного керування температурою у зварювальній зоні методичної печі на основі дослідження законів та алгоритмів автоматичного керування температурою є дійсно актуальним науково-практичним завданням.

## **1.2 Технологічний процес**

У прокатних цехах закінчується цикл металургійного виробництва. Процес отримання готового прокатного виробу зазвичай розбивається на кілька етапів: спочатку злитки прокочують на великих обтискних і заготівельних станах, а потім для отримання готового профілю заготовки її передають на сортові, листопрокатні або спеціальні (колесопрокатні, трубопрокатні і ін.) стани.

Якість продукції та продуктивність прокатних станів в основному визначаються роботою нагрівальних печей, причому в більшості випадків помилки, що виникають при нагріванні металу, вже не можуть бути виправлені. Проявляючись на наступних переділах, ці помилки призводять до зниження виходу придатної продукції.

Нагрівальні печі прокатного виробництва призначені для нагріву злитків перед прокаткою на обтискних станах, а також нагріву заготовок (слябів і блюмів) – перед листовими і сортовими станами.

Будучи початковою ланкою технологічної лінії прокатного виробництва, нагрівальні печі в своїй роботі тісно пов'язані з ритмом роботи прокатного устаткування, і поряд з цим зберігають особливості, притаманні всім теплотехнічним агрегатам. Основний час печі працюють в перехідних режимах, що викликані зміною сортименту, марки заготовок та темпу їх видачі.

На основі технологічної схеми трьох-зонної методичної печі (рис.1.1), до складу якої входить зварювальна зона, розглянемо технологію розігріву заготовок за рахунок теплової енергії палива, що згоряє.

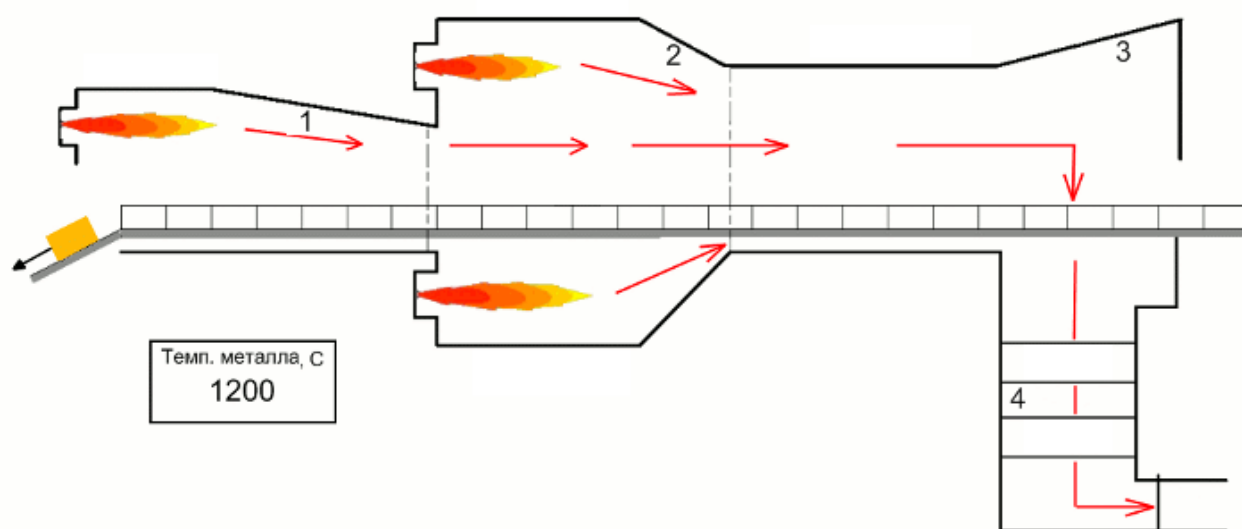


Рис. 1.1 – Нагрів металу в методичній печі: 1 – томильна зона; 2 – зварювальна зона; 3 – методична зона, 4 – керамічний та металевий рекуператори

Паливо у печі спалюють за допомогою пальників, розташованих над і під поверхнею металу. Димові гази двома потоками (верхнім і нижнім) рухаються уздовж робочого простору печі у напрямку, протилежному руху металу. Через димові канали продукти горіння видаляються в борів, і з нього через рекуператор і димову трубу – до атмосфери. Нагрітий метал через вікно видачі потрапляє на рольганг, і по ньому до стану. Перша (по ходу металу) зона (поз. 3 на рис.1.1) має непостійну за довжиною температуру, і є методичною зоною. Спалювання палива в цій зоні не проводиться. Друга (по ходу металу) зона

(поз. 2 на рис.1.1) є зоною високих температур або зварювальної зоною. Призначення цієї зони – швидке нагрівання поверхні заготовки до кінцевої температури, що становить 1150-1250 °С. Третя (по ходу металу) томильна зона (поз. 1 на рис.1.1) служить для вирівнювання температури за перетином металу та ліквідації холодних плям на нижній поверхні заготовок.

Для утилізації теплоти пічних газів застосовують малогабаритний регенератор (поз. 4 на рис.1.1). Такий регенератор має невеликі габарити і може встановлюватися в стінах печі, або в так званому регенеративному пальнику. Сучасні кулькові регенератори повертають в піч 85-90 % теплоти відхідних з печі газів. Температура підігрівання повітря приблизно на 100 °С нижче температури диму на виході з печі. При цьому витрата палива на піч скорочується в 1,5-2,0 разів.

Технологія прокатки пред'являє жорсткі вимоги до якості нагріву. Розподіл температур за перетином заготовки, що забезпечує необхідну пластичність металу, має бути досягнутий за певний час без надмірного перегріву поверхні металу. Нагрівальні пристрої повинні забезпечити кондиційне нагрівання металу в умовах змінного ритму роботи стану, а також при мінімальному витрачанні палива. Якість нагріву визначається обраним графіком нагріву металу (рис.1.2), тобто швидкістю і тривалістю нагрівання в кожній із зон печі. Кожному графіку нагріву відповідають кінцева температура поверхні металу, нерівномірність температур за перетином заготовки і величина угару металу. В сучасних методичних печах крива, що характеризує розподіл температур по довжині печі, круто піднімається на ділянці, що відповідає завантажувальній кінцевій частині печі, і стає пологою на ділянці, що відповідає високотемпературній зоні.

Дотримання такого графіка забезпечується високою температурою відхідних газів. Застосування його особливо доцільно при нагріванні товстих заготовок, оскільки теплопровідність металу зменшується з підвищенням його температури.

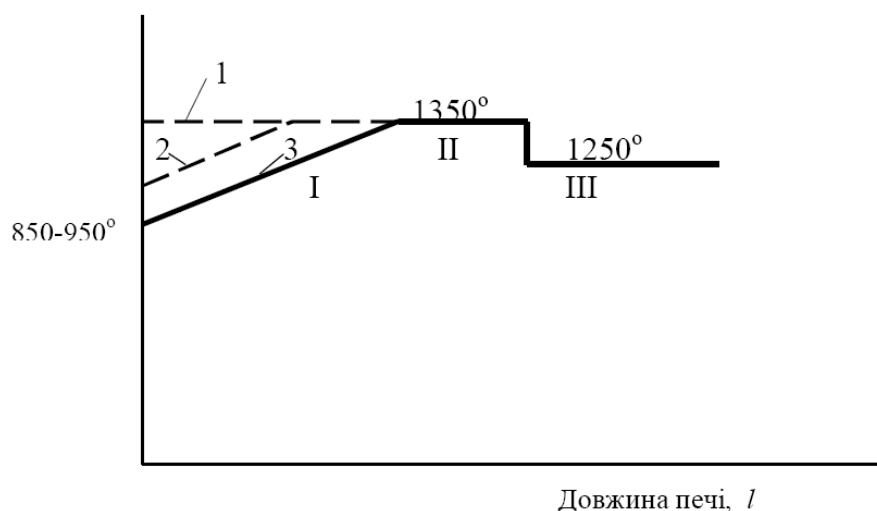


Рис. 1.2 – Температурний режим нагрівальних печей:

- I – методична зона; II – зварювальна зона; III – томильна зона;  
 1 – температура в печі; 2 – температура в печі якщо садка гаряча;  
 3 – температура заготовки, якщо садка гаряча

З підвищенням температури у зварювальній зоні трьох-зонних печей більшою мірою часто подовжується необхідний час витримки в томильній зоні, ніж скорочується час нагрівання в методичній та зварювальній зонах. Тому оптимальне значення температури зварювальної зони, відповідне нагріванню металу до заданих кондицій, відповідає, в першу чергу, заданій нерівномірності температур за перетином заготовки.

### 1.3 Об'єкт керування

Об'єктом управління у цій кваліфікаційній роботі є верхня зварювальна зона трьох-зонної методичної печі, що на рис.1.1 зображена позицією 2.

#### 1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Методичні полум'яні печі застосовують для нагрівання заготовок перед прокаткою на сортових і листових прокатних станах.

На рис.1.3 наведений зовнішній вигляд методичної печі.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд методичної печі

Технічні характеристики методичної печі наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики методичної печі

Параметри	Значення
Максимальна продуктивність методичної печі, т/год.	80
Довжина печі, м	24,8
Ширина печі, м	6,1
Теплотворність газу, що опалює томильну зону, кКал/м <sup>3</sup>	2200
Теплотворність мазуту, що опалює зварювальні верхню та нижню зони, кКал/л	9700
Питомі витрати палива, кг/т	45
Тиск у трубі подачі мазуту, кПа	2
Максимальні витрати мазуту у верхній зварювальній зоні, кг/хв	20

### 1.3.2 Структура об'єкту керування

Зробимо аналіз основних функціональних елементів методичної печі з позиції автоматичного управління її режимами роботи на основі рис. 1.4.

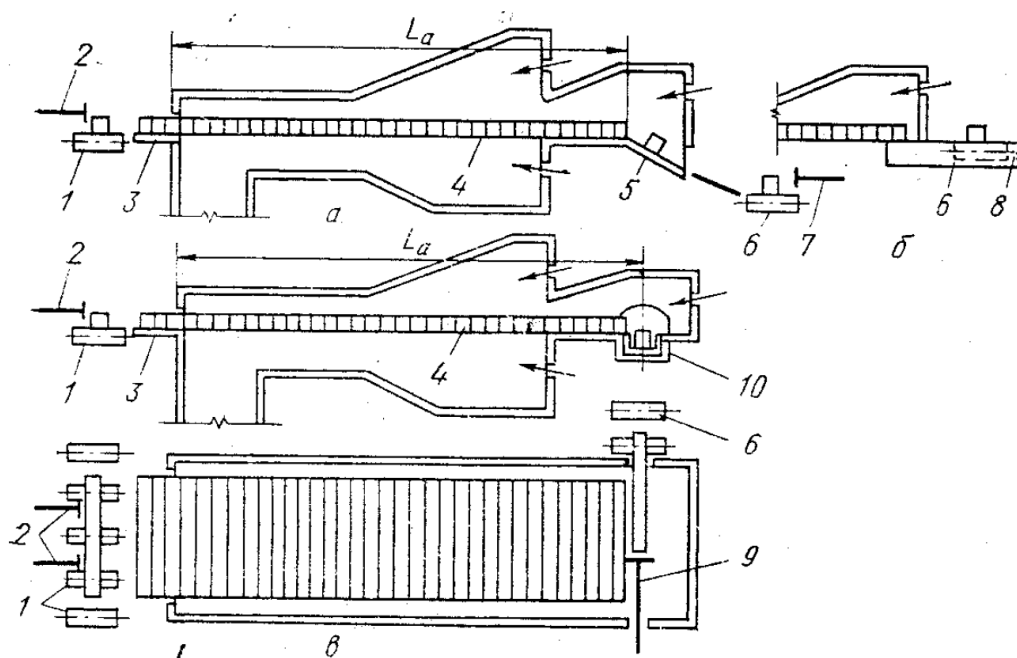


Рис. 1.4 – Схеми транспортування заготовок у методичних печах

Транспортування заготовок та їх підготовка до нагрівання механізовані (рис.1.4). На приймальні решітки методичних печей заготовки передаються мостовими кранами. З завантажувальних решіток заготовки подають на завантажувальний рольганг 1. Зупинку заготовки на рольгангу напроти штовхачів забезпечують упорами. Операції по завантаженню у піч, транспортуванню у процесі нагрівання й видачі нагрітих заготовок з печі механізовані. З завантажувального рольгангу заготовка штовхачем 2 зіштовхується на завантажувальний стіл 3. Зусилля штовхача (двох штовхачів) для випадку, коли под печі не механізований, розраховується із зусилля проштовхування усієї садки. Використовують наступні схеми вивантаження заготовок з печі. Нагріті заготовки 4 (рис.1.4,а) по одній скочуються похилою

площиною 5 і потрапляють на рольганг видачі 6. Для зменшення енергії падаючої заготовки встановлюється підпружистий упор 7.

Конструктивна схема трьох-зонної методичної печі показана на рис.1.5.

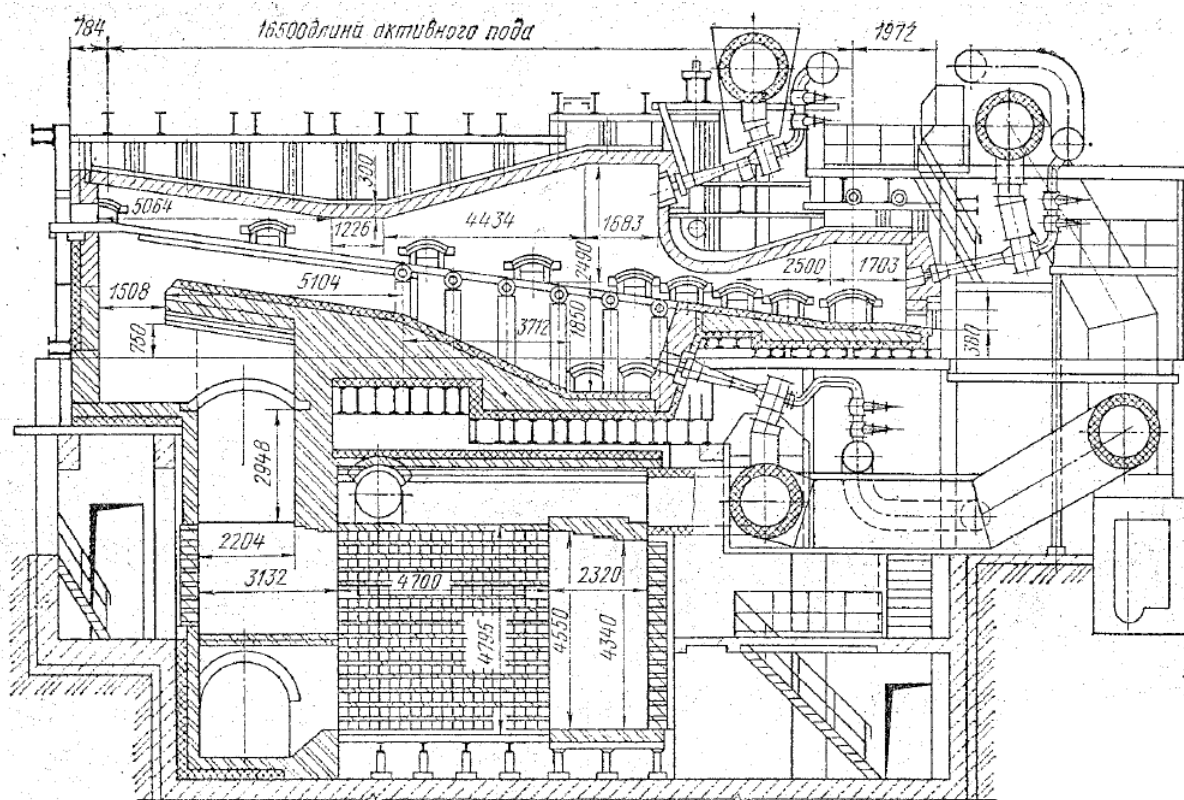


Рис. 1.5 – Конструктивна схема трьох-зонної методичної печі

У трьох-зонних методичних печах (рис.1.5) застосування інжекційних пальників на підігрітому до  $550^{\circ}\text{C}$  повітрі дозволяє найбільш раціонально використовувати хімічне тепло палива. Повітря для горіння всмоктується крізь розташований під пічню керамічний рекуператор із шамотних блоків і систему повітропроводів. Аеродинамічний опір шляху повітря долається за рахунок геометричного тиску підігрітого повітря, що рухається вгору крізь рекуператор й повітропроводи, а також внаслідок інжекційної дії пальників. Тому протічка повітря практично відсутня, а управління тепловим режимом можна автоматизувати.



Таким чином у випадку вирішення завдання автоматичного управління температурою у верхній зварювальній зоні методичної печі маємо об'єкт неперервного управління, де вхідною величиною є керуючий сигнал на блок керування мазутною форсункою, а вихідною – температура у верхній зварювальній зоні.

### 1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Методична піч з точки зору керування температурним режимом у зонах є дуже складним об'єктом автоматичного керування через велику кількість факторів, що впливають на тепловий баланс у зонах печі. З рис.1.6 видно, що на температуру у верхній зварювальній зоні, окрім процесу згоряння палива та витоку тепла з продуктами згоряння, впливають процеси, що відбуваються у методичній й томильній зонах, а також у рекуператорі. Тому можна зробити висновок, що у системі автоматичного управління температурою у верхній зварювальній зоні на виході об'єкта управління присутнє складне комплексне збурення (що отримуємо у результаті об'єднання усіх збурень), що впливає на температуру непередбачувано й випадковим чином.

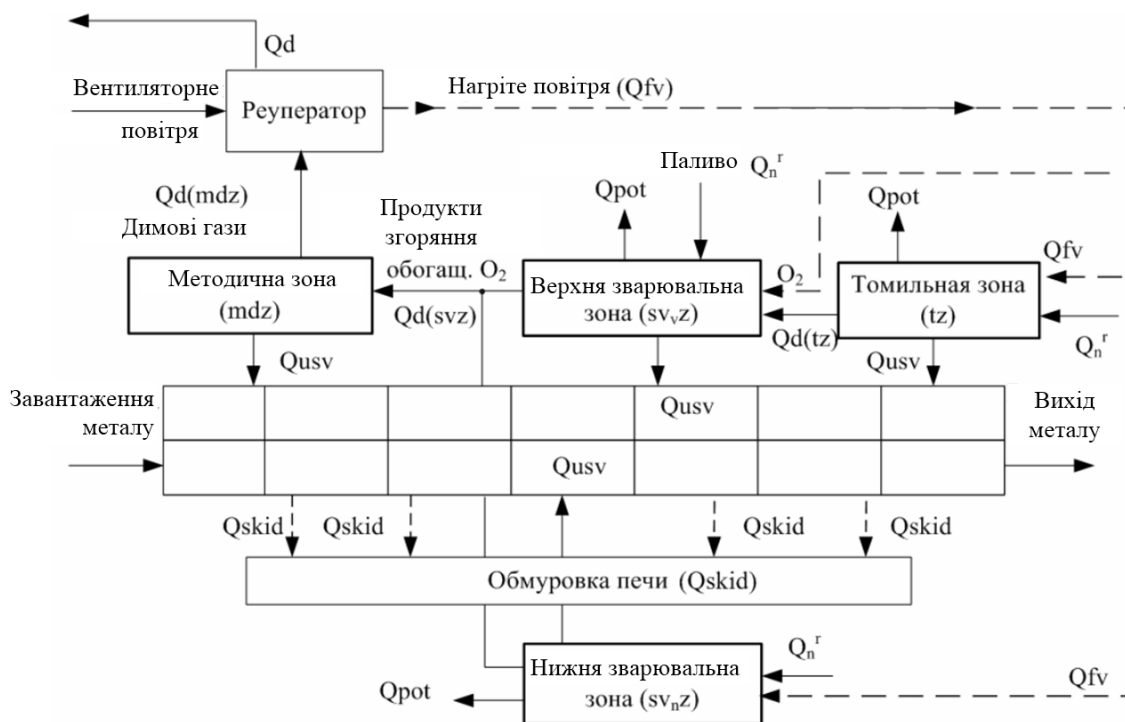


Рис. 1.6 – Схема теплового навантаження зон методичної печі

Крім того, відомо, що зміна продуктивності печі впливає на коефіцієнт передачі каналу керування за температурою.

Що стосується принципу функціонування об'єкта управління, то він, згідно з завданням стабілізації температури на заданому рівні (див. термограму на рис.1.2), дуже простий.

У разі зменшення температури у верхній зварювальній зоні нижче заданого рівня потрібно збільшувати кількість палива, що подається на мазутну форсунку. І навпаки – у разі перевищення температури у верхній зварювальній зоні заданого рівня потрібно зменшувати кількість палива, що подається на мазутну форсунку.

Зазначимо, що за умови автоматичного управління температурою у верхній зварювальній зоні методичної печі паралельно працюють дві локальні системи автоматичного управління, перша з яких забезпечує оптимальне відношення палива й повітря, а друга – постійний тиск у робочому просторі верхньої зварювальної зони печі.

#### 1.4 Структура системи керування

З урахуванням того, що для вирішення завдання автоматичного управління температурою у верхній зварювальній зоні методичної печі маємо об'єкт неперервного управління, де входною величиною є керуючий сигнал на блок керування мазутною форсункою, а вихідною – температура у верхній зварювальній зоні, розроблена структурна схема системи керування (рис.1.7).



Рисунок 1.7 – Структурна схема системи автоматичного керування

Величина керуючого сигналу подається на блок керування мазутною форсункою, що забезпечує необхідне положення клапана. Зміна керуючого сигналу як відносної нормованої величини здійснюється в діапазоні від 0 до 100%, де 0% відповідає закритому клапану і відсутності подачі мазуту, а 100% – повністю відкритому клапану і максимальному вприскуванню мазуту, що становить 20 кг/хв. Вихідним параметром об'єкта управління є температура у зварювальній зоні трьох-зонної печі, яка становить 1150-1250 °С.

Основним завданням розробленої системи керування є підтримання температури у зварювальній зоні трьох-зонної печі на рівні 1150-1250 °С, в залежності від технологічної карти процесу.

Виходячи з цього, система автоматичного керування повинна включати: датчик вимірювання температури у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі, клапана, що регулює кількість вприскуваного мазуту, пристрій управління, що задає положення клапана на підставі виміряного значення температури і пульт оператора, за допомогою якого задається режим роботи системи (рис. 1.7). Усі ці технічні засоби автоматизації обґрунтовані у кваліфікаційній роботі при розробці апаратного забезпечення системи керування. Також у кваліфікаційній роботі бакалавра розроблена схема електрична принципова системи автоматичного керування.

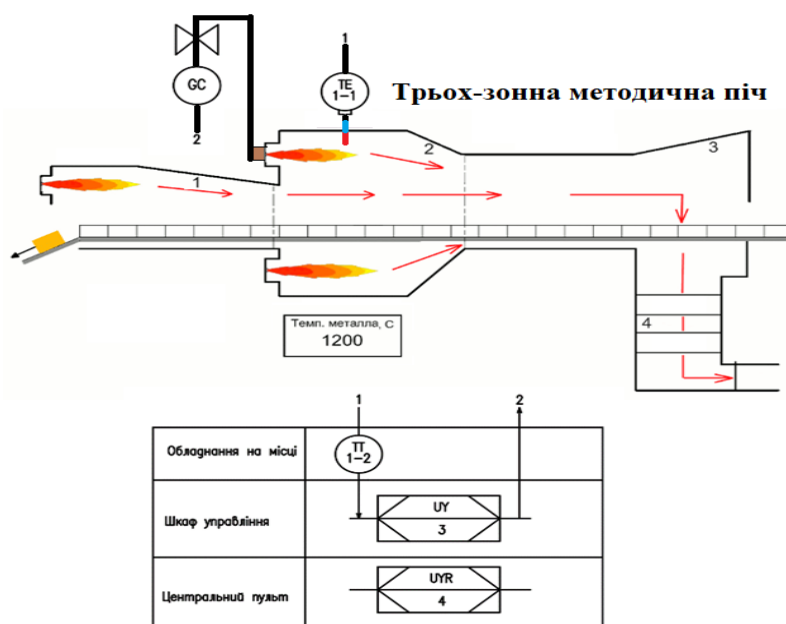


Рисунок 1.8 – Функціональна схема автоматизації системи керування

Відповідно до вимог до системи керування, завданням керування є підтримка температури під зводом у зварювальній зоні трьох-зонної печі на рівні 1150-1250 °С. З урахуванням цього, у кваліфікаційній роботі бакалавра розроблена функціональна схема автоматизації, що наведена на рис. 1.8.

Як пристрій управління використовується програмований логічний контролер (UY 3 - VIPA 214-2BE03). Дані програмованого логічного контролера про протікання технологічного процесу візуалізують на пульті оператора (UYR 4 - персональний комп'ютер).

Температура температури під зводом у зварювальній зоні трьох-зонної печі вимірюється за допомогою датчика температури (TE 1-1 - ТПР-В-1-29-В-1,8) і перетворюється в струм 4-20 мА нормуючим перетворювачем (ТТ 1-2). Контролер на підставі значення температури розраховує кількість мазуту, який необхідно подати в пальник.

### **1.5 Формулювання завдань дослідження**

Для досягнення основної мети – забезпечення оптимальних значень обґрунтованих критеріїв якості роботи системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі, необхідно виконати наступні завдання дослідження:

- для проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі;

- обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та визначених критеріїв якості роботи системи, та згідно з ним провести розрахунок регулятора температури у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі;

- виконати дослідження залежності критеріїв якості роботи синтезованої системи автоматичного керування від співвідношення складових регулятора, та на основі порівняльного аналізу результатів досліджень визначити умову

ефективної настройки ПІД-регулятора температури у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі.

## **1.6 Висновки по розділу**

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – трьох-зонна методична піч. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування печі, завданням керування якої є забезпечення заданого рівня температури у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі. Предметом дослідження є закони автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі.

Методична піч з точки зору керування температурним режимом у її зонах є складним об'єктом автоматизації через велику кількість факторів, що впливають на тепловий баланс у зонах печі. На температуру у верхній зварювальній зоні, окрім процесу згоряння палива та витоку тепла з продуктами згоряння, впливають процеси, що відбуваються у методичній й томильній зонах, а також у рекуператорі. Тому можна зробити висновок, що у системі автоматичного управління температурою у верхній зварювальній зоні на виході об'єкта управління присутнє складне комплексне збурення (що отримуємо у результаті об'єднання усіх збурень), що впливає на температуру непередбачувано й випадковим чином.

З урахуванням цього, головними критеріями якості роботи системи є швидкодія відпрацювання нею збурюючого впливу як східчастого характеру, так і змінного у часі непередбачуваним чином.

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (керуючий сигнал на блок керування мазутною форсункою) та одним керованим виходом (температура у верхній зварювальній зоні), але складний характер теплообмінних процесів у зонах печі призводить до “плавання” параметрів передаточної функції об'єкта керування, що робить його складним для керування.

Отже, необхідно провести дослідження впливу різних настройок регулятора температури у верхній зварювальній зоні печі на критерії якості роботи скоригованої системи автоматичного керування з урахуванням нестационарності параметрів передаточної функції об'єкта керування. Дослідження дозволять визначити умову ефективної настройки регулятора температури, а також встановити область раціональної роботи скоригованої системи автоматичного керування в умовах непередбачуваного характеру впливу збурення.

## 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Модель системи автоматичного керування

У рамках виконання кваліфікаційної роботи бакалавра здійснені структурна та параметрична ідентифікації моделі об'єкта керування з використанням спеціалізованих комп'ютерних інструментів. Були розглянуті чотири варіанти передавальної функції при параметричній оптимізації її невідомих параметрів. Проведено по черзі параметричну оптимізацію всіх чотирьох варіантів передавальної функції об'єкта керування шляхом завдання у вікні «Model Transfer Function» додатку «System Identification Tool» пакету MATLAB відповідних видів передавальної функції, а також вказуючи наявність нуля (пункт Zero на рис.2.1) і кількість полюсів (пункт Poles).



Рисунок 2.1 – Вікно налаштувань додатку ідентифікації «Process Models»

На рис.2.1 показані налаштування вікна додатка «Process Models» для всіх варіантів передавальної функції об'єкта керування.

Відзначимо, що, згідно з підсумками структурної ідентифікації в підрозділі 3.2 кваліфікаційної роботи бакалавра, обирається присутність транспортної затримки (пункт Delay).

На рис.2.2 показані графіки моделей за всіма чотирма варіантами передавальної функції об'єкта керування разом з експериментальною кривою розгону. В поле «Best Fits» на рис.2.2 у процентному відношенні показаний рівень збіжності графіків моделей з експериментальною кривою розгону у вигляді нормованого кореня середньоквадратичної помилки (ідеальна збіжність дорівнює 100%).

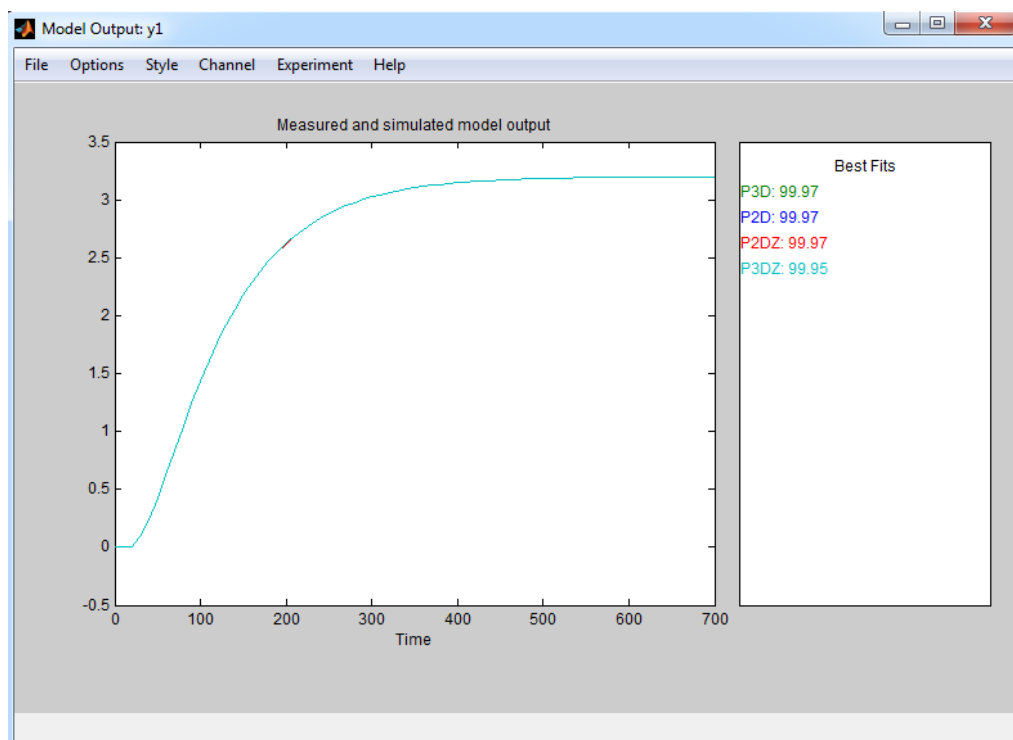


Рисунок 2.2 – Графіки експериментальної кривої розгону та моделей об'єкта керування

На рис.2.2. перший варіант передавальної функції відповідає імені "P2D", другий – "P3D", третій – "P2DZ" і четвертий – "P3DZ". Ми бачимо, що перші



три варіанти показали практично ідеальну збіжність з експериментальною кривою розгону. Однак при цьому у варіанті "P3D" третя постійна часу знаменника передавальної функції є суттєво меншою за інші, тобто фактично нею можна знехтувати (рис.2.1). Теж саме можна сказати про постійну часу чисельника передавальної функції у варіанті "P2DZ". Четвертий варіант показав трохи меншу збіжність з експериментальною кривою розгону, тому він відкидається.

Отже, на основі аналізу рис.2.1 і рис.2.2 можна зробити висновок, що передавальна функція об'єкта керування не має нулів і має два дійсних полюса. Коефіцієнт підсилення при цьому дорівнює 0,08, перша постійна часу дорівнює 83,6044 с, а друга – 32,6162 с. Транспортне запізнення дорівнює 16,28 с.

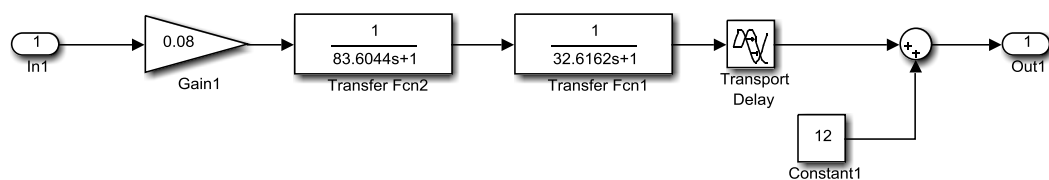


Рис. 2.3 – Структурна схема моделі об'єкта керування за керуючим впливом

Таким чином, з урахуванням знайдених параметрів, а також початкових значень керуючого впливу і керованої величини, модель об'єкта керування за керуючим впливом у додатку Simulink програми MATLAB буде виглядати як на рис.2.3.

З урахуванням технічних характеристик датчика температури та виконавчого пристрою системи керування, що наведені у другому розділі кваліфікаційної роботи бакалавра, створена модель системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі (рис.2.4). Через те, що керуючим сигналом є команда на контролер блоку керування виконавчого пристрою, його можна нормувати до діапазону від 0 до 100%. Отже, з урахуванням того, що 4 мА на виході датчика відповідає 1000 °С,

а 20 мА – 1800 °С, а при максимальному відкритті клапана форсунки спостерігається 1500 °С, коефіцієнт підсилення за каналом керування буде:

$$K = \frac{20 - 4}{1800 - 1000} = 0,02.$$

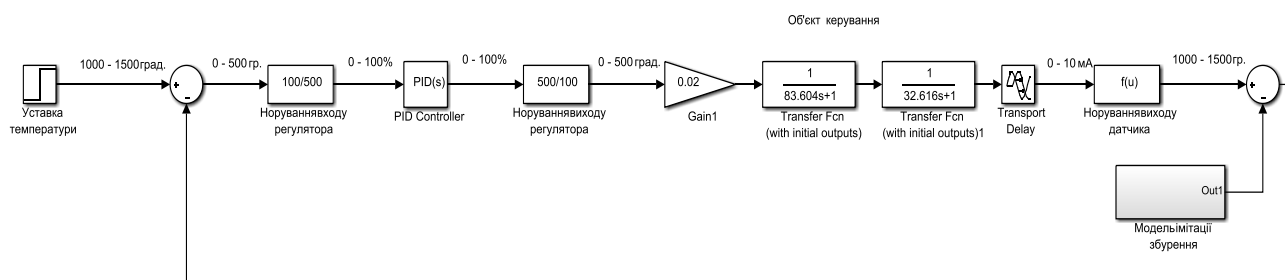


Рисунок 2.4 – Структура моделі системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі у додатку Simulink програми MATLAB

У моделі системи автоматичного керування на рис.2.4 відбувається нормування вхідного та вихідного сигналів ПІД-регулятора до діапазону від 0 до 100% з метою полегшення аналізу відношення ваг складових регулятора та підсилення вихідного сигналу регулятора у цілому. Для цього у модель системи керування введені блок «Нормування входу регулятора» з коефіцієнтом підсилення 100/500, щоб перейти від діапазону від 0 до 500 °С до діапазону від 0 до 100%, а також блок «Нормування виходу регулятора» з коефіцієнтом підсилення 500/100, щоб здійснити зворотний перехід.

Ідентифікована модель об'єкта керування реалізована на основі блоків «Transfer Fcn» та «Transport Delay» на рис.2.4.

Датчик температури прийнятий безінерційним елементом системи керування, та з урахуванням його технічних характеристик (вимірює температуру у діапазоні від 1000 до 1800 °С, маючи при цьому струмовий

вихідний сигнал від 4 до 20 мА) вихідний сигнал блоку, який імітує датчик, розраховується за формулою:

$$X_{вих.дат} = 1000 + X_{вх.дат} \cdot \frac{500}{10}.$$

Регулятор температури у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі імітується за допомогою блоку PID-Controller (рис.2.4), який є вбудованим у Simulink інструментом для реалізації настройки ПІД-регулятора.

Настройка ПІД-регулятора у наступному розділі буде відбуватися для східчастого сигналу уставки, тому блоком генерування сигналу уставки температури є джерело східчастого сигналу на рис.2.4.

Крім того, у моделі є підсистема для імітації зміни у часі збурення на систему керування, яке обґрунтоване та описане у першому розділі. Фактично збуренням є складний сигнал з випадковою амплітудою та періодом коливань, які описуються нормальним законом розподілу. Аналіз експериментальних статистичних характеристик збурення для цієї системи керування у джерелах дозволив встановити наступні його параметри: математичне очікування зміни періоду коливань 23 с, середньоквадратичне відхилення при цьому складає 4,5 с; середньоквадратичне відхилення зміни амплітуди – 55 °С.

З урахуванням зазначених параметрів випадкового сигналу у якості збурення на систему керування створений генератор сигналу з випадковою амплітудою та періодом коливань (рис.2.5).

У моделі імітації збурення на початку створюється східчастий сигнал, що є квантованим як по рівню (амплітудою), так і за часом. Сигнал створюється у блоці «Збурення» на рис.2.5, в якому реалізована S-функція на мові програмування пакету MATLAB «Zburennja» (її код наведений нижче). Далі відбувається лінійна інтерполяція випадкового східчастого сигналу за формулою:

$$y_i = y_{non} + \frac{y_{nom} - y_{non}}{T_{nep}(V_n)} \cdot t_i, \quad (2.1)$$

де  $y_i$  – поточне значення випадкового сигналу при його лінійній інтерполяції;  
 $y_{non}$  – попереднє значення східчастого випадкового сигналу;  $y_{nom}$  – поточне значення східчастого випадкового сигналу;  $t_i$  – поточний час, для якого розраховується  $y_i$ .

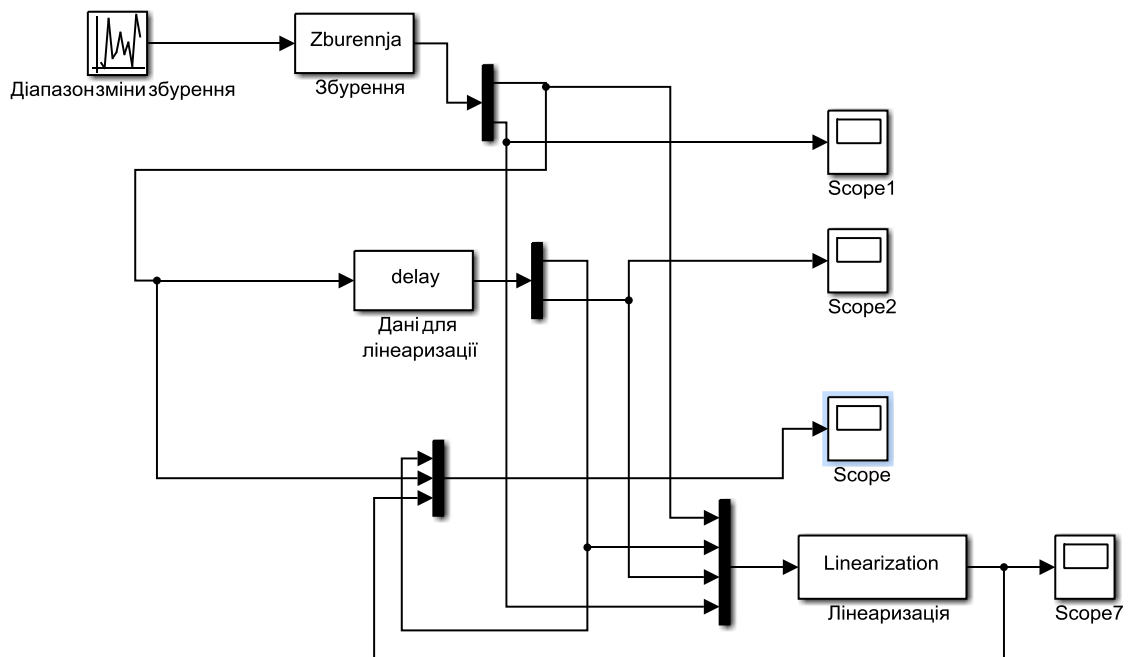


Рисунок 2.5 – Схема моделі імітації зміни у часі збурення на систему автоматичного керування

Програма 2.1 – Створення східчастого збурюючого впливу на систему керування

```
function [sys,x0,str,ts] = Zburennja(t,x,u,flag)
switch flag,
case 0
[sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
case 2
sys = mdlUpdate(t,x,u);
case 3
sys = mdlOutputs(t,x,u);
case 4
```

```

    sys = mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u);
case { 1, 9 }
    sys = [];
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 1;
sizes.NumOutputs = 2;
sizes.NumInputs = 1;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [23];
str = [];
ts = [-2 0];
function sys = mdlUpdate(t,x,u)
sys=normrnd(23,4.5);
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
sys(1) =u(1);
sys(2) = x(1);
function sys = mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u)
sys = t + x(1);

```

Для визначення параметрів рівняння (2.1) створена S-функція на мові програмування пакету MATLAB «delay» (її код наведений нижче).

Програма 2.2 – Визначення входних параметрів для алгоритму лінійної інтерполяції випадкового збурюючого впливу на систему керування

```

function [sys,x0,str,ts] = delay(t,x,u,flag)
switch flag,
case 0
    [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
case 2
    sys = mdlUpdate(t,x,u);
case 3
    sys = mdlOutputs(t,x,u);
case { 1, 4, 9 }
    sys = [];
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;

```

```

sizes.NumDiscStates = 3;
sizes.NumOutputs    = 2;
sizes.NumInputs     = 1;
sizes.DirFeedthrough = 0;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [0 0 0];
str = [];
ts = [0.1 0];
function sys = mdlUpdate(t,x,u)
if (x(2)==u(1))
    sys = [x(1) x(2) x(3)+0.1];
else
    sys = [x(2) u(1) 0];
end
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
sys = [x(1) x(3)];

```

А саму лінійну інтерполяцію реалізує створена S-функція на мові програмування пакету MATLAB «Linearization» (її код наведений нижче).

### Програма 2.3 – Лінійна інтерполяція східчастого збурюючого впливу на систему автоматичного керування

```

function [sys,x0,str,ts] = Linearization(t,x,u,flag)
switch flag,
case 0
    [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
case 2
    sys = mdlUpdate(t,x,u);
case 3
    sys = mdlOutputs(t,x,u);
case { 1, 4, 9 }
    sys = [];
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 2;
sizes.NumOutputs    = 1;
sizes.NumInputs     = 4;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [0 0];
str = [];

```

```

ts = [0.1 0];
function sys = mdlUpdate(t,x,u)
sys = [x(2) u(2)+(((u(1)-u(2))*u(3))/u(4))];
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
if (abs(x(1)-x(2))>7)
    sys = u(2);
else
    sys = x(2);
end

```

На рис.2.6 показаний результат роботи моделі імітації зміни у часі збурюючого впливу на систему автоматичного керування.

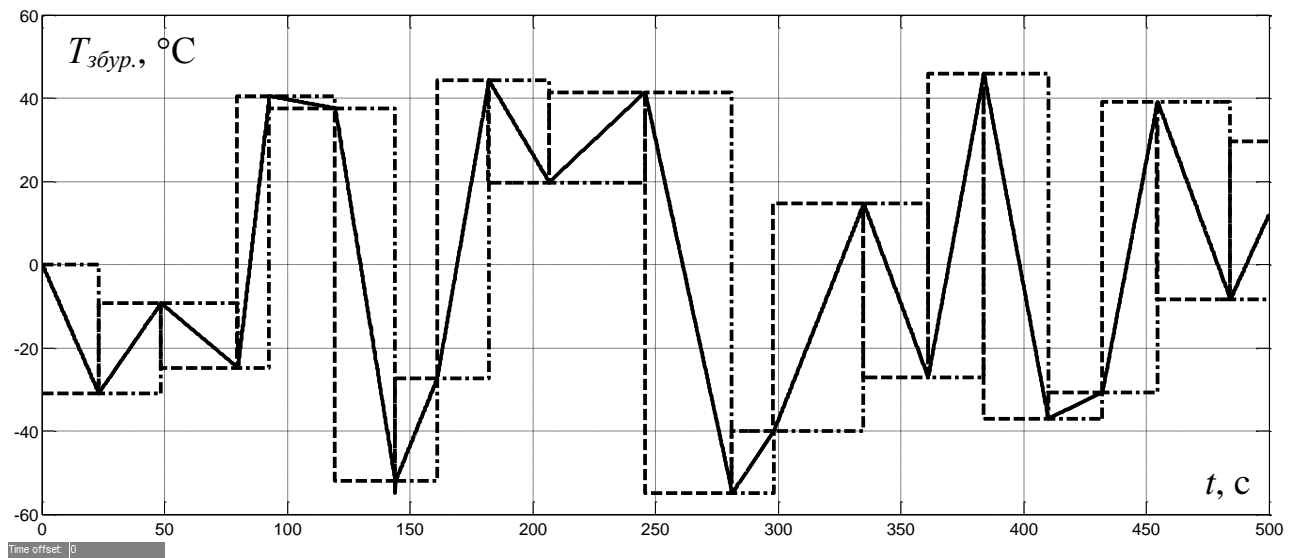


Рисунок 2.6 – Зміна у часі східчастого збурюючого сигналу (пунктирна лінія), східчастого збурюючого сигналу, зміщеного на один період назад (штрих-пунктирна лінія) та збурюючого сигналу після лінійної інтерполяції (суцільна лінія)

Рисунок 2.6 підтверджує коректність лінійної інтерполяції східчастого збурюючого впливу, що має випадкову зміну кроку квантування як за рівнем, так і за часом, – ми бачимо, що суцільна лінія проходить через кути сходів східчастого збурюючого впливу.

## 2.2 Критерії якості функціонування системи керування

З опису завдання керування системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі у першому розділі можна зробити висновок, що система постійно працює у режимі стабілізації температури у верхній зварювальній зоні на заданому рівні 1350 °С за умови дії збурення, що має складний та непередбачуваний характер.

Перехідний процес на виході системи автоматичного керування за умови відпрацювання нею збурення відрізняється від перехідного процесу при відпрацюванні системою зміни уставки (рис.2.7). З урахуванням цього, прийmemo критерії якості роботи системи автоматичного керування саме для режиму компенсації нею впливу збурення.

На основі рис. 2.7 розглянемо основні показники якості перехідного процесу:

- максимальне відхилення керованої величини від уставки ( $A_{max}$  на рис.2.7);
- величина максимального перерегулювання ( $A_{пер}$  на рис.2.7).

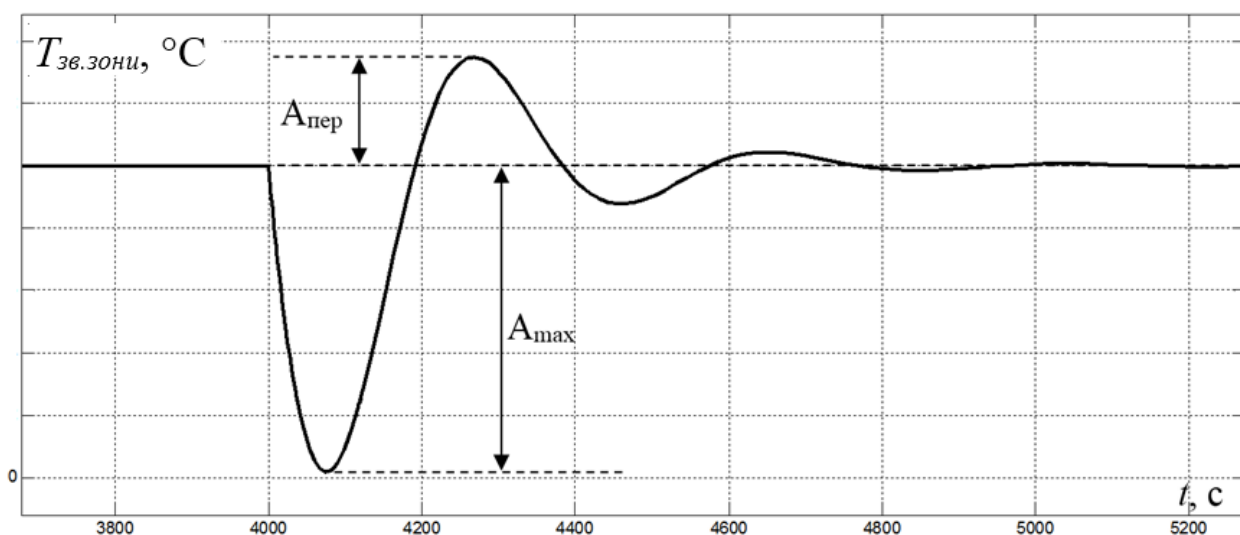


Рисунок 2.7 – Перехідний процес на виході скоригованої системи автоматичного керування при відпрацюванні східчастого збурюючого впливу



З оглядом на завдання керування системи автоматичного керування та на результати аналізу у першому розділі методичної печі як об'єкта автоматизації, при відпрацюванні системою збурення прийняті наступні критерії якості перехідного процесу:

- максимальне відхилення керованої величини від уставки  $A_{max}$  (рис.2.7) не повинно перевищувати рівень 5%;
- величина максимального перерегулювання  $A_{пер}$  з оглядом на перший критерій не повинна перевищувати рівень 2,5%;
- час повернення керованої величини у діапазон зміни значень  $\pm 2,5\%$  від заданого значення повинен бути якомога менше;
- запаси стійкості САК за амплітудою та фазою повинні бути, відповідно, не менше 8 Дб та 40 град.

### 2.3 Висновки по розділу

1. За результатами структурної та параметричної ідентифікації об'єкта керування визначена динамічна модель за каналом “керуючий сигнал – керована величина”. Модель за каналом “керуючий сигнал – керована величина” складається з двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з постійними часу 83,6044 с та друга 32,6162 с, а також ланки транспортного запізнення, що дорівнює 16,28 с. За цим каналом статична характеристика є лінійною з коефіцієнтом передачі 0,02.

2. Аналіз у джерелах експериментальних статистичних характеристик збурення для системи керування температурою у верхній зварювальній зоні методичної печі дозволив встановити наступні його параметри: математичне очікування зміни періоду коливань становить 23 с, середньоквадратичне відхилення при цьому складає 4,5 с, а середньоквадратичне відхилення зміни амплітуди – 55 °С. З урахуванням зазначених параметрів випадкового сигналу у якості збурення на систему керування створений генератор сигналу з випадковою амплітудою та періодом коливань. У моделі імітації збурення на

початку створюється східчастий сигнал, що є квантованим як по рівню (амплітудою), так і за часом, а потім відбувається його лінійна інтерполяція.

3. З оглядом на завдання керування системи автоматичного керування та на результати аналізу у першому розділі методичної печі як об'єкта автоматизації, при відпрацюванні системою збурення прийняті наступні критерії якості перехідного процесу:

– максимальне відхилення керованої величини від уставки  $A_{max}$  (рис.2.7) не повинно перевищувати рівень 5%;

– величина максимального перерегулювання  $A_{пер}$  з оглядом на перший критерій не повинна перевищувати рівень 2,5%;

– час повернення керованої величини у діапазон зміни значень  $\pm 2,5\%$  від заданого значення повинен бути якомога менше;

– запаси стійкості САК за амплітудою та фазою повинні бути, відповідно, не менше 8 Дб та 40 град.

## 3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 3.1 Синтез системи автоматичного керування

На основі імітаційної моделі системи автоматичного керування, що розроблена у підрозділі 2.1, проведемо синтез системи, але спочатку здійснимо дослідження впливу динамічних властивостей системи автоматичного керування положенням заслінки у газопроводі методичної печі на перехідний процес системи керування температурою у верхній зварювальній зоні. САК положенням заслінки у газопроводі фактично є системою, що підпорядкована системі керування температурою та відіграє роль виконавчого пристрою для синтезованої системи. Але, якщо САК положенням заслінки у газопроводі практично не впливає на перехідний процес на виході системи керування температурою у верхній зварювальній зоні, її можна прийняти просто підсилювальною ланкою.

Для проведення дослідження створена імітаційна модель САК положенням заслінки у газопроводі методичної печі (рис.3.1).

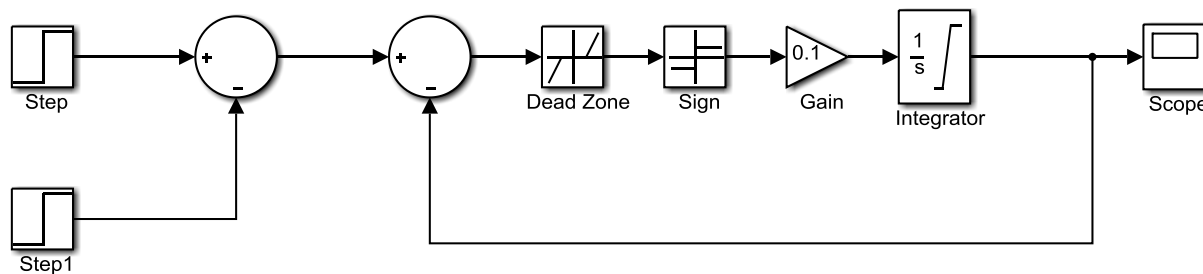


Рисунок 3.1 – Схема моделі системи автоматичного керування положенням заслінки у газопроводі

На рис.3.1 процес повороту заслінки імітується за допомогою інтегратора (блок «Integrator»). Оскільки привод заслінки є нерегульованим, то маємо тільки одну швидкість повертання заслінки, що задається блоком «Gain» таким чином, щоб час повороту заслінки з одного крайнього положення до іншого дорівнював 10 с (взято з технічних характеристик приводу). Регулятор заслінки

є релейним та двопозиційним, й реалізований на основі блоків «Dead Zone» та «Sign».

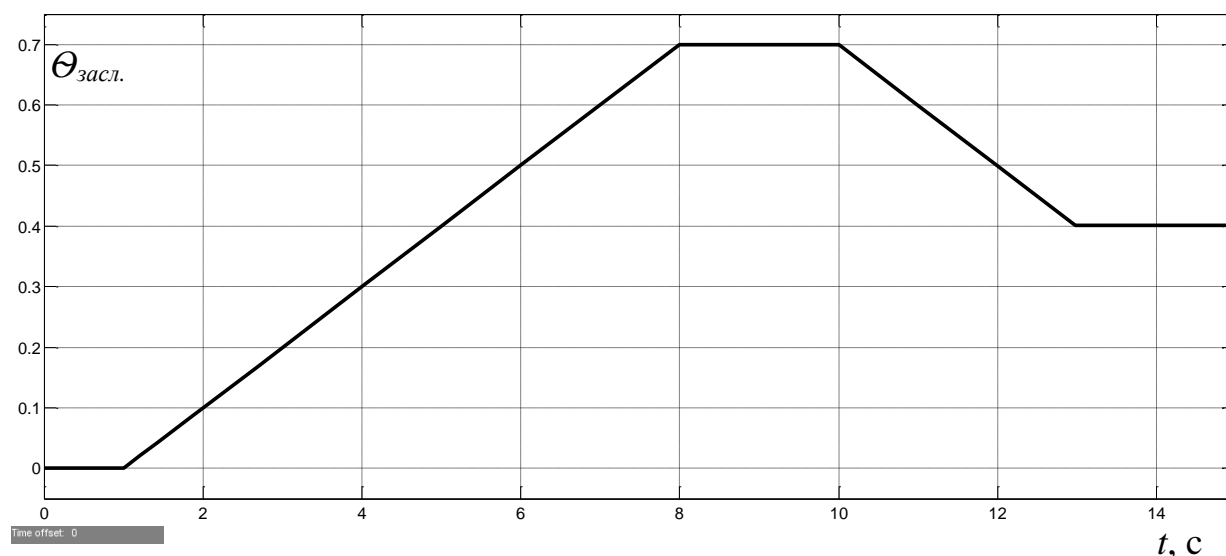


Рисунок 3.2 – Зміна у часі відносної величини повертання заслінки у газопроводі методичної печі

Перевірка правильності роботи САК положенням заслінки підтвердила коректність створеної імітаційної моделі – з рис.3.2 ми бачимо, що з початкового положення до положення 70% від максимального переміщення заслінка повертається за 7 с, а з положення 70% до 40% – за 3 с, що відповідає технічним характеристикам приводу.

Тепер поєднаємо результати моделювання процесу зміни температури у верхній зварювальній зоні для випадків врахування інерційності повертання заслінки (з присутністю САК її положенням), та відсутності врахування. Для цього створена відповідна схема у додатку Simulink (рис.3.2).

З аналізу результатів моделювання на рис.3.3 видно, що графіки зміни температури є дуже близькими, але для більш точного аналізу їх збігу обчислена нормована середньоквадратична величина відхилення точок цих графіків, яка показала дуже високий рівень збігу:

```
>> goodnessOfFit(T_bez_zasl,T_s_zasl,'NRMSE')
```

```
ans =
```

```
0.960714933290949
```

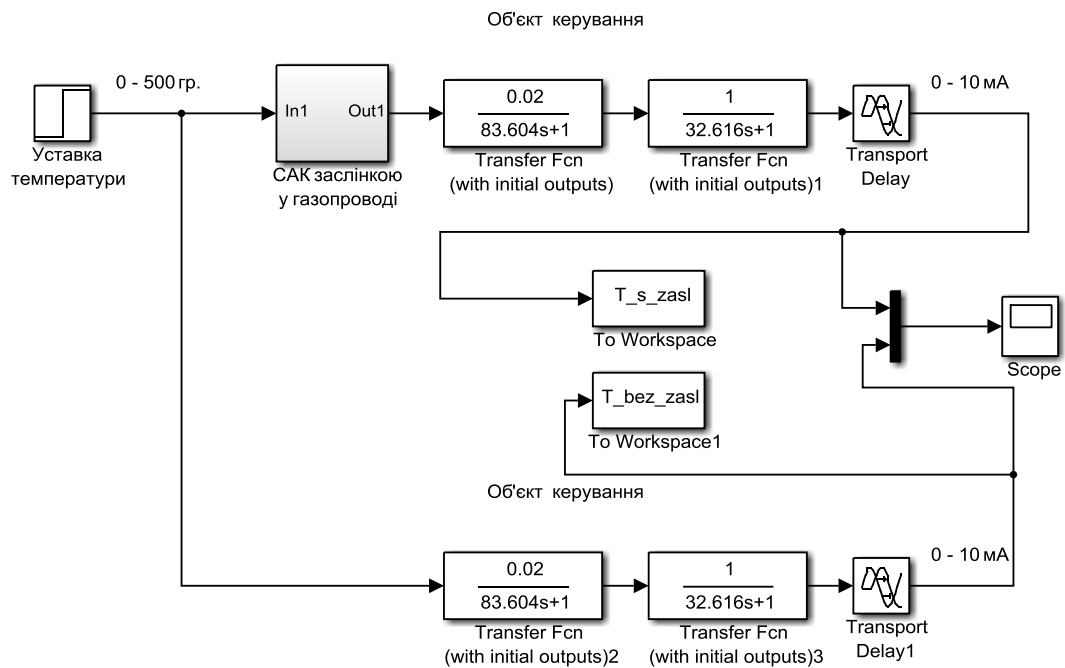


Рисунок 3.3 – Схеми моделей об'єктів керування з САК положенням заслінки у газопроводі та без неї

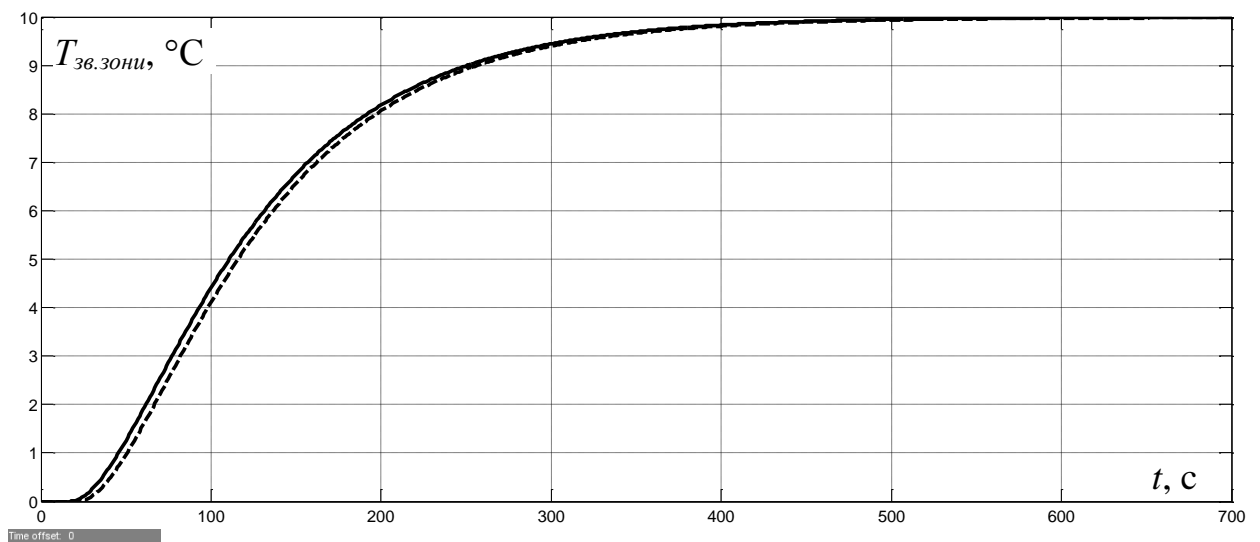


Рисунок 3.4 – Зміна у часі температури верхньої зварювальної зони методичної печі з урахуванням динамічних властивостей САК положенням заслінки у газопроводі (пунктирна лінія) та без врахування (суцільна лінія)

З урахуванням того, що введення у модель системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні підпорядкованої системи автоматичного керування положенням заслінки з нерегульованим приводом призводить до незначного відхилення графіків перехідного процесу на виході синтезованої системи керування (рівень збігу графіків для випадків врахування інерційності повороту заслінки та відсутності врахування становить 96,07%), можна зробити висновок щодо прийнятності прийняття системи автоматичного керування положенням заслінки за підсилювальну ланкою з коефіцієнтом підсилення одиниця.

За умови синтезу САК температурою у верхній зварювальній зоні печі скористаємося спеціальним інструментом блоку «PID Controller», який дозволяє автоматично отримувати різні настройки регулятора з одночасним відображенням критеріїв якості роботи системи. Але, через відносну складність моделі об'єкта керування та некоректну її лінеаризацію, цей інструмент не завжди правильно відображає критерії якості роботи САК, а також не завжди пропонує оптимальне налаштування регулятора. З урахуванням цього, потрібно дослідити залежність критеріїв якості роботи САК, отримані за умови обчислювального експерименту, від різних настройок регулятора, що пропонує інструмент «PID tuning tool».

Різні настройки регулятора на основі комп'ютеризованого методу синтезу САК будемо задавати через завдання різного рівня швидкодії системи керування, який визначає повзунок «Response Time» інструмент «PID tuning tool» (рис.3.6). Але перед цим задаймо настройки ПІД-регулятора, врахувавши обмеження щодо керуючого сигналу від 0 до 100%, та увімкнувши захист від перенасичення інтегруючої складової регулятора (рис.3.5).

Нижче продемонстрований приклад отримання першої настройки ПІД-регулятора на основі інструменту «PID tuning tool» для найнижчого показника швидкодії системи автоматичного керування (з рис.3.6 видно, що повзунок «Response Time» знаходиться у крайньому лівому положенні, яке відповідає найнижчій швидкодії системи керування).

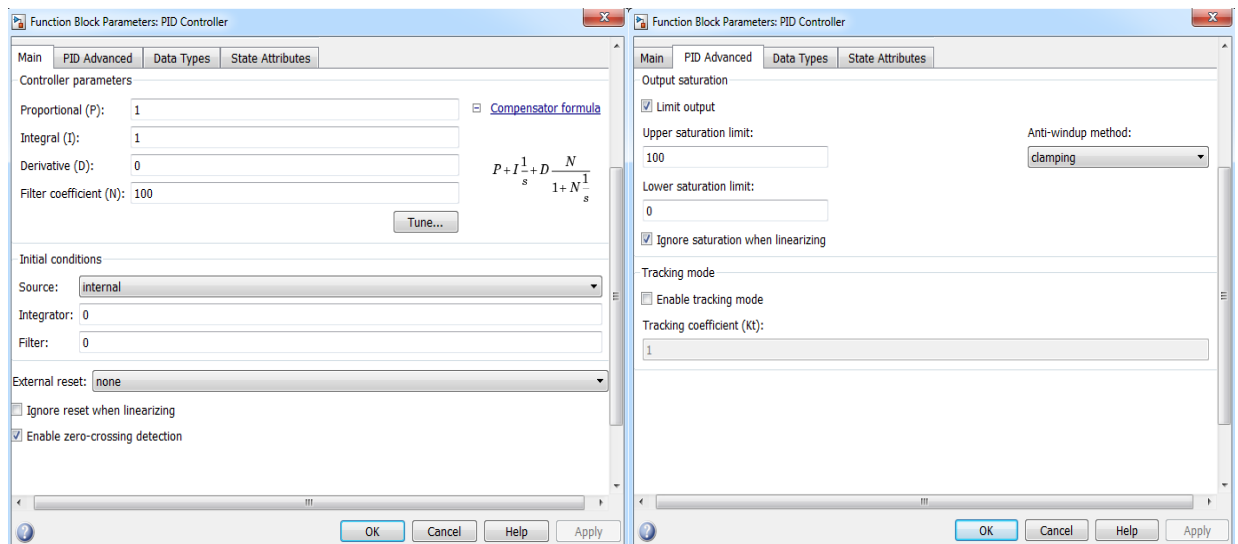


Рисунок 3.5 – Вікна налаштування блоку PID-controller

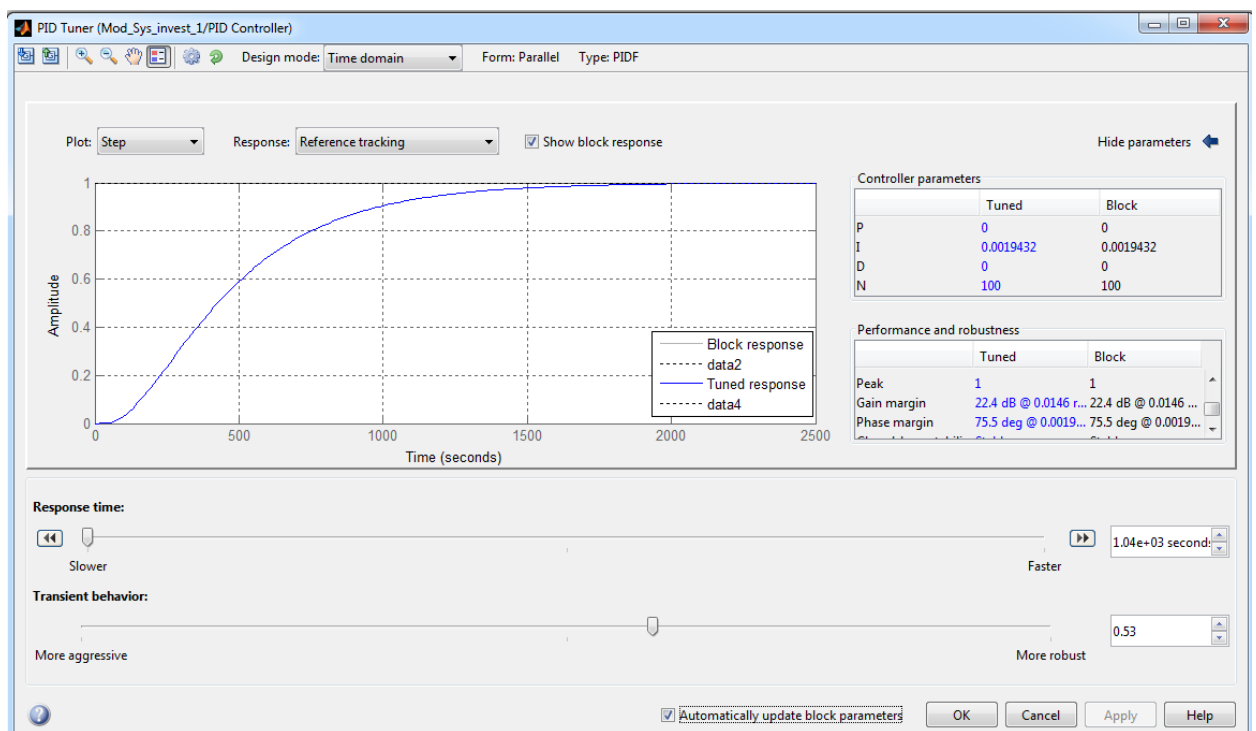


Рисунок 3.6 – Результати налаштування ПІД-регулятора за першим варіантом з найнижчим відносним показником швидкодії САК

З рис.3.6 також видно, що найменший рівень швидкодії системи автоматичного керування відповідає фактично І-регулятору з незначним коефіцієнтом підсилення 0,0019.

Результати перевірки роботи синтезованої системи автоматичного керування з найнижчим показником її швидкодії за умови відпрацювання нею східчастого максимального збурення (найгірший випадок) показаний на рис.3.7.

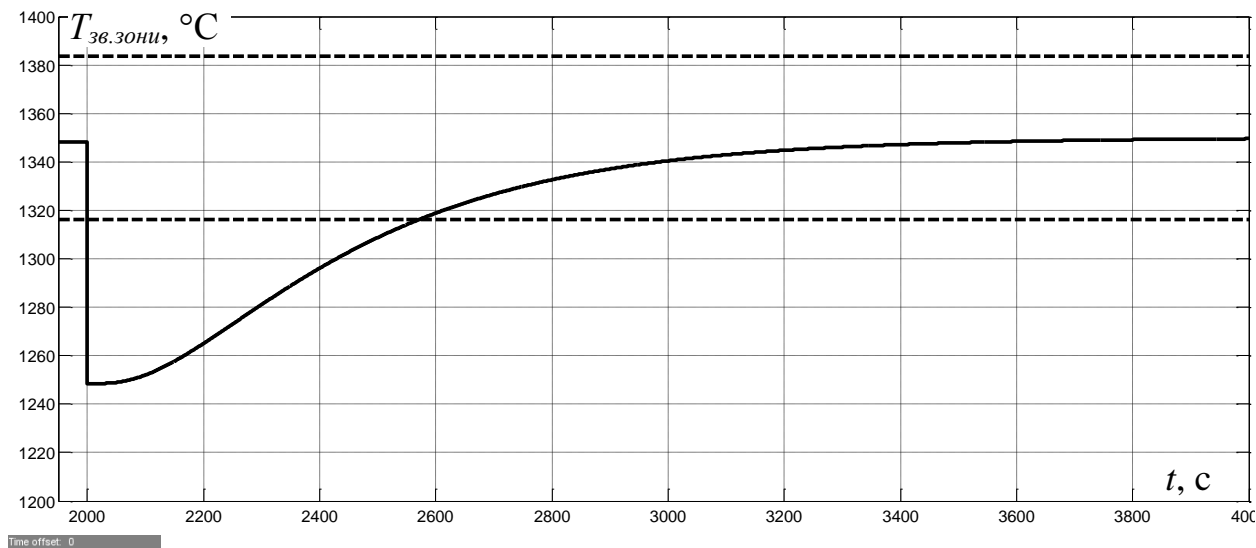


Рисунок 3.7 – Зміна у часі температури у верхній зварювальній зоні методичної печі за умови настройки ПД-регулятора за першим варіантом

З рис.3.7 видно, що температура у верхній зварювальній зоні при подачі збурення різко відхиляється від заданого значення 1350 °C до 1250 °C, та потім повертається у діапазон  $\pm 2,5\%$  від заданого значення через 572 с без перерегулювання. З оглядом на значний час перебування температури поза рекомендованим діапазоном, потрібне подальше дослідження якості роботи САК при різних варіантах настройки ПД-регулятора.

### 3.2 Дослідження якості роботи системи автоматичного керування

У цьому підрозділі з метою дослідження залежності критеріїв якості роботи синтезованої САК від параметрів ПД-регулятора, різні варіанти настройок регулятора отримані з використанням комп'ютеризованого методу синтезу САК додатку Simulink для різних ступенів відносного показника швидкодії системи керування. Для цього була досліджена якість роботи САК



для десяти різних положень повзунка «Response Time», при цьому для кожного з положень повзунка шляхом регулювання відносного показника робастності САК через повзунок «Transient behavior» був досягнутий мінімальний час перехідного процесу за умови забезпечення рекомендованих рівнів запасу САК за стійкістю за амплітудою (більше 8 Дб) та фазою (більше 40 град.).

Але, з метою визначення критеріїв якості роботи синтезованої САК саме в умовах обчислювального експерименту, до імітаційної моделі САК температурою у верхній зварювальній зоні додана відповідна підсистема (рис.3.8).

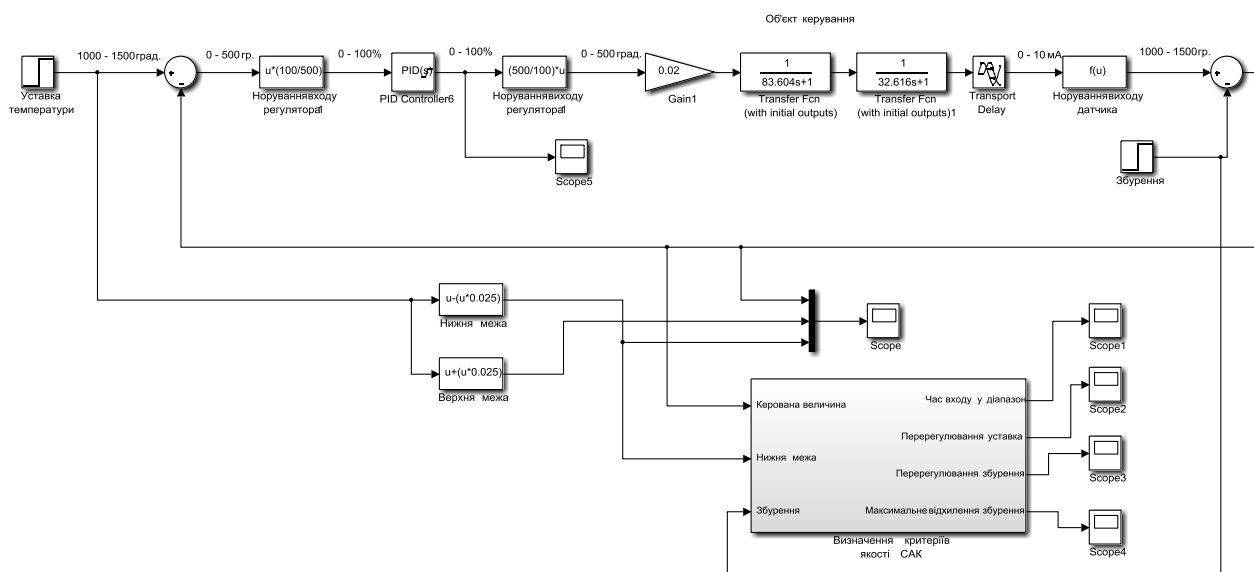


Рисунок 3.8 – Схема системи автоматичного керування з підсистемою оцінювання якості її роботи

Створена підсистема визначення критеріїв якості роботи САК на основі аналізу зміни у часі керованої величини дозволяє визначати такі критерії, як час перебування керованої величини за припустимим діапазоном  $\pm 2,5\%$  від заданого значення, максимальне відносне відхилення від заданого значення, та перерегулювання. Усі три критеріїв визначаються для випадку відпрацювання системою керування збурення. Також зазначена підсистема дозволяє визначати перерегулювання за умови відпрацювання системою зміни уставки.

Схема підсистеми оцінювання якості роботи САК за перехідним процесом на її виході показана на рис.3.9.

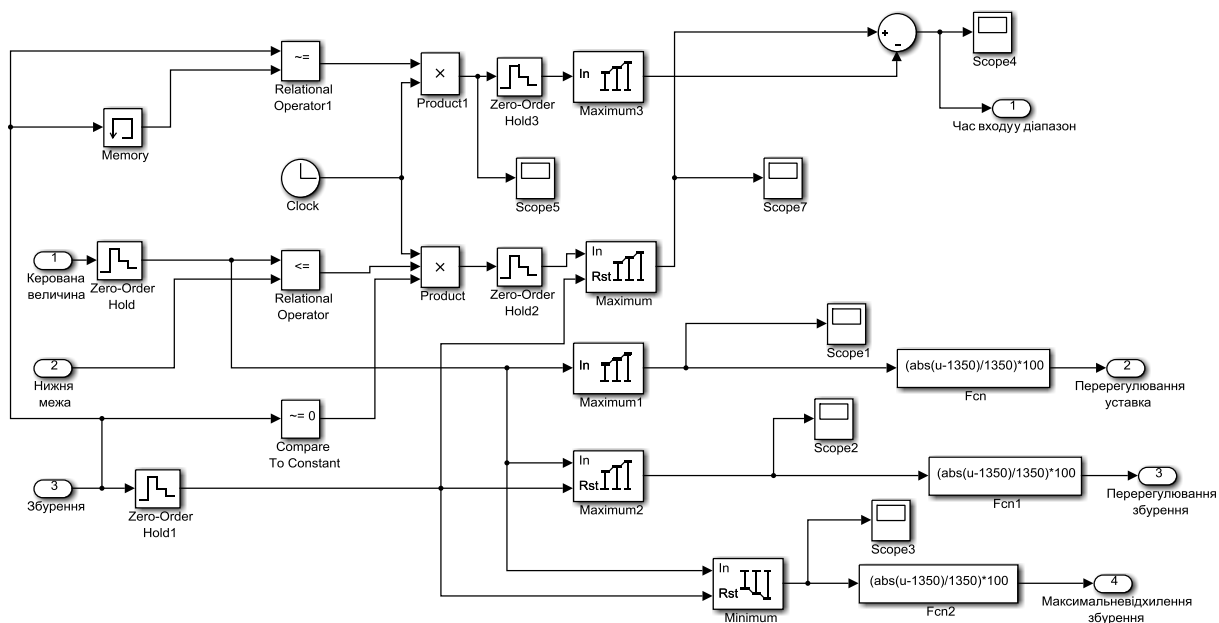


Рисунок 3.9 – Схема підсистеми оцінювання якості роботи системи автоматичного керування

Таблиця 3.1 – Результати дослідження залежності критеріїв якості роботи САК від параметрів ПІД-регулятора

№ Вар	Параметри регулятора				Критерії якості роботи САК				
	P	I	D	N	Максимальне відхилення, %	Перерегулювання, %	Час входу у діапазон, с	Запас стійкості за амплітудою, Дб	Запас стійкості за фазою, град.
1	0	0,0019	0	100	7,41	0	572,4	22,4	75,5
2	0	0,0022	0	100	7,41	0	528,0	21,7	74,3
3	0,31	0,00425	0	100	7,4	0,42	301,7	17,2	62,0
4	0,45	0,0087	0	100	7,4	0,71	160,4	18,8	88,0
5	2,02	0,018	40,2	0,07	7,4	0	103,4	10,6	66,0
6	3,51	0,035	70,3	0,32	7,4	0	99,3	8,8	60,1
7	6,56	0,071	128,1	5,75	7,4	0	99,1	5,41	35,0
8	8,17	0,0005	199,9	8,71	7,4	0,4	106,6	2,25	21,0
9	1,08	0,0007	341,5	13,8	-	-	-	-	-
10	0,98	0,0008	413,2	14,1	-	-	-	-	-

Усі результати досліджень якості роботи синтезованої САК при різній швидкодії системи та відпрацюванні нею максимального східчастого збурення зібрані у табл.3.1.

З табл.3.1 видно, що 9-та та 10-та настройки ПІД-регулятора, що отримані на основі інструменту «PID tuning tool» для найвищих показників швидкодії системи керування, є настільки невдалими, що для отриманих перехідних процесів неможливо визначити критеріїв якості роботи САК (керована величина не перебуває у рекомендованому діапазоні зміни значень взагалі). Тому останні два варіанти настройки регулятора надалі не розглядаються.

На основі табл.3.1 побудуємо залежності критеріїв якості роботи САК від різних настройок ПІД-регулятора у графічному вигляді (рис3.10-3.11).

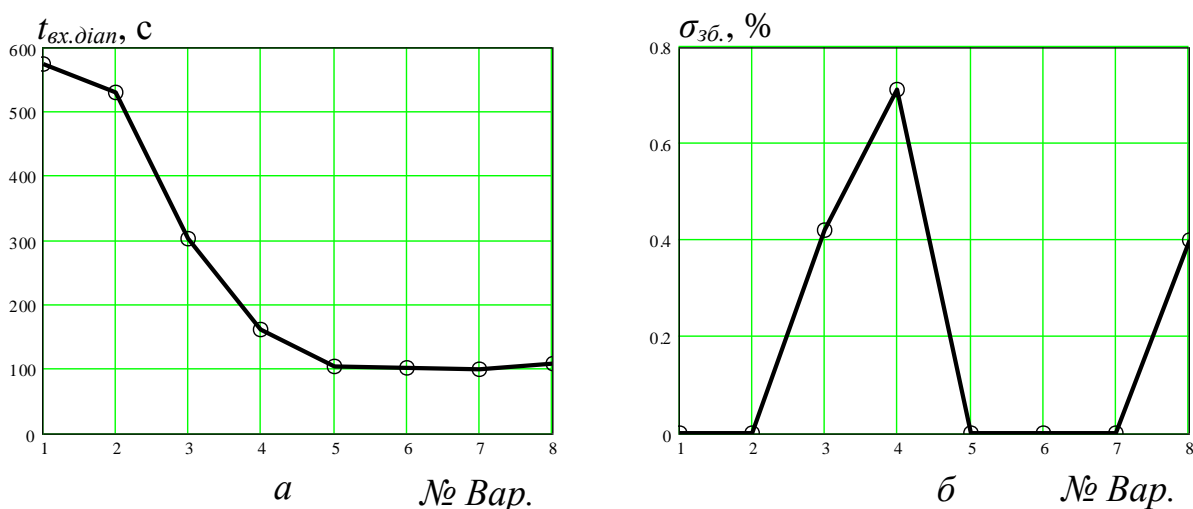


Рисунок 3.10 – Залежність часу повернення керованої величини у діапазон  $\pm 2,5\%$  (а) та перерегулювання (б) за умови дії на САК східчастого збурення від варіантів настройки ПІД-регулятора

Аналіз рис.3.10,а дозволяє зробити висновок, що залежність часу перебування керованої величини за межами рекомендованого діапазону  $\pm 2,5\%$  від заданого значення при подачі східчастого максимального збурення від відносного показника швидкодії системи керування є зворотною експоненціального характеру. Зазначимо, що за умови середнього рівня

швидкодії системи керування й вище (п'ятий варіант настройки регулятора та вище) маємо приблизно однаковий мінімальний час перебування керованої величини за межами рекомендованого діапазону – в районі 100 с.

У свою чергу, з рис.3.10,б можна зробити висновок, що для усіх рівнів швидкодії синтезованої САК перерегулювання за умови повернення керованої величини у рекомендований діапазон є незначним та не перевищує значення 0,8%, що задовольняє вимогам до САК.

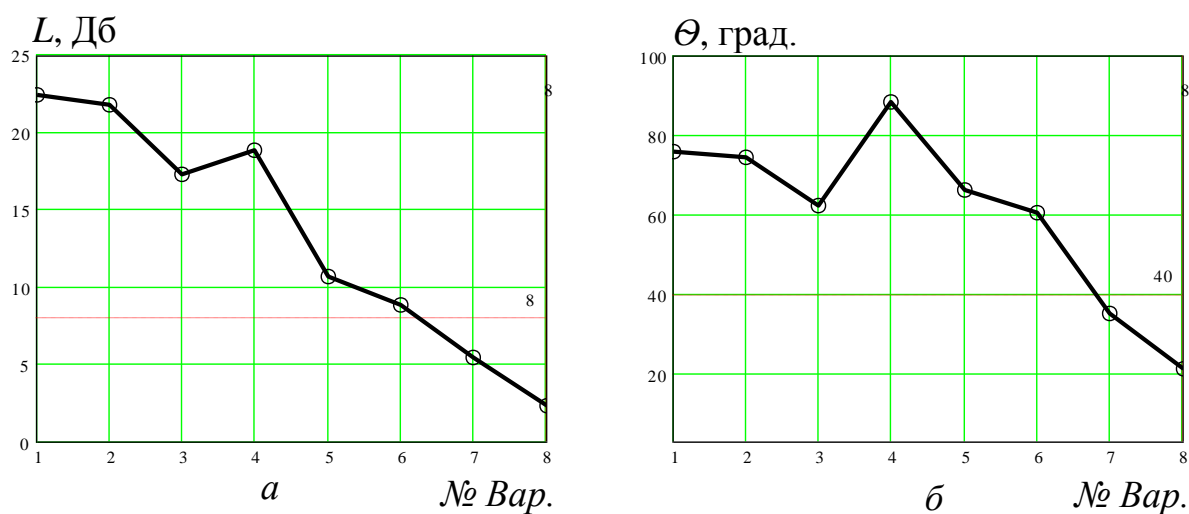


Рисунок 3.11 – Залежність запасів стійкості САК за амплітудою ( $a$ ) та фазою ( $b$ ) за умови дії на САК східчастого збурення від варіантів настройки ПІД-регулятора

Аналіз рис.3.11 дозволяє зробити висновок, що запас стійкості САК як за амплітудою, так і за фазою залежить від показника швидкодії системи керування в основному зворотно й суттєво нелінійно, але у середньому все ж простежується закономірність зменшення запасів стійкості САК при збільшенні показника її швидкодії. З рис.3.11 також видно, що за умови наближення показника швидкодії САК до відмітки між середнім та високим рівнями відбувається зменшення запасів стійкості як за амплітудою, так і за фазою нижче допустимих рівні, відповідно, 8 Дб та 40 град.

Тож, можна зробити висновок, що значення показника швидкодії системи керування між середнім та високим рівнями, що відповідає п'ятому варіанту

настройки регулятора, дозволяє отримати прийнятні значення за усіма критеріями якості роботи САК – саме при п'ятому варіанті настройки регулятора ми входимо у діапазон мінімальних значень часу перебування керованої величини за рекомендованим діапазоном, й саме при цьому варіанті настройки регулятора запаси стійкості САК за амплітудою та фазою перебувають біля своїх граничних рівнів, але не перетинаючи їх.

Результат роботи САК з оптимальним (п'ятим) налаштуванням ПІД-регулятора за умови відпрацювання нею східчастого максимального збурення показаний на рис.3.12.

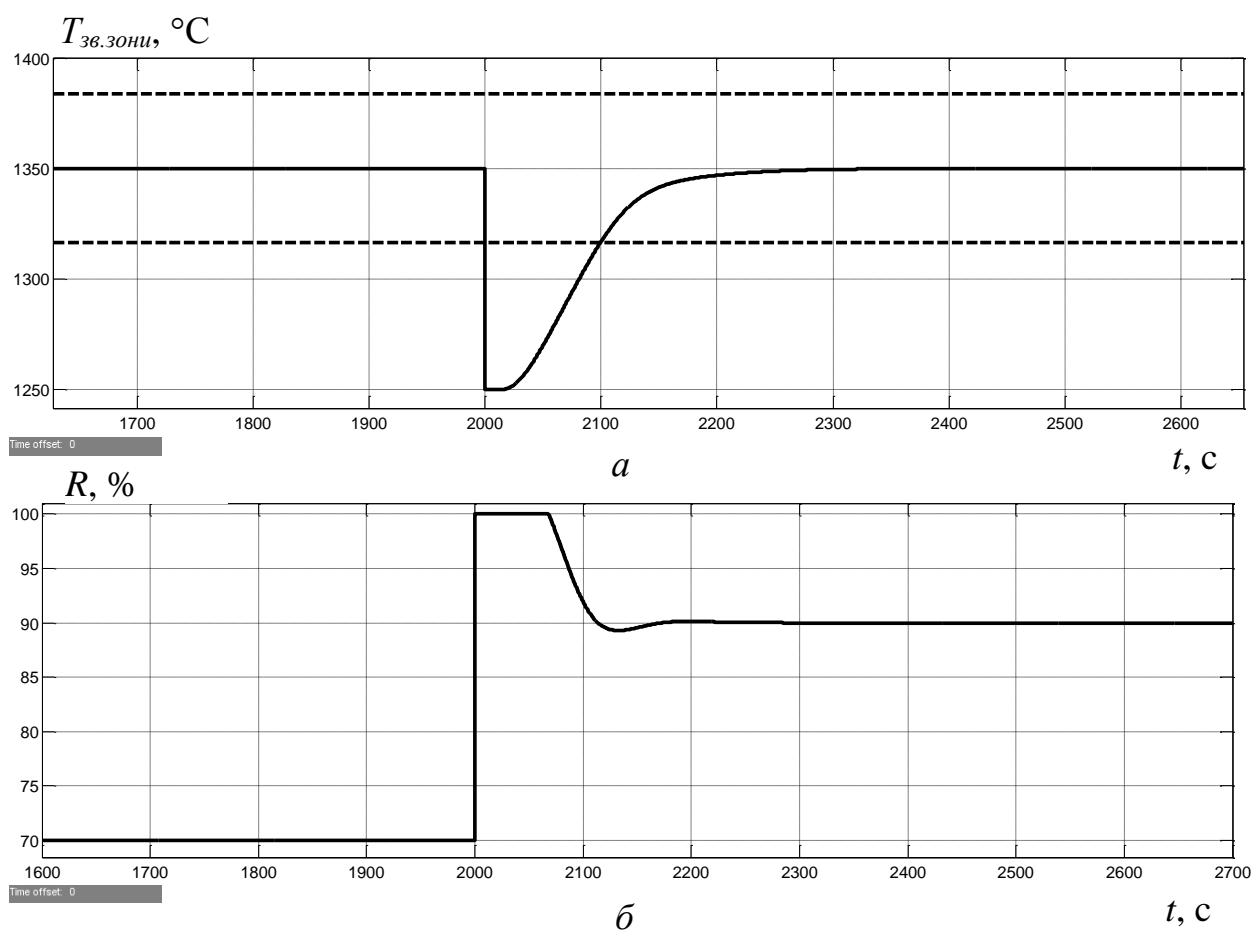


Рисунок 3.12 – Зміна у часі керованої величини (*a*) та керуючого сигналу (*б*) за умови оптимального налаштування ПІД-регулятора

Рисунок 12 підтверджує якість роботи САК – за умови подачі східчастого максимального збурення система керування протягом 103,4 с повертає

керувану величину у допустимий діапазон зміни значень  $\pm 2,5\%$  від уставки без перерегулювання, а керуючий сигнал на виході регулятора при цьому відповідає роботі САК з швидкодією, що наближена до максимальної (це видно по тривалому інтервалу часу, коли керуючий сигнал перебував на рівні 100%).

Далі проведемо дослідження відпрацювання системою автоматичного керування з оптимальним налаштуванням ПІД-регулятора збурення зі складним та випадковим характером, яке властиве роботі печі у реальних умовах. Для цього сполучимо імітаційну модель САК, модель імітації зміни у часі збурюючого впливу, що розроблена у підрозділі 2.1, та підсистему визначення критеріїв якості (рис.3.13). При цьому додаємо схему визначення інтегрального середньоквадратичного відхилення фактичної температури у верхній зварювальній зоні печі від заданого значення (рис.3.13).

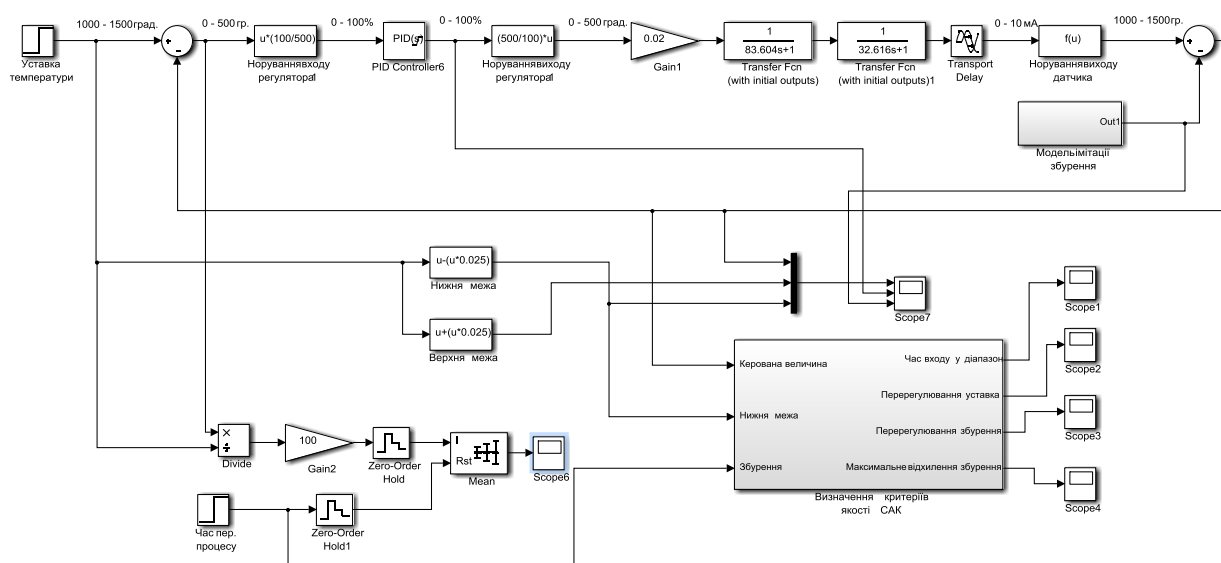


Рисунок 3.13 – Схема синтезованої системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні методичної печі для перевірки якості відпрацювання нею випадкового збурюючого впливу

Результат обчислювального експерименту відпрацювання синтезованої САК з оптимальним налаштуванням регулятора складного збурення, що властиве реальним умовам роботи печі, показаний на рис.3.14.

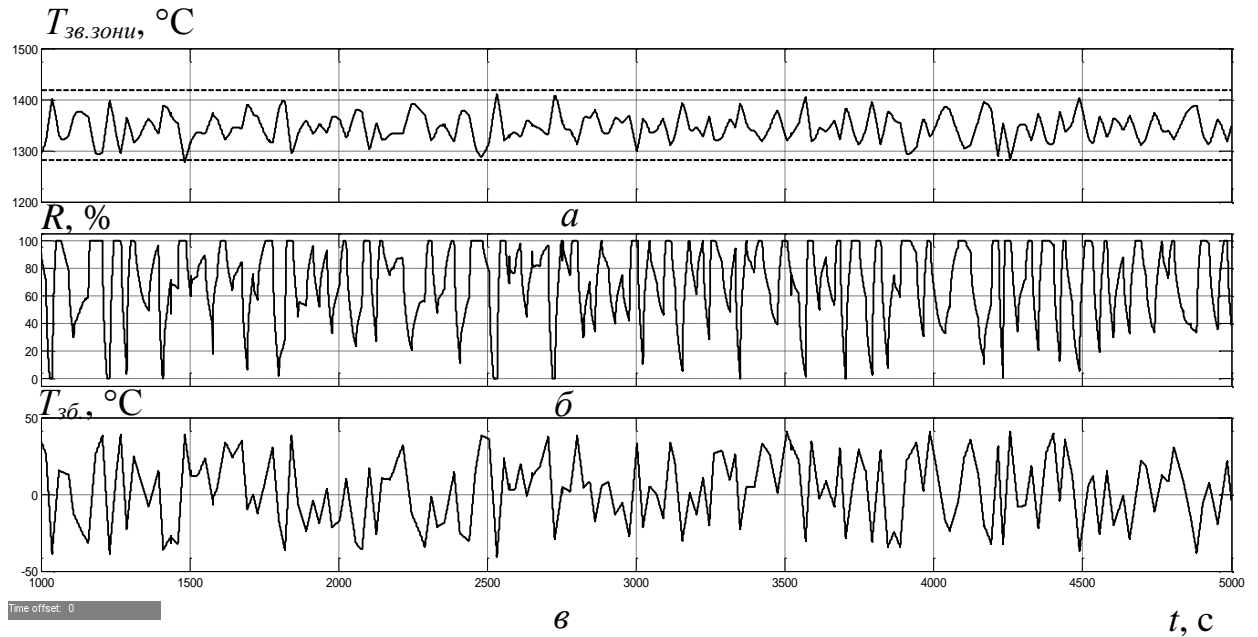


Рисунок 3.14 – Зміна у часі керованої величини (*a*), керуючого сигналу (*б*) та збурюючого впливу за умови оптимального налаштування ПІД-регулятора та відпрацювання САК випадкового збурюючого впливу

Аналіз рис.3.14 підтверджує якість роботи САК з оптимальним налаштуванням регулятора за умови відпрацювання нею складного збурення, що властиве реальним умовам роботи печі, – ми бачимо, що фактична температура у зварювальній зоні печі постійно перебуває у діапазоні  $\pm 5\%$  навколо заданого значення  $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При цьому середньоквадратичне відхилення фактичної температури у верхній зварювальній зоні методичної печі від заданого значення за умови відпрацювання САК випадкового збурюючого впливу у відносних одиницях склало  $0,33\%$ , а максимальне відхилення фактичної температури від заданого значення також у відносних одиницях –  $4,83\%$ .

### 3.3 Висновок по розділу

1.3 урахуванням того, що введення у модель системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні підпорядкованої системи автоматичного керування положенням заслінки з нерегульованим приводом

призводить до незначного відхилення графіків перехідного процесу на виході синтезованої системи керування (рівень збігу графіків для випадків врахування інерційності повороту заслінки та відсутності врахування становить 96,07%), можна зробити висновок щодо прийнятності прийняття системи автоматичного керування положенням заслінки за підсилювальну ланкою з коефіцієнтом підсилення одиниця.

2. Залежність часу перебування керованої величини за межами рекомендованого діапазону  $\pm 2,5\%$  від заданого значення при подачі східчастого максимального збурення від відносного показника швидкодії системи керування є зворотною експоненціального характеру. Зазначимо, що за умови середнього рівня швидкодії системи керування й вище (п'ятий варіант настройки регулятора та вище) маємо приблизно однаковий мінімальний час перебування керованої величини за межами рекомендованого діапазону – в районі 100 с. Також можна зробити висновок, що для усіх рівнів швидкодії синтезованої САК перерегулювання за умови повернення керованої величини у рекомендований діапазон є незначним та не перевищує значення 0,8%, що задовольняє вимогам до САК.

3. Запас стійкості САК як за амплітудою, так і за фазою залежить від показника швидкодії системи керування в основному зворотно й суттєво нелінійно, але у середньому все ж простежується закономірність зменшення запасів стійкості САК при збільшенні показника її швидкодії. За умови наближення показника швидкодії САК до відмітки між середнім та високим рівнями відбувається зменшення запасів стійкості як за амплітудою, так і за фазою нижче допустимих рівні, відповідно, 8 Дб та 40 град.

4. Значення показника швидкодії системи керування між середнім та високим рівнями, що відповідає п'ятому варіанту настройки регулятора, дозволяє отримати прийнятні значення за усіма критеріями якості роботи системи керування – саме при п'ятому варіанті настройки регулятора ми входимо у діапазон мінімальних значень часу перебування керованої величини за рекомендованим діапазоном, й саме при цьому варіанті настройки



регулятора запаси стійкості САК за амплітудою та фазою перебувають біля своїх граничних рівнів, але не перетинаючи їх.

5. Обчислювальний експеримент на основі імітаційної моделі САК підтвердив якість роботи системи керування з оптимальним налаштуванням регулятора за умови відпрацювання нею складного збурення, що властиве реальним умовам роботи печі, – середньоквадратичне відхилення фактичної температури у верхній зварювальній зоні методичної печі від заданого значення у відносних одиницях склало 0,33%, а максимальне відхилення фактичної температури від заданого значення також у відносних одиницях – 4,83%.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Вихідними даними для цього розділу є синтезована система автоматичного керування, що отримана у третьому розділі (рис.4.1).

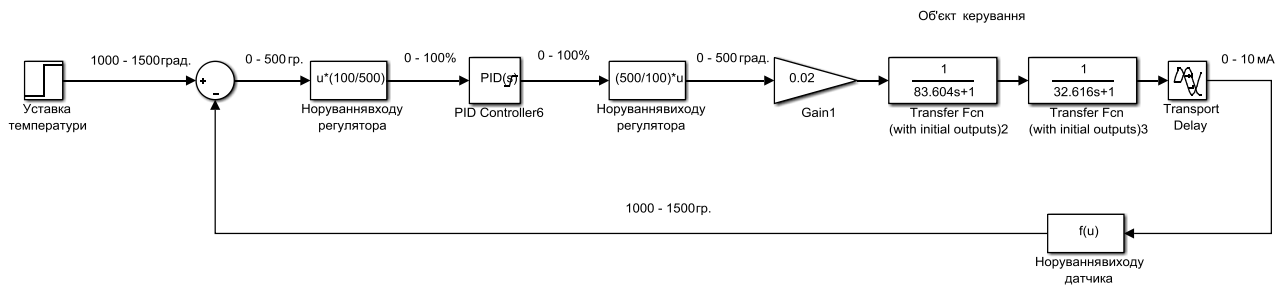


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель синтезованої системи автоматичного керування

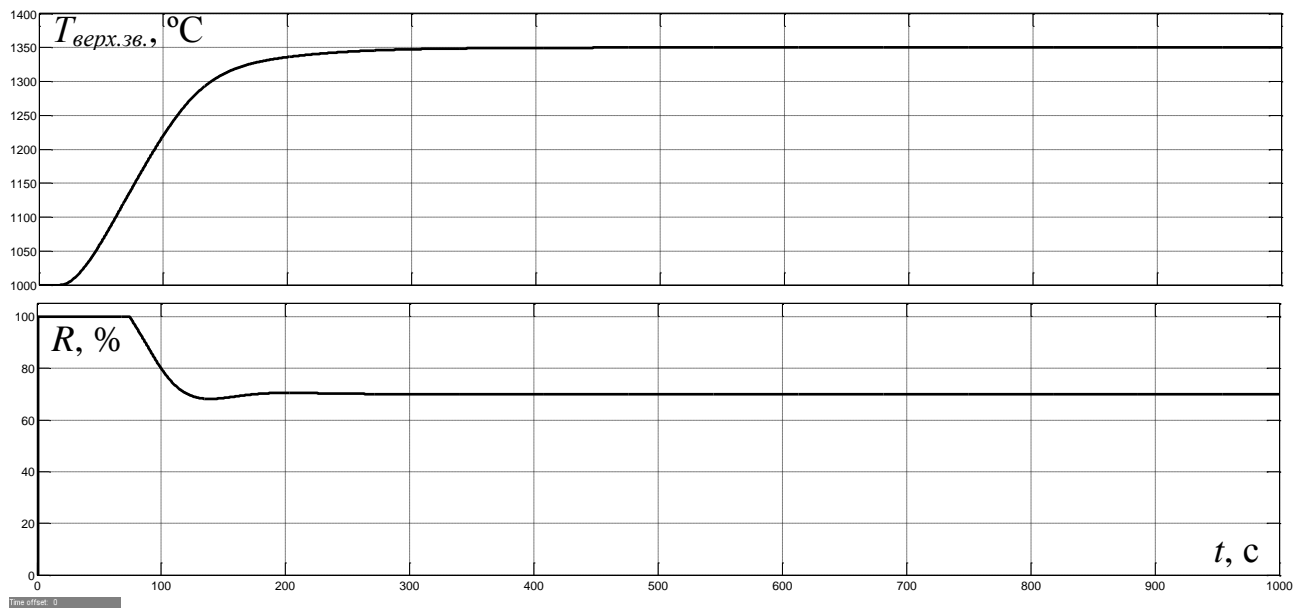


Рисунок 4.2 – Результати моделювання синтезованої системи автоматичного керування (верхній рис. – керована величина, нижній – керуюча)

Але, для створення програмного забезпечення для цієї системи необхідно перейти до цифрової моделі об'єкта керування. Тож, виконаємо

заміну неперервних елементів системи автоматичного керування цифровими. Для перетворення двох неперервних аперіодичних ланок створена програма на мові програмування MATLAB (програма 4.1).

Програма 4.1 Перетворення неперервної моделі об'єкта керування на цифрову

```
w1=tf([1],[83.604 1]);
w2=tf([1],[32.616 1]);
w1z=c2d(w1,0.1);
w2z=c2d(w2,0.1);
```

```
[num1 denum1] = tfdata(w1z);
A1 = cell2mat(num1)
B1 = cell2mat(denum1)
```

```
[num2 denum2] = tfdata(w2z);
A2 = cell2mat(num2)
B2 = cell2mat(denum2)
```

Результат роботи програми 4.1:

A1 =  
0 0.001195399957978

B1 =  
1.0000000000000000 -0.998804600042022

A2 =  
0 0.003061284570645

B2 =  
1.0000000000000000 -0.996938715429355

За результатами роботи програми 4.1 створимо цифрову модель об'єкта керування (рис.4.3) та САК (рис.4.4).

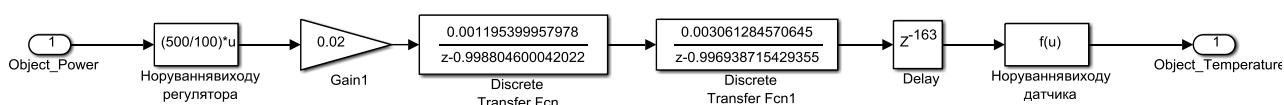


Рисунок 4.3 – Цифрова модель об'єкта керування

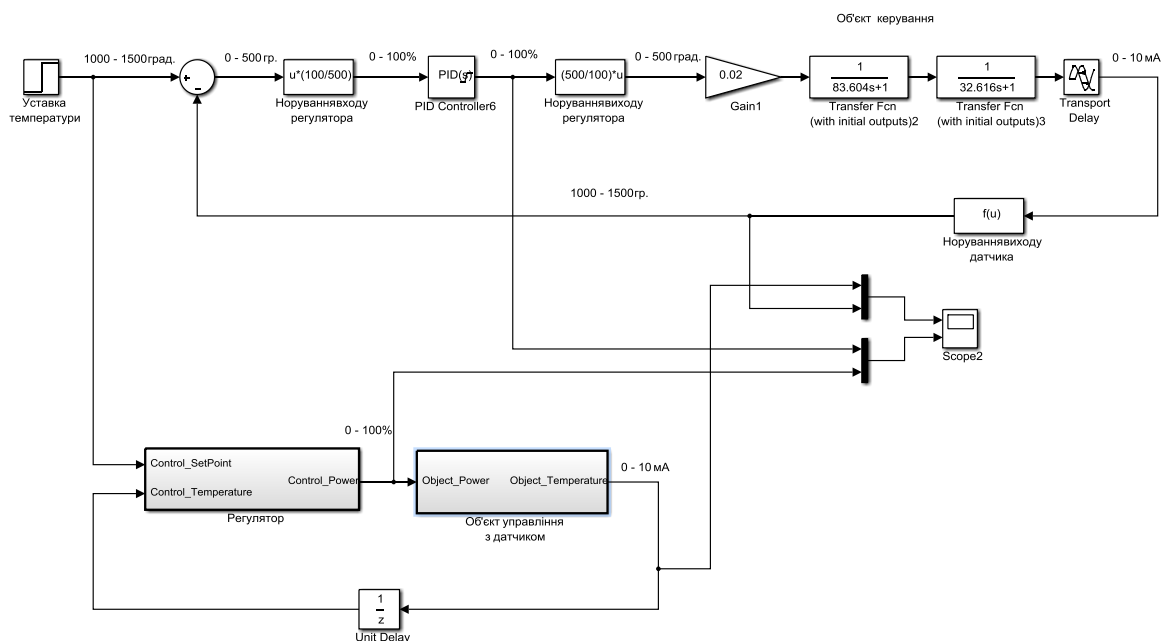


Рисунок 4.4 – Неперервна та цифрова моделі системи автоматичного керування

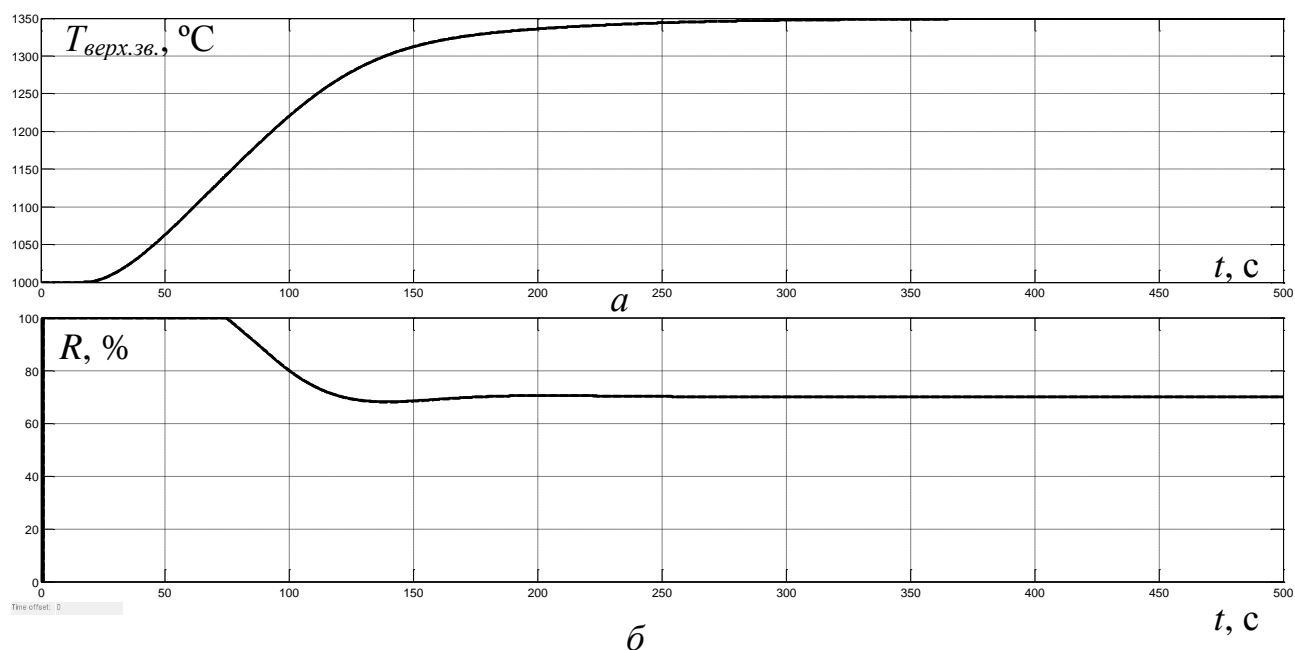


Рисунок 4.5 – Результати моделювання: а – керована величина; б – керуюча величина (суцільна лінія – неперервна модель; пунктирна – цифрова)

З рис.4.5 видно, що графіки як керованої величини, так і керуючої фактично співпали. Оцінимо більш точно відповідність цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі за нормованим середньо-

квадратичним відхиленням між точками кривих зміни у часі керованої та керуючої величин для неперервної та цифрової моделей.

```
>> goodnessOfFit(Model_C, Model_D, 'NRMSE')*100
ans = 99.4158
```

Як видно за результатами перевірки, маємо дуже високий відсоток відповідності цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі.

У нижній частині рис.4.4 модель цифрової САК є згрупованою за підсистемами, одною з яких є об'єкт керування, а іншою – регулятор. Вміст підсистеми “Об'єкт керування” представлений на рис.4.6, а вміст підсистеми “Регулятор” – на рис.4.7.

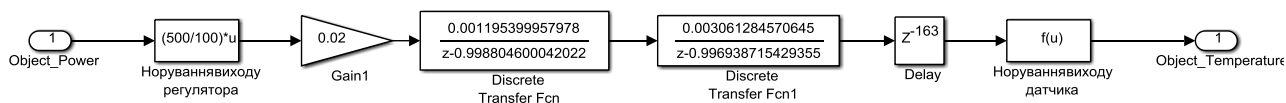


Рисунок 4.6 – Цифрова модель об'єкта керування

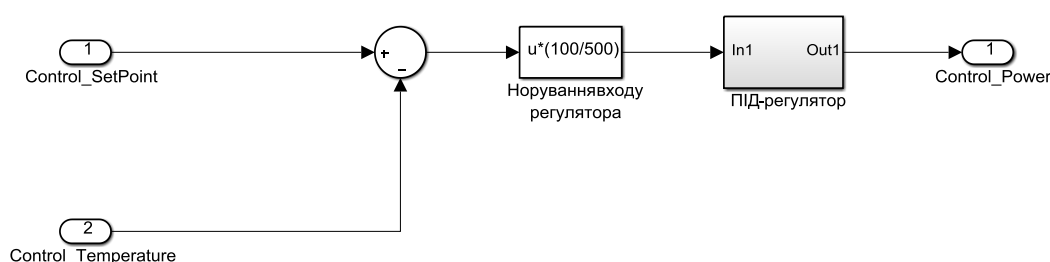


Рисунок 4.7 – Цифрова модель регулятора

На рис.4.7 цифрова модель ПІД-регулятора представлена відповідним блоком, в якому, окрім відповідних складових, реалізовані обмеження

керуючого сигналу за діапазоном від 0 до 100% та захист від перенасичення інтегруючої складової регулятора.

Далі на основі цифрової моделі САК згенеровано програмні модулі, що наведені у додатку А.

#### 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи автоматичного керування умовно можна поділити на дві окремі частини (два окремих програмних блоки): регулятор та об'єкт керування.

Програмне забезпечення регулятора розроблено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon. Програмне забезпечення об'єкту керування розроблено як ПЗ перевірки функціонування системи керування для драйверу пристрою керування.

З метою розробки ПЗ об'єкта керування був створений драйвер пристрою керування з налаштуванням, що показано на рисунку 4.8.

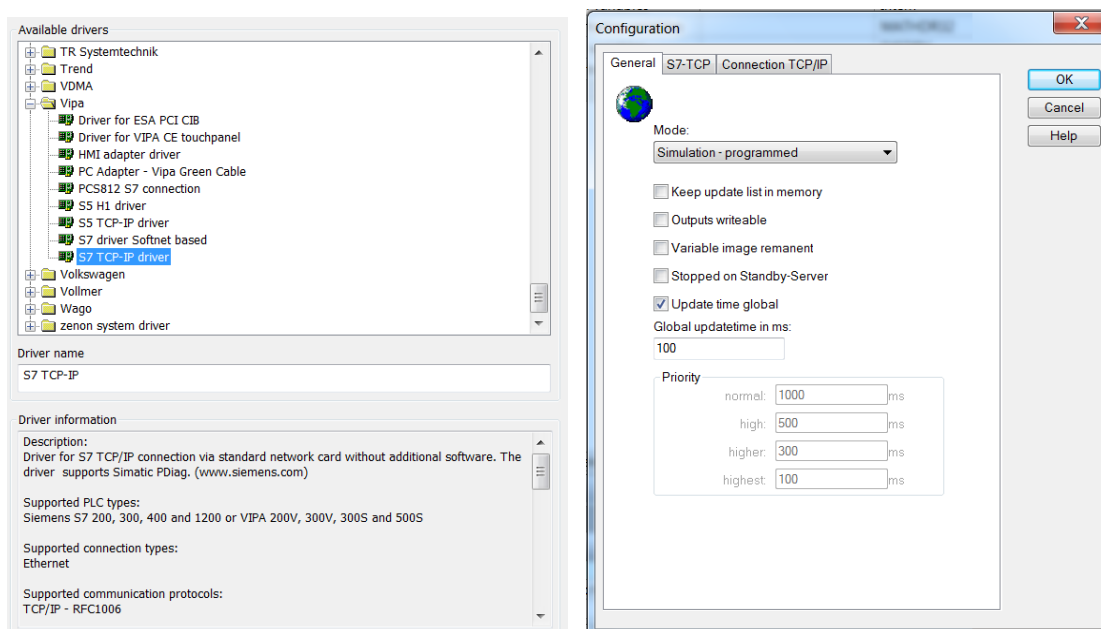
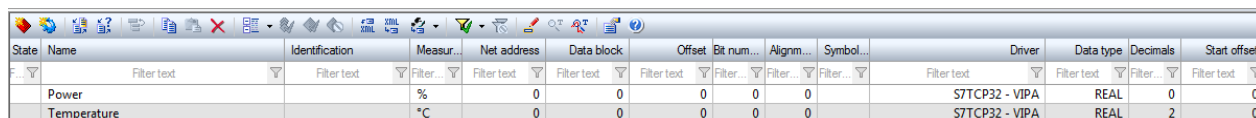


Рисунок 4.8 – Вибір драйверу пристрою керування та його настройка

Для драйвера пристрою керування були створені відповідні змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.9).



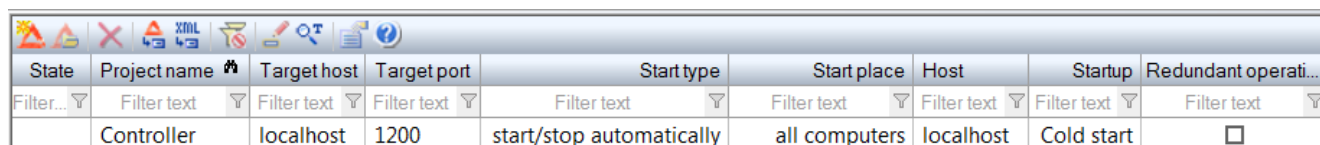
State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Algnm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
	Power		%	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	0	0
	Temperature		*C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0

Рисунок 4.9 – Змінні драйверу об'єкту керування

У середі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування реалізована модель об'єкту керування на основі раніше створеного програмного модуля. Далі, з використанням отриманого користувацького функціонального блоку, розроблене програмне забезпечення об'єкту керування.

Більш детально список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення ОК наведені у додатку Б1.

Для реалізації програмного забезпечення регулятора спочатку створений проєкт регулятора (рис. 4.10).

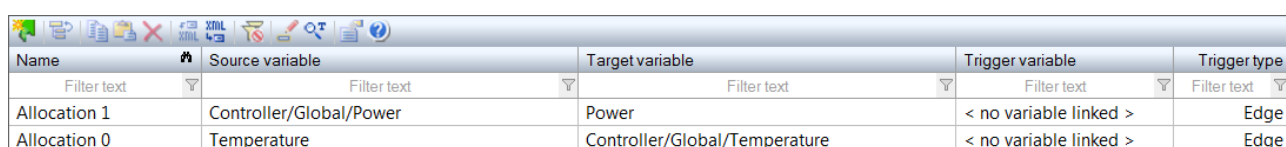


State	Project name	Target host	Target port	Start type	Start place	Host	Startup	Redundant operati...
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.10 – Проєкт регулятора

Також створені змінні регулятора, що відповідають значенню уставки температури, фактичному значенню керованої величини та керуючому впливу (додаток Б2).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкта керування реалізований через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.11).



Name	Source variable	Target variable	Trigger variable	Trigger type
Allocation 1	Controller/Global/Power	Power	< no variable linked >	Edge
Allocation 0	Temperature	Controller/Global/Temperature	< no variable linked >	Edge

Рисунок 4.11 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином, створені два розподіли – перший, що копіює значення температури у верхній зварювальній зоні методичної печі до регулятора, та другий – для передачі значення положення заслінки у газопроводі печі з регулятора до об'єкту керування. Більш докладно список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення регулятора наведені у додатку Б2.

### 4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Одною з основних частин програмного забезпечення системи автоматичного керування є людино-машинний інтерфейс.

Для забезпечення повноцінної функціональності системи автоматичного керування людино-машинний інтерфейс повинний забезпечувати:

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта керування;
- можливість слідкувати за станом технологічного процесу, та сповіщати у разі виникнення аварійних подій.

Таким чином, можна сформулювати основні вимоги до ЛМІ:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість зображень: 5 – зображення з кнопками, що дозволяють переходити між різними зображеннями, технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій, список тривоги.

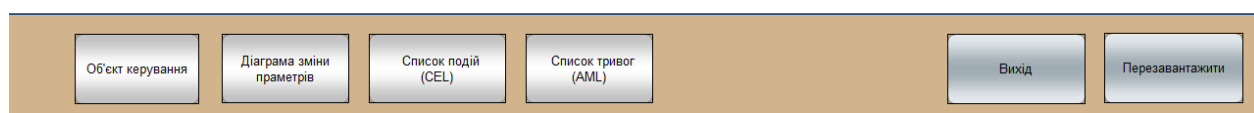


Рисунок 4.12 – Зображення кнопок

На рис. 4.12 показано зображення кнопок що були реалізовані для ЛМІ. Кожна з кнопок має певну функцію:



- «Об'єкт керування» – при натискання цієї кнопки відбувається перехід на зображення технологічної схеми, на якій показане розташування датчиків та виконавчих пристроїв (рис. 4.13). Реалізація роботи цієї кнопки виконана з використанням функції switch screen, що дозволяє перейти на наступне зображення;

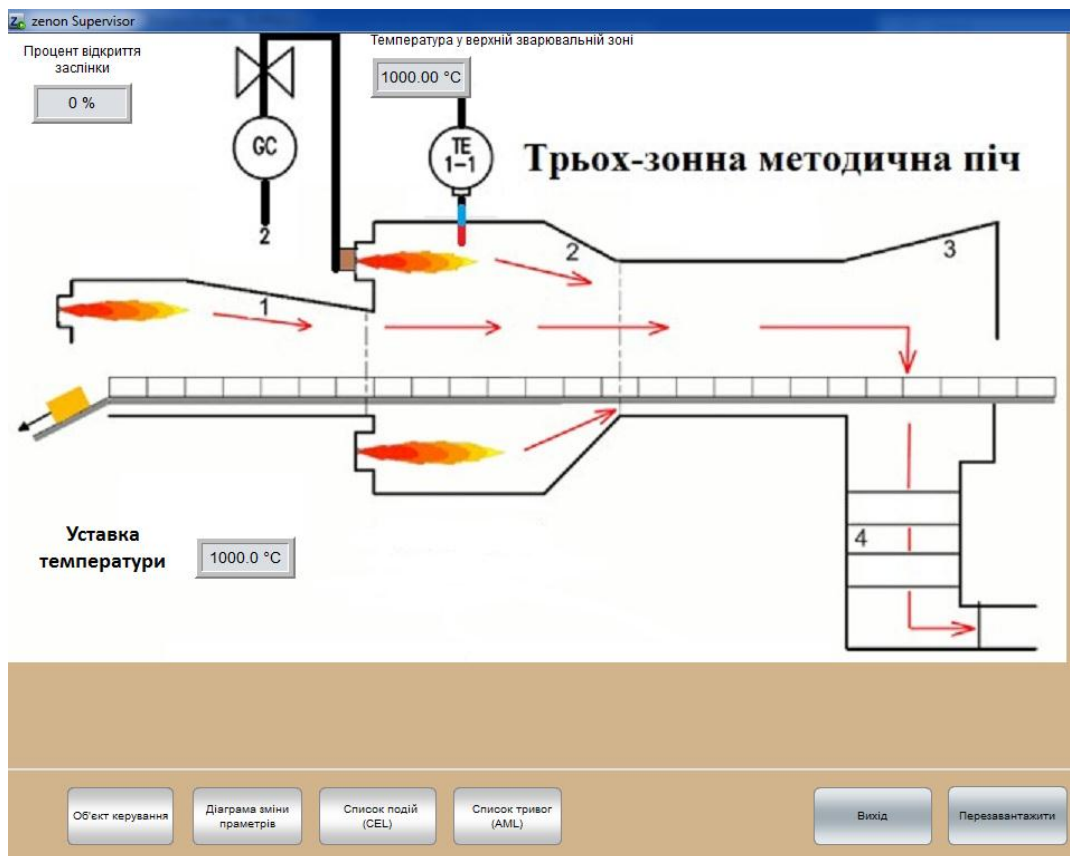


Рисунок 4.13 – Зображення технологічної схеми

- кнопки «Діаграма зміни параметрів», «Список тривог» та «Список подій» реалізовані аналогічно. Вони дозволяють перейти на зображення, що відповідають назвам кнопок, та які показані на рис. 4.14, рис. 4.15 і рис. 4.16 відповідно.

Кнопки «Вихід» та «Перезавантажити» створені за допомогою функцій «exit runtime» та «reload project» відповідно.

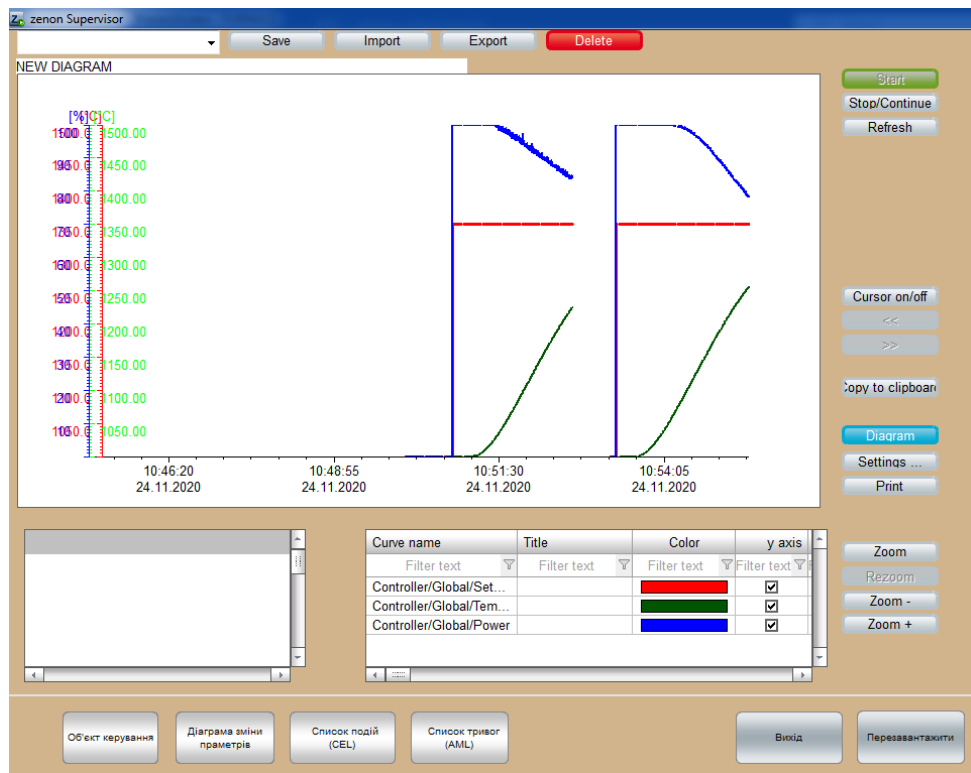


Рисунок 4.14 – Зображення графіку переходного процесу

The screenshot displays the 'zenon Supervisor' interface showing a list of events. The table below contains the data:

Variable name	Time received	Text
	24.11.2020 11:11:34	System was stopped
	24.11.2020 11:11:59	System was started
Controller/Global/SetPoint	24.11.2020 11:12:05	Modify spontaneous value: (1350.0 °C)
	24.11.2020 11:14:48	System was stopped
	24.11.2020 11:15:12	System was started
Controller/Global/SetPoint	24.11.2020 11:15:18	Modify spontaneous value: (1350.0 °C)
	24.11.2020 11:17:48	System was stopped
	24.11.2020 11:18:20	System was started
Controller/Global/SetPoint	24.11.2020 11:18:26	Modify spontaneous value: (1350.0 °C)
	24.11.2020 11:21:12	System was stopped
	24.11.2020 11:21:58	System was started
Controller/Global/SetPoint	24.11.2020 11:22:05	Modify spontaneous value: (1350.0 °C)
	24.11.2020 11:32:05	System was stopped
	24.11.2020 11:32:49	System was started
Controller/Global/SetPoint	24.11.2020 11:33:03	Modify spontaneous value: (1350.0 °C)
	24.11.2020 11:36:42	System was stopped
	24.11.2020 11:37:40	System was started
Controller/Global/SetPoint	24.11.2020 11:37:50	Modify spontaneous value: (1350.0 °C)
	24.11.2020 11:47:19	System was stopped
	24.11.2020 11:49:27	System was started
Controller/Global/SetPoint	24.11.2020 11:49:37	Modify spontaneous value: (1350.0 °C)

The interface also includes a search filter, a 'Stop' button, a 'Відправити' button, and a 'Друквати' button. At the bottom are buttons for 'Об'єкт керування', 'Діаграма зміни параметрів', 'Список подій (CEL)', 'Список тривог (AML)', 'Вихід', and 'Перезавантажити'.

Рисунок 4.15 – Зображення списку подій

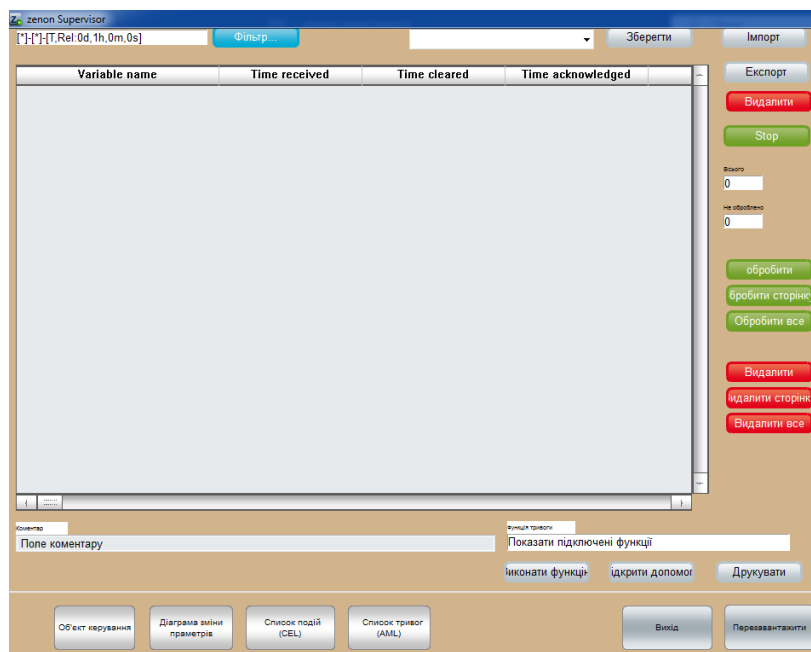


Рисунок 4.16 – Зображення списку тривог

Всі зображення розташовано згідно шаблону на рисунку 4.17.

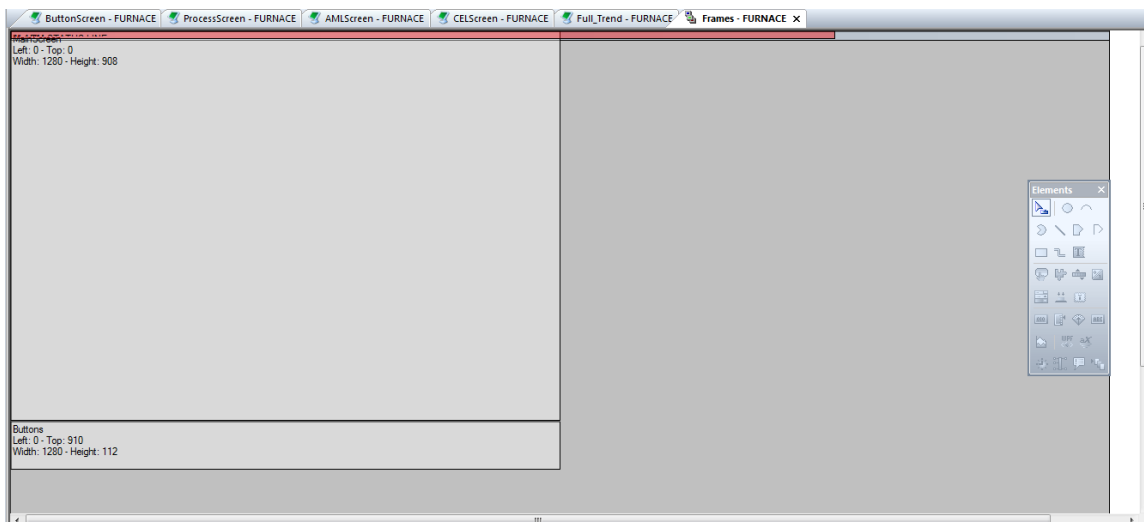


Рисунок 4.17 – Шаблон зображень

Основні зображення розміщені в основному фреймі, зображення з кнопками окремим фреймом, він є статичним та відображається постійно. Для розробки зображень «Список подій» та «Список тривог» були використані шаблони SCADA системи zenon.

Розроблене програмне забезпечення ЛМІ більш детально наведено в додатку В.

#### 4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі уставки температури у верхній зварювальній зоні методичної печі 1350 °С.

З рисунка 4.18 видно, що об'єкт та регулятор працюють адекватно, при цьому виконуються усі вимоги щодо якісної роботи системи автоматичного керування (перерегулювання не перевищує 2,5%).

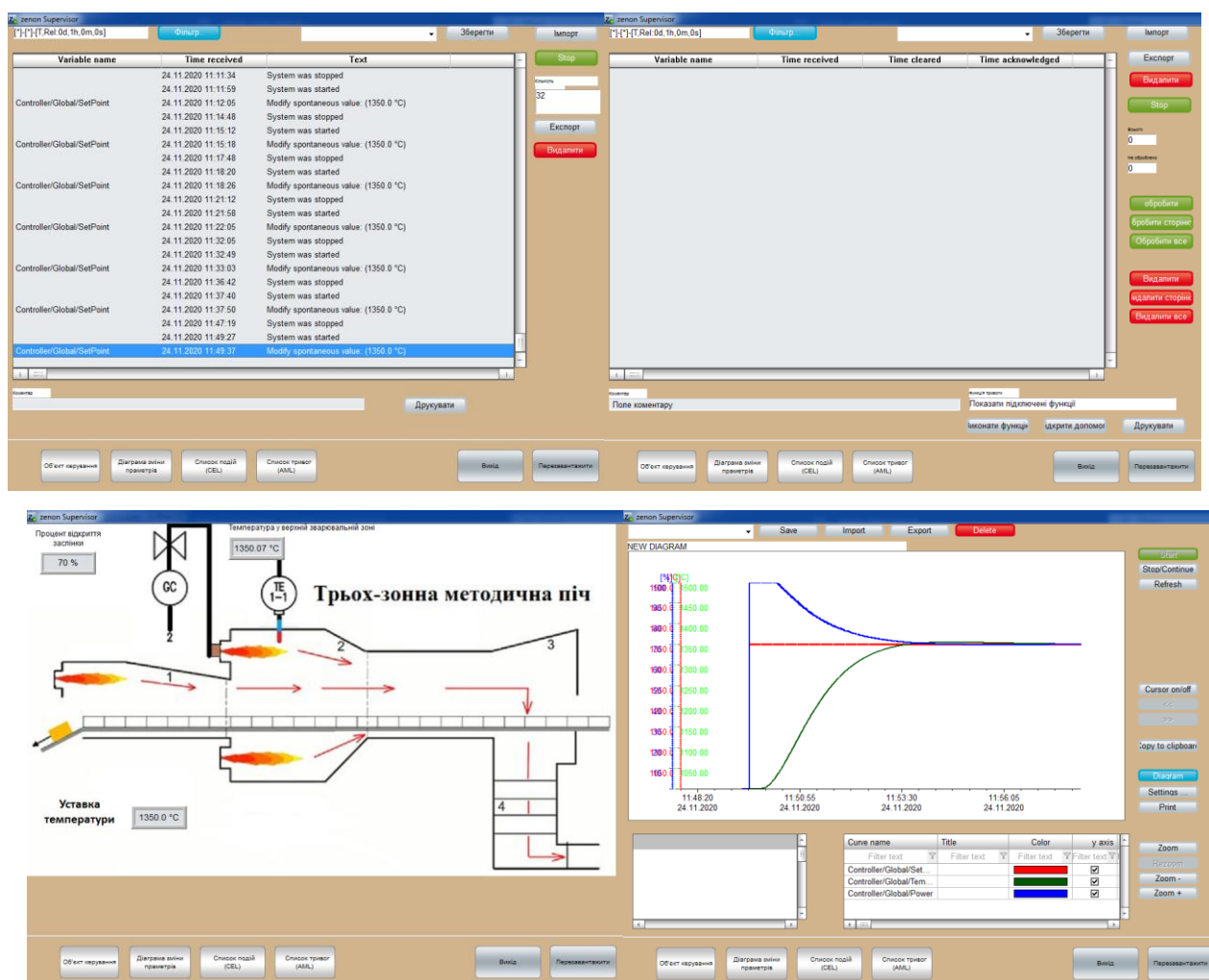


Рисунок 4.18 – Перевірка функціонування ПЗ системи керування

У ході перевірки роботи ЛМІ встановлено, що усі кнопки виконують свої функції коректно, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи керування. До списку подій вносяться дані про зміну уставки. Оскільки система автоматичного керування працює згідно з вимогами у нормальному режимі, список тривог порожній.

В результаті проведеної перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ функціонує коректно, згідно з вимогами до системи автоматичного керування та може бути використане на виробництві.

#### **4.5 Висновки до розділу**

У результаті проведеної роботи було розроблено програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора, та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. Проведено перевірку функціональності роботи системи автоматичного керування та ЛМІ, яка підтвердила, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та ЛМІ функціонує коректно та згідно з вимогами до системи автоматичного керування.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Значну вагу при вирішенні питання підвищенні ефективності виробничого процесу має його автоматизація, яка дозволяє за рахунок більш точного керування підвищити продуктивність та зменшити питомі витрати ресурсів. Система автоматичного керування самостійно виконує завдання в призначеній послідовності, і потребує тільки налаштування і контролю з боку висококваліфікованого персоналу. Автоматичне керування дозволяє вести роботу без безпосереднього втручання людини, і виключає неправильні режими роботи агрегатів, а також аварійні ситуації. Забезпечення не тільки здорових, а й безпечних умов роботи – первинне завдання, яке вирішується при проектуванні, спорудженні та експлуатації будь-якого виробництва.

У кваліфікаційній роботі в якості об'єкту керування, що розробляється, виступає контур стабілізації температури у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі.

Для вирішення завдання автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні методичної печі маємо об'єкт неперервного керування, де вхідною величиною є керуючий сигнал на блок керування мазутною форсункою, а вихідною – температура у верхній зварювальній зоні.

Здійснюється заміна старого автоматичного обладнання на нове, більш ефективне та малогабаритне, а також модифікація існуючих алгоритмів автоматичного керування, що дозволять більш ефективно компенсувати збурення та запобігти браку при нагріванні заготовок.

Діючі на печі регулятори Р-25 досягли повного морального зносу, і не відповідають необхідним вимогам до обслуговування встановлених приладів, що істотно знижує економічний потенціал даної роботи. Заміна регулятора Р-25 на промисловий контролер VIPA дозволяє вирішити наступні питання: досягти більш високих показників точності регулювання температури, запобігти збиткам в результаті виходу з ладу Р-25, підвищити технологічну надійність і безвідмовність роботи системи в результаті заміни застарілого обладнання на

сучасний високопробний регулятор.

Обчислювальні експерименти показали, що впровадження нового обладнання та алгоритму керування дозволить поліпшити якість регулювання, знизити час на ремонт обладнання, зменшити витрату палива на 0,5-1% на рік при максимальній продуктивності методичної печі 80 т/год.

## 5.1 Розрахунок капітальних витрат

### 5.1.1 Розрахунок капітальних витрат на придбання і монтаж складових системи

Інформація щодо капітальних витрат на впровадження нового обладнання для автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні методичної печі наведена у табл.5.1.

Табл. 5.1 - Розрахунок витрат на впровадження нового обладнання

№	Найменування	Кіл-ть (од.вим.)	Вартість (грн)	Сума (грн)
1	ДТПК-015	1 шт.	211.60	211.60
2	Valsteam Adca V16G	1 шт.	13 139.90	13 139.90
3	Valsteam ADCA EL20	1 шт.	44 076.00	44 076.00
4	VIPA 214-2BE03	1 шт.	8 124.40	7 064.49
5	VIPA 234-1BD50	1 шт.	13 160.90	11 444.60
6	SPD24301	2 шт.	1 691.75	3 383.50
	Разом:			79 320.09
	Транспортування:		4 264.00	4 264.00
	Усього:			83 584.05

Витрати на обладнання склали 83 584,05 гривень. Транспортування обладнання виконується організацією «Нові Пошта», вартість якого складає 4 264,00 грн.

Таблиця 5.2 – Витрати на демонтаж, пуск і налагодження системи

№	Найменування професії	Розряд	Кіл-ть людей	Тариф (грн/день)	Кіл-ть днів	Фонд зар. плати (грн)
1	Слюсар-монтажник	6	1	233.6	5	1 168.00

№	Найменування професії	Розряд	Кіл-ть людей	Тариф (грн/день)	Кіл-ть днів	Фонд зар. плати (грн)
2	Інженер-електроніки	9	1	233.6	5	1 168.00
	Разом:					2 336.00
	ЄСВ (22%):					513.92
	Усього:					2 849.92

Демонтаж старого устаткування, транспортування і монтаж нового обладнання проводиться залученою організацією "МонтажМастер". Витрати на демонтаж, пуск і налагодження системи складаються з витрат на заробітну плату слюсаря-монтажника і інженера-електроніка, в обов'язки яких входить даний вид роботи. Роботу виробляють протягом п'яти днів. В фонд заробітної плати включена преміальна надбавка в 20%.

Капітальні витрати на придбання та налагодження обладнання складають:

$$K_{\text{пр}} = 83\,584.05 + 2\,849.92 = 86\,433.97 \text{ грн} \quad (5.1)$$

### 5.1.2 Розрахунок трудомісткості розробки програмного забезпечення

Нормування праці у процесі створення програмного забезпечення ускладнене через творчий характер праці програмістів. Тому трудомісткість обробки програмного забезпечення розраховується на основі системи моделей з різною точністю оцінки.

Трудомісткість обробки праці програмного забезпечення розраховується за формулою:

$$t = t_0 + t_d + t_a + t_n + t_{\text{опл}} + t_d, \text{ людино-годин} \quad (5.2)$$

- де
- $t_0$  – витрати праці на підготовку й опис поставленого завдання;
  - $t_d$  – витрати праці на дослідження алгоритму рішення завдання;
  - $t_a$  – витрати праці на обробку блок-схеми алгоритму;
  - $t_n$  – витрати праці на програмування по готовій блок-схемі;
  - $t_{\text{опл}}$  – витрати праці на налаштування програм на ЕОМ;
  - $t_d$  – витрати праці на підготовку документації за завданням.



Складові частини витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні. До них відносять ті оператори, яких необхідно написати в процесі роботи над програмою з урахуванням можливих уточнень в постановці завдання і удосконалення алгоритму.

Умовна кількість операторів в програмі:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (5.3)$$

- де  $q$  – кількість операторів, що використані в програмі;  
 $z$  – коефіцієнт складності програми;  
 $p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки.

За узгодженням з керівником проекту, значення коефіцієнтів  $z$  і  $p$  були узяті, відповідно, рівними 1,25 і 0,15. Кількість операторів у програмному забезпеченні – 384 (Додатки А та Б).

Таким чином, для програми:

$$Q = 384 \cdot 1,25 \cdot (1 + 0,15) = 552 \text{ операторів}$$

Оцінка витрат праці на підготовку і опис завдання складають  $t_0=20$ .

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з уточненням опису і кваліфікації програміста по формулі:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ людино-годин} \quad (5.4)$$

- де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат праці  $B=1,2-1,5$ ;  
 $k$  – коефіцієнт програміста, який визначається залежно від стажу роботи за фахом.

В даному випадку коефіцієнт  $k = 0,8$ , оскільки стаж роботи до 2 років.

Таким чином, витрати праці на вивчення опису завдання :

$$t_\partial = \frac{552 \cdot 1,3}{75 \cdot 0,8} = 11,96, \text{ людино-годин}$$

Витрати праці на обробку алгоритму рішення задачі:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ людино-годин} \quad (5.5)$$

$$t_a = \frac{552}{20 \cdot 0,8} = 34,5, \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на складання програми за готовою блок-схемою:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ людино-годин} \quad (5.6)$$

$$t_n = \frac{552}{20 \cdot 0,8} = 34,5, \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на налаштування програм ЕОМ розраховуються по формулі (за умови автономного налаштування одного завдання):

$$t_{омл} = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k}, \text{ людино-годин.} \quad (5.7)$$

$$t_{нал} = \frac{552}{4 \cdot 0,8} = 172,5, \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації за завданням визначаються по формулі:

$$t_{\partial} = t_{\partial p} + t_{\partial o}, \text{ людино-годин.} \quad (5.8)$$

де  $t_{\partial p}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до рукопису;

$t_{\partial o}$  – трудомісткість редагування, друку і оформлення документації.

$$t_{\partial p} = \frac{Q}{(15 \dots 20) * k}; \quad (5.9)$$

$$t_{\partial p} = 552 / (15 \cdot 0,8) = 46,0, \quad \text{людино-годин.}$$

$$t_{\partial o} = 0,75 \cdot t_{\partial p}, \quad (5.10)$$

$$t_{\partial} = 46,0 + 46,0 \cdot 0,75 = 80,5 \text{ людино-годин.}$$

$$t = 20 + 11,96 + 34,5 + 34,5 + 172,5 + 46,0 = 319,46 \text{ людино-годин.}$$

Таким чином, трудомісткість розробки програмного забезпечення складає 319,46 людино-годин.

### 5.1.3 Розрахунок витрат на створення програмного забезпечення

Витрати на створення програмного забезпечення ( $K_{пз}$ ) включають витрати на заробітну плату розробника програми і вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ ( $Z_{мн}$ ):

$$K_{пз} = Z_{зп} + Z_{мн}, \text{ грн.} \quad (5.11)$$

Заробітну плату розробника програми визначають за формулою:

$$Z_{зп} = t \cdot C_{пр}, \text{ грн,} \quad (5.12)$$

де  $t$  – загальна трудомісткість розробки програмного забезпечення;

$C_{пр}$  – середньо-годинна заробітна плата програміста (основна і додаткова) з нарахуваннями, грн./годину.  $C_{пр}=250$  грн/годину.

$$Z_{зп} = 319,46 \cdot 250 = 79865,00 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ:

$$Z_{мв} = t_{отл} \cdot C_{мч}, \text{ грн,} \quad (5.13)$$

де  $t_{отл}$  – трудомісткість налагоджування програм на ЕОМ;

$C_{мч}$  – вартість машино-години ЕОМ, грн/годину.

$C_{мч}=50$  грн/годину.

$$Z_{мв} = 172,5 \cdot 50 = 8625,00 \text{ грн.}$$

$$K_{пз} = 79865,00 + 8625,00 = 88490,00 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на створення програмного забезпечення складають 88 490,00 грн.

## 5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на утримання

Витрати на ремонт обладнання зібрані у табл.5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на ремонт нового обладнання

№	Найменування професії	Розряд	Кіл-ть людей	Тариф (грн/год)	Кіл-ть годин	Фонд зар. плати (грн)
1	Слюсар-монтажник	6	1	29.2	168	4 905.60
2	Інженер-електроніки	9	1	29.2	168	4 905.60
	Разом:					9 811.20
	ЄСВ (22%):					2 158.46
	Усього:					11 969.66

За допомогою лінійного способу обчислюємо амортизацію обладнання:

$$A = P_{\text{ст}} * N_a / 100\%, \quad (5.14)$$

де  $P_{\text{ст}}$  – початкова коштовність обладнання,

$N_a$  – норма амортизації

Маємо:

$$A = 83\,584.05 * 20 / 100 = 16\,716.81 \text{ грн} \quad (5.15)$$

Вартість електроенергії розраховується виходячи з того, що вартість 1 кВт\*год = 0,905 грн:

$$V_{\text{ел}} = Z_p * V_{1\text{кВт}}, \quad (5.16)$$

де  $Z_p$  – річні витрати електроенергії,

$V_{1\text{кВт}}$  – вартість 1кВт електроенергії

Маємо:

$$V_{\text{ел}} = 60\,400 * 0,905 = 54\,662 \text{ грн} \quad (5.17)$$

Таблиця 5.4 – Кошторис річних витрат на утримання і експлуатацію нового обладнання

Найменування статей витрат	Сума (грн у рік)
Амортизація обладнання (20%)	16 716.81
Поточний ремонт	11 969.66
Витрати на електроенергію	54 662.00
Разом	83 348.47

Виходячи з розрахунків, видно, що впровадження нового обладнання та його експлуатація є досить коштовними в матеріальному плані, але оскільки встановлення нової системи автоматизації дозволяє зменшити кількість витраченого палива, а також підвищити точність регулювання в цілому, її впровадження є цілком вигідним та ефективним рішенням.

Річна економія при впровадженні системи автоматизації ( $P_{\text{ек}}$ ) визначається по формулі:

$$P_{\text{ек}} = Z_p - (Z_{\text{ном}} + Z_e) \quad (5.18)$$

- де  $Z_{nom}$  - річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи  
 $Z_p$  - витрати без застосування системи;  
 $Z_e$  - витрати після застосування системи.

Розрахуємо річні витрати на рішення задачі без застосування розробленої системи керування.

Результати досліджень у третьому розділі кваліфікаційної роботи показали, що за рахунок впровадження проекрованої системи автоматизації маємо економію витрат палива 0,8 - 1% при максимальній продуктивності методичної печі 80 т/год. При цьому питомі витрати палива для однієї печі становлять 45 кг/т.

Річний випуск продукції однієї доменної печі – 584 000 тон, а вартість палива складає 3400 грн за тону. З урахуванням цього, річні витрати на паливо становлять

$$(3400 * 584000 * 45) / 1000 = 89,352 \text{ млн. грн.}$$

Визначимо річну економію на поточних витратах:

$$P_{ек} = 89\,352\,000 - (89\,352\,000 * 0,991) = 83\,348,47 = 720\,819,53 \text{ грн.}$$

Таким чином, річна економія на експлуатаційних витратах складає 720 819,53 грн.

### 5.3 Оцінка економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності здійснюється на основі визначення і аналізу наступних показників:

- 1) розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат  $E_p$ ;
- 2) терміну окупності капітальних витрат  $T_{ек}$ .

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат показує, скільки гривень додаткової економії приносить одна гривня капітальних витрат :

$$E_p = P_{ек} / K \quad (5.19)$$

де  $K$  - капітальні витрати на придбання і впровадження системи автоматичного керування;

$P_{эк}$  - річна економія.

$$E_p = 720\,819,53 / (83\,348 + 88\,490 + 86\,433) = 2,79 \text{ (долі одиниць).}$$

Таким чином, коефіцієнт ефективності капітальних витрат складе 2,79.

Термін окупності капітальних витрат на придбання і впровадження проекту за рахунок загальної економії розраховується по формулі:

$$T_{ек} = K / P_{ек} \quad (5.20)$$

$$T_{ек} = (83\,348 + 88\,490 + 86\,433) / 720\,819,53 = 0,358.$$

Таким чином, термін окупності капітальних витрат складе 0,358 року.

Фінансово-економічні показники, що характеризують ефективність створення і використання розробленого проекту, відображені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Фінансово-економічні показники використання системи автоматичного керування, що розробляється

Найменування	Одиниця виміру	Значення показника
Капітальні витрати на придбання і впровадження системи	грн	174 923,97
Річні поточні витрати, пов'язані з використанням системи	грн	83 348,00
Річна економія від впровадження системи	грн	720 819,53
Коефіцієнт ефективності	долі од.	2,79
Розрахунковий термін окупності капітальних витрат	років	0,358

#### 5.4 Висновок

У цьому розділі кваліфікаційної роботи розраховані економічні показники, які показують економічну доцільність впровадження системи автоматичного керування, що розробляється.

При впровадженні проектованої системи керування капітальні витрати складуть 174,92 тис. грн. Річні поточні витрати складають 83,4 тис. грн. Річна економія на поточних витратах складає 720,82 тис. грн. Термін окупності проектних капітальних вкладень за рахунок скорочення експлуатаційних витрат складає 0,358 років, а коефіцієнт ефективності – 2,79. Тобто, кожна гривна капітальних витрат принесе 2,79 грн. прибутку.

Виходячи з розрахованих даних, можна зробити висновок, що впровадження і використання проектованої системи автоматичного керування температурою у зварювальній зоні методичної печі є економічно доцільним.

## Розділ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

### 6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів у робочому просторі трьох-зонної методичної печі

Методична піч розташоване на північному сході міста Новомосковська Дніпропетровської області. Цех має довжину 484 м, ширину 48 м і висоту 14 м. Одночасно в цеху працює 86 працівників, таким чином, на одного робітника припадає 270 м<sup>2</sup> площі і 3781 м<sup>3</sup> обсягу, що відповідає нормам ((000)на одного працюючого повинно припадати 4,5м<sup>2</sup> площі і 15 м<sup>3</sup> обсягу). У цеху є пішохідні містки. На даху будівлі розташований світлоаераційний ліхтар обладнаний вітрозахисними панелями. Відкривання прольотів механізовано. По периметру зовнішніх стін будівлі цеху, на покрівлі передбачено огорожу висотою 0,9 м, а для доступу на дах - пожежні сходи, розташовані по периметру будівлі з інтервалом 150 м. У цеху є джерела надлишкового тепла у вигляді двох методичних печей. Кількість надлишкового тепла становить 2,5 МДж / м. Все обладнання цеху розташоване по технологічному ланцюжку. Передбачена можливість установки та модернізації діючих її елементів. Пішохідні доріжки асфальтовані і оснащені пішохідними галереями. На відстані 3 м вздовж лінії печі проведені огорожі для уникнення викиду розплавлених кусків металу.

Загальний вигляд методичної печі наведений на рисю 1.

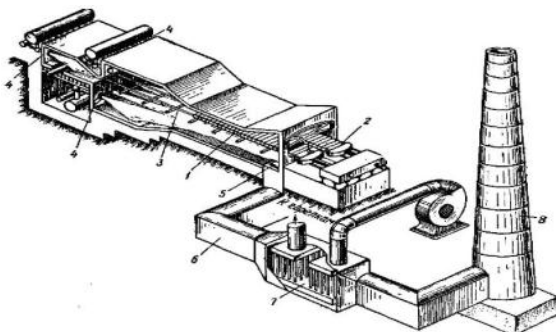


Рис. 1 – Загальний вигляд методичної печі

Методична піч поділяється на три зони, відповідно теми дипломного проекту дослідження проводилися у другій (по ходу металу) зоні яка називається зоною високих температур або зварювальної зоною. Призначення цієї зони - швидке нагрівання поверхні заготовки до кінцевої температури, що становить 1150 - 1250 ° С. Для інтенсивного нагріву поверхні металу до цих температур в зварювальної зоні необхідно забезпечувати температуру на 150 - 250 ° С і вище.

При роботі з піччю на працівника можуть впливати небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

- небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- підвищена температура поверхонь обладнання, заготовок, виробів;
- інтенсивне теплове (інфрачервоне) випромінювання;
- підвищена температура повітря робочої зони;
- підвищений вміст шкідливих парів і аерозолів в повітрі робочої зони;
- гострі кромки, задирки і шорсткості на поверхні інструменту, виробів;
- недостатня освітленість робочої зони;
- пожежонебезпека.

Джерела виникнення шкідливих і небезпечних виробничих факторів:

- несправне обладнання або неправильна його експлуатація;
- несправне електрообладнання або неправильна його експлуатація;
- гострі кромки, задирки і шорсткості на поверхні інструменту, виробів;
- відсутність, несправність, неправильна експлуатація ЗІЗ;
- відсутність, несправність, неправильна експлуатація приладів освітлення;
- невиконання або неналежне виконання працівником посадової інструкції, інструкцій з охорони праці, правил внутрішнього трудового розпорядку, локальних нормативних актів, що регламентують порядок організації робіт з охорони праці, умови праці на об'єкті.



## 6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

### 6.2.1 Електробезпека

Для електропостачання приміщення підведена трифазна чотири провідна електрична мережа частотою 50 Гц і напругою 380/220В з глухозаземленою нейтраллю. Використання цієї схеми трифазної мережі обумовлено наявністю споживачів на лінійне (підключення нагрівачів і приводів печі) і фазну напругу (допоміжне обладнання, освітлювальна навантаження в приміщенні)

Для захисту людей від уражень електричним струмом в умовах термічного цеху застосовуються такі заходи:

- періодичний контроль ізоляції;
- усі неізольовані струмоведучі частини електроустановки, що встановлені поза електричними приміщеннями огорожені суцільними огорожами, зняття або відкриття яких можливе тільки за допомогою спеціальних ключів чи інструментів;
- застосування захисного занулення. Зумовлено використанням схеми з глухозаземленою нейтраллю і електроустановками напругою до 1000 В змінного струму. Згідно з правилами устрою електричних установок при напрузі 1000 В допустимий опір заземлюючих пристроїв не вище 4 Ом ( $P_d = 4$  Ом);
- застосування захисного відключення. Обумовлено можливим однофазним замиканням на корпус електрообладнання в мережах з глухозаземленою нейтраллю. Пристрої захисного відключення (УЗО) мають високу чутливість і швидкодія. Їх струми спрацьовування досить малі (10 - 30 мА), тому вони реагують як на струми замикання на землю, так і на струми витоку при зниженні опору ізоляції мережі, а їх швидкодія (0,1 - 0,2 с) забезпечує майже миттєве відключення установки.
- Застосування індивідуальних захисних засобів.

### **6.2.2 Захист від впливу механічних факторів**

У прокатному виробництві найбільш часто застосовують огорожувальні, обмежувальні, блокувальні, запобіжні і сигналізуючі пристрою.

Огорожі підлягають: агрегати, механізми, їх рухомі їх частини, що обертаються, а також електрообладнання що знаходяться під напругою, транспортери, окремі ділянки (відкриті прорізи, люки, сходи) при проведенні ремонтних робіт і т.д.

Обмежувальні пристрої - бар'єри, поручні, перила. До них відносяться так само тупикові пристрою на залізничному транспорті, обмежувачі переміщення мостових кранів, обмежувачі маси вантажу, висоти підйому.

Запобіжні пристрої - попереджають виникнення небезпечних виробничих факторів, при різних технологічних процесах і роботі обладнання шляхом нормалізації параметрів процесу або відключення обладнання.

Найбільш часто зустрічаються такі принципи дії таких пристроїв: відключення електроприводу або електромережі, використання газо- і гідродинамічних зусиль для відкривання запірною клапана або урівноваження тисків часто застосовують запобіжні пристрої з використанням запобіжних клапанів манометра і термометрів, які широко використовують при експлуатації судин під тиском і енергетичного обладнання.

У цеху існують запобіжні пристрої (муфти тертя, плавкі запобіжники, клапани, кінцеві вимикачі) які виключають поломку обладнання, можливість переходу параметрів за межі встановлених граничних значень і виникнення аварійних ситуацій. Різновидом запобіжних пристроїв є гальмівні пристрої, призначення яких полягає в запобіганні механічних ударів і аварійної зупинки.

Блокувальні пристрої - це ті технічні засоби, які попереджають виникнення небезпечних виробничих факторів при порушеннях або екстремальних відхиленнях параметрів безпеки технологічних процесів і роботи обладнання. Блокуючі пристрої або призупиняють процес або роботу

обладнання, не допускаючи виникнення небезпечних виробничих факторів, або нормалізують параметри процесу і роботи обладнання при їх відхиленні.

1) Механічні блокуючі пристрої - це пристрої типу важеля або ексцентрикового типу, що не допускають включення механізму при проявленні небезпечного виробничого фактору.

2) Електромеханічні блокуючі пристрої - застосовуються в раз-особистих установках в тих випадках, коли блокуючим елементом є кінцевий вимикач, з'єднаний з електромагнітом - при замиканні ланцюга електромагніт включає рубильник.

3) Електричні блокуючі пристрої найчастіше застосовуються на електроустановках високої напруги, на установках з примусовою системою охолодження.

Сигналізують пристрої попереджають обслуговуючий персонал про пуск і зупинку обладнання, про порушення і екстремальних відхиленнях технологічних процесів і роботи виробничого устаткування, підвищених концентрацій отруйних і вибухонебезпечних газів. Застосовують світлову або звукову сигналізацію, або ту і іншу одночасно.

### **6.2.3 Запиленість**

При термічній та хімічній обробці труб в повітря робочої зони виділяється хімічний пар, дим та пил. Дим и пар негативно впливає на здоров'я людини, сприяє розвитку хворобливих станів (катарів верхніх дихальних шляхів, бронхітів, фіброзних змін легких і ін.). Деякі компоненти диму містять канцерогенні (тобто сприяють розвитку пухлин) речовини; більші частки при попаданні в око пошкоджують його рогову і слизову оболонки.

Для боротьби з пилом в умовах виробництва застосовують аспірацію обладнання, відсмоктування і фільтрацію запиленого повітря перед викидом в атмосферу. Герметизація обладнання і робочих місць, зволоження пилять, де це можливо знижують вміст пилу в повітрі. Там де в даний час неможливо

санітарних норм по запиленості повітря, при-змінюються засоби індивідуального захисту.

Для забезпечення захисту від пилу в печі встановлені димохід з фільтром, для видалення небезпечних сполук. Також працівники використовують індивідуальні захисні засоби (респіратори і протипилові окуляри). Для захисту шкірного покриву від дратівної дії користуються спецодягом з щільної тканини (комбінезон), з щільним старанністю ворота, рукавів і брюк (на зав'язках або гумках).

#### **6.2.4 Нормалізація параметрів мікроклімату**

Вологість в основних приміщеннях цеху коливається в межах від 40 до 60%. Рухливість повітря не перевищує 0,1 м/с. На мікроклімат приміщень і тепловий стан персоналу впливають заклені поверхні, які нерідко в теплу пору року перегрівують приміщення, а взимку значно охолоджують.

Склад повітря (хімічний, фізичний, бактеріальний) протягом дня зазнає значних змін. Зростає концентрація вуглекислого газу в повітрі (для закритих приміщень становить 0,07 - 0,1%).

Істотний вплив на параметри мікроклімату і стан людського організму надає також інтенсивність теплового випромінювання різних нагрітих поверхонь, температура яких перевищує температуру в виробничому приміщенні.

Основні заходи, спрямовані на нормалізацію параметрів мікроклімату:

- Раціональна вентиляція, опалення та кондиціонування повітря. Вони є найбільш поширеними способами нормалізації мікроклімату у виробничих приміщеннях.

У цеху застосована комбінована вентиляція, т.ч. одночасно використовуються загальна і місцева вентиляції. Для видалення димових газів застосовуються механічні витяжка в формі парасольок над виходами печей. Також використовуються повітряні завіси у вигляді екранів у печей, які обмежують поширення нагрітого повітря і газів.

- Застосування, теплоізоляції обладнання і захисних екранів.

### 6.3 Розрахункова частина

Раціональна організація виробництва, автоматизація і механізація трудових процесів, теплоізоляція робочих місць і трубопроводів, вентиляція, забезпечення персоналу спецодягом забезпечують захист від підвищених температур і тепловипромінювання.

У термічному відділенні, встановлюють вентилятори, екранування, а так же обладнають приміщення для відпочинку з нормальною температурою. У місцях групового відпочинку застосовуються установки для кондиціонування повітря.

Природна вентиляція за допомогою ліхтарів на дахах термічних відділень і прорізів в сенах забезпечують необхідний відведення гарячого повітря.

Проведемо розрахунок прозорого одношарового теплозахисного екрану, встановленого на посту управління для захисту оператора від теплових випромінювань.

Як матеріал екрану виберемо синьо-зелене оргскло, що забарвлюється в масі товщиною слою до 5 мм.

Щільність радіаційного теплового потоку від джерела випромінювання визначається по формулі:

$$q_0 = \varepsilon_{np} \cdot \sigma_0 \cdot \left[ \left( \frac{t_u + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_3 + 273}{100} \right)^4 \right],$$

де  $\varepsilon_{np}$  - приведена ступінь чорноти, прийнята рівною 0,95;  $\sigma_0$  - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, рівний  $5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт / (м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>).

$t_u$  - температура поверхні джерела тепловиділень, прийнята рівною 1050°C;

$t_3$  - ефективна температура на робочому місці, прийнята рівною 20°C;

$$q_{\lambda 0} = 0,95 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \left[ \left( \frac{1050 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] = 1537 \text{ Вт/м}^2.$$

Щільність теплового потоку перед екраном складе

$$q_s = \frac{q_0}{L^2},$$

де  $L$  - відстань від джерела випромінювання до екрану, прийняте рівним 5 м;

$$q_s = \frac{1537}{25} = 61,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Коефіцієнт пропускання прозорого тіла можна визначити за допомогою закону Бугера:

$$D_s = e^{-\alpha_s \delta},$$

де  $\delta$  – товщина прозорого тіла, мм;

$\kappa_s$  – коефіцієнт ослаблення променя для органічного пофарбованого скла рівний 0,24 1 / мм;

$$D_s = e^{-50,24} = 0,3.$$

Щільність потоку випромінювання на робочому місці складе

$$q_{pa\delta} = q_s D_s;$$

$$q_{pa\delta} = 61,5 \cdot 0,3 = 18,5 \text{ Вт/м}^2.$$

При температурі повітря на робочому місці, що дорівнює 20 °С, комфортна опромінення знаходиться в межах від 0 до 20 Вт / м<sup>2</sup>.

За допомогою обраного теплозахисного екрану досягаються необхідні умови комфортності на робочому місці по опромінення.

#### **6.4 Пожежна профілактика**

За вибухонебезпечності приміщення належить до класу В - Па і по пожежонебезпеки до класу П - Па. До цього класу належать приміщення, в яких небезпечні стани не мають місця при нормальній експлуатації, а можливі тільки в результаті аварії або несправності.

Джерелом запалення є: розпечені або нагріті стінки обладнання, іскри електрообладнання, статична електрика, іскри удару і тертя деталей машин.

З метою пожежо- вибухозахисту всі процеси відбуваються в герметично закритих апаратах, передбачені заходи захисту від атмосферного і статичної електрики. Електрообладнання має вибухо-пожежобезпечний виконання. Відповідно до СНиП II-A 5-70 в разі пожежі передбачено два запасних евакуаційних виходи.

Для своєчасного виявлення спалаху в приміщенні є теплові сповіщувачі ДОТЕС - 2 шт., Сповіщувачі полум'я ШЕС-ІК - 2 шт., Сповіщувач димової оптико-електронний ШДЕС - 1 шт.

Нагрівальні пристрої, що використовуються в прокатному виробництві і працюють на газі, повинні відповідати вимогам Правил безпеки систем газопостачання України.

В процесі роботи нагрівальних пристроїв повинні бути передбачені заходи, що забезпечують безпеку працівників і попереджають вибивання полум'я з-під кришок нагрівальних пристроїв. Для цього необхідно забезпечити встановлений режим горіння палива в робочому просторі, а також щільне прилягання кришок до стінок печі. При сильному вибиванні полум'я і газів з вікон печей дуття і тягу необхідно відрегулювати так, щоб тиск в робочому

просторі печі на рівні підлоги при максимальній продуктивності не перевищував 33 Па.

Щоб запобігти вибухам, необхідно:

подачу газу і дугтя в пальники здійснювати після того, як вентилятор почне працювати з повним числом обертів;

на підводах газу до кожного пальника встановлювати кран або засувку, а на підводах в зону для багатозонних печей - швидкодіючий клапан на кожну зону.

Для відгуків склепінь нагрівальних печей, рекуператорів, а також обслуговування пальників, приладів КВП і автоматики та проведення ремонтів повинні бути влаштовані майданчики, що стоять окремо або ж з кріпленням до металоконструкції печі.

Настил майданчиків повинен бути теплоізолюваний. Чи не дозволяється ставати безпосередньо на склепіння.

Для захисту працівників від теплового впливу нагрівальних пристроїв слід застосовувати:

теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло;

теплоізоляцію та охолодження робочих місць;

природну і механічну вентиляцію;

повітряне охолодження замкнутих просторів печей, що знаходяться в ремонті;

водорозпиленних в припливних віконних прорізах і на робочих місцях;

спецодяг та індивідуальні захисні пристрої - щитки, екрани, окуляри, світлофільтри.

Ці прилади та пристрої не повинні створювати незручності для працівників.

## **6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях**

На території заводу можуть виникнути надзвичайні ситуації:



- Техногенні надзвичайні ситуації (загроза вибуху, пожежі, виникнення аварії на енергетичних, інженерних і технологічних системах).

- Природні надзвичайні ситуації (різка зміна температури повітря, сильний вітер, злива, снігопад і т.п.).

Основними заходами при виникненні надзвичайної ситуації техногенного характеру (вибух, пожежа) на території заводу є:

- вдосконалення служби оповіщення працівників про створилася НС і необхідні дії працівників;

- точне виконання плану графіка попереджувальних ремонтів та профілактичних робіт, дотримання їх обсягів і правил проведення;

- регулярна перевірка дотримання діючих норм і правил з промислової безпеки;

- регулярне проведення тренувань з відпрацювання дій всього персоналу підприємства в разі НС;

- дислокація автомашин пожежогасіння з урахуванням 20 хвилинної доступності.

Для покращення ситуації в галузі безпеки в надзвичайних ситуаціях було розроблено порядок дій персоналу у надзвичайних ситуаціях

Поведінка персоналу у випадку затоплення приміщення:

1. Установити джерело затоплення та вжити заходів щодо його перекриття.

2. Евакуювати персонал, цінності та документи із затоплених або тих, яким загрожує затоплення, приміщень і ділянок місцевості.

3. Вимкнути газ, електропостачання.

4. Якщо вода зійшла, перевірити справність та стан будинку банку, приміщень, каналізації, електромереж та мереж зв'язку.

5. Вжити заходів щодо ліквідації наслідків затоплення (очистити від мулу, провести дезінфекцію тощо).

## ВИСНОВКИ

За результатами структурної та параметричної ідентифікації об'єкта керування визначена динамічна модель за каналом “керуючий сигнал – керована величина”. Модель за каналом “керуючий сигнал – керована величина” складається з двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з постійними часу 83,6044 с та друга 32,6162 с, а також ланки транспортного запізнення, що дорівнює 16,28 с. За цим каналом статична характеристика є лінійною з коефіцієнтом передачі 0,02.

Аналіз у джерелах експериментальних статистичних характеристик збурення для системи керування температурою у верхній зварювальній зоні методичної печі дозволив встановити наступні його параметри: математичне очікування зміни періоду коливань становить 23 с, середньоквадратичне відхилення при цьому складає 4,5 с, а середньоквадратичне відхилення зміни амплітуди – 55 °С. З урахуванням зазначених параметрів випадкового сигналу у якості збурення на систему керування створений генератор сигналу з випадковою амплітудою та періодом коливань. У моделі імітації збурення на початку створюється східчастий сигнал, що є квантованим як по рівню (амплітудою), так і за часом, а потім відбувається його лінійна інтерполяція.

З оглядом на завдання керування системи автоматичного керування та на результати аналізу у першому розділі методичної печі як об'єкта автоматизації, при відпрацюванні системою збурення прийняті наступні критерії якості перехідного процесу:

- максимальне відхилення керованої величини від уставки  $A_{max}$  (рис.2.7) не повинно перевищувати рівень 5%;

- величина максимального перерегулювання  $A_{nep}$  з оглядом на перший критерій не повинна перевищувати рівень 2,5%;

- час повернення керованої величини у діапазон зміни значень  $\pm 2,5\%$  від заданого значення повинен бути якомога менше;

– запаси стійкості САК за амплітудою та фазою повинні бути, відповідно, не менше 8 Дб та 40 град.

З урахуванням того, що введення у модель системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні підпорядкованої системи автоматичного керування положенням заслінки з нерегульованим приводом призводить до незначного відхилення графіків перехідного процесу на виході синтезованої системи керування (рівень збігу графіків для випадків врахування інерційності повороту заслінки та відсутності врахування становить 96,07%), зроблений висновок щодо прийнятності прийняття системи автоматичного керування положенням заслінки за підсилювальну ланкою з коефіцієнтом підсилення одиниця.

У ході досліджень встановлено, що залежність часу перебування керованої величини за межами рекомендованого діапазону  $\pm 2,5\%$  від заданого значення при подачі східчастого максимального збурення від відносного показника швидкодії системи керування є зворотною експоненціального характеру. Зазначимо, що за умови середнього рівня швидкодії системи керування й вище маємо приблизно однаковий мінімальний час перебування керованої величини за межами рекомендованого діапазону – в районі 100 с. Також можна зробити висновок, що для усіх рівнів швидкодії синтезованої САК перерегулювання за умови повернення керованої величини у рекомендований діапазон є незначним та не перевищує значення 0,8%, що задовольняє вимогам до САК.

Також визначено, що запас стійкості САК як за амплітудою, так і за фазою залежить від показника швидкодії системи керування в основному зворотно й суттєво нелінійно, але у середньому все ж простежується закономірність зменшення запасів стійкості САК при збільшенні показника її швидкодії. За умови наближення показника швидкодії САК до відмітки між середнім та високим рівнями відбувається зменшення запасів стійкості як за амплітудою, так і за фазою нижче допустимих рівнів, відповідно, 8 Дб та 40 град.

Крім того, встановлено, що значення показника швидкодії системи керування між середнім та високим рівнями дозволяє отримати прийнятні значення за усіма критеріями якості роботи системи керування – саме при цьому варіанті настройки регулятора ми входимо у діапазон мінімальних значень часу перебування керованої величини за рекомендованим діапазоном, й саме при цьому варіанті настройки регулятора запаси стійкості САК за амплітудою та фазою перебувають біля своїх граничних рівнів, але не перетинаючи їх.

Обчислювальний експеримент на основі імітаційної моделі САК підтвердив якість роботи системи керування з оптимальним налаштуванням регулятора за умови відпрацювання нею складного збурення, що властиве реальним умовам роботи печі, – середньоквадратичне відхилення фактичної температури у верхній зварювальній зоні методичної печі від заданого значення у відносних одиницях склало 0,33%, а максимальне відхилення фактичної температури від заданого значення також у відносних одиницях – 4,83%.

На базі безперервної моделі системи керування розроблена цифрова модель системи керування з доведенням її адекватності.

З моделі відокремлені модель об'єкта керування та модель регулятора. За допомогою стандартних засобів математичного пакета MATLAB отримані програмні модулі, які реалізують об'єкт керування та регулятор на мові програмування Structured Text.

На базі програмних модулів, що реалізують модель об'єкта керування та модель регулятора, розроблено програмне забезпечення системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі для програмного програмованого логічного контролера zenon Logic який входить до складу SCADA системи zenon.

В SCADA системі zenon розроблено людино машинний інтерфейс, який містить відображення інформації про технологічний процес, зміну температури, хронологічний список подій та інформаційний список тривог.

Виконано перевірку функціонування програмного забезпечення.

При впровадженні проекрованої системи керування капітальні витрати складуть 174,92 тис. грн. Річні поточні витрати складають 83,4 тис. грн. Річна економія на поточних витратах складає 720,82 тис. грн. Термін окупності проектних капітальних вкладень за рахунок скорочення експлуатаційних витрат складає 0,358 років, а коефіцієнт ефективності – 2,79. Тобто, кожна гривня капітальних витрат принесе 2,79 грн. прибутку.

Виходячи з розрахованих даних, можна зробити висновок, що впровадження і використання проекрованої системи автоматичного керування температурою у зварювальній зоні методичної печі є економічно доцільним.

Також були розглянуті шкідливі та небезпечні фактори при експлуатації системи керування та розроблено ряд заходів з охорони праці.

## Перелік посилань

1. Конспект лекцій з дисципліни «Металургійні печі» для студентів підготовки напряму 6.050401 Металургія / Укл.: Крячко Г.Ю.–Кам'янське; ДДТУ, 2016 р., 36 стор.
2. Копелович А.П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов / А. П. Копелович. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии. – 1960. – 96 с.
3. Дипломне проектування. Методичні рекомендації для студентів спеціальності 151«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: В.В. Ткачов, А.В. Бубліков, Л.І. Цвіркун, С.М. Проценко, О.О. Бойко., Д.В. Славінський. – Д.: «НГУ», 2016. – 26 с.
4. Шаруда В.Г., Ткачов В.В., Бубліков А.В. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра : навч. посіб. – Д.: Національний гірничий університет, 2015. – 487 с.
5. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного управління для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
6. Автоматическое управление металлургическими процессами / А.М. Беленький, В.Ф. Бердышев, О.М. Блинов, В.Ю. Каганов. - М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
7. Аверьянов О.И. Технологическое оборудование: Учебник для СПО – М: Инфра-М., 2011. – 306 с.
8. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации. – 2010. – 423 с.
9. Тайн Н.Ю. Методические нагревательные печи. / Н.Ю. Тайн , Ю.И. Розенгарт – М.: Металлургиздат, 1964. – 408 с.
10. Климовицкий М.Д. Оптимизация работы нагревательных печей. / М.Д. Климовицкий – М: Металлургия, 1965. – 163 с.

11. Шіпетін А.І. Техніка проектування систем автоматизації технологічних процесів. М.: Машинобудування, 1976. – 496 с.

12. ГОСТ 34.003-90. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Терміни, і визначення. - М.: Держстандарт, 1992. - 54 с.

## Додаток А

### Програмні модулі системи керування

#### А.1 Модуль об'єкта керування

```
(*
*
* File: MOD_SYS.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"MOD_SYS/Об'єкт управління
з датчиком1"
*
* Model name                : MOD_SYS
* Model version             : 1.39
* Model creator             : DIMA
* Model last modified by   : DIMA
* Model last modified on   : Mon Nov 23 16:46:22 2020
* Model sample time        : 0s
* Subsystem name           : MOD_SYS/Об'єкт управління
з датчиком1
* Subsystem sample time    : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on     : Mon Nov 23 17:28:38 2020
*
* Target IDE selection     : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included      : No
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    Object_Power: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Object_Temperature: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..162] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
    DiscreteTransferFcn: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
```



```

FOR i := 0 TO 162 DO
    Delay_DSTATE[i] := 0.0;
END_FOR;
(* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn_states := 0.0;

(* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := 0.0;
SS_STEP:

(* Outport: '<Root>/Object_Temperature' incorporates:
* Delay: '<S1>/Delay' *)
Object_Temperature := Delay_DSTATE[0];

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn := 0.001195399957978 *
DiscreteTransferFcn_states;

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
FOR k := 0 TO 161 DO
    Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[162] := 0.003061284570645 *
DiscreteTransferFcn1_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn' incorporates:
* Gain: '<S1>/Gain1'
* Update for Inport: '<Root>/Object_Power' *)
DiscreteTransferFcn_states := (0.1 * Object_Power) - (-
0.998804600042022 * DiscreteTransferFcn_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (-
0.996938715429355 * DiscreteTransferFcn1_states);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

## A.2 Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: MOD_SYS.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"MOD_SYS/Регулятор"
*
* Model name           : MOD_SYS
* Model version        : 1.38
* Model creator        : DIMA
* Model last modified by : DIMA
* Model last modified on  : Mon Nov 23 14:51:07 2020
* Model sample time    : 0s
* Subsystem name       : MOD_SYS/Регулятор
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on   : Mon Nov 23 14:55:17 2020
*
* Target IDE selection  : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included   : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    Control_SetPoint: LREAL;
    Control_Temperature: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Control_Power: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
    DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Gain: LREAL;
    rtb_Gain6: LREAL;
    rtb_Sum_o: LREAL;
    rtb_Compare_bw: BOOL;
    rtb_Compare_o: BOOL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Atomic SubSystem: '<S1>/ПИД-
регулятор' *)

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator:
'<S2>/Discrete-Time Integrator' *)
        DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;

```

```

    (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator:
'<S2>/Discrete-Time Integrator1' *)
    DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := 0.0;
    (* End of InitializeConditions for SubSystem: '<S1>/ПІД-
регулятор' *)
    SS_STEP:

    (* Gain: '<S1>/Gain' incorporates:
    * Inport: '<Root>/Control_SetPoint'
    * Inport: '<Root>/Control_Temperature'
    * Sum: '<S1>/Sum' *)
    rtb_Gain := (Control_SetPoint - Control_Temperature) *
0.2;

    (* Outputs for Atomic SubSystem: '<S1>/ПІД-регулятор' *)
    (* Gain: '<S2>/Gain6' incorporates:
    * DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator1'
    * Gain: '<S2>/Gain5'
    * Sum: '<S2>/Sum1' *)
    rtb_Gain6 := ((70.3362704043526 * rtb_Gain) -
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE) * 0.318370240044981;

    (* Sum: '<S2>/Sum' incorporates:
    * DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
    * Gain: '<S2>/Gain1' *)
    rtb_Sum_o := ((3.51362893040726 * rtb_Gain) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE) + rtb_Gain6;

    (* Outputs for Atomic SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)
    (* RelationalOperator: '<S4>/Compare' incorporates:
    * Constant: '<S4>/Constant' *)
    rtb_Compare_bw := rtb_Sum_o >= 100.0;

    (* RelationalOperator: '<S5>/Compare' incorporates:
    * Constant: '<S5>/Constant' *)
    rtb_Compare_o := rtb_Sum_o <= 0.0;

    (* Switch: '<S3>/Switch1' incorporates:
    * Constant: '<S3>/Constant'
    * Constant: '<S6>/Constant'
    * Constant: '<S7>/Constant'
    * Logic: '<S3>/Logical Operator'
    * Logic: '<S3>/Logical Operator1'
    * Logic: '<S3>/Logical Operator2'
    * Logic: '<S3>/Logical Operator3'
    * Logic: '<S3>/Logical Operator4'
    * Logic: '<S3>/Logical Operator5'
    * RelationalOperator: '<S6>/Compare'
    * RelationalOperator: '<S7>/Compare' *)
    IF NOT (((rtb_Compare_bw AND (rtb_Gain < 0.0)) OR
(rtb_Compare_o AND (rtb_Gain > 0.0))) OR ((NOT rtb_Compare_bw)
AND (NOT rtb_Compare_o))) THEN
        rtb_Gain := 0.0;

```

```

END_IF;
(* End of Switch: '<S3>/Switch1' *)
(* End of Outputs for SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)

(* Saturate: '<S2>/Saturation1' *)
IF rtb_Sum_o >= 100.0 THEN
    (* Outport: '<Root>/Control_Power' *)
    Control_Power := 100.0;
ELSIF rtb_Sum_o > 0.0 THEN
    (* Outport: '<Root>/Control_Power' *)
    Control_Power := rtb_Sum_o;
ELSE
    (* Outport: '<Root>/Control_Power' *)
    Control_Power := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation1' *)

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time
Integrator' incorporates:
* Gain: '<S2>/Gain3' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := ((0.0350222551841516 *
rtb_Gain) * 0.1) + DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time
Integrator1' *)
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := (0.1 * rtb_Gain6) +
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE;
(* End of Outputs for SubSystem: '<S1>/ПІД-регулятор' *)
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

## Додаток Б

### Програмне забезпечення системи керування

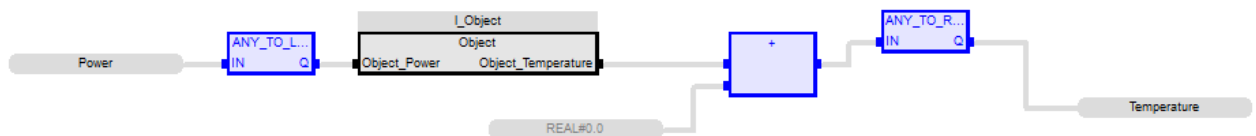
#### Б.1 Програмне забезпечення об'єкта

##### Б.1.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Object

##### Б.1.2 Основна програма



##### Б.1.3 Користувальницький функціональний блок

(\* Output: '<Root>/Object\_Temperature' incorporates:

\* Delay: '<S1>/Delay' \*)

Object\_Temperature := Delay\_DSTATE[0];

(\* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' \*)

DiscreteTransferFcn := LREAL#0.001195399957978 \*

DiscreteTransferFcn\_states;

(\* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:

\* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' \*)

FOR k := 0 TO 161 DO

Delay\_DSTATE[k] := Delay\_DSTATE[k + 1];

END\_FOR;

Delay\_DSTATE[162] := LREAL#0.003061284570645 \*

DiscreteTransferFcn1\_states;

(\* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' \*)

(\* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn'

incorporates:

\* Gain: '<S1>/Gain1'

\* Update for Inport: '<Root>/Object\_Power' \*)

```

DiscreteTransferFcn_states := (LREAL#0.5 * Object_Power) -
(LREAL#-0.998804600042022 * DiscreteTransferFcn_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)

DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (LREAL#-
0.996938715429355 * DiscreteTransferFcn1_states);

```

### Б.1.4 Перелік змінних

```

VAR_INPUT
  Object_Power : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  Object_Temperature : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;
  Delay_DSTATE : ARRAY [0 .. 162] OF LREAL ;
  k : DINT ;
  i : DINT ;
  DiscreteTransferFcn : LREAL ;
END_VAR

```

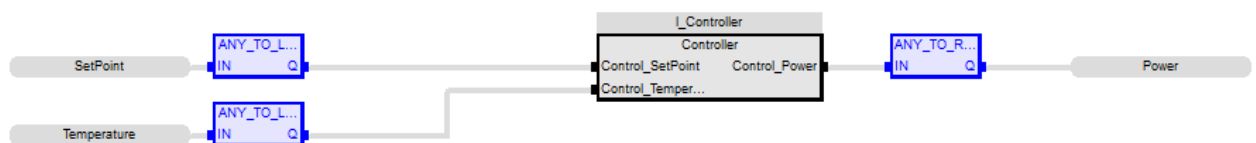
## Б.2 Програмне забезпечення регулятора

### Б.2.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Controller

### Б.2.2 Основна програма



### Б.2.3 Користувальницький функціональний блок

(\* Gain: '<S1>/Gain' incorporates:

- \* Inport: '<Root>/Control\_SetPoint'
- \* Inport: '<Root>/Control\_Temperature'
- \* Sum: '<S1>/Sum' \*)

```

rtb_Gain := (Control_SetPoint - Control_Temperature) * LREAL#1.0;
(* Outputs for Atomic SubSystem: '<S1>/ПД-регулятор' *)
(* Gain: '<S2>/Gain6' incorporates:
  * DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator1'
  * Gain: '<S2>/Gain5'
  * Sum: '<S2>/Sum1' *)
rtb_Gain6 := ((LREAL#70.3362704043256 * rtb_Gain) -
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE) * LREAL#0.1318370240044981;
(* Sum: '<S2>/Sum' incorporates:
  * DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
  * Gain: '<S2>/Gain1' *)
rtb_Sum_o := ((LREAL#3.51362893040726 * rtb_Gain) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE) + rtb_Gain6;
(* Outputs for Atomic SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)
(* RelationalOperator: '<S4>/Compare' incorporates:
  * Constant: '<S4>/Constant' *)
rtb_Compare_bw := rtb_Sum_o >= 100.0;
(* RelationalOperator: '<S5>/Compare' incorporates:
  * Constant: '<S5>/Constant' *)
rtb_Compare_o := rtb_Sum_o <= 0.0;
(* Switch: '<S3>/Switch1' incorporates:
  * Constant: '<S3>/Constant'
  * Constant: '<S6>/Constant'
  * Constant: '<S7>/Constant'
  * Logic: '<S3>/Logical Operator'
  * Logic: '<S3>/Logical Operator1'
  * Logic: '<S3>/Logical Operator2'
  * Logic: '<S3>/Logical Operator3'
  * Logic: '<S3>/Logical Operator4'
  * Logic: '<S3>/Logical Operator5'

```

```

* RelationalOperator: '<S6>/Compare'
* RelationalOperator: '<S7>/Compare' *)
IF NOT (((rtb_Compare_bw AND (rtb_Gain < 0.0)) OR
(rtb_Compare_o AND (rtb_Gain > 0.0))) OR (( NOT rtb_Compare_bw) AND ( NOT
rtb_Compare_o))) THEN
    rtb_Gain := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Switch: '<S3>/Switch1' *)
(* End of Outputs for SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)
(* Saturate: '<S2>/Saturation1' *)
IF rtb_Sum_o >= 100.0 THEN
    (* Outport: '<Root>/Control_Power' *)
    Control_Power := LREAL#100.0;
ELSIF rtb_Sum_o > 0.0 THEN
    (* Outport: '<Root>/Control_Power' *)
    Control_Power := rtb_Sum_o;
ELSE
    (* Outport: '<Root>/Control_Power' *)
    Control_Power := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation1' *)
(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
incorporates:
    * Gain: '<S2>/Gain3' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := ((LREAL#0.0350222551841516 *
rtb_Gain) * LREAL#0.1) + DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator1' *)
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := (LREAL#0.1 * rtb_Gain6) +
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE;
(* End of Outputs for SubSystem: '<S1>/ПІД-регулятор' *)

```



**Б.2.4 Перелік змінних**

```
VAR_INPUT
Control_SetPoint : LREAL ;
Control_Temperature : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
Control_Power : LREAL ;
END_VAR
VAR
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE : LREAL ;
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE : LREAL ;
rtb_Gain : LREAL ;
rtb_Gain6 : LREAL ;
rtb_Sum_o : LREAL ;
rtb_Compare_bw : BOOL ;
rtb_Compare_o : BOOL ;
END_VAR
```

## Додаток В

### Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

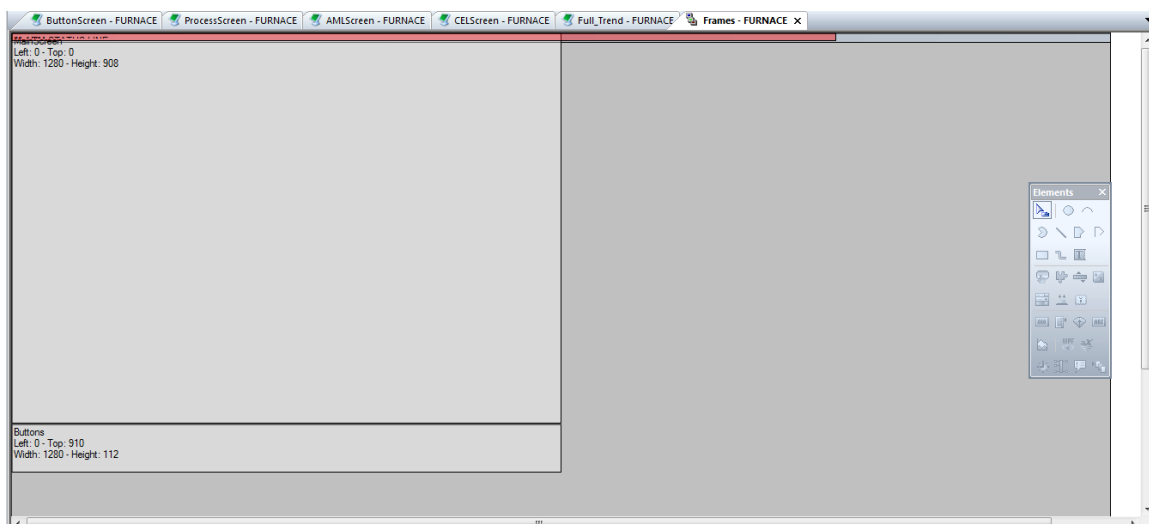
#### В.1 Драйвера

State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA		S7TCP32
	zenon Logic: Controller		STRATONNG

#### В.2 Перелік змінних

Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text
Power		%	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	0	0
Temperature		*C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
Controller/Global/Power		%	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	0	0
Controller/Global/Temperature		*C	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	2	0
Controller/Global/SetPoint		*C	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	1	0

#### В.3 Шаблони зображень



## В.4 Функції

Sta...	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	SwitchProcessScreen	Screen switch	ProcessScreen (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Standard)
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Standard)
	Switch_FullTrend	Screen switch	Full_Trend (Extended Trend) - NEW DIAGRAM[HD]
	ReloadProject	Reload project online	changed objects
	Exit	Exit Runtime	

## В.5 Зображення

Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
ButtonScreen	Standard	Buttons	#D2B48C	< no function l...	< no function l...
main	Standard	MainScreen	#D2B48C	SwitchButtonS...	< no function l...
ProcessScreen	Standard	MainScreen	#D2B48C	< no function l...	< no function l...
AMLScreen	Alarm Message List	MainScreen	#D2B48C	< no function l...	< no function l...
Full_Trend	Extended Trend	MainScreen	#D2B48C	< no function l...	< no function l...
CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	#D2B48C	< no function l...	< no function l...

