

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 Томаса Олексія Олександровича
(ПІБ)

академічної групи 151М-20-1
(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 Синтез та дослідження системи керування вертикальним сушінням металургійних ковшів
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	проф. Ткачов В.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.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро
2022

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

_____ Бубліков А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Томасу О. О. академічної групи 151М-20-1
(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 Синтез та дослідження системи керування вертикальним сушінням металургійних ковшів,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15.11.2021 № 969-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	01.10.21 – 07.10.21
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.10.21 – 30.10.21
Синтез системи керування	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	30.10.21 – 01.11.21
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.11.21 – 01.12.21
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та впровадження системи керування	01.12.21 – 15.12.21
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	15.12.21 – 30.12.21

Завдання видано _____

(підпис керівника)

проф. Ткачов В.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

01.09.2021

Дата подання до атестаційної комісії _____

30.12.2021

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Томас О. О.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: ___ с., ___ рис., ___ табл., 3 додатки, ___ джерел.

Об'єкт дослідження: система автоматичного керування температурою вертикального сушіння металургійних ковшів.

Мета роботи: підвищення якості процесу вертикального сушіння металургійних ковшів за рахунок вдосконалення автоматичного керування температурою сушіння ковшів.

Вдосконалення алгоритму автоматичного керування температурою сушіння ковшів забезпечується на основі визначення нових залежностей критеріїв якості роботи системи керування від параметрів регулятора, та використання цих залежностей для обґрунтування оптимальних налаштувань регулятора. Критеріями якості роботи системи керування температурою сушіння ковшів є мінімізація інтегральної похибки відпрацювання заданої термограми, а також відсутність перевищення диференціалом за часом керуючого впливу рівня 20 %/с через неможливість відтворення дуже динамічного впливу з оглядом на інерційність виконавчих пристроїв.

В кваліфікаційній роботі магістра отримані наступні результати:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою вертикального сушіння металургійних ковшів;
- проведений синтез системи автоматичного керування з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості роботи системи, та визначене оптимальне налаштування регулятора температури сушіння ковшів за критерієм мінімізації швидкісної похибки керування на основі встановлених залежностей критеріїв якості роботи системи керування від параметрів регулятора;
- розроблене програмне забезпечення системи автоматичного керування температурою вертикального сушіння металургійних ковшів.

МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОВШ, ТЕМПЕРАТУРА СУШІННЯ, СИНТЕЗ, РЕГУЛЯТОР, ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	7
Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	11
1.1 Галузь промисловості	11
1.2 Технологічний процес	12
1.3 Об'єкт керування	15
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	16
1.3.2 Структура об'єкту керування	16
1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування	17
1.4 Структура системи керування	18
1.5 Формулювання завдань дослідження	20
1.6 Висновки по розділу	21
2 теоретичний розділ. математична модель об'єкта керування як інструмента дослідження та обґрунтування критеріїв якості керування	23
2.1 Вдосконалення моделі об'єкта автоматичного керування	23
2.2 Обґрунтування критеріїв якості автоматичного керування	31
2.3 Висновки до розділу	32
3 синтез та дослідження системи автоматичного керування сушінням металургійних ковшів	34
3.1 Синтез системи автоматичного керування	34
3.2 Дослідження системи автоматичного керування	43
3.3 Висновки до розділу	48
4 Експериментальний розділ	50
4.1 Цифрова модель об'єкта керування	50
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	55
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	57

4.4	Перевірка функціонування програмного забезпечення	61
4.5	Висновки до розділу	62
5	Економічна частина	63
5.1	Розрахунок капітальних інвестицій	63
5.2	Розрахунок експлуатаційних витрат	64
5.2.1	Розрахунок амортизаційних відрахувань	65
5.2.2	Розрахунок річного фонду заробітної плати	65
5.2.3	Розрахунок єдиного соціального внеску	66
5.2.4	Розрахунок річних витрат на поточний ремонт та технічне обслуговування	66
5.2.5	Розрахунок вартості електроенергії	67
5.2.6	Визначення інших витрат	67
5.3	Визначення річної економії від впровадження об'єкта проектування	68
5.3.1	Визначення прямої та непрямой економії від впровадження об'єкта керування	68
5.3.2	Визначення річної економії електроенергії від впровадження об'єкта керування.	69
5.4	Визначення та аналіз показників економічної ефективності об'єкта керування	73
5.5	Висновок	73
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	74
6.1	Загальна характеристика умов праці	74
6.2	Техніка безпеки та пожежна профілактика	79
6.3	Безпека у надзвичайних ситуаціях	80
6.4	Висновок	82
	Список літератури	83
	Висновки	86
	Додаток А	90
	Додаток Б	95

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

САК	– Система автоматичного керування;
ЛМІ	– Людино-машинний інтерфейс;
ПК	– Персональний комп'ютер;
МК	– Металургійний ковш
ПЗ	– Програмне забезпечення
ОУ	– Об'єкт управління
ОК	– Об'єкт керування

ВСТУП

Актуальність теми. Внесок підприємств металургійної галузі в економіку країни не можна недооцінювати. Чорні метали та вироби з них – один з основних базисів промисловості та економіки України. Ця продукція разом із залізною рудою склала майже третину всього експорту з країни за підсумками минулого року. Отже, металургійна промисловість України – перспективний та розвинений напрямок.

Але, металургійна промисловість не стоїть на місці й продовжує розвиватися. За кордоном почалося використання більш інноваційних технологій, завдяки чому зменшуються питомі енерговитрати на виготовлення металургійної продукції й збільшується її якість. І якщо Україна не почне вкладати кошти у модернізацію металургійних підприємств, вона може програти конкуренцію на світових металургійних ринках.

Тому, дослідження інноваційних законів й алгоритмів автоматичного керування технологічними процесами на металургійних підприємствах України є актуальним науковим завданням.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні ефективності процесу сушіння металургійних ковшів за рахунок вдосконалення алгоритму автоматичного керування температурою сушіння. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування витратою вторинного повітря котельного агрегату є інтеграл модуля відхилення фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує інтегральну похибку керування за усім технологічним циклом) та максимальне відхилення за модулем фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує миттєву похибку керування на певних часових інтервалах).

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

- для проведення обчислювальних експериментів створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою сушіння металургійного ковша;
- обґрунтований метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та визначених критеріїв якості роботи системи, та згідно з ним проведений розрахунок регулятора температури сушіння ковша;
- виконані дослідження залежності критеріїв якості роботи синтезованої системи автоматичного керування від параметрів регулятора, та на основі порівняльного аналізу результатів досліджень визначені оптимальні настройки регулятора температури сушіння ковша за критерієм мінімізації швидкісної похибки керування.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування температурою сушіння металургійних ковшів.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування температурою сушіння металургійних ковшів.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування температурою сушіння металургійних ковшів використані методи класичної теорії автоматичного керування. 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:

Доведена ефективність використання методу параметричної оптимізації для синтезу системи автоматичного керування температурою сушіння металургійних ковшів. Обґрунтовано використання фільтра Еллерта у якості стандартної моделі, що дозволяє усунути швидкісну похибку керування, та за рахунок цього мінімізувати інтегральний показник відхилення графіку фактичної температури від заданої термограми.

На основі даного методу запропонована методика налаштування регулятора температури, яка базується на компенсації постійних часу динамічної моделі печі й визначенні оптимальних значень параметрів регулятора на основі дослідження їх впливу на обґрунтовані критерії якості роботи системи керування.

Визначено, що у залежності інтегральної похибки керування від кореня характеристичного рівняння стандартної моделі існує мінімальний екстремум, який дозволяє визначити оптимальний параметр регулятора температури у вигляді кореня характеристичного рівняння стандартної моделі Еллерта.

Також отримана залежність похідної за часом керуючого впливу на виході регулятора температури сушіння ковша від величини некомпенсованої постійної часу регулятора, яка є зворотною й близькою до експоненціальної. Ця залежність дозволяє визначити величину некомпенсованої постійної часу регулятора, при якій керуючий сигнал буде відтворений без спотворення через інерційність приводів засувки та вентилятора системи подачі палива.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Металургійна промисловість – промисловість, завдяки якій люди отримують різноманітні матеріали (чорні та цвітні метали) з руди, яку видобувають у надрах Землі, завдяки гірничодобувній промисловості. У подальшому отриманні метали використовуються у різноманітних сферах (машино-будування, ракетобудування, будівництва та інших галузей господарства) задля забезпечення високого рівня життя населення. Металургійна промисловість має дуже широкий спектр матеріалів (руд), які у подальшому використовуються у тих же сферах промисловості (сталь, залізо, чавун, алюміній, золото і так далі). Сировиною для того, щоб виплавляти метали, являються кластери руд, які видобувають у надрах землі. Руда сама по собі має багато домішок, і це ще одне завдання металургійної промисловості – виділяти з корисних копалин потрібні матеріали задля того, щоб отримати якнайбільше матеріалу для подальшого використання.

Із настанням пандемії економіку України в основному виручила її "експортна" структура, в якій значну долю мають продовольства і продукції гірничо-металургійного комплексу (ГМК) [1]. Наприклад, Китай, відновившись раніше інших країн, розігнав попит на метали та залізорудну сировину, чим, природно, скористалися й українські підприємства.

Багато металургійних компаній відмовилися від податкових пільг уряду, наданих в якості антикризових заходів через "ковід" і глобальний карантин. За підсумком року галузь сплатила до бюджетів різних рівнів приблизно 1,6 млрд доларів.

Внесок підприємств ГМК в економіку країни не можна недооцінювати. Чорні метали та вироби з них – один з основних базисів промисловості та економіки України. Ця продукція разом із залізною рудою склала майже третину всього експорту з країни за підсумками минулого року. У грошах це майже 13 млрд доларів. Тобто кожен третій експортний долар забезпечив

сектор ГМК. А у 2019 році ця галузь забезпечила 10,6% у структурі ВВП або 15,2 млрд доларів. Причому половину вкладу у ВВП забезпечили суміжні з ГМК галузі та споживчі витрати працівників. Наприклад, минулого року підприємства ГМК сформували майже 40% залізничних вантажних перевезень – 120 млн тон. Ще 66 млн тон металургійної продукції та сировини було оброблено у морських портах, 3,4 млн тон – у річкових портах.

Сировина для металургійної промисловості більш за все сконцентрована у Донецькій, Дніпровській, Запорізькій та Луганській областях. Найбільші металургійні заводи України: «Азовсталь» у місті Маріуполь, «Алчевський металургійний комбінат» у місті Алчевськ, «Інтерпайп Сталь» у місті Дніпро, «Дніпроспецсталь» у місті Запоріжжя, «Дніпровський металургійний комбінат імені Ф.Е. Дзержинського» у місті Кам'янське

Отже, металургійна промисловість України – перспективний та розвинений напрямок. У зв'язку з цим в тих областях, де наявна сировина для металургійної промисловості, багато з робочих місць забезпечують саме підприємства з цього напрямку.

Але, металургійна промисловість не стоїть на місці й продовжує розвиватися. За кордоном почалося використання більш інноваційних технологій, завдяки чому зменшуються питомі енерговитрати на виготовлення металургійної продукції й збільшується її якість [2]. І якщо Україна не почне вкладати кошти у модернізацію металургійних підприємств, вона може програти конкуренцію на світових металургійних ринках.

Тому, дослідження інноваційних законів й алгоритмів автоматичного керування технологічними процесами на металургійних підприємствах України є актуальним науковим завданням.

1.2 Технологічний процес

У кваліфікаційній роботі магістра буде розглядатися частина технологічної схеми з ремонту та сушки ковшів. Загальний вигляд цієї схеми наведено на рис 1.1 [3].

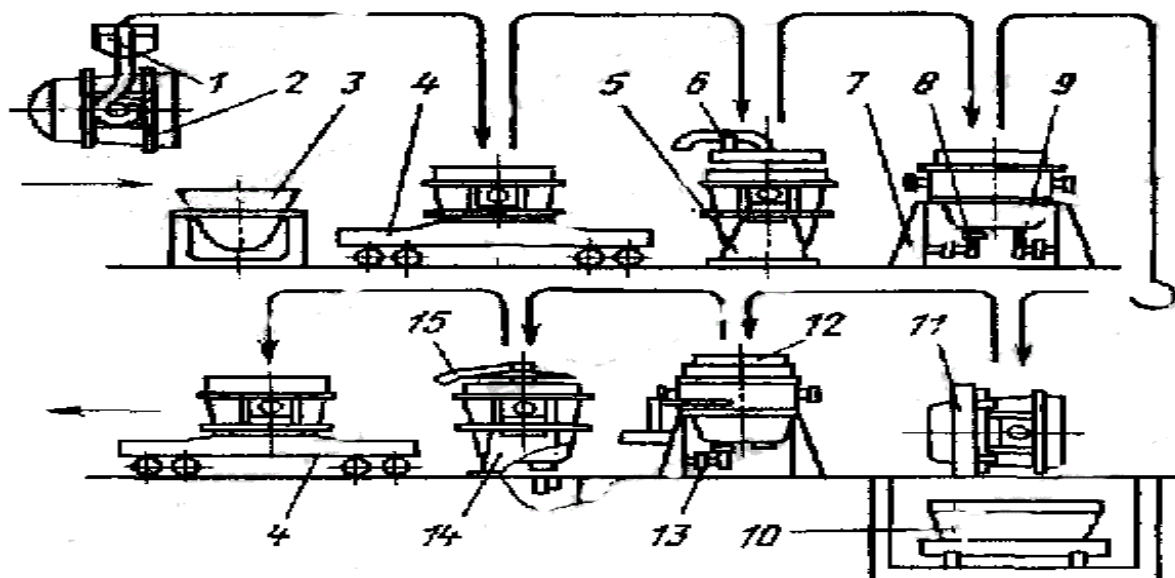


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу: 1 - кран; 2 - ковш; 3 - шлакова чаша; 4 - сталевіз; 5 - стенд; 6 - охолоджуючий пристрій; 7 - стенд; 8 - маніпулятор для зняття та встановлення шибєрних затворів; 9 - пристрій для видавлювання стаканів; 10 - короб для ковша; 11 - поворотний стенд для видалення шлаку та огляду футерування; 12 - кесон; 13 - пристрій для перевірки функціонування шибєрного затвору; 14 - стенд; 15 - пристрій для сушки і нагрівання ковшу.

У даній роботі розглядається ділянка зі схеми, коли ковш потрапляє в установку для нагрівання. Для стабільної роботи металургійного виробництва велике значення має підготовка ковшів для розливу сталі. Одна з основних задач цих установок – збільшення часу роботи ковшів для розливу перед ремонтом футерування. Загальний вигляд такої установки приведений на рис.1.2.

Ковш після ремонту футерування має бути висушеним та нагрітим до температур біля 1000...1200 °С для того, щоб після прийому розплавленої сталі, яка має температуру близько 1600 °С, зменшити тепловий удар на футерування ковшу.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд установки сушки ковшів

Важливо, щоб ковш у цій установці розігрівався поступово, за строго заданими графіками, щоб уникнути локального вибуху, що призводить до поступового зниження ресурсу самого ковша.

Усередині ковша створюють надлишковий тиск робочого середовища. Газовий пальник розміщують усередині ковша на відстані від кришки біля 0.001-0.2 м та орієнтують її так, щоб факел цієї горілки був направлений до днища ковша. Пальник працює завдяки подачі в нього суміші з природного газу, який має теплоутворну здібність 7800...8200 ккал/м³. Безпосередньо газ подається в установку з газопроводу цеха. Газовий пальник має потужність в 1400 кВт, що дозволяє підтримувати задану температуру під час першого етапу, та нагрівати ковш до заданих температур (1200 °С). Керування температурою, що подає пальник, відбувається завдяки клапану, який регулює подачу газу до пальника, що утворює суміш, завдяки якій пальник і працює. У свою чергу вентилятор завдяки частотному перетворювачу підтримує задане співвідношення газ-кисень для послідовного нагрівання ковшу.

Нагрівання ковша відбувається в два етапи. На першому температуру футерування підтримують в діапазоні від 100 до 400 °С, та забезпечують тиск

0,5-30 Па. Цей етап займає приблизно 60-80% від часу на нагрівання ковша. На другому етапі температуру підтримують у діапазоні 800-1200°C та підтримують тиск в 15-110 Па. За рахунок усього цього процесу зменшується час нагріву ковшу та збільшується ККД.



Рисунок 1.3 – Сталерозливний ковш

Важливо, щоб ковш у цій установці розігрівався поступово, за строго заданими графіками, щоб уникнути локального вибуху, який призводить до поступового зниження ресурсу самого ковша.

1.3 Об'єкт керування

Об'єктом керування у цій кваліфікаційній роботі є процес автоматичного керування вертикальним сушінням металургійних ковшів. Сушіння ковша відбувається з використанням газової печі з газовим пальником потужністю 1400 кВт та максимальною температурою 1400 °С. Під кришку установки встановлюється ковш, після чого починається процес нагрівання футерування

всередині ковшу. Після закінчення процесу нагрівання ковш подають назад до виробництва сталі, де він приймає та розливає сталь.

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Установка для сушки та нагріву ковшів зовні представляє собою зварну конструкцію на опорній станині. Від основної рами у верхній частині є горизонтальне відведення для кріплення витяжного зонда з футеруванням. Під плоскість зонда та технологічному візку підвозять ковши. Всередині цього зонда кріпиться газова горілка, яка нагнітає температуру сушки. Зовнішній вигляд такої установки приведений на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд установки для сушки та нагріву ковшів

1.3.2 Структура об'єкту керування

Зробимо аналіз основних функціональних елементів установки для сушіння ковшів з позиції автоматичного керування на основі рис. 1.5.

Схемою автоматизації установки для сушки та нагрівання металургійних ковшів передбачено контроль температури всередині ковшу, контроль природного газу і повітря, контроль витрат природного газу і вентиляторного повітря. Регулювання витрат природного газу і вентиляторного повітря. У контурі регулювання температури всередині ковша температуру заміряє термопара типу ТПР. Далі отримані температурні дані поступають на

мікроконтролер ПЛК VIRA 214-2BE03. Далі зрівнюються задані норми температури, якщо виникає різниця між результатами вимірювання і заданими параметрами то подається управляючий сигнал на зміну подачі об'єму суміші. Зміна виконується завдяки заслінкам у трубопроводах.

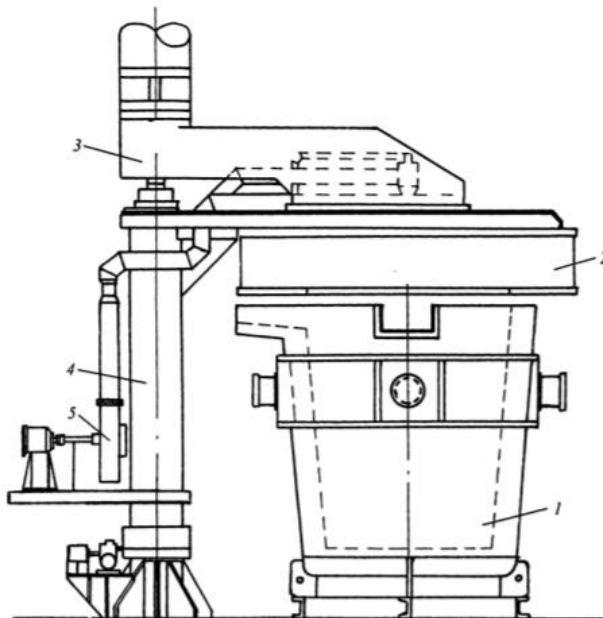


Рисунок 1.5 – Схема установки для сушіння металургійних ковшів: 1-ковш; 2- кришка з пальником; 3- димовивідний тракт; 4- станина; 5- вентилятор

Для управління цією установкою використовують стенд, на якому оператор може змінювати ключові дані такі як: час нагріву та температура нагріву, а також кут повороту заслінки, яка подає природний газ у пальник.

Усі регулятори та перемикачі можуть бути розташовані на панелі управління, яка знаходиться на території виробництва.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

При керуванні необхідно обов'язково забезпечити послідовне нагрівання ковшу до заданих температур за заданий проміжок часу. Контролер повинен отримати команду від датчика, що ковш встановлений під кришкою установки. Після цього розпочинається подача повітря та газу. Кількість газу задається

засувкою, а кількість повітря, відповідно до кількості газу, регулюється нагнітачем повітря. Пальник вмикається і відбувається нагрівання ковша за заданою термограмою. Температура нагрівання вимірюється датчиком, що встановлений біля кришки.

1.4 Структура системи керування

За результатами аналізу установки для сушіння металургійного ковша як об'єкта керування маємо об'єкт неперервного керування, вхідною величиною якого є керуючі сигнали на привод заслінки у газопроводі та перетворювач частоти приводу вентилятора у повітропроводі. Але, витратами газу й повітря фактично керує паралельно працююча інша локальна система автоматичного керування. Якщо ж зосередитися тільки на проектованій системі керування температурою сушіння ковша, то вхідною величиною можна прийняти керуючу команду щодо уставки продуктивності пальника до блока керування ним.

Вихідним параметром об'єкта керування є температура сушіння металургійного ковша.

Виходячи з цього, система керування повинна містити: датчик температури (у діапазоні 0 ... 1400 °С), пристрій управління відношенням газ-повітря як виконавчий пристрій, пристрій управління, що задає продуктивність пальника на підставі виміряної температури сушіння ковша і пульт оператора, за допомогою якого задається режим роботи системи (рис. 1.6).

Усі ці технічні засоби автоматизації обґрунтовані у кваліфікаційній роботі бакалавра при розробці апаратного забезпечення системи керування. Також у цій кваліфікаційній роботі розроблена функціональна схема автоматизації системи автоматичного керування (рис. 1.7).

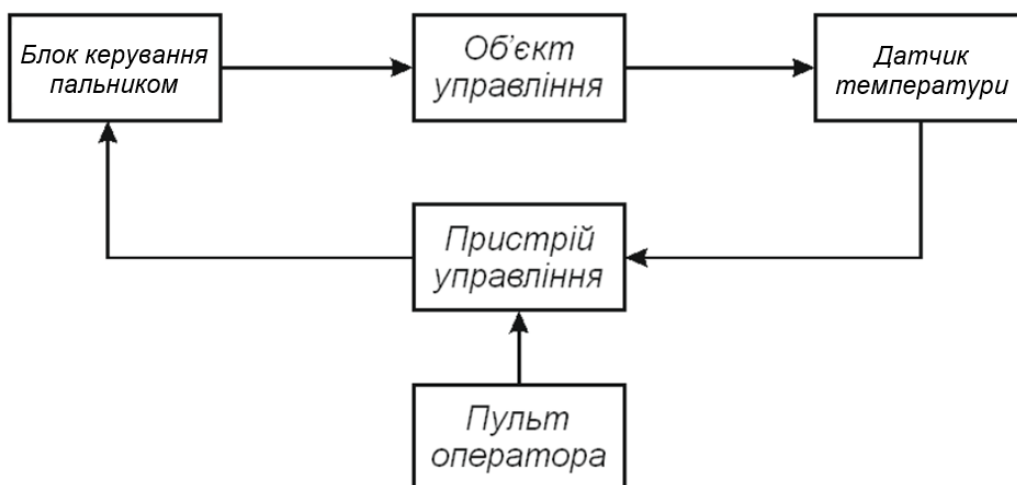


Рисунок 1.6 – Структурна схема системи автоматичного керування

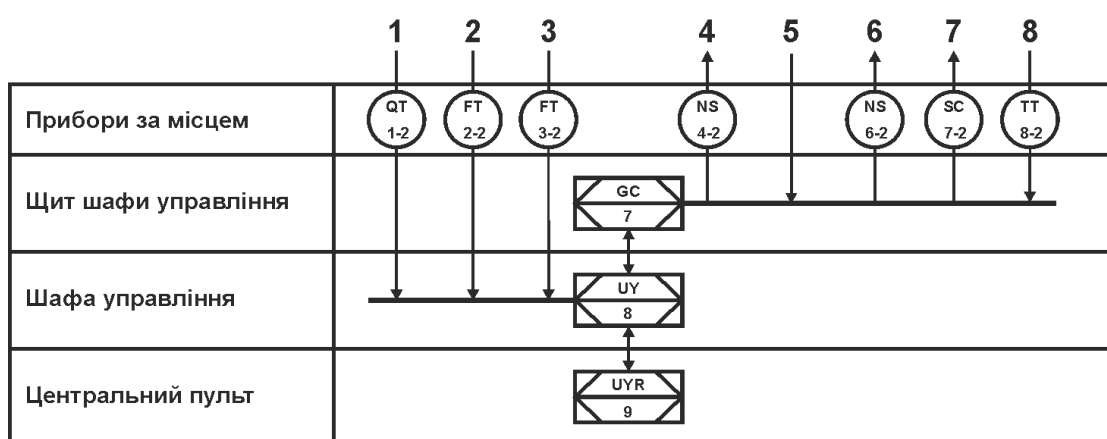
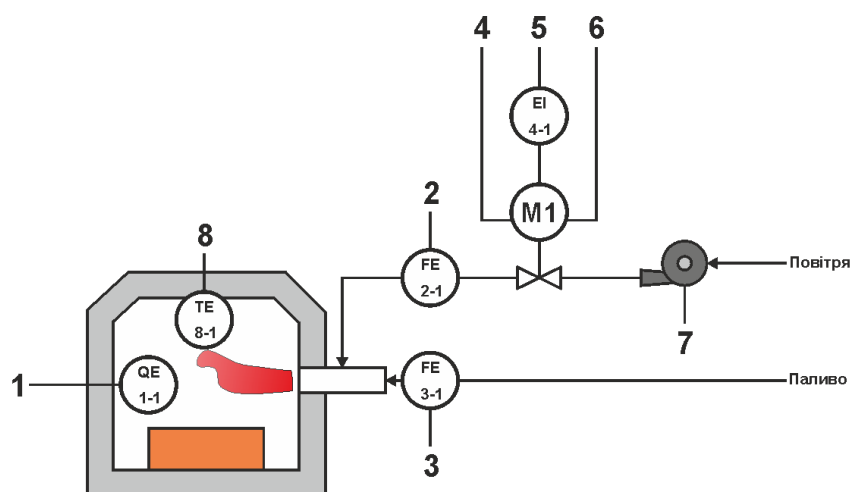


Рисунок 1.7 – Функціональна схема автоматизації системи керування

Контролер (UY 8) на підставі інформації від датчиків формує необхідне значення положення заслінки. Отримане значення передається до пристрою

управління та захисту електроприводу засувки (GC 7 – ОВЕН ПКП1Т-Щ1.RS), який задає положення заслінки, за управління напрямком її обертання відповідають пускачі (NS 4-2, 6-2 – Carlo Gavazzi RGC3A60A25KKE). Контроль кінцевого положення заслінки здійснюється за значенням фазного струму електродвигуна (M1 – СЛЕМЗ АИР90LB8) який вимірюється трансформатором струму (EI 4-1 – Socomec TCA21-50/5A).

Управління процесом нагнітання повітря у газовий пальник відповідно до кількості газу регулюється за рахунок змінення швидкості обертів штатної турбоповітродувки, приводом якої є трифазний асинхронний електродвигун, регулювання обертів якого здійснюється за допомогою частотного перетворювача (SC 7-2 - Lenze E82EV153K4B201).

Контроль температури в печі здійснюється за допомогою датчика температури (ТТ 8-2 - ТЭРА ТПР-У-1-29-В-1,2).

1.5 Формулювання завдань дослідження

Для досягнення основної мети досліджень – забезпечення раціональних значень обґрунтованих критеріїв якості роботи системи автоматичного керування температурою сушіння металургійного ковша, необхідно виконати наступні завдання дослідження:

- для проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування температурою сушіння металургійного ковша;
- 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 сушіння ковша;
- виконати дослідження залежності критеріїв якості роботи синтезованої системи автоматичного керування від параметрів регулятора, та на основі порівняльного аналізу результатів досліджень визначити оптимальні настройки регулятора

температури сушіння ковша за критерієм мінімізації швидкісної похибки керування.

1.6 Висновки по розділу

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – установка для сушіння металургійних ковшів. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування установки, завданням керування якої є забезпечення заданої термограми сушіння ковша. Предметом дослідження є алгоритми і закони автоматичного керування температурою сушіння ковша.

Установка для сушіння металургійного ковша з точки зору керування температурою сушіння є складним об'єктом автоматизації через наявність декількох паралельно працюючих локальних систем автоматичного керування різними технологічними процесами, які впливають одна на одну. Крім того, присутнє зовнішнє збурення складного характеру у вигляді зміни калорійності газу, яке змінює як коефіцієнт підсилення у каналі керування, так і постійну часу передаточної функції моделі установки (при зменшенні калорійності газу нагрів триває довше).

Ковш в установці розігрівався поступово, за строго заданими термограмами, щоб уникнути локального вибуху, який призводить до поступового зниження ресурсу ковша. З урахуванням цього, головними критеріями якості роботи системи керування є:

- інтеграл модуля відхилення фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує інтегральну похибку керування за усім технологічним циклом);
- максимальне відхилення за модулем фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує миттєву похибку керування на певних часових інтервалах).

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим

входом (керуючий сигнал щодо уставки продуктивності пальника до блока керування ним) та одним керованим виходом (температура сушіння ковша), але наявність паралельно працюючих локальних систем автоматичного керування іншими технологічними процесами з однієї сторони, та складне збурення, що впливає на параметри моделі об'єкта керування, з іншої сторони роблять його складним для керування.

Отже, необхідно провести дослідження залежності критеріїв якості роботи синтезованої системи автоматичного керування від параметрів регулятора, та на основі порівняльного аналізу результатів досліджень визначити оптимальні настройки регулятора температури сушіння ковша за критерієм мінімізації швидкісної похибки керування.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ

2.1 Вдосконалення моделі об'єкта автоматичного керування

У бакалаврській кваліфікаційній роботі створена комплексна імітаційна модель системи подачі палива та печі для сушіння ковшів як об'єкта автоматичного керування (рис. 2.1).

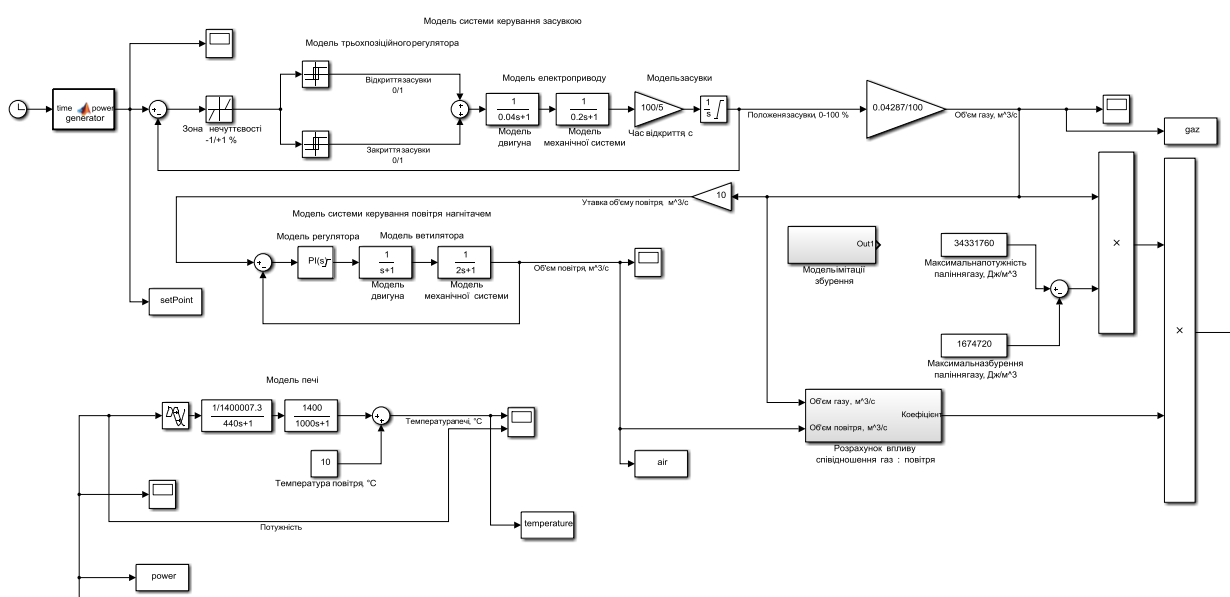


Рисунок 2.1 – Схема комплексної імітаційної моделі об'єкта автоматичного керування

В імітаційній моделі об'єкта керування враховані інерційності процесів відкриття засувки у газопроводі при автоматичному керуванні витратами газу, та процесу зміни продуктивності вентилятора при автоматичному керуванні витратами повітря.

У моделі системи автоматичного керування витратами газу використаний трьохпозиційний дискретний регулятор (однойменна група блоків на рис.2.1), що за умови практично безінерційного приводу засувки при порівняно повільному її обертанні є доцільним. Дослідження у бакалаврській

кваліфікаційній роботі показали високу точність відпрацювання заданого положення засувки.

На вхід системи керування задається положення засувки $0 \div 100$ %, на виході отримується поточне положення засувки $0 \div 100$ %, яке перетворюється до об'єму газу в $\text{м}^3/\text{с}$ (рис. 2.1).

Для автоматичного керування обертанням вентилятора у повітропроводі використаний ПІ-регулятор, що налаштований інженерним методом (блок “Модель регулятора” у каналі керування вентилятором на рис. 2.1). На вхід системи керування задається кількість повітря $0 \div 0,42870$ $\text{м}^3/\text{с}$, на виході отримується поточний об'єм повітря $0 \div 0,42870$ $\text{м}^3/\text{с}$.

Крім того у комплексній імітаційній моделі системи подачі палива у горілку печі імітований вплив співвідношення газ-повітря на кількість виділеної теплової енергії у горілці (блок “Розрахунок впливу співвідношення газ : повітря” на рис.2.1). Фактично відбувається імітація роботи системи автоматичного керування співвідношенням газ-повітря, оскільки уставкою для системи автоматичного керування витратами повітря є об'єм газу, що подається на горілку. Таким чином, об'єм повітря автоматично підтримується таким, щоб забезпечувати оптимальне співвідношення газ-повітря (у нашому випадку 1:10).

Таким чином, виходом частини комплексної моделі, що імітує роботу системи подачі палива, є кількість теплової енергії, що виділяється при згорянні палива. Для положення засувки у газопроводі 100% (керуючий сигнал для синтезованої системи керування температурою сушіння у ковші) відповідає витрати газу $0,04287$ $\text{м}^3/\text{с}$, що у свою чергу відповідає виділенню теплової енергії $1471802,55$ Дж/с за умови максимальної калорійності газу, при якій питоме енерговиділення становить 34331760 Дж/м³.

Імітаційна модель печі (однойменна група блоків на рис. 2.1) відображує наступні її динамічні властивості: максимальне виділення теплової енергії забезпечує максимальну температуру у ковші 1400 °С; час надходження газоповітряної суміші від газового пальника до печі становить 20 секунд, час

розповсюдження газової суміші по усьому об'єму печі становить 2200 секунд, час нагріву печі до максимальної температури становить 2 години.

Вдосконалення описаної комплексної моделі об'єкта автоматичного керування передбачає врахування збурюючого впливу. Збурюючим впливом на керовану величину є зміна характеру теплообмінних процесів у ковші через зміну калорійності газу. Цей вплив за своїм характером є випадковим сигналом, що змінюється у часі повільно (до 0,00008 Гц). Але при цьому він змінює як коефіцієнт підсилення у каналі керування, так і постійну часу передаточної функції моделі печі (при зменшенні калорійності газу нагрів триває довше).

Зміна коефіцієнту підсилення каналу керування при зміні калорійності газу вже реалізована у комплексній моделі об'єкта керування через множення об'єму газу на питома енерговиділення (рис. 2.1). Для реалізації впливу калорійності газу на постійну часу передаточної функції печі (прийнята більша постійна часу), відповідна аперіодична ланка розкладена на систему рівнянь у просторі стану. Нижче на рис. 2.2 представлені дві моделі печі – одна оригінальна (зверху), а інша з розкладеною аперіодичною ланкою, що дозволяє змінювати постійну часу цієї ланки протягом моделювання перехідних процесів.

Одночасне моделювання перехідного процесу на виході оригінальної динамічної моделі печі, та моделі з розкладеною аперіодичною ланкою довело правильність переходу до моделі у просторі часу.

З рис. 2.3 ми бачимо, що перехідні процеси практично повністю збігаються. Визначимо відносний показник збігу у вигляді середньоквадратичного відхилення координат графіків за віссю ординат на рис. 2.3:

```
goodnessOfFit(temperature_simple_T, temperature_simple, 'NRMSE')*100
```

```
ans =
```

```
99.999999999999631
```

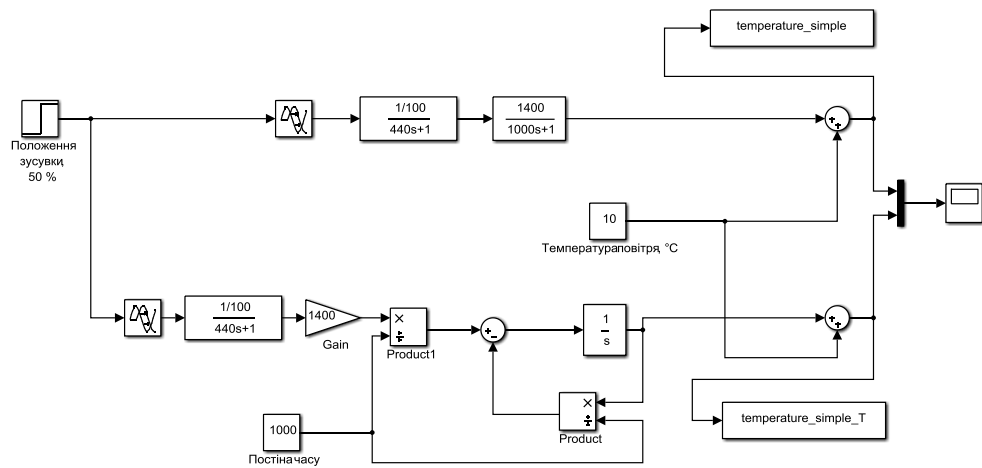


Рисунок 2.2 – Схеми вихідної спрощеної імітаційної моделі об'єкта керування та моделі зі змінною постійною часу

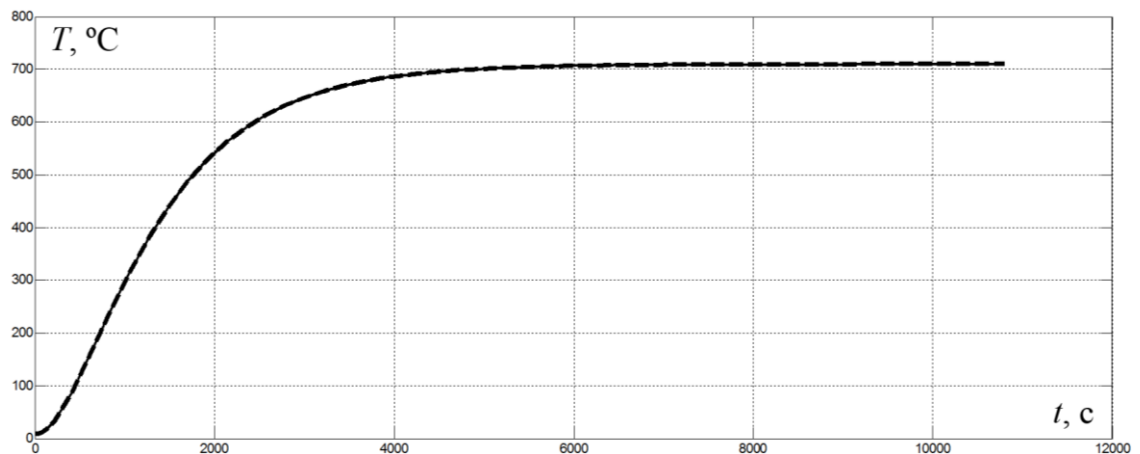


Рисунок 2.3 – Перехідні процеси на виході оригінальної спрощеної моделі об'єкта керування (суцільна лінія), та моделі зі змінною постійною часу (пунктирна лінія)

Оскільки відносний показник збігу графіків на рис. 2.3 засвідчує їх збіг майже на 100%, то можна зробити висновок про коректність динамічної моделі печі з розкладеною аперіодичною ланкою.

Далі додаймо до комплексної моделі об'єкта керування модель імітації зміни збурюючого впливу у часі як окрему підсистему (однойменний блок на рис. 2.1). Вміст підсистеми показаний на рис. 2.4.

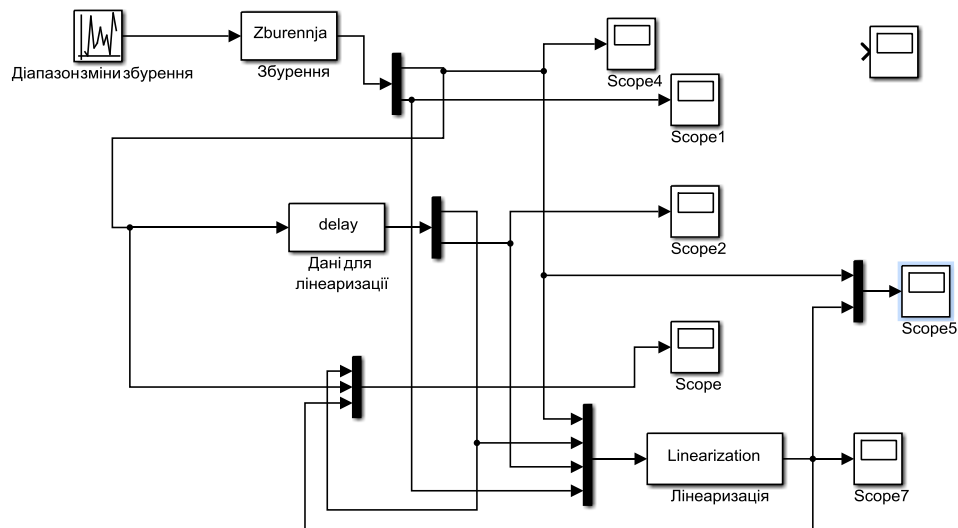


Рисунок 2.4 – Схема моделі імітації зміни у часі збурення (кількості теплової енергії, що виділяється при згорянні певного об'єму газу)

У моделі імітації зміни у часі збурюючого впливу на початку створюється східчастий сигнал, який є квантованим як по рівню (амплітудою), так і за часом. Цей вплив створюється у блоці «Збурення» на рис. 2.4, в якому реалізована S-функція на мові програмування пакету MATLAB «Zburennja» (програмний 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 .

Діапазон зміни генерованого збурюючого сигналу, й період його зміни у часі відповідають статистичним характеристикам зміни калорійності газу у часі: від 32657040 Дж/м³ до 34331760 Дж/м³ (але оскільки вплив збурення реалізується через його віднімання від максимальної калорійності, то генерований збурюючий сигнал повинен змінюватися від 0 до 1674720 Дж/м³).

Програма 2.1 – Створення східчастого збурюючого впливу на систему керування (вміст S-функції «Zburennja»)

```
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 = [100];
str = [];
ts = [-2 0];
```

```
function sys = mdlUpdate(t,x,u)
sys=normrnd(10000, 10000*0.5);
```

```
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
sys(1) =u(1);
sys(2) = x(1);
```

```
function sys = mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u)
sys = t + x(1);
```

Лінійну інтерполяцію східчастого збурюючого сигналу, яка здійснюється за формулою (2.1), реалізують S-функції «delay» та «Linearization».

Програма 2.2 – Визначення вхідних 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 = [1 0];
```

```
function sys = mdlUpdate(t,x,u)
if (x(2)==u(1))
    sys = [x(1) x(2) x(3)+1];
else
    sys = [x(2) u(1) 0];
end
```

```
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
sys = [x(1) x(3)];
```

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 = [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))>500)
    sys = u(2);
else
    sys = x(2);
end

```

Результати моделювання зміни у часі збурюючого впливу на рис. 2.5 підтверджують правильність роботи створеної моделі.

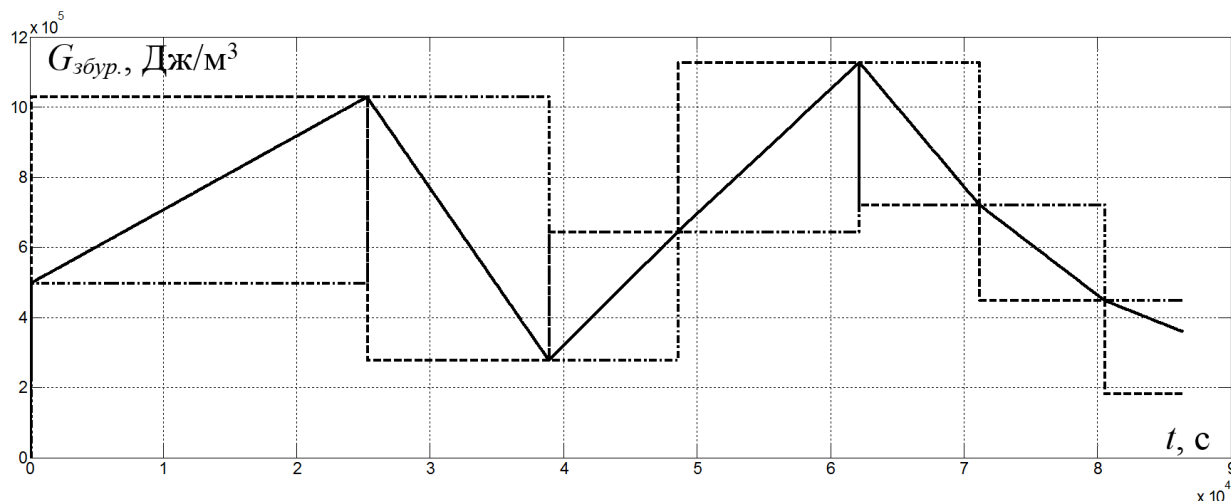


Рисунок 2.5 – Зміна у часі східчастого збурюючого впливу (пунктирна лінія), східчастого збурюючого впливу, зміщеного на один період назад (штрих-пунктирна лінія) та збурюючого впливу після лінійної інтерполяції (суцільна лінія)

З рис. 2.5 видно, що діапазон зміни значень східчастого сигналу та період його зміни відповідають зазначеним вище статистичним характеристикам зміни у часі калорійності газу. Також видно, що суцільна лінія фактично є діагоналлю прямокутників, що утворюються пунктирними та штрих-пунктирними лініями, що підтверджує правильність процедури лінійної інтерполяції східчастого сигналу.

2.2 Обґрунтування критеріїв якості автоматичного керування

Критерії якості роботи синтезованої системи автоматичного керування температурою сушіння металургійних ковшів визначають виключно вимоги правильного протікання цього технологічного процесу. Згідно з ними, температура у ковші під час його сушіння повинна змінюватися строго за певним законом, який задається відповідною термограмою. Ця термограма показана на рис. 2.6 (часовий інтервал за віссю абсцис дорівнює 24 годинам).

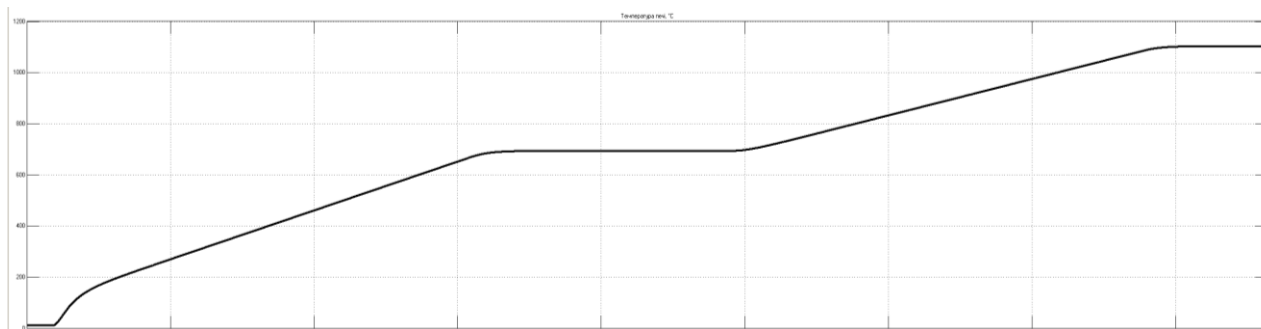


Рисунок 2.6 – Задана термограма процесу сушіння металургійних ковшів

Таким чином, критерії якості роботи системи автоматичного керування температурою сушіння ковшів повинні відображати точність відпрацювання системою заданої на рис. 2.6 термограми. З оглядом на це, прийняті наступні критерії ефективності роботи синтезованої системи керування:

- інтеграл модуля відхилення фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує інтегральну похибку керування за усім технологічним циклом);
- максимальне відхилення за модулем фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує миттєву похибку керування на певних часових інтервалах).

2.3 Висновки до розділу

Як інструмент дослідження створена комплексна імітаційна модель системи подачі газо-повітряної суміші, горілки та печі для сушіння металургійних ковшів. В моделі враховані інерційності: процесу повороту засувки у газопроводі, привода вентилятора у повітропроводі, процесу переміщення газу й повітря по трубам, процесу переміщення газоповітряної суміші до горілки, а також процесу розповсюдження теплових потоків у просторі ковша. Особливість моделі у тому, що вона дозволяє дослідити вплив на автоматичний процес керування температурою сушіння у ковші зміни калорійності газу, а також оптимального відношення газу й повітря. З метою

проведення дослідження цього впливу створена модель імітації зміни у часі калорійності газу як випадкової величини, що змінюється як білий шум у частотному діапазоні до 0,00008 Гц, та у діапазоні значень від 32657040 Дж/м³ до 34331760 Дж/м³.

Критерії якості роботи системи автоматичного керування температурою сушіння ковшів повинні відображати точність відпрацювання системою заданої термограми. З оглядом на це, прийняті наступні критерії ефективності роботи синтезованої системи керування:

- інтеграл модуля відхилення фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує інтегральну похибку керування за усім технологічним циклом);
- максимальне відхилення за модулем фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує миттєву похибку керування на певних часових інтервалах).

3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СУШІННЯМ МЕТАЛУРГІЙНИХ КОВШІВ

3.1 Синтез системи автоматичного керування

Розглянемо можливість синтезу системи автоматичного керування температурою сушіння ковшів на основі спрощеної динамічної моделі об'єкта керування, де враховується інерційність лише теплообмінних процесів у печі. Для цього проведемо сумісне моделювання роботи системи керування для комплексного та спрощеного об'єкта керування, коли враховується тільки інерційність теплообмінних процесів (рис. 3.1).

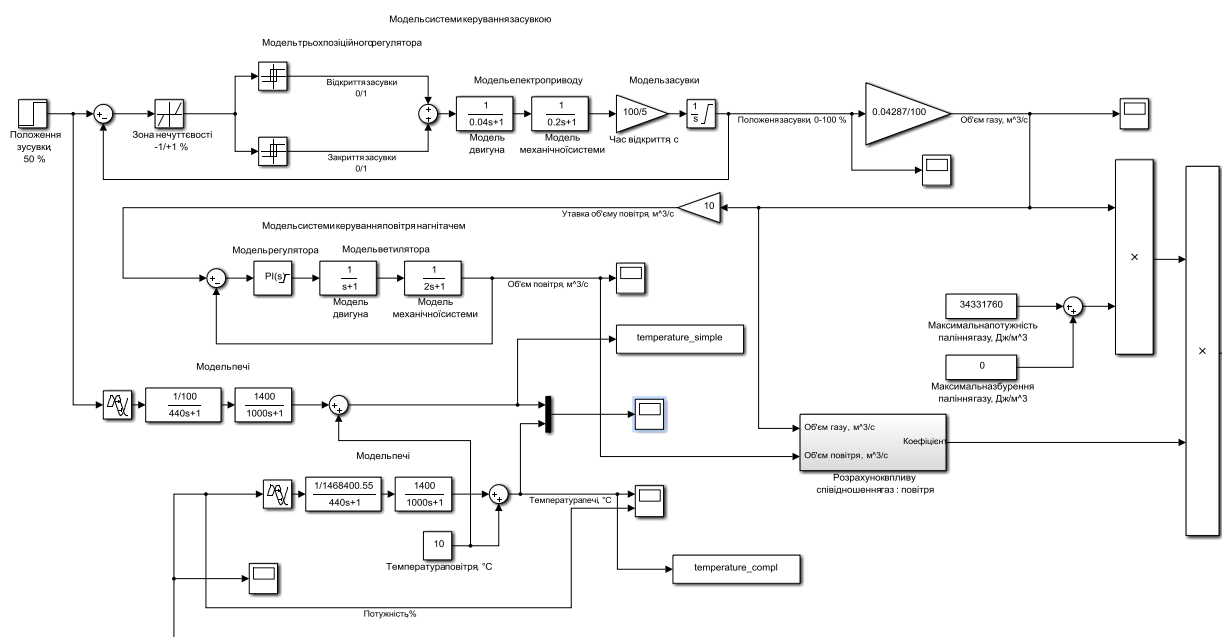


Рисунок 3.1 – Суміщені комплексна та спрощена імітаційні моделі об'єкта керування

На рис. 3.2 ми бачимо, що графіки зміни у часі температури сушіння ковша, які отримані на основі комплексної та спрощеної моделей об'єкта керування, майже збігаються. Визначимо відносний показник збігу у вигляді середньоквадратичного відхилення координат графіків за віссю ординат на рис. 3.2:

```
goodnessOfFit(temperature_compl, temperature_simple, 'NRMSE')*100
```

```
ans =
```

```
99.748501316504445
```

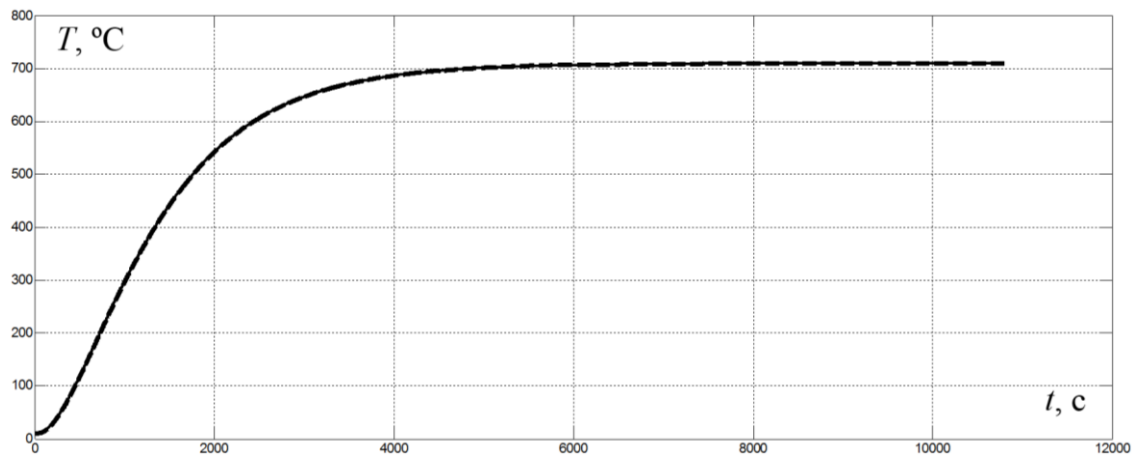


Рисунок 3.2 – Зміна у часі температури сушіння у ковші за умови використання комплексної (суцільна лінія) та спрощеної (пунктирна лінія) моделі об'єкта керування

Таким чином, оскільки відносний показник збігу графіків перехідного процесу на рис. 3.2 дорівнює майже 100% (99,75%), можна зробити висновок, що на динаміку температури сушіння ковша як керовану величину фактично впливає лише інерційність теплообмінних процесів у печі. Тож, синтез системи автоматичного керування можна здійснювати на основі спрощеної моделі об'єкта керування без врахування інерційності системи подачі палива та горілки.

Процес синтезу системи автоматичного керування визначає обраний спосіб автоматичного управління. Тому далі проведемо обґрунтування методу синтезу системи автоматичного керування, що буде використаний у подальшому.

Як було зазначено у другому розділі, основною вимогою до системи автоматичного керування є висока точність відтворення системою заданої термограми.

Найкращий результат за обраними критеріями якості роботи системи можна отримати лише за умов використання методів синтезу систем автоматичного керування, в яких відбувається оптимізація за обраним критерієм. У такому випадку доцільно використовувати аналітичний метод синтезу системи автоматичного керування.

Серед відомих аналітичних методів синтезу системи автоматичного керування оберемо поширений в інженерній практиці метод параметричної оптимізації.

Коли йдеться про досягнення обраним критерієм якості перехідного процесу оптимального значення, перевагу необхідно віддавати більш точним, аналітичним способам розрахунку систем автоматичного керування, які дозволяють визначити параметри системи, що забезпечують вищі показники якості.

Одним із методів розв'язання поставленої задачі є параметрична оптимізація, згідно з якою використовується характеристичний поліном замкнутої системи. Вид перехідного процесу задають відповідним вибором коренів цього полінома. При цьому корені знаходити немає потреби, бо в літературі наводяться стандартні характеристичні поліноми, для яких вивчені криві перехідного процесу. Ці криві є оптимальними відносно певного критерію та рекомендуються як характеристики бажаного вигляду.

За результатами порівняння коефіцієнтів характеристичних поліномів стандартної моделі та бажаної реальної системи знаходять значення коефіцієнтів характеристичного полінома, які забезпечують оптимальний перехідний процес. Слід мати на увазі, що до коефіцієнтів характеристичного полінома входять не тільки параметри регулятора, але й параметри інших елементів системи. Це дозволяє домагатися заданих коефіцієнтів характеристичного полінома за допомогою зміни усіх названих параметрів, що суттєво розширює можливості синтезу.

Серед пропонованих у літературі багатьох критеріїв якості перехідного процесу, що оптимізується, оберемо найбільш прийнятний з оглядом на обрані

основні критерії якості роботи системи автоматичного керування – швидкісну похибку керування. Якщо регулятор температури буде весь час прагнути усунути швидкісну похибку, ми будемо мати сумісність графіку зміни у часі фактичної температури футеровки та заданої термограми, що є умовою оптимального значення критерію ефективності керування. Крім того, усунення швидкісної похибки дозволить збільшити швидкість сушіння ковшів за рахунок усунення відставання графіку зміни у часі фактичної температури від заданої термограми.

Тож, далі оберемо ту стандартну модель, в якій швидкісна похибка дорівнює нулю.

Такою стандартною моделлю є модель Еллерта, перехідний процес у якого максимальна величина перерегулювання не перебільшує 10% (за умови східчастого керуючого впливу), а швидкісна похибка дорівнює нулю. Характеристичні поліноми моделі Еллерта представлені в табл. 3.1. Передаточна функція моделі Еллерта має такий вигляд:

$$W(p) = \frac{a_1 q_0^{n-1} + q_0^n}{p^n + a_{n-1} + \dots + a_1 q_0^{n-1} p + q_0^n}. \quad (3.1)$$

Перехідні характеристики моделей Еллерта представлені на рис. 3.3.

З рис. 3.3 видно, що чим вищий порядок моделі Еллерта, тим більший час перехідного процесу.

На рис.3.3 за віссю абсцис заданий відносний час перехідного процесу τ . А у таблиці 3.1 в усіх поліномах присутній параметр q_0 , що є коренем характеристичного полінома, за яким визначається швидкодія системи. Ці параметри пов'язані через формулу:

$$q_0 = \frac{\tau}{t},$$

де t – фактичний час перехідного процесу, с.

Таблиця 3.1 – Характеристичні поліноми моделі Еллерта

Поліном $\Pi_n(p)$
$\Pi_2(p) = p^2 + 2,5q_0 p + q_0^2$
$\Pi_3(p) = p^3 + 5,1q_0 p^2 + 6,3q_0^2 p + q_0^3$
$\Pi_4(p) = p^4 + 7,2q_0 p^3 + 16q_0^2 p^2 + 12q_0^3 p + q_0^4$
$\Pi_5(p) = p^5 + 9q_0 p^4 + 29q_0^2 p^3 + 385q_0^3 p^2 + 18q_0^4 p + q_0^5$
$\Pi_6(p) = p^6 + 11q_0 p^5 + 43q_0^2 p^4 + 83q_0^3 p^3 + 73q_0^4 p^2 + 25q_0^5 p + q_0^6$

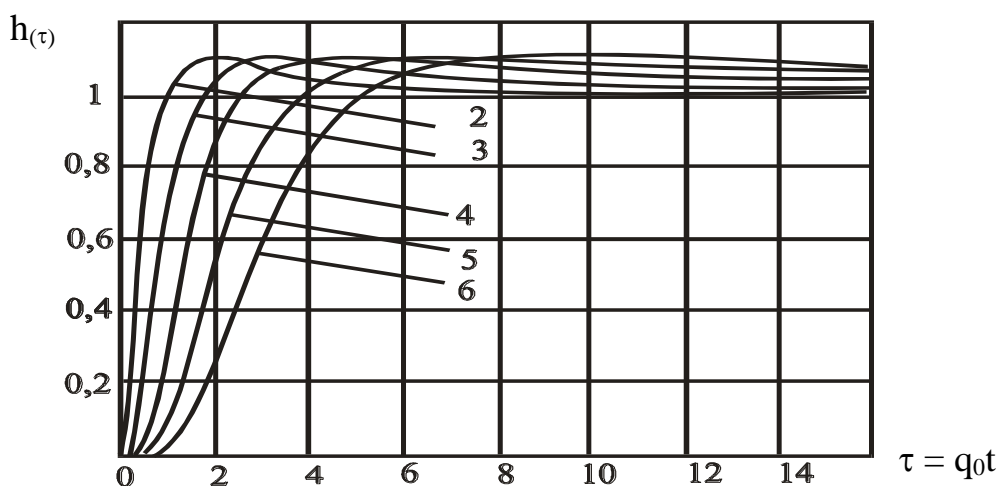


Рисунок 3.3 – Перехідні процеси стандартних моделей Еллерта

При синтезі системи автоматичного керування температурою сушіння ковша методом параметричної оптимізації необхідно досягти вигляду передаточної функції замкнутої системи керування відповідно до рівняння (3.1).

З метою досягнення максимальної швидкодії системи керування (для досягнення нульової швидкісної похибки якомога швидше) оберемо другий порядок стандартної моделі Еллерта, оскільки вона дає найбільш швидкий перехідний процес (рис.3.3). У такому разі передаточна функція замкненої системи автоматичного керування повинна бути такою:

$$W_s(p) = \frac{2,5 \cdot q_0 \cdot p + q_0^2}{p^2 + 2,5 \cdot q_0 \cdot p + q_0^2}.$$

Визначимо бажану передаточну функцію для розімкненої системи автоматичного керування за допомогою відомої формули структурного перетворення:

$$W_{роз}(p) = \frac{W_3(p)}{1 - W_3(p)} = \frac{2,5 \cdot q_0 \cdot p + q_0^2}{p^2}. \quad (3.2)$$

Для забезпечення виду передаточної функції розімкненої системи керування згідно формулі (3.2), використаємо послідовно з'єднані ПІ-регулятор та інтегратор:

$$W_{роз}(p) = \left(K_P + \frac{K_I}{p} \right) \cdot \frac{1}{p} = \frac{K_P \cdot p + K_I}{p^2}. \quad (3.3)$$

Для того, щоб передаточна функція розімкненої системи керування дорівнювала стандартній моделі Еллерта згідно формулі (3.2), необхідно прирівняти коефіцієнти доданків чисельників у формулах (3.2) та (3.3):

$$\begin{cases} K_P = 2,5 \cdot q_0; \\ K_I = q_0^2. \end{cases} \quad (3.4)$$

Але, для того, щоб за своїми властивостями система автоматичного керування температурою сушіння ковшів стала схожою на стандартну модель Еллерта, необхідно компенсувати постійні часу передаточної функції печі. З урахуванням цього, передаточна функція регулятора температури сушіння ковша буде наступною:

$$W_{роз}(p) = \frac{2,5 \cdot q_0 \cdot p + q_0^2}{p} \cdot \frac{440 \cdot p + 1}{p} \cdot \frac{1000 \cdot p + 1}{T \cdot p + 1}, \quad (3.5)$$

де T – некомпенсована постійна часу регулятора температури.

Враховуючи визначену передаточну функцію регулятора температури (3.5), для дослідження ефективності його налаштування створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою сушіння ковша разом зі стандартною моделлю Еллерта (рис. 3.4). З оглядом на основне завдання системи керування та критерії якості її роботи, дослідження системи керування

будуть проводитися за умови уставки у вигляді заданої згідно технологічному процесу термограми (рис. 2.6). Для імітації цієї термограми використана функція “generator”.

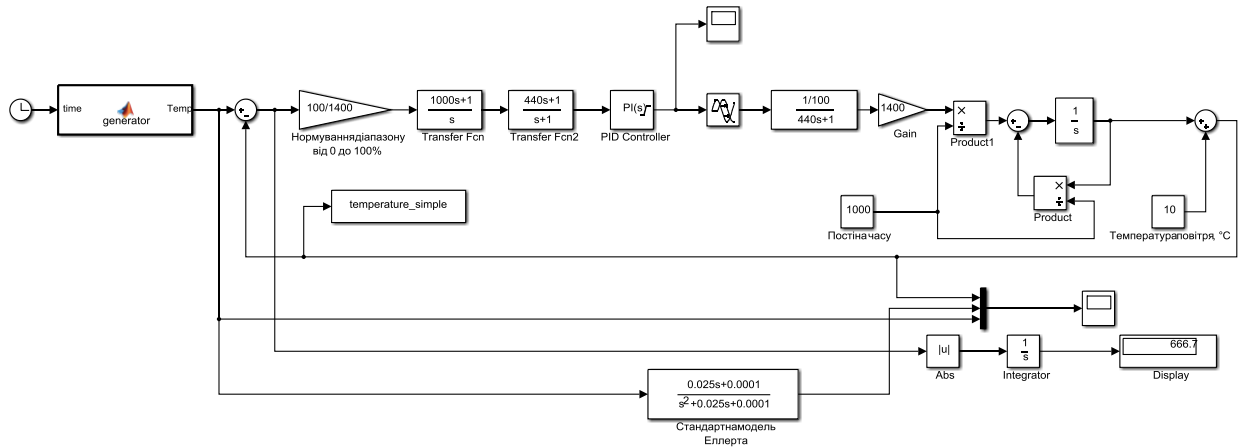


Рисунок 3.4 – Схема системи автоматичного керування на основі спрощеної моделі об’єкта керування

Програма 3.1 – Функція формування заданої термограми за умови сушіння металургійного ковша

```
function Temp = generator(time)
    times = [0, 1800, 1800, 30600, 30600, 48600, 48600, 77400];
    temperatures = [10, 10, 140, 690, 690, 690, 690, 1100];
    K = 1;
```

```
    persistent nIndex;
    persistent deltaT;
    persistent powerS;
    if (isempty(nIndex))
        nIndex = 1;
        deltaT = time;
        powerS = temperatures(nIndex) / K;
    else
        deltaT = time - deltaT;
    end

    if ((nIndex + 1) > length(times))
        Temp = powerS;
        return;
    elseif (times(nIndex + 1) < time)
        nIndex = nIndex + 2;
    end
end
```



```

if (nIndex > length(times))
    Temp = powerS;
    return;
end

deltaP = (temperatures(nIndex + 1) - temperatures(nIndex)) / (times(nIndex + 1) -
times(nIndex)) * deltaT;
deltaT = time;
powerS = powerS + deltaP / K;
if (powerS ~= 0 && powerS < 10)
    powerS = 10;
end
Temp = powerS;
end

```

З формули регулятора температури сушіння ковша помітно, що невідомими залишаються два параметри – корінь характеристичного рівняння стандартної моделі q та некомпенсована постійна часу регулятора T .

Для визначення кореня характеристичного рівняння стандартної моделі q проведемо дослідження залежності першого критерію ефективності роботи синтезованої системи керування (інтегральна похибка керування) від даного параметра регулятора (рис.3.5).

З рис.3.5 ми бачимо, що у цій залежності існує мінімальний екстремум, який дозволяє визначити оптимальний параметр регулятора температури у вигляді кореня характеристичного рівняння стандартної моделі Еллерта.

Дослідження показали, що при високих значеннях кореня q виникають автоколивання у каналі керування, що призводить до коливання фактичної температури навколо заданої термограми, внаслідок чого збільшується інтегральна похибка керування σ .

При низьких значеннях кореня q збільшується час усунення швидкісної похибки у перехідному процесі на виході системи керування, що також призводить до збільшення інтегральної похибки керування σ .

Саме з цими закономірностями пов'язана присутність мінімального екстремуму на рис. 3.5.

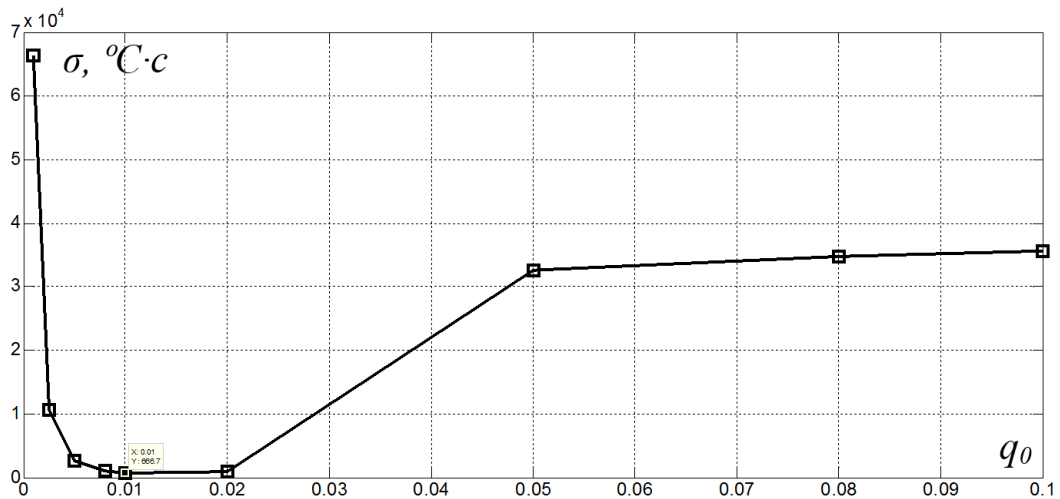


Рисунок 3.5 – Емпірична залежність між інтегральною похибкою відпрацювання заданої термограми та коренем характеристичного полінома стандартної моделі Еллерта

При обґрунтуванні величини некомпенсованої постійної часу увага звернена передусім на можливість відтворення керуючого впливу з урахуванням інерційностей систем керування кількістю газу та повітря. Для даних систем час перехідного процесу триває 5 с, тож для керуючого впливу не бажано перевищення диференціалу рівня 20%/с. З іншої сторони некомпенсована постійна часу повинна бути якомога менше, це є умовою збігу синтезованої системи керування за своїми властивостями зі стандартною моделлю Еллерта.

Тож, за допомогою обчислювального експерименту отримана залежність похідної за часом керуючого впливу на виході регулятора температури від величини некомпенсованої постійної часу регулятора (рис. 3.6).

З рис. 3.6 можна зробити висновок, що залежність похідної за часом керуючого впливу на виході регулятора температури сушіння ковша від величини некомпенсованої постійної часу регулятора є зворотною й близькою до експоненціальної. Ця залежність дозволяє визначити величину некомпенсованої постійної часу регулятора, при якій керуючий сигнал буде

відтворений без спотворення через інерційність приводів засувки та вентилятора системи подачі палива. Ця величина дорівнює 0,7 с.

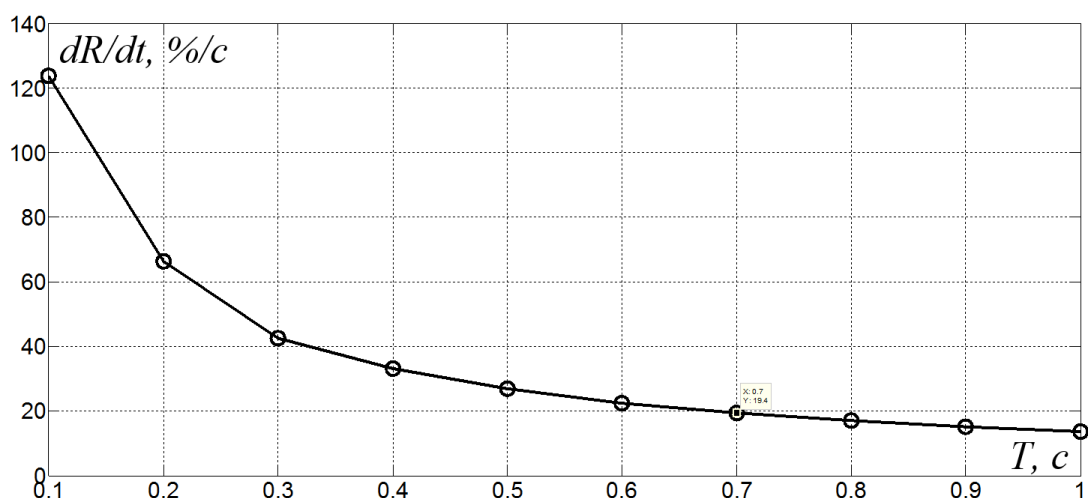


Рисунок 3.6 – Емпірична залежність максимального диференціалу керуючого сигналу від некомпенсованої постійної часу

3.2 Дослідження системи автоматичного керування

Для дослідження ефективності роботи синтезованої системи автоматичного керування температурою сушіння металургійного ковша створена імітаційна модель системи керування за умови використання комплексної моделі об'єкта керування (рис. 3.7).

Отримані результати моделювання роботи синтезованої системи автоматичного керування свідчать про ефективне відпрацювання системою заданої термограми. З рис. 3.8 а видно, що графік зміни фактичної температури та задана термограма майже збігаються.

Для кількісної оцінки рівня збігу визначимо середньоквадратичне відхилення графіку зміни у часі фактичної температури від заданої термограми:

```
goodnessOfFit(temperature, temperature_simple, 'NRMSE')*100
```

ans =

```
99.978304936757326
```

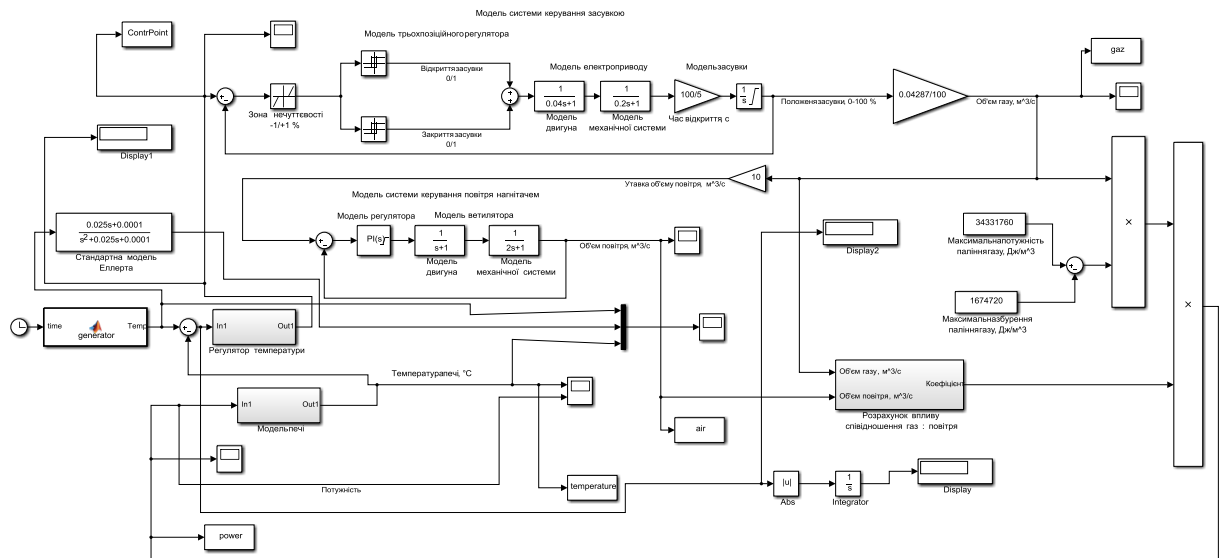


Рисунок 3.7 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування температурою сушіння у котлі

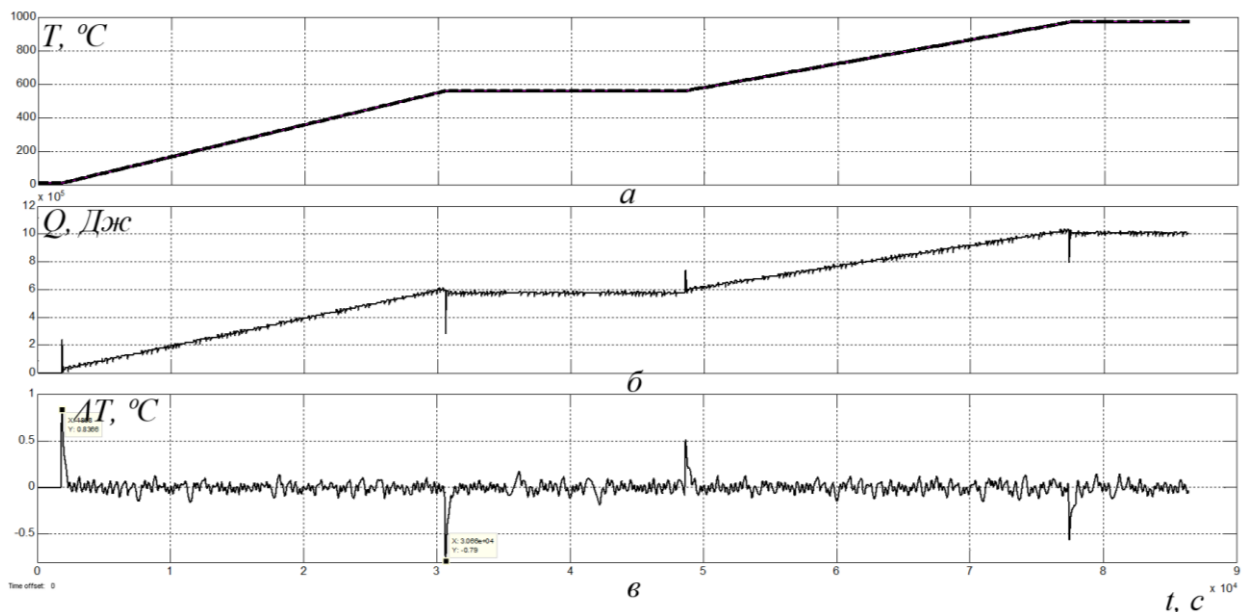


Рисунок 3.8 – Зміна у часі: а – температури сушіння ковша (суцільна лінія) разом з заданою термограмою (пунктирна лінія); б – кількості теплової енергії, що виділена після згоряння палива; в – відхилення фактичної температури від заданого значення згідно термограми (без присутності збурюючого впливу)

Показник збігу 99,97% графіків перехідних процесів на виході системи автоматичного керування під час відпрацювання заданої термограми засвідчує

ефективність використання регулятора температури, що налаштований на основі спрощеної моделі об'єкта керування, по відношенню до більш складної моделі об'єкта керування, в якій моделюється робота систем керування витратами газу й повітря з урахуванням їх інерційності.

Ефективність роботи системи автоматичного керування також підтверджує той факт, що за весь час технологічного циклу максимальне відхилення фактичної температури сушіння металургійного ковша від заданої термограми не перевищує $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.8 в). Ці максимальні відхилення мають місце за умови зміни напрямку термограми. Саме тоді виникають суттєві стрибки керуючого впливу (рис.3.8,б), метою яких є усунення швидкісної похибки, яка виникла.

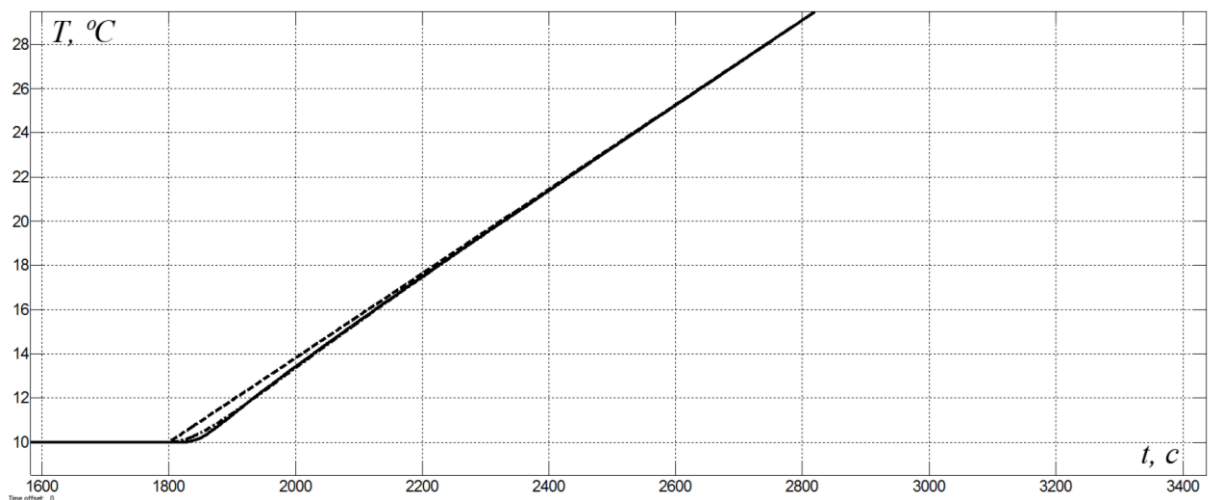


Рисунок 3.9 – Зміна у часі фактичної температури сушіння ковша (суцільна лінія) разом з заданою термограмою (штрих-пунктирна лінія), а також графік, отриманий за стандартною моделлю Еллера (пунктирна лінія)

На рис. 3.9 показаний збільшений фрагмент рис.3.8 а, на якому видно, як за умови початку лінійного зростання у часі термограми виникає відхилення фактичної температури від термограми, яке протягом 400 с усувається системою автоматичного керування.

Також з рис. 3.9 помітно, що результати роботи синтезованої системи автоматичного керування збігаються з результатами роботи стандартної моделі Еллєрта.

Далі проведемо дослідження ефективності роботи синтезованої системи автоматичного керування температурою сушіння ковша при наявності збурюючого впливу (зміні у часі калорійності газу). Для цього у модель системи керування інтегрована модель імітації зміни у часі збурюючого впливу (відповідна підсистема на рис.3. 10). А динамічна модель печі реалізована як окрема підсистема, вмістом якої є схема на рис. 2.2. Характер зміни збурюючого впливу відображений на рис. 3.11 г.

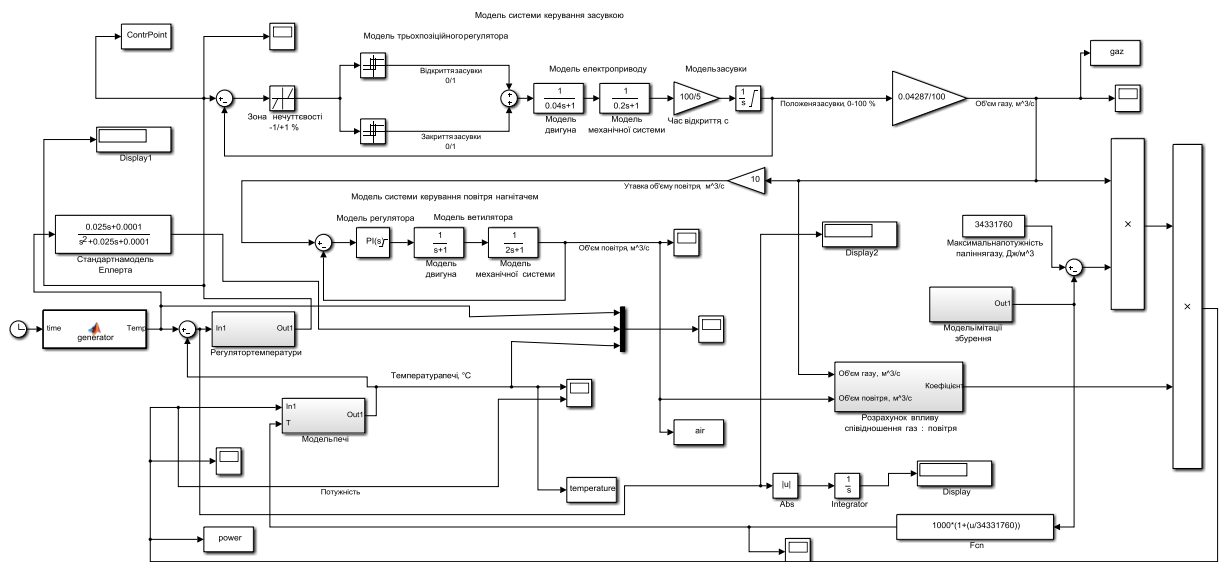


Рисунок 3.10 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування разом з моделлю імітації зміни у часі збурюючого впливу

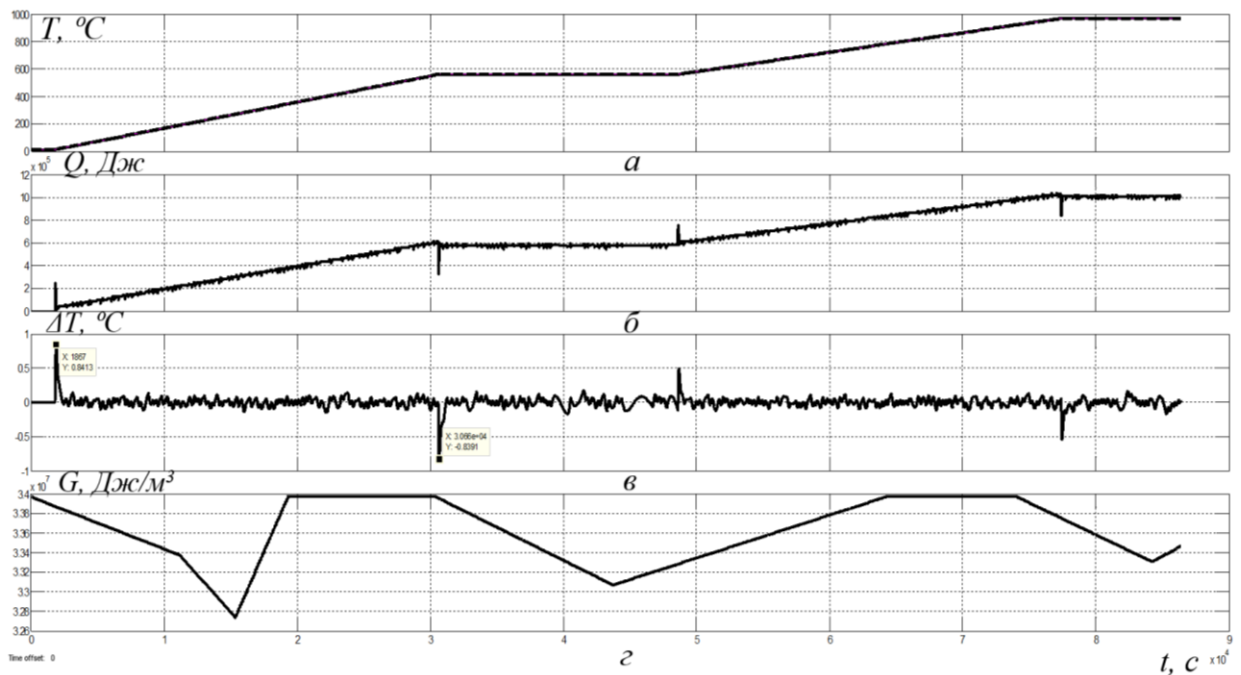


Рисунок 3.11 – Зміна у часі: *a* – температури сушіння ковша (суцільна лінія) разом з заданою термограмою (пунктирна лінія); *б* – кількості теплової енергії, що виділена після згоряння палива; *в* – відхилення фактичної температури від заданого значення згідно термограми; *г* – збурюючого впливу, яким є кількість тепла, що виділяється при згорянні певного об'єму палива

Аналіз результатів моделювання на рис. 3.10 дозволяє зробити висновок про ефективність роботи синтезованої системи автоматичного керування навіть при наявності зміни калорійності газу, що викликає зміни параметрів моделі об'єкта керування.

Ми бачимо, що як і у випадку відсутності збурення, графік зміни у часі фактичної температури майже повністю співпадає з заданою термограмою. Для кількісної оцінки рівня збігу визначимо середньоквадратичне відхилення графіку зміни у часі фактичної температури від заданої термограми:

```
goodnessOfFit(temperature, temperature_simple, 'NRMSE')*100
```

```
ans =
```

```
99.960231802250771
```

Таким чином, можна зробити висновок про високу ефективність роботи синтезованої системи автоматичного керування температурою сушіння ковша в умовах постійної зміни у часі калорійності газу.

Ефективність роботи системи автоматичного керування в умовах дії збурення також підтверджує той факт, що за весь час технологічного циклу максимальне відхилення фактичної температури сушіння металургійного ковша від заданої термограми не перевищує $0,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.11 в).

3.3 Висновки до розділу

Доведена ефективність використання методу параметричної оптимізації для синтезу системи автоматичного керування температурою сушіння металургійних ковшів. Обґрунтовано використання фільтра Еллерта у якості стандартної моделі, що дозволяє усунути швидкісну похибку керування, та за рахунок цього мінімізувати інтегральний показник відхилення графіку фактичної температури від заданої термограми.

На основі даного методу запропонована методика налаштування регулятора температури, яка базується на компенсації постійних часу динамічної моделі печі й визначенні оптимальних значень параметрів регулятора на основі дослідження їх впливу на обґрунтовані критерії якості роботи системи керування.

Визначено, що у залежності інтегральної похибки керування від кореня характеристичного рівняння стандартної моделі існує мінімальний екстремум, який дозволяє визначити оптимальний параметр регулятора температури у вигляді кореня характеристичного рівняння стандартної моделі Еллерта.

Також отримана залежність похідної за часом керуючого впливу на виході регулятора температури сушіння ковша від величини некомпенсованої постійної часу регулятора, яка є зворотною й близькою до експоненціальної. Ця залежність дозволяє визначити величину некомпенсованої постійної часу регулятора, при якій керуючий сигнал буде відтворений без спотворення через інерційність приводів засувки та вентилятора системи подачі палива.

Показник збігу 99,97% графіків перехідних процесів на виході синтезованої системи автоматичного керування під час відпрацювання заданої термограми засвідчує ефективність використання регулятора температури, що налаштований на основі спрощеної моделі об'єкта керування, по відношенню до більш складної моделі об'єкта керування, в якій моделюється робота систем керування витратами газу й повітря з урахуванням їх інерційності.

Показник збігу 99,96% графіків перехідних процесів на виході синтезованої системи автоматичного керування під час відпрацювання заданої термограми в умовах дії збурення засвідчує високу ефективність роботи синтезованої системи автоматичного керування температурою сушіння ковша в умовах постійної зміни у часі калорійності газу.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

В результаті синтезу системи керування було отримано безперервну модель системи керування, що відповідає сформульованим критеріям якості.

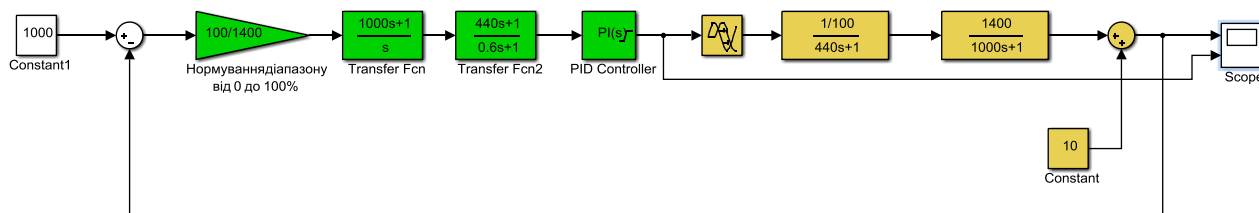


Рисунок 4.1 – Безперервна модель системи керування

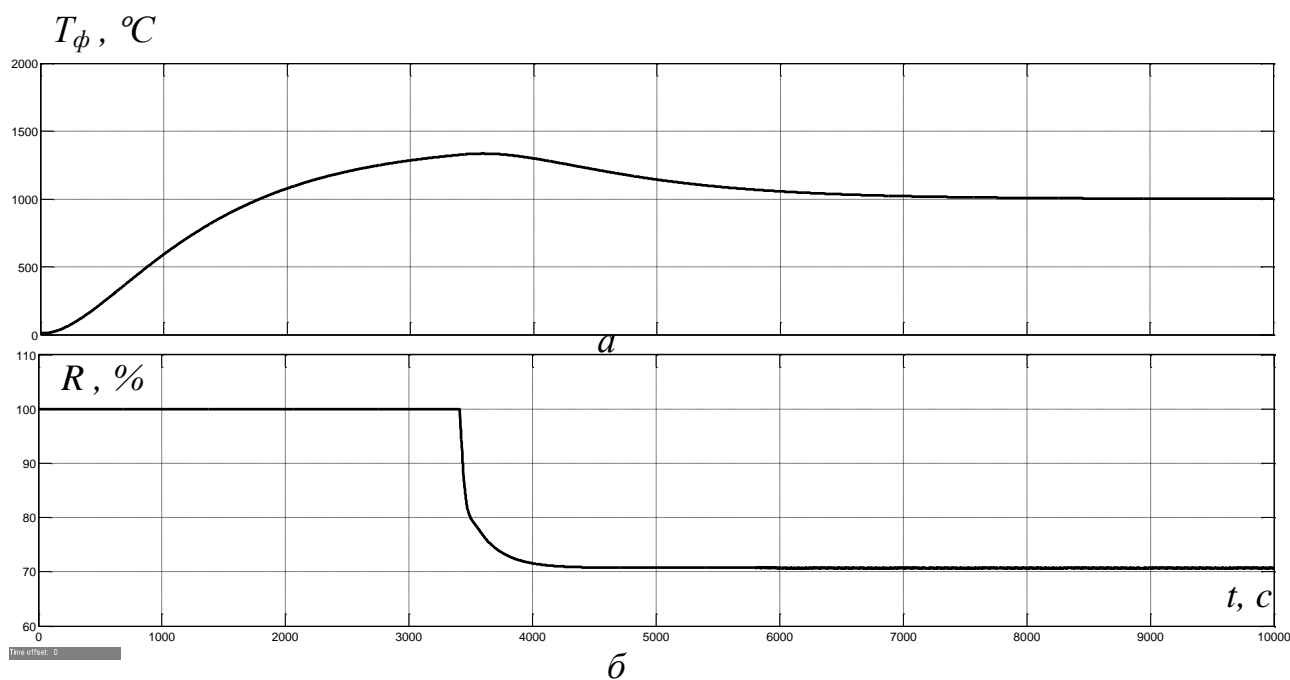


Рисунок 4.2 – Результати моделювання безперервної системи керування

Для подальшої роботи виконаємо заміну безперервних елементів системи керування цифровими. Для перетворення безперервних аперіодичних ланок об'єкта керування створена програма:

```
%Перетворення у цифрову форму першої аперіодичної ланки
wa1=tf([14], [440 1]);
```

```

wa1z=c2d(wa1, 0.1);
[a_a1, b_a1]=tfdata(wa1z);
a_a1=cell2mat(a_a1)
b_a1=cell2mat(b_a1)
%Перетворення у цифрову форму другої аперіодичної ланки
wa2=tf([1], [1000 1]);
wa2z=c2d(wa2, 0.1);
[a_a2, b_a2]=tfdata(wa2z);
a_a2=cell2mat(a_a2)
b_a2=cell2mat(b_a2)
%Перетворення у цифрову форму інтегруючої ланки
wi=tf([1], [1 0]);
wiz=c2d(wi, 0.1);
[a_i, b_i]=tfdata(wiz);
a_i=cell2mat(a_i)
b_i=cell2mat(b_i)
goodnessOfFit(Obj_continuos,Obj_descrete, 'NRMSE')*100

```

Результат виконання програми:

```

>> transform_z
a_a1 =
    0    0.003181456638960
b_a1 =
    1.0000000000000000    -0.999772753097217
a_a2 =
    1.0e-04 *
    0    0.999950001666625
b_a2 =
    1.0000000000000000    -0.999900004999833
a_i =
    0    0.1000000000000000
b_i =
    1    -1

```

Також виконаємо заміну безперервних елементів системи керування цифровими відносно регулятора.

```

%Перетворення у цифрову форму першої ланки
wa1=tf([1000 1], [1 0]);
wa1z=c2d(wa1, 0.1);
[a_a1, b_a1]=tfdata(wa1z);
a_a1=cell2mat(a_a1)
b_a1=cell2mat(b_a1)
%Перетворення у цифрову форму другої ланки
wa2=tf([440 1], [0.6 1]);
wa2z=c2d(wa2, 0.1);
[a_a2, b_a2]=tfdata(wa2z);

```

```
a_a2=cell2mat(a_a2)
b_a2=cell2mat(b_a2)
```

Результат виконання програми:

a_a1 =

1.0e+03 *

1.0000000000000000 -0.9999000000000000

b_a1 =

1 -1

a_a2 =

1.0e+02 *

7.3333333333333334 -7.331798150582240

b_a2 =

1.0000000000000000 -0.846481724890614

В результаті заміни безперервних елементів моделі на цифрові отримуємо цифрову модель системи керування:

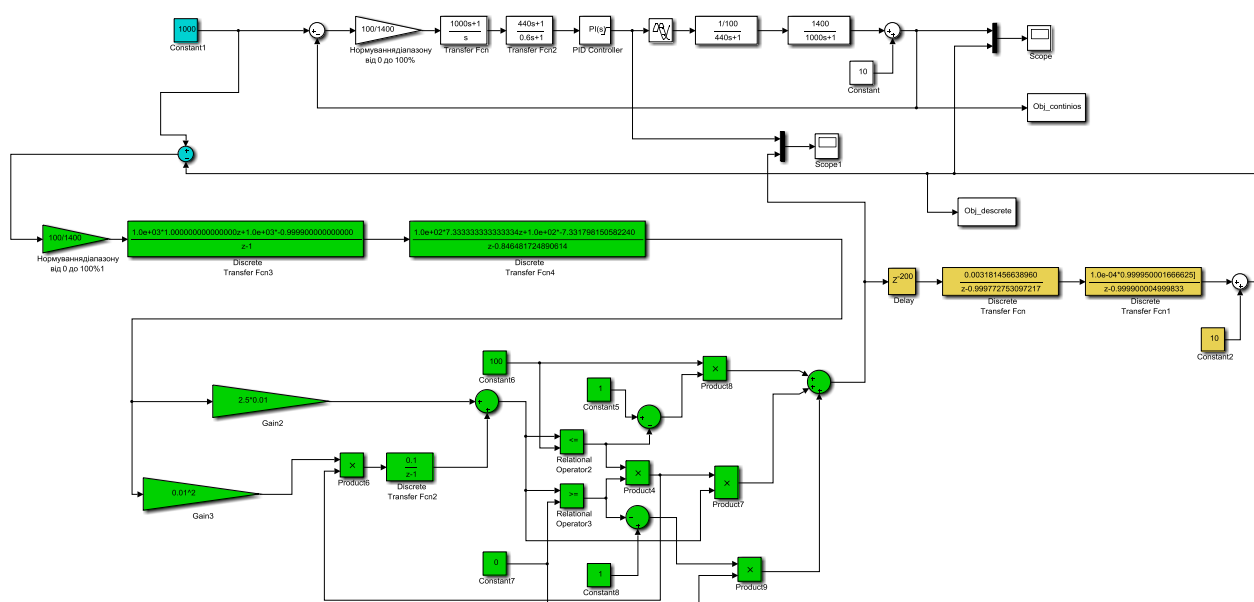


Рисунок 4.4 – Цифрова модель системи керування

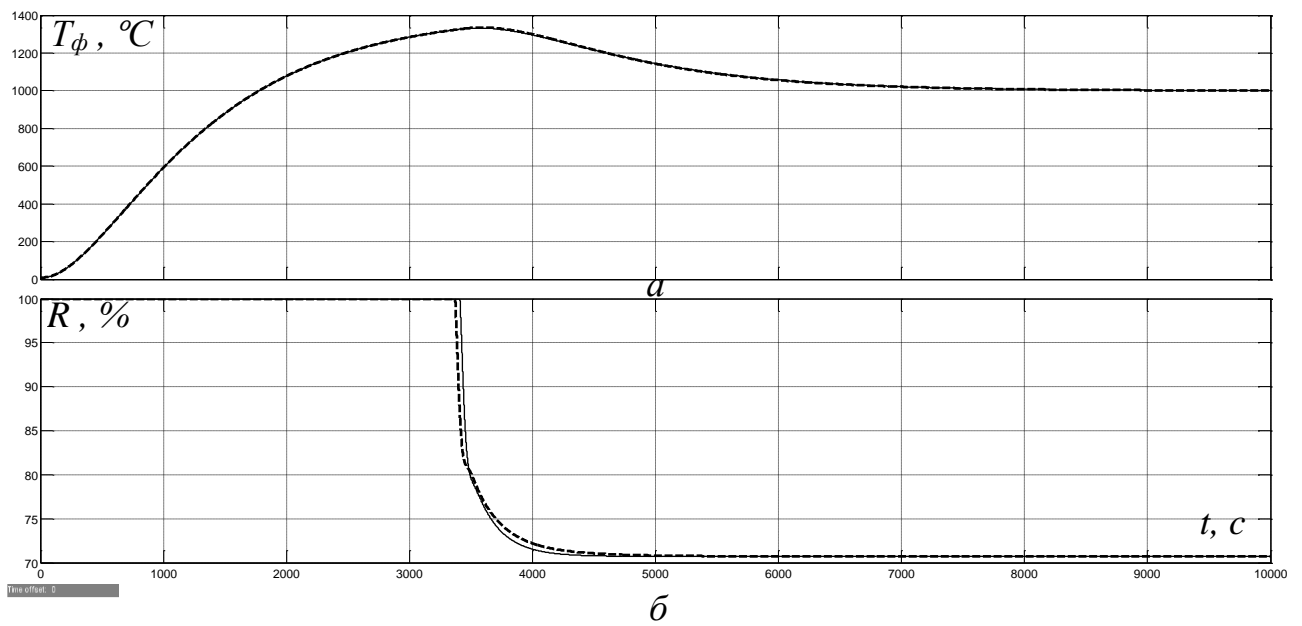


Рисунок 4.5 – Результати моделювання безперервної та цифрової систем керування: a – керована величина; b – керуючий сигнал (неперервна – суцільна лінія, дискретна – пунктирна)

Оцінимо відповідність цифрової моделі системи керування безперервній моделі за нормованим середньо-квадратичним відхиленням:

```
>> goodnessOfFit(Obj_continuos,Obj_descrete, 'NRMSE')*100
ans =
    99.626104380782550
```

Як видно за результатами перевірки цифрової моделі системи керування на адекватність, маємо досить високий відсоток відповідності цифрової моделі безперервній.

Далі, виконаємо поділ системи керування шляхом створення блоків підсистем (рис. 4.6).

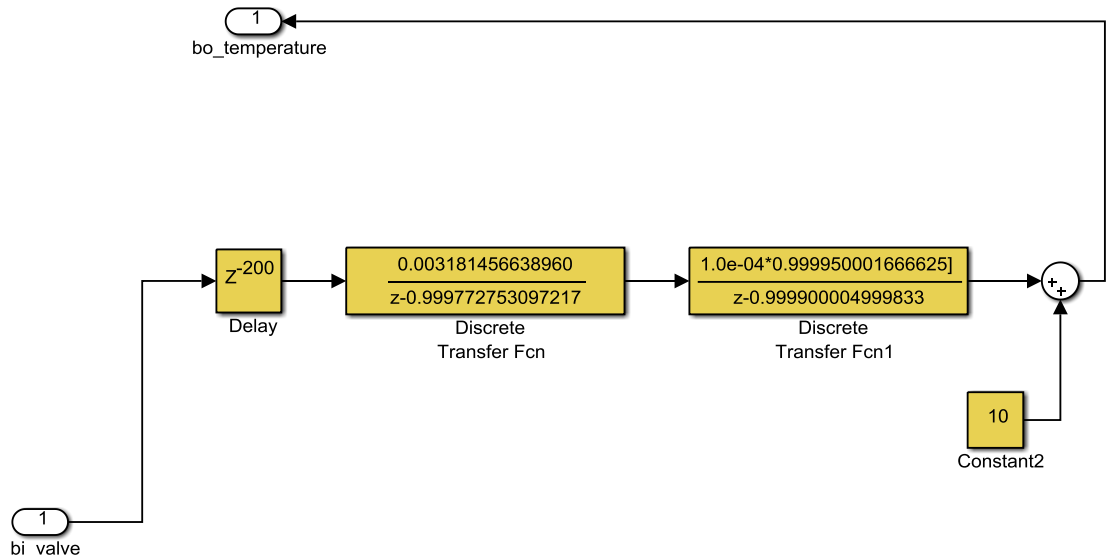


Рисунок 4.8 – Підсистема об'єкта керування

Далі було згенеровано програмні модулі, що наведені у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи керування поділено на 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 автоматичного керування для драйверу пристрою керування.

Для розробки ПЗ об'єкту керування було створено драйвер пристрою керування з налаштуванням, яке показано на рис. .9.

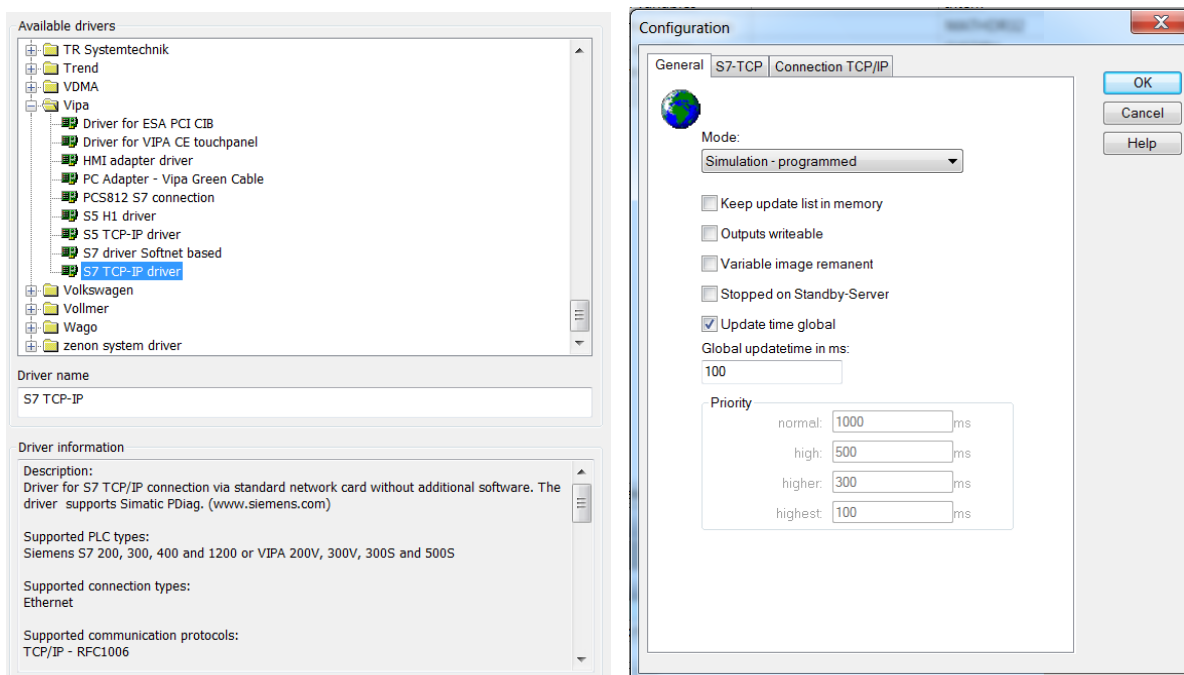


Рисунок 4.9 – Вибір драйверу пристрою керування та його налаштування

Для драйвера пристрою керування було створено такі змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.10).

State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Algrm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
	Valve			0	0	0	0	0		STTCP32 - VIPA	REAL	0	0
	Temperature			0	0	0	0	0		STTCP32 - VIPA	REAL	0	0
	Controller/Global/Temperature_			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	0	0
	Controller/Global/Control_Valve			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	0	0
	Controller/Global/Control_Set_Point			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	0	0

Рисунок 4.10 – Змінні драйверу об'єкту керування

У середі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування було реалізовано модель об'єкту керування на базі раніше отриманого програмного модуля. Далі, на основі отриманого користувацького функціонального блоку, було розроблено програмне забезпечення об'єкту керування.

Більш докладно список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення ОК наведено у додатку Б1.

Для реалізації програмного забезпечення регулятора створено проект регулятора (рис. 4.11).

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

Рисунок 4.11 – Проект регулятора

Також створено змінні регулятора, що відповідають значенню уставки температури сушіння ковшів, дійсному значенню та керуючому впливу (додаток Б2).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єктом керування реалізовано через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.12).

Name	Source variable	Target variable	Trigger variable	Trigger ty...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
zenon_to_PLC	Controller/Global/Control_Valve	Valve	< no variable linke...	Edge
PLC_to_zenon	Temperature	Controller/Global/Temperature_	< no variable linke...	Edge

Рисунок 4.12 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином, було створено два розподіли. Перший, копіює значення температури сушіння ковшів з об'єкту керування до регулятора, друге – значення відносної продуктивності пальника до об'єкту керування. Більш докладно список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення регулятора наведено у додатку Б2.

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Невід'ємною частиною розробки системи керування є створення програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу.

Для забезпечення повної функціональності системи керування необхідно розробити ЛМІ, що має забезпечувати:

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта;

- можливість слідкувати за станом протікання технологічного процесу, та в разі виникнення непередбачуваних подій вчасно вирішити проблему.

Таким чином, можна сформуванати основні вимоги до ЛМІ:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість зображень: 5 – зображення з кнопками, що дозволять без проблем переходити між іншими зображеннями, технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій та список тривог.

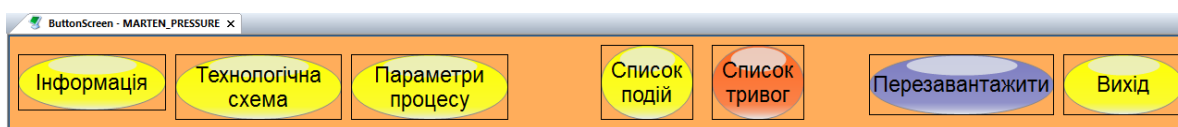


Рисунок 4.13 – Зображення кнопок

На рис. 4.13 показано зображення кнопок що було реалізовано для ЛМІ. Кожна з них має свою функцію. «Технологічна схема»: при натисканні цієї кнопки відбувається перехід на наступне зображення (рис. 4.14), де представлена технологічна схема системи керування, розташування датчиків та основна інформація про об'єкт. Реалізація роботи цієї кнопки була виконана за допомогою функції `switch screen`, що дозволяє перейти на наступне зображення. Кнопки «Параметри процесу», «Список тривог», «Список подій» було реалізовано аналогічно, вони дозволяють перейти на зображення – рис. 4.15, рис. 4.16, рис. 4.17 відповідно. Кнопка «Вихід», а також кнопка «Перезавантажити» реалізовані за допомогою функцій «`exit runtime`» та «`reload project`» відповідно.

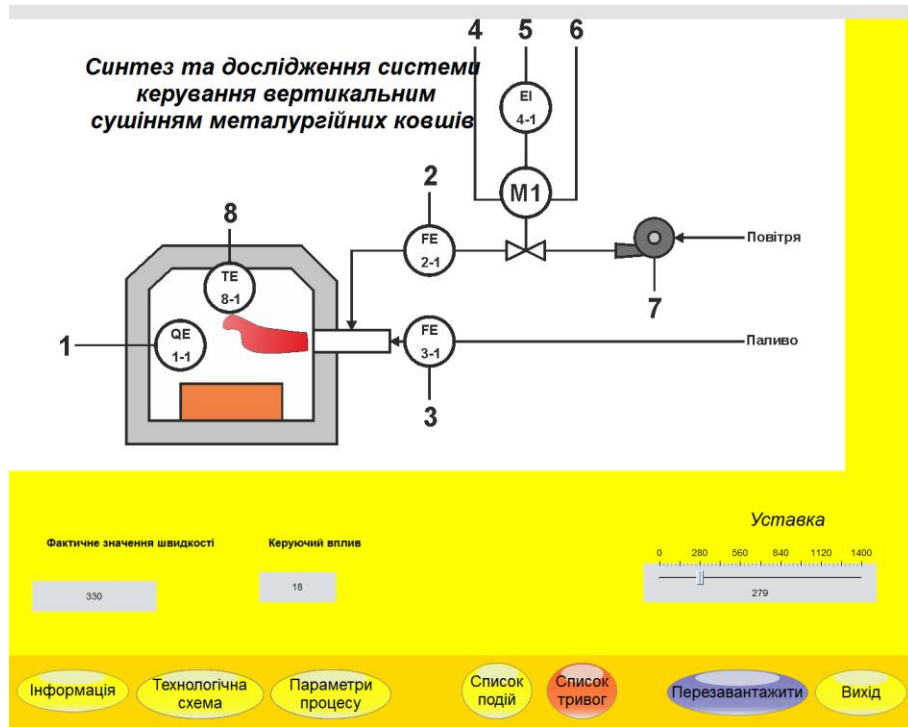


Рисунок 4.14 – Зображення технологічної схеми

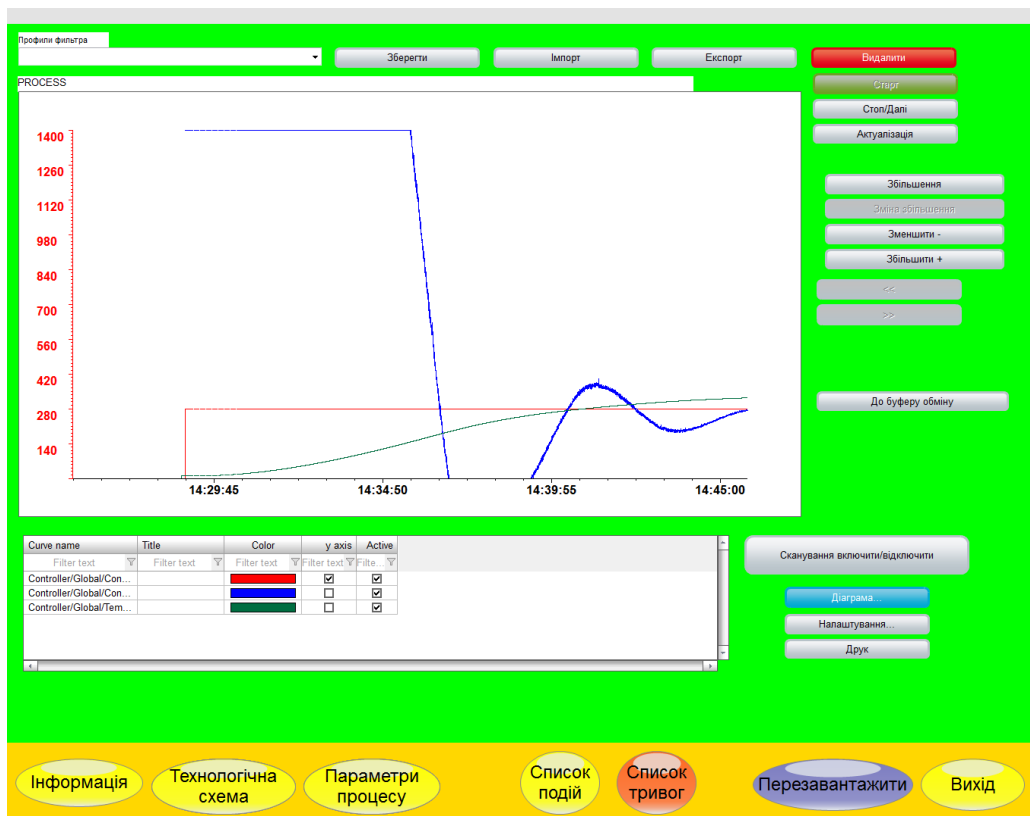


Рисунок 4.15 – Зображення графіку перехідного процесу

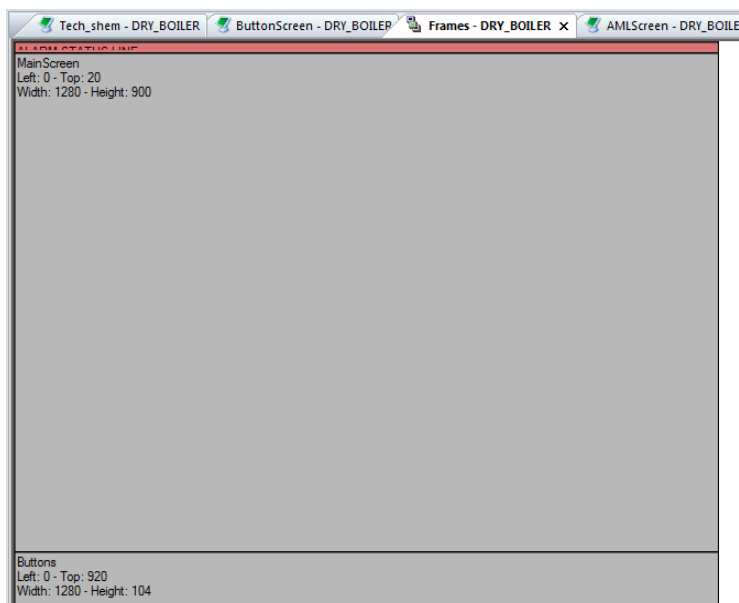


Рисунок 4.18 – Шаблон зображень

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

Розроблене програмне забезпечення наводиться в додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом встановлення уставки температури сушіння на рівні 280 °С. З рис. 4.19 видно, що об'єкт та регулятор адекватно працюють, перерегулювання відповідає рівню використаної шаблонної моделі Еллерта.

Усі кнопки виконують свої функції, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи керування. До списку подій вносяться дані про зміну уставки. Оскільки система керування працює згідно з вимогами, список тривог порожній.

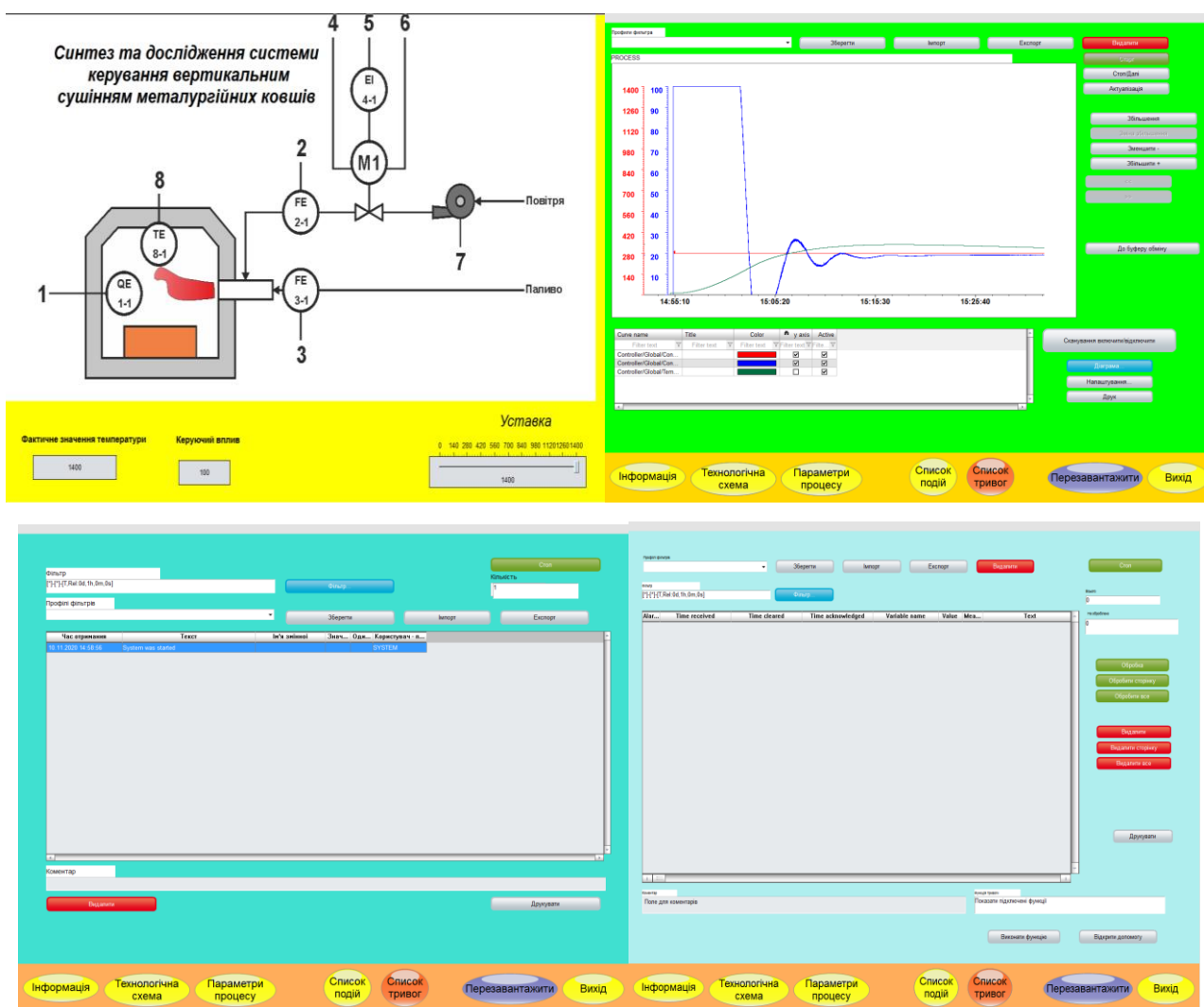


Рисунок 4.19 – Перевірка функціонування

В результаті проведеної перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ функціонує згідно з вимогами, 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 сушінням ковшів та ЛМІ.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок капітальних інвестицій

У даній роботі розглядається доцільність впровадження автоматизованої системи сушки та нагрівання металургійних ківшів. Дані про капітальні витрати на устаткування наведені у табл. 4.1

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мн}, \quad (5.1)$$

де $K_{об}$ – витрати на придбання устаткування,

$K_{тр}$ – витрати на транспортування;

$K_{мн}$ – монтаж і налагодження системи

Таблиця 5.1 — Капітальні витрати

№	Найменування витрат	Кількість	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	ПЛК VIPA 214-2BE03	1	12 787,20	12 787,20
2	Комунікаційний процесор VIPA 231-1BD40	1	5 151	5 151
3	Модуль дискретного вводу VIPA 221-1BF40	1	2 621	2 621
4	Пристрій управління ОВЕН ПКП1Т-Щ1.RS	1	3 768	3 768
5	Газовий аналізатор вмісту кисню Michell XZR-500	1	8150,54	8150,54
6	Датчик витрат DRG.M-10000	2	74 613,6	149 227,2
7	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	1	3 729,60	3 729,60
8	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24601	1	4 218	4 218
9	Контактор Carlo Gavazzi RGC3A60A25KKE	2	4 505,61	9 011,22
10	Електропровід СЛЭМЗ АИР90LB8	1	2 185	2 185
11	Трансформатор струму Socomec TCA21-100/5A	1	714	714
12	Датчик температури ТЭРА ТПР-У-1-29-В-1,2	1	817	817
13	Частотний перетворювач Lenze E82EV153K4B201	1	72 200	72 200
14	Турбоповітродувка трифазна, 380 В, 10 кВт, 750 об.хв	1	12 355	12 355
Усього				286 934,76

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт приймається за договірними розцінками на монтаж і налагодження електротехнічного устаткування, що приблизно становить 8-10% від вартості устаткування. Оскільки обладнання

має високу ціну, тому його налагодження дуже важливе, приймаємо вартість монтажних-налагоджувальних робіт на рівні 9 % від вартості устаткування:

$$K_{мн} = Q_y \times 0,09 \quad (5.2)$$

де Q_y – вартість устаткування

$$K_{мн} = 286\,934,76 \times 0,09 = 25\,824,13 \text{ грн}$$

Транспортно-заготівельні витрати за спрощеним методом визначаються у відсотках від вартості устаткуванням, виробів, матеріалів (5-7%) або за фактичними витратами. Затверджуємо транспортно-заготівельні витрати на рівні 7% від вартості устаткування.

$$K_{тр} = Q_y \times 0,07 \quad (5.3)$$

$$K_{тр} = 286\,934,76 \times 0,07 = 20\,085,43 \text{ грн}$$

Капітальні витрати складуть:

$$K = 286\,934,76 + 25\,824,13 + 20\,085,43 = 332\,844,3232 \text{ грн}$$

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню та енергомережам відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_z);
- єдиний соціальний внесок (C_c);
- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт устаткування та електромереж ($C_{пр}$);
- вартість витраченої електроенергії (C_e);
- інші витрати ($C_{ін}$);

Таким чином, річні експлуатаційні витрати будуть складати:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_{пр} + C_e + C_{ін} , \text{ тис грн} \quad (5.4)$$

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Обладнання, яке використовується у даному проекті належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів. Термін експлуатації такого обладнання складає 7 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації буде визначатися за формулою:

$$H_a = (2/T) \cdot 100\%, \quad (5.5)$$

де H_a — норма амортизації;

T — термін корисного використання обладнання;

Для даної системи норма амортизації складає:

$$H_a = (2/7) \cdot 100\% = 29 \%$$

У свою чергу амортизація основних фондів:

$$C_a = (ПВ \cdot H_a) / 100\%, \quad (5.6)$$

де C_a - амортизація основних фондів,

ПВ - первинна вартість, що дорівнює капітальним витратам.

Для даної системи сума амортизації становитиме:

$$C_a = \frac{332\,844,3232 \cdot 29\%}{100} \% = 96\,524,85 \text{ (грн.)}$$

5.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{ном.рік}} = (T_k - T_{\text{вих.св}} - T_{\text{відп}}) \cdot T_{\text{зм}}, \text{ ГОДИН} \quad (5.7)$$

де T_k – календарний фонд робочого часу, 365 днів;

$T_{\text{вих.св}}$ – вихідні дні та свята, 114 днів;

$T_{\text{відп}}$ – відпустка, 21 день;

$T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, 8 год.

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{ном.рік}} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1840 \text{ годин}$$

У керуванні процесом задіяні дві персони: оператор та спеціаліст з устаткування.

Розрахунок заробітної плати персоналу наведено у табл. 5.2

Таблиця 5.2 - Розрахунок заробітної плати персоналу

№	Найменування професії	Число працюючих, чол	Годин на тарифна ставка, грн	Номінальні річні фонд робочого	Пряма заробітна плата, грн	Додаткова заробітна плата (10%), грн	До плати (%)	Загальна заробітна плата, грн
1	Оператор	1	35	1840	64400	6440	4508	75348
2	Спеціаліст устаткування	1	40	1840	73600	7360	5152	86112
Усього								161460

5.2.3 Розрахунок єдиного соціального внеску

Відрахування на соціальні заходи складуть:

$$C_c = 0.22 \times C_z \quad (5.8)$$

$$C_c = 0.22 \times 161460 = 35\,521,2 \text{ грн}$$

5.2.4 Розрахунок річних витрат на поточний ремонт та технічне обслуговування

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{p.o.} = 0,05 \times K_{ПР}, \quad (5.9)$$

та складають:

$$C_{p.o.} = 0.05 \times 332844,3232 = 16642,22 \text{ грн}$$

5.2.5 Розрахунок вартості електроенергії

Система працює неперервно упродовж року. Вартість електроенергії, споживаної системою керування визначається як:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{др} \cdot ds \cdot T, \quad (5.10)$$

де K_e – кількість електроенергії, спожитої системою керування за годину (0,1 кВт·год);

$K_{др}$ – кількість робочих днів у році (365 день);

ds – тривалість зміни (24 годин);

T – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1.68 грн. за кВт з ПДВ);

Для контролера компанії споживна потужність становить 0.75кВт, таким чином витрати на електроенергію складатимуть:

$$C_{ee} = 0.75 \times 365 \times 24 \times 1.68 = 11\,037.6 \text{ грн}$$

5.2.6 Визначення інших витрат

Інші витрати з експлуатації системи включають витрати з охорони праці, витрати на спецодяг та інше. Згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{інш} = 0,04 \times C_z, \quad (5.11)$$

та складають:

$$C_{інш} = 0,04 \times 161460 = 6458,4 \text{ (грн.)}$$

Експлуатаційні витрати за рік наведені у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 — Вартість експлуатаційних витрат за рік

№	Назва показника	Проектний варіант витрат
1	Амортизація, грн	96 524,85
2	Фонд заробітної плати, грн	161 460
3	Відрахування соціальних виплат, грн	35 521,2
4	Ремонт і обслуговування, грн	16 642,22
5	Електроенергія	11 037,6
6	Інші витрати	6 458,4
	Разом	327 644,27

5.3 Визначення річної економії від впровадження об'єкта проектування

Річна економія від впровадження системи керування автоматичним складом підрозділяється на пряму і непрямую в залежності від факторів, що її визначають, та розраховується за формулою:

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_k, \quad (5.12)$$

де \mathcal{E}_n – підсумкова пряма економія (грв) ;

\mathcal{E}_k – підсумкова непрямая економія (грв).

Повна річна економія від впровадження об'єкту керування визначається з урахуванням експлуатаційних витрат:

$$\mathcal{E}_{\text{пол}} = \mathcal{E}_r - C_e, \quad (5.13)$$

де \mathcal{E}_r – річна економія (грн);

C_e – експлуатаційні витрати (грн).

Визначимо річну економію та повну річну економію при впровадженні системи керування установкою для сушки на нагрівання металургійних ківшів.

5.3.1 Визначення прямої та непрямой економії від впровадження об'єкта керування

Пряма економія пов'язана з зниженням витрат активної електроенергії в системі електропостачання:

$$\mathcal{E}_n = \Delta W \cdot C_{\mathcal{E}}, \quad (5.14)$$

де ΔW – річна економія електроенергії в результаті впровадження об'єкту керування (кВт · годин) ;

$C_{\mathcal{E}}$ – тариф на електроенергію, (1.68 грн / кВт·годин).

Непряма економія пов'язана зі зниженням втрат заробітної плати від проведення понаднормових робіт у зв'язку з специфікою роботи (час простою має бути відшкодований у вигляді понаднормових робіт з підвищеною оплатою):

$$\mathcal{E}_k = C_z \times \Delta t_{\text{про}} / T_r \times \beta_{\text{су}}, \quad (5.15)$$

де C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу (161460 грн);

$\Delta t_{\text{про}}$ – різниця часу простою до та після впровадження (1200 год);

T_r – понаднормовий час робіт (1500 год);

$\beta_{\text{су}}$ – коефіцієнт, що враховує підвищення оплати за понаднормовий час ($\beta_{\text{су}} = 1,625$).

Тому вона дорівнює:

$$\mathcal{E}_k = 161\,460 \times \frac{1200}{1500 \times 1,625} = 79\,488 \text{ грн}$$

5.3.2 Визначення річної економії електроенергії від впровадження об'єкта керування.

$$\Delta W = C_{e1} - C_e, \quad (4.16)$$

де C_e – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування;

C_{e1} – річні поточні витрати, до застосування системи керування.

Річні експлуатаційні витрати до застосування системи керування розраховуються за формулою:

$$C_{e1} = C_{a1} + C_3 + C_c + C_{p.o.1} + C_{ee1} + C_{інш}, \quad (5.17)$$

- де C_{e1} - річні поточні витрати, до застосування системи керування;
- C_{a1} - амортизація основних фондів;
- C_3 - заробітна плата обслуговуючого персоналу;
- C_c - відрахування на соціальні заходи;
- $C_{p.o.1}$ - витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт до впровадження нової системи;
- C_{ee1} - вартість електроенергії до системи керування;
- $C_{інш}$ - інші витрати;

Визначимо експлуатаційні витрати до впровадженні системи керування установкою сушки та нагрівання металургійних ківшів.

Обладнання використане до розробки системи керування установкою для сушки та нагрівання металургійних ківшів належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів. Передбачений термін експлуатації обладнання становить 7 років. При використанні прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визнається як:

$$H_a = (2/T) \cdot 100\%, \quad (5.18)$$

де H_a - норма амортизації;

T - термін корисного використання об'єкту.

Норма автоматизації для розроблюваної системи керування складає:

$$H_a = (2/7) \cdot 100\% = 29 \%$$

У свою чергу амортизація основних фондів:

$$C_{a1} = (K_{np1} \cdot H_a) / 100\%, \quad (5.19)$$

де C_{a1} - амортизація основних фондів (річна);

$K_{пр1}$ – первинна вартість обладнання, яка дорівнює капітальним витратам (361580 грн).

Таким чином сума амортизації до впровадження системи керування становить:

$$C_{a1} = \frac{361580 \cdot 29 \%}{100} \% = 104\,858,2 \text{ грн.}$$

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника з впровадженням нової системи керування залишається не змінним і складає:

$$T_{ном,рік} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1840(\text{годин}).$$

Для керування технологічним процесом до впровадження системи керування задіяний 1 оператор процесу та 1 спеціаліст з електроустаткування.

Річний фонд заробітної плати виробничих робітників дорівнює:

$$C_3 = 161\,460 \text{ (грн.)}$$

Відрахування на соціальні заходи складають:

$$C_c = 0,22 \cdot 161460 = 35\,521, \text{ (грн.)}$$

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат до впровадження системи керування установкою для сушки та нагрівання металургійних ківшів:

$$C_{p.o.1} = 0,05 \cdot K_{ПП1}, \quad (5.20)$$

та складають:

$$C_{p.o.1} = 0,05 \cdot 361\,580 = 18\,079(\text{грн}).$$

Вартість електроенергії, споживаної до розробки системи керування визначається як:

$$C_{ee1} = K_{e1} \cdot K_{dp} \cdot ds \cdot T, \quad (5.21)$$

де K_{e1} – кількість електроенергії, спожитої до системи керування установкою для сушки та нагрівання ківшів (1 кВт·год);

$K_{др}$ – кількість робочих днів у році (365 день);

ds – тривалість зміни (24 годин);

T – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1.68 грн. за кВт з ПДВ).

Таким чином витрати на електроенергію до розробки системи керування установкою для сушки та нагрівання металургійних ківшів:

$$C_{ee1} = 1 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 1.68 = 14\,716.8 \text{ грн.}$$

Інші витрати з експлуатації до розробки системи керування установкою для сушки та нагрівання металургійних ківшів включають витрати з охорони праці, витрати на спецодяг та інше. Згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу, та складають:

$$C_{інш} = 0,04 \cdot 161\,460 = 6\,458,4 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати до впровадження системи керування наведені у табл. 5.4.

Таблиця 5.4 - Вартість експлуатаційних витрат до впровадження системи керування

№	Назва показника	Проектний варіант
1	Амортизація, грн	104 858,2
2	Фонд заробітної плати, грн	161460
3	Відрахування на соціальні виплати, грн	35 521
4	Ремонт та обслуговування, грн	18 079
5	Електроенергія, грн	14 716.8
6	Інші витрати, грн	6 458,4
	Усього	342 093,4

Річна економія електроенергії згідно з (5.16):

$$\Delta W = 1 \cdot 365 \cdot 24 - 0,75 \cdot 365 \cdot 24 = 8760 - 6570 = 2190 \text{ кВт} \times \text{годин}$$

З цього пряма економія пов'язана зі зниженням втрат активної

електроенергії в системі електропостачання згідно з формулою (5.14):

$$\mathcal{E}_n = 2190 \times 1.68 = 3679.2 \text{ грн.}$$

Річна економія від впровадження згідно з формулою (5.12) дорівнює:

$$\mathcal{E}_r = 3679.2 + 79\,488 = 83\,167,2 \text{ грн}$$

5.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності об'єкта керування

Оцінка економічної ефективності розглянутих у спеціальній частині дипломного проекту технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення та аналізу розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат E_p та терміну окупності капітальних витрат T_p що розраховуються за формулами:

$$E_p = \mathcal{E}/K, \text{ частки од.}, \quad (5.22)$$

де \mathcal{E} - загальна річна економія від впровадження об'єкта керування дорівнює 83 167,2 грн;

K - капітальні витрати за варіантами що викликали цю економію 332 844,3232грн.

$$T_p = K/\mathcal{E}, \text{ років} \quad (5.23)$$

Згідно формул (4.22) та (4.23) отримаємо такі розрахунки:

$$E_p = 83\,167,2 / 332\,844,3232 = 0,25$$

$$T_p = \frac{332\,844,3232}{83167,2} = 4 \text{ роки}$$

5.5 Висновок

Виходячи з розрахунків, видно, що капітальні витрати склали 332 844,3232 грн., а річні експлуатаційні витрати 327 644,27грн. Таким чином, впровадження нового обладнання та його експлуатація є дуже коштовними в матеріальному плані, але необхідними, оскільки встановлення нової системи керування дозволить зменшити витрати на всіх етапах технологічного процесу.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Загальна характеристика умов праці

Кваліфікаційна робота магістра передбачає розробку системи керування вертикальним сушінням металургійних ківшів для безперервного лиття заготовок. Об'єктом вивчення є процес регулювання маси рідкого металу у проміжному ковші, тому в даному розділі розглянуті основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори робочого місця оператора, розроблені заходи щодо їх зниження та забезпечення сприятливих умов праці. Узагальнені питання пожежної профілактики робочого місця оператора проаналізовано вплив прийнятих у роботі рішень на навколишнє середовище.

Для розміщення комплексу технічних засобів АСУ передбачається одне робоче місце оператора, що розташоване в допоміжному приміщенні цеху.

Відповідно до ДБН В.2.2-28:2010 площа приміщення оператора становить 18 м², що відповідає нормам не менше 6 м² на робоче місце працівника. В приміщенні оператора є комп'ютерна техніка та інші технічні засоби автоматизації. ДСанПіН 3.3.2.007-98 встановлюються норми по площі та об'єму приміщення. Площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6,0 м², а об'єм не менше ніж 20,0 м³. Робоче місце оператора знаходиться у приміщенні, що має об'єм 54 м³, що відповідає нормі.

Відповідно до ДСП 173-96 приміщення має Клас безпеки виробництва V (металургійні, машинобудівні та металообробні підприємства і виробництва). Санітарно-захисна зона 50 м.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 встановлюються фактичні й оптимальні метеорологічні умови для робочої зони виробничого приміщення оператора, при виборі яких враховуються пора року, категорія робіт по ступеню важкості, надлишки явної теплоти.

При виконанні робіт операторського типу, пов'язаних з нервово-емоційним напруженням в кабінетах, пультах і постах керування

технологічними процесами, в залах обчислювальної техніки та інших приміщеннях повинні дотримуватися оптимальні умови мікроклімату (температура повітря 22...24 °С, відносна вологість 60...40%, швидкість руху повітря не більш 0,1 м/сек.).

Табл. 6.1 Початкові дані

№	Дата вимірювання (число і місяць)	Характеристика робочого місця	Енерговитрати організму, ккал/год	t ⁰ , С	W, %	V, м/с
12	02.12	непостійне	95	20	75	0,1

Дата вимірювання
Характеристика робочого місця
Енерговитрати організму
Категорія та підкатегорія робіт
Пора року

02.12
непостійне
95
Легкі фізичні роботи Ia
холодний

Параметр мікроклімату		Значення	Задовольняє/не задовольняє*	Висновки**	
Найменування					
t ⁰ , С	фактична	20	не задовольняє	Збільшити значення	на 2
	Оптимальна	22-24		Зменшити значення	
	Допустима	18-26			
W, %	фактична	75	задовольняє	Збільшити значення	
	Оптимальна	60-40		Зменшити значення	
	Допустима	75			
V, м/с	фактична	0,1	задовольняє	Збільшити значення	
	Оптимальна	0,1		Зменшити значення	
	Допустима	не більше 0,1			

В цілому параметри мікроклімату в даному приміщенні задовольняють вимогам ДСН 3.3.6.042-99, окрім температури яку потрібно збільшити до 22⁰,С.

Оператор та інші працівники обслуговуючі АСУ стикаються з дією таких фізично небезпечних і шкідливих виробничих чинників, як підвищений рівень шуму, підвищена температура зовнішнього середовища, недостатня освітленість. Відповідно до ДСН 3.3.6-037-99 установлюються припустимі рівні звукового тиску й значення локальної й загальної вібрації.

Допустимі рівні звукового тиску на октавних смугах частот, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку для робочих місць у виробничих приміщеннях оператора пресу для широкосмугового постійного й непостійного (крім імпульсного) шуму представлено в табл. 6.2.

Табл. 6.2 Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у виробничому приміщенні оператора відповідно до ДСН 3.3.6-037-99

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах середнегеометричними частотами, Гц									Рівні звуку, дБ (А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Робота, що вимагає зосередженості; робота з підвищеними вимогами до процесів спостереження й дистанційного керування виробничими циклами (робочі місця в приміщеннях лабораторій з гучним устаткуванням; у приміщеннях для розміщення шумових агрегатів обчислювальних машин)	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

При аналізі рівня звукового тиску в робочій зоні встановлені наступні фактичні значення, рівні 65 дБ(А).

Основними джерелами випромінювання теплоти в приміщенні ділянки вимірjuвальної системи є персональний комп'ютер та промислова робоча станція.

Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 встановлюються нормування шкідливих речовин у повітрі робочої зони виробничого приміщення оператора. В робочій зоні оператора шкідливих речовин в повітрі не виявлено.

Одним з найважливіших параметрів виробничої обстановки є освітлення. Рациональне освітлення забезпечує достатні умови для здійснення працюючих своїх функціональних обов'язків. Висока якість освітлення досягається сталістю освітленості в часі, рациональністю напрямку світлового потоку без наявності різких тіней.

Згідно ДБН В.2.5-28-2018 для посту виробничого приміщення: робота малої точності, найменший розмір об'єкта розрізнення 1 мм; розряд зорової роботи -V, підрозряд зорової роботи – В. У цьому випадку значення $K_{\text{по}}$ рівне 3% при комбінованому і верхньому освітленні. Згідно ДБН В.2.5.-28-2018 загальна освітленість повинна бути не менше 150 лк. Фактична освітленість в приміщенні оператора склала 300 лк, що відповідає нормі.

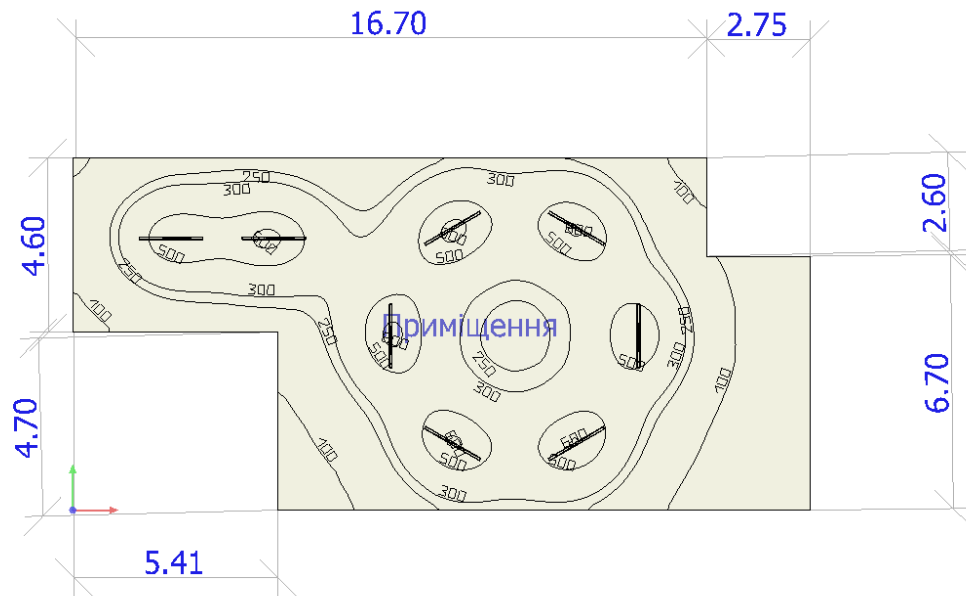


Рис. 6.1 Геометричні розміри приміщення оператора

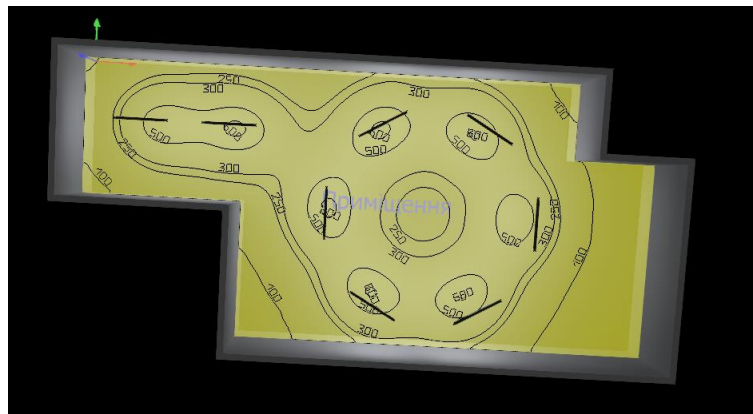


Рис. 6.2 Розрахунок освітлення

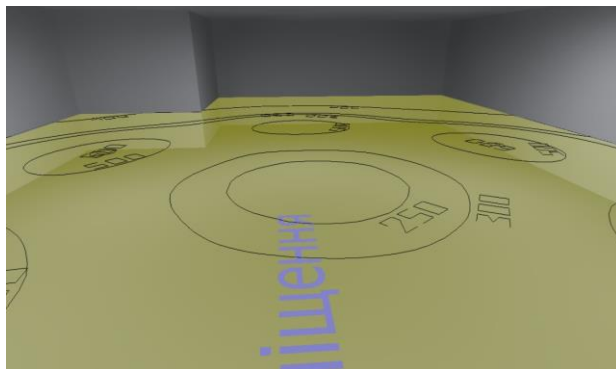


Рис. 6.3 Оцінка освітленості у робочій зоні

6.2 Техніка безпеки та пожежна профілактика

Дотримання техніки безпеки робочій зоні виробничого приміщення оператора дуже важливо, тому що експлуатація устаткування пов'язані з ризиком для життя.

Згідно примірної інструкції з охорони праці для оператора до роботи допускаються особи, що пройшли вступний та первинний інструктажі з охорони праці. Повторна перевірка знань проводиться постійно діючою комісією періодично 1 раз на рік, а також у разі переходу на обслуговування інших ділянок цеху, іншої автоматики безпеки.

Вступний інструктаж проводиться спеціалістом служби охорони праці, а в разі відсутності на підприємстві такої служби - іншим фахівцем, на якого наказом (розпорядженням) по підприємству покладено ці обов'язки і який в установленому Типовим положенням порядку пройшов навчання і перевірку знань з питань охорони праці.

Вступний інструктаж проводиться в кабінеті охорони праці або в приміщенні, що спеціально для цього обладнано, з використанням сучасних технічних засобів навчання, навчальних та наочних посібників за програмою, розробленою службою охорони праці з урахуванням особливостей виробництва. Програма та тривалість інструктажу затверджуються керівником підприємства.

В робочій зоні виробничого приміщення оператора присутні як електричні мережі постійного струму, так і електричні мережі змінного струму. Для запобігання електричного травматизму передбачається заземлення всього електроустаткування устаткування. Усі заземлюючі пристрої повинні забезпечувати безпеку людей і захист електроустановок, а також експлуатаційні режими їх роботи.

Згідно Правил улаштування електроустановок в робочій зоні виробничого приміщення є електроустановки до 1 кВ. За ступенем небезпеки ураження електричним струмом усі приміщення поділяються на три категорії: приміщення без підвищеної небезпеки; приміщення з підвищеною небезпекою;

особливо небезпечні приміщення. Робоча зона виробничого приміщення відноситься до приміщення з підвищеною небезпекою бо вона характеризується наявністю в них однієї з таких умов, що створюють підвищену небезпеку: висока відносна вологість повітря; висока температура; струмопровідний пил; струмопровідна підлога (металева, земляна, залізобетонна, цегляна та ін.); можливість одночасного доторкання до металевих елементів технологічного устаткування чи металоконструкцій будівлі, що з'єднані із землею, та металевих частин електроустаткування, які можуть опинитись під напругою.

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 цех відноситься до категорії знижена пожежонебезпечна «Д» по пожежній небезпеці виробництва. Цех побудований з негорючих матеріалів (цегли, залізобетону, скла) і має II ступінь вогнестійкості за ДБН В.1.1-7:2016.

Для обмеження розповсюдження пожеж застосовують конструкції, що не згорають: протипожежні перешкоди (стіни), перекриття, розриви, покриття, що легко-скидаються, регульовані отвори. Використання протипожежних перешкод регламентовані ДБН В.1.1-7:2016 залежно від пожежонебезпечності виробництва. Евакуаційні шляхи ведуть з виробничих приміщень назовні або в сусідні безпечні приміщення. Залежно від пожежонебезпечності виробництва регламентується тривалість евакуаційних шляхів, число виходів і максимальна тривалість евакуації.

Для гасіння можливих пожеж у приміщенні оператора передбачені первинні засоби пожежогасіння, згідно з «Правилами пожежної безпеки в Україні».

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Було промодельований вибух цистерни з ацетоном результати моделювання на рис. 6.4.

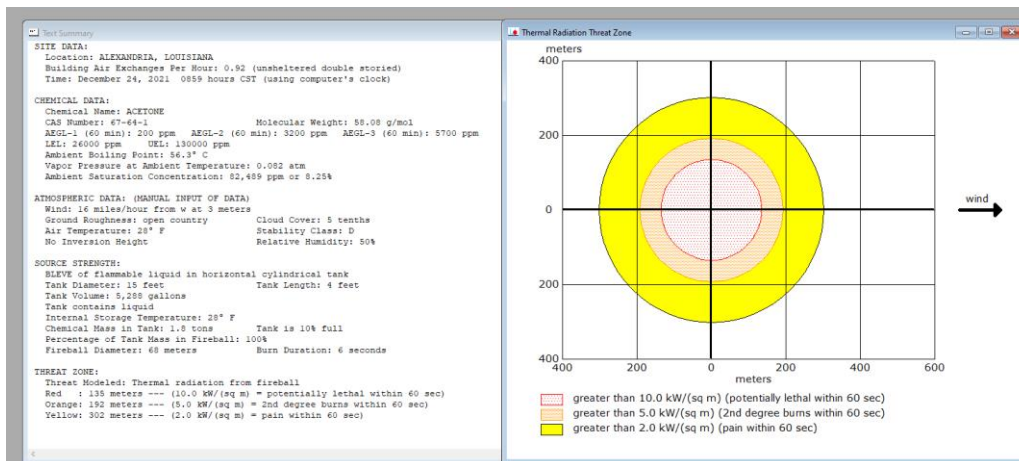


Рис. 6.4 Вихідні дані та графік результатів

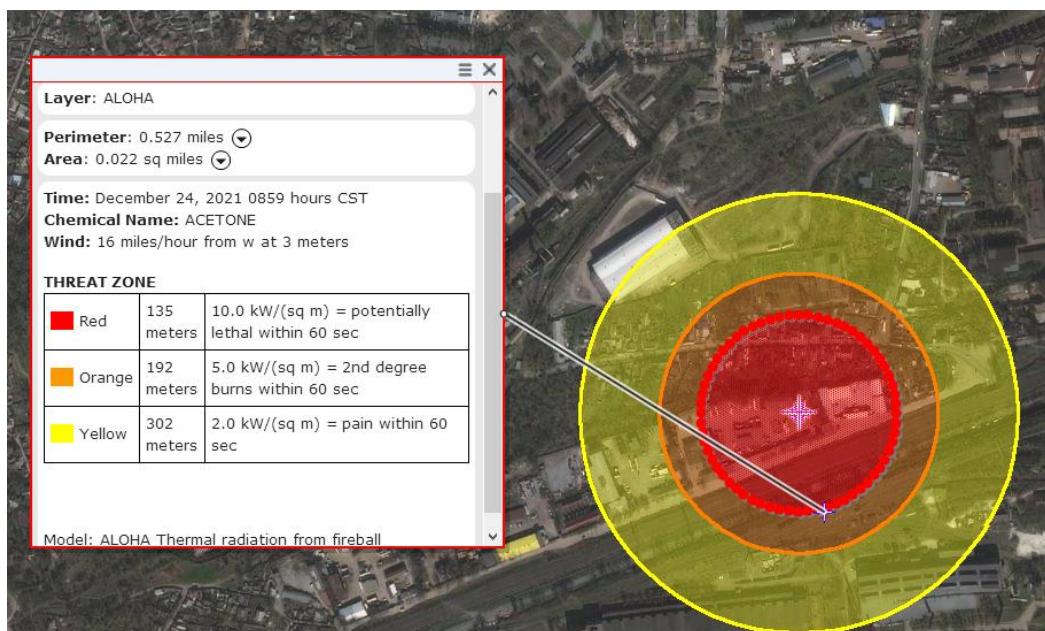


Рис. 6.5 Оцінка реальних масштабів на ГІС карті

Також проаналізовано вплив ацетону на людину в процесі ліквідації наслідків вибуху на рис. 6.6.


АЦЕТОН		ІСГС: 007 (Горючі речовини)	
ОСОБЛИВИ НЕБЕЗПЕКИ			
ПОЖЕЖА І ВИБУХ	Дуже легко спалахує. Суміш парів з повітрям вибуховозабезпечена. Нагрівання призводить до підвищення тиску із ризиком вибуху.	ПРОФИЛАКТИЧНІ ЗАХОДИ	НЕ використовувати відкритий вогонь. НЕ допускати утворення склад. НЕ КУРИТИ. Замкнута система, вентиляція, забруднювачі енергетичні обладнання та апаратура. НЕ використовувати оточене повітря для завантаження, розвантаження або обробки. Використовувати ручний інструмент, що не утворює іскри.
УШІВНІЙ ПОЖЕЖІ			Використовувати порошок, сприятуючий швидкому вгасненню вогню. У разі пожежі: охолодити бочку теплою розпорощувальною водою.
СИМПТОМИ		ПРОФИЛАКТИЧНІ ЗАХОДИ	
Вдихання	Біль у горлі. Кашель. Помітний саднозаст. Головний біль. Запаморочення. Сонливість. Втрата свідомості.	Застосувати вентиляцію, місцеву вентиляцію чи засоби застосування дихання.	Спати повітря, озолю. Звернутися за медичною допомогою.
Шкіра	Сухість шкіри.	Замочити уражені.	Змити забруднений одяг. Промити шкіру великою кількістю води або прийняти душ.
Очі	Покірненість. Біль. Помітний сльоз.	Використовувати засоби застосування очей.	Насамперед промити великою кількістю води (змити контактні лінзи, якщо це можливо) робити без припинення, потім звернутися за медичною допомогою. Звернутися за медичною допомогою.
Прокочування	Нудота. Бологата. Дил. Дил. відомлення.	Не приймати їжу, напоїв та курити під час роботи. Мити руки перед їжею.	Допомогти ураці. Звернутися за медичною допомогою.
ЛІКВІДАЦІЯ ВИТОКІВ		КЛАСИФІКАЦІЯ ТА МАРКУВАННЯ	
Виділяти всі апарати зважання. Забезпечити велику вентиляцію і вентиляцію для апаратури повітря та пари і низькою температурою системи, що піддають для конденсації речовини в повітрі. Використовувати. Збирати рідину, що підлягає, в герметичні контейнери. Виділяти рідину, що зазначилася, за допомогою пошуку або нервного сорбенту. Потім збирати та утилізувати відповідно до місцевих правил. НЕ звільняти у каністрації.		Об'ємні критерії СМР ООН Високіше подразлення очей Летючість: рідина і пара Транспортування Класифікація ООН Класифікація ООН: 2, 3, 3, 3 (у разі ураження ООН: 1)	
ЗБЕРІГАННЯ		 НЕБЕЗПЕЧНО	
Забезпечити вогнестійкість. Охолодити. Хімічні небезпечні. Зберігати в місці, що не має з'являти або доступу до каналізації.			
УПАКОВКА			

Рис. 6.6 Особливості вибуху хімічної речовини

АЦЕТОН		ІСГС: 007	
ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ			
Агрегатний стан: ЗОВНІШНІЙ Вигляд: БЕЗВІЗЬНА РІДИНА З ХАРАКТЕРНИМ ПАХОМ.		Формула: C_2H_5O / $CH_3-CO-CH_3$	
Фізичні небезпечності Пар важчий за повітря і може переїждати поверхню землі, можливе дистанційне запалення.		Молекулярна маса: 58.1	
Хімічні небезпечності При контакті з сильними окислювачами, тваринні як сіцева кислота, азотна кислота та перекис водню утворюються вибухові пероксиди. Реагує з хлороформом та бромформом за нормальних умов. Призводить до появи небезпечних пожеж та вибуху. Роз'їдає пластмаси.		Температура кипіння: 56°C	
		Температура плавлення: -94°C	
		Розчинність в воді: сумішвається	
		Давлення пари: кПа при 20°C: 24	
		Температура самозаймання: 465°C	
		Високіше щільність суміші пари та повітря при 20°C (повітря = 1): 1.2	
		Температура опалювання: -18°C	
		Межа вибуховості, % об'єму повітря: 2.2-13	
		Коефіцієнт розподілу октанол-вода (Log Pow): -0.24	
		В'язкість: 0.34 мПа·с при 40°C	
ВПЛИВ НА ОРГАНІЗМ І ЕФЕКТИ ВІД ВПЛИВУ			
Шляхи дії Речовина може проникати в організм при вдиханні.		Ризик вдихання Небезпечний рівень забруднення повітря може бути досягнутий досить швидко при випаровуванні цієї речовини при 20°C значно швидше при розширеному або розкритому контейнері.	
Ефекти від короточасного впливу Речовина впливає на очі і дихальні шляхи. Вплив речовини значного рівня може призвести до помутніння свідомості.		Ефекти від тривалої або повторюваної дії Речовина подразнює шкіру, що може спричинити світливість або розтріскування. Повторний або тривалий контакт зі шкірою може спричинити світливість та розтріскування.	

Рис. 6.7 Вплив фізичні властивості та вплив на людину

6.4 Висновок

У цьому розділі кваліфікаційній роботі розглянуто питання з охорони праці та безпеки під час експлуатації системи керування вертикальним сушінням металургійних ківшів для безперервного лиття заготовок.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз потенційних небезпек, розроблені заходи щодо охорони праці під час обслуговування обладнання та виконання профілактичних робіт, проаналізовані наслідки надзвичайних ситуацій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хищенко О. Опора економіки. Як металургія стала ключовою галуззю в Україні / РБК Україна [сайт]. – 2021. Режим доступу:
<https://daily.rbc.ua/ukr/show/opora-ekonomiki-metallurgiya-stala-klyuchevoy-1630060252.html>
2. Жмудська І.Б. Проблеми функціонування гірничо-металургійних корпорацій в умовах членства України в СОТ / І.Б. Жмудська // Економічна наука. – 2012. – №8. – С. 88-91. Режим доступу:
http://www.economy.in.ua/pdf/8_2012/28.pdf
3. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / С. В. Колпаков, Р. В. Старов, В. В., Смоктий и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 464 с.
4. Герасименко В.Г. Особенности введения в эксплуатацию футеровки сталеразливочных ковшей / В.Г. Герасименко, Е.В. Синегин, Л.С. Молчанов, В.Я Перерва, А.С. Лантух // Металл и литье Украины. – 2018. – №5-6. – С. 46-51. Режим доступу:
<http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/166536/07-Gerasimenko.pdf?sequence=1>
5. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
6. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - К.: МОЗ України, 2000.
7. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
8. ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги
9. ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.

10. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
11. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235с
12. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.
13. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.
14. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.
15. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин
16. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки
17. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.
18. 15 ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги
19. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції. Загальні вимоги безпеки.
20. Методичні рекомендації до практичних занять з розрахунку промислової вентиляції з дисципліни «Охорона праці в галузі» та дипломного

проектування для студентів усіх спеціальностей / В.І. Голінько, Я.Я. Лебедєв, С.О. Алексеєнко, В.Г. Марченко. – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2013. – 34 с

21. ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів (2375)
22. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою
23. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні
24. ДБН В.2.5-13-98*. Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд. Зі зміною № 1 (укр).

ВИСНОВКИ

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – установка для сушіння металургійних ковшів. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування установкою, завданням керування якої є забезпечення заданої термограми сушіння ковша. Предметом дослідження є алгоритми і закони автоматичного керування температурою сушіння ковша.

Установка для сушіння металургійного ковша з точки зору керування температурою сушіння є складним об'єктом автоматизації через наявність декількох паралельно працюючих локальних систем автоматичного керування різними технологічними процесами, які впливають одна на одну. Крім того, присутнє зовнішнє збурення складного характеру у вигляді зміни калорійності газу, яке змінює як коефіцієнт підсилення у каналі керування, так і постійну часу передаточної функції моделі установки (при зменшенні калорійності газу нагрів триває довше).

Ковш в установці розігрівався поступово, за строго заданими термограмами, щоб уникнути локального вибуху, який призводить до поступового зниження ресурсу ковша. З урахуванням цього, головними критеріями якості роботи системи керування є:

- інтеграл модуля відхилення фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує інтегральну похибку керування за усім технологічним циклом);
- максимальне відхилення за модулем фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує миттєву похибку керування на певних часових інтервалах).

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (керуючий сигнал щодо уставки продуктивності пальника до блока керування ним) та одним керованим виходом (температура сушіння ковша), але

наявність паралельно працюючих локальних систем автоматичного керування іншими технологічними процесами з однієї сторони, та складне збурення, що впливає на параметри моделі об'єкта керування, з іншої сторони роблять його складним для керування.

Отже, необхідно було провести дослідження залежності критеріїв якості роботи синтезованої системи автоматичного керування від параметрів регулятора, та на основі порівняльного аналізу результатів досліджень визначити оптимальні настройки регулятора температури сушіння ковша за критерієм мінімізації швидкісної похибки керування.

Як інструмент дослідження створена комплексна імітаційна модель системи подачі газо-повітряної суміші, горілки та печі для сушіння металургійних ковшів. В моделі враховані інерційності: процесу повороту засувки у газопроводі, привода вентилятора у повітропроводі, процесу переміщення газу й повітря по трубам, процесу переміщення газоповітряної суміші до горілки, а також процесу розповсюдження теплових потоків у просторі ковша. Особливість моделі у тому, що вона дозволяє дослідити вплив на автоматичний процес керування температурою сушіння у ковші зміни калорійності газу, а також оптимального відношення газу й повітря. З метою проведення дослідження цього впливу створена модель імітації зміни у часі калорійності газу як випадкової величини, що змінюється як білий шум у частотному діапазоні до 0,00008 Гц, та у діапазоні значень від 32657040 Дж/м³ до 34331760 Дж/м³.

Критерії якості роботи системи автоматичного керування температурою сушіння ковшів повинні відображати точність відпрацювання системою заданої термограми. З оглядом на це, прийняті наступні критерії ефективності роботи синтезованої системи керування:

- інтеграл модуля відхилення фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує інтегральну похибку керування за усім технологічним циклом);

- максимальне відхилення за модулем фактичної температури сушіння від заданої, що визначається за термограмою (цей критерій характеризує миттєву похибку керування на певних часових інтервалах).

Доведена ефективність використання методу параметричної оптимізації для синтезу системи автоматичного керування температурою сушіння металургійних ковшів. Обґрунтовано використання фільтра Еллерта у якості стандартної моделі, що дозволяє усунути швидкісну похибку керування, та за рахунок цього мінімізувати інтегральний показник відхилення графіку фактичної температури від заданої термограми.

На основі даного методу запропонована методика налаштування регулятора температури, яка базується на компенсації постійних часу динамічної моделі печі й визначенні оптимальних значень параметрів регулятора на основі дослідження їх впливу на обґрунтовані критерії якості роботи системи керування.

Визначено, що у залежності інтегральної похибки керування від кореня характеристичного рівняння стандартної моделі існує мінімальний екстремум, який дозволяє визначити оптимальний параметр регулятора температури у вигляді кореня характеристичного рівняння стандартної моделі Еллерта.

Також отримана залежність похідної за часом керуючого впливу на виході регулятора температури сушіння ковша від величини некомпенсованої постійної часу регулятора, яка є зворотною й близькою до експоненціальної. Ця залежність дозволяє визначити величину некомпенсованої постійної часу регулятора, при якій керуючий сигнал буде відтворений без спотворення через інерційність приводів засувки та вентилятора системи подачі палива.

Показник збігу 99,97% графіків перехідних процесів на виході синтезованої системи автоматичного керування під час відпрацювання заданої термограми засвідчує ефективність використання регулятора температури, що налаштований на основі спрощеної моделі об'єкта керування, по відношенню

до більш складної моделі об'єкта керування, в якій моделюється робота систем керування витратами газу й повітря з урахуванням їх інерційності.

Показник збігу 99,96% графіків перехідних процесів на виході синтезованої системи автоматичного керування під час відпрацювання заданої термограми в умовах дії збурення засвідчує високу ефективність роботи синтезованої системи автоматичного керування температурою сушіння ковша в умовах постійної зміни у часі калорійності газу.

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 сушінням ковшів та ЛМІ.

Розрахунок економічних показників визначив, що капітальні витрати склали 332 844,3232 грн., а річні експлуатаційні витрати 327 644,27грн. Таким чином, впровадження нового обладнання та його експлуатація є дуже коштовними в матеріальному плані, але необхідними, оскільки встановлення нової системи керування дозволить зменшити витрати на всіх етапах технологічного процесу.

У розділі з охорони розглянуті питання умов праці та її безпеки під час експлуатації системи керування вертикальним сушінням металургійних ківшів для безперервного лиття заготовок. Проведено аналіз потенційних небезпек, розроблені заходи щодо охорони праці під час обслуговування обладнання та виконання профілактичних робіт, проаналізовані наслідки надзвичайних ситуацій.

ДОДАТОК А

Програмні модулі системи керування

А.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: model_SAK_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"model_SAK_group/Об'єкт керування"
*
* Model name           : model_SAK_group
* Model version        : 1.26
* Model creator        : WORK
* Model last modified by : Tomas
* Model last modified on : Sun Dec 19 16:10:39 2021
* Model sample time    : 0s
* Subsystem name       : model_SAK_group/Об'єкт керування
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on  : Sun Dec 19 16:11:23 2021
*
* Target IDE selection : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included  : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_valve: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_temperature: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..199] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    Delay: LREAL;
    i: DINT;
    DiscreteTransferFcn: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)

```

```

FOR i := 0 TO 199 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:

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

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn := 0.00318145663896 * DiscreteTransferFcn_states;

(* Output: '<Root>/bo_temperature' incorporates:
* Constant: '<S1>/Constant2'
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1'
* Sum: '<S1>/Sum5' *)
bo_temperature := (9.99950001666625E-5 * DiscreteTransferFcn1_states) + 10.0;

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
* Update for Inport: '<Root>/bi_valve' *)
FOR k := 0 TO 198 DO
  Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[199] := bi_valve;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn_states := Delay - (-0.999772753097217 *
DiscreteTransferFcn_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (-0.999900004999833 *
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: model_SAK_load.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"model_SAK_load/Регулятор"
*
* Model name           : model_SAK_load
* Model version        : 1.28
* Model creator        : WORK
* Model last modified by : Tomas
* Model last modified on : Sun Dec 19 17:39:40 2021
* Model sample time    : 0.1s
* Subsystem name       : model_SAK_load/Регулятор
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on  : Sun Dec 19 18:21:23 2021
*
* Target IDE selection  : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included  : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_valve: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn3_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn4_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn2_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_u1001: LREAL;
    rtb_Product7: LREAL;
    rtb_RelationalOperator2: BOOL;
    rtb_Product4: UINT;
    DiscreteTransferFcn3_tmp: LREAL;
    DiscreteTransferFcn4_tmp: LREAL;
    temp1: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
        DiscreteTransferFcn2_states := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)

```

```
DiscreteTransferFcn3_states := 0.0;
```

```
(* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn4' *)
```

```
DiscreteTransferFcn4_states := 0.0;
```

```
SS_STEP:
```

```
(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' incorporates:
```

```
* Gain: '<S1>/Нормування діапазону від 0 до 100%1'
```

```
* Inport: '<Root>/bi_error' *)
```

```
DiscreteTransferFcn3_tmp := (0.071428571428571425 * bi_error) - ( -  
DiscreteTransferFcn3_states);
```

```
(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn4' incorporates:
```

```
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
```

```
DiscreteTransferFcn4_tmp := ((1000.0 * DiscreteTransferFcn3_tmp) + (-999.9 *  
DiscreteTransferFcn3_states)) - (-0.996672216054523 * DiscreteTransferFcn4_states);
```

```
rtb_Product7 := (14.666666666666666 * DiscreteTransferFcn4_tmp) + (-  
14.663338882721188 * DiscreteTransferFcn4_states);
```

```
(* Gain: '<S1>/Gain2' *)
```

```
rtb_u1001 := 0.025 * rtb_Product7;
```

```
(* Gain: '<S1>/Gain3' *)
```

```
rtb_Product7 := 0.0001 * rtb_Product7;
```

```
(* Sum: '<S1>/Sum2' incorporates:
```

```
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
```

```
rtb_u1001 := (0.1 * DiscreteTransferFcn2_states) + rtb_u1001;
```

```
(* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator2' incorporates:
```

```
* Constant: '<S1>/Constant6' *)
```

```
rtb_RelationalOperator2 := rtb_u1001 <= 100.0;
```

```
(* Product: '<S1>/Product4' incorporates:
```

```
* Constant: '<S1>/Constant7'
```

```
* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator3' *)
```

```
IF rtb_RelationalOperator2 THEN
```

```
temp1 := BOOL_TO_DINT(rtb_u1001 >= 0.0);
```

```
ELSE
```

```
temp1 := 0;
```

```
END_IF;
```

```
rtb_Product4 := DINT_TO_UINT(temp1);
```

```
(* Output: '<Root>/bo_valve' incorporates:
```

```
* Constant: '<S1>/Constant5'
```

```
* Constant: '<S1>/Constant6'
```

```
* Product: '<S1>/Product7'
```

```
* Product: '<S1>/Product8'
```

```

* Sum: '<S1>/Sum10'
* Sum: '<S1>/Sum8' *)
bo_valve := ((1.0 - BOOL_TO_LREAL(rtb_RelationalOperator2)) * 100.0) +
(UINT_TO_LREAL(rtb_Product4) * rtb_u1001);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' incorporates:
* Product: '<S1>/Product6' *)
DiscreteTransferFcn2_states := (rtb_Product7 * UINT_TO_LREAL(rtb_Product4)) - ( -
DiscreteTransferFcn2_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
DiscreteTransferFcn3_states := DiscreteTransferFcn3_tmp;

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn4' *)
DiscreteTransferFcn4_states := DiscreteTransferFcn4_tmp;
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

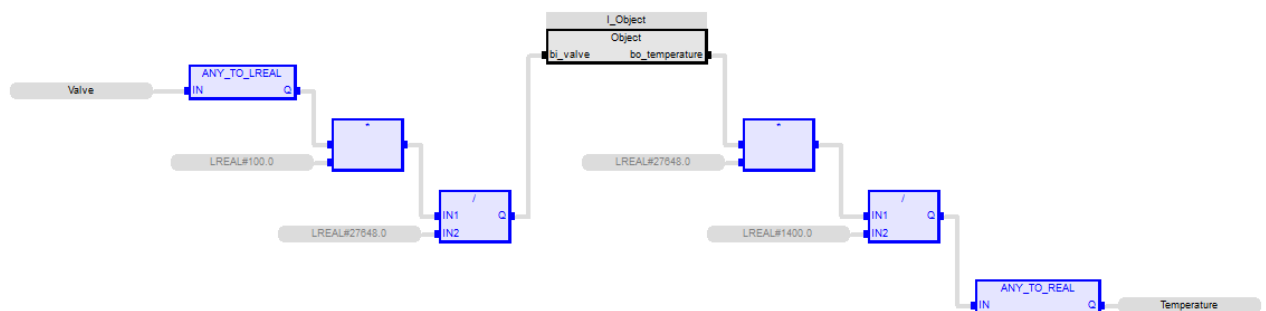
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування

Б.1.1 Список програм

[FBD] Object (* Основна програма *)

[ST] Main_object (* Об'єкт керування *)

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувачський функціональний блок

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

Delay := Delay_DSTATE[0];

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

DiscreteTransferFcn := LREAL#0.00318145663896 *

DiscreteTransferFcn_states;

(* Output: '<Root>/bo_temperature' incorporates:

* Constant: '<S1>/Constant2'

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

* Sum: '<S1>/Sum5' *)

bo_temperature := (LREAL#9.99950001666625E-5 *

DiscreteTransferFcn1_states) + LREAL#10.0;

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

* Update for Inport: '<Root>/bi_valve' *)

FOR k := 0 TO 198 DO

Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];

END_FOR;

Delay_DSTATE[199] := bi_valve;

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

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

DiscreteTransferFcn_states := Delay - (LREAL#-0.999772753097217 *

DiscreteTransferFcn_states);

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

```
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (LREAL#-
0.999900004999833 * DiscreteTransferFcn1_states);
```

Б.1.4 Перелік змінних

VAR_INPUT

bi_valve : LREAL ;

END_VAR

VAR_OUTPUT

bo_temperature : LREAL ;

END_VAR

VAR

DiscreteTransferFcn_states : LREAL ;

DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;

Delay_DSTATE : ARRAY [0 .. 199] OF LREAL ;

k : DINT ;

Delay : LREAL ;

i : DINT ;

DiscreteTransferFcn : LREAL ;

END_VAR

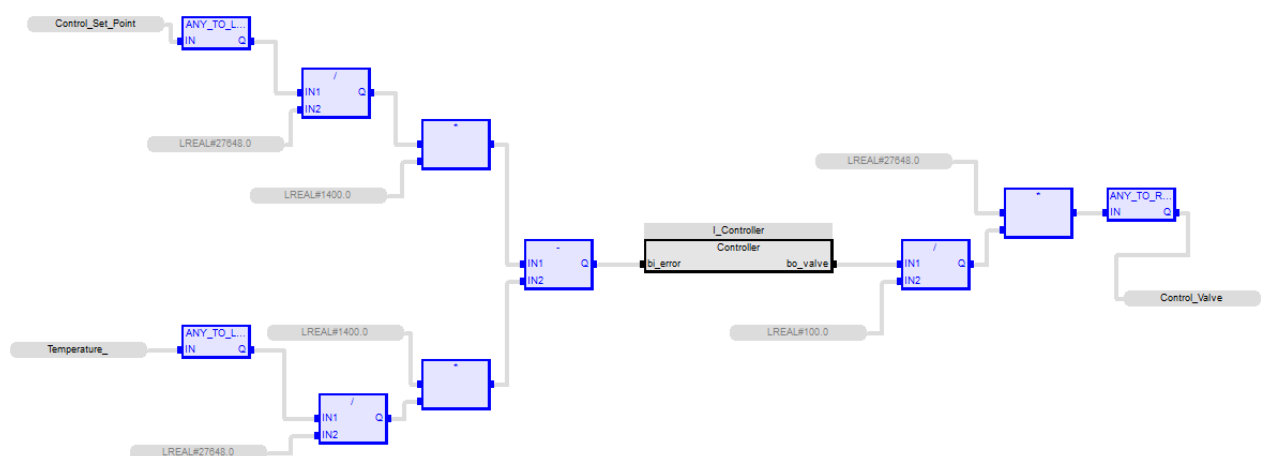
Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

[FBD] Main (* Основна програма *)

[ST] Controller (* Контролер *)

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувачський функціональний блок

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' incorporates:

* Gain: '<S1>/Нормування діапазону від 0 до 100%1'


```

* Inport: '<Root>/bi_error' *)
DiscreteTransferFcn3_tmp := (LREAL#0.071428571428571425 * bi_error) - ( -
DiscreteTransferFcn3_states);

```

```

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn4' incorporates:
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
DiscreteTransferFcn4_tmp := ((LREAL#1000.0 * DiscreteTransferFcn3_tmp) +
(LREAL#-999.9 * DiscreteTransferFcn3_states)) - (LREAL#-0.996672216054523 *
DiscreteTransferFcn4_states);
rtb_Product7 := (LREAL#14.666666666666666 * DiscreteTransferFcn4_tmp) +
(LREAL#-14.663338882721188 * DiscreteTransferFcn4_states);

```

```

(* Gain: '<S1>/Gain2' *)
rtb_u1001 := LREAL#0.025 * rtb_Product7;

```

```

(* Gain: '<S1>/Gain3' *)
rtb_Product7 := LREAL#0.0001 * rtb_Product7;

```

```

(* Sum: '<S1>/Sum2' incorporates:
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
rtb_u1001 := (LREAL#0.1 * DiscreteTransferFcn2_states) + rtb_u1001;

```

```

(* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator2' incorporates:
* Constant: '<S1>/Constant6' *)
rtb_RelationalOperator2 := rtb_u1001 <= 100.0;

```

```

(* Product: '<S1>/Product4' incorporates:
* Constant: '<S1>/Constant7'
* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator3' *)
IF rtb_RelationalOperator2 THEN
    temp1 := BOOL_TO_DINT(rtb_u1001 >= 0.0);
ELSE
    temp1 := 0;
END_IF;
rtb_Product4 := DINT_TO_UINT(temp1);

```

```

(* Outport: '<Root>/bo_valve' incorporates:
* Constant: '<S1>/Constant5'
* Constant: '<S1>/Constant6'
* Product: '<S1>/Product7'
* Product: '<S1>/Product8'
* Sum: '<S1>/Sum10'

```

```

* Sum: '<S1>/Sum8' *)
bo_valve := ((LREAL#1.0 - BOOL_TO_LREAL(rtb_RelationalOperator2)) *
LREAL#100.0) + (UINT_TO_LREAL(rtb_Product4) * rtb_u1001);

```

```

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' incorporates:
* Product: '<S1>/Product6' *)
DiscreteTransferFcn2_states := (rtb_Product7
UINT_TO_LREAL(rtb_Product4)) - (-DiscreteTransferFcn2_states);

```

```

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
DiscreteTransferFcn3_states := DiscreteTransferFcn3_tmp;

```

```

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn4' *)
DiscreteTransferFcn4_states := DiscreteTransferFcn4_tmp;

```

Б.2.4 Перелік змінних

```

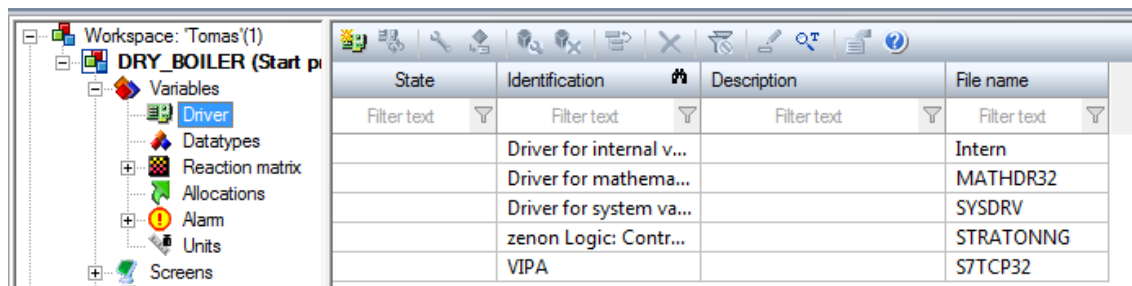
VAR_INPUT
  bi_error : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_valve : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn3_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn4_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn2_states : LREAL ;
  rtb_u1001 : LREAL ;
  rtb_Product7 : LREAL ;
  rtb_RelationalOperator2 : BOOL ;
  rtb_Product4 : UINT ;
  DiscreteTransferFcn3_tmp : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn4_tmp : LREAL ;
  temp1 : DINT ;
END_VAR

```

Додаток В

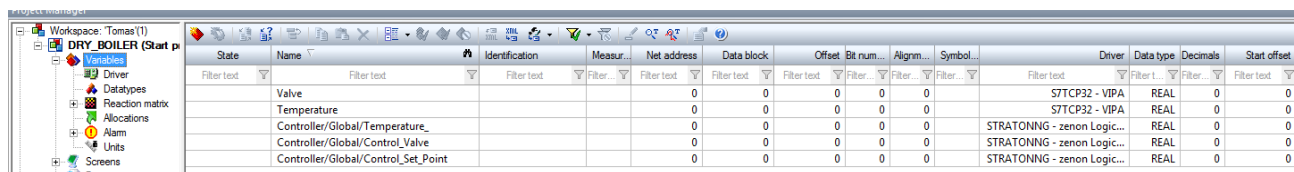
Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

В.1 Драйвера



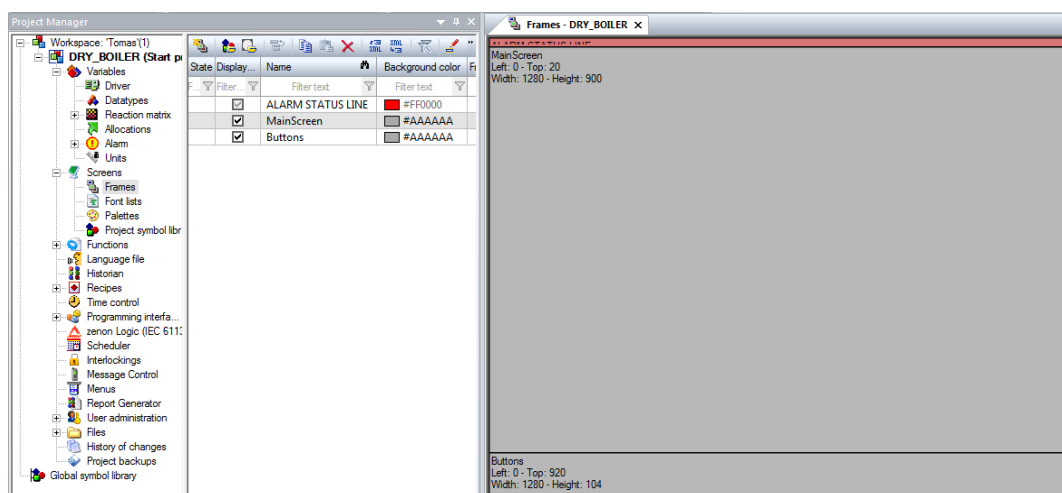
State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal v...		Intern
	Driver for mathema...		MATHDR32
	Driver for system va...		SYSDRV
	zenon Logic: Contr...		STRATONNG
	VIPA		S7TCP32

В.2 Перелік змінних



State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Aligmn...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter L...	Filter...	Filter text
	Valve			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	0	0
	Temperature			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	0	0
	Controller/Global/Temperature_			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	0	0
	Controller/Global/Control_Valve			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	0	0
	Controller/Global/Control_Set_Point			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	0	0

В.3 Шаблони зображень

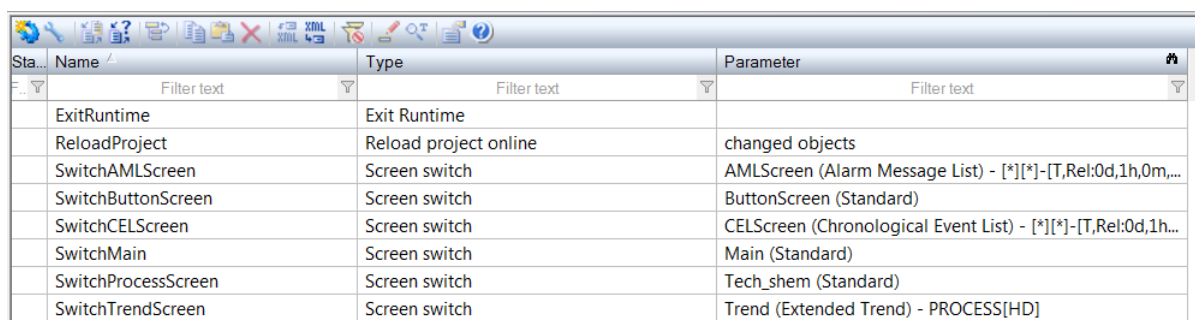


State Display	Name	Background color
Filter...	Filter text	Filter text
<input checked="" type="checkbox"/>	ALARM STATUS LINE	#FF0000
<input checked="" type="checkbox"/>	MainScreen	#AAAAAA
<input checked="" type="checkbox"/>	Buttons	#AAAAAA

MainScreen
Left: 0 - Top: 20
Width: 1280 - Height: 900

Buttons
Left: 0 - Top: 920
Width: 1280 - Height: 104

В.4 Функції



Sta...	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	ExitRuntime	Exit Runtime	
	ReloadProject	Reload project online	changed objects
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Alarm Message List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,0m,...
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Chronological Event List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,...
	SwitchMain	Screen switch	Main (Standard)
	SwitchProcessScreen	Screen switch	Tech_shem (Standard)
	SwitchTrendScreen	Screen switch	Trend (Extended Trend) - PROCESS[HD]

V.5 Зображення

Project Manager

Workspace: Tomas(1)
 DRY_BOILER (Start p...
 Variables
 Driver
 Datatypes
 Reaction matrix
 Allocations
 Alarm
 Units
 Screens
 Frames
 Font lists

State	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	AMLScreen	Alarm Message List	MainScreen	#FFAD5B	< no function I...	< no function I...
	Tech_shem	Standard	MainScreen	#FFFF00	< no function I...	< no function I...
	ButtonScreen	Standard	Buttons	#FFD700	< no function I...	< no function I...
	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	#00FF00	< no function I...	< no function I...
	Trend	Extended Trend	MainScreen	#00FF00	< no function I...	< no function I...
	Main	Standard	MainScreen	#7FFFD4	SwitchButtonS...	< no function I...

