

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 Халявки Дениса Олександровича

(П.І.Б.)

академічної групи 151-20м

(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 подачею дуття в мідеплавильний конвертор

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	Доц. Заславський О.М.			
Теоретичний розділ	Доц. Заславський О.М.			
Синтез системи	Проф. 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)

« _____ » _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістр

студенту Халявці Денису Олександровичу
(прізвище та ініціали)

академічної групи 151М-20
(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 подачею дуття в мідеплавильний конвертор

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15.11.2021 № 969-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	10.09.2021
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	17.10.2021
Розробка програмного забезпечення системи керування	Розробка алгоритму керування та програмного забезпечення з людино-машинним інтерфейсом	20.10.2021
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	05.11.2021
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	13.12.2021

Завдання видано

_____ (підпис п. конс.)

Проф. Бубліков А.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Халявка Д. О.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 102 сторінок, 83 рисунків, 34 таблиць, 15 джерел.

Предмет дослідження: Синтез та дослідження системи керування подачею дуття в мідеплавильний конвертор

Об'єкт дослідження: Процес подачі дуття.

Мета дослідження: Синтез та дослідження системи керування подачею дуття.

Основними методами дослідження використаними для досягнення поставленої мети були: аналіз літературних джерел, декомпозиція, планування експерименту, статистичний аналіз даних, імітаційне моделювання, експериментальне дослідження, розробка програмного забезпечення, розробка людино-машинного інтерфейсу.

В роботі проаналізована технологічний процес, структура об'єкта керування та вимоги до його функціонування. На підставі чого сформовані вимоги до апаратного забезпечення системи керування її функціонування та дослідження об'єкта керування.

Розроблено структурну схему системи керування на підставі котрої з урахуванням вимог технологічного процесу обрані датчики та виконавчі пристрої системи керування. За результатами аналізу вимог до функціонування системи керування, датчиків та виконавчих пристроїв обрано пристрій керування VIPA 214-2BS33 та його модулі. На підставі обраного апаратного забезпечення розроблено функціональну схему автоматизації системи керування та схему електричну принципову системи керування.

В результаті проведених досліджень розроблено план експерименту, за яким отримані експериментальні дані. Використовуючи експериментальні дані та аналіз структури і функціонування об'єкта керування проведена структурна ідентифікація, результатом якої є запропонована модель об'єкта керування у вигляді передавальної функції відповідної аперіодичній ланці першого порядку

з запізненням. За результатами параметричної ідентифікації це припущення підтверджено та отримані параметри моделі об'єкта керування.

На підставі параметричної та структурної ідентифікації розроблено імітаційну модель об'єкта керування в графічному середовищі Simulink математичного пакету MATLAB. Порівняння даних отриманих на моделі з перевірочними даними показало їх відповідність на 98.8803 %. Враховуючи аналіз об'єкта керування, його структури і функціонування та відповідність результатів моделювання, встановлено, що отримана модель є адекватною до об'єкта керування.

Для об'єкта керування було розраховано та підібрано оптимальний регулятор, який доповнив систему керування. Перенесено до цифрової форми систему керування відповідно до розробленої моделі. Дослідженно і проаналізовано систему на робастість до збурюючого впливу.

Розроблено людино-машинний інтерфейс на базі програмного забезпечення для системи подачі дуття.

Ключові слова: ДУТТЯ, МІДЕПЛАВИЛЬНИЙ КОНВЕРТОР, ІДЕНТИФІКАЦІЯ, МОДЕЛЬ, КЕРУВАННЯ, СИНТЕЗ, ДОСЛІДЖЕННЯ.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Стан питання та постановка завдання.....	8
1.1 Галузь промисловості	8
1.2 Технологічний процес	8
1.3 Об'єкт керування.....	10
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	10
1.3.2 Структура об'єкта керування.....	12
1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування	12
1.4 Структура системи керування.....	14
1.5 Формулювання задачі дослідження	29
1.6 Висновки по розділу	29
2 Теоретичний розділ.....	31
2.1 Модель об'єкта керування.....	31
2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування.....	44
2.3 Висновки по розділу	47
3 Синтез системи керування	49
3.1 Модель системи управління.....	49
3.2 Дослідження якості функціонування системи управління	53
3.3 Висновки по розділу	61
4 Експериментальний розділ.....	62
4.1 Цифрова модель системи керування.....	62
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	66
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	69
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	71
4.5 Висновки по розділу	71
5 Економіка	72
6 Охорона праці, промислова безпека та цивільний захист	80
Висновки	91

Перелік посилань.....	93
Додаток А – Програмні модулі системи керування	95
А.1 Модуль об'єкта керування	95
А.2 Модуль регулятора.....	98
Додаток Б – Програмне забезпечення системи керування	101
Б.1 Програмне забезпечення системи керування.....	101
Б.1.1 Список програм.....	101
Б.1.2 Основна програма	101
Б.1.3 Перелік змінних	101
Додаток В – Програмне забезпечення людино-машиного інтерфейсу	103
В.1 Драйвера	103
В.2 Перелік змінних	103
В.3 Шаблони зображень	103
В.4 Функції.....	104
В.5 Зображення.....	104

ВСТУП

За обсягом споживання мідь займає 2-ге місце у світі серед кольорових металів (після алюмінію). Сучасне широке застосування міді пов'язане з її високою електропровідністю, хімічною стійкістю, пластичністю і здатністю утворювати сплави з багатьма металами. Мідь отримують з мідних, мідно-молібденових, мідно-нікелевих і поліметалічних руд. Заводи випускають чорнову (99 %), рафіновану вогневим (99,6 % Cu) і електролітичним (99,95 % Cu) методами мідь.

У даному проекті було розглянуто процес керування подачею дуття в мідеплавильний конвертор.

Основними цілями автоматизації процесу керування подачею дуття є:

- Підвищення ефективності виробничого процесу конвертації чорнової міді.

- Підвищення економічності.

Цілі досягаються за допомогою вирішення наступних завдань автоматизації технологічного процесу:

- Поліпшення якості регулювання;
- Поліпшення ергономіки праці операторів процесу;
- Зберігання інформації про хід технологічного процесу і аварійних ситуаціях;

Рішення задач автоматизації технологічного процесу здійснюється за допомогою:

- Впровадження сучасних методів автоматизації;
- Впровадження сучасних засобів автоматизації.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Кольорова металургія – галузь важкої промисловості, підприємства якої видобувають і збагачують руду, виробляють та обробляють кольорові, рідкісні й дорогоцінні метали та їхні сплави, видобувають природні алмази та іншу мінеральну сировину. У металургії загалом і кольоровій, зокрема, застосовують:

- а) процеси оброблення руд для підготовки їх до вилучення металів (дроблення, подрібнення, збагачення);
- б) процеси вилучення металів із концентратів та вторинних матеріалів;
- в) очищення металів від домішок (рафінування);
- г) виробництво металів і сплавів у вигляді заготовок;
- д) термічну, хімічно-термічну і термомеханічну обробку металів;
- е) обробку металів тиском і литво;
- ж) покриття у декор. або захис. цілях поверхні металів ін. металами плакуванням або дифузій. проникненням.

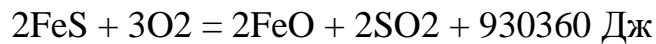
Металургія включає також металознавство. Бурхливе зростання виробництва кольорових металів значно збіднило сировинну базу галузі. Погіршується якість руд, знижується вміст у них цінних компонентів, гірські роботи доводиться проводити у віддалених районах і на все більших глибинах, у зв'язку з чим для їхнього освоєння потрібні значні капітальні витрати. У цих умовах важливого значення набула металургія вторинних кольорових металів – підгалузь кольорової металургії, що проводить заготівлю, первинну обробку і металургічну переробку лому і відходів.

1.2 Технологічний процес

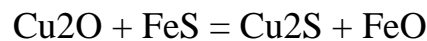
Процес конвертації можна розділити на два періоди. Перший період (окислення сульфідів заліза з отриманням білого штейну) триває близько 6-24 годин в залежності від вмісту міді в штейні. Завантаження кварцового флюсу

починають з початку продувки. У міру накопичення шлаку його частково видаляють і заливають в конвертер нову порцію вихідного Штейна, підтримуючи певний рівень штейну в конвертері.

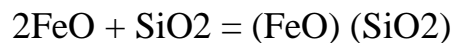
У першому періоді протікають наступні реакції окислення сульфідів:



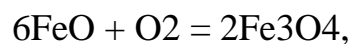
Поки існує FeS, закис міді не стійкий і перетворюється в сульфід:



Закис заліза шлакується додаються в конвертер кварцовим флюсом:



При нестачі SiO₂ закис заліза окислюється до магнетиту:

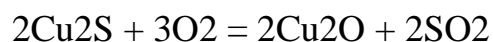


який переходить в шлак.

Температура заливається Штейна в результаті протікання цих екзотермічних реакцій підвищується з 1100-1200 С до 1250-1400 С. Більш висока температура небажана, і тому під час продування бідних штейн, що містять багато FeS, додають охолоджувачі - твердий штейн, сплески міді.

З попереднього випливає, що в конвертері залишається головним чином так званий білий штейн, що складається з сульфідів міді, а шлак зливається в процесі плавки. Він складається в основному з різних оксидів заліза (магнетиту, закису заліза) і кремнезему, а також невеликих кількостей глинозему, окису кальцію і окису магнію. При цьому, як випливає з вищесказаного, зміст магнетиту в шлаку визначається вмістом кремнезему. У шлаку залишається 1,8 - 3,0% міді. Для її отримання шлак в рідкому вигляді направляють в відбивну піч або в горн шахтної печі.

У другому періоді, званому реакційним, тривалість якого становить 2 - 3 години, з білого штейну утворюється чорнова мідь. У цей період окислюється сульфід міді і по обмінній реакції виділяється мідь:



Таким чином, в результаті продування отримують чорнову мідь, що містить 98,4-99,4% - міді, 0,01-0,04% заліза, 0,02-0,1% сірки, і невелика кількість нікелю, олова, миш'яку, срібла, золота і конвертерний шлак, що містить 22-30% SiO_2 , 47-70% FeO , близько 3% Al_2O_3 і 1.5-2.5% міді.

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Об'єктом керування виступає конвертор (рис 1.1) в якому необхідно регулювати подачу кисню через кисневу фурму.

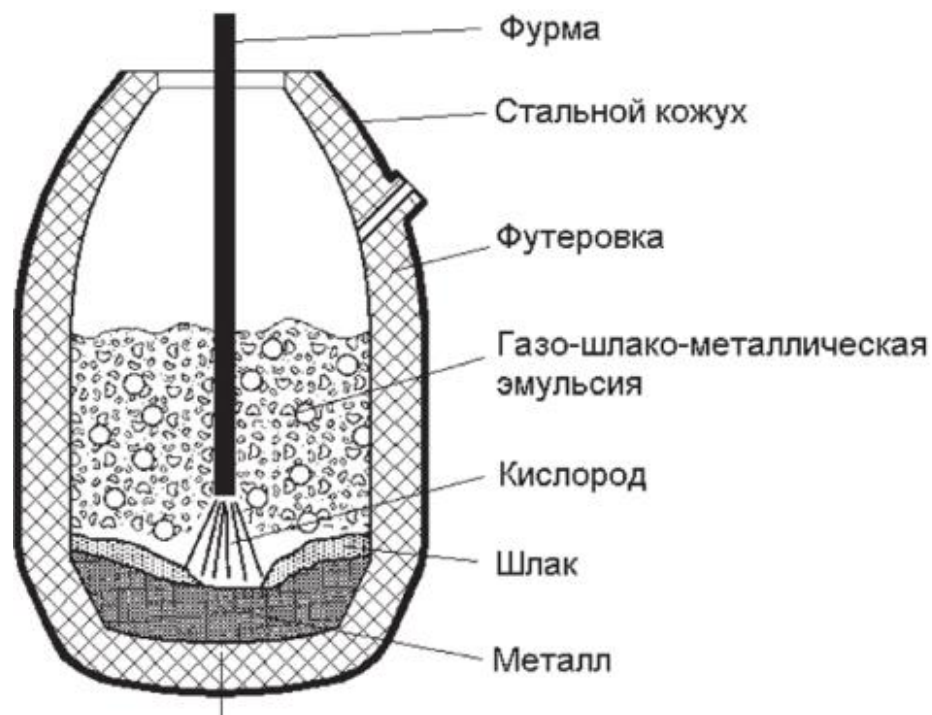


Рисунок 1.1 – Кисневий конвертор

Розташування горловини в кисневих конвертерах симетричне, що дозволяє вводити кисневу фурму строго по осі конвертера. При цьому забезпечується рівне видалення кисневої струменя від стінок конвертера і рівномірне спрацювання футерування.

Для правильного конвертації міді потрібно подавати певну кількість кисню в повітря, стежити за витратою повітря і тиском, тому що підвищення

повітря перед фурмами небажано, тому що викликає інтенсивне бризгообразование і винесення великої кількості пилю з потоком газів.

Таблиця 1.1 – Технологічні параметри

Найменування параметрів	Розмірність	Числена величина параметра		
		Min.	Норма	Max.
Температура в конверторі	°С	1000	1100-1300	1400
Концентрація кисню у повітрі	%	15	20	25
Тиск кисню в фурмі	МПа	0,9	1,2	1,4

Киснева фурма. Кисень надходить в конвертер під тиском 0,9 - 1,4 МН / м² (9 - 14 ат) по водоохолоджуваній фурмі, яку вводять в порожнину конвертера через горловину. Фурму встановлюють вертикально, строго по осі конвертера.

На рис. 1.2. представлена фурма зі сталевих суцільнотягнутих труб (1), які концентрично входять одна в іншу.

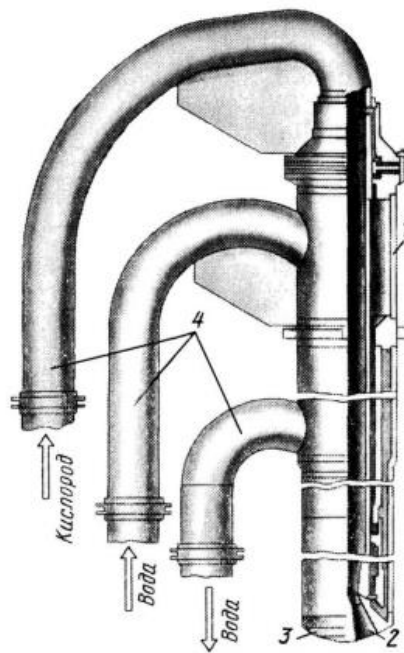


Рисунок 1.2 – Фурма для подачі кисню в конвертер

Труби в верхній частині забезпечені патрубками (4) для приєднання гнучких гофрованих металевих рукавів, що підводять до фурми воду і кисень. Нижня частина фурми закінчується мідної голівкою (3) з декількома соплами (2), які служать для формування кисневих струменів. В даний час застосовують фурми з голівками, що мають від чотирьох до семи сопел.

1.3.2 Структура об'єкта керування

Система регулювання подачі кисню (рис. 1.3.). Головна вимога до даної системи - забезпечення високої точності підтримки температури в конверторі, що досягається вимірюванням тиску в фурмі 1-1, концентрації кисню в конверторі 1-2 і температури в конверторі 1-3. Прилад 1-4 забезпечує вимір витрати з поправками на відміну тиску і температури від розрахункових. Прилад 1-5 здійснює індикацію та реєстрацію витрати кисню. Регулятор 1-6 забезпечує підтримку заданого ручним задатчиком 1-7 витрати кисню.

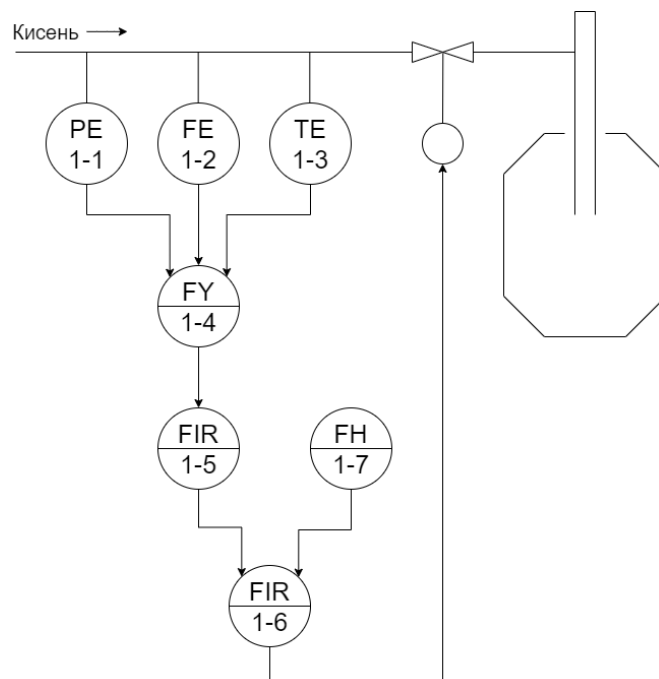


Рисунок 1.3 – Система регулювання подачі кисню в конвертор.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Принцип роботи конвертору полягає в контролюванні подачі кисню через кисневу фурму зважаючи на тиск у фурмі, концентрацію кисню та температуру в конвертері під час конвертації.

1.4 Структура системи керування

В якості об'єкта керування виступає регулююча заслонка в кисневій фурмі, для якої виконується розробка системи автоматизованого керування. Вхідними параметрами об'єкта керування є тиск кисню в фурмі, концентрація

кисню та температура в мідеплавльному конверторі. Вихідними параметрами об'єкту керування є температура в конверторі. Основним завданням розробляємої системи є підтримка заданої температури регулюючи заслінку звужуючи або розширюючи переріз труьбопроводу.

Виходячи с цього, підсистема керування повинна включати датчикт, які вимірюють поточну температуру в конверторі, датчик тиску в кисневій фурмі, датчик концетрації кисню в конверторі, звужуюча заслонка, пристрій керування, виконуючий пристрій, який керує заслонкою, пульт керування, за допомогою якого буде здійснюватися керування та візуалізація процесу керування (рис. 1.4).

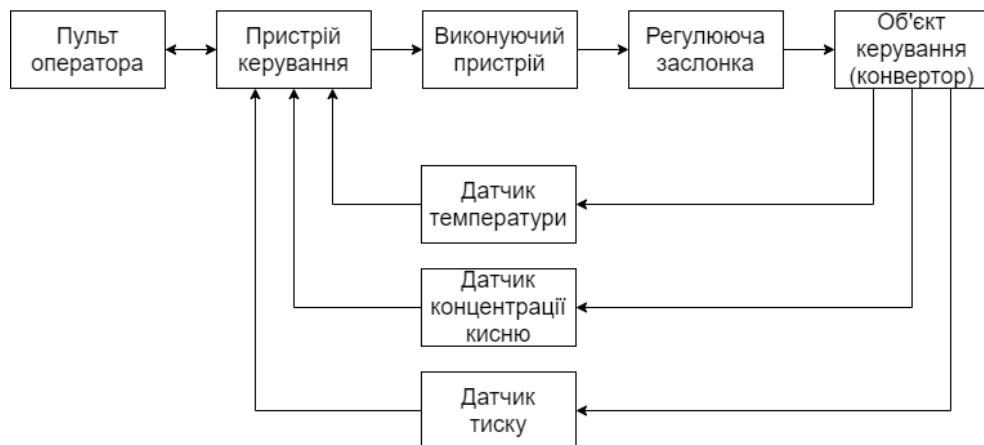


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи керування

Відповідно до вимог система повинна забезпечувати керування об'єктом і, отже, включати підсистему керування технологічним обладнанням. Ця підсистема складається з пристроїв збору інформації (датчики температури, датчики концентрації кисню в повітрі, датчик тиску), еталонів і станів обладнання (уставка температури і граничні значення), системи контролю стану обладнання, програми керування, яка реалізує формування керуючого впливу, протиаварійного захисту, блоку переключення в ручний режим керування і виконавчих органів.

Крім того система повинна забезпечувати візуалізацію і контроль за технологічним процесом, тому вона повинна включати підсистему інформаційного забезпечення роботи оператора. Ця підсистема складається з

реєстрації параметрів процесів, людино-машинного інтерфейсу і сигналізації досягнення параметрами заданих значень.

Також системою повинно забезпечуватися архівування технологічних процесів, які зараз відбуваються, тому в ній має бути присутня підсистема ведення архівів параметрів і подій, що включає базу даних та резервне сховище. Розроблена структурна схема інформаційних потоків наведена на рисунку 1.5.

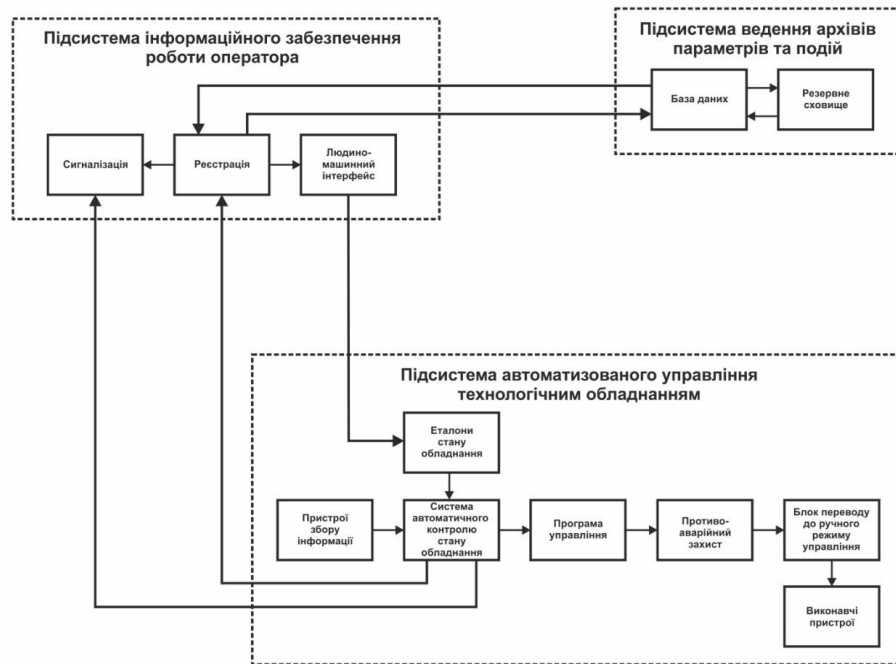


Рисунок 1.5 – Структурна схема інформаційних потоків

Дана структура забезпечує підтримку заданої температури в мідеплавильному конверторі, збір інформації про технологічний процес, її реєстрацію, візуалізацію, збереження в базі даних і створення резервних копій. Крім того дана структура забезпечує контроль, за обладнанням і сигналізацію досягнення параметрами керування заданих значень.

Таким чином, відповідно до вимог, підсистема автоматизованого керування технологічним обладнанням є апаратно програмний комплекс, який включає датчики температури, датчики концентрації кисню в повітрі, датчик тиску, об'єкт керування, пристрій керування, в якості якого виступає програмований логічний контролер, а також виконавчий пристрій, який регулює переріз трубопроводу звужуючи або розширюючи заслінку.

Підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора являє собою апаратно програмний комплекс на базі персонального комп'ютера з операційною системою сімейства Microsoft Windows і SCADA системою zenon, яка виконує функції пульта оператора.

Підсистема ведення архівів параметрів і подій являє собою окремі програмні модулі SCADA системи zenon.

Зв'язок між перерахованими апаратними комплексами відповідно до вимог забезпечується за допомогою загальної мережі підприємства, а між програмним забезпеченням за допомогою стандартних протоколів.

Основною задачею розробляємої системи керування є підтримка заданої температури в мідеплавильному конверторі, яка може коливатися від $+600^{\circ}\text{C}$ до $+1200^{\circ}\text{C}$.

Підключення датчика до пристрою керування повинно здійснюватися за допомогою стандартного перешкодозахисного токового інтерфейсу 4-20 мА.

Виходячи з цього для вимірювання температури повітря в приміщенні обрано датчик ТЭРА ТНН-1-29-МКР-А (рис. 1.6) який є термоелектричним перетворювачем з діапазоном вимірювання $0\div 1600^{\circ}\text{C}$ та який модифікований вбудованим перетворювачем напруги до стандартного струмового сигналу $4\div 20$ мА.(табл. 1.2).



Рисунок 1.6 – Датчик температури ТЭРА ТНН-1-29-МКР-А

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики датчика температури ТЭРА ТНН-1-29-МКР-А

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	ТПР
2	Матеріал	Нержавіюча сталь + кераміка
3	Діапазон вимірюваних температур, °С	0÷1600
4	Показник інерції, хв	1
5	Тип корпусу	1-29
6	Вихідний сигнал, мА	4÷20
7	Нелінійність перетворення, не гірше, %	+ 0,0025t
8	Напруга живлення, В	24
9	Споживана потужність, Вт	1

Для контролю концентрації кисню в конверторі можна встановити високотемпературний газоаналізатор, що вимірює вміст кисню в газовій суміші. Підключення газоаналізатора до пристрою керування повинно здійснюватися за допомогою стандартного перешкодозахисного токового інтерфейсу 4-20 мА.

Виходячи з цього для вимірювання тиску обрано газоаналізатор ЭКОН-ВТ (рис. 1.7), який є перетворювачем концентрації кисню в діапазоні 0.1-25% та який має вбудований перетворювач напруги до стандартного струмового сигналу 4÷20 мА.



Рисунок 1.7 – Високотемпературний газоаналізатор ЭКОН-ВТ

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики високотемпературного газоаналізатора ЭКОН-ВТ.

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	ВТ
2	Матеріал	Нержавіюча сталь
3	Діапазон вимірюваній концентрацій кисню в газовій суміші, %	0.1÷25
4	Температура контролюючого середовища, °С	600÷1400
5	Межа основної похибки, %	3
6	Вихідний сигнал, мА	4÷20
7	Напряга живлення, В	220
8	Споживана потужність, Вт	50

Для контролю тиску кисню в кисневій фурмі можна встановити датчик тиску, який вимірює надлишковий тиск. Підключення датчика до пристрою керування повинно здійснюватися за допомогою стандартного перешкодозахисного токового інтерфейсу 4-20 мА.

Виходячи з цього для вимірювання тиску обрано датчик MBS 4050 2214 (рис. 1.8), який є перетворювачем тиску з діапазоном вимірювання 0÷2.5 МПа та який має вбудований перетворювач напруги до стандартного струмового сигналу 4÷20 мА. (табл. 1.4.).



Рисунок 1.8 – Датчик тиску MBS 4050 2214.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики датчика тиску MBS 4050 2214.

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	Мембранний
2	Матеріал	Нержавіюча сталь
3	Діапазон вимірювання, МПа	0÷2.5
4	Максимальний тиск перевантаження, МПа	150
5	Межа основної похибки, %	±0,5%
6	Вихідний сигнал, мА	4÷20
7	Напруга живлення, В	20
8	Споживана потужність, Вт	1

На підставі обраних датчиків і їх технічних характеристик складена таблиця 2.4.

Таблиця 1.5 – Датчики системи керування

№	Найменування параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон вимірювання	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Споживана потужність
1	Температура в конверторі	ТПР	Аналоговий	0÷1600 °С	±0,0025t	4-20мА	0,1 с	1 Вт
2	Концентрація кисню в конверторі	Електрохімічний	Аналоговий	0÷25 %	±3%	4-20мА	0,1 с	50 Вт
3	Тиск в кисневій фурмі	Мембранний	Аналоговий	0÷2.5 Мпа	±0,5 %	4-20мА	0,1 с	1 Вт

Керування температурою здійснюється за рахунок звуження або розширення залінки. В якості виконуючого механізму виступає МЭО-250/25-0,25-99 (рис. 1.9.). Технічні характеристики механізму наведені в таблиці 1.6.



Рисунок 1.9 – Механізм виконавчий МЭО-250/25-0,25-99.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики виконавчого механізму МЭО-250.

№	Найменування параметру	Значення
1	Номинальний обертаючий момент на вихідному валу, Н*м	250
2	Номинальний час повного ходу вихідного валу, с	25
3	Номинальний повний хід вихідного валу, об.	0.25
4	Напруга живлення, В	220
5	Споживана потужність, Вт	250
6	Маса, кг	32
9	Тип електродвигуна	ЗДСОР 135-1,6-180
10	Споживаний струм електродвигуна, А	1.75
11	Ступінь захисту	IP54

Для керування виконавчим механізмом обрано пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М (рис. 1.10). Технічні характеристики наведені в таблиці 1.7.



Рисунок 1.10 – Пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики пускача безконтактного реверсивного ПБР-2М

№	Найменування параметра	Значення
1	Напруга живлення, В	220
2	Напруга управління, В	24
3	Максимальний комутований струм, А	4
4	Споживана потужність, Вт	7
5	Ступінь захисту	IP20

Таблиця 1.8 – Виконавчі пристрої системи керування

№	Найменування параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон керування	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Споживана потужність
1	Переріз трубопроводу	Комутація	Дискретний	0÷100%	Лінійний	0÷24В	0.1 с	250 Вт
2	Пуск електродвигуна	Комутація	Дискретний	вимк./вкл..	Лінійний	0÷24В	0.1 с	7 Вт

Відповідно до вимог до системи керування подачею дуття в якості пристрою керування повинен використовуватися програмований логічний контролер компанії VIPA. Цикл роботи контролера повинен тривати не більше 100 мс, для забезпечення реакції на зміну температури в конверторі. Крім того контролер повинен мати не менше 1 Кбайта вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування.

Виходячи з того, що до контролера має бути під'єднано 3 пристрої з аналоговим виходом і два пристрої з дискретним виходом, контролер повинен володіти модульною структурою, щоб забезпечити підключення тільки вибраного обладнання.

Для зв'язку підсистеми керування подачею дуття з системою керування мідеплавильним конвертором, контролер повинен володіти RS-485 інтерфейсом.

Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. Контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, об'єм пам'яті програм 144 Кбати, об'єм робочої пам'яті 96 Кбайт та інтерфейс RS-485 (рис. 1.11). Технічні характеристики контролеру наведені в таблиці 1.9.



Рисунок 1.11 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	CPU 214SER
2	Пам'ять, Кбайт	144
3	Робоча пам'ять, Кбайт	96
4	Максимальна кількість модулів, штук	32
5	Час виконання команди над бітом, мкс	0,18
6	Час виконання команди над байтом, мкс	0,78
7	Час виконання команди над словом, мкс	1,8
8	Час виконання команди над двійним словом, мкс	40,0
9	RS-485 інтерфейс	Присутній
10	Напруга живлення, В	24
11	Споживана потужність, Вт	5

Для підключення до програмованого логічного контролера датчика температури ТЭРА ТНН-1-29-МКР-А, високотемпературного газоаналізатора ЭКОН-ВТ і датчика тиску MBS 4050 2214, необхідно використовувати модуль аналогового введення з діапазоном вхідного сигналу від 4 до 20 мА. Даним вимогам задовольняє модуль 231-1BD40 володіє чотирма аналоговими входами з діапазоном сигналу від 4 до 20 мА. Технічні характеристики модуля аналогового вводу наведені в таблиці 1.10.

У відповідності зі схемою підключення модуль володіє чотирма незалежними каналами, до кожного з яких може бути підключений джерело струму. До позитивного контакту каналу 2, 4, 6, 8 підключається позитивний

вихід джерела струму, а до негативного 3, 5, 7, 9 підключається негативний вихід джерела струму.



Рисунок 1.12 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40.

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	SM 231, ECO
2	Кількість входів	4
3	Тип входу	аналоговий
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4÷20, -20÷+20
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0,6

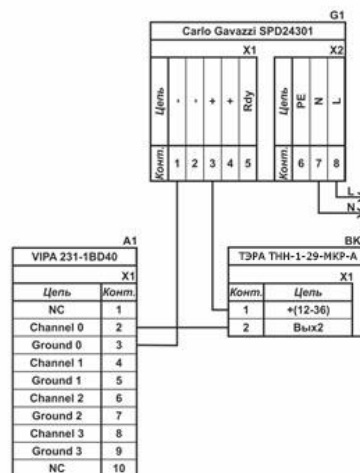


Рисунок 1.13 – Схема підключення VIPA 231-1BD40 до датчика температури ТЭРА ТНН-1-29-МКР-А

Для підключення до програмованого логічного пускача безконтактного реверсивного ПРБ-2М, необхідно використовувати модуль дискретних виходів. Даним вимогам відповідає модуль VIPA 222-1FD10, який має 4 дискретних виходи з вихідним струмом 1 А (рис. 1.14)

Технічні характеристики модуля дискретних виходів наведені в таблиці 1.11.



Рисунок 1.14 – Модуль дискретних виходів VIPA 222-1FD10

Таблиця 1.11 – Технічні характеристики модуля дискретних виходів VIPA 222-1FD10

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 222
2	Кількість каналів	8
3	Тип каналу	Дискретний
4	Діапазон вихідного сигналу, В	0÷24
5	Максимальний струм вихідного сигналу, А	1
6	Довжина екранованого провідника, м	600
7	Споживана потужність, Вт	2

Схема підключення клапану до модуля дискретного виводу наведена на рисунку 2.12.

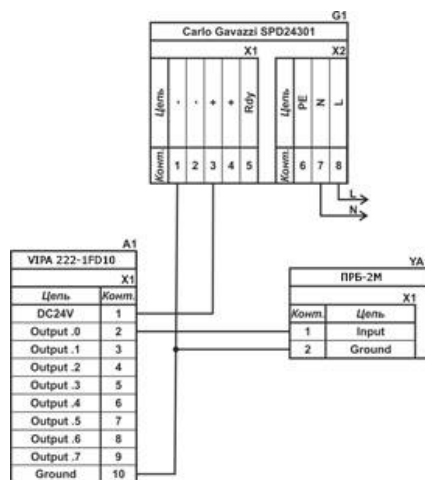


Рисунок 1.15 – Схема підключення пускача

На підставі обраного програмованого логічного контролера і його модулів складена таблиця 1.12.

Таблиця 1.12 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга живлення	Потужність
1	VIPA 214-2BS33	Центральний процесорний модуль	24 В	5,00 Вт
		Виконавчий механізм МЭО-250	220 В	250 Вт
2	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу	24 В	0,6 Вт
		Датчик температури ТЕРА ТНН-1-29-МКР-А	24 В	1 Вт
		Датчик концентрації кисню в конверторі ЭКОН-ВТ	220 В	50 Вт
		Датчик тиску в кисневій фурмі MBS 4050 2214	24 В	1 Вт
3	VIPA 222-1FD10	Модуль дискретного виводу	24 В	2 Вт
		Пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М	220 В	

Програмований логічний контролер та його модулі мають напругу живлення +24 В. Загальна потужність споживання програмованого логічного контролера та його модулів:

$$P = 5.00 + 0.60 + 2 = 7.60 \text{ Вт}$$

Виходячи з потужності споживання контролеру, модулів та датчиків у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт (рис. 1.16). Технічні характеристики блока живлення наведені в таблиці 1.13.



Рисунок 1.16 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 1.13 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

№	Найменування параметра	Значення
1	Напруга живлення, В	~85÷~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	30
4	Максимальний вихідний струм, А	2,5

Схему підключення програмованого логічного контролера до блока живлення наведена на рисунку 1.17.

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для датчика температури, датчика тиска та контроллера реверсування, які мають напругу живлення +24 В та потужність споживання:

$$P = 1.00 + 1.00 = 1.00 \text{ Вт.}$$

Виходячи з потужності споживання датчиків та виконавчого пристрою у якості джерела живлення обрано блок живлення такий самий як і для програмованого логічного контролера SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт.

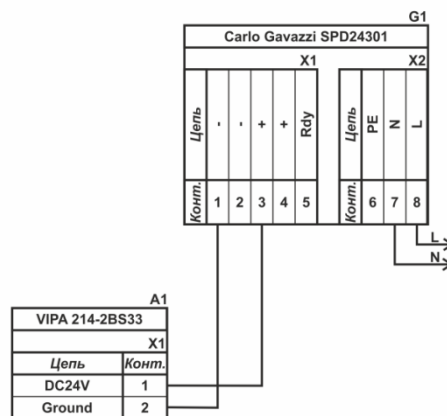


Рисунок 1.17 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

Виконавчий механізм МЭО-250 та Датчик концетрації кисню в конверторі ЭКОН-ВТ не потребують окремого блока живлення так як вони живляться від мережі напругою 220 В.

На основі вимог до підсистеми керування подачею дуття та обраного апаратного забезпечення розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рисунку 1.18.

У якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY 7 – VIPA 214-2BS33). Програмований логічний контролер підключено до системи керування мідеплавильного конвертора, якій відповідає контролер більш високого рівня (UY 8), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Температура повітря в конверторі вимірюється за допомогою датчика температури (TE 2-1 - ТЕРА ТНН-1-29-МКР-А), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача трансформується в стандартний струмовий сигнал $4\div 20$ мА.

Концентрація кисню в повітряно-газовій суміші конвертора вимірюється за допомогою датчиків концентрації кивню (FE 3-1 – ЭКОН-ВТ), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача трансформується в стандартний струмовий сигнал $4\div 20$ мА.

Тиск у кисневій фурмі вимірюється за допомогою датчика тиску (PE 1-1 - MBS 4050 2214), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача трансформується в стандартний струмовий сигнал $4\div 20$ мА.

Значення положення заслінки знімається за допомогою вбудованого в виконавчий механізм (M1 – МЭО-250) датчика положення.

Управління положенням заслінки виконується за допомогою контролеру реверсування (GC).

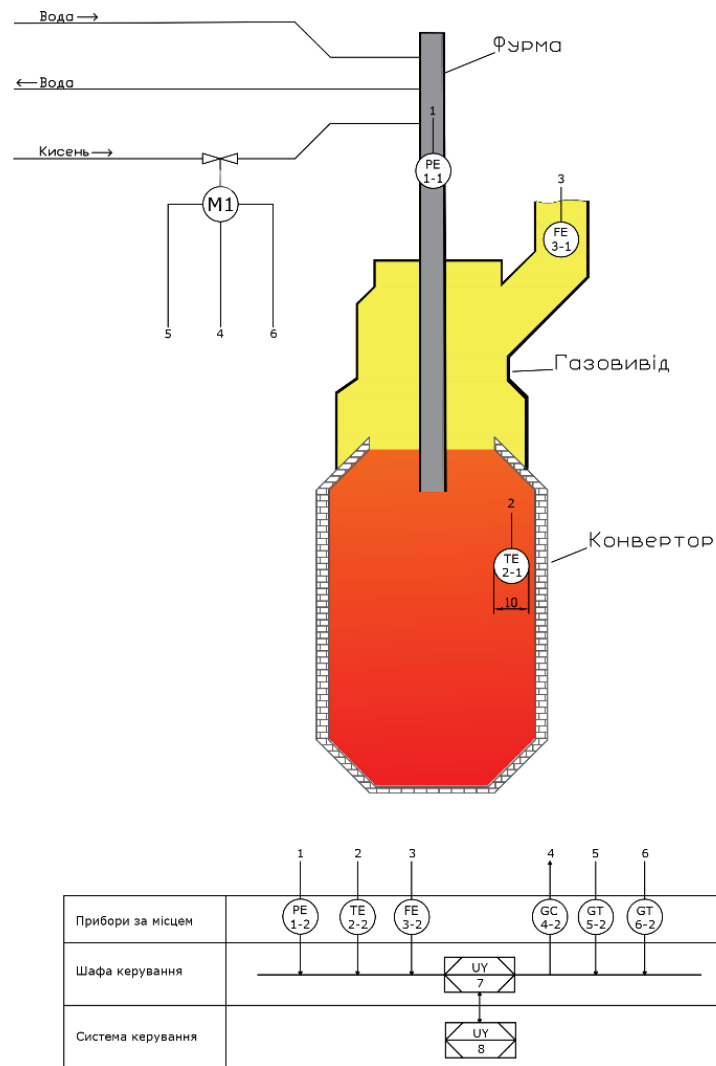


Рисунок 1.18 – Функціональна схема автоматизації підсистеми керування

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення, розроблена схема електрична принципова підсистеми керування подачею дуття в конвертор (рис. 1.19).

В підсистемі використовується 2 блоки живлення. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33 (A1), модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3), модулю дискретного виводу VIPA 222-1FD10 (A1 – X4). Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено до датчика температури повітря ТЭРА ТНН-1-29-МКР-А (TE1), високотемпературного газоаналізатора ЭКОН-ВТ (FE1), датчика тиску в кисневій фурмі MBS 4050 2214 (PE1).

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (A1) та пультом керування (A4) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485 (A1 – X2). Зв'язок між контролером та пускачем безконтактний реверсивним за допомогою струмового сигналу $4\div 20$ мА.

Вимірювання температури повітря виконує датчик ТЭРА ТНН-1-29-МКР-А (TE1), який підключено до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналу 1 за допомогою стандартного струмового сигналу $4\div 20$ мА.

Вимірювання концентрації кисню в повітряно-газовій суміші коонвертора виконує газоаналізатор ЭКОН-ВТ (FE1), який підключено до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналу 2 за допомогою стандартного струмового сигналу $4\div 20$ мА.

Вимірювання тиску в кисневій фурмі виконує датчик MBS 4050 2214 (PE1), який підключено до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналу 0 за допомогою стандартного струмового сигналу $4\div 20$ мА.

Вимірювання положення засувки виконують вбудовані в винавчий механізм МЭО-250/25-0,25-99 (A2) датчик, які підключено до програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33 (A1) за допомогою стандартного струмового сигналу $4\div 20$ мА. (A1 – X3).

Запуск приводу виконавчого механізму (M1) реалізовано за допомогою пускача ПРБ-2М (A3). Для передачі керуючого впливу до пускача ПРБ-2М підключено до модуля дискретного виводу VIPA 222-1FD10 (A1 – X4) до каналів 0, 1, 2, 3 за допомогою стандартного струмового сигналу $4\div 20$ мА.

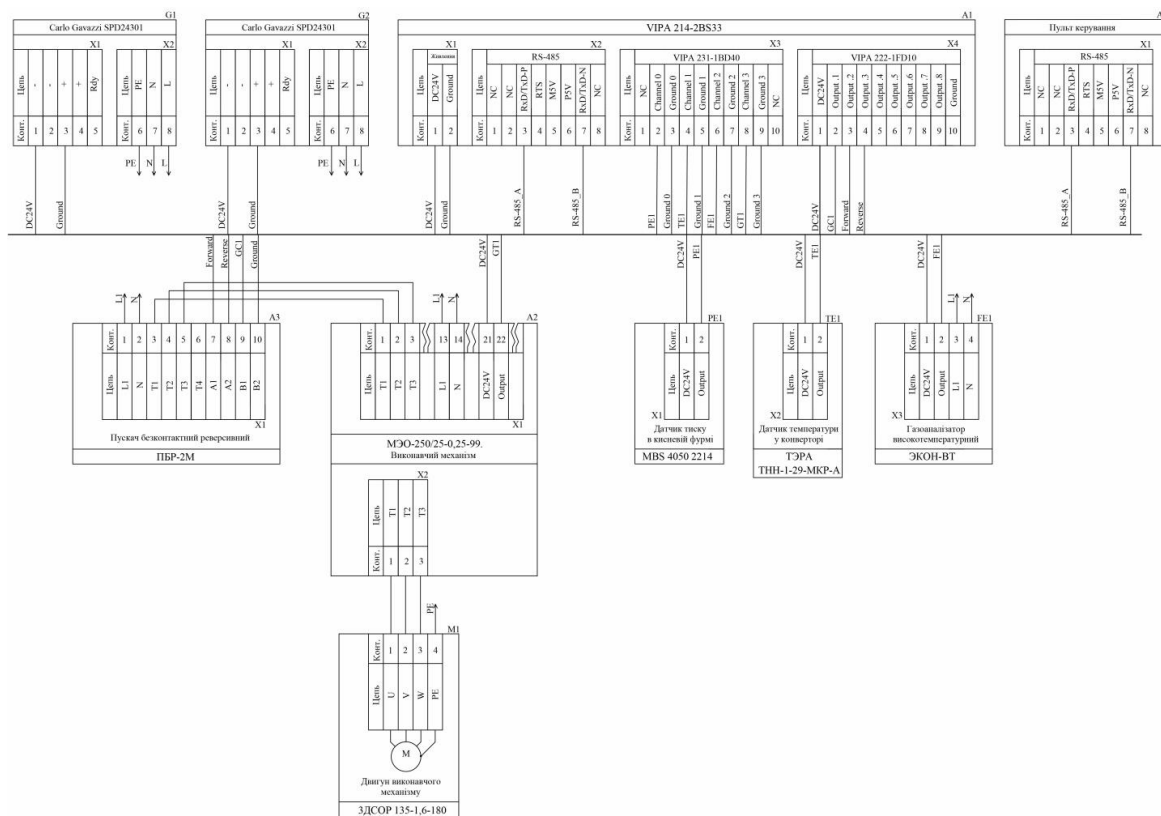


Рисунок 1.19 – Схема електрична принципова підсистеми керування

1.5 Формулювання задачі керування

У нас присутній об’єкт керування - мідеплавильний конвертор. Керування потрібно здійснювати змінюючи подачу кисню. Вихідній параметр – температура контролюється в діапазоні від 600-1200 С витрата кисню також є величина безперервна тому об’єкт є безперервним. Керування відбувається регулюванням заслінки звужуючи або розширюючи переріз трубопроводу.

1.6 Висновки по розділу

На підставі технологічного процесу, структури об’єкта керування, функціонування об’єкта керування та вимог до системи керування розроблено структурну схему системи керування.

Враховуючи вимоги до технологічного процесу, діапазони зміни вимірювальних параметрів та керованих параметрів обрані датчики та виконавчі пристрої які мають стандартні діапазони вхідних та вихідних сигналів 4÷20 мА та стандартне живлення 24 В, ~220 В.

На підставі вимог до технологічного процесу та функціонування системи керування в якості пристрою керування обрано програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. Враховуючи датчики, виконавчі пристрої та тип контролера обрано його модулі які забезпечують підключення усіх елементів.

Згідно з обраним датчиками, виконавчими пристроями, пристроєм керуванням розраховані споживані потужності та обрані блоки живлення.

На підставі структурної схеми системи керування та обраного апаратного забезпечення розроблена функціональна схема автоматизації системи керування з урахуванням якої розроблена схема електрична принципова системи керування.

Результати розробки апаратного забезпечення системи керування будуть використанні при створенні дослідницької системи для збору даних про функціонування об'єкт керування, за якими буде проведено визначення моделі об'єкта керування.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 моделі об'єкта керування

Система дослідження призначена для збору інформації про об'єкт керування. Основними функціями системи є формування або реєстрування керуючого впливу який подається на об'єкт керування, реєстрування дійсного значення на виході об'єкта, візуалізація отриманих даних та їх надання у зручному для подальшої обробки виді.

Згідно з завданням та розробленим апаратним забезпеченням підсистеми до контуру керування температурою в мідеплавильному конверторі входить об'єкт керування, в якості котрого виступає заслінка в кисневій фурмі, датчик температури в якості котрого виступає термоелектричний перетворювач який має діапазон вимірювання $0\div 1600$ °C з сигналом струму $4\div 20$ mA, пристрій керування, в якості котрого виступає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33 та механізм виконавчий МЭО-25, який підключено до контролеру за допомогою інтерфейсу RS-485 та який має діапазон керуючого впливу $0\div 100\%$. Візуалізація процесу керування відбувається за допомогою персонального комп'ютера з SCADA системою zenon. Така підсистема дозволяє крім функцій керування виконувати функції дослідження об'єкта для чого достатньо використати дослідницьке програмне забезпечення. Виходячи з цього розроблена структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи яка наведена на рисунку 2.1.

Згідно зі структурною схемою система дослідження може формувати керуючий вплив у якості якого виступає заслінка в діапазоні $0\div 100$ %, за рахунок якої виконується подача кисню в конвертор. Температура повітря вимірюється за допомогою відповідного датчика з діапазоном $0\div 1600$ °C. Програмований логічний контролер виконує передачу сформованого впливу по RS-485 інтерфейсу до виконавчого механізму та отримання значення температури повітря з датчика температури.

Зв'язок між програмованим логічним контролером та персональним комп'ютером з SCADA системою zenon також реалізується за допомогою інтерфейсу RS-485.

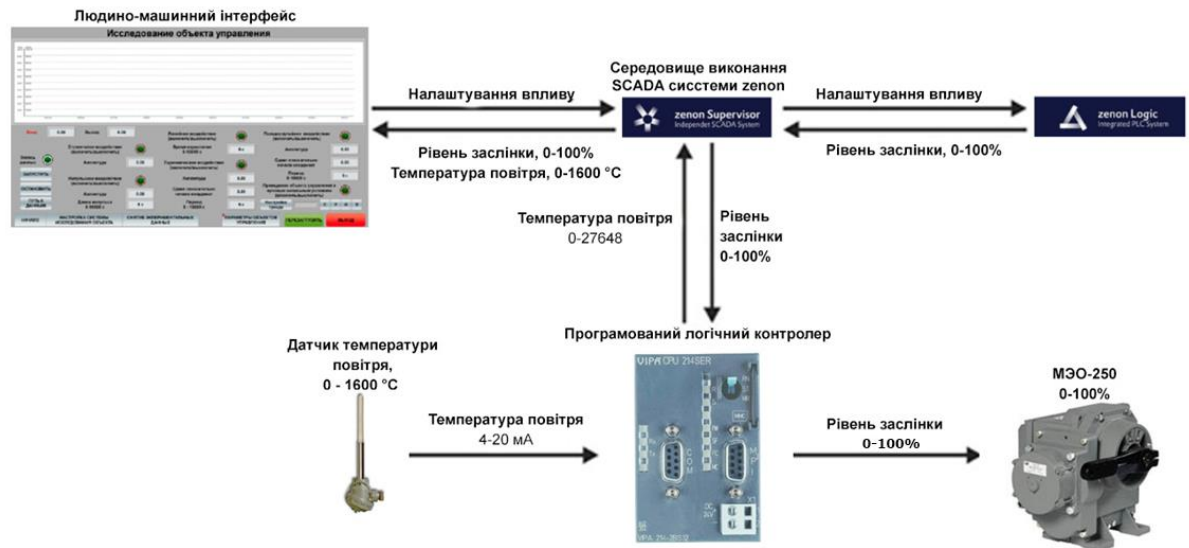


Рисунок 2.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

Система дослідження дозволяє виконувати формування різноманітних керуючих впливів та поданнях їх на виконавчий механізм. При цьому об'єкт керування не накладає ніяких обмежень на керуючий вплив. Виходячи з цього об'єкт керування можливо дослідити за допомогою метода активного експерименту.

З метою виконання ідентифікації об'єкта керування, використовуючи метод активного експерименту необхідно отримати його динамічну характеристику, дані для побудови статичної характеристики, характеристику при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані. Виходячи з цього складено план експерименту:

1. Налаштувати систему дослідження.
2. Отримати динамічну характеристику.
 - 2.1. Привести об'єкт керування до початкових умов, заслінка закриває переріз трубопроводу (переріз 0%), дочекатися досягнення усталеного режиму.

- 2.2. Запустити процес реєстрування.
- 2.3. Відкрити заслінку (встановити переріз трубопроводу 100%)
дочекатися досягнення усталеного режиму.
- 2.4. Зупинити процес реєстрації.
3. Отримання даних за для побудови статичної характеристики.
 - 3.1. Привести об'єкт керування до початкових умов,
 - 3.2. Запустити процес реєстрування.
 - 3.2. Привести об'єкт керування до початкових умов, встановити переріз трубопроводу на 20%, дочекатися досягнення усталеного режиму.
 - 3.3. Встановити відкриття перерізу трубопроводу на 40%, дочекатися досягнення усталеного режиму.
 - 3.4. Встановити відкриття перерізу трубопроводу на 60%, дочекатися досягнення усталеного режиму.
 - 3.5. Встановити відкриття перерізу трубопроводу на 80%, дочекатися досягнення усталеного режиму.
 - 3.6. Встановити відкриття перерізу трубопроводу на 100%, дочекатися досягнення усталеного режиму.
 - 3.7. Зупинити процес реєстрації.
4. Отримання даних при П-образному впливі.
 - 4.1. Привести об'єкт керування до початкових умов,
 - 4.2. Запустити процес реєстрування
 - 4.3. Встановити відкриття перерізу трубопроводу на 100%, дочекатися досягнення усталеного режиму.
 - 4.4. Закрити заслінку (встановити відкриття перерізу трубопроводу на 0%), дочекатися досягнення усталеного режиму.
 - 4.5. Зупинити процес реєстрації.
5. Отримання перевіірочних даних.
 - 5.1. Привести об'єкт керування до початкових умов, (встановити відкриття перерізу трубопроводу на 0%), дочекатися досягнення усталеного режиму.

- 5.2. Налаштувати псевдовипадковий вплив таким чином щоб період зміни впливу був у десять раз менший за час перехідного процесу, а амплітуда впливу змінювалася в діапазоні 0÷100 %.
- 5.3. Запустити процес реєстрування.
- 5.4. Запустити формування псевдовипадкового впливу.
- 5.5. Виконувати реєстрацію на протязі часу п'яти перехідних процесів.
- 5.6. Зупинити процес реєстрації.

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином що керуючий вплив може знаходитися в діапазоні 0÷100 %, а значення температури в діапазоні 0÷1600 °C.

На другому етапі було виконано отримання динамічної характеристики об'єкта керування (рис. 2.3). Для цього заслінку було відкрито на 100 %. Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

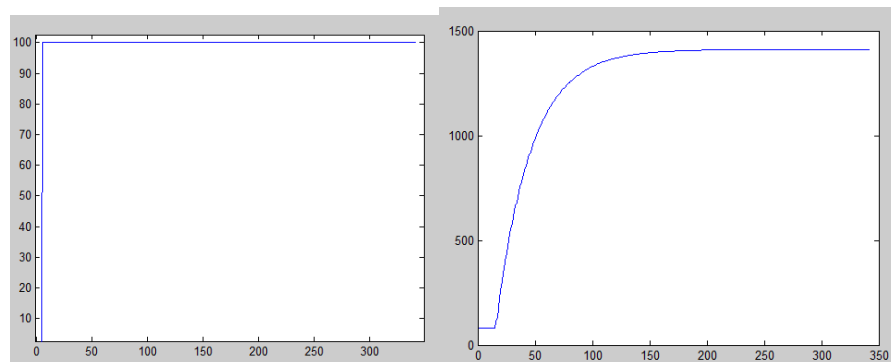


Рисунок 2.3 – Отримання динамічної характеристики

На третьому етапі було виконано отримання даних для побудови статичної характеристики (рис. 2.4). Для цього заслінку було відкрито на 20 %. Після досягнення усталеного режиму заслінку було відкрито на 40 %. Після досягнення усталеного режиму заслінку було відкрито на 60 %. Після досягнення усталеного режиму заслінку було відкрито на 80 %. Після досягнення усталеного режиму заслінку було відкрито на 100 %. Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

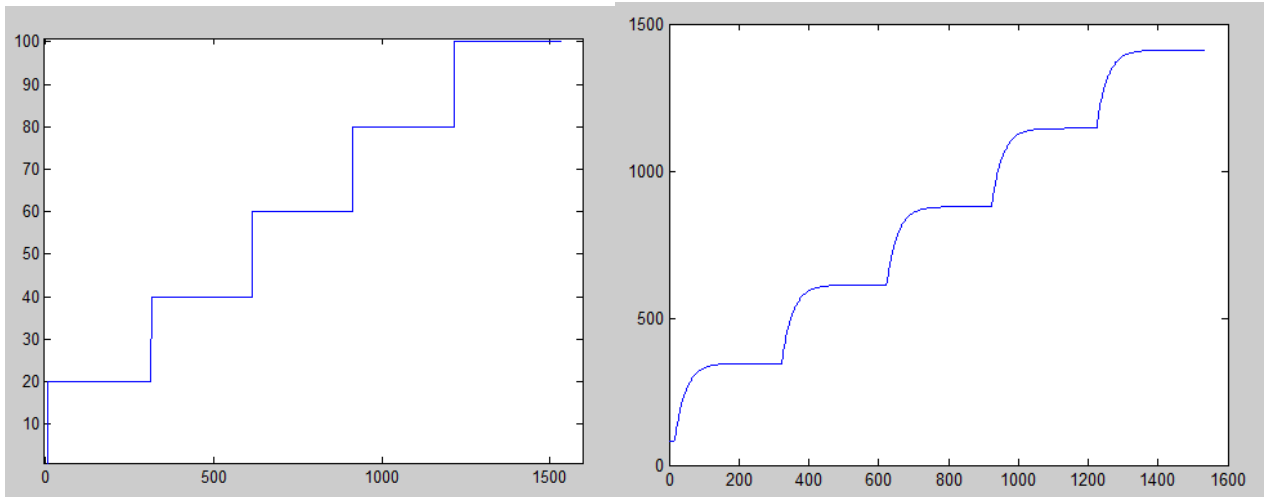


Рисунок 2.4 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.5). Для цього заслінку було відкрито на 100%. Після досягнення усталеного режиму заслінку було закрито (встановлено на 0%). Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

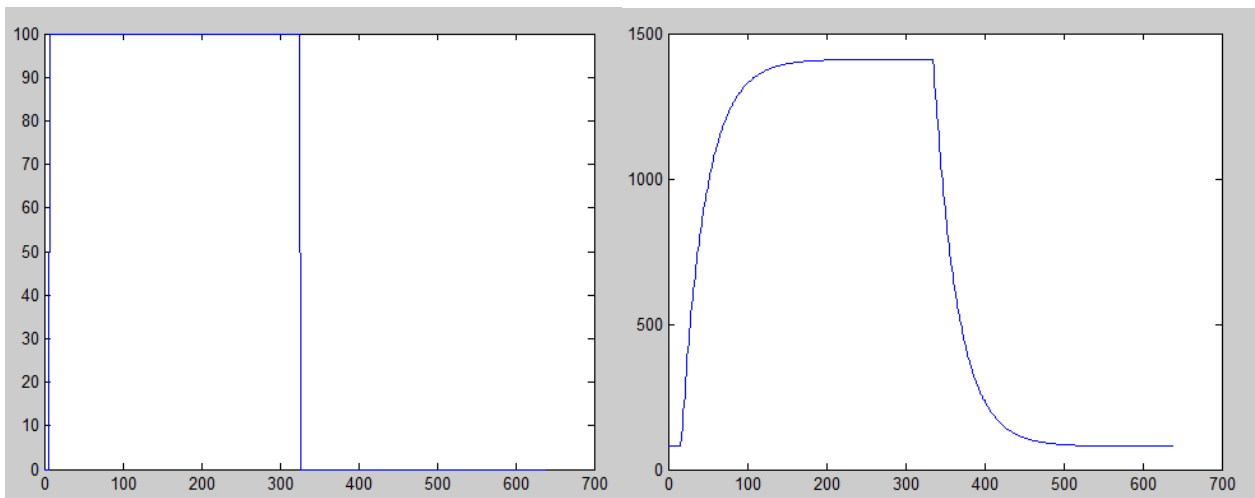


Рисунок 2.5 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

На п'ятому етапі було виконано отримання перевірочних даних (рис. 2.6). Для цього період псевдовипадкового впливу було налаштована на 30 секунд. Реєстрація відбувалася на протязі 1500 секунд.

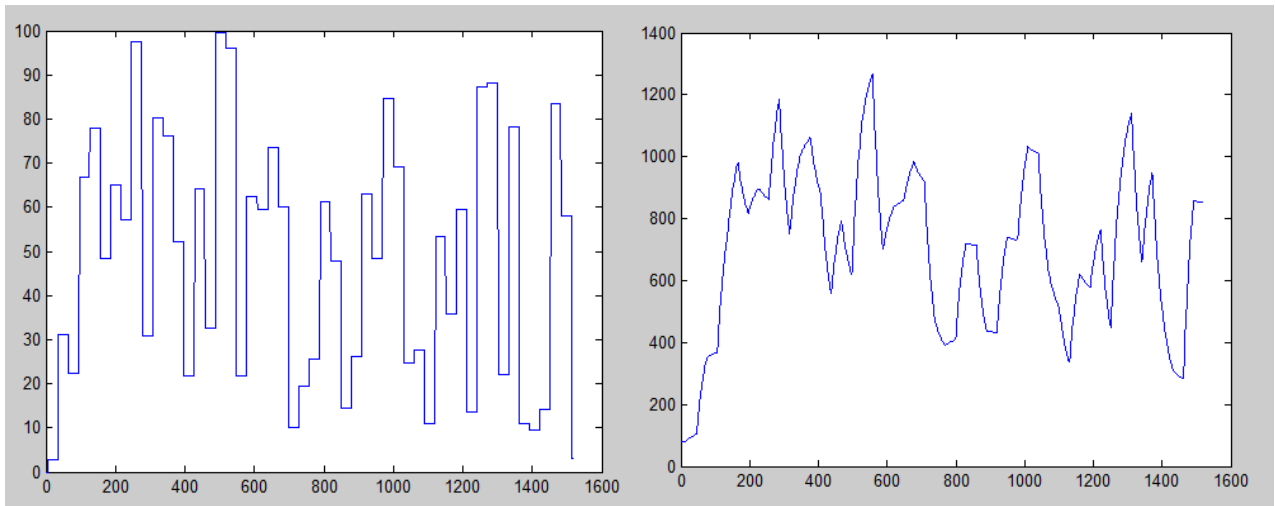


Рисунок 2.6 – Отримання перевірочних даних

У результаті виконання плану експерименту проведено всеосяжне дослідження об'єкта керування та отримані динамічна характеристика, дані для побудови статичної характеристики, дані при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані.

Дані отримані в SCADA системі zenon було імпортовано до математичного пакета MATLAB з метою подальшої обробки (рис. 2.7). Змінні які відповідають даним динамічної характеристики “Dynamic_Level”, “Dynamic_Temperature”, даним для побудови статичної характеристики “Static_Level”, “Static_Temperature”, даним отриманим при П-образному керуючому впливі “P_Level”, “P_Temperature”, перевірочним даним “Check_Level”, “Check_Temperature”. Суфікс “_Level” позначає керуючий вплив, а суфікс “_Temperature” дійсне значення.

Name	Value	Min	Max
Check_Level	1519x1 double	0	99.7000
Check_Temperature	1519x1 double	80	1268
Dynamic_Level	342x1 double	0	100
Dynamic_Temperat...	342x1 double	80	1.4112e+03
P_Level	657x1 double	0	100
P_Temperature	657x1 double	80	1.4112e+03
Static_Level	1534x1 double	0	100
Static_Temperature	1534x1 double	80	1.4113e+03

Рисунок 2.7 – Імпортовані данні

Для спрощення подальшого аналізу дані були конвертовані до об'єктів типу "iddata":

```
>> Dynamic_Raw = iddata(Dynamic_Temperature, Dynamic_Level, 1.0);
>> Static_Raw = iddata(Static_Temperature, Static_Level, 1.0);
>> P_Raw = iddata(P_Temperature, P_Level, 1.0);
>> Check_Raw = iddata(Check_Temperature, Check_Level, 1.0);
```

З отриманих даних була видалена статична складова:

```
>> Dynamic_Raw_Trend = getTrend(Dynamic_Raw);
>> Dynamic_Raw_Trend.OutputOffset = 80;
>> Dynamic = detrend(Dynamic_Raw, Dynamic_Raw_Trend);
>> Static_Raw_Trend = getTrend(Static_Raw);
>> Static_Raw_Trend.OutputOffset = 80;
>> Static = detrend(Static_Raw, Static_Raw_Trend);
>> P_Raw_Trend = getTrend(P_Raw);
>> P_Raw_Trend.OutputOffset = 80;
>> P = detrend(P_Raw, P_Raw_Trend);
>> Check_Raw_Trend = getTrend(Check_Raw);
>> Check_Raw_Trend.OutputOffset = 80;
>> Check = detrend(Check_Raw, Check_Raw_Trend);
```

Дані температури отримані при П-образному керуючому впливі було розділено на дві змінні. До першої змінної "P_First" увійшли данні етапу підйому дійсного значення, а до другої змінної "P_Second" увійшли данні етапу спаду дійсного значення.

З метою оцінки структури моделі об'єкта керування проаналізуємо динамічну характеристику об'єкта керування (рис. 3.8). Після подачі керуючого впливу температура на протязі 10 секунд не змінюється, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє запізненням. Крім того на динамічній характеристиці відсутня інерція, характер перехідного процесу монотонний, а кількість перегинів дорівнює одному. На підставі цього можливо

зробити висновок, що модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки першого порядку з запізненням.

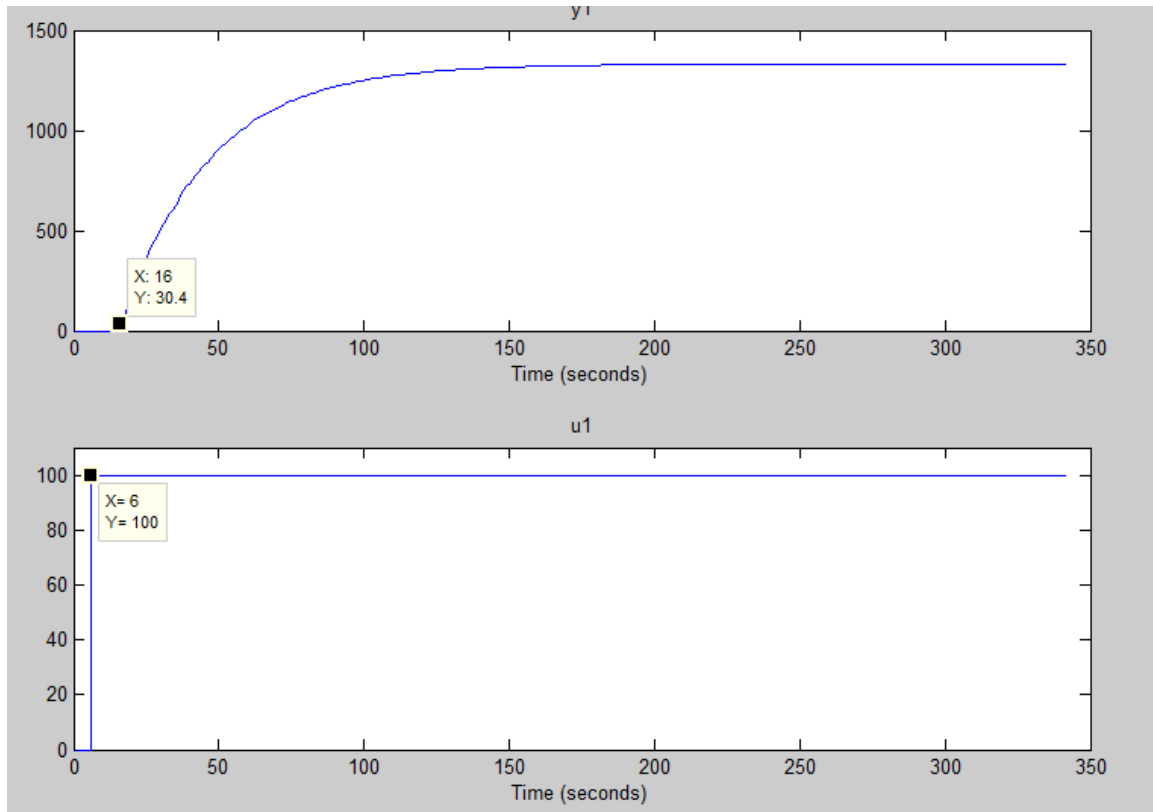


Рисунок 2.8 – Динамічна характеристика

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 2.10):

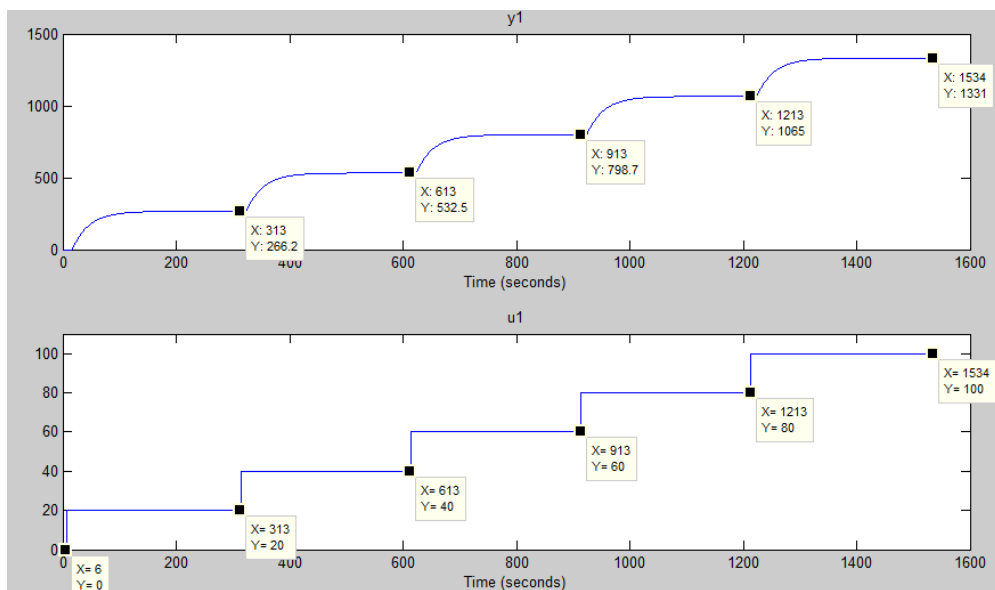


Рисунок 2.9 – Дані для отримання статичної характеристики

```
>> Static_Input_Vector = [0, 20, 40, 60, 80, 100];
>> Static_Output_Vector = [0, 266.2, 532.5, 798.7, 1065, 1331];
>> plot(Static_Input_Vector, Static_Output_Vector, '-ok', 'LineWidth', 3);
```

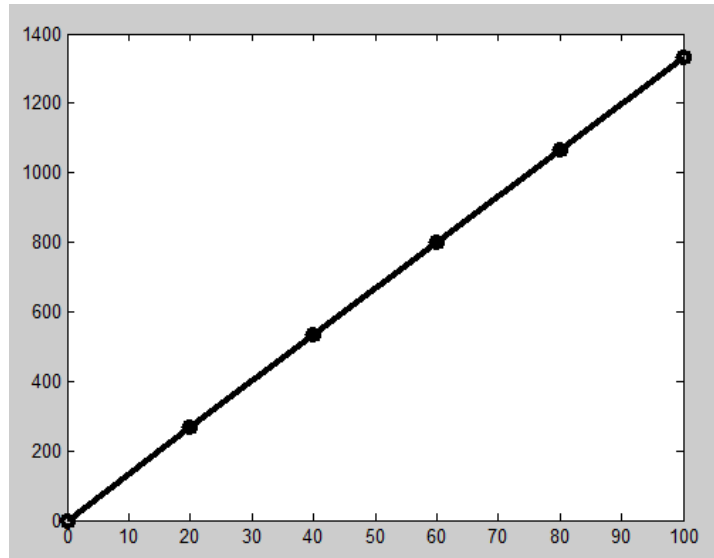


Рисунок 2.10 – Статична характеристика

Проаналізуємо характеристику отриману при П-образному керуючому впливі (рис. 2.11). Змінення рівня відкриття заслінки від 0 % до 100 % приводить до відповідного збільшення температури повітря, а зменшення рівня від 100 % до 0 % приводить до відповідного зменшення температури повітря. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт не володіє інтегруючими властивостями є об'єктом з самовирівнюванням.

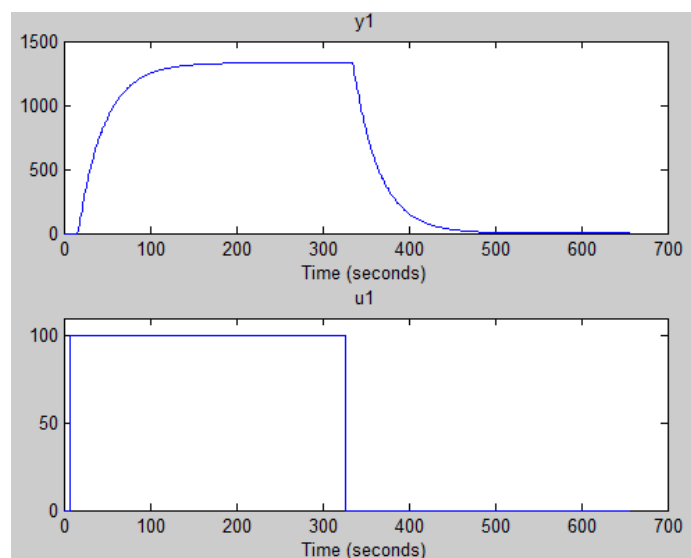


Рисунок 2.11 – Характеристика при П-образному керуючому впливі

На підставі даних отриманих при П-образному керуючому впливі виконаємо перевірку об'єкта керування на симетричність:

```
>> std(P_First) - std(P_Second)
ans =
    1.0354
```

Так як різниця стандартних відхилень етапу підйому до етапу спаду відносно діапазону зміни температури 1600 °С становить 1.0354 %, що є значно меншим ніж величина технічної похибки 10 %, об'єкт керування є симетричним.

Виходячи з проведеного аналізу експериментальних даних можливо зробити висновок, що об'єкт керування може бути представлений в виді аперіодичної ланки першого порядку або більш високого порядку з запізненням:

$$W(s) = \frac{k \times e^{-\tau s}}{Ts + 1}$$

де $W(s)$ – передавальна функція, τ – коефіцієнт підсилення, k – постійна часу (с),

k – час запізнення (с).

Так як статична характеристика являє собою пряму лінію, вона може бути описана поліномом першого порядку:

```
pol = polyfit(Static_Input_Vector, Static_Output_Vector, 1); pol
pol =
```

```
13.3109  0.0238
```

Перший коефіцієнт полінома відповідає, коефіцієнту підсилення 13.3109. Другий коефіцієнт відповідає зміщення щодо початку координат. Так як значення статичного зміщення вже компенсовано, отриманий коефіцієнт – 0.0238 є похибкою обчислень, тому йому присвоєно значення 0.

Подальше визначення параметрів об'єкта керування виконано за допомогою “System Identification Toolbox”, для якого у якості робочих даних використані данні динамічної характеристики “Dynamic”, а перевірочні данні

“Check” для оцінки відповідності моделі об’єкта керування, так як ці данні раніше не використовувалися при ідентифікації (рис. 3.8).

Для визначення параметрів моделі об’єкта керування використано метод “Process Models”. Налаштування параметрів ідентифікації наведено на рисунку 2.12.

Перевірка результатів розрахунків наведена на рисунку 2.12 та в таблиці 2.1.

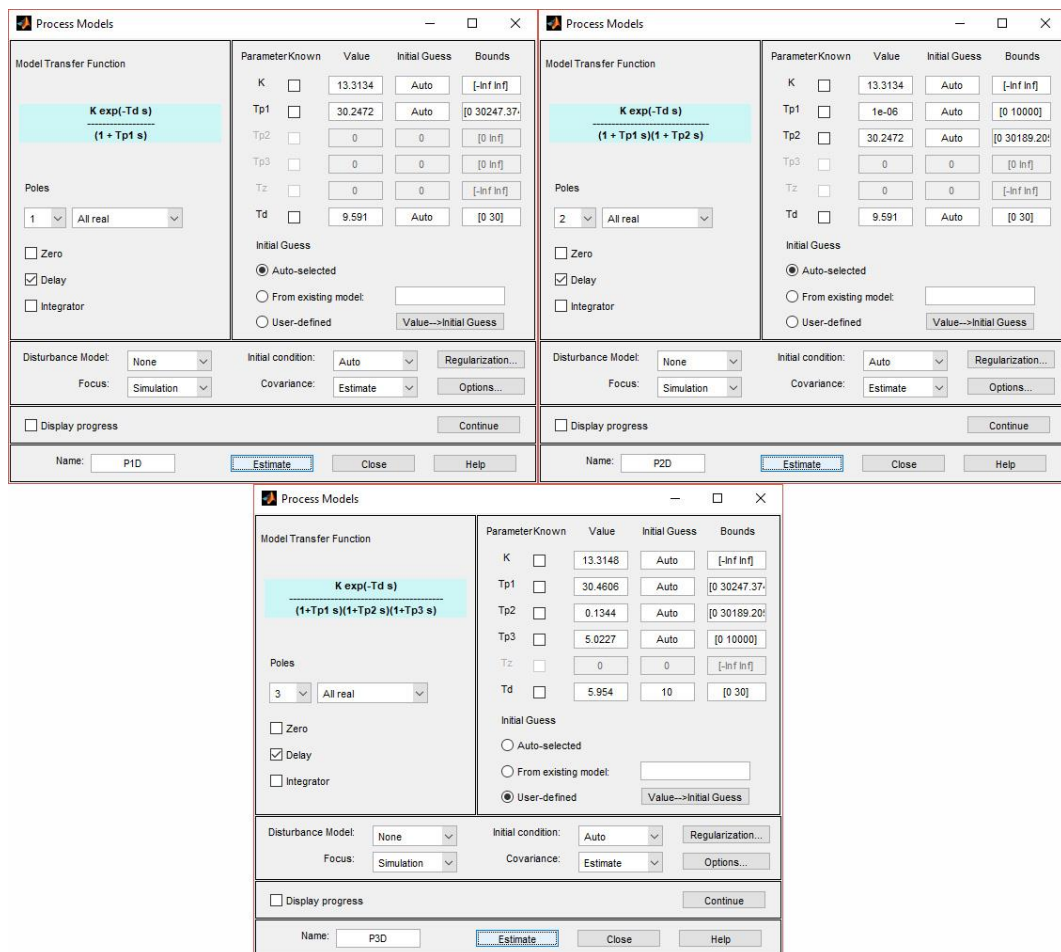


Рисунок 2.12 – Налаштування Process Models

Отримана модель “P1D” відповідає об’єкту керування на 98.53 % за нормованим середнім квадратичним відхиленням, по перевіроочним даним та на 99.53 % по динамічній характеристиці.

Модель “P2D” відповідає об’єкта керування на 98.53 % за нормованим середнє квадратичним відхиленням, по перевіроочним даним та на 99,53 % по динамічній характеристиці.

Модель “P3D” відповідає об’єкта керування на 93,85 % за нормованим середнє квадратичним відхиленням, по перевірочних даних та на 96,82 % по динамічній характеристиці. Виходячи з того, що модель “P2D” має незначну другу постійну часу, для створення моделі об’єкта керування обрані параметри моделі “P1D”.

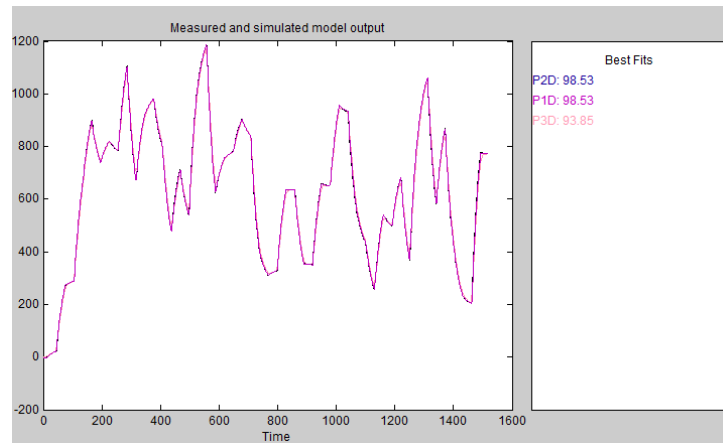


Рисунок 3.13 – Перевірка результатів розрахунків

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків параметрів об’єктів керування

Назва параметру	P1D	P2D	P3D
k	13.313	13.313	13.315
T_1, c	30.247	1e-06	30.461
T_2, c	-	30.247	0.1344
T_3, c	-	-	5.0227
τ	9.591	9.591	5.954
Dynamic – Динамічна характеристика			
NRMSE, %	99.53	99.53	96.82%
FPE	2.83	2.83	200.3
MSE	2.774	2.774	127.4
Check – Перевірочні данні			
NRMSE, %	98,53	98,53	93,85

На підставі виконаних досліджень отримана модель об’єкта керування у виді передавальної функції:

$$W(s) = \frac{13.313 \times e^{-10s}}{30.247s + 1}$$

За результатами ідентифікації розроблена модель об’єкта керування в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink (рис. 3.14) у вигляді передавальної функції.

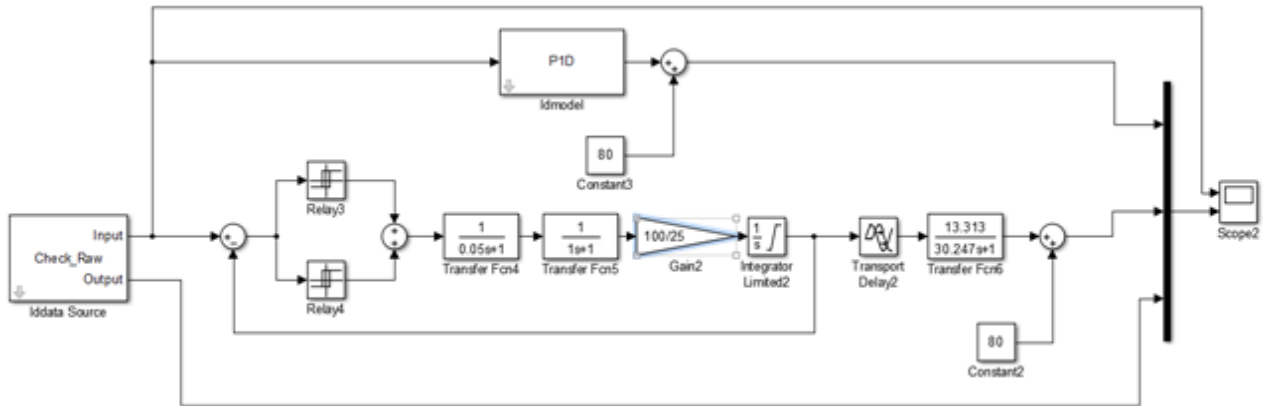


Рисунок 2.14 – Модель об’єкта керування в середовищі Simulink

Результати моделювання об’єкта керування з використання перевірочних даних наведені на рисунку 3.15. Отримана модель об’єкта у вигляді передавальної функції не відрізняється від моделі об’єкта отриманої у програмному забезпеченню “System identification toolbox”. Крім того результати моделювання практично не відрізняються від перевірочних даних. Таким чином отриману модель у вигляді передавальної функції може бути використано замість моделі отриманої на етапі параметричної ідентифікації.

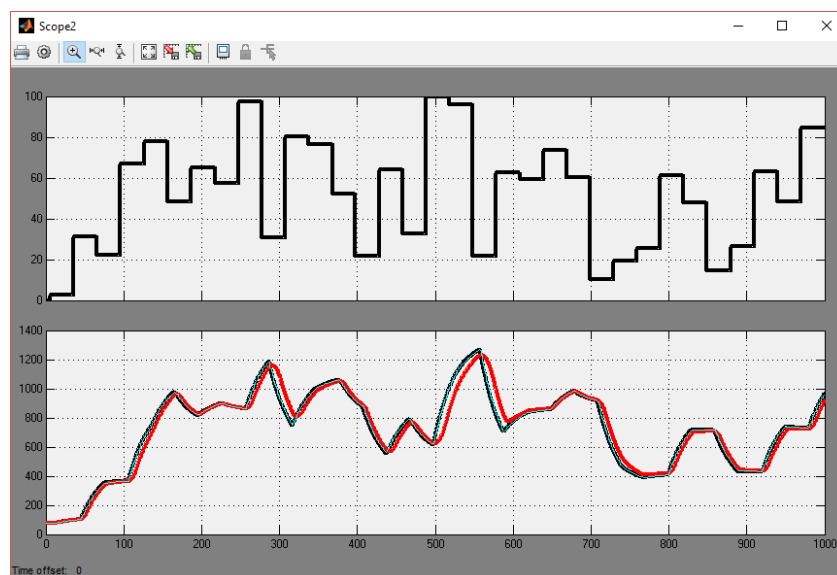


Рисунок 2.15 – Результати моделювання

На підставі результатів моделювання та перевірочних даних виконано аналіз адекватності моделі об’єкта керування за методом нормованого середнє квадратичного відхилення:

```
>> nrmse = goodnessOfFit(Model, Object, 'NRMSE') * 100.0
```

nrmse =

98.8803

Згідно з результатами модель відповідна до об'єкта керування на 98.8803%, а тому є адекватною та може бути використана для моделювання об'єкта керування в подальших дослідженнях.

Остаточна модель об'єкта керування наведена на рисунку 2.16, а результати моделювання на рисунку 2.17.

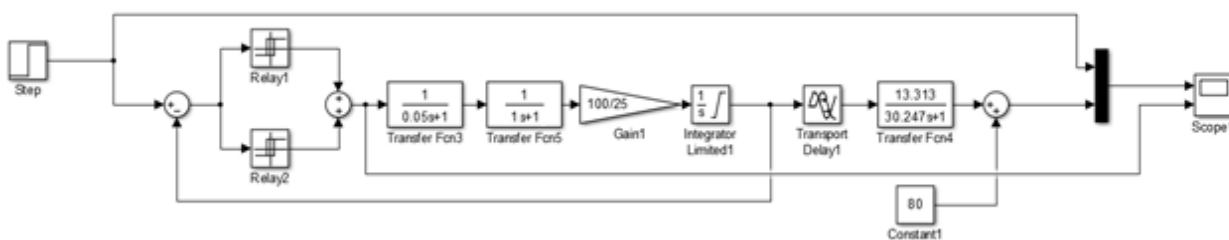


Рисунок 2.16 – Остаточна модель об'єкта керування

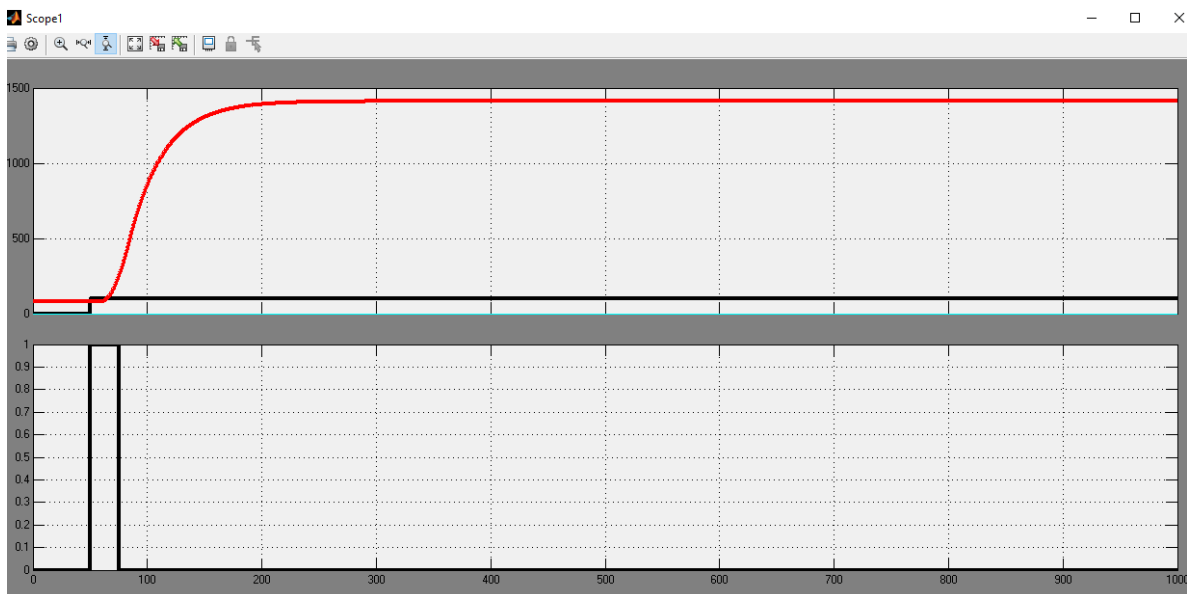


Рисунок 2.17 – Результати моделювання

2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування

Для отриманої моделі об'єкта керування розрахували значення уставки:

$$R = K(U_{max} - U_{min}) * \frac{70\%}{100\%} = 1600 * 0.7 = 1120$$

де R – значення уставки, K – загальний коефіцієнт посилення об'єкта керування, U_{max} – максимальне значення керуючого впливу, U_{min} – мінімальне значення керуючого впливу.

Розрахували значення керуючого впливу яке забезпечує стабілізацію дійсного значення на рівні уставки:

$$U_{ст} = \frac{R}{K'} = \frac{1120 - 80}{13.313} = 78.12$$

де $U_{ст}$ – значення керуючого впливу яке забезпечує стабілізацію дійсного значення на рівні уставки.

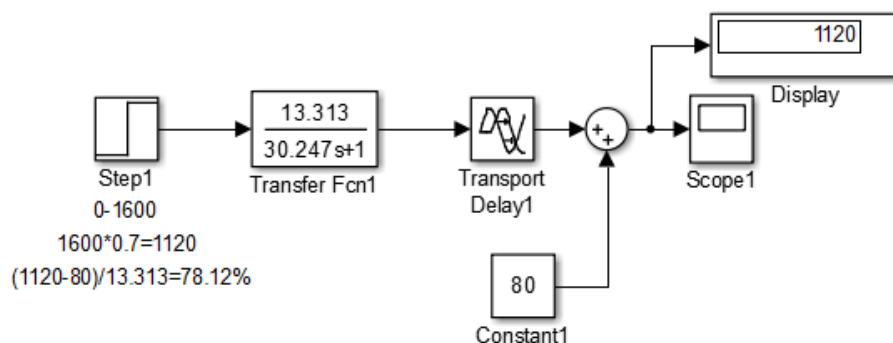


Рисунок 2.18 – Результати моделювання

Розрахувати параметри оптимального регулятора на базі принципу максимуму Понтрягіна. Для об'єкта відповідної аперіодичній ланці першого порядку:

$$t_1 = T * \ln \frac{K * U_{max}}{K * U_{max} - R}$$

Розраховуємо за допомогою MATLAB:

```
modelObject =
|
|          13.31
|   exp(-9.54*s) * -----
|          30.25 s + 1
|
| Continuous-time transfer function.
|
| Расчет параметров оптимального регулятора для аперiodического звена первого порядка
|
| t1 = 45.962056, u = 78.119132
```

Рисунок 2.18 – Результати розрахунку в Matlab

Використовуючи модель об'єкта керування отримати перехідні характеристики для максимального керуючого впливу, для керуючого впливу який забезпечує стабілізацію дійсного значення на рівні уставки та для оптимального регулятора.

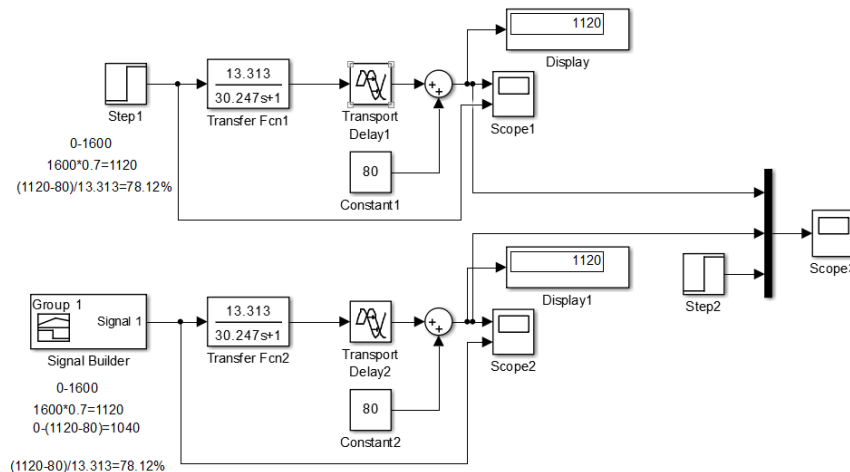


Рисунок 2.19 – Модель оптимального регулятора

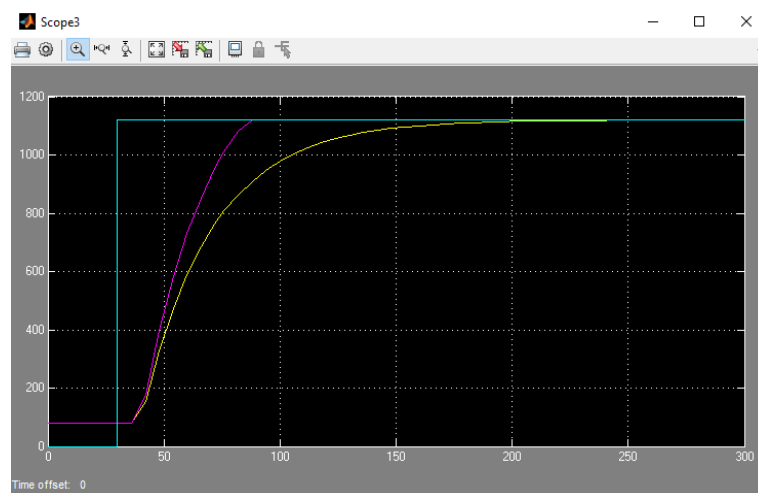


Рисунок 2.20 – Результати моделювання

Визначили для кожної характеристики такі показники, як момент досягнення дійсним значенням 90 % значення уставки, момент досягнення дійсним значенням 10 % значення уставки, момент досягнення дійсним значенням 90 % значення уставки, інтегральний критерій якості за помилкою керування та інтегральний критерій якості за керуючим впливом.

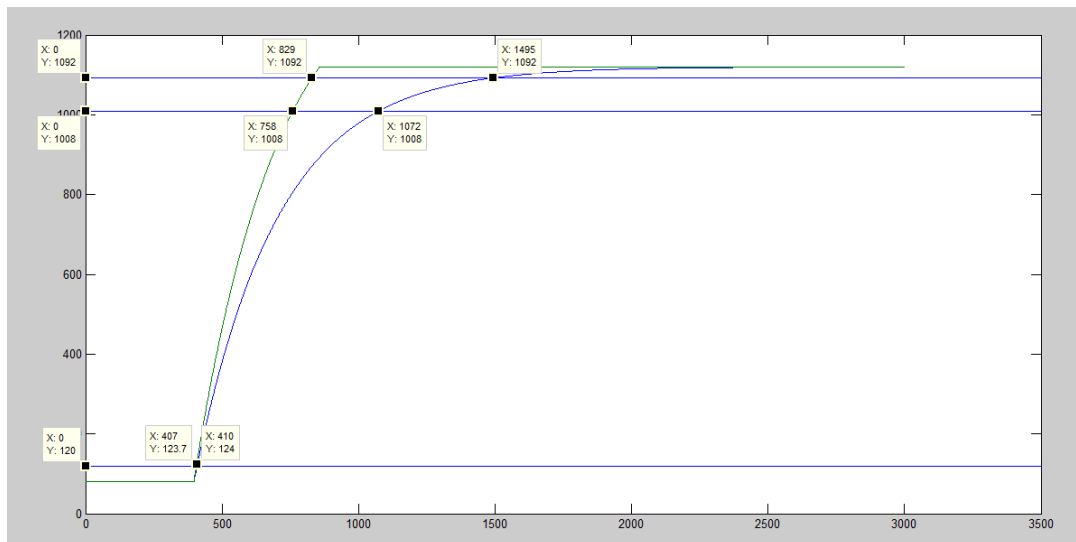


Рисунок 2.21 – Моменти досягання значень уставки

Таблиця 2.2 – Результати моделювання регуляторів

	Оптимальний регулятор	Найгірше значення
90% значення уставки, с	75.8	107.2
10% значення уставки, с	40.7	41
97.5% значення уставки, с	82.9	149.5
Час наростання, с	35.1	66.2
Час встановлення, с	42.2	83.3
інтегральний критерій якості за помилкою керування	$7.161 \cdot 10^7$	$6.392 \cdot 10^7$
інтегральний критерій якості за керуючим впливом	$9.292 \cdot 10^7$	$16.74 \cdot 10^7$

2.3 Висновки по розділу

1. На підставі аналізу технологічного процесу та апаратного забезпечення системи керування розроблено структурну схему інформаційних потоків дослідницької системи.

2. За результатами аналізу технологічного процесу та схеми інформаційних потоків дослідницької системи розроблено план експерименту, за яким отримані експериментальні дані.

3. Використовуючи експериментальні дані та аналіз структури і функціонування об'єкта керування проведена структурна ідентифікація, результатом якої є запропонована модель об'єкта керування у вигляді передавальної функції відповідної аперіодичній ланці першого порядку з

запізненням. За результатами параметричної ідентифікації це припущення підтверджено та отримані параметри моделі об'єкта керування.

4. Виходячи з результатів параметричної та структурної ідентифікації розроблено імітаційну модель об'єкта керування в графічному середовищі Simulink математичного пакету MATLAB. Порівняння даних отриманих на моделі з перевірочними даними показало їх відповідність на 98.8803 %.

5. Враховуючи аналіз технологічного процесу, об'єкта керування, його структури і функціонування та відповідність результатів моделювання, встановлено, що отримана імітаційна модель є адекватною до об'єкта керування.

6. Для даного об'єкта керування розраховано значення для оптимального регулятора, які у подальшому можуть бути використані для синтезу системи керування та розробки цифрової моделі об'єкта керування.

3. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Модель системи управління

У результаті проведеної у другому розділі ідентифікації отримана модель об'єкту управління. Проведемо дослідження згідно з висунутими у тому ж розділі критеріями якості та розглянемо поведінку ОУ з використанням декількох типів регуляторів, та перевіримо на відповідність критеріям якості.

Розрахунок параметрів для PI, PID регуляторів проведемо методами PIDTUNE, AMIGO:

Розрахунок параметрів PID регулятора за допомогою метода PIDTUNE:

```
Object=tf([13.313],[30.297 1], 'ioDelay',9.591)
```

```
Options=pidtuneOptions('PhaseMargin', 60)
```

```
C=pidtune(Object,'PIDF',Options)
```

```
pidtool(Object, C)
```

```
Kp=C.Kp
```

```
Ti=C.Kp/C.Ki
```

```
Td=C.Kd
```

```
Td_N=C.Tf
```

В результаті отримано: $K_p = 0.1366$, $K_i = 0.00452$, $K_d = 0.124$, $T_f = 0.149$

Аналогічно отримуємо параметри PI регулятора.

Таблиця 3.1 – Параметри регуляторів розраховані методом PIDTUNE

	K_p	K_i	T_i	$T_d=K_d$	T_f
PI	0.125	0.0041	30.4831		
PID	0.137	0.00452	30.2056	0.124	0.149

Для визначення параметрів регуляторів за методом AMIGO необхідно розрахувати параметри, що передаються за функцією, а саме: K - коефіцієнта підсилення інтегруючої ланки, T – постійної часу, τ - затримки, що відповідає першому перетину.

Результати апроксимації, виконані у математичному пакеті Matlab:

$$K = 13.258, T = 30.112, \tau = 9.587$$

Відповідно до результатів апроксимації розрахувати параметри ПІ регулятора за методом AMIGO:

Розрахунок P-регулятора:

$$K_p = (0.3 * T) / (K * \tau)$$

Розрахунок PI-регулятора:

$$K_p = 0.15 / K + (0.35 - (T * \tau) / (T + \tau)^2) * T / (K * \tau)$$

$$K_p = 0.0508$$

$$T_i = 0.35 * \tau + (13 * \tau * T^2) / (T^2 + 12 * T * \tau + 7 * \tau^2)$$

$$T_i = 25.8923$$

Розрахунок PID-регулятора:

$$K_p = 1 / K * (0.2 + (0.45 * T) / \tau)$$

$$K_p = 0.1217$$

$$T_i = (0.8 * T + 0.4 * \tau) * \tau / (0.1 * T + \tau)$$

$$T_i = 21.2500$$

$$T_d = (0.5 * T * \tau) / (T + 0.3 * \tau)$$

$$T_d = 4.3756$$

$$N = 100$$

Таблиця 3.2 – Параметри регуляторів розраховані методом AMIGO

	K_p	T_i	$T_d=K_d$	T_f
PI	0.0508	25.8923		
PID	0.1217	21.2500	4.3756	0.043756

Побудуємо модель системи керування у пакеті Matlab та реалізуємо усі типи регуляторів, перевіривши їх роботу з параметрами, що розраховані методами PIDTUNE та AMIGO:

Для подальшого дослідження, проаналізуємо PI-регулятор, який за допомогою інтегруючої складової може компенсувати статичну помилку.

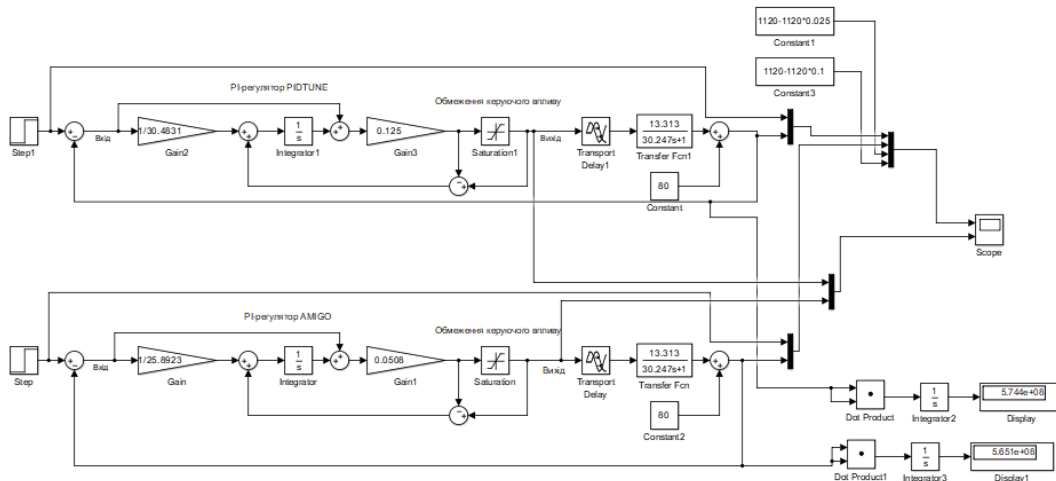


Рисунок 3.3 – Модель системи керування з ПІ-регулятором за методами PIDTUNE та AMIGO.

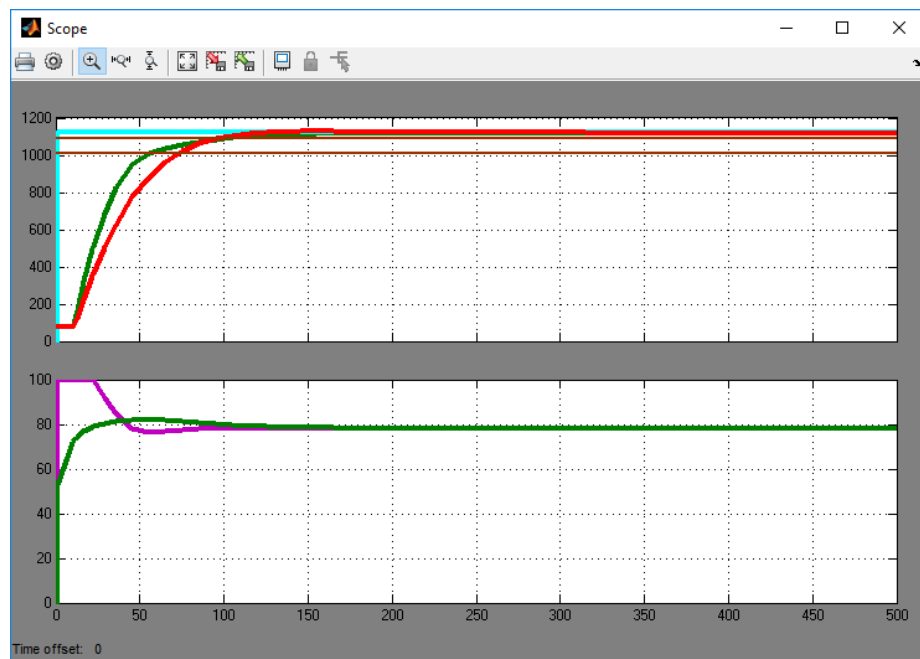


Рисунок 3.4– Результати моделювання: криві 1 – вихід об'єкта та ПІ-регулятора (PIDTUNE); криві 2 – вихід об'єкта та ПІ-регулятора (AMIGO).

Таблиця 3.4 – Оцінка ПІ-регулятора відповідно до критеріїв

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	°C	%	
1	PIDTUNE	56.6		103.2		-	-	$5.744 \cdot 10^8$
2	AMIGO	73.25		97.51		10	-	$5.651 \cdot 10^8$

Межі досягнення точки наростання та та точки встановлення позначено на графіку коричневим кольором.

Проаналізувавши результати моделювання системи керування з використанням PI-регулятора, з параметрами, що розраховані методами PIDTUNE та AMIGO, можна зробити висновок, що можливе при використанні PI-регулятора, перехідний процес має швидкий час встановлення, незначні перерегулювання та коливання. Для подальшого дослідження, проаналізуємо PID-регулятор.

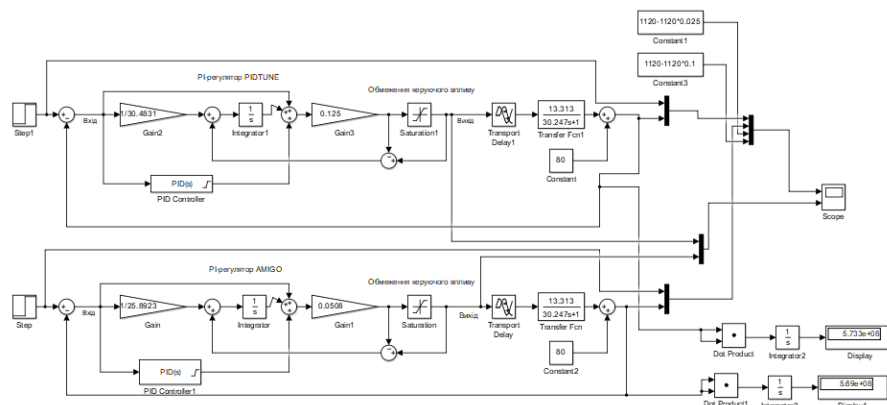


Рисунок 3.5 – Модель системи керування з PID-регулятором за методами PIDTUNE та AMIGO

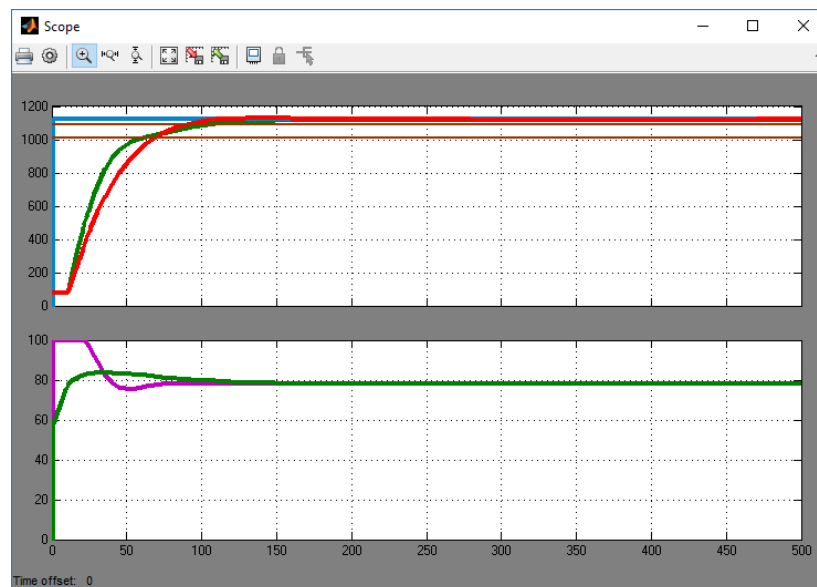


Рисунок 3.6– Результати моделювання: криві 1 – вихід об'єкта та PID-регулятора з параметрами, що розраховані за методом PIDTUNE; криві 2 – вихід об'єкта та PID-регулятора з параметрами, що розраховані за методом AMIGO.

Таблиця 3.8 – Оцінка PID-регулятора відповідно до критеріїв

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка $\cdot 10^8$
		с	%	с	%	°С	%	
1	PIDTUNE	60.2		105.62		-	-	5.733
2	AMIGO	68.32		90.8		10	-	5.69

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням PID-регулятора, з параметрами, що розраховані методами PIDTUNE та AMIGO, можна зробити висновок, що використання PI-регулятора найбільш сприятливе для функціонування системи управління, що проектується у даній роботі, так як показую найшвидший перехідний процес з мінімальними перерегулюваннями. Тому надалі використовувати будемо PI-регулятор з наступними параметрами:

$$K_p=0.125, T_i=30.4831$$

3.2 Дослідження якості функціонування системи управління

Остаточний вигляд системи управління:

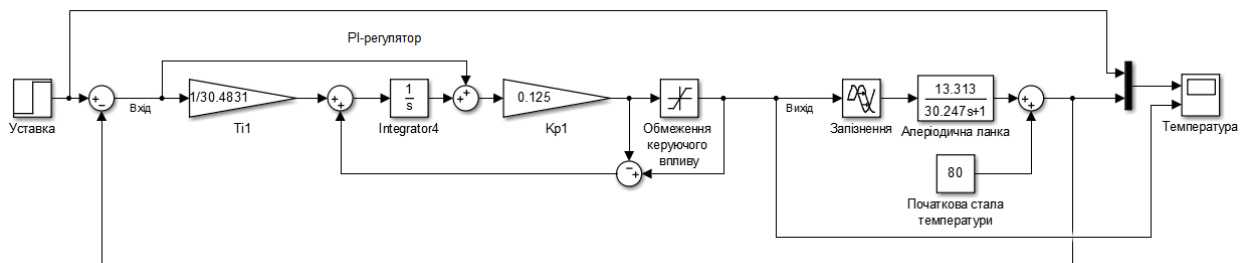


Рисунок 3.9– Остаточна модель системи управління

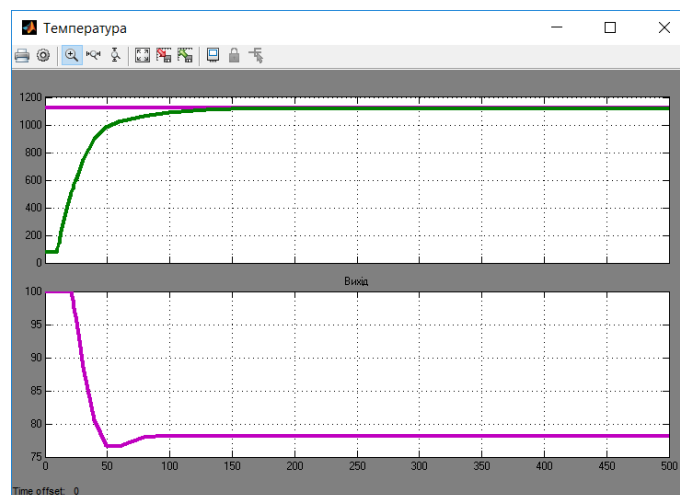


Рисунок 3.10– Результати моделювання

Дослідимо роботу системи управління в умовах технологічного процесу розігрітого конвертора, а саме, перевіримо робастність системи щодо збурення за умов додавання у конвертор нової порції штейну та при зміні властивостей та змісту штейну. Згідно з критеріями оцінки, температура в об'єкті управління повинна зберігатись у межах від 1000 до 1350 °С, а час перехідного процесу повинен бути не більш ніж 90 с.

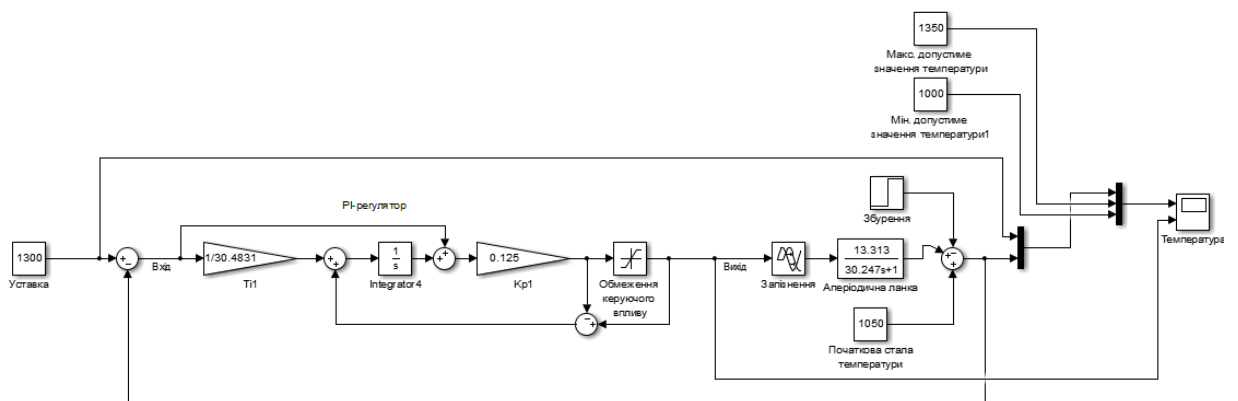


Рисунок 3.13– Модель перевірки СУ на збурення.

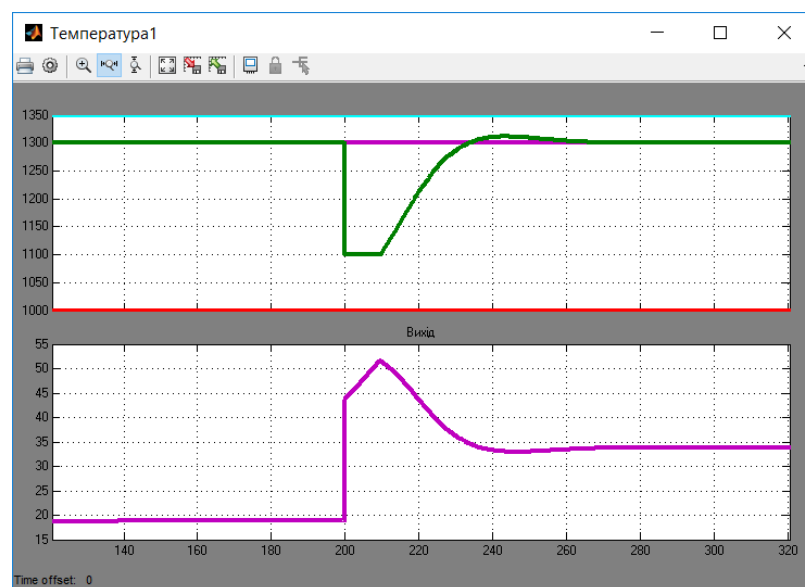


Рисунок 3.14– Результати моделювання

Перевірка моделі на збурення була проведена шляхом додавання збурюючого впливу на 200 с, що моделює ситуацію, при якій в розігрітій до робочої температури конвертор додається нова порція штейну. При

моделюванні спостерігаються незначні перерегулювання, які знаходяться в межах норми.

Таблиця 3.10 – Оцінка результатів моделювання PI-регулятора відповідно до критеріїв.

Час встановлення		Перерегулювання	
с	%	°C	%
64.35	-	11.3	0.86

Далі розглянемо ситуацію при зміні властивостей штейну, змінюючи параметр T з кроком в 2%, при цьому додається збурю чий вплив на 200 с.

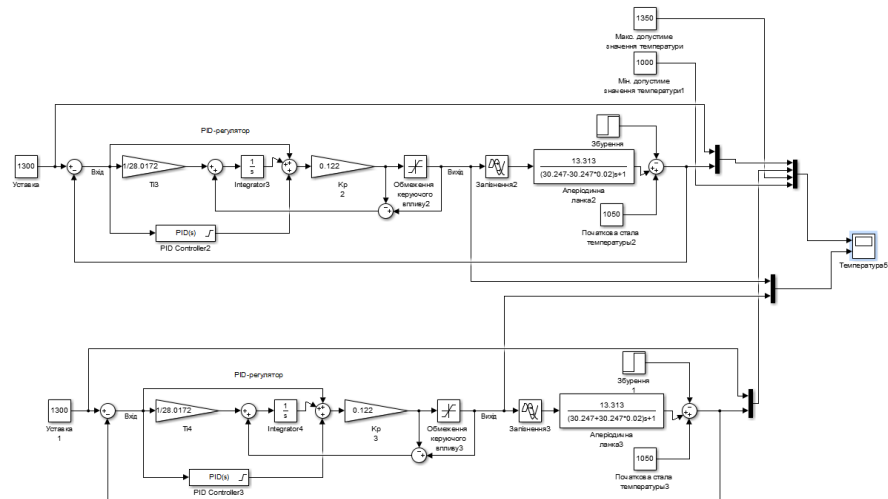


Рисунок 3.15– Модель перевірки СУ на робастність при $T+2\%$ та $T-2\%$.

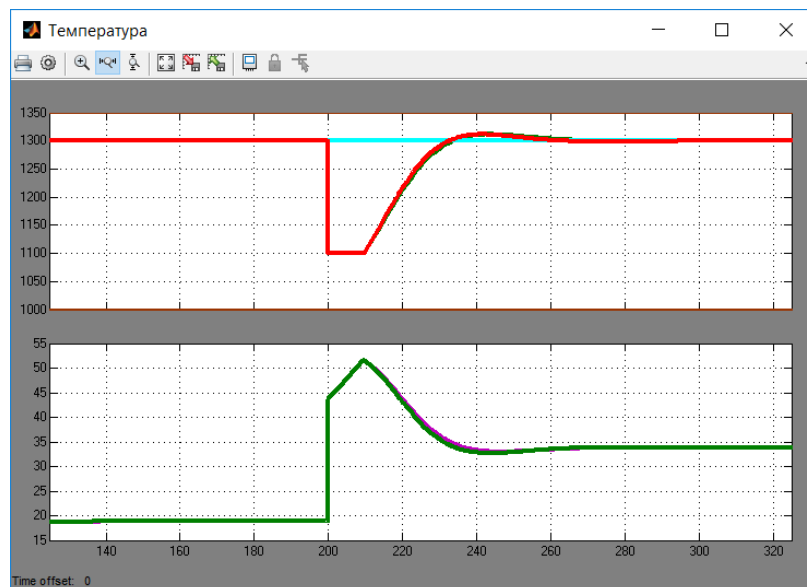


Рисунок 3.15– Результати моделювання при $T+2\%$ та $T-2\%$

Аналогічно проводяться моделювання зі значенням від $T-14\%$ до $T+14\%$ з кроком в 2% .

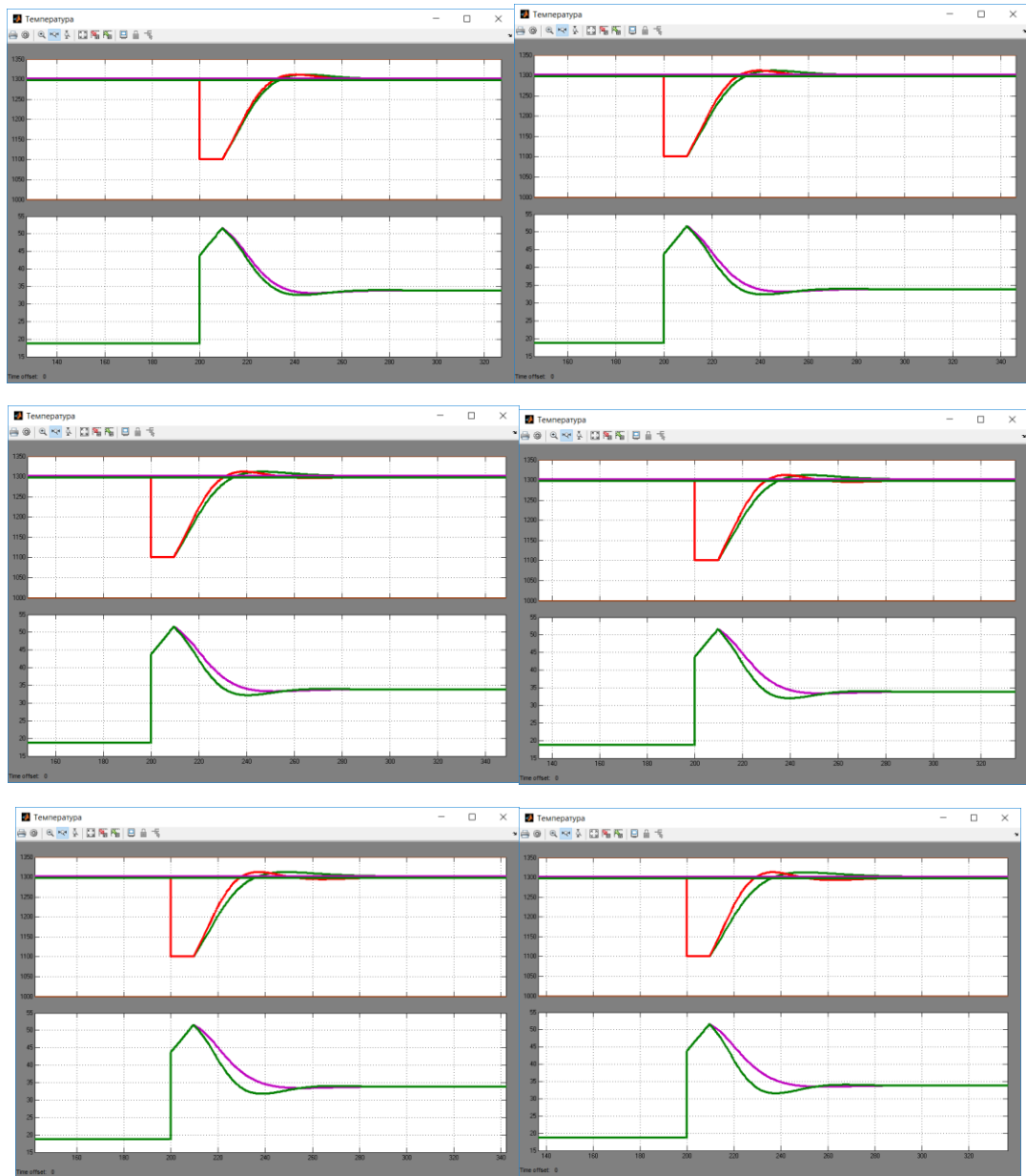


Рисунок 3.16– Результати моделювання при $T \pm 4\%$, $T \pm 6\%$, $T \pm 8\%$, $T \pm 10\%$, $T \pm 12\%$ та $T \pm 14\%$

Таблиця 3.11 – Оцінка результатів моделювання PID-регулятора при зміні значень T

	Час встановлення, с	Перерегулювання, °C
$T+16\%$	97.52	12.9
$T+14\%$	93.05	12.4
$T+12\%$	88.05	12.2
$T+10\%$	85.62	11.9
$T+8\%$	77.35	11.8

Продовження таблиці 3.11.

T+6%	72.36	11.5
T+4%	68.03	11.4
T+2%	65.79	11.32
T	64.35	11.3
T-2%	58.42	11.32
T-4%	56.04	11.5
T-6%	53.95	11.6
T-8%	52.15	11.9
T-10%	50.53	11.7
T-12%	49.86	12.4
T-14%	47.75	12.7
T-16%	46.69	13.6

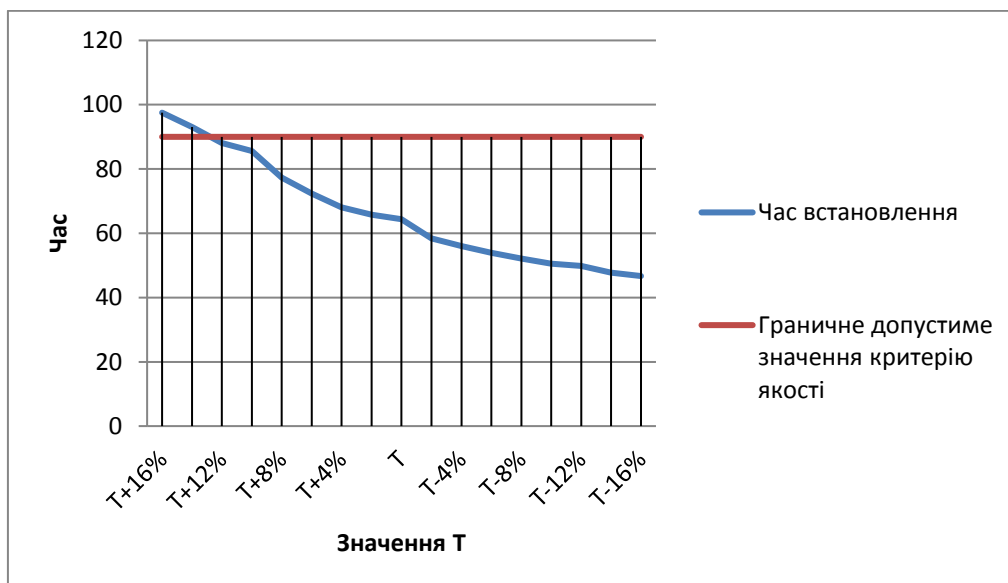


Рисунок 3.17– Залежність часу встановлення від значення T

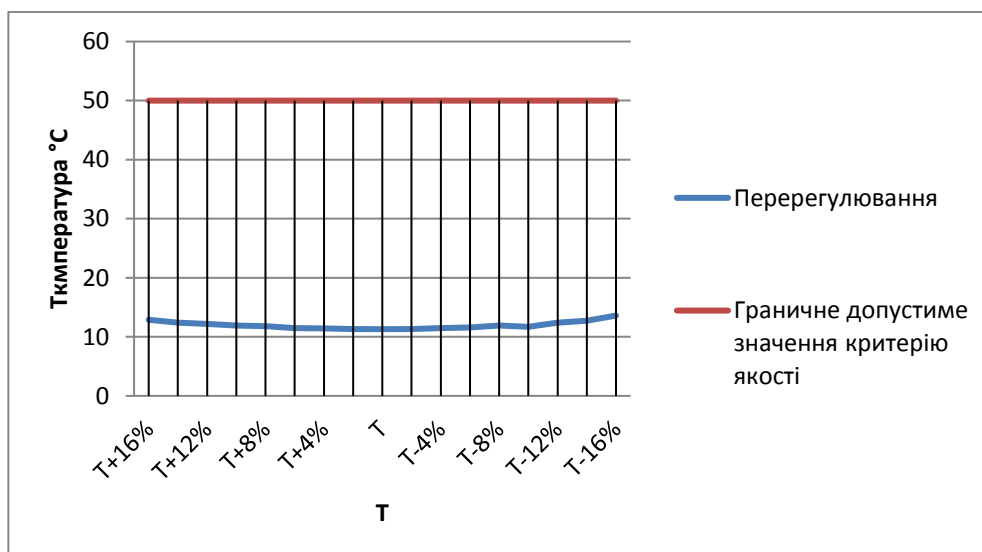


Рисунок 3.18– Залежність перерегулювання від значення T

Результати показали, що при зміні параметрів об'єкта від $T-16\%$ до $T+16\%$ регулятор виконує свої функції відповідно до вимог при значенні від $T+12\%$ до $T-16\%$, та не виконує при значеннях від $T+14\%$ до $T+16\%$, також були виявлені незначні перерегулювання, які не виходять за рамки критеріїв оцінки якості.

Далі розглянемо реакцію регулятора на зміну значення K в об'єкті керування, для цього проведемо дослідження в яких будемо змінювати значення K у діапазоні від $K+50\%$ до $K-50\%$ з кроком 5% .

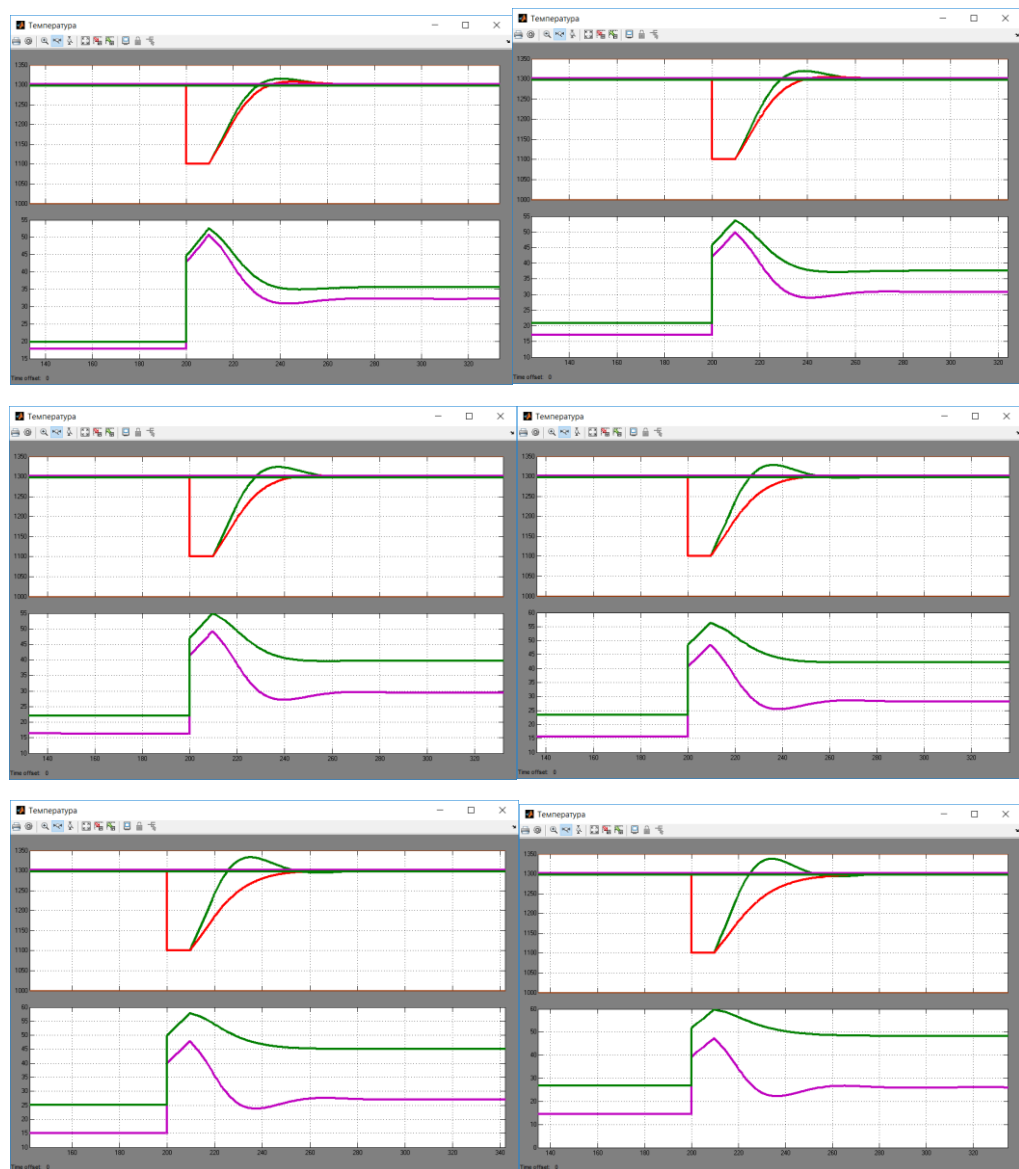


Рисунок 3.19– Результати моделювання при $K \pm 5\%$, $K \pm 10\%$, $K \pm 15\%$,
 $K \pm 20\%$, $K \pm 25\%$, $T \pm 30\%$

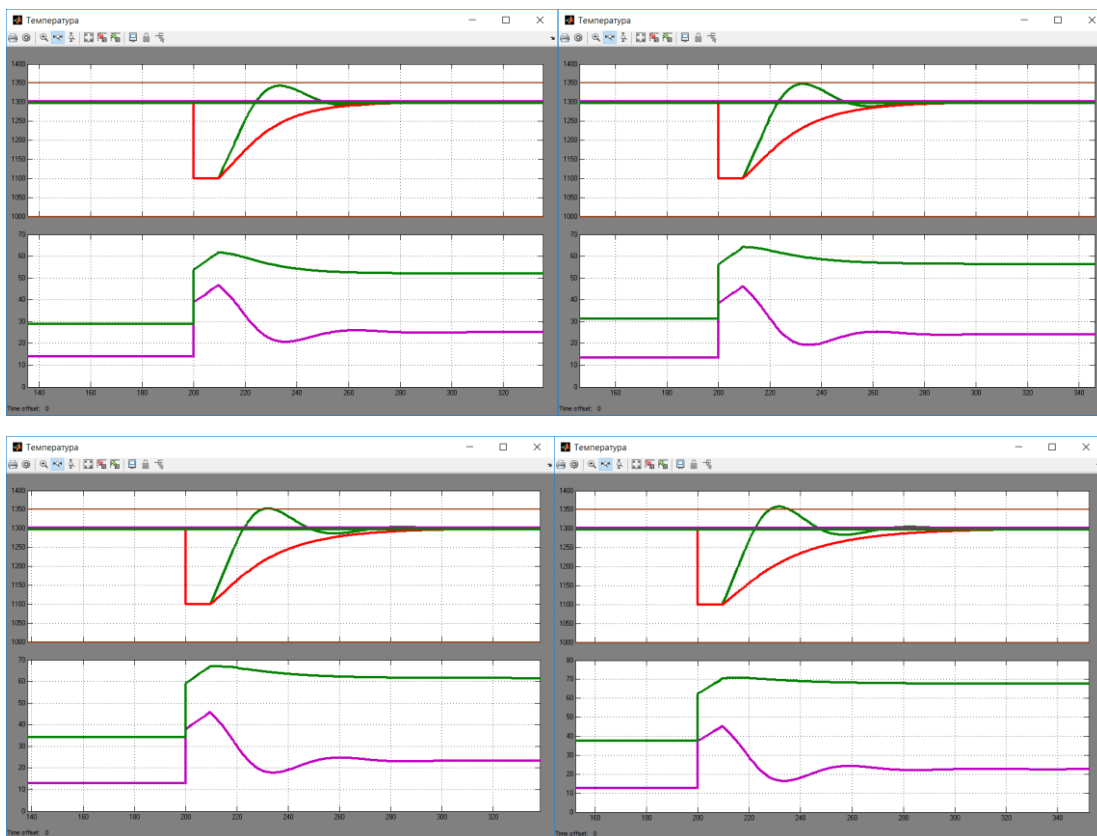


Рисунок 3.20 – Результати моделювання при
 $T \pm 35\%$, $T \pm 40\%$, $T \pm 45\%$ та $T \pm 50\%$.

Таблиця 3.11 – Оцінка результатів моделювання PID-регулятора при зміні значень K .

	Час встановлення, С	Перерегулювання, °С
K+50%	46.85	57.79
K+45%	47.9	52.63
K+40%	48.87	47.7
K+35%	52.03	42.76
K+30%	51.29	38.75
K+25%	52.66	33.1
K+20%	54.17	28.42
K+15%	55.9	23.75
K+10%	57.62	19.4
K+5%	59.45	15.2
K	64.35	11.3
K-5%	62.58	7.6
K-10%	62.85	4.6
K-15%	57.9	2.1
K-20%	55.45	-
K-25%	60.5	-
K-30%	72.4	-

Продовження таблиці 3.11

К-35%	84.86	-
К-40%	97.24	-
К-45%	112.3	-
К-50%	129.02	-

На рисунку 3.20 розглянемо на графіку залежність часу встановлення від значення К.



Рисунок 3.20– Залежність часу встановлення від К

На рисунку 3.21 розглянемо на графіку залежність пере регулювання від значення К.

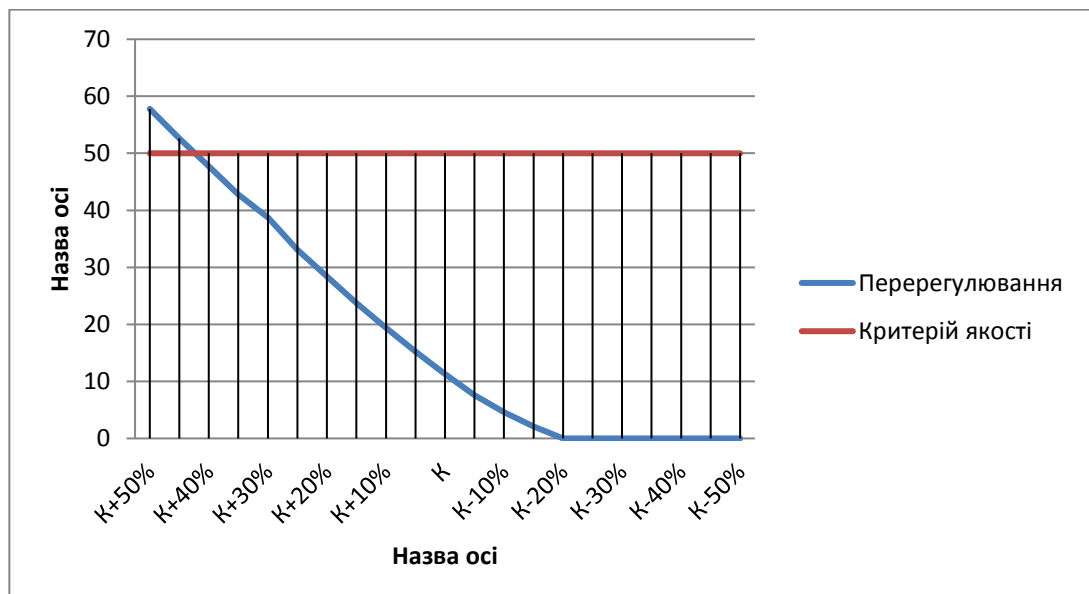


Рисунок 3.21– Залежність пере регулювання від К

Результати дослідження показали, що при зміні параметра K у діапазоні від $K+50\%$ до $K-50\%$, регулятор виконує свої функції у діапазоні значень коефіцієнта підсилення від $K+40\%$ до $K-35\%$.

3.3 Висновки до розділу

На базі оптимального регулятора, що розраховано у другому розділі розроблено модель регулятора у математичному середовищі Matlab методами PIDTUNE та AMIGO. За результатами аналізу було обрано модель PI-регулятора, що показує найкращий перехідний процес для системи керування. Перехідний процес має незначні перерегулювання, але на технологічний процес це не впливає, тому ними можна знехтувати.

Систему керування будло досліджено на робастність системи щодо збурення за умов додавання у конвертор нової порції штейну та при зміні властивостей та змісту штейну. Результати показали, що при зміні параметрів об'єкта від $T-16\%$ до $T+16\%$ регулятор виконує свої функції відповідно до вимог при значенні від $T+12\%$ до $T-16\%$, а також при значеннях коефіцієнту підсилення від $K+40\%$ до $K-35\%$. Проаналізувавши результати досліджень можна зробити висновок, що система керування адекватно працює навіть при значних змінах в параметрах об'єкта керування.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Згідно з завданням необхідно розробити програмне забезпечення системи керування та людино-машинний інтерфейс для SCADA системи zenon Supervisor 7.10. Програмне забезпечення розроблено таким чином, що в якості об'єкта керування використовується програмна модель. Модель системи керування представлена у вигляді двох програмних модулів: модуля регулятора та модуля об'єкта керування.

Результатом виконання розділу синтезу системи керування є неперервна модель системи керування, яка задовільняє сформульованим критеріям якості. Ця модель представлена на рисунку 4.1.

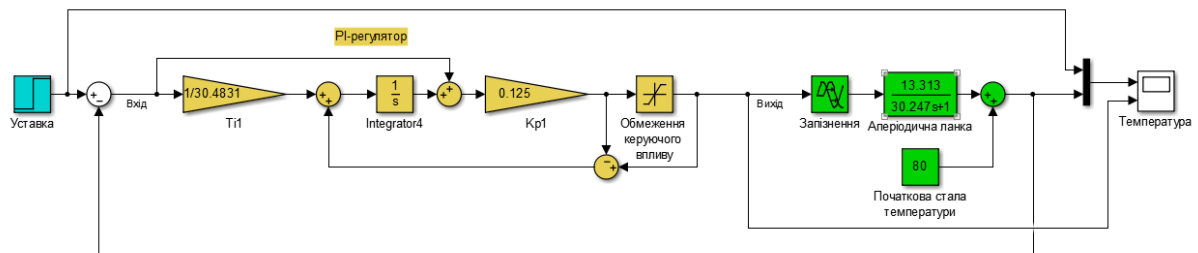


Рисунок 4.1 – Неперервна модель системи керування

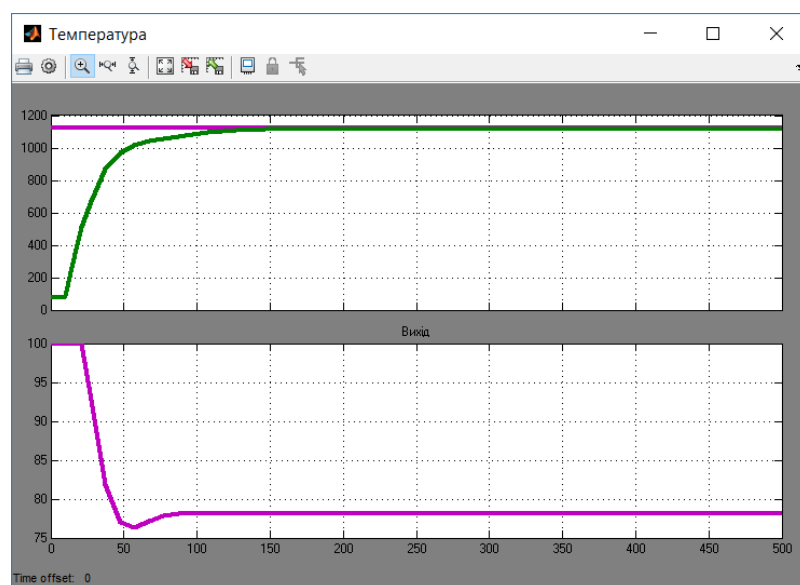


Рисунок 4.2– Результат моделювання неперервної системи

Для перетворення моделі математичного пакету MATLAB до тексту програми необхідно, щоб усі елементи моделі були цифрові. Таким чином, спочатку виконаємо заміну усіх неперервних елементів моделі системи керування на цифрові. Далі виконаємо поділ моделі на модель регулятора та модель об'єкта керування. Після чого перетворимо цифрові моделі на програмний код для програмних модулів.

Для об'єкта:

```
>> c2d(tf([13.313],[30.297 1],'InputDelay', 9.591), 0.1)
```

ans =

$$z^{(-96)} * \frac{0.003954 z + 0.03992}{z - 0.9967}$$

Sample time: 0.1 seconds

Discrete-time transfer function.

Для регулятора:

Виконаємо заміну необхідних блоків, з безперервних на цифрові.

В результаті заміни безперервних елементів моделі на цифрові, було отримано модель у наступному вигляді:

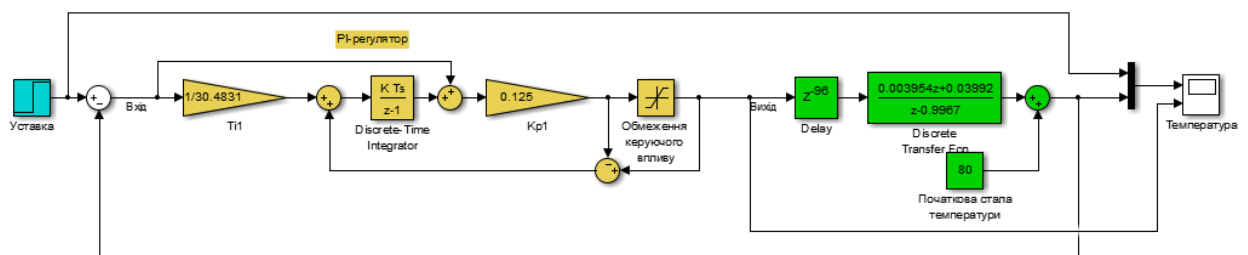


Рисунок 4.3– Цифрова модель системи управління

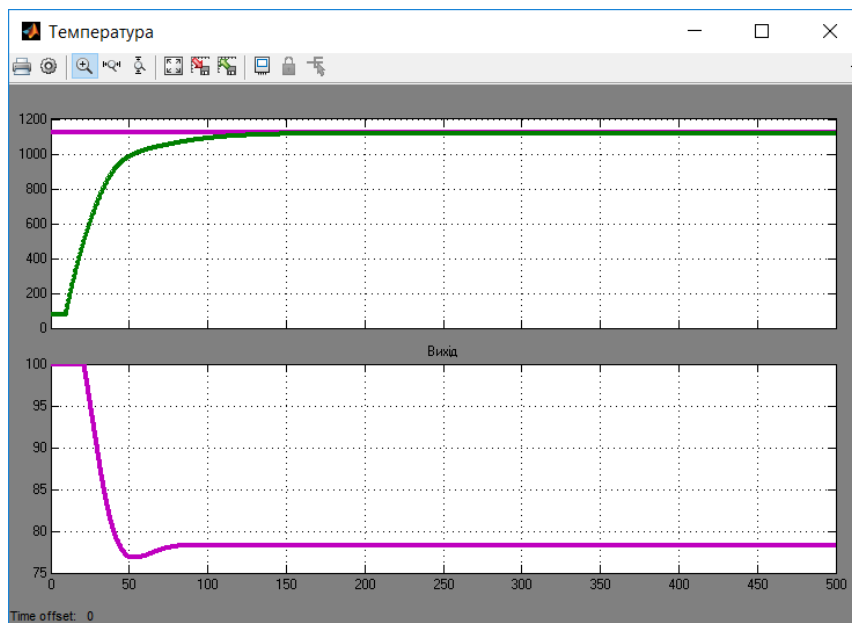


Рисунок 4.4– Результати моделювання

Оцінимо відповідність цифрової моделі системи управління безперервній моделі за нормованим середньо-квадратичним відхиленням.

```
>> goodnessOfFit(Model_Z, Model_C, 'NRMSE')*100
```

```
ans =
```

```
99.9015
```

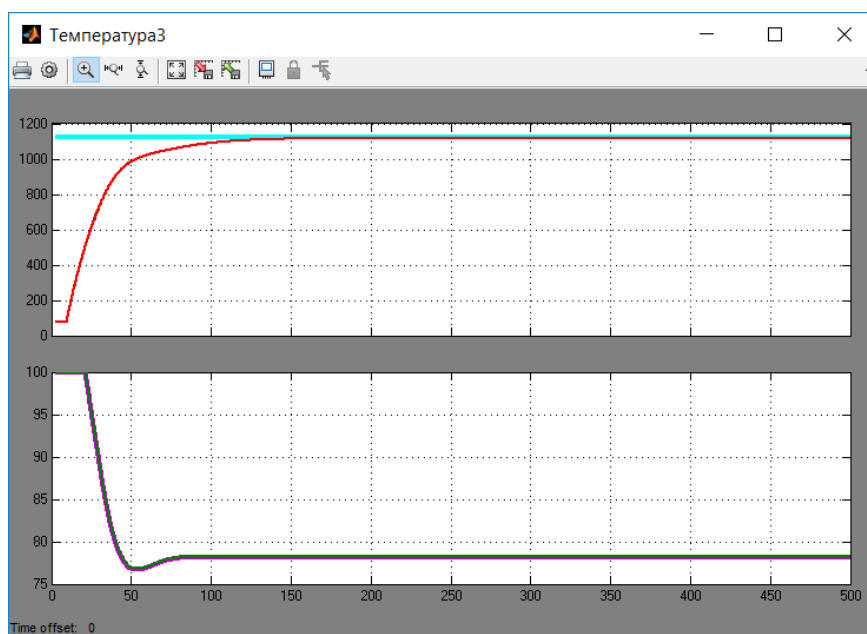


Рисунок 4.5– Результати моделювання

Як видно за результатами перевірки, маємо дуже високий відсоток відповідності цифрової моделі безперервній.

Далі, виконаємо поділ системи управління шляхом створення блоків підсистем. Та для полегшення експорту моделей з математичного пакету MATLAB до середовища розробки zenon Logic перейменуємо вхідні\вихідні порти підсистем, згідно з правилами.

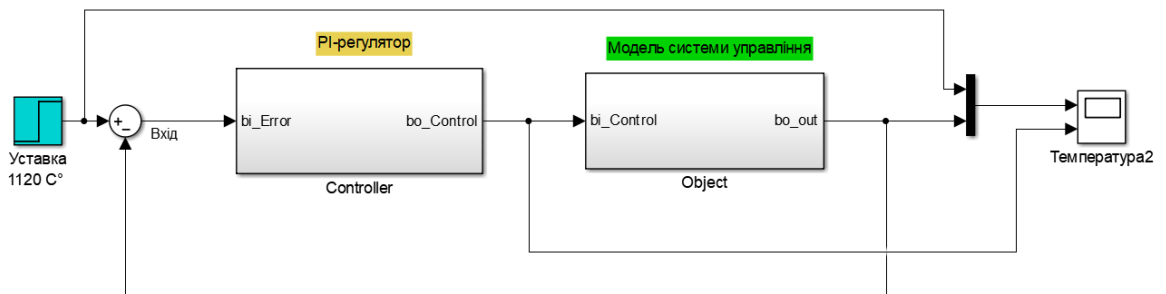


Рисунок 4.6– Підсистеми

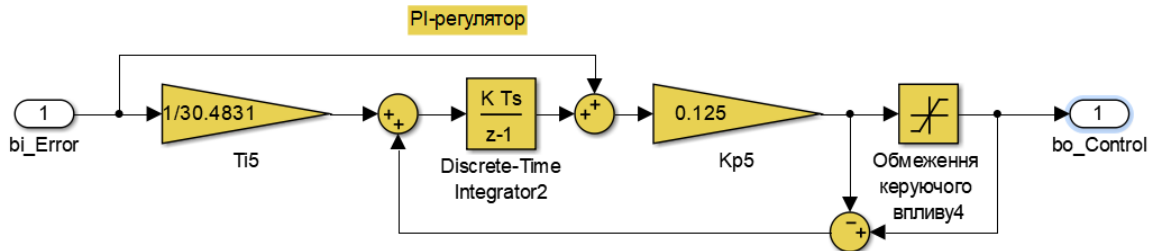


Рисунок 4.7– Підсистема регулятора

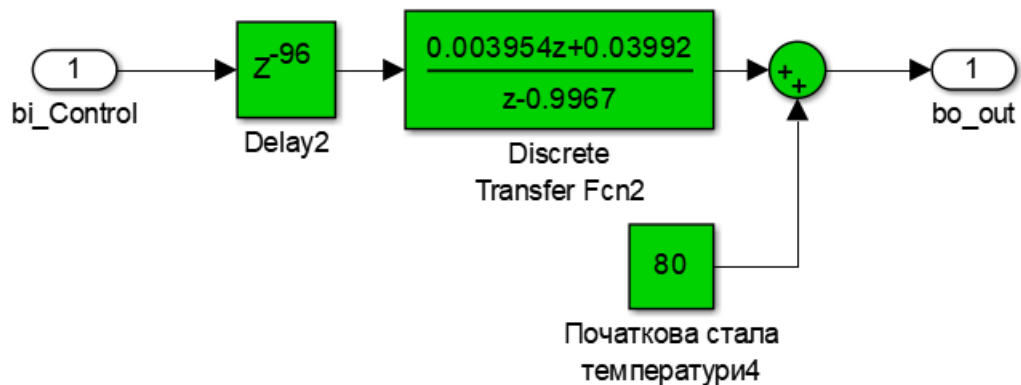


Рисунок 4.8 – Підсистема об'єкта

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

4.2 Розробка програмного забезпечення системи управління

Програмне забезпечення системи управління поділено на два окремих програмних блоки: регулятор та об'єкт управління.

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

Для розробки ПЗ об'єкта управління було створено драйвер пристрою управління з налаштуванням, що показано на рисунку 4.9.

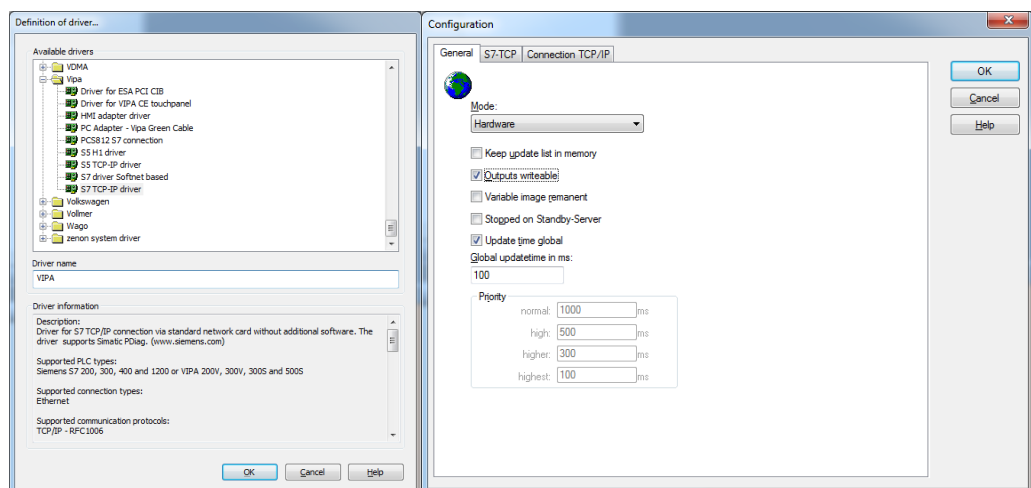


Рисунок 4.9 – Вибір драйверу пристрою управління та його налаштування

Після підключення драйверу потрібно перевірити роботу цифрових моделей регулятора та об'єкта керування. Для цього було створено програми «Object» та «Controller» для об'єкта та регулятора відповідно, які написані на мові програмування Structured Text. Створено головну програму «Main», що написана мовою програмування Functional Block Diagram та виконує функціонал моделі системи автоматичного керування, що була отримана в Matlab.

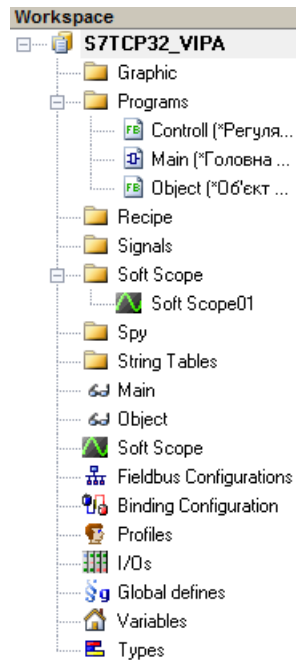


Рисунок 4.10 – Дерево програм

Головна програма «Main» наведено на рисунку 4.11.

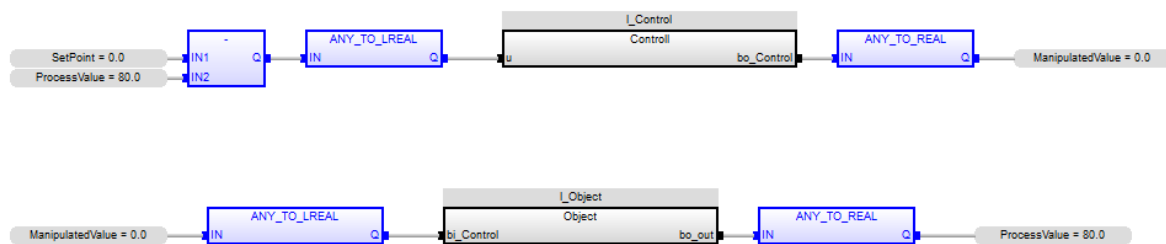


Рисунок 4.11 – Головна програма «Main»

Блоки «l_Object» та «l_Controller» це програмні блоки, перенесені із математичного пакету Matlab та мають тип даних LREAL. Змінні «SetPoint», «ManipulatedValue», «ProcessValue» створені у програмному середовищі Zenon і відповідають значенням уставки, керуючого впливу та температури у конверторі відповідно та мають тип даних REAL. Для того, щоб система правильно моделювалась, потрібно конвертувати типи даних з LREAL до REAL та назад з REAL до LREAL, тому до головної програми було додано блоки конвертації типів даних «ANY_TO_REAL», «ANY_TO_LREAL».

Для того, щоб оцінити коректність функціонування розробленої програми, використаємо SoftScore та порівняємо отримані графіки з графіками моделі об'єкта керування у математичному пакеті MatLab.

Порівняння наведено на рисунках 4.12 та 4.13:

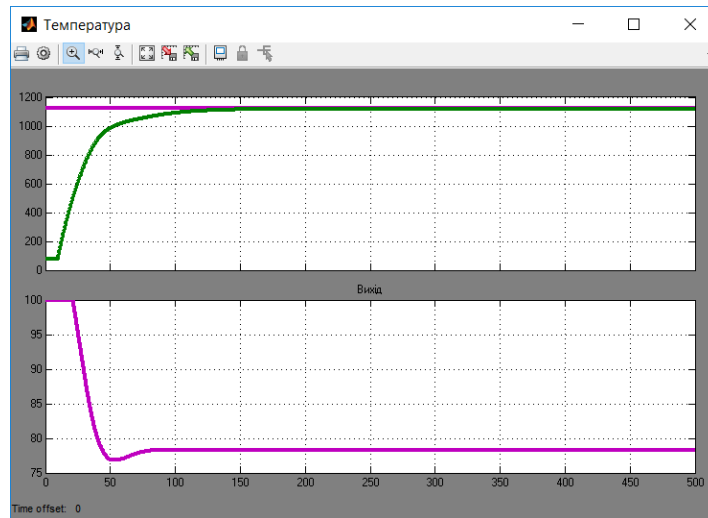


Рисунок 4.12 - Робота цифрової моделі у середовищі Matlab

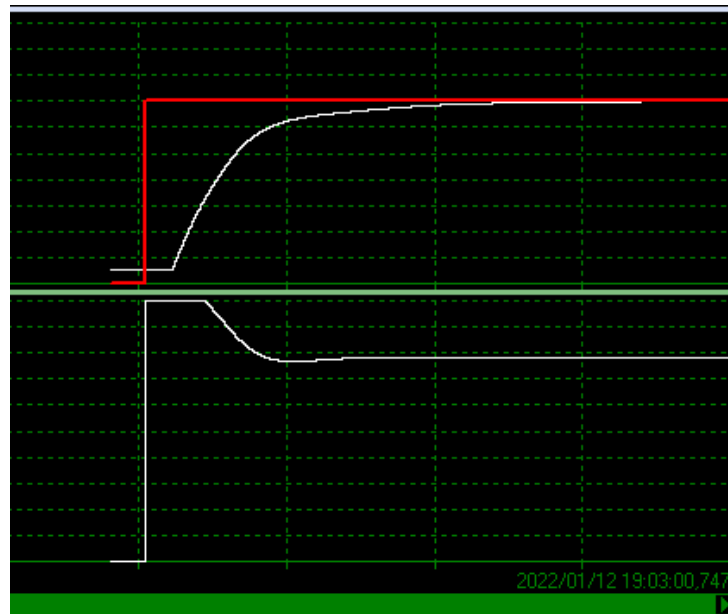


Рисунок 4.13 - Робота цифрової моделі у середовищі Zenon

На підставі того, що цифрова модель в середовищі Zenon числово, а також візуально формою збігається з моделлю в Matlab, можна зробити висновок, що програмне забезпечення написано і налаштовано правильно, а також може бути використане в подальшій розробці людино-машинного інтерфейсу.

4.3 Розробка людино-машинного інтерфейсу

На базі розробленого програмного забезпечення розробимо людино-машинний інтерфейс для можливості керування об'єктом та контролю його функціональності. Для розробки знадобляться такі елементи інтерфейсу, програмно пов'язані між собою: графіки зміни температури, значення уставки та рівень подачі дуття, а також відображення їх цифрових значень на графічній схемі конвертора та функція архівування значень при роботі об'єкта керування.

Розширення екрану робочого простору інтерфейсу встановимо на стандартному рівні 1366x768.

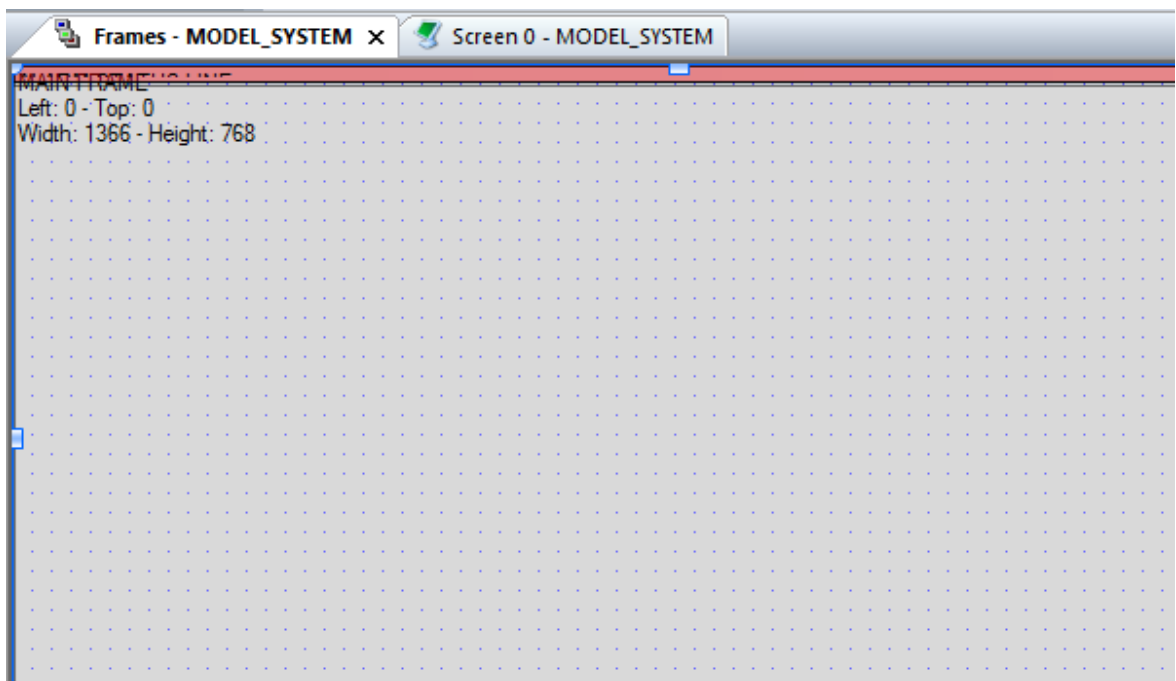


Рисунок 4.14 – Параметри робочого простору

Для розробки знадобляться такі елементи інтерфейсу, програмно пов'язані між собою: графіки зміни температури, значення уставки та рівень подачі дуття, а також відображення їх цифрових значень на графічній схемі конвертора.

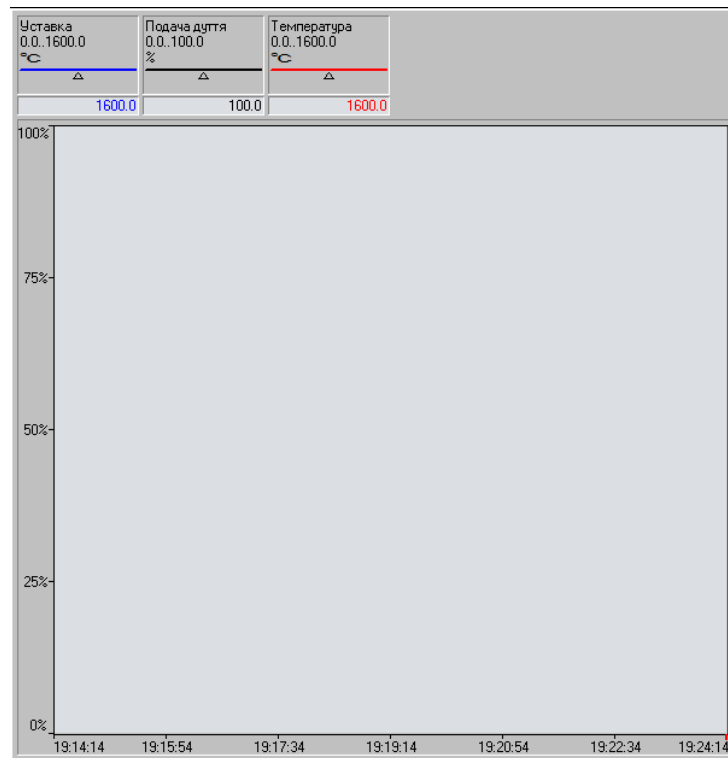


Рисунок 4.15 – Графік зміни температури, значення уставки та рівня подачі дуття.

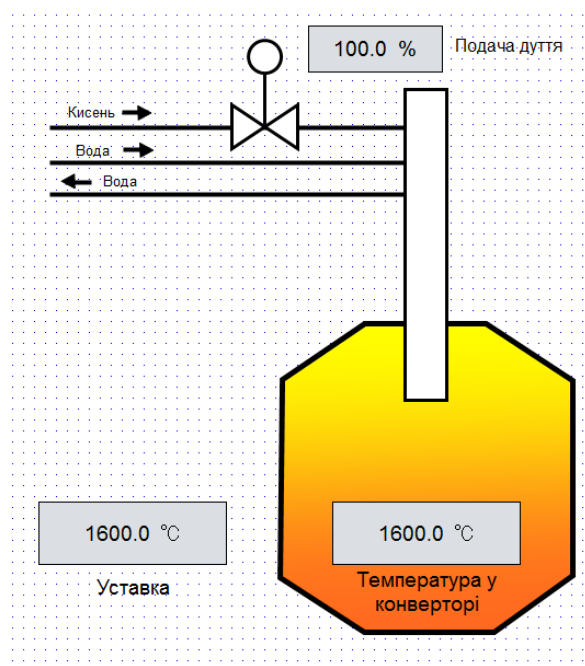


Рисунок 4.16 – Графічна схема конвертора з цифровими значеннями.

Перевіримо функціонування програмного забезпечення та людино-машинного інтерфейсу.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевіримо функціонування розробленого програмного забезпечення та людино-машинного інтерфейсу таким чином: скопілюємо проект і запусимо в середовищі Zenon Supervisor. Встановимо уставку на рівні 1120°C.

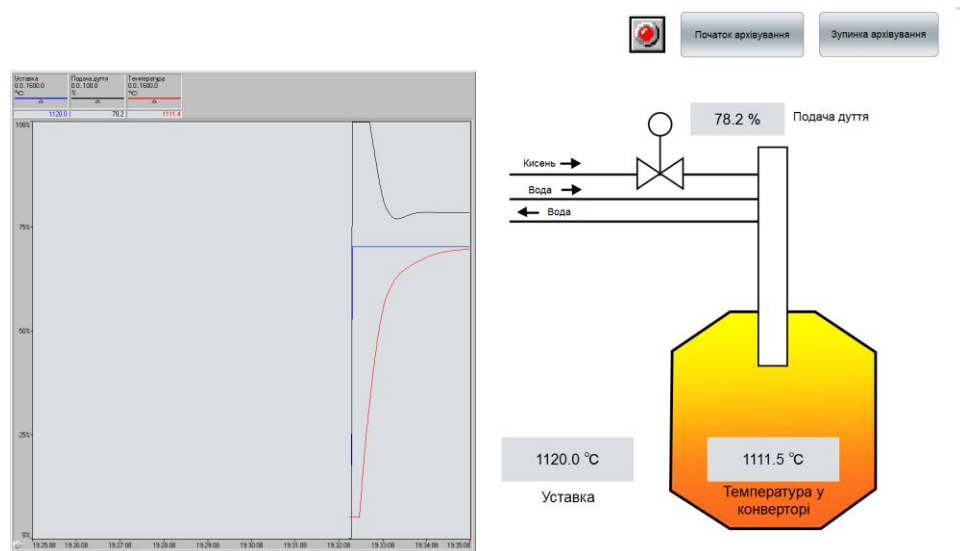


Рисунок 4.17 – Робота людино-машинного інтерфейсу

За результатами симуляції робочого процесу можна зробити висновок, що програма працює коректно, а експеримент проведено успішно.

4.5 Висновки по розділу

Моделі об'єкта керування та регулятора були успішно перенесені у середовище Zenon та перевірено на відповідність до моделі із математичного пакету Matlab за допомогою Soft Score.

Розроблено та протестовано людино-машинний інтерфейс на основі програмного забезпечення, що написано мовою Functional Block Diagram.

За результатами перевірки роботи інтерфейсу зроблено висновок, що система налаштована коректно та відповідає вимогам до системи управління об'єктом у третьому розділі.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування.

У даному дипломному проекті розглянуто ефективність та доцільність впровадження комп'ютеризованої системи керування подачею дуття в мідеплавильний конвертор. Комп'ютеризована система керування подачею дуття:

- а) Спостерігати за процесом поодачі дуття за допомогою ЛМІ;
- б) Задавати значення температури повітря в конверторі;
- в) Зменшити витрати на заробітну плату працівників шляхом скорочення кількості працівників.

Для того, щоб визначити економічну ефективність впровадження даної системи замість застарілої базової, проведемо розрахунки річних витрат та прибутків.

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані з виготовленням та впровадженням комп'ютеризованої системи керування припливною вентиляцією для контролю мікроклімату в приміщенні взимку.

Визначення проектних капітальних витрат проводиться за такою формулою:

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

де $K_{об}$ – витрати на комплектуючі вироби;

$K_{тр}$ – витрати на транспортно-заготівельні витрати;

$K_{мн}$ - витрати на монтаж і налагодження системи;

Вартість комплектуючих деталей наведена в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вартість комплектуючих системи

№ п/п	Найменування виробів згідно проектних розробок	Одиниці виміру	Кількість	Оптова ціна за од., грн.	Сума, грн.
1.	ПЛК VIPA 214-2BS33	од.	1	17034	17034

Продовження таблиці 5.1

2.	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	1	4981	4981
3	Модуль дискретного виводу VIPA 2221FD10	од.	1	4540	4540
5.	Газоаналізатор ЭЖОН-ВТ	од.	1	84169	84169
6.	Датчик температури повітря ТЕРА ТНН-1-29-МКР-А	од.	1	4085	4085
7.	Датчик тиску у кисневій фурмі MBS 4050 2214	од.	1	6559	6559
8.	Виконавчий орган МЭО-250/25-0,25-99.	од.	1	13770	13770
9.	Пускач М2 Р032 220 В4	од.	1	3300	3300
Разом					141038

Витрати на транспортно-заготівельні і складські витрати визначаються по всіх розділах в залежності від вартості обладнання матеріалів, виробів, конструкцій, беруться 8 % від загальної вартості.

$$K_{mp} = K_{об} \times 0,08, \quad (5.2)$$

де, $K_{об}$ – витрати на комплектуючі вироби, грн.

Таким чином витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$K_{mp} = 141038 \times 0,08 = 11283,04 \text{ грн.}$$

Вартість монтажно-налагоджувальних робіт приймаємо на рівні 7 % від вартості обладнання.

$$K_{mn} = K_{об} \times 0,07 \quad (5.3)$$

Витрати на монтажно-налагоджувальні роботи складуть:

$$K_{mn} = 141038 \times 0,07 = 9872,66 \text{ грн.}$$

Тоді проектні капітальні витрати складуть:

$$K_{np} = 141038 + 11283,04 + 9872,66 = 162193,55 \text{ грн.}$$

Базові капітальні витрати складають:

$$K_{np} = 73000 \text{ грн.}$$

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються за формулою:

$$Z = C_a + C_z + C_c + C_m + C_e + C_{np}, \quad (5.4)$$

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

C_a – амортизація основних фондів;

C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

C_c – відрахування на соціальні заходи;

C_m – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання;

C_e – вартість електроенергії;

C_{np} – інші витрати.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Обладнання, розробленої в дипломному проекті системи керування, належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів.

Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років.

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

$$H_a = (2 \div T) \times 100\%, \quad (5.5)$$

де, T – термін корисного використання об'єкта;

H_a – норма амортизації;

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

де, C_a – амортизація основних фондів (річна);

$ПВ$ – первинна вартість, дорівнює капітальним витратам $ПВ = K$;

Отже, норма амортизації для проектованої системи керування складе:

$$H_a = (2 \div 5) \times 100\% = 40\% \quad (5.7)$$

Сума амортизації для проектованої і базової системи становитиме:

Таблиця 5.4 - Розрахунок заробітної плати персоналу (базисний)

№	Найменування професії робітників	Явочний штат в змін, чол	Годинна тарифна ставка, грн	Номінальний річний фонд робочого часу, год	Всього, пряма заробітна плата за тарифом, грн	Додаткова заробітна плата, грн (10%)	Доплати, грн (5%)	Усього, основна заробітна плата, грн
1	Оператор ЛМІ	1	57	1808	103056	10305,6	5152,8	118513,6
2	Плавильник-Технолог	1	75	1808	135600	13560	6780	155940
Разом								274453

$$C_{з.пр} = 118513,6 \text{ грн.}$$

$$C_{з.баз} = 274453 \text{ грн.}$$

5.2.3 Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються за формулою:

$$C_c = 0,22 \times C_z \quad (5.9)$$

$$C_{с.пр} = 0,22 \times 118513,6 = 26073 \text{ грн.}$$

$$C_{с.баз} = 0,22 \times 274453 = 60379,66 \text{ грн.}$$

5.2.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 0,5% від величини капітальних витрат:

$$C_{то.пр} = 0,05 \times K \quad (5.10)$$

$$C_{т.пр} = 0,005 \times 162193,55 = 811 \text{ грн}$$

$$C_{т.баз} = 0,005 \times 52400 = 365 \text{ грн.}$$

5.2.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Розрахуємо вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

$$C_e = K_e \times K_{dp} \times ds \times T, \quad (5.11)$$

де K_e – кількість електроенергії, спожите проектованою системою керування за годину, 0,316 кВт * год (проектний), 0.5 кВт * год (базовий);

K_{dp} – кількість робочих днів у році; $K_{dp} = 365 - 118 = 247$ день;

ds – тривалість зміни, 8 годин;

T – тариф на електроенергію для підприємств (Для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1,68 грн. за кВт без ПДВ. З урахуванням ПДВ тариф $T = 1,68 * 1,2 = 2,016$ грн).

$$C_{e,пр} = 0,316 \times 247 \times 8 \times 2,016 = 1258,80 \text{ грн.}$$

$$C_{e,баз} = 0,5 \times 247 \times 8 \times 2,016 = 1991,80 \text{ грн.}$$

5.2.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{інш} = C_z \times 0,04 \quad (5.12)$$

$$C_{інш,пр} = 118513,6 \times 0,04 = 4740,55 \text{ грн.}$$

$$C_{інш,баз} = 274453 \times 0,04 = 10978,12 \text{ грн.}$$

За формулою 4.10 розраховуємо річні експлуатаційні витрати для проектного та базового варіантів:

$$C_{пр} = 64877,48 + 118513,6 + 26073 + 811 + 1258,80 + 4740,55 =$$

$$216274,43 \text{ грн.}$$

$$C_{баз} = 20960 + 274453 + 60379,66 + 365 + 1991,80 + 10978,12 =$$

$$369127,58 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 – Експлуатаційні витрати

Назва показника	Базовий варіант	Проектний варіант
Амортизація	29200	64877,48

Продовження таблиці 5.5

Фонд заробітної плати	274453	118513,6
Відрахування на соц. виплати	60379,66	26073
Ремонт та тех. обслуговування	365	811
Електроенергія	1991,80	1258,80
Інше	10978,12	4740,55
Загалом	369127,58	216274,43

Таким чином, економія експлуатаційних витрат становитиме:

$$\Delta C = C_{np} - C_{баз} = 369127,58 - 216274,43 = 152853,15 \text{ грн}$$

Вартість системи керування що знаходиться в експлуатації становить 73000 грн. Використовувана система в розрахунках прийнята за базовий варіант.

$$\Delta K = K_{np} - K_{баз} = 162193,55 - 73000 = 89193 \text{ грн.}$$

5.3 Визначення додаткового прибутку від впровадження системи керування

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат витрат E_p показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = E/K, \text{ частки од.}, \quad (4.13)$$

де, E – загальна річна економія від впровадження об'єкта проектування, тис. грн.;

K – капітальні витрати, тис. грн.

$$E_p = 152853,15 / 162193,55 = 0,943$$

Термін окупності капітальних витрат T_p показує, за скільки років капітальні витрати окупляться за рахунок загальної економії від впровадження об'єкта проектування:

$$T_p = K/E, \text{ років} \quad (4.14)$$

$$T_p = 162193,55 / 152853,15 = 1,061 \text{ років}$$

Проект (варіант) капітальних вкладень визнається доцільним за умови:

$$E_p > E_n \quad (4.15)$$

Варіант визнається економічно доцільним, якщо розрахунковий коефіцієнт ефективності перевищує величину банківської кредитної ставки:

$$E_p > (N_{кр} + N_{інф})/100, \quad (4.16)$$

де $N_{кр}$ – банківська кредитна ставка, %.

$N_{інф}$ – річний рівень інфляції, %.

В якості нормативного значення прийmemo величину банківської кредитної ставки $N_{кр}(28,2\%)$ з урахуванням інфляції $N_{інф}(12,7\%)$, тобто:

$$0,943 > (28,2 + 12,7)/100$$

$$0,943 > 0,409$$

5.4 Висновки по розділу

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 162193,55 грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи 216274,43 грн. Проте, очікується уже швидкий термін окупності 1,061 років.

Розрахунок коефіцієнта економічної ефективності склав 0,943 і перевищує значення нормативного коефіцієнта ефективності, який дорівнює 0,409. Тому можна зробити висновок, що впровадження проектованої комп'ютеризованої системи економічно вигідно.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів в мідеплавильному цеху.

Основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які діють на плавильника:

- а) Ураження електричним струмом;
- б) Підвищена температура робочої зони, виділення променистого тепла, іскор і полум'я, підвищена температура обладнання та інструменту.
- в) Підвищена загазованість робочої зони;

6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

Кожен працівник повинен вивчити, знати і виконувати вимоги і положення даної інструкції в повному обсязі і дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку, що діють на підприємстві; виконувати розпорядження і вказівки керівників цеху, якщо останні не суперечать вимогам безпечної організації праці.

а) Електровраження людей в умовах промислового підприємства попереджаються завдяки:

1. Технічним рішенням, що виключають можливість включення людей у ланцюг струму між двома фазами або між однією фазою й землею, способом, при якому струмоведучі частини, що нормально перебувають під напругою, недоступні для випадкового дотику. Це забезпечується надійною ізоляцією, огороженням, розташуванням їх на недоступній висоті або під землею, блокуваннями й іншими способами;
2. Зняття напруги зі струмоведучих частин під час робіт, при яких не виключена можливість дотику до них;

3. Устройства автоматического відключення, що забезпечує у випадку ушкодження ізоляції й переходу напруги на металеві частини електроустановок обмеження напруги по величині або відключення несправного обладнання й апаратури;
4. Застосовуються наступні попереджувальні плакати для електроустановок (Рис 6.1.):

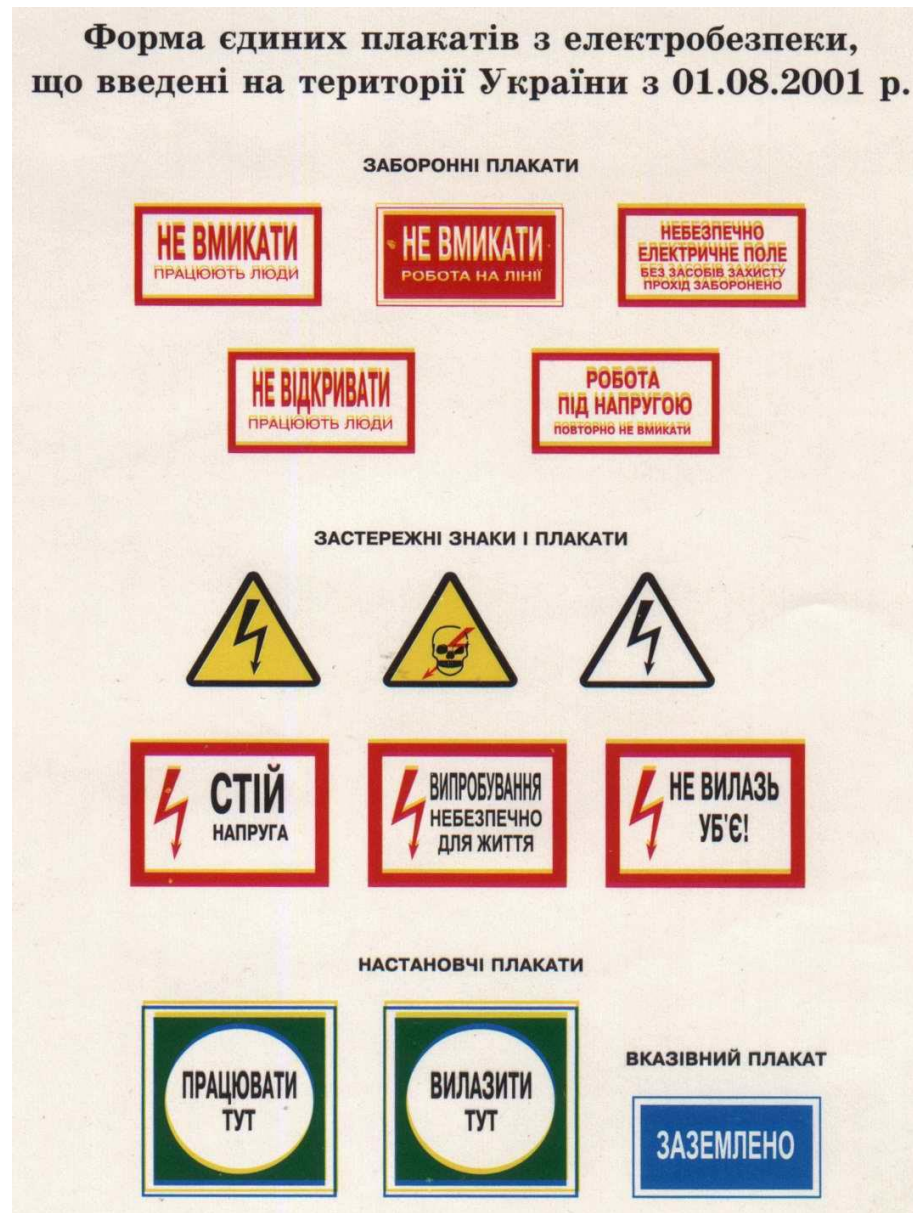


Рисунок 6.1 – Попереджувальні плакати для електроустановок

- б) З метою забезпечення безпечної роботи, всі працівники повинні носити спецодяг згідно з типовими нормами і засобами індивідуального захисту

органів дихання, зору і слуху. Для кожної професії розробляються інструкції з охорони праці, які повинні виконуватися всіма робочими.

Згідно з нормами розробленими відповідно до Кодексу законів про працю України (322-08) та Закону України "Про охорону праці" (2694-12),.

Наприклад, для плавильника, що експлуатує мідеплавильний конвертор, передбачені індивідуальні засоби захисту (табл 6.1.).

Таблиця 6.1 – Засоби індивідуальні засоби захисту для плавильника.

Код згідно з НПАОП 27.0-3.01-08	Професійна назва роботи	Найменування спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального ахисту	Позначення захисних властивостей ЗІЗ	Строк носіння (місяців)
8122.1	Плавильник	Костюм сукняний з вогнезахисним просоченням	ТиТр	9
		Білизна натільна	З	6
		Черевики шкіряні з металевим захисним носком або Валянки	Мун200	12
		Рукавиці сукняні або Вачеги	Тп	7 днів
		Капелюх повстяний	ТиТр	12
		Шолом-маска сукняна	ННП	12
		Щиток захисний	ЗНД	До зносу
		Каска захисна з підшоломником	З	До зносу
		Респіратор пилогазозахисний	Ми	1

в) Для створення нормальних умов виробничої діяльності необхідно забезпечити необхідну чистоту повітря. Адже внаслідок виробничої діяльності у повітряне середовище приміщень можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах. Одним з ефективних засобів нормалізації повітря у приміщенні є вентиляція.

Згідно з ДБН В.2.5-67:2013 про опалення, вентиляція та кондиціонування:

1. Згідно з НПАОП 0.00-1.20 слід здійснити влаштування витяжної вентиляції.

2. Системи кондиціонування повітря, а також системи припливної загальнообмінної вентиляції, які призначені для цілодобового і цілорічного забезпечення необхідних параметрів повітря в громадських та виробничих приміщеннях, слід передбачати не менше ніж з двома установками. У разі виходу з ладу однієї з установок необхідно забезпечити не менше ніж 50 % потрібного повітрообміну та задану температуру (але не менше 12 °С) у холодний період року. За наявності технологічних вимог або згідно із завданням на проектування допускається передбачати встановлення резервних кондиціонерів або вентиляторів, електродвигунів, насосів тощо для підтримки необхідних параметрів повітря.
3. Очищення повітря від пилу в системах механічної вентиляції та кондиціонування повинно забезпечувати вміст пилу в повітрі, що подається, не більше ніж 30 % від ГДК у повітрі робочої зони - при подачі його до приміщень виробничих та адміністративно-побутових будівель.

6.3 Пожежна профілактика

Згідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 щодо вибухопожежної та пожежної небезпеки мідеплавильний цех за пожежною небезпекою відноситься до категорії Б. Характерні для категорії: горючий пил або волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху понад 28°С, горючі рідини в такій кількості, що здатні утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні або пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається надмірний тиск вибуху в приміщенні, що перевищує 5 кПа..

За вогнестійкістю відноситься до II категорії - це будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних матеріалів або штучного каменю, бетону або залізобетону з застосуванням листових і плиткових негорючих матеріалів. У покриттях будівель дозволяється застосовувати незахищені сталеві конструкції.

Для забезпечення пожежної безпеки передбачаються наступні заходи:

- а) постійний контроль і перевірка стану обладнання шляхом проведення планових ремонтів;
- б) щорічний інструктаж персоналу, щодо засобів забезпечення пожежної безпеки;
- в) наявність плану евакуації в разі виникнення аварійної ситуації;
- в) наявність аварійної вентиляції;
- г) наявність сигналізації в разі виникнення аварійної ситуації;
- д) забезпечення системи пожежогасіння і наявність первинних засобів пожежогасіння. Засоби пожежогасіння:

1. Порошкові вогнегасники типу ВП-5, ВП-10 – 3 штуки;
2. Порошкові пересувні вогнегасники типу ВП-50, ВП-100 – 1 штука;
3. Пінні вогнегасники – 2 штуки;

Вогнегасники слід встановлювати у легкодоступних та видних місцях, а також у пожежонебезпечних місцях, де найбільш вірогідна поява осередків пожежі. При цьому необхідно забезпечити їх захист від потрапляння прямих сонячних променів та дії опалювальних та нагрівальних приладів. Відстань між місцями розташування вогнегасників не повинна перевищувати 20 м.

Витрачений під час гасіння пожежі протипожежний запас води з резервуарів має бути відновлений у строк не більше ніж 36 год.

6.4. Заходи з освітлення у мідеплавильному цеху

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018 про освітлення приміщень виробничих і складських будівель:

Для освітлення приміщень використовувати найбільш економічні розрядні джерела світла та світлодіодні лампи та світильники. Використання ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості або техніко-економічної недоцільності використання розрядних ламп, або світлодіодних джерел світла.

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше ніж 10 % нормованої для комбінованого освітлення при любых джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення. При цьому освітленість повинна бути не менше ніж 200 лк.

6.4.1 Штучне освітлення

У вечірній час, та в похмуру погоду у приміщенні використовується система штучного освітлення. Розрахунок та симуляція штучного освітлення виконені у програмі DIALux. За результати виявлено що для робочого приміщення 25 на 20м для нормального освітлення потрібно 38 джерел освітлення промислового типу потужністю 40 В. Для цього підходять лампи ДСП46У-40-111-У3.

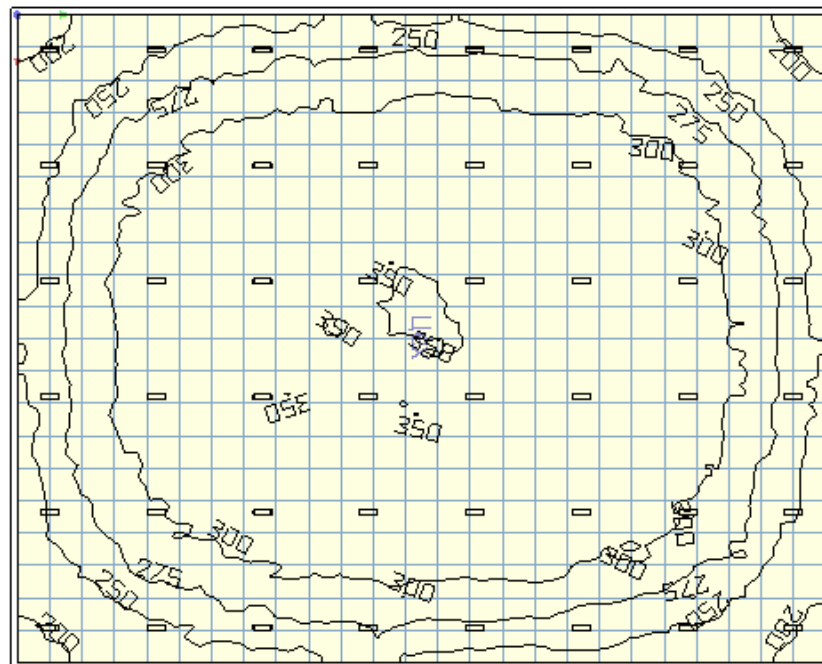


Рис. 6.2 – Карта штучного освітлення приміщення

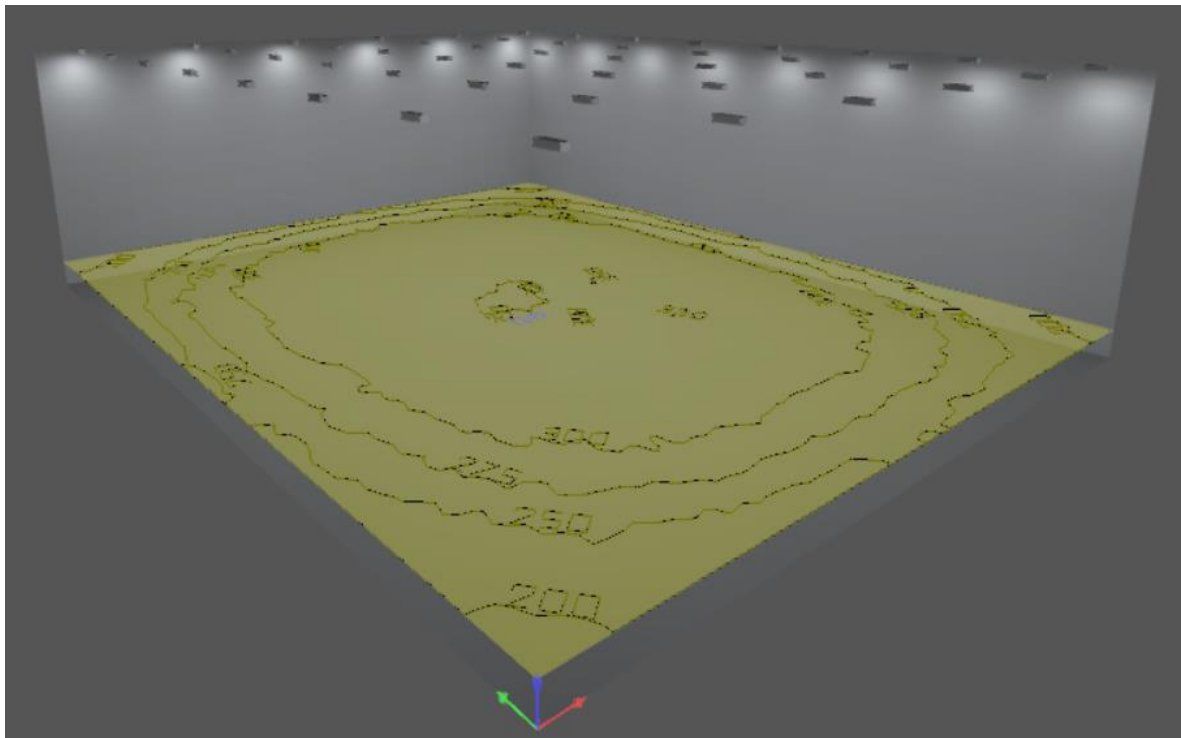


Рисунок 6.3 – Розташування джерел освітлення у 3D



Рис. 6.4 – Світлодіодна лампа ДСП46У-40-111-УЗ.

Таблиця 6.2 – Характеристика світлодіодної лампи ДСП46У-40-111-УЗ.

Джерело світла	Світлодіод
Потужність, Вт	40
Напруга, В	220
Рівень пило вологозахисту	IP65
Клас електрозахисту	I
Механічна стійкість	M1
Кольорова температура	4000К

6.5 Заходи попереджувального характеру підприємств у разі загрози виникнення терористичних або диверсійних актів.

– Здійснити комплексне обстеження стану надійності охорони об'єкта, посилити пропускний режим по допуску на об'єкт автотранспорту, персоналу і відвідувачів, проводити ретельну перевірку ввезеного на об'єкт майна і внесеної ручної поклажі. Для цих цілей використовувати технічні засоби (металодетектори, газоаналізатори, дзеркала для огляду автомобілів тощо);

– Вжити додаткових заходів щодо інженерно-технічної оснащеності об'єкта, додатково встановити модернізовані системи сигналізації і відеоспостереження в зонах підвищеного ризику; – оснастити телефони об'єкту, зазначені в офіційних довідниках, автоматичними визначниками номеру і звукозаписною апаратурою;

– Розробити план евакуації відвідувачів, персоналу та постраждалих; визначити (уточнити) завдання служб охорони, безпеки об'єкту при евакуації;

– У випадку підвищеного ризику учинення терористичних чи диверсійних проявів у регіоні ввести чергування співробітників підрозділів безпеки, підсилити контроль за роботою особового складу охорони, регулярно здійснювати перевірки несення служби в денний та нічний час;

– Сформувані у кожній черговій зміні охорони, групи негайного реагування. У ході щоденних інструктажів уточнювати розрахунок особового складу, що заступає на чергування, звертати особливу увагу на доведення оперативної обстановки на об'єкті, а також на необхідність посилення пильності і підвищення відповідальності співробітників;

– Силами співробітників підрозділів охорони і безпеки організувати проведення систематичних обходів і оглядів об'єкту і прилеглої до нього території з метою своєчасного виявлення підозрілих предметів і запобігання закладки вибухових пристроїв, а також установлення сторонніх осіб, що проявляють підвищений інтерес до об'єкта;

– Регулярно проводити перевірки підсобних приміщень і територій, не допускати перекриття шляхів евакуації людей та транспорту; – ввести в

практику систематичне проведення перевірок проходження сигналів оповіщення від чергової зміни охорони до посадових осіб об'єкту, а також стану засобів оповіщення персоналу;

– Організувати практичні тренування з співробітниками охорони і персоналом про порядок дій при виникненні надзвичайної ситуації терористичного характеру; – провести інструктивні заняття з персоналом про порядок дій при прийомі телефонних повідомлень з погрозами терористичного характеру і правилах поводження з письмовими анонімними матеріалами (див. розділи 3 і 4). Звернути увагу на неприпустимість прийому на зберігання від сторонніх осіб будь-яких предметів, речей та майна;

– При укладанні договорів оренди приміщень об'єкту обов'язково включати умови, що дають право підрозділам безпеки здійснювати перевірку зданих в оренду приміщень; – здійснювати заходи щодо більш ретельного підбору персоналу об'єкту, у тому числі допоміжного складу (чергових, ремонтників, прибиральників). Більш ретельно здійснювати перевірку і допуск на об'єкт фахівців сторонніх організацій;

– Звільнити від зайвих предметів службові приміщення, сходові клітини, приміщення, де розташоване технічне устаткування;

– Забезпечити регулярне видалення з будівель відходів, по можливості звільнити територію від будівельних лісів та металевого сміття, контейнери – сміттєзбірники встановити поза межами будівель об'єкту;

– Довести до всього персоналу номери телефонів, за якими необхідно повідомити правоохоронні та інші органи при виявленні підозрілих предметів або ознак загрози проведення терористичного акту.

6.6 Шкода завдана у разі вибуху.

Для визначення шкоди, завданої при ураженні бомби змодельовано ситуацію при якій на територію цеху вражає 500-тонна бомба.

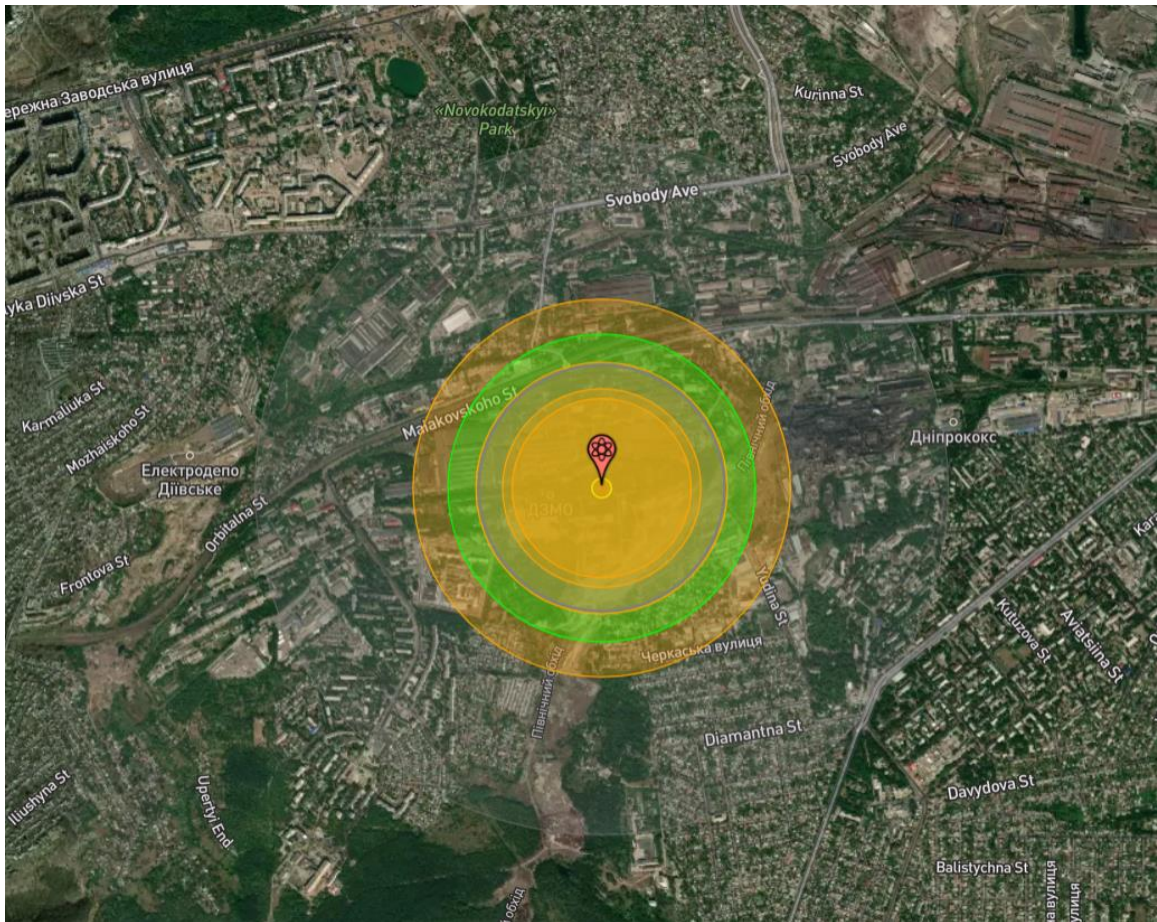


Рисунок 6.5 – Радіус ураження 500-тонної бомби.

Шкода завдана таким ураженням має критичний характер, вибух, що відбувається на території підприємства, може спричинити щонайменше 1460 смертельних випадків та 7800 чоловік може отримати травми різних ступенів ушкодження, детальні значення наведені у таблиці 5.3.

Таблиця 6.3 – Характеристика вибуху завдана бомбою.

Радіус вогнянної кулі, м	50	Ступінь небезпеки поразки землі залежить від висоти вибуху. Якщо він торкнеться землі, кількість радіоактивних опадів значно зросте. Все, що знаходиться всередині вогняної кулі, ефективно випаровується.
Тепловий радіус випромінювання (3-й ступінь опіки), м	410	опіки третього ступеня поширюються по всіх шарах шкіри, і часто безболісно, тому що вони руйнують нерви. Вони можуть викликати серйозні рубці або інвалідність, а також вимагати ампутації. 100% ймовірність опіку 3-го ступеня за такої потужності становить $6,7 \text{ кал/см}^2$

Продовження таблиці 6.3

Помірний радіус ушкодження від вибуху, м	560	При надмірному тиску в 50 кПа більшість житлових будинків руйнується, травми є повсюдними, поширені смертельні випадки. Імовірність виникнення пожежі в комерційних та житлових приміщеннях висока, а пошкоджені будівлі схильні до високого ризику поширення вогню. Часто використовується як зразок для помірної шкоди в містах.
Радіус теплового випромінювання (опіки 2 ступеня), м	570	Опіки другого ступеня - більш глибокі опіки кількох шарів шкіри. Вони дуже болючі і вимагають кілька тижнів для загоєння. Останні опіки другого ступеня можуть призвести до утворення рубців або вимагати пересадки. 50% ймовірність опіку 2 ступеня за такої потужності становить 3,7 кал/см ² .
Радіус випромінювання (500 бер), м	700	Іонізуючого випромінювання дози; ймовірно зі смертельним результатом приблизно через 1 місяць; 15% тих, хто вижив, зрештою помруть від раку в результаті впливу
Теплове випромінювання радіус (1-го ступеня опіки), м	850	Першого ступеня опіки поверхневі опіки зовнішніх шарів шкіри. Вони болючі, але гояться через 5-10 днів. Це більш-менш схоже на сонячний опік. 50% ймовірність опіку 1-го ступеня за такої потужності становить 1,6 кал/см ²
Ураження легким вибухом, м	1570	При надлишковому тиску близько 7 кПа на можна очікувати, що скляні вікна будуть розбиті. Це може спричинити багато травм у оточуючих людей, які підходять до вікна, побачивши спалах ядерного вибуху (який рухається швидше, ніж хвиля тиску). Часто використовується як еталон для легких пошкоджень у містах

6.7 Висновки по розділу

При аналіз небезпечних та шкідливих факторів в мідеплавильному цеху було виявлено основні шкідливі фактори, та впроваджено інженерно-технічні заходи з охорони праці, щодо них.

Визначено категорію вибухопожежної та пожежної безпеки, а також рівень вогнестійкості приміщення. Згідно з чим передбачено заходи пожежної безпеки.

Впроваджені заходи попереджувального характеру підприємств у разі загрози виникнення терористичних або диверсійних актів. Та змодельовано шкоду у разі виникнення терористичного акту, а сему вибуху 500-тонної бомби.

ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі предметом дослідження є процес подачі дуття в мідеплавильний конвертор. Об'єктом дослідження є автоматизація процесу керування подачею дуття. Метою дослідження є автоматизація подачу дуття. В якості об'єкта керування виступає мідеплавильний конвертор.

2. За результатами аналізу технологічного процесу, структури об'єкта керування та вимог до його функціонування сформовані вимоги до апаратного забезпечення системи керування її функціонування та дослідження об'єкта керування.

3. Розроблено структурну схему системи керування на підставі котрої з урахуванням вимог технологічного процесу обрані датчики та виконавчі пристрої системи керування. За результатами аналізу вимог до функціонування системи керування, датчиків та виконавчих пристроїв обрано пристрій керування VIPA 214-2BS33 та його модулі. На підставі обраного апаратного забезпечення розроблено функціональну схему автоматизації системи керування та схему електричну принципову системи керування.

4. В результаті проведених досліджень розроблено план експерименту, за яким отримані експериментальні дані. Використовуючи експериментальні дані та аналіз структури і функціонування об'єкта керування проведена структурна ідентифікація, результатом якої є запропонована модель об'єкта керування у вигляді передавальної функції відповідної аперіодичній ланці першого порядку з запізненням. За результатами параметричної ідентифікації це припущення підтверджено та отримані параметри моделі об'єкта керування.

5. На підставі параметричної та структурної ідентифікації розроблено імітаційну модель об'єкта керування в графічному середовищі Simulink математичного пакету MATLAB. Порівняння даних отриманих на моделі з перевірочними даними показало їх відповідність на 98.8803 %. Враховуючи аналіз об'єкта керування, його структури і функціонування та відповідність

результатів моделювання, встановлено, що отримана модель є адекватною до об'єкта керування.

6. Виконано розрахунок оптимального регулятора для системи керування. На базі розрахунків розроблено модель регулятора для об'єкта керування.

7. Досліджено роботу системи керування на робастість до збурюючого впливу та розроблено програмне забезпечення системи керування.

8. Розроблено людино-машинний інтерфейс на базі програмного забезпечення.

9. З економічної точки зору, в результаті розрахунків, сформовано висновок, що впровадження проектованої комп'ютеризованої системи економічно вигідно.

10. Впроваджено інженерно-технічні заходи з охорони праці, заходи з пожежної безпеки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, Є.А. Коровяка, В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 23 с.
2. Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти НТУ «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, О.О. Конопльова, В.О. Салова, В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 40 с.
3. Методичні рекомендації до виконання атестаційної роботи магістра студентами спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В.В. Ткачов, А.В. Бубліков, М.М. Трипутень, С.М. Проценко, О.О. Бойко, В.І. Шевченко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро, НТУ «ДП», 2018. – 34 с.
4. Соснин К. В. Автоматизована система управління сушіння зерна за критерієм енергоефективності : дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / Соснин Константин Владимирович – Дніпропетровськ, 2015. – 143 с.
5. Економіка підприємства : підручник / за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. Л. Г. Мельника. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2012. – 864 с.
6. Голінько В.І. Основи охорони праці. - Д.: Національний гірничий університет, 2008. – 265 с.
7. Цугленок Н. В. Методические основы построения многоуровневой системы моделей сушки зерна/ Н. В. Цугленок, С. К. Манасян. // Вестник КрасГАУ. – 2008. – №6. – С. 139–145.
8. М.С Пушкарь, С. М Проценко Проектування систем автоматизації
9. Величко А.Г., Иващенко В.П., Верховская А.А., Головкин В.И., Селегей А.Н. АСУТП в конвертерном производстве: Учебник. – Днепропетровск: НМетАУ, 2016. - 245 с.

10. Большина Е.П. Учебное пособие по дисциплине «Высокие технологии в металлургии. ч.1 Производство цветных металлов» для студентов специальности 150101 «Металлургия черных металлов» очной и заочной форм обучения. – Новотроицк: НФ МИСиС, 2008. – 68 с.

11. Уткин Н.И. Металлургия цветных металлов. Учебник для техникумов. М.: Металлургия, 1990. – 448 с.

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

13. Півняк Г.Г., Тадеушевич Р.Ю., Ткачов В.В., Шаруда В.Г. Комп'ютерне моделювання та розрахунок перехідних процесів в автоматичних системах. Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 338 с.

14. Теорія автоматичного керування: Підручник / С.Е.Душин, Н.С.Зотов, Д.Х. Имаев и др.; під ред. В.Б.Яковлева. М.: Вища школа, 2005. – 567 с.

15. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 у математики та моделюванні. М.: СОЛОН-Прес, 2003. –576 с.

ДОДАТОК А

ПРОГРАМНІ МОДУЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

A.1 Модуль об'єкта управління

(*

*

* File: PIcontrol_digit_Khaliavka.exp

*

* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"PIcontrol_digit_Khaliavka/Object"

*

* Model name : PIcontrol_digit_Khaliavka

* Model version : 1.1

* Model creator : Денис

* Model last modified by : Денис

* Model last modified on : Tue Jan 11 18:25:18 2022

* Model sample time : 0s

* Subsystem name : PIcontrol_digit_Khaliavka/Object

* Subsystem sample time : 0.1s

* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013

* ST code generated on : Tue Jan 11 18:25:29 2022

*

* Target IDE selection : 3S CoDeSys 2.3

* Test Bench included : No

*

*)

FUNCTION_BLOCK Object

VAR_INPUT

ssMethodType: SINT;

bi_Control: LREAL;

```

END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_out: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..95] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    idxDelay: DINT;
    DiscreteTransferFcn_tmp: LREAL;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay ' *)
        FOR i := 0 TO 95 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;
    SS_STEP:

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

```



```

DiscreteTransferFcn_tmp := Delay_DSTATE[0] - (-0.9967 *
DiscreteTransferFcn_states);

```

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

```
* Constant: '<S1>/Початкова стала температури'
```

```
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn'
```

```
* Sum: '<S1>/Sum24' *)
```

```

bo_out := ((0.003954 * DiscreteTransferFcn_tmp) + (0.03992 *
DiscreteTransferFcn_states)) + 80.0;

```

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

```
* Update for Inport: '<Root>/bi_Control' *)
```

```
FOR idxDelay := 0 TO 94 DO
```

```
    Delay_DSTATE[idxDelay] := Delay_DSTATE[idxDelay + 1];
```

```
END_FOR;
```

```
Delay_DSTATE[95] := bi_Control;
```

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

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

```
DiscreteTransferFcn_states := DiscreteTransferFcn_tmp;
```

```
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: PIcontrol_digit_Khaliavka.exp

*

* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"PIcontrol_digit_Khaliavka/Controller"

*

* Model name : PIcontrol_digit_Khaliavka

* Model version : 1.1

* Model creator : Денис

* Model last modified by : Денис

* Model last modified on : Tue Jan 11 18:25:18 2022

* Model sample time : 0s

* Subsystem name : PIcontrol_digit_Khaliavka/Controller

* Subsystem sample time : 0.1s

* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013

* ST code generated on : Tue Jan 11 18:26:13 2022

*

* Target IDE selection : 3S CoDeSys 2.3

* Test Bench included : No

*

*)

FUNCTION_BLOCK Controller

VAR_INPUT

ssMethodType: SINT;

u: LREAL;

END_VAR

VAR_OUTPUT

```

    bo_Control: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Kp: LREAL;
    rtb_u: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time
Integrator' *)
        DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;
    SS_STEP:

        (* Gain: '<S1>/Kp' incorporates:
        * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'
        * Inport: '<Root>/bi_Error'
        * Sum: '<S1>/Sum21' *)
        rtb_Kp := (u + DiscreteTimeIntegrator_DSTATE) * 0.125;

        (* Saturate: '<S1>/Обмеження керуючого впливу' *)
        IF rtb_Kp >= 100.0 THEN
            rtb_u := 100.0;
        ELSIF rtb_Kp > 0.0 THEN
            rtb_u := rtb_Kp;
        ELSE
            rtb_u := 0.0;

```

```
END_IF;
```

```
(* End of Saturate: '<S1>/Обмеження керуючого впливу' *)
```

```
(* Output: '<Root>/bo_Control' *)
```

```
bo_Control := rtb_u;
```

```
(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'
```

incorporates:

```
* Gain: '<S1>/Ti'
```

```
* Inport: '<Root>/bi_Error'
```

```
* Sum: '<S1>/Sum22'
```

```
* Sum: '<S1>/Sum25' *)
```

```
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := (((0.032805062477241485 * u) +  
(rtb_u - rtb_Kp)) * 0.1) + DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
```

```
END_CASE;
```

```
END_FUNCTION_BLOCK
```

```
VAR_GLOBAL CONSTANT
```

```
SS_INITIALIZE: SINT := 0;
```

```
SS_STEP: SINT := 1;
```

```
END_VAR
```

```
VAR_GLOBAL
```

```
END_VAR
```

ДОДАТОК Б

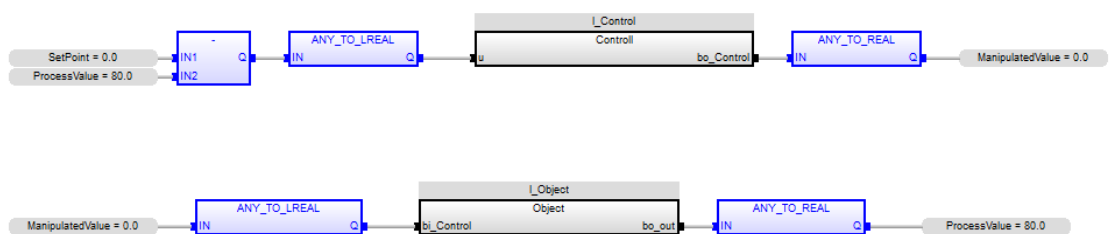
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Б.1 Програмне забезпечення системи керування

Б.1.1 Список програм



Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Перелік змінних

Global variables

SetPoint (* Температура *)

REAL

Embedded: <Symbol>

ProcessValue (* Температура повітря *)

REAL

Embedded: <Symbol>

ManipulatedValue (* Потужність сушарки *)

REAL

Embedded: <Symbol>

Main

l_Object : Object ;

l_ManipulatedValue : LREAL ;

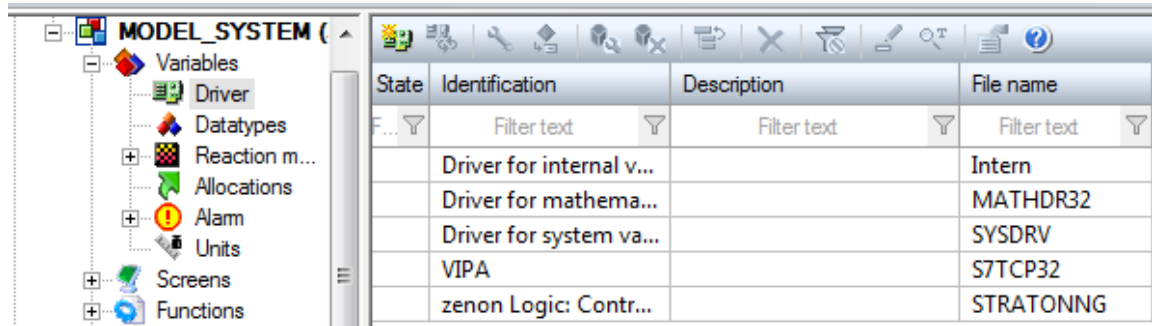
l_ProcessValue : LREAL ;

l_Control : Controll ;
l_SetPoint : LREAL ;
Controller
u : LREAL ;
bo_Control : LREAL ;
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE : LREAL ;
rtb_Kp : LREAL ;
rtb_u : LREAL ;
Object
bi_Control : LREAL ;
bo_out : LREAL ;
DiscreteTransferFcn_states : LREAL ;
Delay_DSTATE : ARRAY [0 .. 95] OF LREAL ;
idxDelay : DINT ;
DiscreteTransferFcn_tmp : LREAL ;
i : DINT ;

ДОДАТОК В

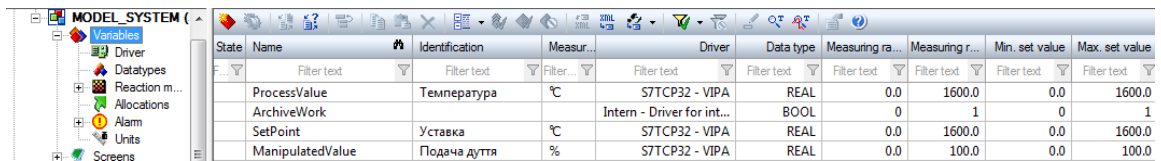
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ

В.1 Драйвера



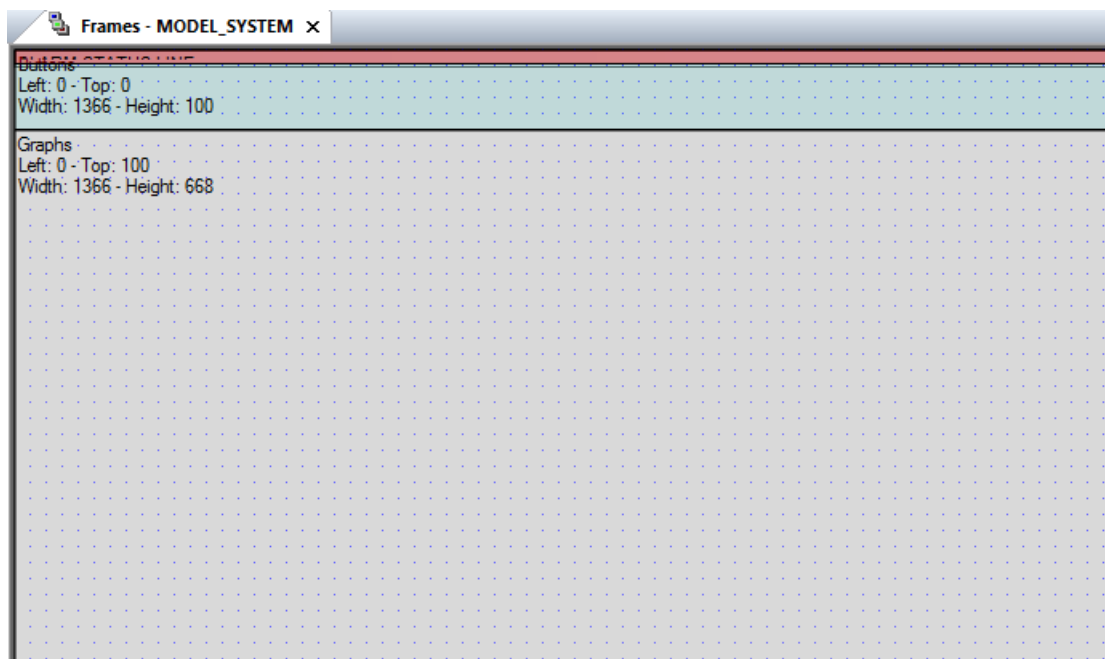
State	Identification	Description	File name
F...	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal v...		Intern
	Driver for mathema...		MATHDR32
	Driver for system va...		SYSDRV
	VIPA		S7TCP32
	zenon Logic: Contr...		STRATONNG

В.2 Перелік змінних



State	Name	Identification	Measur...	Driver	Data type	Measuring ra...	Measuring r...	Min. set value	Max. set value
F...	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	ProcessValue	Температура	°C	S7TCP32 - VIPA	REAL	0.0	1600.0	0.0	1600.0
	ArchiveWork			Intern - Driver for int...	BOOL	0	1	0	1
	SetPoint	Уставка	°C	S7TCP32 - VIPA	REAL	0.0	1600.0	0.0	1600.0
	ManipulatedValue	Подача дуття	%	S7TCP32 - VIPA	REAL	0.0	100.0	0.0	100.0

В.3 Шаблони зображень



В.4 Функції

Project Manager

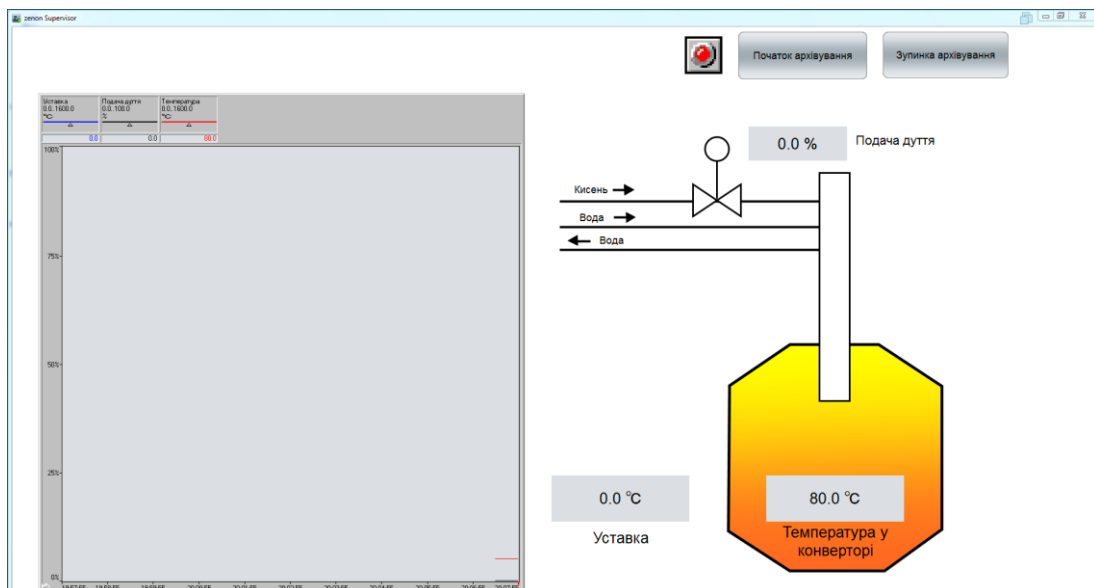
Workspace: 'cooper'(1)

MODEL_SYSTEM (Sta)

- Variables
- Screens
- Functions
- Language file
- Historian
- Recipes
- Batch Control

State	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	StartArchiving	Write set value	ArchiveWork - On (1)
	StopArchiving	Write set value	ArchiveWork - Off (0)->
	ArchiveStart	Archive: Start	DR
	ArchiveStop	Archive: Stop	DR

В.5 Зображення



ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу ступеню магістра

на тему: “ Синтез та дослідження системи керування процесів сушіння
зерна в зерносушарці шахтного типу ”

студента гр. 151м-20-1 Борцова Дмитра Олексійовича

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню магістра відповідає основній меті – перевірці знань та ступеню підготовки студента за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій повністю.

Актуальність роботи полягає в тому що в якості об’єкта керування виступає мідеплавильний конвертор, у якому потрібно контролювати температуру усередині самого конвертора шляхом подачі дуття. Вхідними параметрами об’єкту керування є положення заслінки, що контролює подачу кисня у конветор. Вихідними параметрами об’єкту керування є температура в конверторі. Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В рамках кваліфікаційної роботи виконано аналіз технологічного процесу та об’єкту керування, постановка завдання, вибір апаратного забезпечення, розробка програмного забезпечення, розрахунок основних економічних показників та вирішення питань з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню магістра заслуговує оцінки “ _____ ” балів при відповідному захисті, а студент Халявка Д.О. присвоєння кваліфікації “магістр” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерноінтегровані технології”.

Провідний консультант,

Заславський О.М.

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра

на тему: “Синтез та дослідження системи керування подачею дуття в мідеплавильний конвертор”

студента академічної групи 151-16-1 Халявки Дениса Олександровича

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті – перевірці знань та ступеню підготовки студента за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій (повністю/частково).

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка нової системи керування дозволить покращити контроль протікання процесу подачі дуття в мідеплавильний конвертор.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В рамках кваліфікаційної роботи виконано аналіз технологічного процесу та об’єкту керування, постановка завдання, вибір апаратного забезпечення, визначення моделі об’єкта керування, розробка та дослідження системи керування, розрахунок основних економічних показників та вирішення питань з охорони праці.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки “_____” балів при відповідному захисті, а студент Халявка Д.О. присвоєння кваліфікації “бакалавр” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Рецензент _____