

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 Колесникова Андрія Сергійовича
 (ПІБ)

академічної групи 151М-20-1
 (шифр)

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

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

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування роботою скловарної печі
 (назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	доц.Заславський О.М.			
розділів:				
Теоретичний розділ	доц.Заславський О.М.			
Синтез системи	проф. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	доц.Заславський О.М.			
Економічний розділ	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)

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

« _____ » _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Колесникову А.С. академічної групи 151М-20-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

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

(офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування роботою скловарної печі

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

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання. Теоретичний розділ	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи. Визначення моделі об'єкта керування.	12.10.2021
Синтез системи керування	Обрання структури системи керування та регулятора. Розрахунок параметрів регулятора. Дослідження функціонування системи керування на базі обраного регулятора.	22.10.2021
Експериментальний розділ	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань.	23.11.2021
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	25.12.2021
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	25.12.2021

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

доц. Заславський О.М.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.09.2021

Дата подання до екзаменаційної комісії

11.01.2022

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Колесников А.С.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 87 с., 63 рис., 19 табл., 3 додатки, 22 джерела.

Об'єкт дослідження: Система автоматичного керування роботою скловарної печі.

Мета роботи: Створення та дослідження системи автоматичного керування роботою скловарної печі.

Керування температурою у скловарній печі здійснюється за рахунок регулювання потужності газових пальникаів. Температура середовища у скловарній печі контролюється датчиком температури з діапазоном від 600 до 1600 С.

Головними показниками при розробці системи керування температурним режимом при роботі скловарної печі є: забезпечення постійного контролю над протіканням технологічного процесу, дотримання вимог, пред'явлених до САК, енерго- та ресурсозбереження, а також забезпечення безпеки роботи персоналу. Робота системи визначається показами приладів на технологічному обладнанні.

Використовуючи інформацію та результати виконання кваліфікаційної роботи бакалавра в представлений роботі було визначено вимоги до проектованої системи керування, задачі, які повинна виконувати САК, виконано синтез системи та вибір регулятора для забезпечення перебігу перехідного процесу згідно з визначеними вимогами та розроблено програмне забезпечення людино-машиного інтерфейсу.

СИСТЕМА, СКЛОВАРНА ПІЧ, НАГРІВ, ТЕХНОЛОГІЯ, РЕГУЛЯТОР,
ЕКСПЕРИМЕНТ, ЛЮДИНО-МАШИНИЙ ІНТЕРФЕЙС

ABSTRACT

Explanatory note: 87 p., 63 figures, 19 tables, 3 appen., 22 sources.

Object of research: The system of automatic control of the glass furnace

Purpose: Creation and research of the automatic control system of the glass furnace

Temperature control in the glass furnace is carried out by regulating the power of gas burners. The temperature of the environment in the glass furnace is controlled by a temperature sensor with a range from 600 to 1600°C.

The main indicators in the development of temperature control system during the operation of the glass furnace are: ensuring constant control over the technological process, compliance with the requirements for SAC, energy and resource conservation, as well as ensuring the safety of personnel. The operation of the system is determined by the readings of devices on process equipment.

Using the information and results of the bachelor's qualification work in the presented work the requirements to the designed control system, tasks to be performed by SAC, system synthesis and selection of the regulator to ensure the transition process in accordance with the defined requirements were determined and human-machine interface software was developed.

SYSTEM, GLASS FURNACE, HEAVEN, TECHNOLOGY, REGULATOR,
EXPERIMENT, HUMAN-MACHINE INTERFACE

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	7
Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	10
1.1 Характеристика галузі	10
1.2 Технологічний процес	11
1.3 Об'єкт керування	13
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	13
1.3.2 Структура об'єкту керування	14
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	16
1.4 Структура системи керування	18
1.5 Формулювання задачі дослідження	24
1.6 Висновки по розділу	25
2 Теоретичний розділ	26
2.1 Модель об'єкта керування	26
2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування	30
2.3 Висновки по розділу	36
3 Синтез системи керування	38
3.1 Модель системи керування	38
3.2 Оцінка якості функціонування системи керування	46
3.3 Висновки до розділу	54
4 Експериментальний розділ	55
4.1 Цифрова модель об'єкта керування	55
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	59
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	61
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	64
4.5 Висновки по розділу	64

5	Економічна частина	66
5.1	Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	66
5.2	Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	68
5.2.1	Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	68
5.2.2	Розрахунок витрат на розробку програмного продукту	70
5.3	Розрахунок експлуатаційних витрат	71
5.3.1	Амортизація основних фондів	72
5.3.2	Розрахунок фонду заробітної плати	72
5.3.3	Відрахування на соціальні заходи	73
5.3.4	Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	73
5.3.5	Витрати на електроенергію	74
5.3.6	Інші витрати	74
5.4	Визначення додаткового прибутку від впровадження системи керування	75
5.5	Оцінка економічної ефективності проекту	76
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	78
6.1	Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при автоматизації скловарної печі	78
6.2	Інженерно-технічні заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів	79
6.3	Пожежна профілактика	81
6.4	Ергономіка	81
6.5	Безпека у надзвичайних ситуаціях	83
	Висновки	84
	Перелік посилань	85
	Додаток А Програмні модулі системи керування	
	Додаток Б Програмне забезпечення системи керування	

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

САК	–	Система автоматичного керування;
ЛМІ	–	Людино-машиний інтерфейс
ПК	–	Персональний комп'ютер;
ОК	–	Об'єкт керування

ВСТУП

Актуальність теми. Скло є матеріалом, який широко застосовується практично в усіх сферах людської діяльності - у промисловості та сільському господарстві, у будівництві та на транспорті, у побуті та медицині - завдяки своїм унікальним якостям: прозорості, твердості, хімічній стійкості до активних хімічних реагентів, відносній дешевизні виробництва. Без нього неможливо виготовити оптичні прилади, телевізори, космічні кораблі та інше. Попри успіхи у створенні нових матеріалів широкого призначення, скло залишається одним із найбільш поширених матеріалів, що застосовуються на практиці.

На сьогодні скляна галузь - одна з найбільш стабільних в Україні. Щорічно галузь робить гідний вклад в показник ВВП країни. При цьому українські заводи з виробництва склотари щороку нарощують виробництво, задовольняючи внутрішній попит і збільшуючи обсяги експорту скляної продукції.

У 2019 Україна виробила 3,44 мільярда одиниць склотари, що на 8,1% більше, ніж за аналогічний період минулого року. Виробництво протягом останніх кількох років стабільно росло у всіх сегментах, крім фармацевтичної тари.

У першій половині 2020 року заводи України експортували 813,8 млн склотари, що на 20% більше, ніж за аналогічний період минулого року.

За підсумками 2020 року експорт склотари був більше 42% від загальних обсягів виробництва. За 10 років галузь збільшила обсяги виробництва майже в 3 рази - з 560 млн одиниць продукції до 1 млрд 400 млн одиниць продукції.[1].

Якість роботи будь-якої системи керування технологічними процесами залежить від багатьох причин, а саме, то як вона спроектована, як змонтована, як налагоджена і як експлуатується.

Ця система дозволить усунути негативний вплив людського фактора і цим допоможе звести до мінімуму вірогідність випадкових порушень у технологічному процесі.

Таким чином, **мета даної кваліфікаційної роботи** ступеню магістра – створення та дослідження системи керування нагрівом робочого простору скловарної печі.

Створення та дослідження автоматизованої системи керування нагрівом скловарної печі буде проходити на основі матеріалів кваліфікаційної роботи бакалавра.

Обрана тема актуальна для підприємств з виробництва склотари і спрямована на зниження собівартості виробництва.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені і розв'язані такі наукові задачі:

- аналіз існуючих систем керування скловарними печами;
- розробка системи автоматичного керування, схеми та моделі керування нагрівом робочого простору скловарної печі;

Об'єкт дослідження – процес керування температурою у скловарній печі.

Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційне забезпечення при керуванні температурою у скловарній печі.

Методи дослідження. Для дослідження системи керування скловарною піччю використано системний аналіз та системний підхід. Оцінка ефективності процесів автоматизованого керування проведена на основі використання методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Удосконалено класичну схему автоматичного керування температурою робочого простору скловарної печі на основі імітаційної моделі, яка містить регулятор, за допомогою якого отримується найкраще рішення для формування еталонного керуючого впливу.

Отримано залежності показників якості функціонування СК від параметрів регулятора – T_i (час інтегрування) та T_d (час диференціювання). На основі отриманих залежностей було встановлено діапазони параметрів при яких забезпечуються задані показники якості.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Характеристика галузі

Скляна промисловість є однією з базових галузей економіки України і відіграє важливу роль у формуванні макроекономічних показників окремих регіонів і держави в цілому.

Скляна промисловість включає в себе такі галузі:

- виробництво листового скла, включаючи армоване, пофарбоване, забарвлене тощо
- формування та оброблення листового скла (виробництво листового загартованого та багат шарового скла, виробництво скляних дзеркал, виробництво склопакетів);
- виробництво ємностей зі скла(виробництво пляшок та інших ємностей зі скла та кришталю, виробництво стаканів, іншого столового та кухонного посуду зі скла та кришталю);
- виробництво скловолокна (виробництво скловолокна, в тому числі скловати, нетканих матеріалів з нього, виробництво тканин зі скловолокна, виробництво волоконно-оптичного кабелю для передавання кодованих даних) та інше. [2].

Великі обсяги в Україні має виробництво віконного скла. В Україні є шість заводів листового і технічного скла. Найбільші з них Лисичанський "Пролетар", Костянтинівський в цілому.

Підприємства скляної промисловості представлені у більшості областей України. Найбільші з них - Зорянський склотарний завод "Консьюмерсклозоря", Бережанський склозавод, Романівський склозавод, ВАТ "Біомедскло", Костопільський скляний завод, ТОВ "Артемівський завод скловиробів".

Виробництво віконного скла в Україні має великі обсяги. В Україні є шість заводів листового склоробний та завод "Автоскло" і Запорізький

склоробний. Скло виробляється також на Львівському склоробному заводі й частково на Київському заводі художнього скла.

Збільшується виробництво скла міркового віконного, полірованого, теплозахисного та архітектурно-будівельного, полірованого шлакоситалу, кольорового візерункового та армованого скла, штучного скловидного мармуру.

Посуд, побутові товари зі скла та кришталь виробляють у Бережанах, Вільногорську, Гостомелі, Харкові, Чернігові, Сумах, Запоріжжі, Світловодську та Дніпрі.

Дзеркала, декоративні і художні вироби, складувні вироби, вітражу виготовляють в Одесі, Києві та Київській області.

Лабораторне скло, оглядові і сферичні дзеркала виробляють в Харкові, Вільногорську та Сумах.

За результатами останніх років виробництво склотари в Україні характеризувалося позитивною динамікою зростання. Розвиток ринку в наступні роки буде залежати від потреб споживачів, зростання вторинного попиту на продукцію харчової галузі, а також на таку ситуацію вплине розширення зовнішніх ринків збуту. [2].

1.2 Технологічний процес

Технологічний процес виготовлення скловиробів передбачає етапи, які характеризують загальний стан виробництва.

Виробництво скла містить наступні технологічні операції:

Підготовка сировинних матеріалів (сушіння, подрібнення). Сировинні матеріали для виробництва скла розділяють на основні та допоміжні. До основних відносяться кварцовий пісок, сода, доломіт, вапняк, пошат, сульфат натрію. Допоміжні матеріали вводять у шихту для зміни норм технологічного процесу (прискорення варіння) і надання склу необхідних властивостей.

Підготовка скляної шихти – дозування і змішування компонентів.

Варіння скломаси. Варіння скломаси є основним і відповідальним етапом у технології склоробного виробництва. Варіння скла відбувається в спеціальних скловарних печах. Такі печі бувають безперервної або періодичної дії. Для нагріву використовують газоподібне або рідке паливо, або використовуються електropечі. При нагріві шихти до $1100..1150^{\circ}\text{C}$ утворюється розплав, відбувається силікатуутворення. Подальше підвищення температури призводить до повного розчинення найбільш тугоплавких компонентів SiO_2 і Al_2O_3 , утворюється скломаса, насичена газовими пухирцями, яка має неоднорідний склад. Подальший підйом температури до $1500..1550^{\circ}\text{C}$ необхідний для освітлення та гомогенізації скломаси. При цій температурі знижується в'язкість розплаву, відповідно полегшується видалення газових включень і одержання однорідного розплаву. Заключним етапом є процес включення і одержання однорідного розплаву. Заключним етапом є процес охолодження розплаву до температури, що забезпечує необхідну в'язкість для виготовлення виробу, прийнятим методом. [3]

Вироблення (формування) виробів із скломаси.

Об'ємна частина скломаси у визначеній величині потрапляє до форми, відбувається формування пляшки.

Термічна, хімічна та механічна обробка виробів для поліпшення властивостей виробу.

Відбувається випал, метою якого є зняття шлакових залишкових напружень, що виникли при охолодженні скломаси. Скло вторинно нагрівають до утворення його пластичного стану, після чого його повільно і рівномірно охолоджують. [3]

Пакування та транспортування Пакування та транспортування на склад.

Пакувальними машинами здійснюється пакування скловиробів у поліетилен та готовий продукт транспортують на склади.

Основні параметри технологічного процесу представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Параметри технологічного процесу.

№ п/п	Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
1	Температура	⁰ С	1550 ±5
2	Витрата газу:		
	номінальна	м ³ /год	1000
	мінімальна	м ³ /год	900
	максимальна	м ³ /год	1100
3	Склад газу:		
	- метан	%	92,93
	- етан	%	3,95
	- пропан	%	1
	- бутан	%	0,35
	- пентан	%	0,17
	- вуглекислий газ	%	0,1
	- азот	%	1,5
4	Діаметр трубопроводу	мм	150
5	Співвідношення палива	-	1/10

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

У безперервно діючих ванних печей здійснюється варіння масових промислових стекол (листова скло, тарне та ін.), що виробляються машинним способом. У печах безперервної дії стадії варіння відбуваються в певних зонах при подальшому переміщенні розплаву по довжині печі. Конструкції ванних скловарних печей розрізняються за напрямом полум'я, способу виділення варочної і виробленої частин у скляному розплаві (наприклад, плаваючих шамотних тіл. [4])

Для виробництва листового скла застосовують безперервно діючі регенеративні ванні печі з поперечним полум'ям (рис. 1.1); довжина басейну до 60 м, ширина 10 м, глибина до 1,5 м, басейн вміщає до 2,5 тис. т скломаси. Продуктивність безперервних ванних скловарних пічей до 300 т/добу і більше скломаси. Басейни ванних печей споруджуються з вогнетривких матеріалів. [5]

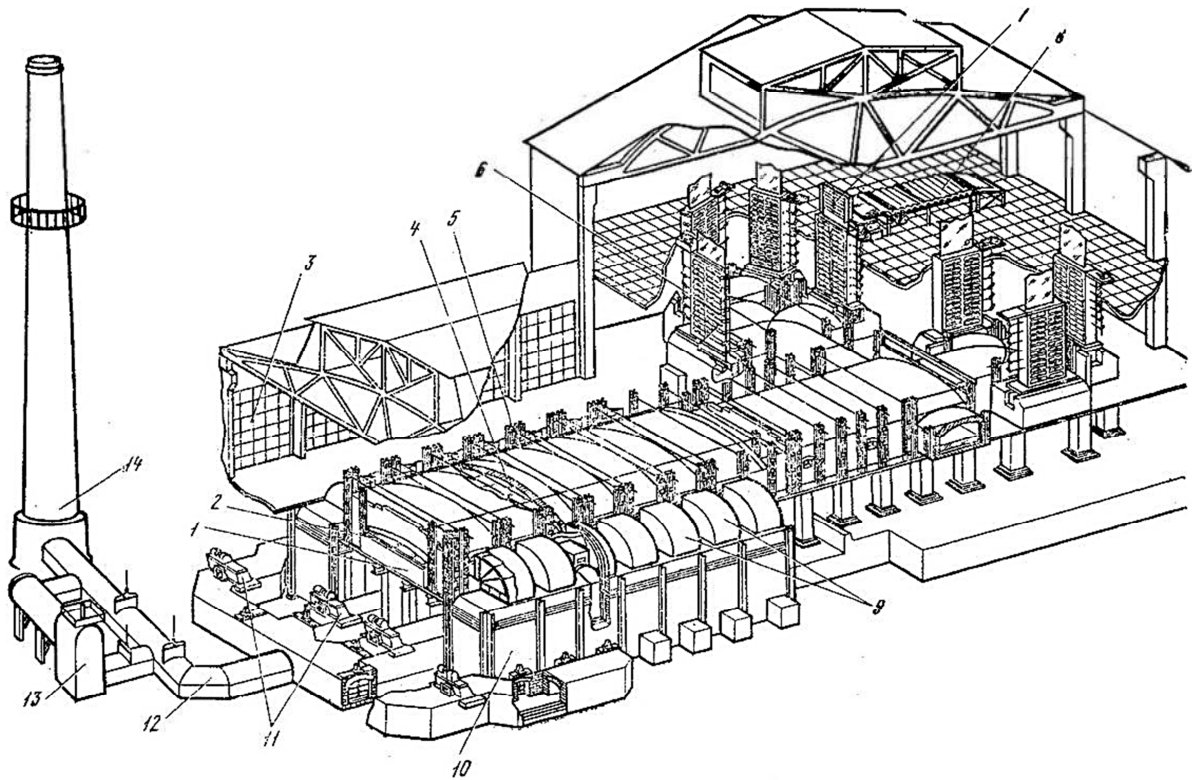


Рисунок 1.1 – Регенеративна скловарна піч

1 - басейн, 2 завантажувальна кишеню, 3 - будівля цеху, 4 - головний звід, 5 - колони обв'язки печі, 6-машина вертикального витягування, 7 - отломцік рамного типу, 8 - роликівий конвеєр, 9 - пальники, 10 регенератори, 11 - повітряний шибєр, 12 - канал для відводу газів, 13 - котел-утилізатор, 14 - димова труба

1.3.2 Структура об'єкту керування

Для забезпечення сталого згоряння палива в підсводовому просторі печі для варки скла використовується інжекційний пальник (рис.1.2) - пальник з попереднім змішуванням газу з повітрям, у якому одне із середовищ, необхідних для горіння, підсмоктується в камеру згоряння іншим середовищем. Найпоширенішим видом палива для пальників вважається газоподібне паливо. Основний вид газоподібного палива - природний газ. Крім палива в пальник необхідно подати повітря.

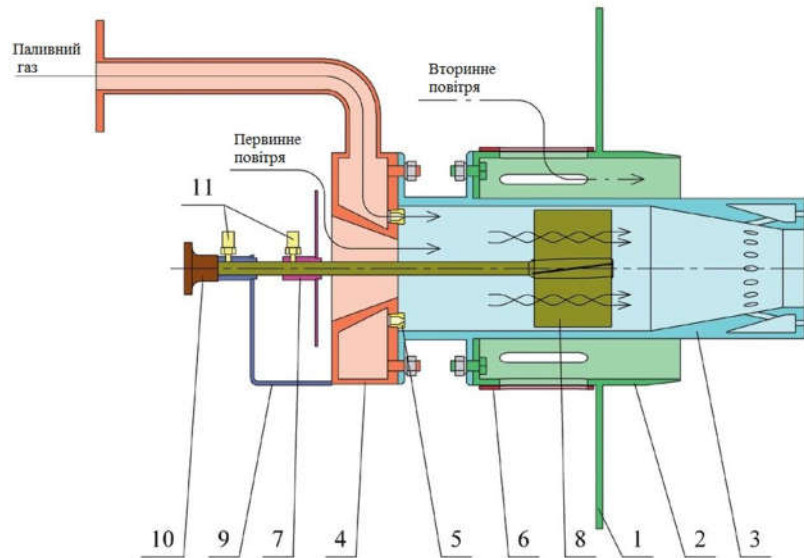


Рисунок 1.2 – Принципова схема інжекційного пальника: 1-основа; 2-шибер; 3-труба інжекційна; 4-апарат сопловий; 5-сопло; 6-шибер регулювання вторинного повітря; 7-шибер регулювання первинного повітря; 8-завихрювач; 9-стійка; 10-рукоятка завихрювача; 11-зажим.

Пальник складається з декількох основних частин. До основи 1, закріпленої на жаровій трубі, кріпиться інжекційна труба 3, з сопловим апаратом 4. Основа містить циліндричну частину (шибер) з вікнами для надходження в камеру згоряння вторинного повітря, який необхідний для підтримки горіння факела. Кількість вторинного повітря регулюється за допомогою шибера 6. Первинне повітря, подача якого регулюється шибером 7, надходить в інжекційну трубу через сопловий апарат. Паливний газ, підведений до пальника, надходить в соплові отвори, при виході з яких інжектуються необхідний для горіння повітря, змішується з ним, утворюючи горючу суміш, яка згоряє на виході з інжекційної труби. Залежно від необхідної потужності, тиск газу на вході в пальника може становити від 0,01 до 0,09 МПа. Латунні сопла 5 мають різні прохідні перетини. При необхідності, підбір сопел може проводитися в процесі режимної налагодки підігрівача безпосередньо на місці експлуатації в реальних умовах роботи. [6]

Лопатки завихрювача 8 нахилені під певним кутом, що сприяє поліпшенню приготування газоповітряної суміші. Соплова частина інжекційної труби, розташована в зоні високих температур, виконана з нержавіючої сталі.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування

В регенеративних печах (рис. 1.3) повітря нагрівається в спеціальних камерах-регенераторах, що представляють собою камеру, заповнену насадкою з вогнетривкої цегли.

Кожна піч має дві камери, які оснащені клапанами для перемикання відходять від печі гарячих газів, необхідних для нагріву насадки і впускає піч гарячого повітря.

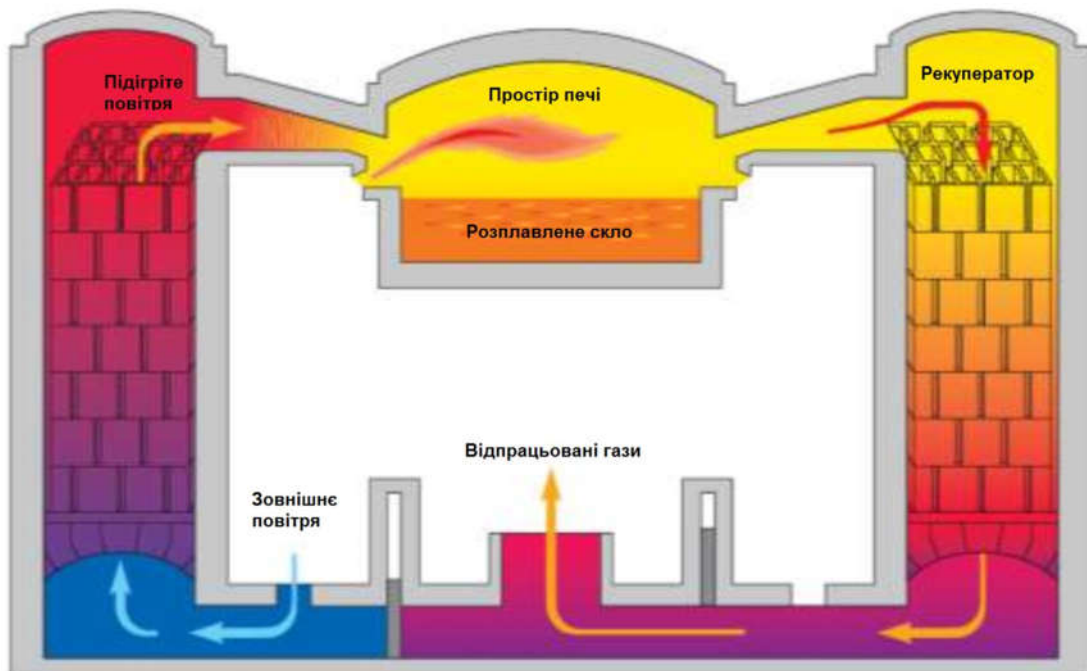


Рисунок 1.3 – Регенеративна ванна піч

Зазвичай піч оснащена двома регенераторами, що працюють циклічно. У той час як в першій камері відбувається нагрів насадки відходять з печі газами, через другу камеру пропускають повітря, яке нагрівається і подається в піч. Ритмічність перемикання камер на розігрів і роботу відбувається через 1 годину. [3]

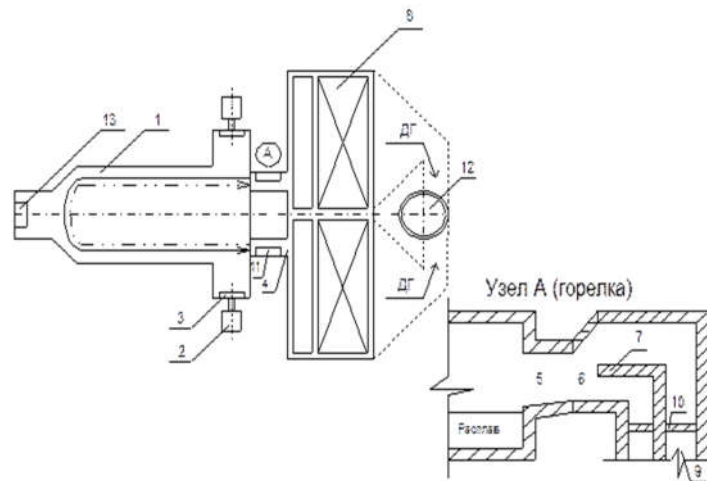


Рисунок 1.4 – Регенеративна піч з підковоподібним напрямком руху полум'я

Робочою камерою печі є басейн 1, над яким розташовується полум'яне простір, перекритий склепінням. Шихту для отримання розплаву завантажують в піч плунжерними завантажувачами 2 через завантажувальні кишені 3, розташовані в бічних стінах печі. Паливо (газ або мазут) спалюють по черзі в двох пальниках 4.

Пальник складається з впуску 5, камери змішування 6 і язика 7. Гаряче повітря з регенераторів 8, подається до пальників по вертикальних каналах 9, які для регулювання кількості повітря, оснащені шиберами 10.

В камері змішування, в бічних стінах, є отвори 11 для подачі газоподібного палива через газові пальники. Утворені при горінні палива димові гази рухаються вздовж підковоподібного шляху (на рис. суцільна лінія - при роботі лівого регенератора, пунктирна - правого). Завершивши рух, димові гази видаляються з печі через вліт пальника, що не працює в даний момент, і потрапляють в відповідний регенератор. Проходячи через нього, вони нагрівають насадку і далі через димовий канал і димову трубу 12 викидаються в атмосферу. Після розігріву насадки в регенератор починають нагнітати за допомогою дуттєвого вентилятора холодне повітря, яке, пройшовши через розпечену насадку, нагрівається саме і по каналу 9 надходить в пальник 4. Пальники печі повинні бути розраховані так, щоб вийшла правильна подковоподібна форма факела. Занадто малі швидкості газів у впусках

пальників можуть привести до «короткого замикання», тобто коли полум'я, виходячи з одного пальника, відразу може потрапити в інший, спалюючи при цьому стінки впуску і насадку регенератора. Звичайна швидкість газів у впуску пальника повинна бути від 10 до 14 м / сек.

Розплав, що утворився в басейні відбирають через пристрій 13. [3]

Таким чином для керування температурою в робочому просторі печі для варки скла буде використовуватись змінна потужність газових пальників.

1.4 Структура системи керування

В якості об'єкту керування, що розглядається в роботі, виступає контур температури в робочому просторі регенеративної ванної печі для варки скла. Вхідним параметром об'єкта є потужність газових пальників у печі. Потужність пальника задається за допомогою вбудованого контролера, який змінює потужність в діапазоні від 0 до 100%, де 0% відповідає відключеним пальникам і відсутності полум'я, а 100% відповідає роботі пальників на повну потужність. Вихідним параметром об'єкта керування є температура в робочому просторі печі Основним завданням розроблюваної системи керування є нагрів печі до 1550°C.

Виходячи з цього, система керування повинна містити: датчик температури в робочому просторі печі, газові пальники, потужність яких обумовлює зміни температури у печі, пристрій керування, що задає потужність пальників і пульт оператора, за допомогою якого задається режим роботи системи (рис. 1.5) .

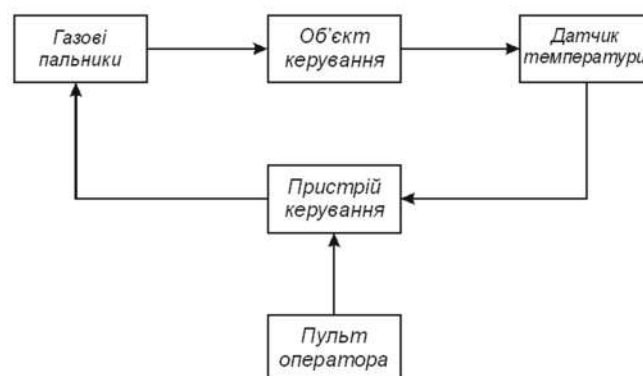


Рисунок 1.5 – Структурна схема системи керування

Підсистема керування технологічним обладнанням складається з пристроїв збору інформації (датчик температури в робочому просторі печі), еталонів і станів обладнання (установка температури і граничні значення), системи контролю стану обладнання, програми керування, що реалізують формування керуючого впливу, протиаварійного захисту, блоку переходу до ручного режим керування та виконуючих органів (газові пальники).

Оскільки система повина забезпечувати візуалізацію і контроль за технологічним процесом, вона має містити підсистему інформаційного забезпечення роботи оператора. Ця підсистема складається з людино-машинного інтерфейсу, реєстрації параметрів процесів і сигналізації досягнення параметрами заданих значень.

Крім того система повинна забезпечуватися архівуванням технологічних процесів що 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 1.6. Дана структура забезпечує підтримку заданої температури в робочому просторі печі, 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 підсистема автоматизованого керування технологічним обладнанням представлена у вигляді апаратно-програмного комплексу, який містить пристрої збору інформації, об'єкт керування, пристрій керування, в якості якого виступає програмований логічний контролер і виконачий пристрій.

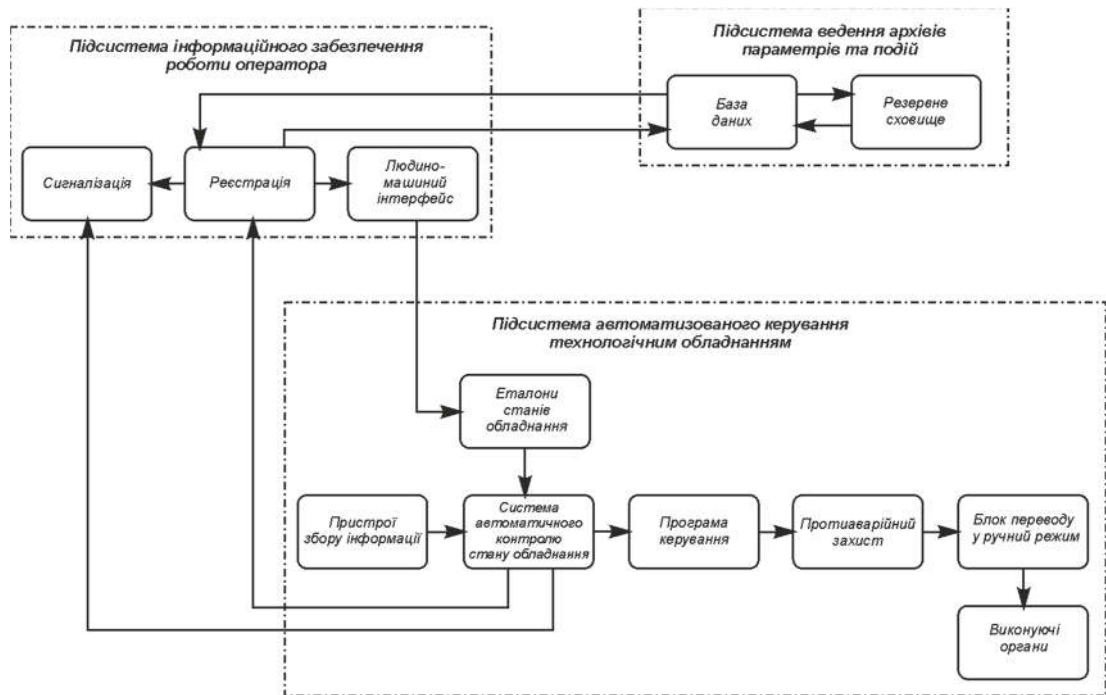


Рисунок 1.6 – Структурна схема інформаційних потоків

Підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора представлена як апаратно-програмний комплекс на базі персонального комп'ютера з операційною системою сімейства Microsoft Windows і scada системою zenon, що виконує функції пульта оператора.

Підсистемою ведення архівів параметрів і подій є 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.

Для виміру температури в діапазоні від 600 до 1600 °С використовуються датчики із чутливим елементом із платинородій-платинородія (ТПР). Оскільки датчик монтується в піч, його клемна коробка розташовується в безпосередньому контакті з піччю й повинна витримувати температуру до 200 °С. Підключення датчика до інтелектуального пристрою повинне здійснюватися за допомогою стандартного перешкодостійкого струмового інтерфейсу 4-20 мА. Висунутим вимогам відповідає датчик ТЕРА 29-b-1,2 (рис. 1.7), з температурним діапазоном від 600 до 1600°С, клемною коробкою,

що витримує температуру до 300°C. Датчик підключається за допомогою струмового інтерфейсу 4-20 мА.



Рисунок 1.7 – Датчик температури ТПР-У-1-29-В-1,2

Керування температурою в печі здійснюється за рахунок регулювання потужності газових пальників. (рис. 1.8)

Потужність пальників регулюється контролером, який на підставі значення температури в печі розраховує кількість потужності яку необхідно подати на пальник.



Рисунок 1.8 – Пальник Weishaupt WG10 N/1-D

Відповідно до вимог до системи керування температурою в печі в якості пристрою керування був використаний програмований логічний контролер компанії VIPA 214-2BE03 (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Програмований логічний контролер 214-2BE03

Для підключення до програмованого логічного контролера датчика температури ТПР-У-1-29-В-1,2 був використаний модуль аналогового входу з діапазоном вхідного сигналу від 4 до 20 мА VIPA 234-1BD50, (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Модуль аналогового вводу/виводу VIPA 234-1BD50

Для підключення до програмованого логічного контролера газових пальників був використаний модуль комунікаційного процесора VIPA 240-1CA20 що функціонує в режимі майстра польової шини RS-485 інтерфейсу. (рис. 1.11).



Рисунок 1.11 - Модуль комунікаційного процесора 240-1CA20

В якості джерела постійної напруги контролера було обрано джерело живлення SPD24301 зі змінною напругою живлення від ~ 85 до ~ 264 В, вихідною напругою +24 В і потужністю 30 Вт (Рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Джерело живлення SPD24301

На підставі вимог до системи керування нагріву температури скловарної печі і вибраного обладнання в кваліфікаційній роботі бакалавра була розроблена функціональна схема автоматизації та схема електрична принципова, наведені на рисунках 1.13 та 1.14 відповідно.

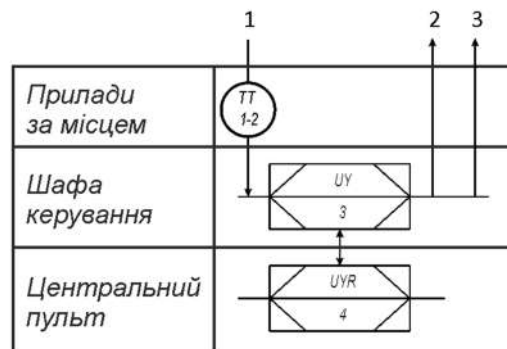
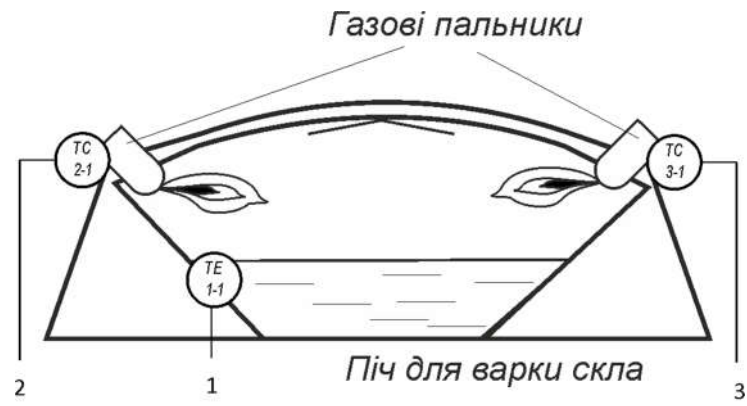


Рисунок 1.13 – Функціональна схема автоматизації

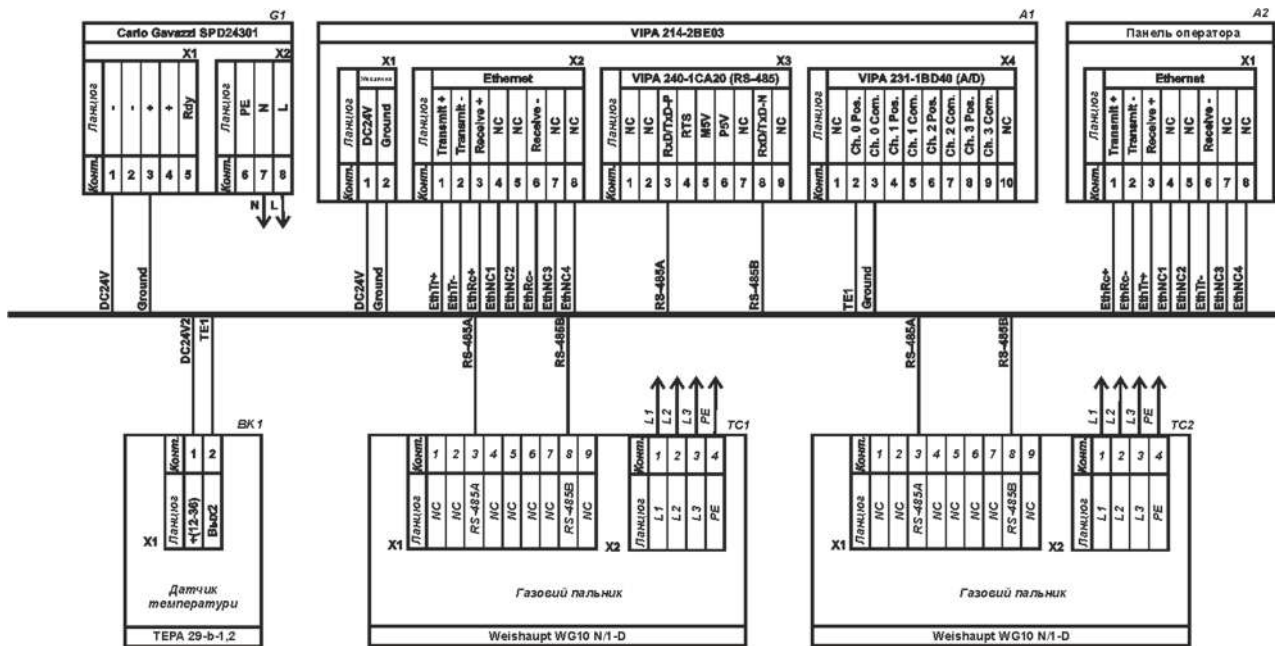


Рисунок 1.14 – Схема електрична принципова

1.5 Формулювання задачі дослідження

Метою кваліфікаційної роботи магістра є створення системи керування процесом нагріву скловарної печі та підтримку температури на заданому рівні.

Сформуємо основні задачі дослідження:

- Розрахувати параметри для P, PI, PID регуляторів, та порівнявши їх обрати найкращий, що буде задовольняти усім вимогам.

- Оцінити реакцію на збурюючий вплив.

- Оцінити інтеграл помилки.

- Дослідити систему на робастність.

Враховати основні вимоги до системи, такі як:

- Доведення температури у середині скловарної печі до заданого рівня

- Підтримка температури на заданому рівні.

- Забезпечення мінімального часу перехідного процесу.

- Забезпечення мінімального часу встановлення, коли дійсне значення потрапило у діапазон $\pm 5\%$.

- Зменшення енерговитрат.

1.6 Висновки по розділу

Об'єктом дослідження є система керування нагрівом скловарної печі.

Метою роботи є створення та дослідження системи керування нагрівом скловарної печі.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка нової системи керування нагрівом скловарної печі, згідно з висунутими вимогами щодо якості та часу перехідного процесу, зменшить вплив основних недоліків скловарної печі, забезпечить досконале керування об'єктом.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Модель об'єкта керування

У промисловості найбільш поширеним способом отримання математичної моделі є ідентифікація об'єкта керування. Ідентифікація - це процес побудови математичної моделі об'єкта керування, заснований на обробці спостережуваних вхідних і вихідних сигналів.

Процес ідентифікації об'єкта керування складається з трьох етапів: структурна ідентифікація, параметрична ідентифікація та оцінка адекватності моделі.

Спочатку, було виконано повне налаштування людино-машинного інтерфейсу SCADA системи zenon, що входить до складу системи дослідження роботи скловарної печі.

Процес ідентифікації об'єкта керування буде проходити в математичному пакеті MATLAB, тому дані отримані в результаті експериментальних досліджень за допомогою SCADA системи zenon імпортуємо в пакет MATLAB.

SCADA система zenon для збереження даних використовує файли з розширенням TXT і текстовим форматом CSV. Ці дані імпортуються у вигляді змінних до математичного пакету MATLAB за допомогою інтегрованих до нього функцій.

Так як в дійсних значеннях знятих даних присутня статична складова (початкова температура шихти, що дорівнює 500°C), то для проведення ідентифікації ми прибираємо її:

```
>> Dynamic_Output = Dynamic_Output - 500 ;
>> Static_Output = Static_Output - 500;
>> P_Output = P_Output - 500;
>> Check_Output = Check_Output - 500;
```

Для виконання конвертування усіх даних необхідно у вікні команд виконати наступну послідовність:

```
>>Dynamic_Raw = iddata(Dynamic_Output, Dynamic_Input, 1.0);
>>Static_Raw = iddata(Static_Output, Static_Input, 1.0);
>>P_Raw = iddata(P_Output, P_Input, 1.0);
```

```
>>Check_Raw = iddata(Check_Output, Check_Input, 1.0);
```

Дані отримані в результаті дослідження П-образним впливом розбиваємо на два вектори. Перший вектор відображає реакцію об'єкта керування на зміну керуючого впливу від 0 до 100% (0-60кВт), а другий на зміну керуючого впливу від 100% до 0.

Далі було отримано динамічну характеристику (рис. 2.1). Для цього об'єкт був приведений до початкового стану, шляхом подачі в якості амплітуди керуючого впливу 0.

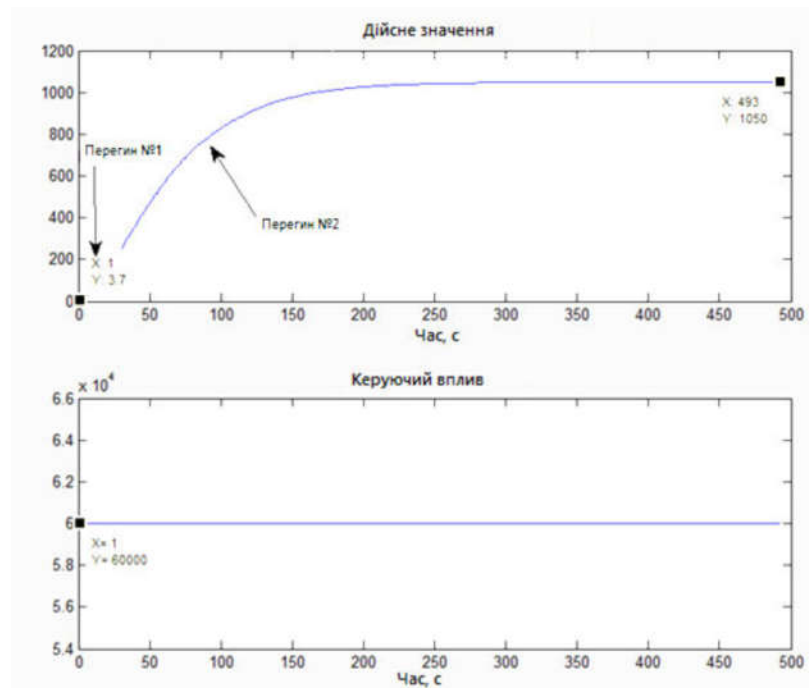


Рисунок 2.1 – Динамічна характеристика об'єкта керування

За динамічною характеристикою було визначено структуру об'єкта керування. Так як було чітко виражені 2 перегини, можна зробити висновок, що об'єкт має два чітко виражених корені, і модель об'єкта може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого чи більш високого порядку (2.1).

$$W(s) = \frac{k}{(T_1s+1)(T_2s+1)} \quad (2.1)$$

Далі було отримано дані для побудови статичної характеристики (рис. 2.2). Для цього об'єкт переводиться до початкового стану, шляхом подачі у якості амплітуди керуючого впливу 0.

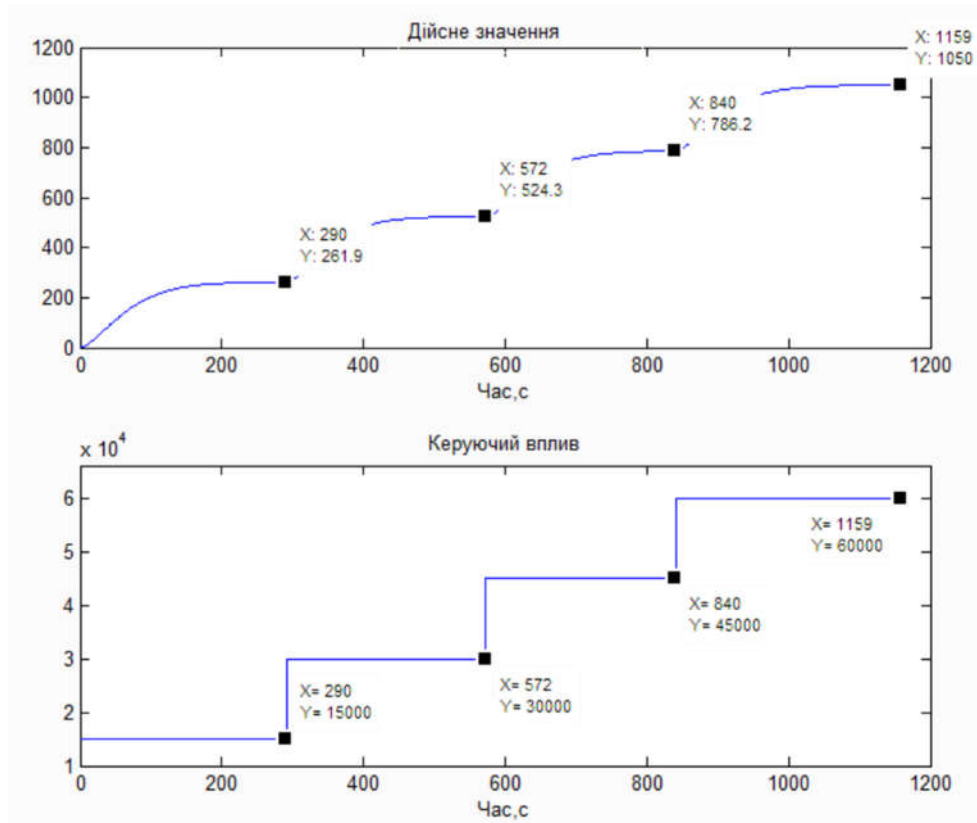


Рисунок 2.2 – Статична характеристика об'єкту керування

І проведено дослідження за допомогою П-подібного впливу, що показав симетричність моделі, та відсутність інтегруючої складової (рис. 2.3)

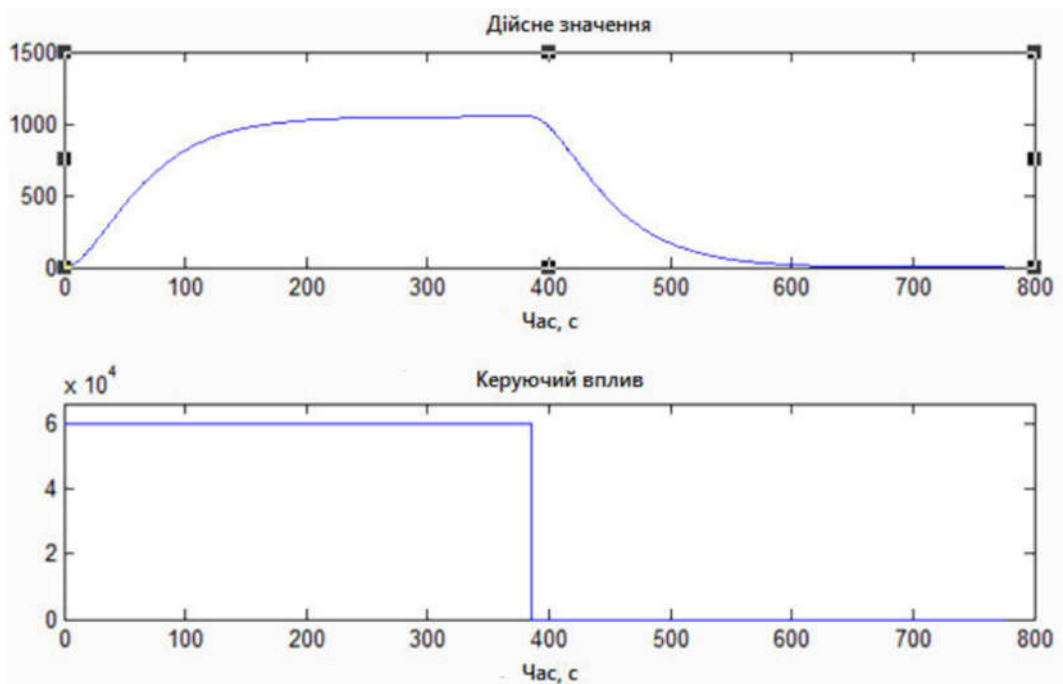


Рисунок 2.3 – Характеристика об'єкту керування під П-подібним впливом.

Таким чином у результаті виконання плану експерименту проведено дослідження у результаті якого були отримані динамічна характеристика, дані для побудови статичної характеристики, проведено дослідження за допомогою П - подібного керуючого впливу, а також отримані перевіірочні дані.

На основі структурної ідентифікації був проведений автоматичний розрахунок параметрів для аперіодичних ланок другого та третього порядку. Параметри моделей, отримані в результаті параметричної ідентифікації в програмному забезпеченні "SystemIdentificationToolbox" представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку параметрів об'єкту керування

Назви	P2	P3
k	0.017504	0.017495
T1,c	43.039	23.21
T2,c	26.33	52.866
T3,c	-	53.167
Dynamic-динамічні характеристики		
FPE	0.934333	0.907388
MSE	0.923098	0.892899
Check-Перевіірочні дані		
NRMSE,%	98.04	53.07

Як видно з отриманих оцінок модель другого порядку більше відповідала перевіірочним даними, ніж модель третього порядку (98,04% проти 53,07%) на підставі цього зробили остаточний висновок, що об'єкту керування найбільш відповідає аперіодична ланка другого порядку без затримки. На підставі проведених досліджень буда отримана модель об'єкта керування у вигляді передавальної функції:

$$W(s) = \frac{0.0017504}{(43.0389s + 1)(26.3298s + 1)}$$

Модель об'єкту керування у математичному пакеті MATLAB має вигляд (рис. 2.4) :



Рисунок 2.4 – Модель об'єкту керування

2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування

Відповідно до поставлених вимог до роботи системи, і ідентифікованої раніше моделі об'єкта (аперіодичної ланки другого порядку без затримки), необхідно провести дослідження на робастність – за рахунок погіршення футерування, збільшуються тепловтрати, таким чином варто збільшити коефіцієнт посилення на 10%. Та найбільшу з двох постійну часу збільшити на 10% за рахунок змін теплопередачі.

Також необхідно дослідити поведінку системи, з умовою застосування декількох типів регуляторів. Та вивести залежності якості роботи системи відповідно до зміни параметрів системи.

Для цього об'єкту, виходячи з його характеристик, буде проведено дослідження з використанням оптимального регулятора для визначення граничних показників, P, PI, PID регуляторів. PI регулятор є кращим рішенням для об'єктів 1-2го порядків без затримки, а також має здатність компенсувати статичну помилку за її наявності. Проте PID регулятор може показати кращі результати.

Методи за допомогою яких, буде проведено дослідження, і одержання параметрів для кожного з регуляторів:

- PIDTUNE
- Метод AMIGO

Алгоритм налаштування регулятора, методом PIDTUNE відповідає основним цілям регулятора. Під час налаштування, K вибирається таким чином, щоб забезпечити хороше співвідношення між продуктивністю і робастністю. За

замовчуванням алгоритм вибирає частоту зрізу (ширину смуги пропускання) на підставі динаміки моделі і мінімального запасу по фазі в 60 градусів.

Алгоритм розрахунку проводиться за таким планом:

1. Створення моделі ОК на мові matlab.
2. Створення налаштувань опції PIDTUNE за допомогою функції pidtuneOptions.
3. Розрахунок параметрів регулятора.
4. Перетворення до стандартної форми за допомогою функції pidstd.
5. Отримання результатів розрахунку за допомогою функції pidtool.

Щоб визначити граничні показники для критеріїв якості, розробимо оптимальний регулятор для даного об'єкту керування.

Існує об'єкт керування виражений аперіодичною ланкою другого порядку без затримки з такими параметрами:

Максимальний керуючий вплив: 60000

$K=0,0175$

$T1=43,04$

$T2=26,33$

Виконаємо розрахунок моментів перемикання оптимального регулятора.

$$\frac{K}{(T1p+1)(T2p+1)} = \frac{x(t)}{Um} \quad (2.2)$$

$$[T1T2p^2 + (T1 + T2)p + 1] x(t) = \pm KUm \quad (2.3)$$

Введемо корені характеристичного рівняння об'єкта керування:

$$p1 = \frac{-1}{T1}, p2 = \frac{-1}{T2} \quad (2.4)$$

Початкове значення моменту перемикання дорівнює 0.

Кінцеве значення: 800.

$Um = \pm 60000$.

Знайдемо постійні інтегрування на різних інтервалах керування

$$A0 \pm KUm = \pm 1050 \quad (2.5)$$

$$x(t) = A_0 + A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} \quad (2.6)$$

$$\dot{x}(t) = p_1 A_1 e^{p_1 t} + p_2 A_2 e^{p_2 t} \quad (2.7)$$

На другому інтервалі :

$$x(t) = A_{20} + A_{21} e^{p_1 t} + A_{22} e^{p_2 t} \quad (2.8)$$

$$\dot{x}(t) = p_1 A_{21} e^{p_1 t} + p_2 A_{22} e^{p_2 t} \quad (2.9)$$

Запишемо 1 і 2 на момент t_2 :

$$x_2 = A_{20} + A_{21} e^{p_1 t_2} + A_{22} e^{p_2 t_2} = 1050 \quad (2.10)$$

$$\dot{x}_2 = p_1 A_{21} e^{p_1 t_2} + p_2 A_{22} e^{p_2 t_2} = 0 \quad (2.11)$$

Відносно t_1 маємо:

$$t_1 = T_1 \ln \left[\left(\left[1 + \frac{x_2}{kU_m} \right] e^{\frac{t_2}{T_1}} + 1 \right) / 2 \right] \quad (2.12)$$

$$t_1 = T_2 \ln \left[\left(\left[1 + \frac{x_2}{kU_m} \right] e^{\frac{t_2}{T_2}} + 1 \right) / 2 \right] \quad (2.13)$$

Перевіримо правильність розрахунків за допомогою пакета MATLAB:

```
function PontryaginMaximumPerformanceO2(K, T1, T2, xn, xk,
Umin, Umax)
fprintf('\nОб'єкт керування\n'), tf([K],[T1 1]) * tf([1],[T2
1])
%Діапазон розрахунку відповідає більший постійній часу
if (T1 > T2)
    t2=0 : T1 / 1000.0 : T1 * 3;
else
    t2=0 : T2 / 1000.0 : T2 * 3;
end
if (xn < xk)
    U0 = Umax;
    U1 = Umin;
    fprintf('Виконується збільшення дійсного значення \n\n')
else
    U0 = Umin;
    U1 = Umax;
    fprintf('Виконується зменшення дійсного значення \n\n')
end
%Розрахунок двох кривих точка перетину яких дає час комутації
ft1 = T1 * log(((xk - K * U1) * exp (t2 / T1) - (xn - K *
U0)) / (K * (U0 - U1)));
ft2 = T2 * log(((xk - K * U1) * exp (t2 / T2) - (xn - K *
U0)) / (K * (U0 - U1)));
%Розрахунок часу комутації
TI = 0;
```



```

TU1 = 0;
TU2 = 0;
for i=2:size(ft1, 2) - 1
    if (ft1(i) > ft2(i - 1) && ft1(i) < ft2(i + 1))
        TU1 = TU1 + ft1(i) + ft2(i);
        TU2 = TU2 + t2(i);
        TI = TI + 1;
    end
end
TU1 = TU1 / TI / 2;
TU2 = TU2 / TI;
U2 = xk / K;
%Результат
fprintf('u0 = %f, u1 = %f, u = %f, t1 = %f, t2 = %f\n\n', U0,
U1, U2, TU1, TU2)

```

Виконується збільшення дійсного значення

```

u0 = 60000.000000, u1 = 0.000000, u = 45714.285714, t1 =
92.435148, t2 = 98.796025
%Візуалізація характеристик
figure_handle = findobj('Tag',
'Tag_PontryaginMaximumPerformance_Figure');
if (ishandle(figure_handle))
    close(figure_handle);
end
figure('Name', 'Часові характеристики', 'Tag',
'Tag_PontryaginMaximumPerformance_Figure');
if (xn < xk)
    plot(ft1, t2);hold all;plot(ft2, t2);hold
off;figure(gcf);
else
    plot(ft2, t2);hold all;plot(ft1, t2);hold
off;figure(gcf);
end
xlabel('t2, c');
ylabel('t1, c');

```

Маємо:

```

u0 = 60000.000000, u = 45714.285714, t1 = 92.435148, t2 =
98.796025

```

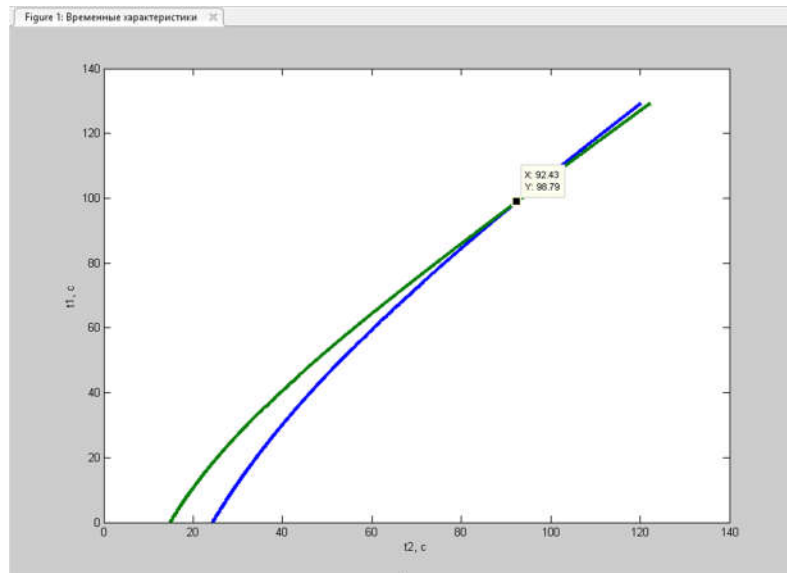


Рисунок 2.5 – Часові характеристики



Рисунок 2.6 – Реалізація оптимального регулятора для ОУ

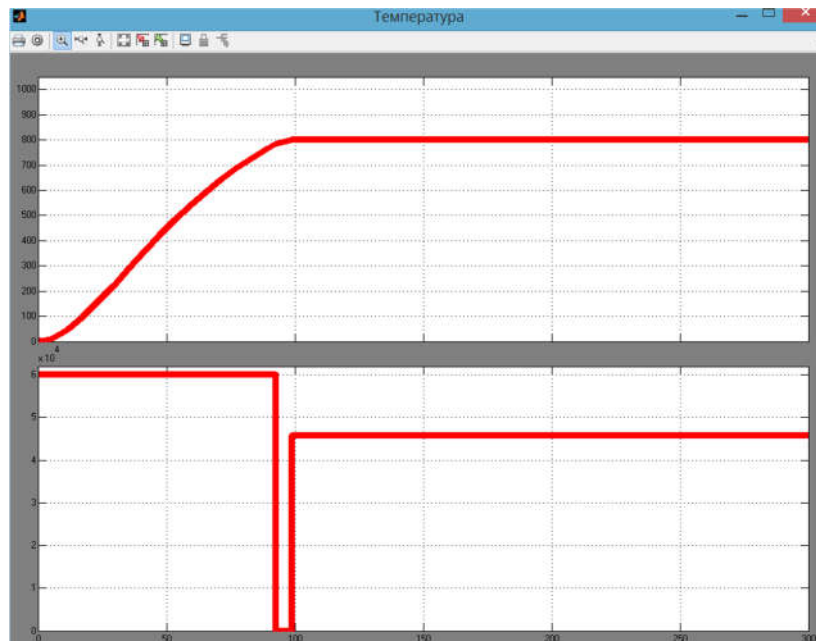


Рисунок 2.7 – Результат моделювання

За результатами моделювання оптимального регулятора можемо сформулювати граничні показники, як вимоги до системи.

Визначимо вимоги, щодо часу наростання – час за який ОУ досягає значення, що дорівнює 90 % від уставки. Для цього порівнюємо час за який ОУ досягає 90% уставки при використанні оптимального регулятора та при використанні керуючого впливу, що дорівнює 45714.286 Вт з другого інтервалу оптимального регулятора. А також визначимо час встановлення – час за який об'єкт досягає 99% від уставки, та порівнюємо. Таким чином знайдемо мінімальний та максимальний час.

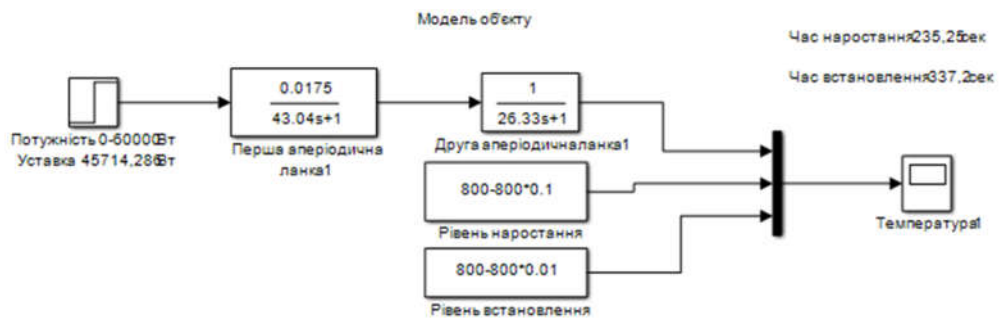


Рисунок 2.8 – Реалізація схеми у пакеті MATLAB для визначення максимального часу наростання та встановлення

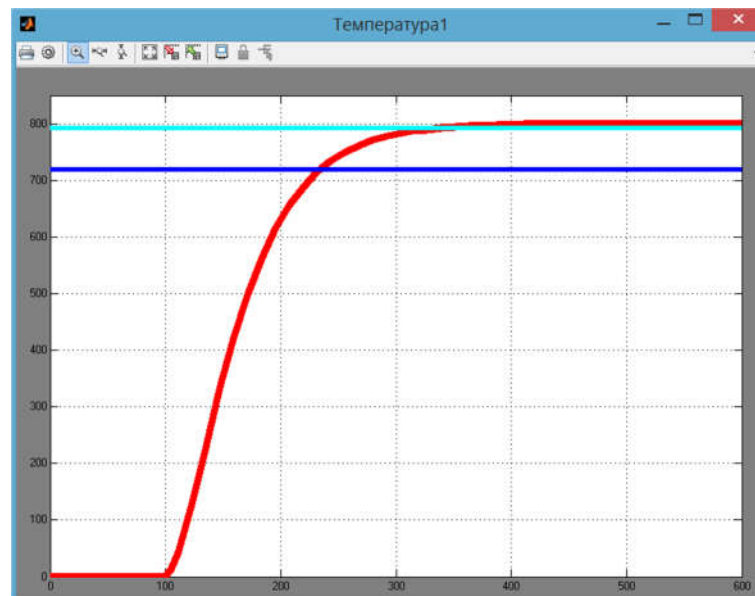


Рисунок 2.9 – Результати моделювання

Виходячи з цього, маємо:

$T_{\max \text{ наростання}} = 235,25 \text{ с,}$

$T_{\max \text{ встановлення}} = 337,2 \text{ с.}$

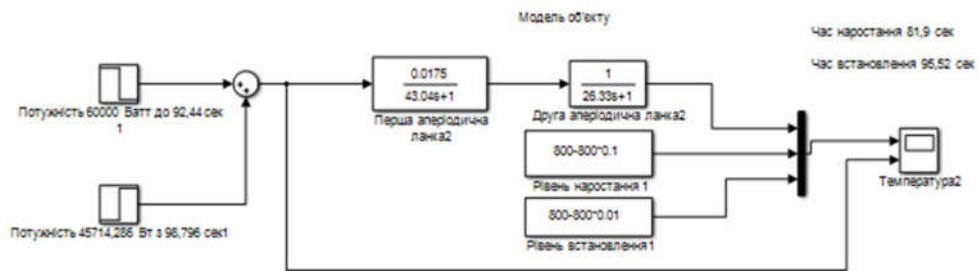


Рисунок 2.10 – Реалізація схеми у пакеті MATLAB для визначення мінімального часу наростання та встановлення

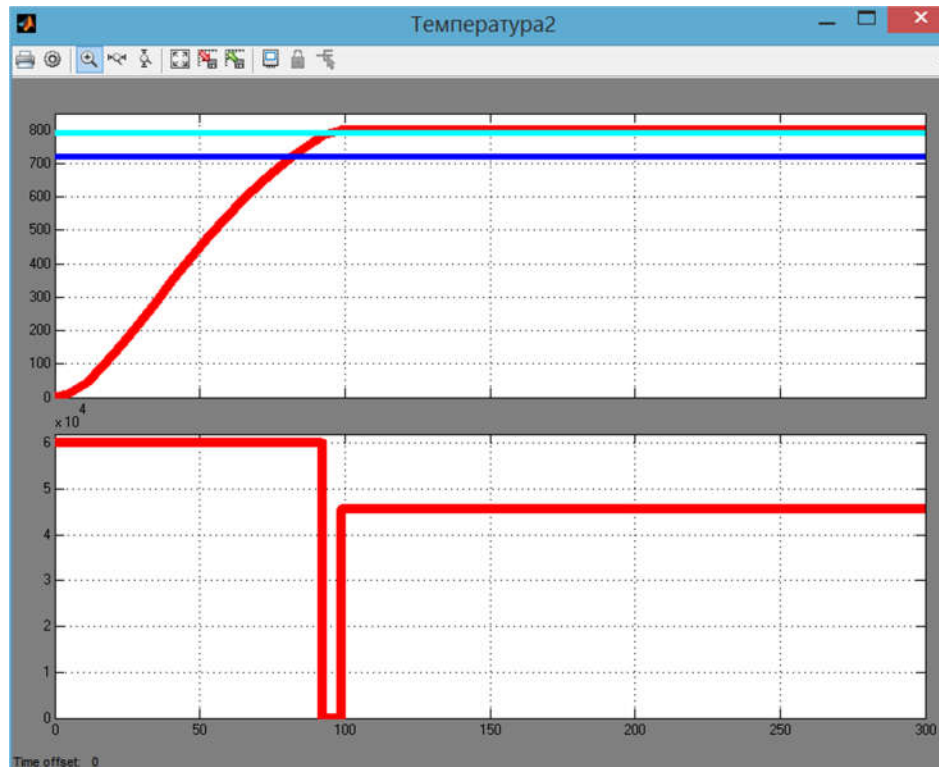


Рисунок 2.11 – Результати моделювання

Виходячи з цього, маємо:

$T_{\text{мін наростання}} = 81,9 \text{ с}$,

$T_{\text{мін встановлення}} = 95,52 \text{ с}$.

Перерегулювання визначається за абсолютним значенням уставки, та складає 5%. Згідно з цим, максимальне значення уставки дорівнює 840.

2.3 Висновки по розділу

В результаті проведених досліджень було отримано модель ОК, визначено параметри оптимального регулятора для керування, та визначено

граничні показники, межах яких повинна відповідати розроблена система керування.

А саме, T_{\max} наростання = 235,25 с, T_{\min} наростання = 81,9 с,

T_{\max} встановлення=337,2 с, T_{\min} встановлення=95,52 с.

Перерегулювання максимум 5%, що дорівнює максимальному значенню уставки 840.

Отриманих даних про функціонування ОК, та висунутих критеріїв достатньо для проведення синтезу системи та обрання конкретного типу регулятора, з використанням описаних у цьому розділі методів.

3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Модель системи керування

У результаті проведеної ідентифікації отримана модель об'єкту керування. Проведемо дослідження згідно з висунутими критеріями якості та розглянемо поведінку ОК з використанням декількох типів регуляторів, та перевіримо на відповідність критеріям якості.

Розрахунок параметрів для P, PI, PID регуляторів проведемо методами PIDTUNE, AMIGO про які говорили раніше.

Розрахунок параметрів PID регулятора за допомогою метода PIDTUNE:

```
Object=tf([0.0175],[43.04 1])*tf([1],[26.33 1])
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 чого, отримано:

Таблиця 3.1 – Параметри PID регулятора розраховані методом PIDTUNE

Kp	Ki	Td=Kd	Ti	Tf
110	2.18	436	50.3	8.62

Аналогічно отримаємо параметри P, PI регуляторів:

Таблиця 3.2 – Параметри PI регулятора розраховані методом PIDTUNE

Kp	Ki	Ti
113	1.77	63.87

Таблиця 3.3 – Параметри P регулятора розраховані методом PIDTUNE

Kp
239.1

Таблиця 3.4 – Параметри регуляторів розраховані методом PIDTUNE

	Kp	Ki	Ti	Td=Kd	Tf
P	239.1				
PI	113	1.77	63.87		
PID	110	2.18	436	50.3	8.62

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

```
function ObjectParameters(Object)
% подача ступінчатого впливу на модель
% y - дійсне значення
% t - час
[y t] = step(Object);

% прибирання статичної складової
% Offset - величина зсуву по осі y
Offset = y(1);
y = y - Offset;

%Отримання відгуку моделі на частоті 0 Гц, для інтегруючої
ланки,
%дорівнює нескінченності
fresp = evalfr(Object, 0);
if isinf(fresp)
    fprintf('\nМодель відповідає інтегруючій ланці\n')

    % Визначення кутового коефіцієнту прямої k,
    % що відповідає коефіцієнту підсилення інтегруючої ланки
    K

    %  $K = k = (y_2 - y_1) / (t_2 - t_1)$ 
    K = ((y(end) - y(end-1)) / (t(end) - t(end-1)));
    % Визначення постійної часу інтегратора, яка обернено
пропорційна
%коефіцієнту підсилення
%  $T = 1 / K$ 
T = 1 / K;

    % Визначення часу затримки на основі подібності
трикутників
%  $\tau = (y_2 * t_1 - y_1 * t_2) / (y_2 - y_1)$ 
tau = (y(end) * t(end-1) - y(end-1) * t(end)) / (y(end) -
y(end-1));
    fprintf('\nT = %f tau = %f\n\n', T, tau);
else
```

```

fprintf('\nМодель відповідає аперіодичній ланці\n')

% Визначення коефіцієнта підсилення
K = y/u, u = 1
K = y(end);

% Визначення початку ділянки підйому динамічної
характеристики
[~,ind] = max(diff(y));
% Визначення кутового коефіцієнта прямої k, на ділянці
підйому
% k = (y2 - y1) / (t2 - t1)
k = (y(ind+1) - y(ind)) / (t(ind+1) - t(ind));

% Визначення зсуву по осі y
% dy = k * t - y
dy = k * t(ind+1) - y(ind+1);

% Визначення точки перетину прямої осі x, що відповідає
% значенню затримки
tau = dy / k;
% Визначення часу досягнення дійсним значенням 0.63*K* u
ind2 = find(y>=0.63*K,1,'first');
ind1 = ind2 - 1;

% Визначення постійної часу
% T = (t1 + t2) / 2 - tau
T = (t(ind1) + t(ind2)) / 2 - tau;

fprintf('\nK = %f T = %f tau = %f\n\n', K, T, tau);
end

```

В результаті чого, отримали:

Модель відповідає аперіодичній ланці:

$K = 0.017$ $T = 64.998$ $\tau = 9.329$

Отримані дані є достатніми та необхідними для розрахунку параметрів регуляторів за методом AMIGO.

```

function PID_AMIGO_O2D(K, T, tau)
fprintf('\nПараметри моделі ОУ\n')
fprintf('\nK = %f T = %f tau = %f\n\n', K, T, tau);
fprintf('\nПараметри Р-регулятора \n')
Kp = (0.3 * T) / (K * tau);
fprintf('\nKp = %f\n\n', Kp);
fprintf('\nПараметри PI-регулятора\n')
Kp = 0.15 / K + (0.35 - (T * tau) / (T + tau)^2) * T / (K * tau);
Ti = 0.35 * tau + (13 * tau * T^2) / (T^2 + 12 * T * tau + 7 * tau^2);
fprintf('\nKp = %f Ti = %f\n\n', Kp, Ti);
fprintf('\nПараметри PID - регулятора\n')

```



```

Kp = 1 / K * (0.2 + (0.45 * T) / tau);
Ti = (0.8 * T + 0.4 * tau) * tau / (0.1 * T + tau);
Td = (0.5 * T * tau) / (T + 0.3 * tau);
N = 100;
fprintf('\nKp = %f Ti = %f Td = %f N = %f Tf = %f\n\n', Kp,
Ti, Td, N, Td / N);

```

Отримані результати

Параметри Р-регулятора

$K_p = 122.952463$

Параметри PI-регулятора

$K_p = 107.284092$ $T_i = 45.573084$

Параметри PID - регулятора

$K_p = 149.193$ $T_i = 32.846$ $T_d = 4.472$ $N = 100.000000$ $T_f = 0.045$

Таблиця 3.5 – Параметри регуляторів розраховані методом AMIGO

	K_p	T_i	$T_d=K_d$	T_f
P	122.953			
PI	107.284	45.573		
PID	149.193	32.846	4.472	0.045

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

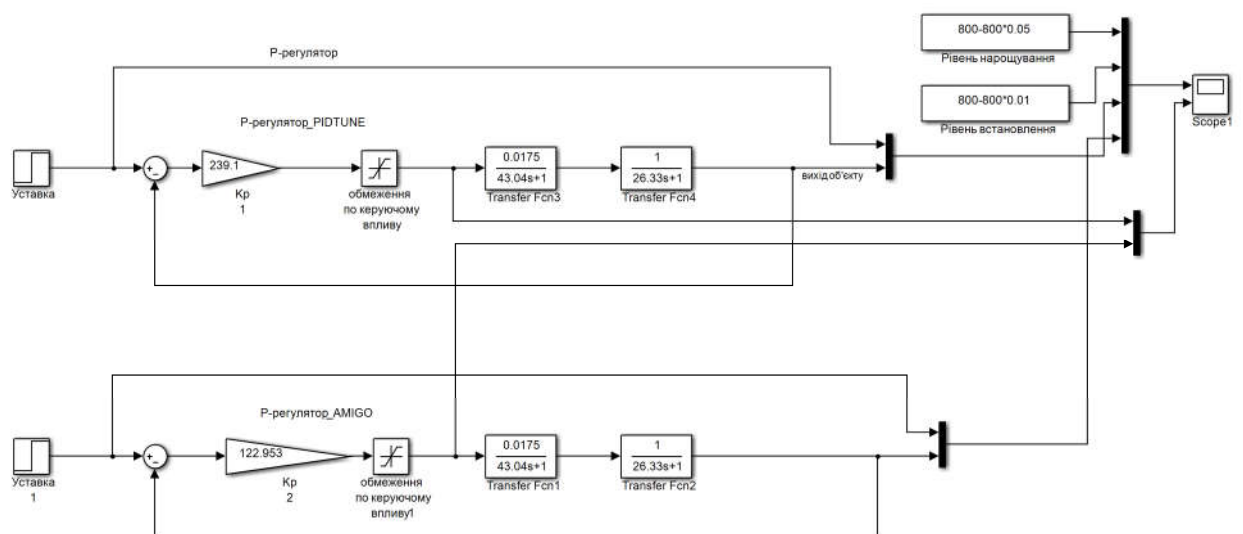


Рисунок 3.1– Модель системи керування з Р-регулятором з параметрами, що розраховані за методами PIDTUNE та AMIGO

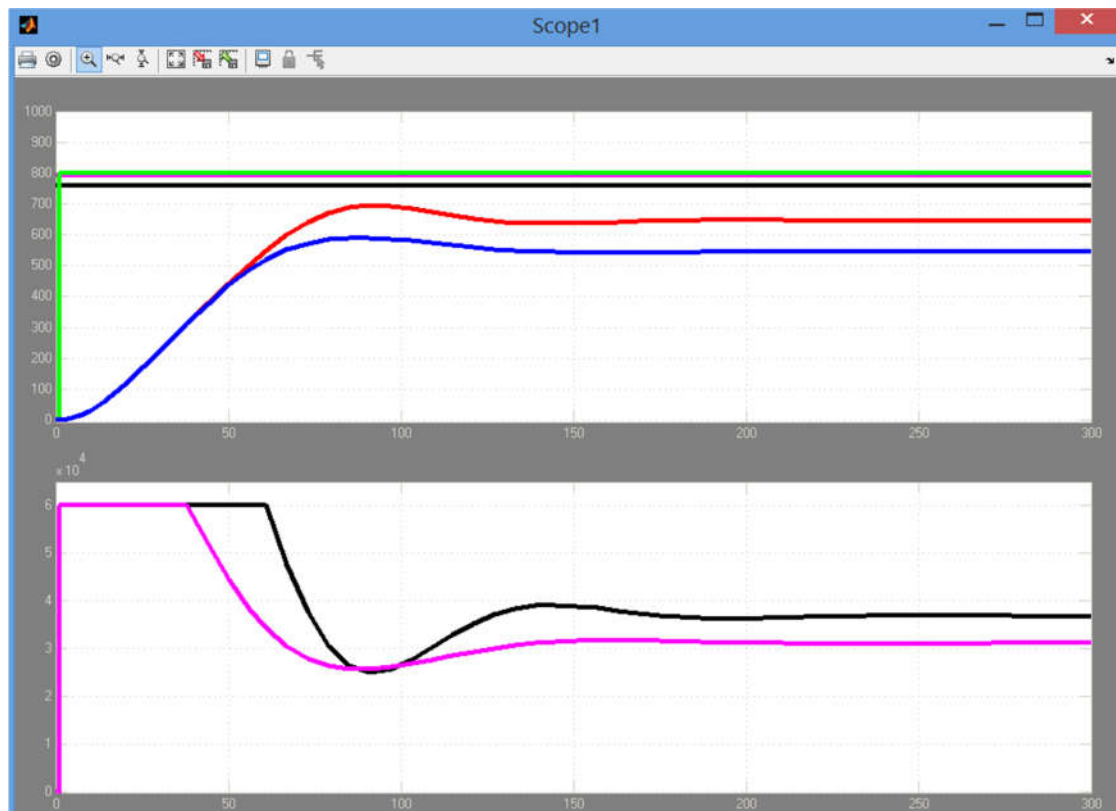


Рисунок 3.2– Результат моделювання системи керування з використанням Р-регулятора з параметрами, що розраховані за методами PIDTUNE та AMIGO

Оцінка, відповідно до критеріїв:

Таблиця 3.6 – Оцінка Р-регулятора відповідно до критеріїв

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка 10^8
		с	%	с	%	°С	%	
1	PIDTUNE	-	-	-	-	-	-	1.036
2	AMIGO	-	-	-	-	-	-	0.7347

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням Р-регулятора, з параметрами, що розраховані методами PIDTUNE та AMIGO, можна зробити висновок, що використання Р-регулятора неможливе для системи керування, що проектується у даній роботі, через велику статичну помилку. Для подальшого дослідження, проаналізуємо PI-регулятор, який за допомогою інтегруючої складової може компенсувати статичну помилку.

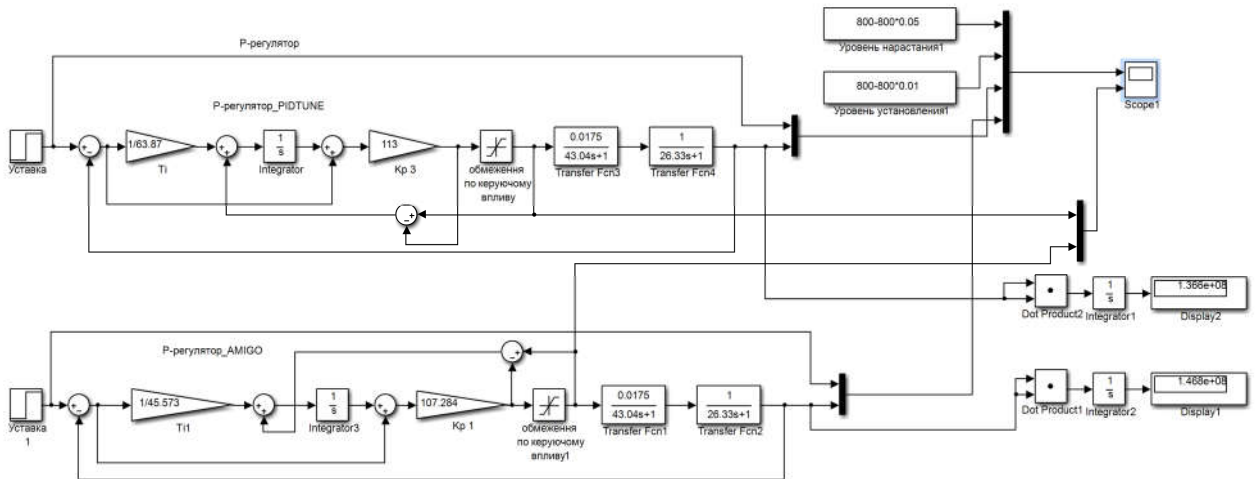


Рисунок 3.3 – Модель системи керування з використанням PI-регулятора з параметрами, що розраховані за методами PIDTUNE та AMIGO

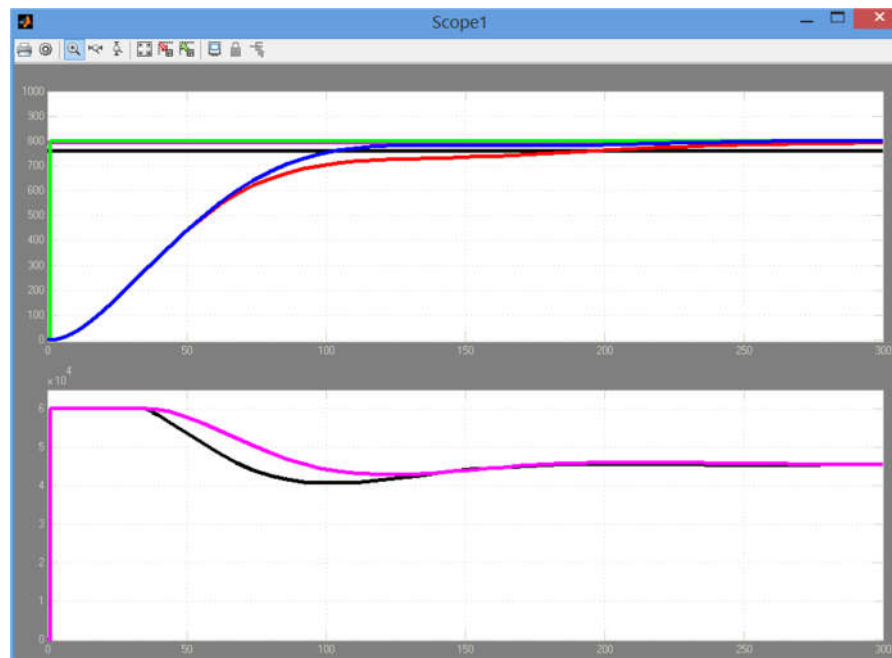


Рисунок 3.4– Результати моделювання системи керування з використанням PI-регулятора з параметрами, що розраховані за методами PIDTUNE та AMIGO

Таблиця 3.7 – Оцінка PI-регулятора відповідно до критеріїв

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка 10^8
		с	%	с	%	°С	%	
1	PIDTUNE	196	74.4	430	138.4	-	-	1.366
2	AMIGO	103.7	14.21	306	87.09	-	-	1.468

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням PI-регулятора, з параметрами, що розраховані методами PIDTUNE та AMIGO,

можна зробити висновок, що можливе при використанні PI-регулятора, перехідний процес має досить тривалий час встановлення. Для подальшого дослідження, проаналізуємо PID-регулятор, який за допомогою диференційної складової може компенсувати великі неузгодженості та повільний вихід ОУ на значення уставки.

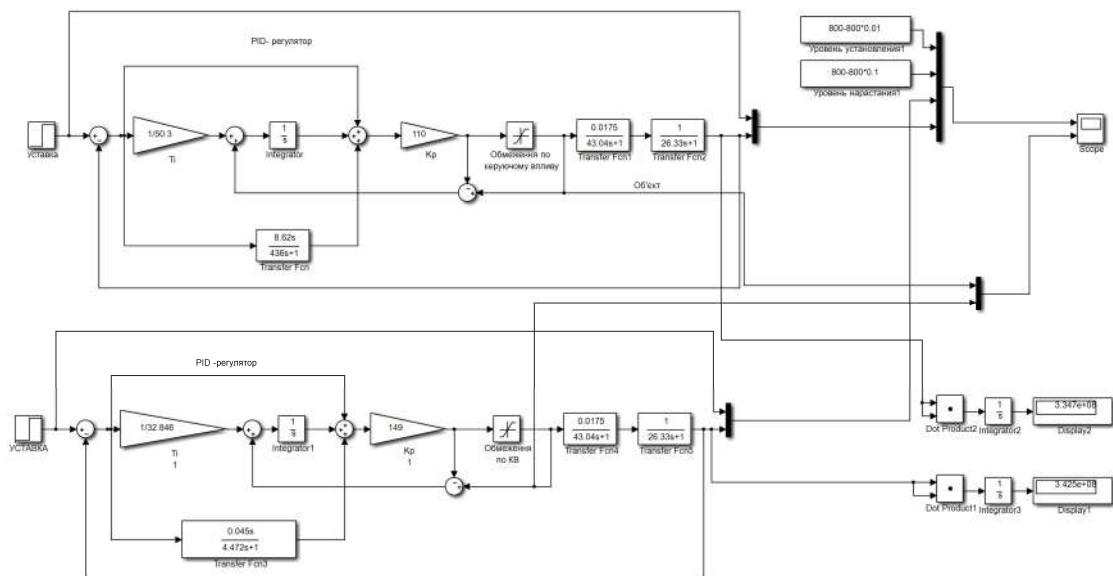


Рисунок 3.5 – Модель системи керування з використанням PID-регулятора з параметрами, що розраховані за методами PIDTUNE та AMIGO

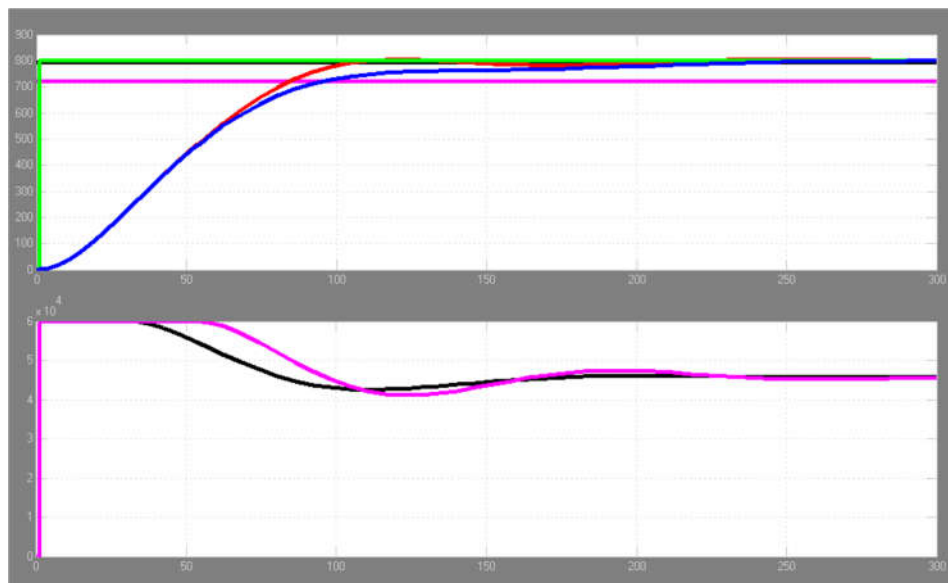


Рисунок 3.6– Результати моделювання системи керування з використанням PID-регулятора з параметрами, що розраховані за методами PIDTUNE та AMIGO

Таблиця 3.8 – Оцінка PID-регулятора відповідно до критеріїв

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка *10 ⁸
		с	%	с	%	°C	%	
1	PIDTUNE	96.5	9.52	244	61.43	-	-	1.429
2	AMIGO	85	2.02	105	3.92	5	0,625	1.506

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням PID-регулятора, з параметрами, що розраховані методами PIDTUNE та AMIGO, можна зробити висновок, що використання PID-регулятора найбільш сприятливе для функціонування системи керування, що проектується у даній роботі. Проте, можемо вручну налаштувати та відкоригувати параметри регулятора, аби досягти кращих результатів.

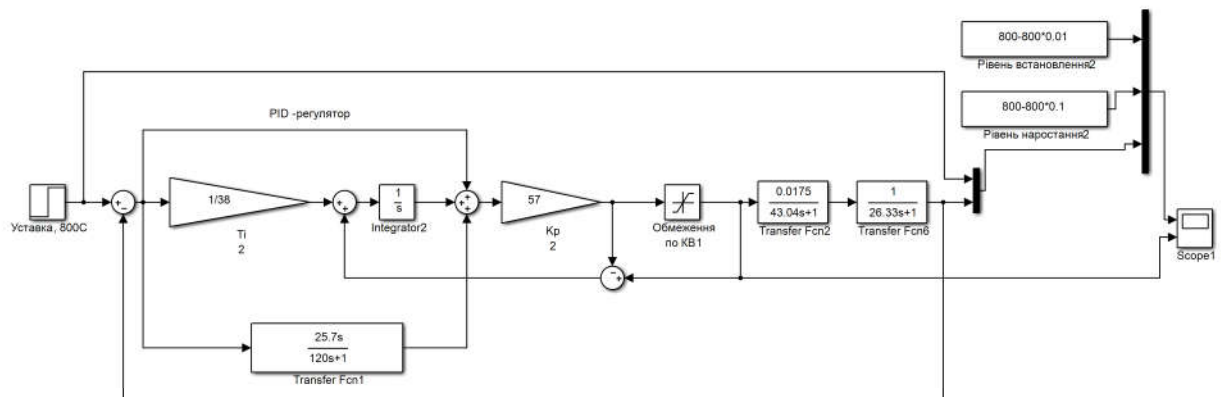


Рисунок 3.7 – Скорегована модель системи

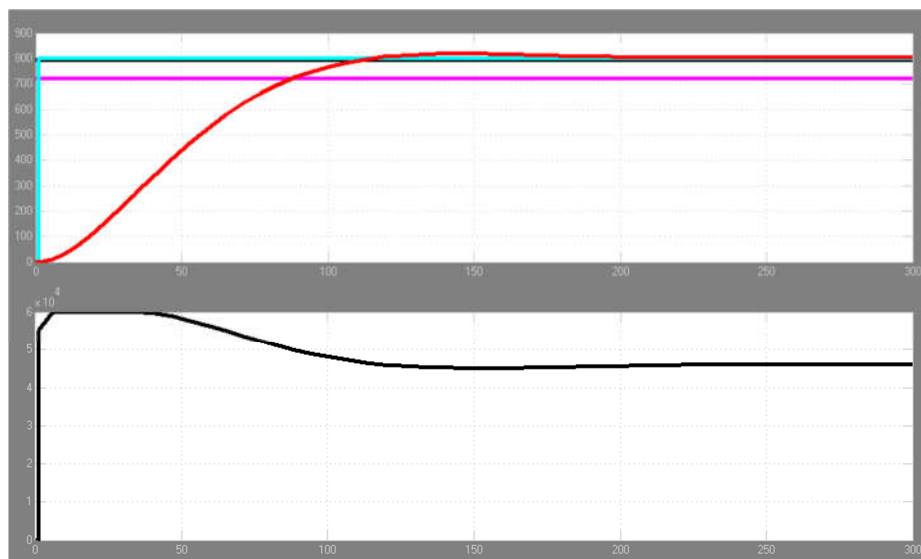


Рисунок 3.8– Результати моделювання

Таблиця 3.9 – Оцінка PID-регулятора відповідно до критеріїв

Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
с	%	с	%	°С	%	10^8
87,58	3,7	110,5	6,2	18	2,25	1.522

Як бачим, відрегульовані вручну значення дають кращий результат, тому надалі використовувати будемо PID-регулятор з наступними параметрами:

$$K_p=57, T_i=38, T_d=120, T_f=25.7$$

3.2 Оцінка якості функціонування системи керування

Остаточний вигляд системи керування:

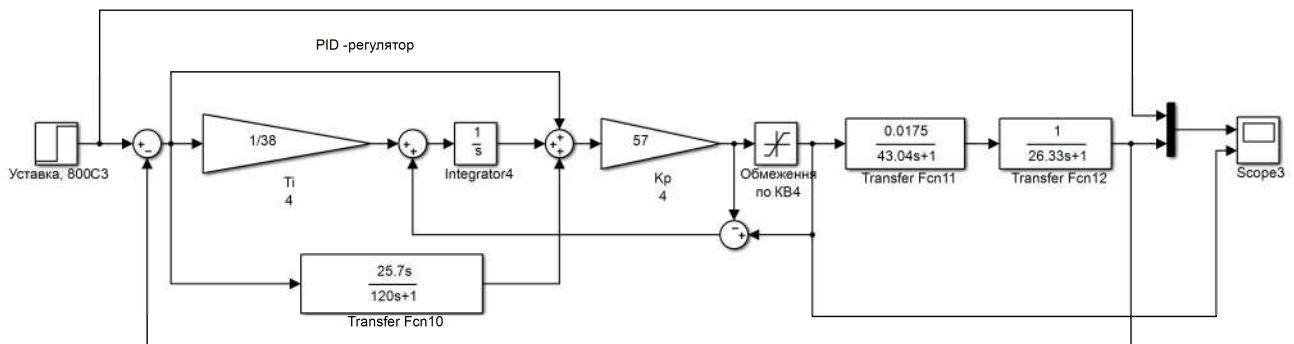


Рисунок 3.9 – Остаточна модель системи керування

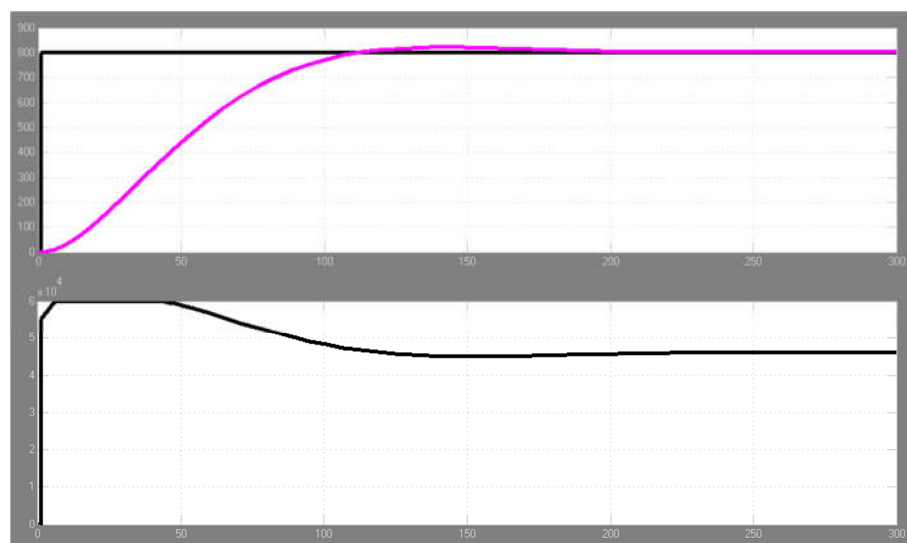


Рисунок 3.10 – Результати моделювання

Дослідимо роботу системи керування в умовах технологічного процесу, а саме, перевіримо систему на робастність та реакцію на збурюючий вплив, так

як, за рахунок погіршення футеровки, збільшуються тепловтрати. А також, суттєво впливає на роботу системи тип та марка металу.

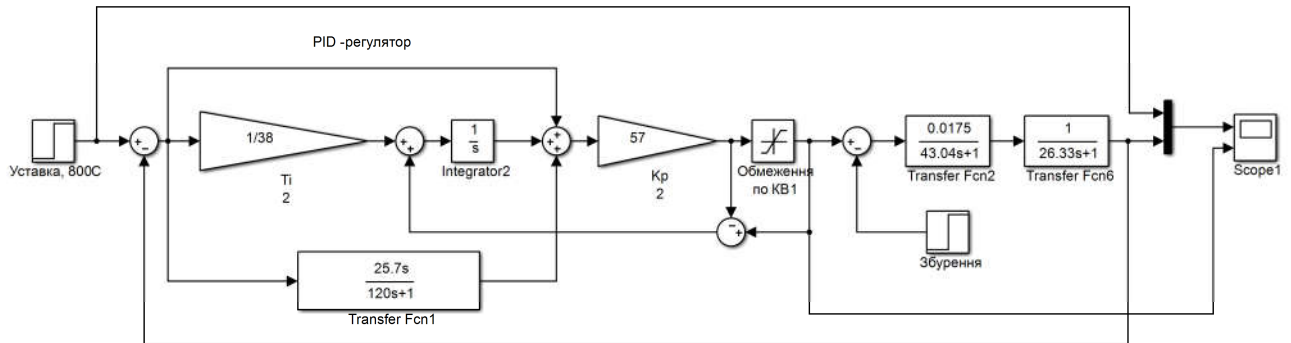


Рисунок 3.11– Модель перевірки СУ на збурення

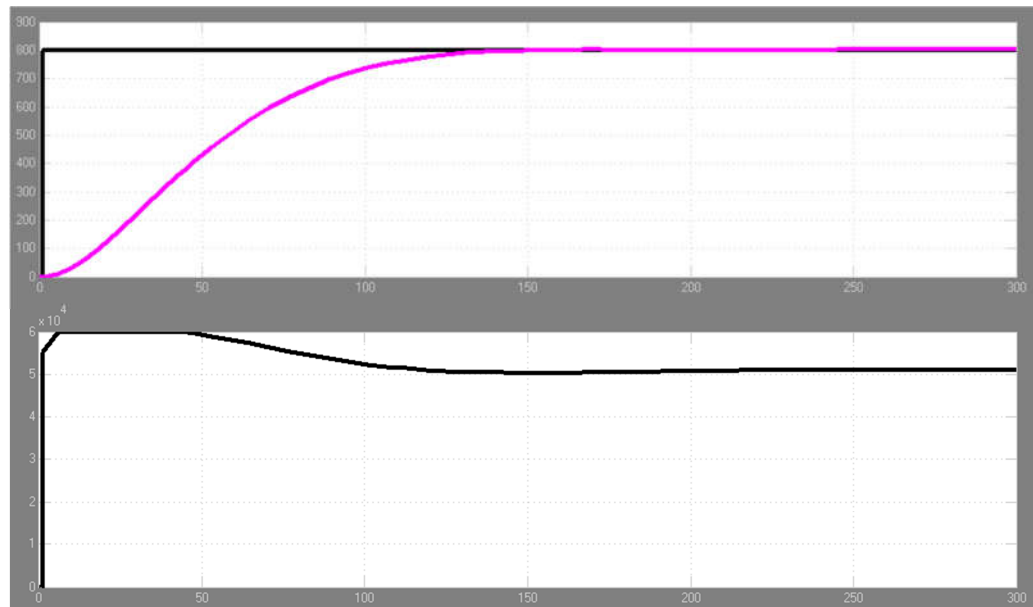


Рисунок 3.12 – Результати моделювання

Перевірка СК на збурення відбувалася шляхом подачі збурюючого впливу на вхід об'єкту через 180 с після початку роботи системи. Результати моделювання (рис. 3.12) показують, що присутність збурення не вносить критичних змін в роботу системи.

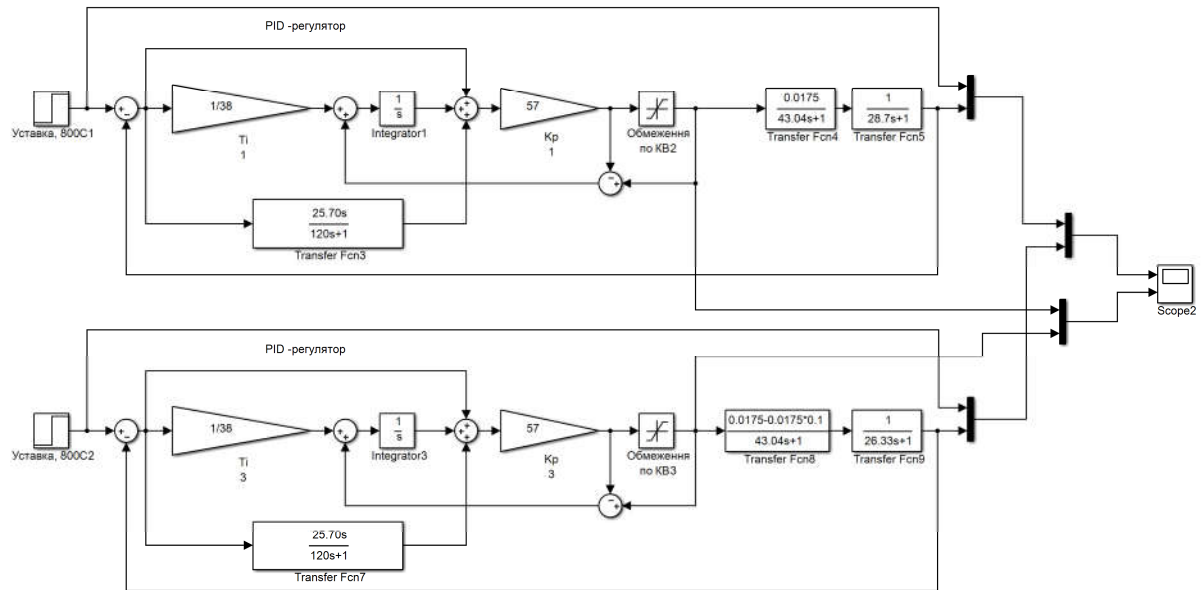


Рисунок 3.13 – Модель перевірки СК на робастність

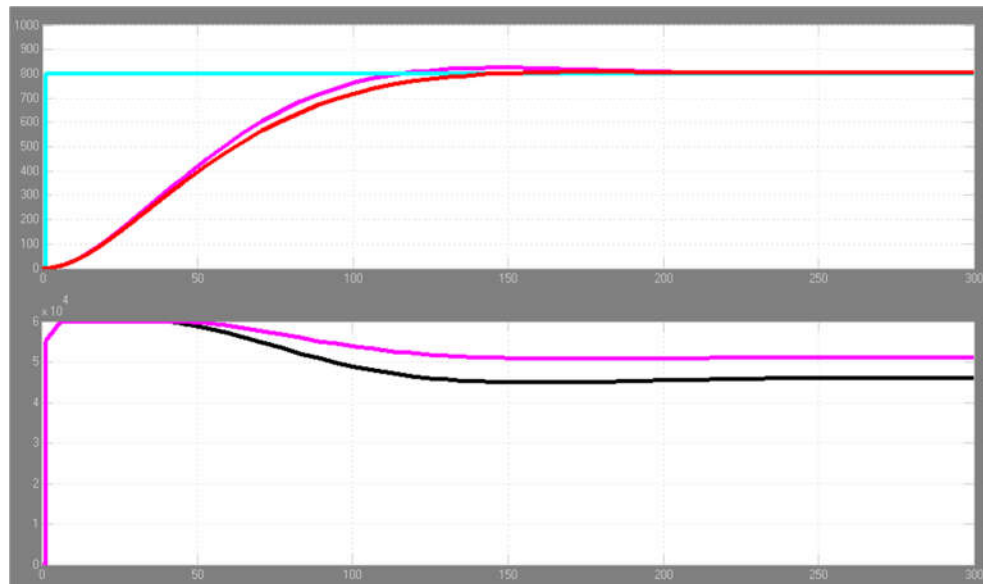


Рисунок 3.14 – Результати моделювання

Перевірка моделі на робастність була проведена шляхом зміни параметрів об'єкта : K -10%, T +10%. Результати показали, що навіть при такій зміні параметрів об'єкта регулятор виконує свої функції відповідно до вимог.

Знайдемо залежності між значеннями параметрів регулятора, та якістю роботи системи за критеріями. Для цього, змінимо значення T_i та T_d на $\pm 20\%$ для кожного параметра, та визначимо діапазон на якому побудуємо залежності.

Таблиця 3.10 – Дані для побудови залежності від зміни T_i при $T_d=96$

T_i При $T_d=96$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°C	%
30	84,7	1,83	101,7	2,56	42	5,25
34	86,44	2,96	106,82	4,68	26,3	3,29
38	88,85	4,53	115,8	8,39	10	1,25
42	92,15	6,68	138	17,58	5	0,63
46	96,17	9,31	210,5	47,58	4	0,50

На основі даних у таблиці 3.10 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни часу інтегрування при $T_d = 96$.

Таблиця 3.11 – Дані для побудови залежності критеріїв від зміни T_i при $T_d=120$

T_i При $T_d=120$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°C	%
30	84,42	1,64	100,31	1,98	46	5,75
34	85,75	2,51	104,23	3,60	32,5	4,06
38	87,58	3,70	110,5	6,20	18	2,25
42	90	5,28	121	10,54	3	0,38
46	93	7,24	206	45,71	2	0,25

На основі даних у таблиці 3.11 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни часу інтегрування при $T_d = 120$.

Таблиця 3.12 – Дані для побудови залежності від зміни T_i при $T_d=144$

T_i При $T_d=144$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°C	%
30	84,28	1,55	99,71	1,73	50	6,25
34	85,4	2,28	103	3,10	38	4,75
38	86,9	3,26	107,71	5,04	23,5	2,94
42	89,05	4,66	115,5	8,27	10	1,25
46	91,55	6,29	131,2	14,76	0	0,00

На основі даних у таблиці 3.12 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни часу інтегрування при $T_d = 144$.

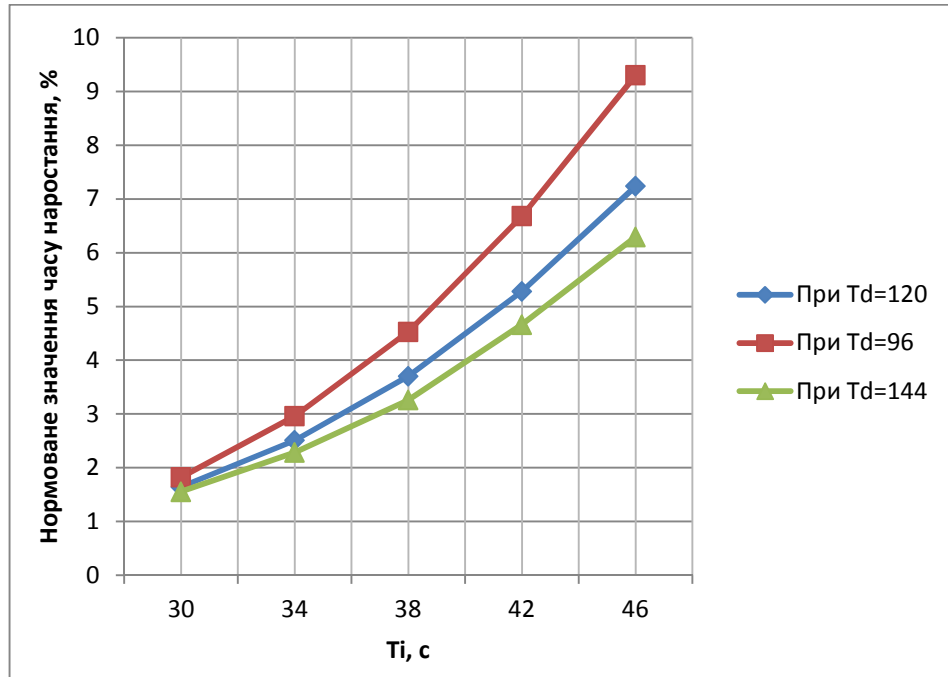


Рисунок 3.15 – Залежність зміни часу наростання від зміни T_i

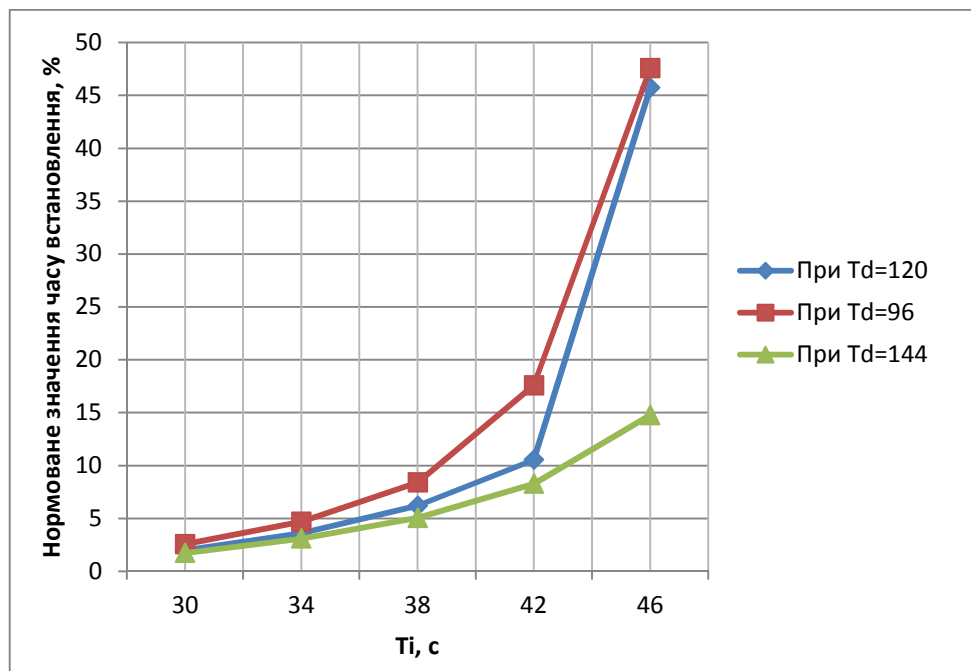
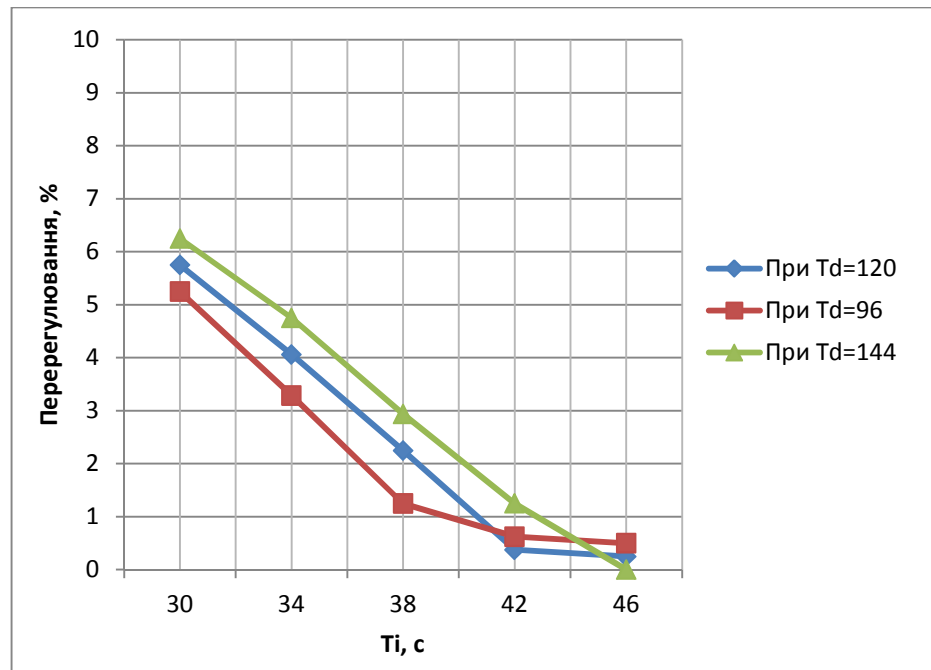


Рисунок 3.16 – Залежність зміни часу встановлення від зміни T_i

Рисунок 3.17 – Залежність зміни перерегулювання від зміни T_i Таблиця 3.13 – Дані для побудови залежності від зміни T_d при $T_i=30$

T_d при $T_i=30$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°C	%
96	84,7	1,83	101,7	2,56	42	5,25
108	84,48	1,68	100,8	2,18	45	5,63
120	84,42	1,64	100,31	1,98	46	5,75
132	84,35	1,60	100	1,85	49	6,13
144	84,28	1,55	99,71	1,73	50	6,25

На основі даних у таблиці 3.13 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни часу диференціювання при $T_i=30$.

Таблиця 3.14 – Дані для побудови залежності критеріїв від зміни T_d при $T_i=38$

T_d при $T_i=38$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°C	%
96	88,85	4,53	115,8	8,39	10	1,25
108	88,02	3,99	112,4	6,98	14,4	1,80
120	87,58	3,70	110,5	6,20	18	2,25
132	87,25	3,49	108,8	5,49	20	2,50
144	86,9	3,26	107,71	5,04	23,5	2,94

На основі даних у таблиці 3.14 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни часу диференціювання при $T_i = 38$.

Таблиця 3.15 – Дані для побудови залежності критеріїв від зміни T_d при $T_i = 46$

Td при $T_i=46$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°C	%
96	96,17	9,31	210,5	47,58	4	0,50
108	94,33	8,11	208,6	46,79	3	0,38
120	93	7,24	206	45,71	2	0,25
132	92,1	6,65	140,7	18,69	1,6	0,20
144	91,55	6,29	131,2	14,76	0	0,00

На основі даних у таблиці 3.15 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни часу диференціювання при $T_i = 46$.

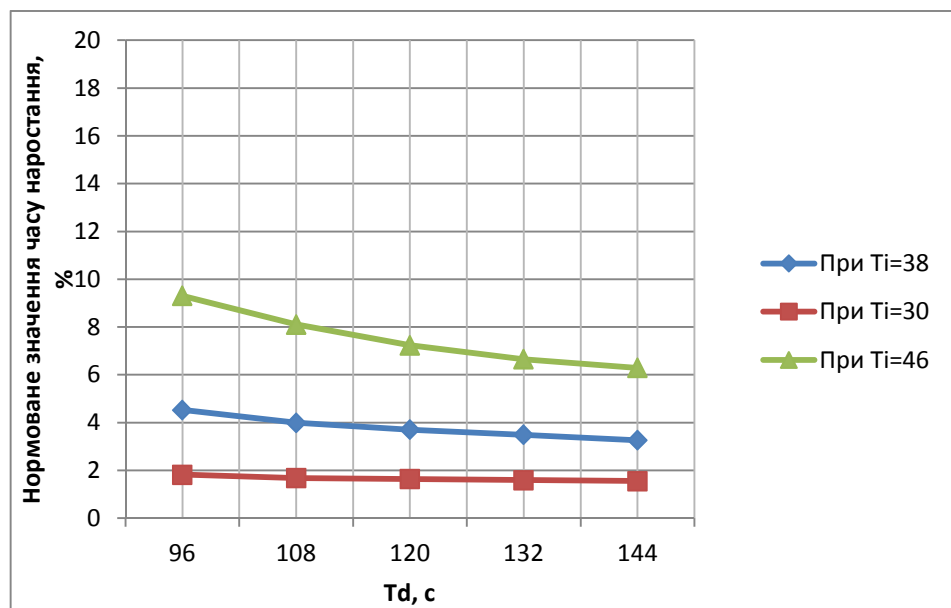


Рисунок 3.18 – Залежність зміни часу наростання від зміни T_d

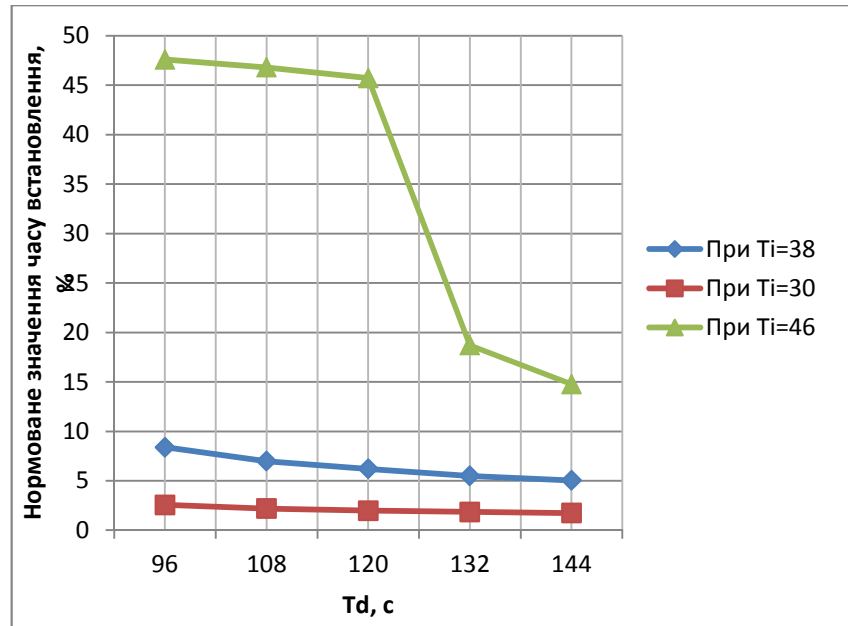


Рисунок 3.19 – Залежність зміни часу встановлення від зміни T_d

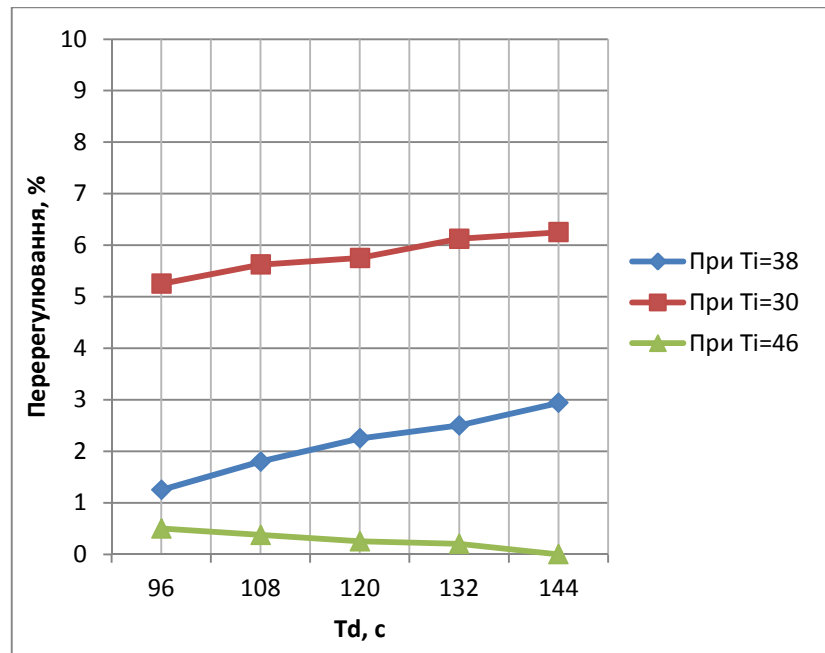


Рисунок 3.20 – Залежність зміни перерегулювання від зміни T_d

На основі проведеного дослідження та вперше отриманих залежностей для даного об'єкту, можемо сформулювати правила до налаштування регулятора:

1. Найкращого значення за заданими критеріями можна досягти шляхом обрання параметра T_i таким чином: змінити значення T_i з кроком 3 – 4, та визначити у якому напрямі зміни T_i відносний час встановлення збільшується. (якщо стало менше при переході в обидві сторони - це і є точка екстремуму). Якщо точка екстремуму

не знайдена, продовжуємо змінювати T_i у напрямі, що відповідає збільшенню часу встановлення, з тим самим кроком до тих пір, поки T встановлення не почне зменшуватися. Після зменшення T встановлення змінюємо T_i у зворотному напрямі, але із меншим кроком.

2. Чим більшими є величина T_i у діапазоні від 30 до 46 та T_d , у діапазоні від 96 до 144, тим кращі результати буде отримано за критеріями висунутими до системи.

3.3 Висновки до розділу

В результаті проведеного дослідження, було отримано модель системи керування, визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи згідно з висунутими критеріями. А також отримано залежності зміни роботи системи за критеріями в залежності від зміни параметрів регулятора.

Отриманих результатів достатньо для переходу до експериментального розділу, та розробки ЛМІ.

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.

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.

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

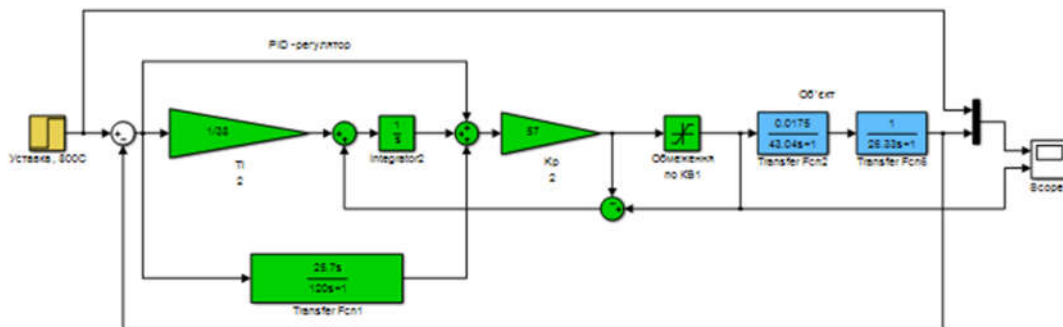


Рисунок 4.1– Безперервна модель системи керування

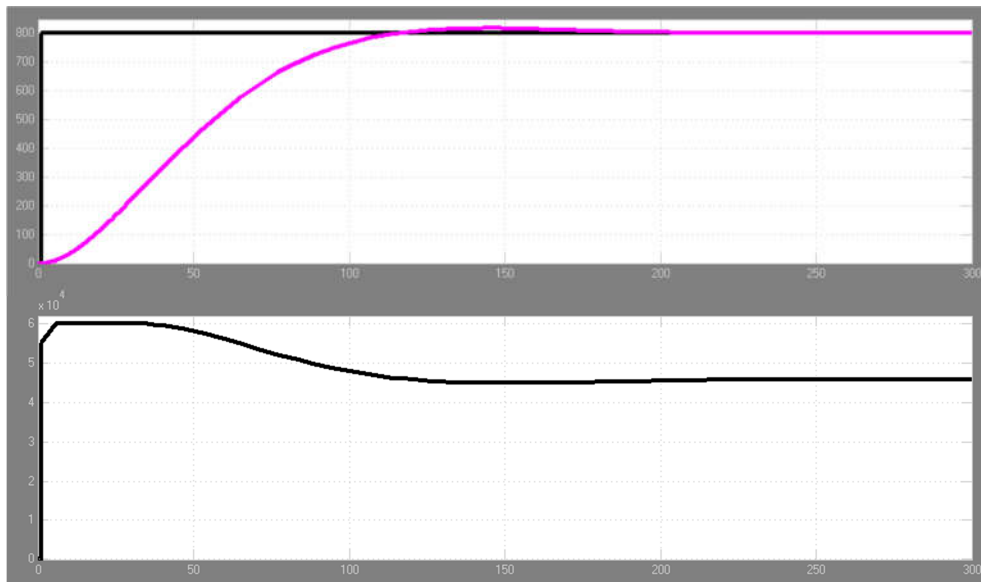


Рисунок 4.2 – Результати моделювання

Проведемо заміну безперервних елементів модулі системи керування цифровими:

Для об'єкта:

```
>> c2d(tf([0.0175],[43.04 1]), 0.1)
```

```
ans =
```

```
4.061e-05
```

```
-----  
z - 0.9977
```

```
Sample time: 0.1 seconds
```

```
Discrete-time transfer function.
```

```
>> c2d(tf([1],[26.33 1]), 0.1)
```

```
ans =
```

```
0.003791
```

```
-----  
z - 0.9962
```

```
Sample time: 0.1 seconds
```

```
Discrete-time transfer function.
```

Для регулятора:

Виконаємо заміну необхідних блоків, з безперервних на цифрові, та розрахуємо параметри для диференційної ланки регулятора.

```
>> c2d(tf([25.7 0],[120 1]), 0.1)
```


$$\text{ans} = \frac{0.2142 z - 0.2142}{z - 0.9992}$$

Sample time: 0.1 seconds

Discrete-time transfer function.

В результаті заміни безперервних елементів моделі на цифрові, було отримано:

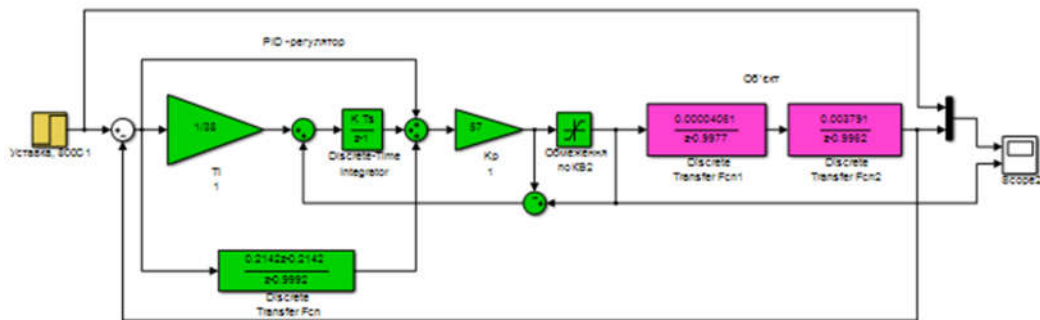


Рисунок 4.3 – Цифрова модель системи керування

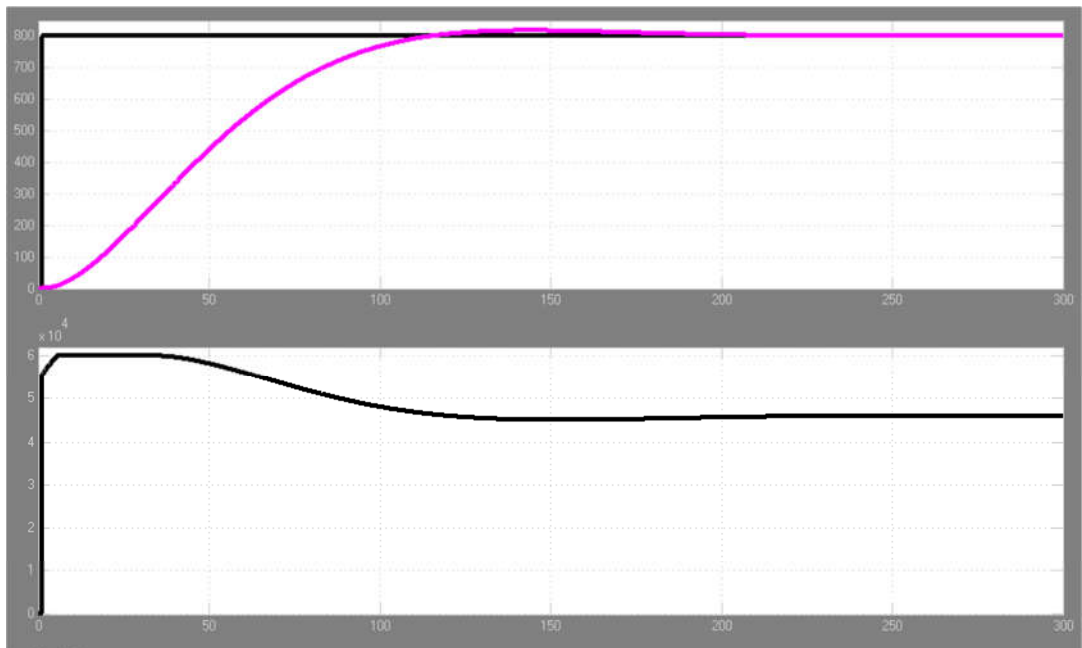


Рисунок 4.4 – Результати моделювання

За нормованим середньо-квадратичним відхиленням оцінимо відповідність цифрової моделі системи керування безперервній моделі.

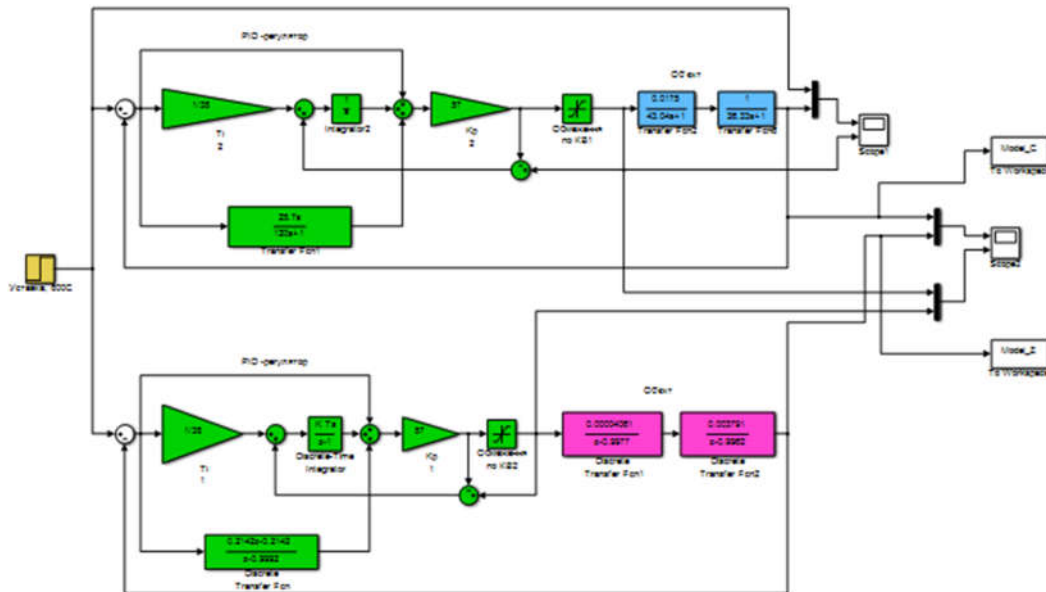


Рисунок 4.5 – Перевірка відповідності

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

```
ans = 99.5703
```

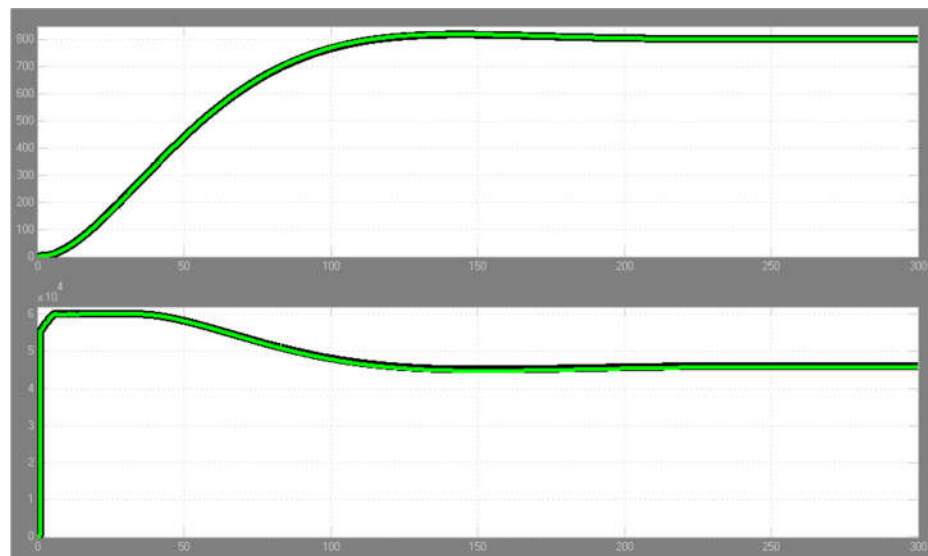


Рисунок 4.6 – Результати моделювання

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

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

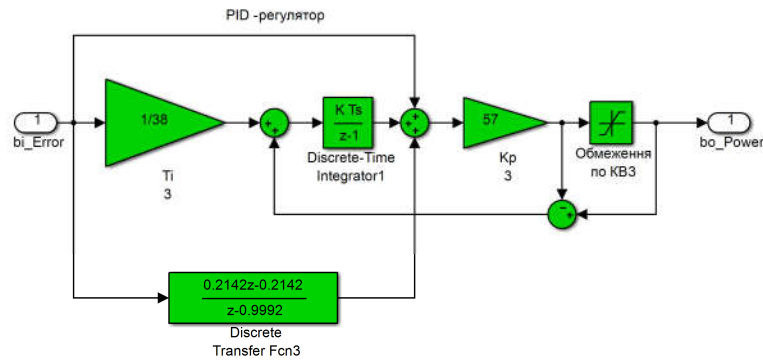


Рисунок 4.7 – Підсистема регулятора

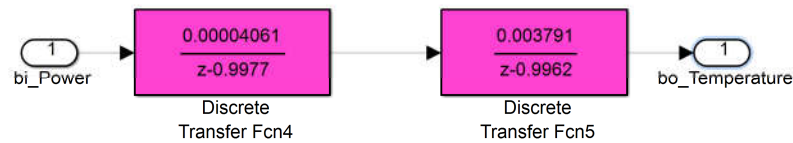


Рисунок 4.8 – Підсистема об'єкта

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

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи керування поділено на два окремих програмних блоки: регулятор та об'єкт керування. Програмне забезпечення регулятора розроблено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon. Програмне забезпечення об'єкту керування розроблено як ПЗ перевірки функціонування системи керування для драйверу пристрою керування. Для розробки ПЗ об'єкта керування було створено драйвер пристрою керування з налаштуванням, що показано на рисунку 4.9.

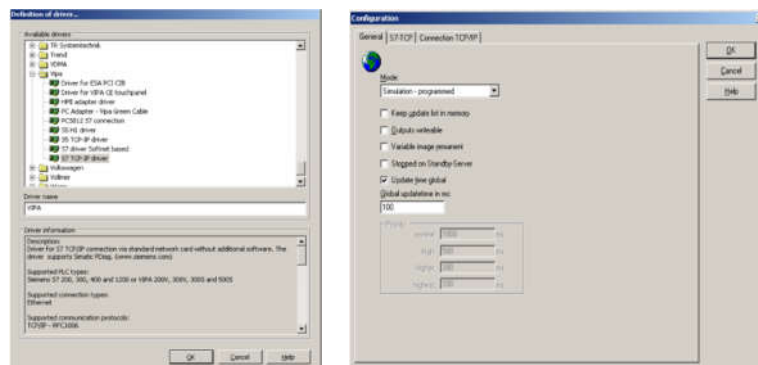


Рисунок 4.9 – Вибір драйверу пристрою керування та його налаштування

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

State	Name	Id	Measur.	Net address	Data	Offset	Bit num.	Aligm.	Symbol	Driver	Data type	Decimals	Start offset
	Power		kWt	0	0	0	0	0		S7TCP32 - S7 TCP-IP	UINT	0	0
	Temperature		°C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - S7 TCP-IP	UINT	0	0
	Controller/Global/Control_Power		KWt	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	0	0
	Controller/Global/Control_Temperature		°C	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	1	0
	Controller/Global/Control_SetPoint		°C	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	0	0

Рисунок 4.10– Змінні драйверу пристрою керування

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

Так як програмований логічний контролер компанії VIPA перетворює аналогові сигнали у цифровий код з діапазоном від 0 до 27648, то отримане значення від SCADA системи zenon було нормалізовано шляхом переводу з діапазону від 0 до 27648 до діапазону фізичного значення від 0 до 60000 Вт. Крім того було перетворено вихід об'єкту керування з діапазону фізичного значення від 0 до 1050 С, до діапазону цифрового значення від 0 до 27648. Більш докладно список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення ОУ наведено у додатку Б1.

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

State	Project name	Target host	Targ...	Start type	Start place	Host	Startup
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start

Рисунок 4.11– Проект регулятора

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

В процесі розробки програмного забезпечення регулятора також було виконано нормалізацію значень уставки, температури та потужності пальника, а також розрахунок значення помилки керування.

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

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

Рисунок 4.11– Механізм розподілу «Allocations»

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

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

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

Для забезпечення повної функціональності комп'ютеризованої системи керування, необхідно розробити ЛМІ, що буде забезпечувати:

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта;
- можливість слідкувати за станом протікання технологічного процесу та в разі виникнення непередбачуваних подій вчасно вирішити проблему.

Таким чином, можна сформулювати основні вимоги до ЛМІ:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість зображень: 4 зображення з кнопками, що дозволять без проблем переходити між іншими зображеннями, технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій, список тривоги.



Рисунок 4.12 – Зображення кнопок

На рис. 4.12 показано зображення кнопок що було реалізовано для ЛМІ. Кожна з них має свою функцію. «Технологічна схема»: при натисканні цієї кнопки відбувається перехід на наступне зображення (рис. 4.13), де можна спостерігати технологічну схему системи, розташування датчиків, та основну інформацію про об'єкт. Реалізація роботи цієї кнопки була виконана за допомогою функції `switch screen`, що дозволяє перейти на наступне зображення. Наступні кнопки : «Тренд», «Список тривог», «Список подій», було реалізовано аналогічно та дозволяють перейти на зображення – рис. 4.14, рис. 4.15, рис. 4.16 відповідно. Кнопки «Вихід», «Перезавантажити» реалізовано за допомогою функцій `exit runtime` та `reload project` відповідно.

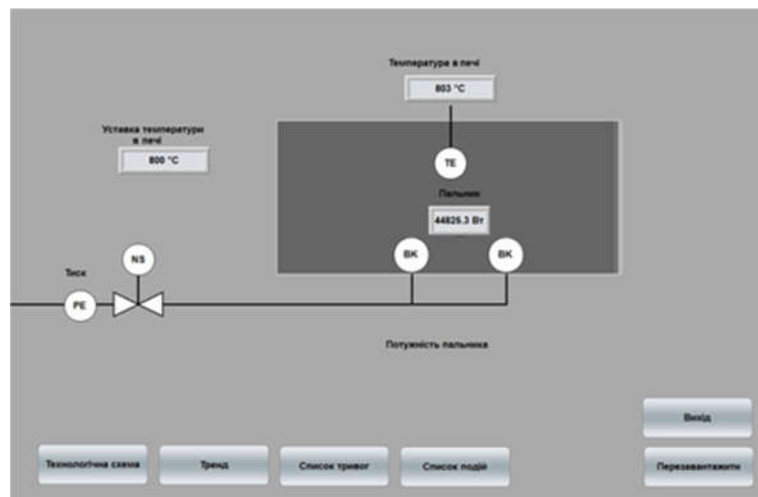


Рисунок 4.13 – Зображення технологічної схеми



Рисунок 4.14 – Зображення графіку перехідного процесу

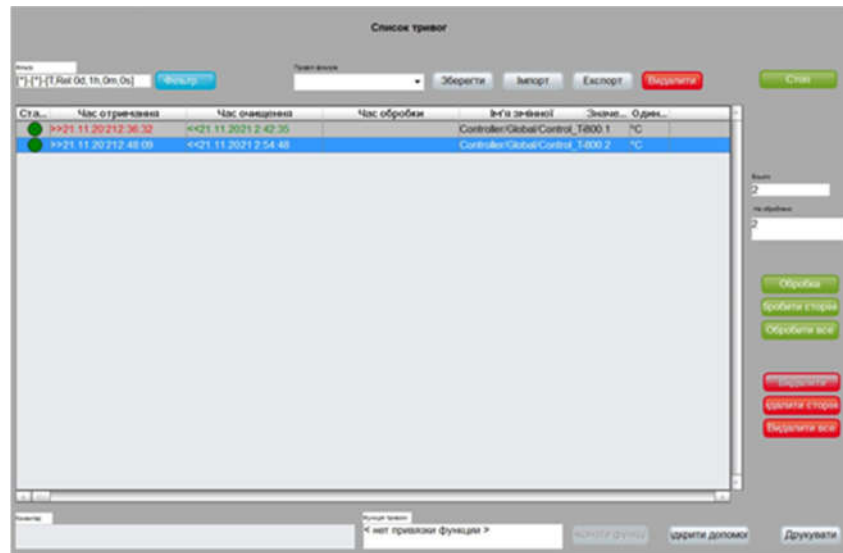


Рисунок 4.15 – Зображення списку тривог

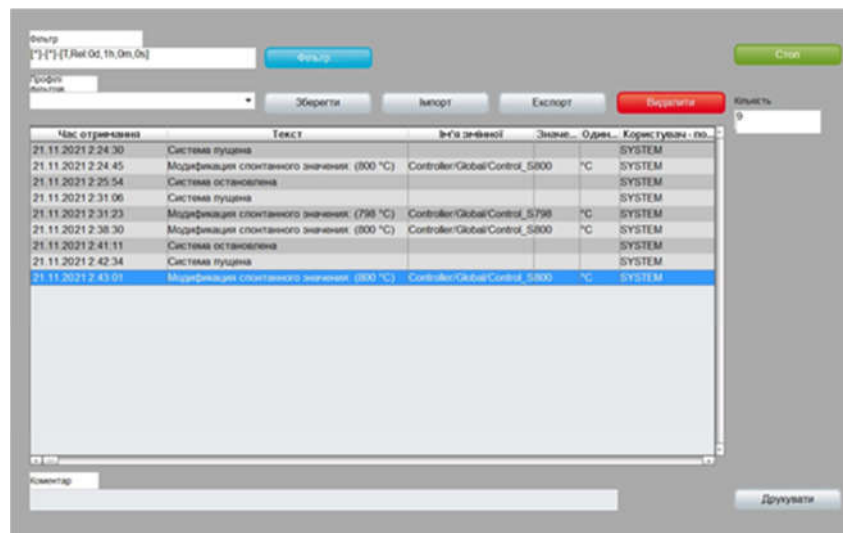


Рисунок 4.16 – Зображення списку подій

Всі зображення розташовано згідно шаблону, рисунок 4.17.

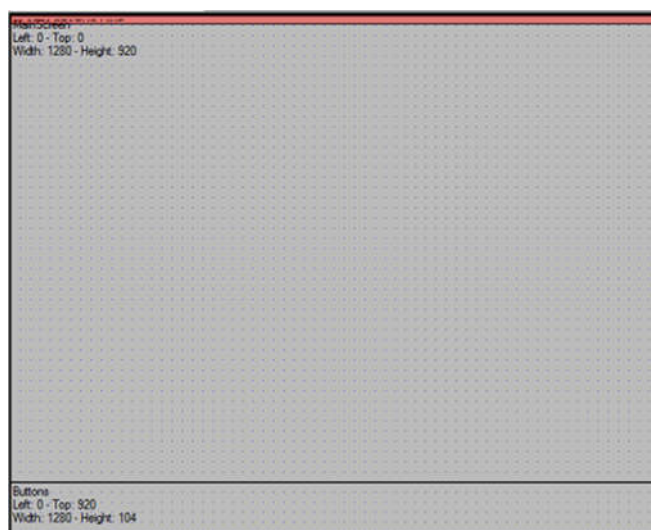


Рисунок 4.17 – Шаблон

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

Розроблене програмне забезпечення наводиться в додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі уставки температури 800 °С на вхід об'єкта, з рисунків 4.13-4.16 видно, що об'єкт та регулятор адекватно працюють, перерегулювання практично відсутнє.

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

В результаті проведеної перевірки, можна зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ функціонує згідно з вимог, та може бути використане на виробництві.

4.5 Висновки по розділу

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

На базі програмних модулів розроблено програмне забезпечення системи керування для програмного програмованого логічного контролера zenon Logic який входить до складу SCADA системи zenon.

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

Виконано перевірку функціонування програмного забезпечення.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Велике значення в підвищенні ефективності виробничого процесу має його автоматизація, яка звільняє робітників від фізичної праці. Праця полягає лише в спостереженні за роботою машин. Автоматична система регулювання самостійно виконує завдання в призначеній послідовності і потребує тільки налаштування і контролю з боку висококваліфікованого персоналу. Автоматичне регулювання дозволяє вести роботу без безпосереднього втручання людини і виключає неправильні режими роботи агрегатів і аварій.

У кваліфікаційній роботі вирішується завдання автоматичного регулювання температури в робочому просторі скловарної печі. Для цього застосовуються швидкісні інжекційні пальники Weishaupt WG10 H / 1-D, в яких автоматичний режим роботи процесу нагріву виконується за заданою програмою за допомогою програмованого логічного контролера VIPA 214-2BE03.

5.1 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані з виготовленням та впровадженням системи керування скловарної печі.

Визначення проектних капітальних витрат проводиться за такою формулою:

$$K_{\text{пр}} = C_{\text{об}} + D_{\text{тр}} + M_{\text{мн}} + K_{\text{пз}} \quad (5.1)$$

де $C_{\text{об}}$ – витрати на комплектуючі вироби;

$D_{\text{тр}}$ – витрати на транспортно-заготівельні витрати;

$M_{\text{мн}}$ – витрати на монтаж і налагодження системи;

$K_{\text{пз}}$ – витрати на програмне забезпечення.

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 System 200V	од.	1	14755	14755
2.	Джерело живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	1	1585	1585
3.	VIPA 240-1CA20	од.	1	1450	1450
4.	VIPA 234-1BD50	од.	1	1664	1664
5.	TEPA 29-b-1,2	од.	1	1285	1285
6.	Weishaupt WG10 N/1-D	од.	2	5600	11200
Разом					31932

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

$$D_{\text{тр}} = C_{\text{об}} \times 0,08, \quad (5.2)$$

де, $C_{\text{об}}$ – вартість комплектуючих, грн.

Таким чином витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають

$$D_{\text{тр}} = 31932 \times 0,08 = 2554,56 \text{ грн}$$

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

$$M_{\text{мн}} = C_{\text{об}} \times 0,07 \quad (5.3)$$

Витрати на монтажно-налагоджувальні роботи складуть

$$M_{\text{мн}} = 31932 \times 0,07 = 2235,24 \text{ грн.}$$

5.2 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

5.2.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення розраховується за формулою:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{от} + t_g \quad (5.4)$$

де t_o - витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

t_u - витрати праці на дослідження алгоритму рішення завдання;

t_a - витрати праці на обробку блок-схеми алгоритму;

t_n - витрати праці на програмування по готовій блок-схемі;

$t_{от}$ - витрати праці на налаштування програм на ЕОМ;

t_g - витрати праці на підготовку документації по завданню.

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні.

Умовне кількість операторів у програмі:

$$Q = q \times c(1 + p), \quad (5.5)$$

де q – кількість операторів, які у програмі, приймаємо $q = 42$ (виходячи з ПЗ на мові Matlab);

c – коефіцієнт складності програми;

p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки.

Коефіцієнт складності «с» програми визначає відносну складність програми по відношенню до типового завданням, складність якого відповідає 1. Приймаємо $c=1,25$

Коефіцієнт корегування програми «р» визначає збільшення обсягу робіт за рахунок внесення змін в алгоритм або програму в результаті уточнення постановки завдання. Величина p приймемо рівною 0,1.

Таким чином, для програми, описаної в кваліфікаційній роботі:

$$Q = 42 * 1,25(1+0,1) = 57,75$$

Оцінка витрат праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають 30 люд.-годин.

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста за формулою:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.6)$$

де B - коефіцієнт збільшення витрат праці приймаємо $B = 1,5$;

k - коефіцієнт кваліфікації програміста, які визначається залежно від стажу роботи за спеціальністю.

У нашому випадку коефіцієнт кваліфікації програміста становить $k=1,2$.

Для розроблювального програмного забезпечення:

$$t_u = \frac{57,75 \cdot 1,5}{80 \cdot 1,2} = 1 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати на розробку алгоритму рішення завдання визначаються за формулою:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.7)$$

Для розроблювального програмного забезпечення:

$$t_a = \frac{57,75}{20 \cdot 1,2} = 2 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на складання програми по готовій блок-схемі алгоритму визначаються за формулою:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.8)$$

Для розроблювального програмного продукту:

$$t_n = \frac{57,75}{20 \cdot 1,2} = 2 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на налагодження програми на ЕОМ розраховуються за формулою:

$$t_{\text{нал}} = \frac{Q}{(4 \dots 5) k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.9)$$

Для конкретного програмного продукту:

$$t_{\text{нал}} = \frac{57,75}{5 \cdot 1,2} = 10 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються за формулою:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{дп}} + t_{\text{до}}, \text{ люд.-год, (5.10)}$$

де $t_{\text{дп}}$ – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{\text{до}}$ – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

$$t_{\text{дп}} = Q / (15 \dots 20) \text{ к, (5.11)}$$

$$t_{\text{дп}} = \frac{57,75}{18 \cdot 1,2} = 3 \text{ люд.-годин.}$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 t_{\text{дп}}, \quad (5.12)$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 \cdot 2,67 = 2 \text{ люд.-год.}$$

Для програмного забезпечення, що розроблено в кваліфікаційній роботі:

$$t_{\text{д}} = 3 + 2 = 5 \text{ люд.-год.}$$

Трудомісткість розробки програмного забезпечення становитиме:

$$t = 30 + 1 + 2 + 2 + 10 + 5 = 50 \text{ людино-годин.}$$

5.2.2 Розрахунок витрат на розробку програмного продукту

Витрати на розробку програмного продукту включають витрати на заробітну плату розробника програми $Z_{\text{зп}}$ і вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ $Z_{\text{мі}}$

$$K_{\text{пз}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{мі}}, \text{ грн. (5.13)}$$

Заробітна плата розробника програмного забезпечення:

$$Z_{\text{зп}} = t C_{\text{пр}}, \text{ грн. (5.14)}$$

де t – загальна трудомісткість обробки програмного забезпечення;

$C_{\text{пр}}$ – середня годинна тарифна ставка програміста становить:

$$C_{\text{пр}} = 85 \text{ грн./час.}$$

Заробітна плата за розробку програмного забезпечення дорівнює:

$$Z_{\text{зп}} = 50 \cdot 85 = 4250 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ:

$$Z_{\text{МВ}} = t_{\text{нал}} C_{\text{МЧ}}, \text{ грн.} \quad (5.15)$$

де $t_{\text{нал}}$ – трудомісткість налагодження програми на ЕОМ, людино-годин;

$C_{\text{МЧ}}$ - вартість машино-години ЕОМ, грн. / год. $C_{\text{МЧ}} = 9 \text{ грн. / год.}$

$$Z_{\text{МВ}} = 10 * 9 = 90 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становитимуть:

$$K_{\text{ПЗ}} = 4250 + 90 = 4340 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \text{ міс.} \quad (5.16)$$

де B_k – кількість розробників, так як програма в кваліфікаційній роботі розроблялася однією людиною, то $B_k = 1$;

F_p – місячний фонд робочого часу ($F_p = 176$ годин).

Визначимо тривалість розробки ПЗ:

$$T = \frac{50}{1 \cdot 176} = 0,28 \text{ міс.}$$

Розрахувавши всі показники, використовуємо формулу 5.1 і розраховуємо капітальні витрати:

$$K_{\text{пр}} = 31932 + 2554,56 + 2235,24 + 4340 = 41061,8 \text{ грн.}$$

Вартість системи керування що знаходиться в експлуатації становить 38 900 грн. Використовувана система в розрахунках прийнята за базовий варіант.

$$\Delta K = K_{\text{пр}} - K_{\text{баз}} = 41055,65 - 38900 = 2161,8 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються за формулою:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{p.o.} + C_{ee} + C_{\text{ини}}, \quad (5.17)$$

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

C_a – амортизація основних фондів;

C_3 – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

C_c – відрахування на соціальні заходи;

$C_{p.o}$ – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт;

C_{ee} – вартість електроенергії;

$C_{ини}$ – інші витрати.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи.

5.3.1 Амортизація основних фондів

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі 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:

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

T – термін корисного використання об'єкта;

H_a – норма амортизації;

$$C_a = (ПВ * H_a) / 100\%, \quad (5.19)$$

C_a – амортизація основних фондів (річна);

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

Отже, норма амортизації для проектованої системи керування складе:

$$H_a = (2/5) * 100\% = 40\%$$

Сума амортизації для проектованої і базової системи становитиме:

$$C_{a.пр} = (41061,8 * 40\%) / 100\% = 164,24 \text{ грн.}$$

$$C_{a.баз} = (38900 * 40\%) / 100\% = 155,6 \text{ грн.}$$

5.3.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{ном.рік} = (T_k - T_{вих.св} - T_{відп}) * T_{зм}, \text{ ГОДИН} \quad (5.20)$$

де, T_k – календарний фонд робочого часу, 365 днів;

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

$T_{відп}$ – відпустка, 21 день;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, 8 год.

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

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

Для керування процесом задіяні 1 оператор ЛМІ, 2 технологи і 1 спеціаліст з електроустаткування.

Після впровадження проекрованої системи керування штат персоналу не зміниться, отже заробітна плата і відрахування на соціальні заходи будуть однакові. Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол		Годинна тарифна ставка, грн. / ч.	Номінальний річний фонд робочого часу (годину)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (10%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
		яв.	сп.						
1	Оператор ЛМІ	1		30	1840	55200	5520	3864	64584
2	Технолог	2		28	1840	103040	10304	7212,8	120557
3	Наладчик електроустаткув.	1		32	1840	58880	5888	4121,6	68889,6
	Разом								254030,6

$$C_{\text{з.пр}} = C_{\text{з.баз}} = 254030,6 \text{ грн.}$$

5.3.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються за формулою:

$$C_c = 0,36 * C_z \quad (5.21)$$

$$C_{\text{с.пр}} = C_{\text{с.баз}} = 0,36 * 254030,6 = 91451,02 \text{ грн.}$$

5.3.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

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

$$C_{\text{го.пр}} = 0,05 \cdot K \quad (5.22)$$

$$C_{\text{р.о.пр}} = 0,05 * 40900,8 = 2045,04 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{р.о.баз}} = 0,05 * 38900 = 1945 \text{ грн.}$$

5.3.5 Витрати на електроенергію

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

$$C_{\text{еє}} = K_e * K_{\text{др}} * ds * T \quad (5.23)$$

де K_e – кількість електроенергії, спожите проектованою системою керування за годину, 0,4 кВт * год;

$K_{\text{др}}$ – кількість робочих днів у році, $K_{\text{др}} = 365 - 114 = 251$ день;

ds – тривалість зміни, 8 годин;

T – тариф на електроенергію для підприємств (Для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1,64 грн. за кВт без ПДВ. З урахуванням ПДВ тариф $T = 1,64 * 1,2 = 1,968$ грн).

$$C_{\text{еє.пр}} = 0,4 * 251 * 8 * 1,968 = 1580,69 \text{ грн.}$$

Кількість електроенергії, спожите системою керування, що знаходиться в експлуатації – 0,5 кВт * год

$$C_{\text{еє.баз}} = 0,5 * 251 * 8 * 1,968 = 1975,87 \text{ грн.}$$

5.3.6 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:

$$C_{\text{інш}} = C_z * 0,04 \text{ грн.} \quad (5.24)$$

$$C_{\text{інш.пр}} = C_{\text{інш.баз}} = 254030,6 * 0,04 = 10161,22 \text{ грн.}$$

За формулою 5.17 розраховуємо річні експлуатаційні витрати для проектного та базового варіантів:

$$C_{\text{пр}} = 164,2 + 254030,6 + 91451,02 + 2045,04 + 1580,69 + 10161,22 = 375628,57 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{баз}} = 155,6 + 254030,6 + 91451,02 + 1945 + 1975,87 + 10161,22 = 374794,4 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.3 – Експлуатаційні витрати

Назва показника	Базовий варіант	Проектний варіант
Амортизація	155,6	164,2
Фонд заробітної плати	254030,6	254030,6
Відрахування на соц. виплати	91451,02	91451,02
Ремонт та тех. обслуговування	1945	2045,04
Електроенергія	1975,87	1580,69
Інше	10161,22	10161,22
Загалом	359719,31	359432,77

Таким чином, економія експлуатаційних витрат становитиме

$$C = C_{\text{пр}} - C_{\text{баз}} = 359432,77 - 359719,31 = 286,54 \text{ грн.}$$

5.4 Визначення додаткового прибутку від впровадження системи керування

Середньодобове збільшення виходу готової продукції при впровадженні розробленої системи керування складе 5%, за рахунок зниження простоїв обладнання.

Визначимо додатковий прибуток від впровадження проекрованої системи керування:

$$\Delta\Pi = (\Pi_{\text{пр.}} - S_{\text{пр.}}) \times Q_{\text{пр}} - (\Pi_{\text{баз.}} - S_{\text{баз.}}) \times Q_{\text{баз.}}$$

де $S_{\text{пр.}}$, $S_{\text{баз.}}$ – Собівартість плавки однієї тони шихти за проектним і базовим варіантами, грн. / од. (48 000 грн.);

$\Pi_{\text{пр.}}$, $\Pi_{\text{баз.}}$ – Ціна за одну тону продукції, грн., з урахуванням торгової надбавки 20% складе 60 000 грн.;

$Q_{\text{пр.}}$, $Q_{\text{баз.}}$ – обсяг виробництва продукції, кг. На даний момент продуктивність обробки становить 50 тис тон на рік :

$$Q_{\text{баз.}} = 50 \text{ тис тон. / рік.}$$

При впровадженні системи керування:

$$Q_{\text{пр.}} = 1,05 * 50 = 52,5 \text{ тис. тон на рік}$$

Додатковий прибуток від впровадження системи керування

$$\Delta\Pi = (60000 - 48000) * 52,5 - (60000 - 48000) * 50 = 30\,000 \text{ грн.}$$

5.5 Оцінка економічної ефективності проекту

Визначимо показники економічної ефективності проектованої системи керування:

- річний економічний ефект:

$$E = \Delta\Pi - \Delta C - \Delta K * E_{\pi} > 0 \quad (5.26)$$

- економічна ефективність:

$$E_r = \Delta\Pi - \Delta C \quad (5.27)$$

- термін окупності розробки:

$$T_{ок} = \Delta K / E_r \quad (5.28)$$

$$E_{\pi} = (N_{кр} - N_{инф}) / 100 \quad (5.29)$$

де, $N_{кр}$ – річна процентна ставка, %;

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

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

$$E_{\pi} = (28,2 - 12,7) / 100 = 0,155$$

$$E = 30\,000 - 286,54 - 0,155 * 2161,8 = 29\,378,3 \text{ грн.}$$

$$E_r = 30\,000 - 286,54 = 29\,713,46 \text{ грн.}$$

$$T_{ок} = 2161,8 / 29\,713,46 = 0,072 \text{ року}$$

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

$$\epsilon = E_r / \Delta K \quad (5.30)$$

Коефіцієнт ефективності становить:

$$\epsilon = 29\,713,46 / 2161,8 = 13,74$$

Отже, при впровадженні системи керування 1 грн. капітальних витрат приносить 13,74 грн. прибутку.

Економічні показники, що характеризують ефективність створення і використання розробленої системи керування відображені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Економічні показники

Найменування показників	Од. вимірювання	Показники базового варіанту системи	Показники проектного варіанту системи
Капітальні витрати	грн.	38900	41061,8
Експлуатаційні витрати, всього	грн.	359719,31	359432,77
В тому числі:	грн.		
- амортизація		155,6	164,24
- заробітна плата обслуговуючого персоналу	грн.	254030,6	254030,6
- відрахування на соціальні заходи	грн.	91451,02	91451,02
- технічне обслуговування та поточний ремонт системи керування	грн.	1945	2045,04
- вартість споживаної електроенергії	грн.	1975,87	1580,69
- інші витрати	грн.	10161,22	10161,22
Додатковий прибуток	грн.	-	300 00
Річний економічний ефект	грн.	-	29 378.3
Коефіцієнт ефективності			13,74
Термін окупності капітальних вкладень	р	-	0,072

Висновки

При впровадженні проектової системи капітальні витрати 41061,8 грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи 359432,77 грн. Термін окупності капітальних вкладень 0,072 р.

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що впровадження проектової системи економічно вигідно.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при автоматизації скловарної печі

В розділі аналізується рівень безпеки процесів роботи і обслуговування регенеративних печей для варки скла.

Найпоширенішими небезпечними ситуаціями відповідно частоти їх виникнення при експлуатації регенеративних печей для варки скла виявились наступні: пожежа, а також опіки в результаті контакту з перегрітими стінками печі. При веденні технологічного процесу аварійна ситуація найчастіше виникає через перегрів робочого середовища, припинення подачі повітря до форсунки газового пальника печі. Запобігання аварійним ситуаціям має забезпечуватися застосуванням безперервних технологічних процесів, відповідним пристроєм обладнання і виробничих приміщень, правильним зберіганням і транспортуванням вихідних матеріалів, виробів і відходів виробництва.

Таблиця 6.1 – Перелік основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які зустрічаються на робочому місці:

Найменування факторів	Джерела виникнення	Характер дії на організм
Рухомі машини і механізми	Роликовий транспортер	Травмування робітників, опіки нагрітим склом
Теплове випромінювання	Нагріті стінки і склепіння	Підвищення температури шкіри і перегрів організму.
Підвищена температура повітря робочої зони;	Відкриті завантажувально-розвантажувальні вікна нагрітих печей, дзеркала печей ванн.	Перегрів організму, теплове ураження
Підвищений рівень шуму	За рахунок вентиляторів, пальників.	Негативно впливає на нервову систему
Напруженість праці	Безперервна робота на ЕОМ	Підвищення стомлюваності, зниження уваги

6.2 Інженерно-технічні заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів

Захист від рухомих машин і механізмів. При загартуванні металу може статися травмування робітників при транспортуванні шихти, і опіки нагрітим склом, бризками.

Всі операції по подачі, видачі і транспортуванні сировини та скла виконуються за допомогою кранів і штовхачів [8].

Захист від теплового випромінювання. Тепловим випромінюванням називається процес, при якому теплота випромінювання поширюється в основному в формі інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі близько 10 мм. Джерелами теплових випромінювань є всі тіла, нагріті до температури вище температури навколишнього середовища. Джерелами теплових випромінювань є зовнішні стінки котлів і гарячих трубопроводів, розплавлені і розпечені метали.

Теплота випромінювання повітрям майже не поглинається, вона передається від більш нагрітих тіл до тіл з меншою температурою, викликаючи їх нагрівання. Навколишнє повітря нагрівається не тепловим випромінюванням, а конвекцією, тобто при зіткненні з поверхнями нагрітих тіл. Перевищення температури повітря в приміщенні вище оптимальної викликає порушення нормальної терморегуляції організму і може бути причиною розладу серцево-судинної системи. У ряді випадків можливе раптове захворювання, зване тепловим ударом.

Для надійної теплоізоляції печі застосовуємо високоефективну керамічну волокнисту футеровку. Вироби з волокнистих матеріалів дозволяють створити нові, легкі конструкції футеровок стін і зводів, будучи при цьому і вогнетривом і теплоізоляцією. При цьому звід є одночасно перекриттям і тепловідображаючим екраном (коефіцієнт чорного тіла матеріалів становить 0,95-0,96) для діапазону температур 1000 - 1600°C.

Захист від підвищеної температури повітря робочої зони. Приміщення обладнується ефективною системою аерації, яка виключає підвищення температури в цеху.

Аерація - це природна, організована вентиляція, яка здійснюється завдяки різниці температури повітря в приміщенні і зовнішнього повітря, а також в результаті дії вітру. Витяжні отвори розташовуються в самій верхній частині будівлі, в витяжних ліхтарях, а отвори для припливу свіжого повітря - в нижній частині, в стінах будівлі [14].

Особливу увагу приділяємо раціональному розміщенню витяжних і особливо припливних отворів з урахуванням розташування джерел тепловиділення, щоб забезпечити безперешкодну витяжку з цеху нагрітого і забрудненого повітря і рівномірний, двосторонній підведення свіжого повітря до робочих місць найкоротшим шляхом.

При аерації гарячих цехів багатопрогнового типу, де важко підвести свіже зовнішнє повітря до внутрішніх прольотів цеху, поряд із загальноприйнятим способом підведення зовнішнього повітря через спеціальні припливні ліхтарі в даху здійснюємо доступ свіжого повітря до внутрішніх частин цеху через припливні отвори в торцевих стінах, використовуючи холодні прольоти. Метод дозволяє створити в широких цехах свого роду коридори, по яких свіже зовнішнє повітря буде легко проникати в найвіддаленіші ділянки цеху.

Захист від підвищеного рівня шуму. Шум механічного походження - шум, що виникає внаслідок вібрації поверхонь машин і обладнання, а також одиночних або періодичних ударів в зчленуваннях деталей, складальних одиниць або конструкцій в цілому. Знижуємо шум зубчастих передач заміною сталі в контактуючих деталях на чавун, використовують підшипники ковзання і присадку. Для зниження шуму систематично перевіряють знос деталей (шестерень, втулок, роликів і т.д.). Гучні механізми встановлюються в звукоізолюючому кожусі [14]

Шум аеродинамічного походження на виробництві виникає внаслідок стаціонарних або нестаціонарних процесів в газах (пульсація тиску при русі потоків газу в трубах). Таким шумом супроводжується робота вентиляційних систем. Для зниження аеродинамічного шуму застосовуємо засоби звукоізоляції і встановлюємо глушники.

6.3 Пожежна профілактика

У приміщенні цеху проводиться варка скла, щопов'язано з обробкою вогнетривких речовин і матеріалів в гарячому і розпеченому стані та супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я; газоподібних речовин, які спалюють як паливо. Виходячи з цього приміщення по категорії вибохо- та пожежонебезпечних відноситься до класу Г. За класифікацією пожеж відповідає класу «С» і «D». [15]

Причинами виникнення пожеж в цеху можуть бути: неправильне влаштування та експлуатація печей; несправність обладнання і порушення ТП (порушення герметичності обор.); необережне поводження з вогнем; неправильне влаштування вентиляційних систем; самозаймання (самозаймання) речовин.

Для запобігання пожеж потрібно встановити автоматичну пожежну сигналізацію. Приміщення відноситься до класу -Г, а класи можливих пожеж – С і D. Виходячи з цього цех потрібно оснастити двома пінними вогнегасниками місткістю 10л. та двома порошковими вогнегасниками місткістю 5/4 л/кг.

6.4 Ергономіка

Метою організації робочого місця є оптимізація умов трудової діяльності, що забезпечують максимальну ефективність і надійність роботи оператора. Інтерфейс пульта управління має бути зрозумілим і зручним. Конструкція робочого столу повинна забезпечувати оптимальне розміщення обладнання та оргтехніки з урахуванням їх конструктивних особливостей (розмір ПК, клавіатури, попітра та ін.) (рис.6.1). Інтерфейс повинен відповідати сучасним

ергономічним вимогам і забезпечувати зручний доступ до основних функцій та операцій системи. Інтерфейс повинен бути розрахований на переважне використання типу «миша». Всі написи екранних форм, а також повідомлення, що видаються користувачеві (крім системних повідомлень) мають бути українською мовою.

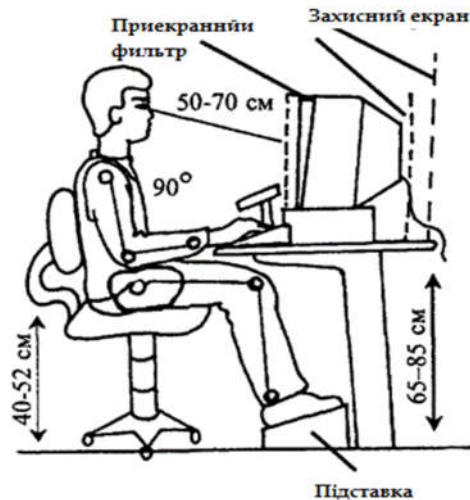


Рисунок 6.1 – Робоче місце оператора

Дисплей в залежності від розмірів алфавітно-цифрових знаків повинен знаходитися від очей користувача на оптимальній відстані 60-70 см, але не ближче 50 см. Клавіатуру слід розташовувати на поверхні столу на відстані 10-30 см від краю, зверненого до користувача, або на спеціальній, регульованій по висоті робочій поверхні, відокремленій від основної стільниці. Рекомендується оснащувати клавіатуру додатковою опорною планкою.

Робоче сидіння є елементом робочого місця, яке забезпечує підтримку робочої пози оператора в положенні "сидячи". Робочі сидіння повинні забезпечувати:

- Підтримку такого положення тіла в просторі, при якому навантаження на м'язи буде мінімальним;
- Умови для зміни робочої пози з метою зняття статичної напруги м'язів спини;
- Нормальне функціонування організму людини;
- Зручність розміщення в кріслі і вставання з нього;

- Вільне переміщення тулуба і кінцівок тіла в процесі роботи;
- Повільне або ступеневе регулювання параметрів, з кроком для лінійних параметрів - 10 мм, а для кутових – г

Робочі стільці і крісла розраховані на тривале використання, і тому до їх конструкції відносяться сидіння, спинка, підтримуючі конструкції, підлокітник і підголівник (для крісел), підставка для ніг.

Робоче місце оператора повинно бути обладнане підставкою для ніг шириною не менше 30 см, глибиною не менше 40 см і кутом нахилу опорної поверхні підставки до 20 °. Підставка повинна мати рифлену поверхню і бортик по передньому краю заввишки 1 см.

Система повинна забезпечувати коректну обробку аварійних ситуацій, викликаних невірними діями користувачів, невірним форматом або недопустимими значеннями вхідних даних. У зазначених випадках система повинна видавати користувачу відповідні повідомлення, після чого повертатися в робочий стан, що передувала невірної (неприпустимою) команді або некоректного вводу даних.

6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях

На території підприємства можуть виникнути надзвичайні ситуації:

- Пожежа;
- Обвалення будівель і споруд;
- Виникнення аварії на інженерних і технологічних системах;
- Надзвичайні ситуації природнього характеру (буревій, заметіль та ін.).

Найбільш ефективний засіб зменшення шкоди та збитків, які несе суспільство, держава і кожна окрема особа в результаті НС, – запобігати їх виникненню, а в разі виникнення проводити заходи, адекватні ситуації, що склалася. Тому для своєчасної та більш ефективної евакуації людей у будівлях та спорудах (крім житлових будинків), котрі мають два поверхи і більше, у разі одночасного перебування на поверсі більше 25 осіб мають бути розроблені і вивішені на видних місцях плани (схеми) евакуації людей.

ВИСНОВКИ

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка нової системи керування, згідно з висунутими вимогами щодо якості та часу перехідного процесу, зменшить вплив основних недоліків скловарної печі, забезпечить досконале керування об'єктом.

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз технологічного процесу керування температурою в скловарній печі та розглянуто роботу об'єкта.

Відповідно до вимог до системи керування виконаний вибір апаратного забезпечення автоматизованої системи керування технологічним устаткуванням. Автоматизована система керування побудована на базі програмованого логічного контролера VIPA

Була використана модель об'єкта керування, отримана в кваліфікаційній роботі бакалавра.

В результаті проведених досліджень було отримано модель СК визначено граничні показники, межах якої повинна відповідати розроблена система керування, було отримано модель системи керування, визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи згідно з висунутими критеріями.

Для скловарної печі було отримано залежності показників якості функціонування СК від параметрів регулятора – T_i (час інтегрування) та T_d (час диференціювання). На основі отриманих залежностей було встановлено діапазони параметрів при яких забезпечуються задані показники якості.

Було розроблено ЛМІ, що дозволяє спостерігати за зміною температури в протягом всього процесу, та перевірено його функціональність, яка відповідає поставленим вимогам.

Також було визначено економічні показники ефективності впроваджуваної системи, розглянуті шкідливі та небезпечні фактори при експлуатації системи керування та розроблено ряд заходів з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дмитро Олійник. Українські склозаводи стають все більш успішними на міжнародних ринках: [сайт]. – Режим доступу: <https://fru.ua/ua/media-center/blog/oliinyk/ukrajinski-sklozavodi-stayut-vse-bilsh-uspishnimi-na-mizhnarodnikh-rinkakh> (дата звернення 30.10.2021)
2. Товарні ресурси скляної промисловості України: [сайт]. – Режим доступу: <http://www.geograf.com.ua/geoinfocentre/20-human-geography-ukraine-world/717-tovarni-resursi-sklyanoji-promislovosti-ukrajini> (дата звернення 31.10.2021)
3. Інноваційні технології у виробництві спеціального та побутового скла [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів» / М. М. Племянніков, А. П. Яценко, І. В. Пилипенко, Б. Ю. Корнілович; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1файл: 5,94 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 298 с
4. Скловарні печі: призначення, загальна класифікація, показники ефективності роботи. Варка скла в полум'яних ванних печах безперервної дії: [сайт]. – Режим доступу: <https://domypavolino.ru/uk/steklovarenyye-pechi-naznachenie-obshchaya-klassifikaciya-pokazateli-effektivnosti-raboty-varka-stekla/> (дата звернення 21.11.2021)
5. Воронов Г. К. Технології виробництва скломатеріалів : конспект лекцій для студентів для студентів 1 курсу денної форми навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія [Електронний ресурс]: / Г. К. Воронов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 128 с.
6. Инжеционные горелочные устройства подогревателей газа с промежуточным теплоносителем: [сайт]. – Режим доступу:

http://www.gazprommash.ru/factory/vestnik/vestnik2/vestnik2_st12/(дата звернення 21.11.2021)

7. СВО ЯРМУ НМЗ-05. Нормативно-методичне забезпечення Навчальний процес / Упоряд.: В.О. Салов, Т.В. Журавльова, О.М. Кузьменко та ш. -Д.: Національний Гірничий університет, 2005. - 138 с.

8. Дзюзер, В.Я. Проектирование энергоэффективных стекловаренных печей [Текст] / В. Я. Дзюзер, В. С. Швыдкий ; общ. ред. В. Я. Дзюзер . – М. : Теплотехник, 2009 . – 339с.

9. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве: Монография [Текст] / Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, В. М. Кошельник и др.; Под ред. В. М. Кошельника. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. - 628 с.

10. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного керування для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017.

11. Ємельянов А.І., Копнік О.В. Проектування систем автоматизації технологічних процесів: Довідковий посібник. - М.: Вища школа, 1983. - 400 с.

12. Зайцев Г.Ф., Костюк В.І. Основи автоматичного керування і регулювання. - К.: Техніка, 1977. - 472 с.

13. Налагодження засобів вимірювань і систем технологічного контролю: Довідковий посібник (А.С. Клюев та ін / під ред. Клюєва О.С.)

14. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики [Текст] / Уклад.: В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 84 с.

15. ДСТУ 8828:2019 [Текст] Пожежна безпека. Загальні положення.

16. ДСТУ EN 60079-0:2017 [Текст] Вибухонебезпечні середовища. Устаткування. Загальні вимоги.

Додаток А

Програмні модулі системи керування

А.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: pid_model_v2_neprer_vs_discrete.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"pid_model_v2_neprer_vs_discrete/Subsystem1"
*
* Model name :
pid_model_v2_neprer_vs_discrete
* Model version : 1.22
* Model creator : stud
* Model last modified by : stud
* Model last modified on : Wed Nov 21 00:52:37 2021
* Model sample time : 0s
* Subsystem name :
pid_model_v2_neprer_vs_discrete/Subsystem1
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on : Wed Nov 21 01:04:50 2021
*
* Target IDE selection : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Subsystem1
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Power: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Temperature: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn4_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn5_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    DiscreteTransferFcn4: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn4' *)
        DiscreteTransferFcn4_states := 0.0;

```

```

      (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn5' *)
      DiscreteTransferFcn5_states := 0.0;
      SS_STEP:

      (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn4' *)
      DiscreteTransferFcn4 := 4.061E-5 *
DiscreteTransferFcn4_states;

      (* Outport: '<Root>/bo_Temperature' incorporates:
      * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn5' *)
      bo_Temperature := 0.003791 * DiscreteTransferFcn5_states;

      (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fc4' incorporates:
      * Update for Inport: '<Root>/bi_Power' *)
      DiscreteTransferFcn4_states := bi_Power - (-0.9977 *
DiscreteTransferFcn4_states);

      (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fc5' *)
      DiscreteTransferFcn5_states := DiscreteTransferFcn4 - (-
0.9962 * DiscreteTransferFcn5_states);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
      SS_INITIALIZE: SINT := 0;
      SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

A.2 Модуль регулятора

```

(*
*
* File: pid_model_v2_neprer_vs_discrete.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"pid_model_v2_neprer_vs_discrete/Subsystem"
*
* Model name :
pid_model_v2_neprer_vs_discrete
* Model version : 1.22
* Model creator : stud
* Model last modified by : stud
* Model last modified on : Sun Nov 21 00:52:37 2021
* Model sample time : 0s
* Subsystem name :
pid_model_v2_neprer_vs_discrete/Subsystem
* Subsystem sample time : 0.1s

```



```

* Simulink PLC Coder version      : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on           : Sun Nov 21 01:02:27 2021
*
* Target IDE selection           : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included            : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Subsystem
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Power: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn3_states: LREAL;
    DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Kp3: LREAL;
    rtb_u: LREAL;
    DiscreteTransferFcn3_tmp: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
        '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
        DiscreteTransferFcn3_states := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator:
        '<S1>/Discrete-Time Integrator1' *)
        DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := 0.0;
        SS_STEP:

            (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3'
            incorporates:
            * Inport: '<Root>/bi_Error' *)
            DiscreteTransferFcn3_tmp := bi_Error - (-0.9992 *
            DiscreteTransferFcn3_states);

            (* Gain: '<S1>/Kp 3' incorporates:
            * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1'
            * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3'
            * Inport: '<Root>/bi_Error'
            * Sum: '<S1>/Sum11' *)
            rtb_Kp3 := (((0.2142 * DiscreteTransferFcn3_tmp) + (-
            0.2142 * DiscreteTransferFcn3_states)) + (bi_Error +
            DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE)) * 57.0;

            (* Saturate: '<S1>/Обмеження по KB3' *)
            IF rtb_Kp3 >= 60000.0 THEN

```

```

        rtb_u := 60000.0;
    ELSIF rtb_Kp3 > 0.0 THEN
        rtb_u := rtb_Kp3;
    ELSE
        rtb_u := 0.0;
    END_IF;
    (* End of Saturate: '<S1>/Обмеження по KB3' *)

    (* Outport: '<Root>/bo_Power' *)
    bo_Power := rtb_u;

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fc3' *)
    DiscreteTransferFcn3_states := DiscreteTransferFcn3_tmp;

    (* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time
Integrator1' incorporates:
    * Gain: '<S1>/Ti 3'
    * Inport: '<Root>/bi_Error'
    * Sum: '<S1>/Sum10'
    * Sum: '<S1>/Sum12' *)
    DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := (((0.026315789473684209
* bi_Error) + (rtb_u - rtb_Kp3)) * 0.1) +
DiscreteTimeIntegrator1_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 об'єкта**Б.1.1 Список програм**

[FBD] Main

[ST] ControllerPID

Б.1.2 Основна програма**Б.1.3 Перелік змінних**

Global variables

Control_Power

UINT

Embedded: <Symbol>

Profile = STRATON

Control_Temperature

UINT

Embedded: <Symbol>

Profile = STRATON

Control_SetPoint

UINT

Embedded: <Symbol>

Profile = STRATON

Main

l_ControllerPIDData

ControllerPID

ControllerPID

bi_Error

LREAL

bo_Power

LREAL

DiscreteTransferFcn3_states

LREAL

DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE

LREAL

```

rtb_Kp2
  LREAL
  := LREAL#0.0245
rtb_u
  LREAL
  := LREAL#12
DiscreteTransferFcn3_tmp
  LREAL

```

Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

```

[FBD] Object
[ST] ST_Object

```

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Перелік змінних

```

Global variables
Temperature
  UINT
  Embedded: <Symbol>
Power
  UINT
  Embedded: <Symbol>
Object
l_Object
  ST_Object
ST_Object
bi_Power
  LREAL
bo_Temperature
  LREAL
DiscreteTransferFcn3_states
  LREAL
DiscreteTransferFcn4_states
  LREAL
DiscreteTransferFcn3
  LREAL

```

Додаток В

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

В.1 Драйвера

State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	zenon Logic: Controller		STRATONNG
	S7 TCP-IP		S7TCP32

В.2 Перелік змінних

State	Name	Id	Measur...	Net address	Data	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Power	Br		0	0	0	0	0		S7TCP32 - S7 TCP-IP	UINT	0	0
	Temperature	*C		0	0	0	0	0		S7TCP32 - S7 TCP-IP	UINT	0	0
	Controller/Global/Control_Power	Wt		0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	0	0
	Controller/Global/Control_Temperature	*C		0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	1	0
	Controller/Global/Control_SetPoint	*C		0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	0	0

В.3 Шаблони зображень

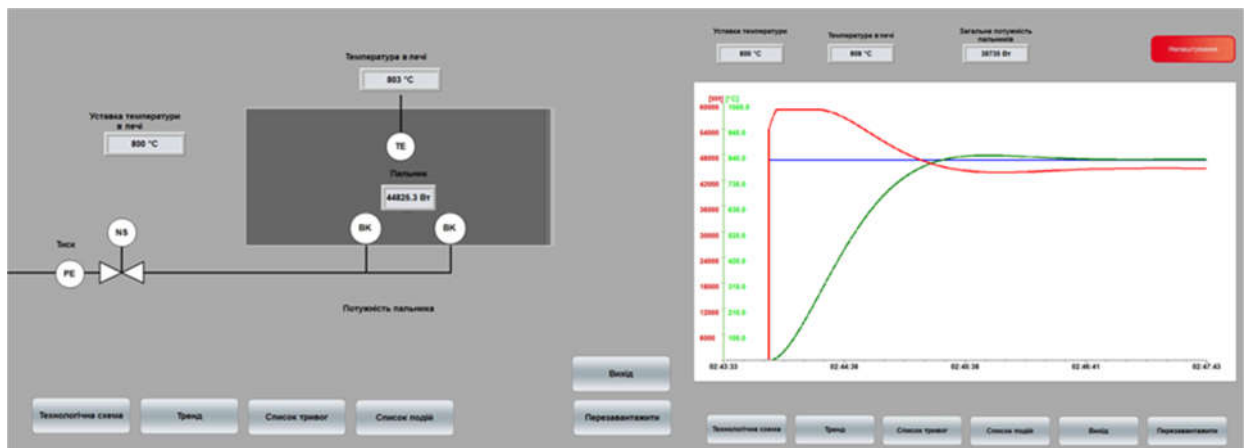


В.4 Функції

State	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	ExitRuntime	Exit Runtime	
	ReloadProject	Reload project online	changed objects
	SwitchTrendScreen	Screen switch	TrendScreen (Extended Trend) - PRO...
	SwitchProcessScreen	Screen switch	Process (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Chronological Event List) - ...
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Alarm Message List) - [*][...]
	SwitchLanguage	Language switch	ZENONSTR.TXT - ???

В.5 Зображення

State	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function
	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	ButtonScreen	Standard	Buttons	#AAAAAA	< no function li...
	man	Standard	MainScreen	#AAAAAA	SwitchButtonSc...
	ProcessScreen	Standard	MainScreen	#AAAAAA	< no function li...
	AMLScreen	Alarm Message List	MainScreen	#AAAAAA	< no function li...
	TrendScreen	Standard	MainScreen	#AAAAAA	< no function li...
	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	#AAAAAA	< no function li...



Список тревог

Сл.к.	Час отримання	Час завершення	Час обробки	Відк. записи	Значення	Одн.
1	2021.11.20 21:2 36:33	2021.11.20 21:2 43:35		Система паливних	5,000	°C
2	2021.11.20 21:2 41:08	2021.11.20 21:2 54:08		Система паливних	5,000	°C

Час отримання	Текст	Відк. записи	Значення	Одн.	Користувач	№
21.11.2021 2:24:30	Система паливних				SYSTEM	
21.11.2021 2:24:45	Модифікація спостережного значення (800 °C)	ControllerGlobalControl_5800	°C		SYSTEM	
21.11.2021 2:25:54	Система паливних				SYSTEM	
21.11.2021 2:31:06	Система паливних				SYSTEM	
21.11.2021 2:31:23	Модифікація спостережного значення (798 °C)	ControllerGlobalControl_5798	°C		SYSTEM	
21.11.2021 2:38:30	Модифікація спостережного значення (800 °C)	ControllerGlobalControl_5800	°C		SYSTEM	
21.11.2021 2:41:11	Система паливних				SYSTEM	
21.11.2021 2:42:34	Система паливних				SYSTEM	
21.11.2021 2:43:01	Модифікація спостережного значення (800 °C)	ControllerGlobalControl_5800	°C		SYSTEM	

ВІДГУКИ ПО РОЗДІЛАМ ТА ПІДРОЗДІЛАМ

