

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 Хорошайлова Михайла Олександровича
(ПІБ)

академічної групи 151М-20-1
(шифр)

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

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

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу
(назва за наказом ректора)

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

Дніпро
2022

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

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

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Хорошайлову М. О. академічної групи 151М-20-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

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

(офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу,

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

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.10.21 – 07.10.21
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.10.21 – 15.10.21
Синтез системи керування	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	15.10.21 – 15.11.21
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	15.11.21 – 01.12.21
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та експлуатацію системи керування	01.12.21 – 15.12.21
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	15.12.21 – 30.12.21

Завдання видано _____ доц. Бублік А.В.
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 01.09.2021

Дата подання до атестаційної комісії 10.01.2022

Прийнято до виконання _____ Хорошайлов М. О.
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 91 с., 50 рис., 8 табл., 3 додатки, 16 джерел.

Об'єкт дослідження – система автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу.

Предмет дослідження – закони й алгоритми автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу.

Зроблений аналіз печі опору для термообробки металу як об'єкта автоматизації, та за його результатами сформовані вимоги щодо якості функціонування системи автоматичного керування температурою в електричній печі.

З урахуванням вимоги щодо часу нагрівання металу у печі, проведено розрахунок регулятора температури в електричній печі двома способами – з використанням класичного ПІД-регулятора та обмеження швидкості зміни у часі сигналу уставки температури, та з використанням оптимального за швидкодією регулятора з коригуванням максимального керуючого сигналу на першому інтервалі перемикання регулятора. Проведене дослідження залежності максимального керуючого впливу від заданого часу нагрівання металу.

За допомогою створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу проведені обчислювальні експерименти, що дозволили виявити область раціонального використання запропонованих регуляторів температури.

Із використанням SCADA-програми Zenon створено програмне забезпечення системи автоматичного керування та людино-машинного інтерфейсу з перевіркою коректності його функціонування.

Ключові слова: *синтез системи автоматичного керування, імітаційна модель, температура нагрівання металу, електрична піч, SCADA-програма Zenon.*

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	6
Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	10
1.1 Галузь промисловості	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	15
1.4 Структура системи керування	18
1.5 Формулювання задачі дослідження	20
1.6 Висновки до розділу	20
2 Теоретичний розділ	22
2.1 Модель об'єкта керування	22
2.2 Критерії якості функціонування системи автоматичного керування	25
2.3 Математичний інструмент дослідження швидкодії системи автоматичного керування	27
2.4 Висновки до розділу	31
3 Синтез та дослідження системи автоматичного керування	32
3.1 Синтез системи автоматичного керування на основі комп'ютеризованого методу	32
3.2 Синтез системи автоматичного керування на основі оптимального за швидкістю регулятора	37
3.3 Дослідження якості роботи системи автоматичного керування	42
3.3 Висновки до розділу	45
4 Експериментальний розділ	47
4.1 Цифрова модель системи керування	47
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	51

	5
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса ...	53
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	58
4.5 Висновки до розділу	59
5 Економічна частина	60
5.1 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	60
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на утримання апаратури у споживач	62
5.3 Висновок до розділу	63
6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	64
6.1 Загальна характеристика умов праці	64
6.2 Техніка безпеки та пожежна профілактика	72
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях	74
6.4 Висновок до розділу	75
Висновки	76
Перелік посилань	79
Додаток А Програмні модулі системи керування	81
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування	85
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу	88

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

САК	– Система автоматичного керування;
ЛМІ	– Людино-машинний інтерфейс;
ПК	– Персональний комп'ютер;
ОР	– Регулятор оптимальний за швидкістю
ПЗ	– Програмне забезпечення
ЕП	– Електрична піч
ОК	– Об'єкт керування
АСУТП	– Автоматизована система управління технологічним процесом

ВСТУП

Актуальність теми. Для України машинобудування є комплексною й дуже важливою галуззю переробної промисловості, яка спеціалізується на проектуванні, виробництві та експлуатації машин та інструментів, та включає 27 видів економічної діяльності. Деякі види машинобудування (виробництво екскаваторів, устаткування для металургії тощо) потребують великої кількості металу; їх відносять до металомістких галузей комплексу. Підприємства машинобудування в Україні споживають третину виготовленого прокату, а також 40 % чавунного та 2/3 сталевого литва. Більшість галузей машинобудівного комплексу необхідно віднести до трудомістких. Особливо це характерно для приладобудування, електронного машинобудування, де металу споживається мало, але необхідно затратити багато праці для виробництва продукції. На цих підприємствах зайнята велика кількість кваліфікованих трудових ресурсів.

Наразі в Україні є нагальна потреба у оновленні та модернізації більшості секторів економіки, і було б чудово, якби саме вітчизняний машинобудівний комплекс забезпечив ці процеси матеріальною базою. Однак, аналіз стану машинобудівної галузі України свідчить про тривожні тенденції її розвитку. За останнє десятиріччя відчутно скоротилися частка великих та середніх машинобудівних підприємств, а малих навпаки – збільшилася. Такі структурні зміни призводять до значної втрати валового внутрішнього продукту.

За таких умов, будь-які інноваційні науково-технічні рішення, що призводять до підвищення ефективності технологічних процесів у галузі машинобудування, є актуальними.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості термообробки металу в електричних печах опору за рахунок вдосконалення автоматичного керування температурою у печі. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування є

мінімізація часу нагрівання металу без перевищення допустимого перерегулювання перехідного процесу на виході системи керування.

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

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу;

- обґрунтований метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням вимог до процесу керування й особливостей роботи об'єкта керування, та на основі нього проведений розрахунок регулятора температури у печі;

- проведені дослідження залежності параметрів перехідного процесу на виході системи керування від параметрів регулятора, на основі яких визначені настройки регулятора, при яких забезпечуються раціональні значення критеріїв якості роботи системи керування.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу використані методи теорії автоматичного керування та системний аналіз. Дослідження проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням аналітичних та комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування здійснене з використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- встановлено, що система автоматичного керування з настроєним комп'ютеризованим способом на максимальну швидкодію ПІД-регулятором та формувачем лінійно змінюваної у часі уставки температури у печі успішно відпрацьовує задані параметри перехідного процесу на її виході, але тільки за

умови, якщо час нагрівання металу суттєво (більш ніж у 1,5 рази) перевищує час перехідного процесу печі як об'єкта керування. У протилежному випадку з'являється недопустиме перерегулювання за температурою у печі.

- визначено, що залежність між максимальним рівнем керуючого сигналу на першому інтервалі перемикання оптимального за швидкодією регулятора та тривалістю перехідного процесу на виході системи є зворотною й має експоненціальний характер. При цьому ця залежність з високою точністю (максимальна відносна похибка не перевищує 2,5%) апроксимується ступеневим поліномом восьмого порядку.

- виявлено, що точність роботи запропонованого модифікованого регулятора, оптимального за швидкодією, залежить від того, на якій ділянці графіку залежності рівня керуючого сигналу від тривалості перехідного процесу ми знаходимося. Якщо на крутій ділянці, за умови чого перший інтервал переключення оптимального регулятора є не дуже тривалим, а перехідний процес на виході системи не сягає відносного рівня 0,606 від заданого значення керованої величини (диференціал за часом керованої величини біля максимального значення), то похибка становить до 0,2-1 с в абсолютних величинах та до 1% у відносних. А якщо на пологій ділянці, за умови чого перший інтервал переключення оптимального регулятора є тривалим, а перехідний процес на виході системи перевищує відносний рівень 0,606 від заданого значення керованої величини (диференціал за часом керованої величини починає прагнути до нуля), то похибка становить до 5-8 с в абсолютних величинах та до 5% у відносних. Крім того, при збільшенні заданого часу нагрівання металу за умови використання оптимального регулятора досить суттєво зростає нерівномірність зміни температури у часі.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Виняткове значення машинобудівного комплексу полягає у тому, що він дає знаряддя праці для матеріального виробництва і сфери послуг [1]. Машинобудівний комплекс є основою для розвитку економіки будь-якої країни.

Для України машинобудування є комплексною галуззю переробної промисловості, яка спеціалізується на проектуванні, виробництві та експлуатації машин та інструментів, включає 27 видів економічної діяльності і, згідно з КВЕД 2010, охоплює такі секції [2]: виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції; виробництво електричного устаткування; виробництво машин і устаткування, не віднесених до інших угруповань; виробництво автотранспортних засобів, причепів і напівпричепів та інших транспортних засобів. Підприємства даного сектору економіки розташовані в більшості областей нашої країни.

Основною сировиною для машинобудування є продукція металургійного комплексу. Поряд з тим воно не може обійтися без великої кількості конструкційних матеріалів, які виробляють лісова, хімічна, легка галузі промисловості. Деякі види машинобудування (виробництво екскаваторів, устаткування для металургії тощо) потребують великої кількості металу; їх відносять до металомістких галузей комплексу. Підприємства машинобудування в Україні споживають третину виготовленого прокату, а також 40 % чавунного та 2/3 сталевого литва. Більшість галузей машинобудівного комплексу необхідно віднести до трудомістких. Особливо це характерно для приладобудування, електронного машинобудування, де металу споживається мало, але необхідно затратити багато праці для виробництва продукції. На цих підприємствах зайнята велика кількість кваліфікованих трудових ресурсів.

Якщо значення машинобудування в господарстві України завжди залишається великим, то місце і роль галузі постійно змінюється. Так, в останні роки машинобудування за експортним потенціалом значно поступилося чорній металургії. Кризові явища тут теж були глибинними. Не завжди успішною була і конверсія підприємств машинобудування. Майже всі вони в минулому виконували замовлення військових відомств і в нових умовах господарювання не змогли втримати кадри і виробничий потенціал.

Наразі в Україні є нагальна потреба у оновленні та модернізації більшості секторів економіки, і було б чудово, якби саме вітчизняний машинобудівний комплекс забезпечив ці процеси матеріальною базою. Однак, аналіз стану машинобудівної галузі України свідчить про тривожні тенденції її розвитку. За останнє десятиріччя відчутно скоротилися частка великих та середніх машинобудівних підприємств, а малих навпаки – збільшилася [2]. Такі структурні зміни призводять до значної втрати валового внутрішнього продукту.

За таких умов, будь-які інноваційні науково-технічні рішення, що призводять до підвищення ефективності технологічних процесів у галузі машинобудування, є актуальними.

1.2 Технологічний процес

В процесі виробництва деталей машин і металовиробів широко використовують термічну обробку (термообробку) [3].

Термічною обробкою називають сукупність операцій теплової дії на матеріали і вироби з метою зміцнення структури механічних і фізичних властивостей.

В результаті термообробки вироби (заготовки або деталі) отримують певні пластичність, твердість, міцність, корозійну стійкість та інші якості.

Залежно від режимів проведення розрізняють такі види термічної обробки: відпал, гарт, відпускання, старіння, обробку холодом та інші (рис. 1.1) [4].

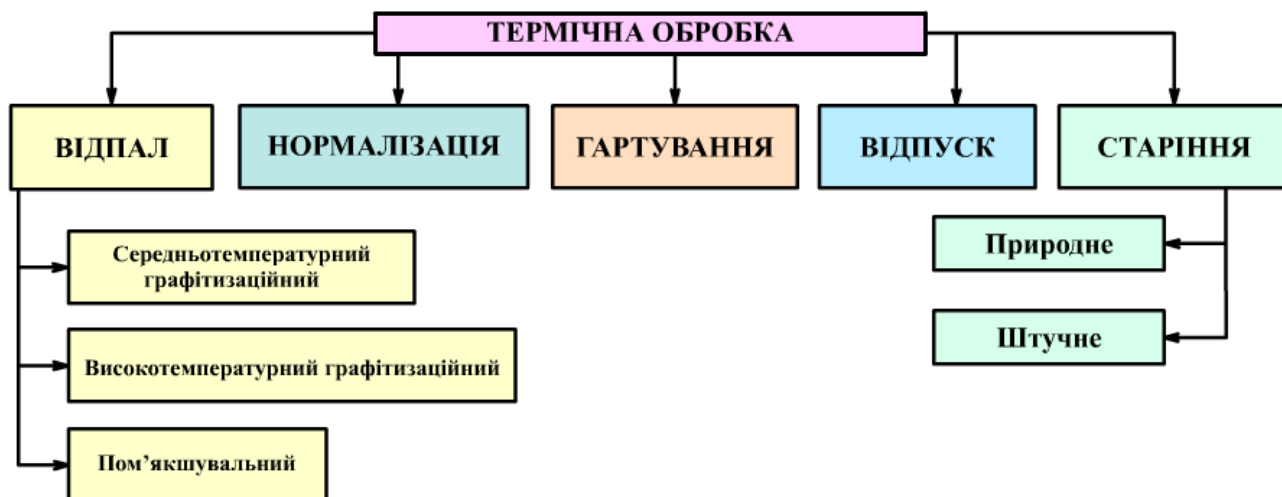


Рисунок 1.1 – Основні види термічної обробки металу

Відпал – процес нагрівання виробів до визначеної температури, витримування певний час і повільного охолодження.

Відпал призначений для зміни форми і розмірів зерен кристалічної будови, усунення фізичної і хімічної неоднорідності, зняття внутрішніх напружень від попередніх обробок (прокатування, кування або лиття), зниження твердості, покращення умов для наступної обробки різанням.

Гарт – процес нагрівання виробів до визначеної температури і швидкого охолодження з метою фіксації високотемпературного стану і структури матеріалу, підвищення твердості.

Важливим моментом у процесі гарту є швидкість охолодження, яка визначає структуру матеріалу, що утворюється. Швидкість охолодження залежить від застосованого охолодного середовища, яким звичайно може бути вода, водні розчини солей і лугів, або мінеральні мастила.

При гарті виробів виникають значні внутрішні напруження, деталі стають крихкими. Тому після гартування застосовують технологічну операцію – відпускання.

Відпускання – це процес нагрівання металу, витримування його при заданій температурі і охолодження на повітрі (іноді в мінеральному маслі або воді).

Відпускання пом'якшує дію гартування, знижує внутрішні напруження, зменшує твердість і крихкість, підвищує в'язкість, пластичність, пружність металу.

Старіння – вид термообробки, який використовують для релаксації (ослаблення) внутрішніх напруг.

Природне старіння – витримування на складі протягом тривалого часу в умовах дії змінних факторів – температури, вологості та інших.

Штучне старіння – нагрівання виробів в печах до 100 – 150 °С і охолодження разом з печами.

1.3 Об'єкт керування

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – електрична піч опору для термообробки металу. Цільовим продуктом є металічні деталі.

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

На багатьох машинобудівних підприємствах для термічної обробки металу, в тому числі і гарту, використовуються електричні камерні печі з викотним подом [5].

Камерна піч призначається для термообробки великогабаритних виробів або контейнерів з виробами під гарт, відпал, і інші термічні процеси. Камерна електропіч є горизонтальною теплоізолюваною нагрівальною камерою у вигляді тупікового тунелю з висувним подом (рис. 1.2).

Каркас електропечі виконаний з металевих профілів, обшитих всередині кожухами, а зовні – декоративними панелями.

Камера нагріву печі виконується з волокнистих блоків і матів.

Заслінка печі складається з металевого каркаса, зсередини футерованого вогнетривкими матеріалами. Заслінка печі обладнана електроприводом вертикального підйому двері. Закриття заслінки контролюється кінцевим вимикачем, який забезпечує відключення електронагрівальних елементів електропечі при піднятій заслінці.



Рисунок 1.2 – Камерна піч з викотним подом

Викотний под печі являє зварений металевий каркас у вигляді візка, зсередини футерованих вогнетривкими матеріалами. Викочування пода відбувається по рейкових напрямних за допомогою електромеханічного приводу з пристроєм плавного старту і гальмування. На поду теплоізоляцію і нагрівачі перекривають литі плити з жароміцної нікелевої сталі.

Нагрівання печі і садки проводиться випромінюванням і конвекцією від електронагрівальних елементів, розташованих на бічних, задній стінках робочої камери, на двері і на поду. Нагрівачі виготовлені у вигляді спіралей із дроту сплаву Суперфехраль. Піч має підвищену потужність для швидкого розігріву садки.

1.3.2 Структура об'єкту керування

Об'єкт керування у кваліфікаційній роботі є одномірним з одним керуючим входом (потужність нагрівачів печі) та одним керованим виходом. Структурна схема об'єкта керування показана на рис.1.3.

На керуючий вхід, з урахуванням того, що струмом у потужних електричних мережах керує спеціальний пристрій, подається команда блоку

керування цього пристрою у вигляді уставки потужності для електричних обігрівачів. Керованою величиною є температура у печі.

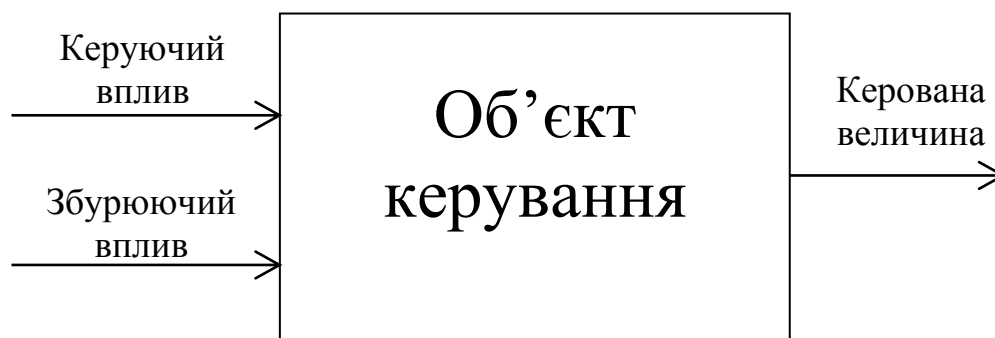


Рисунок 1.3 – Структурна схема об'єкта керування

Збурюючим впливом є різке зменшення температури при завантаженні печі новим матеріалом.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Камерна електрична піч опору – електрична піч, в якій тепло виділяється в результаті проходження струму через провідники з активним опором. Електричні печі опору широко застосовуються при термічній обробці, для нагріву перед обробкою тиском, для сушки і плавлення матеріалів. Поширення електричних печей опору визначається їх перевагами: можливістю отримання в пічній камері будь-яких температур до 3000°C; можливістю рівномірного нагріву виробів шляхом відповідного розміщення нагрівачів по стінках пічній камері або застосуванням примусової циркуляції пічній атмосфері; легкістю автоматичного керування потужністю, а отже, і температурним режимом печі; зручністю механізації і автоматизації печей, що полегшує роботу персоналу і включення печей в автоматичні лінії; хорошою герметизацією і проведенням нагріву у вакуумі, захисній (від окислення) газовому середовищі або спеціальної атмосфері для хіміко-термічної обробки (цементация, азотування); компактністю і ін.

Електропіч оснащена системою автоматичного регулювання температури на базі твердотільного безконтактного реле і мікропроцесорних регуляторів температури, які дають можливість задавати температуру, час набору температури і час витримки садки при зазначеній температурі. Також передбачений захист від перегріву твердотільного реле від виходу за граничну температуру. Є індикація роботи нагрівачів (по фазах). При відкриванні камери нагрівачі автоматично відключаються. Пульт керування виконаний у вигляді підлогової шафи. Електропіч футерована волокнистими і твердими вогнетривкими матеріалами і призначена для промислового використання при азотуванні металів. Герметизація робочого простору печі здійснюється за допомогою муфеля з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т товщиною 8 мм, а також азбестових та теплового затворів.

Велика частина електричних печей опору – опосередкованої дії; в них електрична енергія перетворюється в теплову при протіканні струму через нагрівальні елементи і передається виробам випромінюванням, конвекцією або теплопровідністю. Піч складається з робочої камери, утвореної футеровкою з шару вогнетривкої цегли, що несе на собі вироби та нагрівачі і ізолюваного від металевого кожуха теплоізоляційним шаром (рис. 1.4).

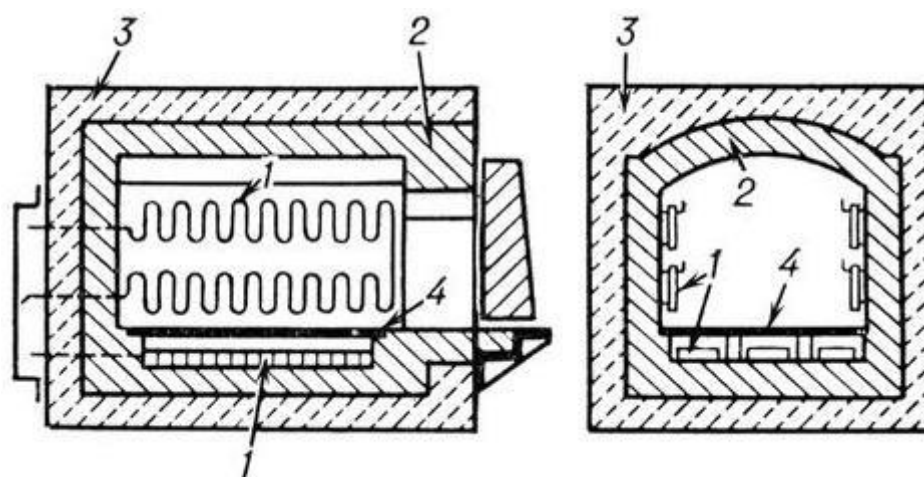


Рисунок 1.4 – Конструкція електричної камерної печі опору періодичної дії: 1 - нагрівальні елементи; 2 - вогнетривка частина кладки; 3 - теплоізоляція; 4 - жаротривка подова плита.

Працюючи в камері печі деталі і механізми, а також нагрівальні елементи виконуються з жароміцних і жаротривких сталей і інших жаротривких матеріалів.

Принцип дії нагрівальних елементів камерних печей заснований на законі Джоуля-Ленца. Кількість теплоти, що виділяється в провіднику, при проходженні по ньому електричного струму залежить від опору провідника, електричного струму в ланцюзі, часу його проходження. Підбираючи відповідні значення сили струму й опору, можна отримати потужність, достатню для нагрівання до заданої температури чи розплавлення металів:

$$Q = I^2 R t, \quad P = U^2 S / (\rho l), \quad (1.1)$$

де Q – кількість тепла, що виділяється, Дж; I – струм, А; R – опір, Ом; t – час, с; P – потужність, що виділяється у провіднику, Вт; U – напруга, В; S – площа перерізу, м²; ρ – питомий опір провідника, Ом·м; l – довжина провідника, м.

Технологією термічної обробки передбачається вибір операцій і режимів термообробки у відповідності з умовами обробки і роботи деталей машин, конструкцій, інструментів, а також вимогам, які ставляться до структури і властивостей матеріалів, і технічними умовами. Технологічні процеси термообробки ґрунтуються на теорії фазових перетворень при нагріванні та охолодженні. Режими обробки для конкретних деталей визначаються за довідниками.

Однією з основних задач при виборі режимів є прискорення процесів термообробки, що може бути досягнуто зменшенням часу нагрівання. Загальний час нагрівання складається з часу нагрівання до заданої температури і часу витримки при ній, який визначається структурними перетвореннями в сплаві і не залежить від інших факторів.

1.4 Структура системи керування

В якості об'єкту керування фактично виступає контур регулювання температурою у печі. Вхідною величиною об'єкта є відносна потужність електричних обігрівачів. Вихідною величиною об'єкта керування є температура у печі. Основним завданням синтезованої системи автоматичного керування є максимально швидке відпрацювання заданого часу нагрівання металу у печі з заданим перерегулюванням перехідного процесу.

Потужність електронагрівача задається за допомогою регулюючого пристрою – альтерністора, який змінює потужність в діапазоні від 0 до 100%, де 0% відповідає відключеному електронагрівачу і відсутності нагріву, а 100% відповідає роботі електронагрівача на повну потужність.

Виходячи з цього, система керування повинна містити: датчик температури, електронагрівач, потужність якого обумовлює зміну температури у печі, пристрій керування, що задає потужність електронагрівача, і пульт оператора, за допомогою якого задається режим роботи системи (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Структурна схема системи керування

В кваліфікаційній роботі бакалавра розроблена апаратна частина системи керування. Крім того, розроблена функціональна схема автоматизації (рис.1.6).

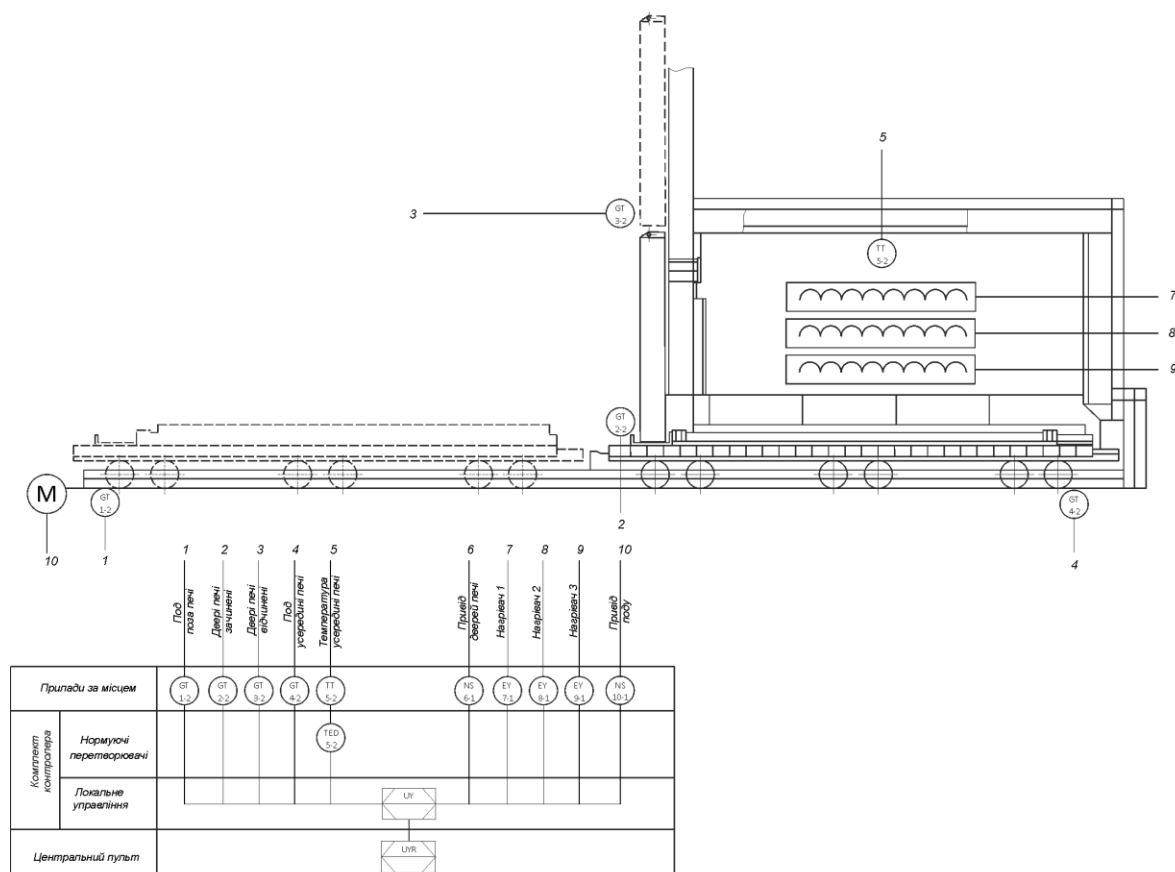


Рисунок 1.6 – Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації є основним технічним документом, що визначає структуру і функціональні зв'язки між технологічним процесом і засобами контролю і керування. На функціональній схемі показано за допомогою умовних позначень: основне технологічне обладнання, прилади та засоби автоматизації.

1.5 Формулювання завдань дослідження

Для досягнення основної мети – забезпечення раціональних значень критеріїв якості перехідного процесу на виході системи автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу за умови забезпечення заданого часу нагрівання металу, необхідно виконати наступні завдання дослідження:

- з метою проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу;

- обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням вимог до процесу керування й особливостей роботи об'єкта керування, та на основі нього провести розрахунок регулятора температури у печі;

- провести дослідження залежності параметрів перехідного процесу на виході системи керування від параметрів регулятора, на основі яких визначити настройки регулятора, при яких забезпечуються раціональні значення критеріїв якості роботи системи керування.

1.6 Висновки по розділу

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – електрична піч опору для термообробки металу. Цільовим продуктом є металічні деталі. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування печі, завданням керування якої є забезпечення максимально швидкого відпрацювання заданого часу нагрівання металу у печі з заданим перерегулюванням перехідного процесу. Предметом дослідження є закони автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу.

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (потужність електричних обігрівачів у печі) та одним керованим виходом (температура у печі), але при нагріванні металу потрібно забезпечити

задані параметри перехідного процесу за температурою у печі (як величину зміни температури, так і час перехідного процесу), що робить процес керування температурою у печі складним.

Отже, необхідно провести дослідження залежності параметрів перехідного процесу на виході системи керування від параметрів регулятора, та на основі цих досліджень визначити такий алгоритм налаштування регулятора, який забезпечить необхідну динаміку нагріву металу згідно завдання.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Модель об'єкта керування

Модель електричної печі для термічної обробки металу як об'єкта автоматичного керування отримана у кваліфікаційній роботі бакалавра.

Результат параметричної ідентифікації з метою визначення динамічних властивостей об'єкта керування показаний на рис.2.1.

The screenshot displays a software window for parameter estimation. On the left, the transfer function is shown as $\frac{K}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$. Below it, the number of poles is set to 2, and they are all real. There are checkboxes for Zero, Delay, and Integrator. The main table lists parameters: K (0.017504), Tp1 (43.0389), Tp2 (26.3298), Tp3 (0), Tz (0), and Td (0). The 'Initial Guess' section is set to 'Auto-selected'. At the bottom, the 'Estimate' button is highlighted, and the 'Name' field contains 'O2'.

Parameter	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	0.017504	Auto	[-Inf Inf]
Tp1	<input type="checkbox"/>	43.0389	Auto	[0.001 Inf]
Tp2	<input type="checkbox"/>	26.3298	Auto	[0.001 Inf]
Tp3	<input type="checkbox"/>	0	0	[0.001 Inf]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
Td	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 30]

Рисунок 2.1 – Розрахунок параметрів динамічної моделі об'єкта автоматичного керування

При цьому вхідною величиною моделі є абсолютна потужність електричного нагрівача печі, а вихідною – температура у печі.

Крім того, визначена статична характеристика за каналом керування температурою у печі (рис.2.2).

Був проведений статистичний аналіз статичної залежності температури від потужності, й доведена лінійна залежність між цими величинами. Отже, об'єкт керування є дінійним.

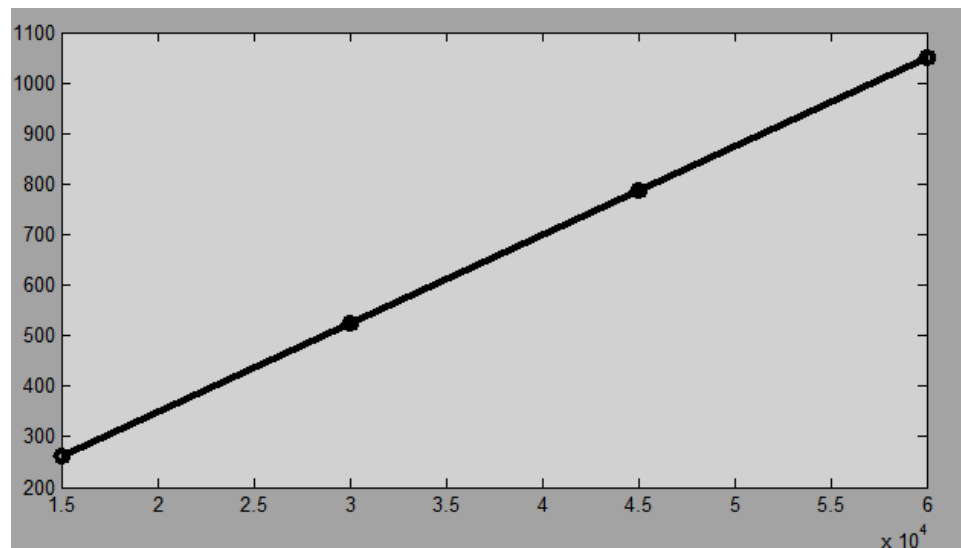


Рисунок 2.2 –Статична характеристика об'єкта керування

З урахуванням результатів ідентифікації об'єкта керування у додатку Simulink програми MATLAB розроблена динамічна модель об'єкта керування (рис.2.3).

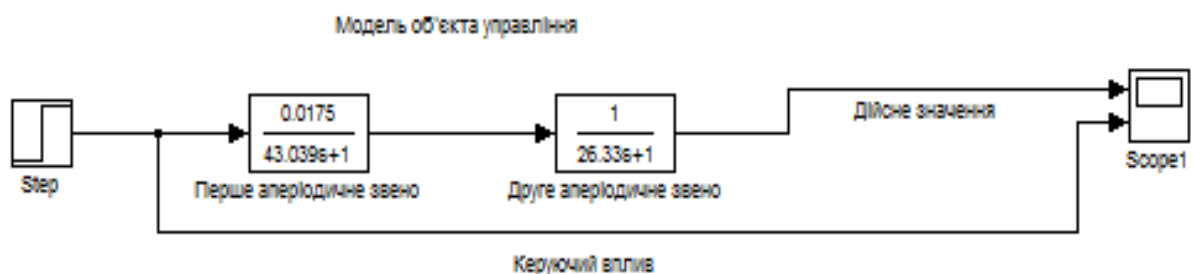


Рисунок 2.3 – Динамічна модель об'єкта керування

Але, у порівнянні з визначеною моделлю об'єкта керування у кваліфікаційній роботі бакалавра зробимо деякі зміни. По перше, за вхідну величину моделі для зручності аналізу керуючого сигналу приймемо відносну потужність, що змінюється в діапазоні від 0 до 100%. По друге, приймемо, що відносній максимальній потужності обігрівача печі відповідає абсолютна температура у печі 3000 °C (саме до таких температур розігріваються сучасні

печі для термічної обробки металу). Це пов'язано, з однієї сторони, з розширенням робочого діапазону печі за температурою, а з іншої сторони – це потрібно для збільшення продуктивності печі. Можливість вмикати обігрівач на потужність, що є вдвічі більшою, навіть за умови гарту металу при температурі 1000-1400 °С дозволить, якщо дозволяють вимоги щодо інтенсивності нагріву, суттєво зменшити час перехідного процесу при нагріві металу.

З урахуванням прийнятих змін, коефіцієнт підсилення об'єкту керування буде:

$$K = \frac{3000}{100} = 30, \text{ } ^\circ\text{C}/\%.$$

З урахуванням прийнятих змін, модель об'єкта керування буде виглядати так, як на рис.2.4.

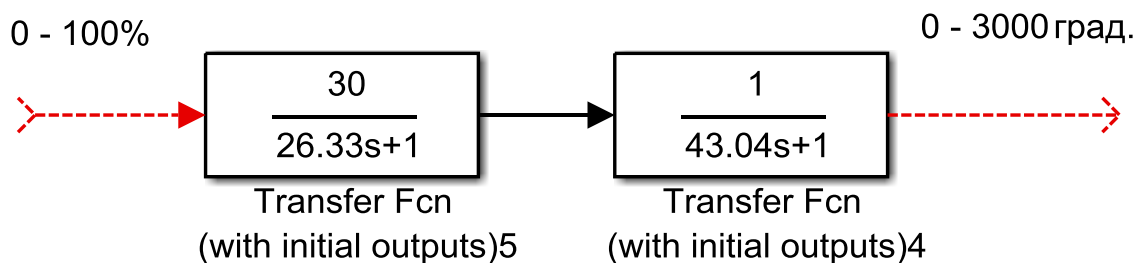


Рисунок 2.4 – Динамічна модель об'єкта керування з правками

Також в динамічній моделі об'єкта керування для зручності подальшого синтезу й дослідження системи автоматичного керування приймається, що початкова температура, з якої починається розігрівання металу, дорівнює нулю. Це є прийнятним, оскільки перехідний процес можна нормувати до нуля при будь-якій початковій температурі усередині печі.

Таким чином, динамічна модель електричної печі опору для термообробки металу представляє собою дві послідовно з'єднані аперіодичні ланки з постійними часу 26,33 с та 43,04 с. Статична характеристика об'єкта керування є лінійною, коефіцієнт підсилення дорівнює 30 °C/%.

2.2. Критерії якості функціонування системи автоматичного керування

Технологією термічної обробки передбачається вибір операцій і режимів термообробки у відповідності з умовами обробки і роботи деталей машин, конструкцій, інструментів, а також вимогами, які ставляться до структури і властивостей матеріалів, а також з урахуванням технічних умов. Технологічні процеси термообробки ґрунтуються на теорії фазових перетворень при нагріванні та охолодженні. Режими обробки для конкретних деталей визначаються за довідниками.

Однією з основних задач при виборі режимів є прискорення процесів термообробки, що може бути досягнуто зменшенням часу нагрівання. Загальний час нагрівання складається з часу нагрівання до заданої температури і часу витримки при ній, який визначається структурними перетвореннями в сплаві, і не залежить від інших факторів.

З урахуванням описаних вимог з точки зору особливостей технологічного процесу на перше місце виходять вимоги до якості роботи системи у часовій площині, що стосуються передусім вимог до перехідного процесу на виході системи автоматичного керування, коли температура у печі переводиться з одного рівня (початковий, який з урахуванням нормування початкового значення температури приймається нульовим) до іншого (задане значення температури, при якій відбувається гартування металу).

Розглянемо загальноприйняті критерії якості протікання перехідного процесу на виході системи автоматичного керування (рис.2.5):

- час перехідного процесу t_0 (це час, протягом якого керована величина стає рівною або меншою за величину деякого значення Δ);
- величина максимального перерегулювання δ_m (для технічних систем приймають $\delta_m = 5 \div 30\%$);
- час максимального перерегулювання t_m (це час, за який керована величина досягає першого максимуму);
- час наростання перехідного процесу t_n (це час, за який керована величина досягає усталеного значення);
- кількість перерегулювань n на інтервалі часу $0 < t < t_0$ (звичайно прийнятним є $n = 1 \div 2$);
- усталена (статична) похибка системи $x_{уст}$ (це різниця між заданим та дійсним значеннями керованої величини в усталеному режимі).

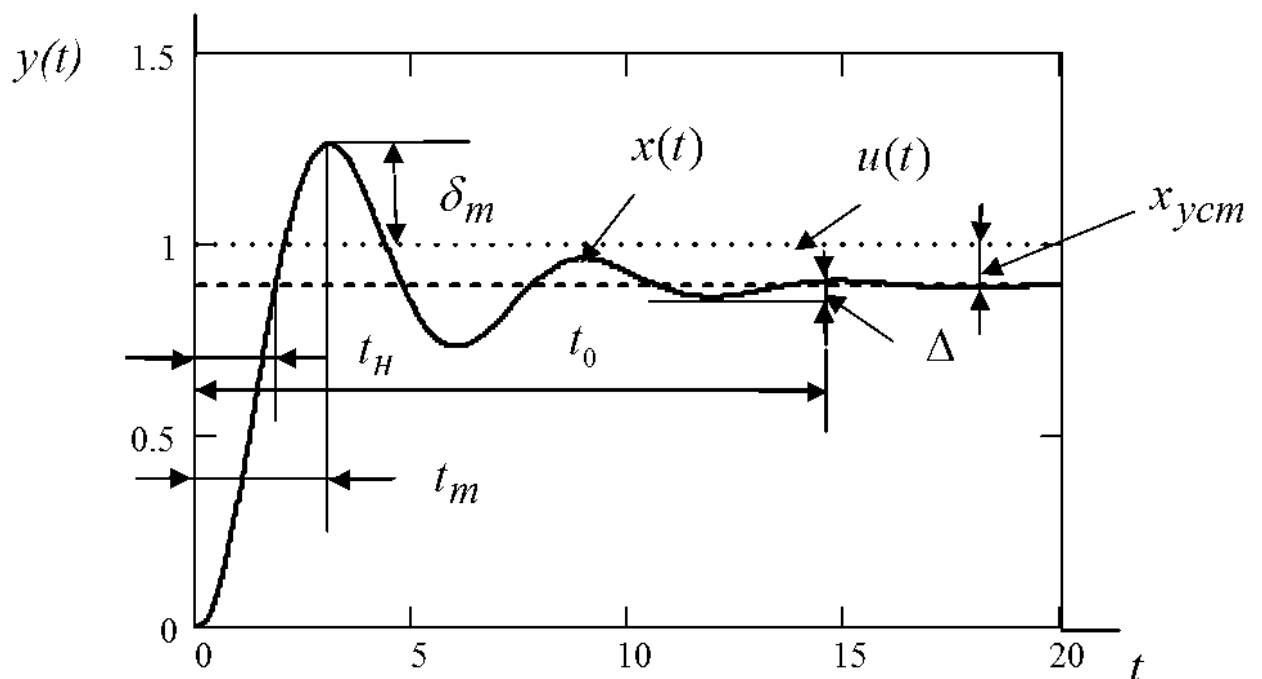


Рисунок 2.5 – Перехідний процес на виході системи автоматичного керування при східчій зміні уставки

З оглядом на завдання керування синтезованої системи автоматичного керування та на результати аналізу електричної печі як об'єкта автоматизації серед вище описаних критеріїв якості перехідного процесу при відпрацюванні системою зміни температури гартування сталі запропоновано прийняти наступні критерії:

- час перехідного процесу t_0 (рис.2.5) повинний бути рівним заданому оператором значенню з мінімальною похибкою;
- величина перерегулювання δ_m не повинна перевищувати 2,5%;
- усталена (статична) похибка системи $x_{уст}$ повинна дорівнювати нулю.

2.3. Математичний інструмент дослідження швидкодії системи автоматичного керування

Оцінити швидкодію системи автоматичного керування можна тільки на основі порівняння з еталонною моделлю системи, яка є універсальною за цим критерієм. Такою еталонною моделлю є система з оптимальним за швидкодією регулятором. Наведемо методику розрахунку оптимального за швидкодією регулятора методом кінцевих інтервалів перемикавання на основі принципу максимуму Понтрягіна. Надалі ця методика буде використана для дослідження системи автоматичного керування.

Алгоритм розрахунку оптимального за швидкодією регулятора відображений у програмі, що створена у математичному пакеті MATHCAD (програма 3.1).

Програма 3.1 – Розрахунок оптимального за швидкодією регулятора

Параметри об'єкту управління:

$$T1 := 26.3 \quad T2 := 43.0 \quad K_{xxx} := 1$$

Обчислимо корні характеристичного рівняння об'єкту управління:

$$p2 := \frac{-1}{T1} \quad p1 := \frac{-1}{T2}$$

Початкові значення моментів переключення регулятора:

$$t1 := 1 \quad t2 := 1$$

Задамо кінцеве значення керованої величини:

$$y_k := 0.4$$

Задамо мінімальне та максимальне значення керуючого сигналу:

$$U_{\max} := 1 \quad U_{\min} := 0$$

Обчислимо постійні інтегрування для різних інтервалів керування:

$$A21(t2) := \frac{-p2 \cdot (y_k + K \cdot U_{\min})}{(p1 - p2) \cdot e^{p1 \cdot t2}}$$

$$A22(t2) := \frac{p1 \cdot (y_k + K \cdot U_{\min})}{(p1 - p2) \cdot e^{p2 \cdot t2}}$$

$$A11 := 1 \quad A12 := 1$$

Given

$$K \cdot U_{\max} + A11 + A12 = C$$

$$p1 \cdot A11 + p2 \cdot A12 = C$$

$$A1 := \text{Find}(A11, A12)$$

end

$$A11 := A1_0 \quad A12 := A1_1$$

$$A11 = -2.575703 \quad A12 = 1.575703$$

Виразимо стиковані для різних інтервалів керування рівняння для керованого сигналу та його похідної відносно першого моменту переключення:

$$F1(t2) := \frac{\ln \left[\frac{K \cdot (U_{\max} + U_{\min}) \cdot p2}{(A11 - A21(t2)) \cdot (p1 - p2)} \right]}{p1}$$

$$F2(t2) := \frac{\ln \left[\frac{-K \cdot (U_{\max} + U_{\min}) \cdot p1}{(A12 - A22(t2)) \cdot (p1 - p2)} \right]}{p2}$$

Розрахуємо другий момент переключення, при якому $F1 = F2$:

Given

$$\frac{\ln\left[\frac{K \cdot (U_{\max} + U_{\min}) \cdot p_2}{(A11 - A21(t_2)) \cdot (p1 - p2)}\right]}{p1} = \frac{\ln\left[\frac{-K \cdot (U_{\max} + U_{\min}) \cdot p1}{(A12 - A22(t_2)) \cdot (p1 - p2)}\right]}{p2}$$

$t_2 := \text{Find}(t_2)$

end

$t_2 = 65.265469$

Перший момент переключення:

$F1(t_2) = 51.09691261$

Графік, що підтверджує правильність розрахунку оптимального за швидкодією регулятора як результат роботи програми 3.1:

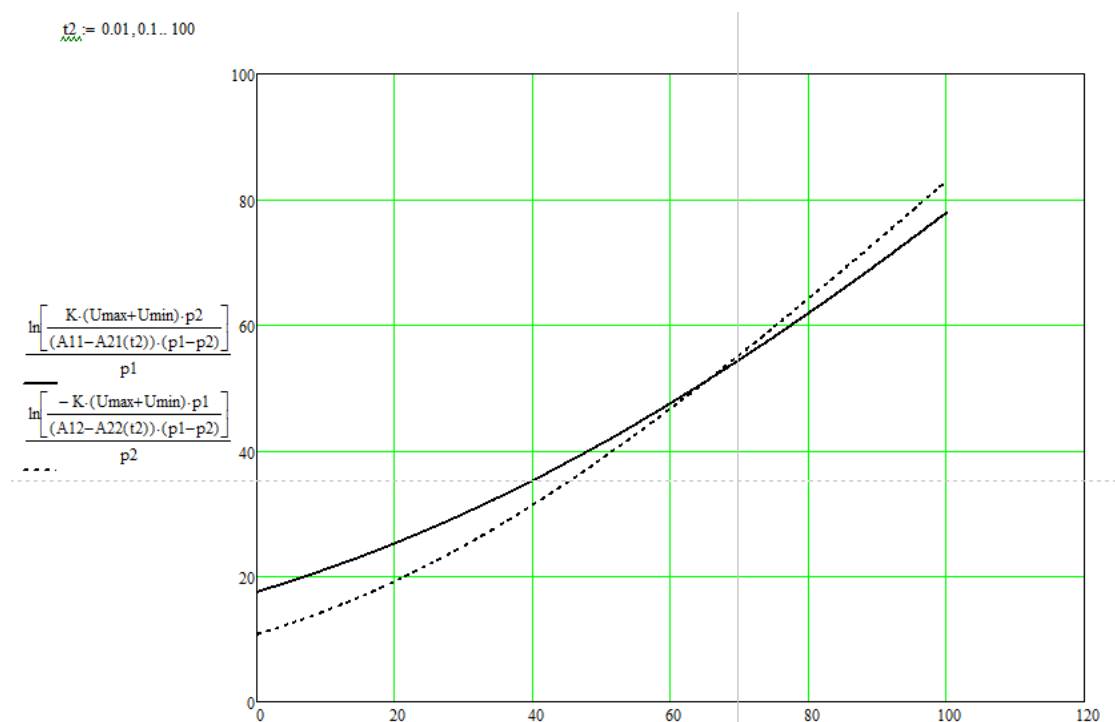


Рисунок 2.6 – Графічний результат розрахунку оптимального за швидкодією регулятора

Для підтвердження правильності розрахунку оптимального за швидкодією регулятора створемо відповідну модель системи автоматичного керування (рис.2.7).

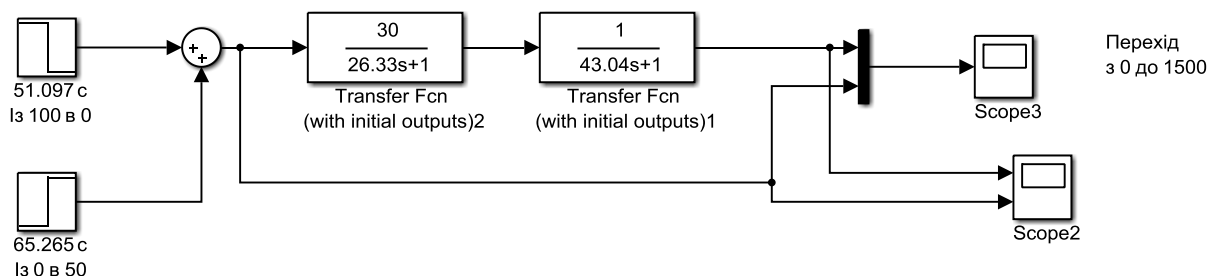
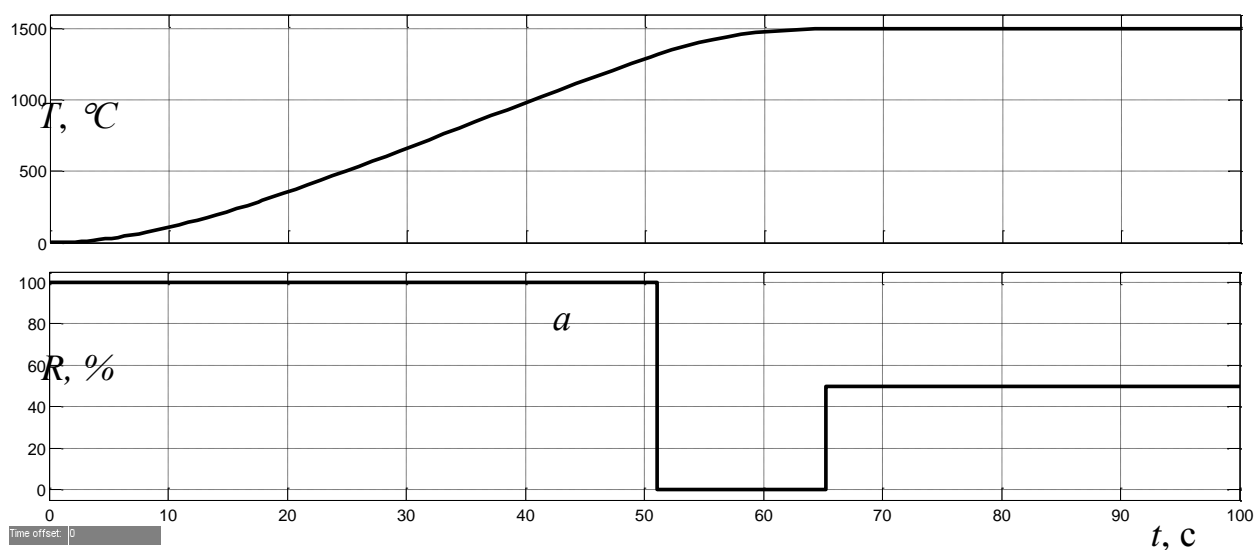


Рисунок 2.7 – Схема системи автоматичного керування з оптимальним за швидкодією регулятором



б

Рисунок 2.8 – Зміна у часі керованої (а) та керуючої (б) величин за умови використання оптимального за швидкодією регулятора

Результати моделювання роботи системи автоматичного керування з оптимальним за швидкодією регулятором підтверджують коректність розрахунків – з рис.2.8 ми бачимо, що керована величина виходить точно на заданий рівень 1500 °С. При цьому відбувається подвійне перемикання

керуючого сигналу – з максимуму до мінімуму, а потім з мінімуму до проміжного рівня 50%.

2.4. Висновок до розділу

Динамічна модель електричної печі опору для термообробки металу представляє собою дві послідовно з'єднані аперіодичні ланки з постійними часу 26,33 с та 43,04 с. Статична характеристика об'єкта керування є лінійною, коефіцієнт підсилення дорівнює $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\%$.

З оглядом на завдання керування синтезованої системи автоматичного керування та на результати аналізу електричної печі як об'єкта автоматизації серед вище описаних критеріїв якості перехідного процесу при відпрацюванні системою зміни температури гартування сталі запропоновано прийняти наступні критерії:

- час перехідного процесу повинний бути рівним заданому оператором значенню з мінімальною похибкою;
- величина перерегулювання не повинна перевищувати 2,5%;
- усталена (статична) похибка системи повинна дорівнювати нулю.

Для дослідження швидкодії синтезованої надалі системи автоматичного керування планується використати еталонну модель, якою є система з оптимальним за швидкодією регулятором. При цьому за основу береться методика розрахунку оптимального за швидкодією регулятора методом кінцевих інтервалів перемикання за допомогою принципу максимуму Понтрягіна. Ця методика успішно перевірена по відношенню до електричної печі як об'єкта автоматичного керування.

РОЗДІЛ 3. СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Синтез системи автоматичного керування на основі комп'ютеризованого методу

З урахування вимог до процесу автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу, здійснимо синтез системи автоматичного керування на основі комп'ютеризованого методу з використанням формувача уставки у вигляді лінійно змінюваного у часі сигналу з одночасним використанням ПД-регулятора у контурі керування за температурою у печі. Таким чином, заданий час нагрівання сталі буде реалізовуватися через завдання відповідної швидкості зміни у часі уставки температури.

Щоб фактична температура у печі якомога точніше відтворювала лінійну зміну у часі уставки температури, ПД-регулятор повинен забезпечувати якомога більшу швидкодію системи керування. Здійснимо настройку ПД-регулятора з використанням спеціалізованого додатку програми MATLAB. Для цього у додатку Simulink розробимо схему імітаційної моделі системи керування з ПД-регулятором (рис.3.1).

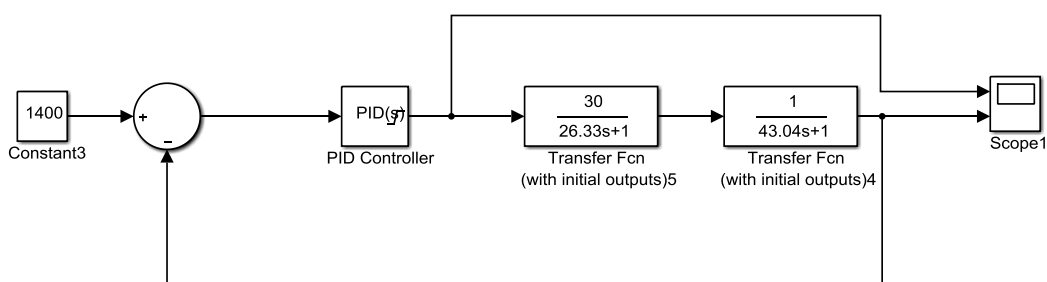


Рисунок 3.1 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування для визначення параметрів ПД-регулятора на основі додатку “PID Tuner”

На рис.3.2 представлений результат настройки ПІД-регулятора на максимальну швидкість (повзунок Response Time розміщується у крайньому правому положенні, а за допомогою повзунка Transient Behavior досягається мінімально можливе перерегулювання).

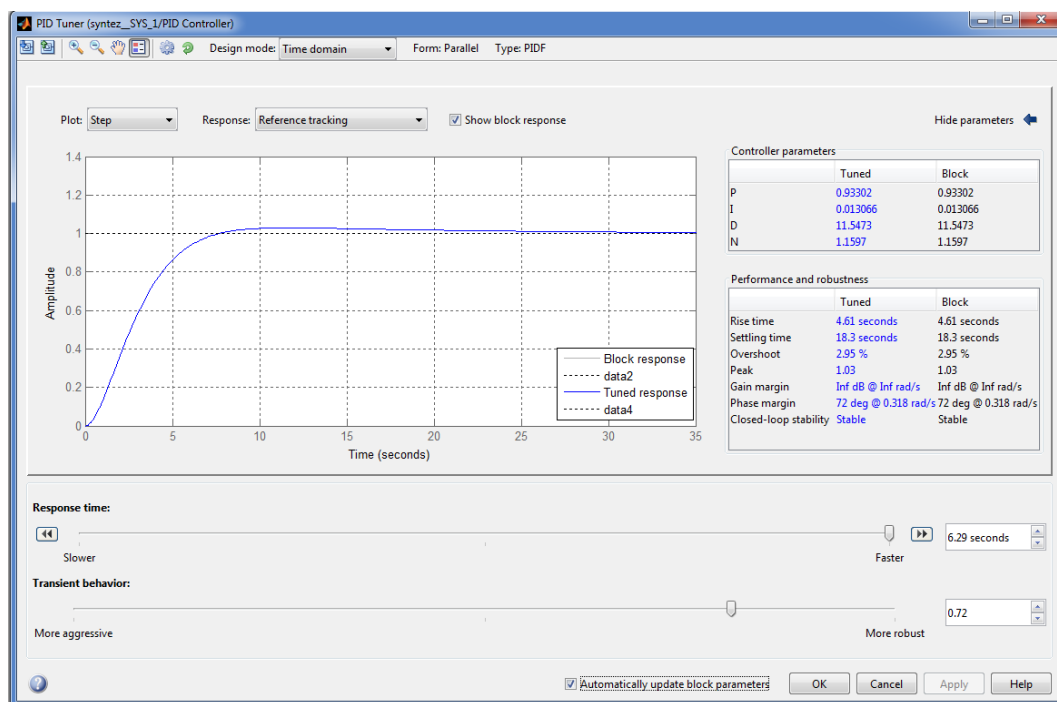


Рисунок 3.2 – Результати налаштування ПІД-регулятора з максимальною швидкістю системи автоматичного керування

Для перевірки якості роботи системи автоматичного керування з настроєним на максимальну швидкість ПІД-регулятором та формувачем лінійно змінюваною у часі уставкою температури у печі створена відповідна імітаційна модель у додатку Simulink (рис.3.3).

Результати моделювання системи керування представлені на рис.3.4. При цьому розглядається випадок завдання часу нагрівання металу, що значно більше часу протікання перехідного процесу на виході системи керування (час нагрівання металу заданий 120 с., а рівень температури, до якої розігрівається метал – 1400 °С, тобто 46,67% керуючого впливу).

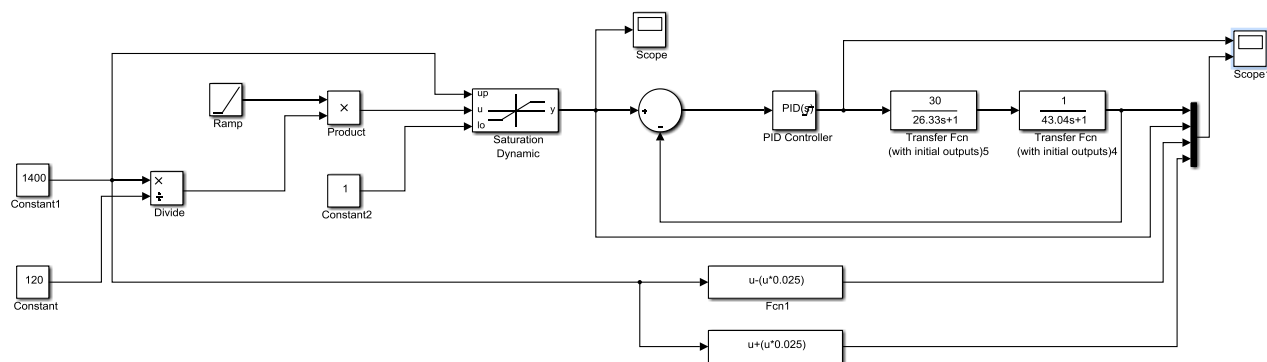


Рисунок 3.3 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування з ПІД-регулятором та формувачем уставки у вигляді лінійно змінюваного у часі сигналу

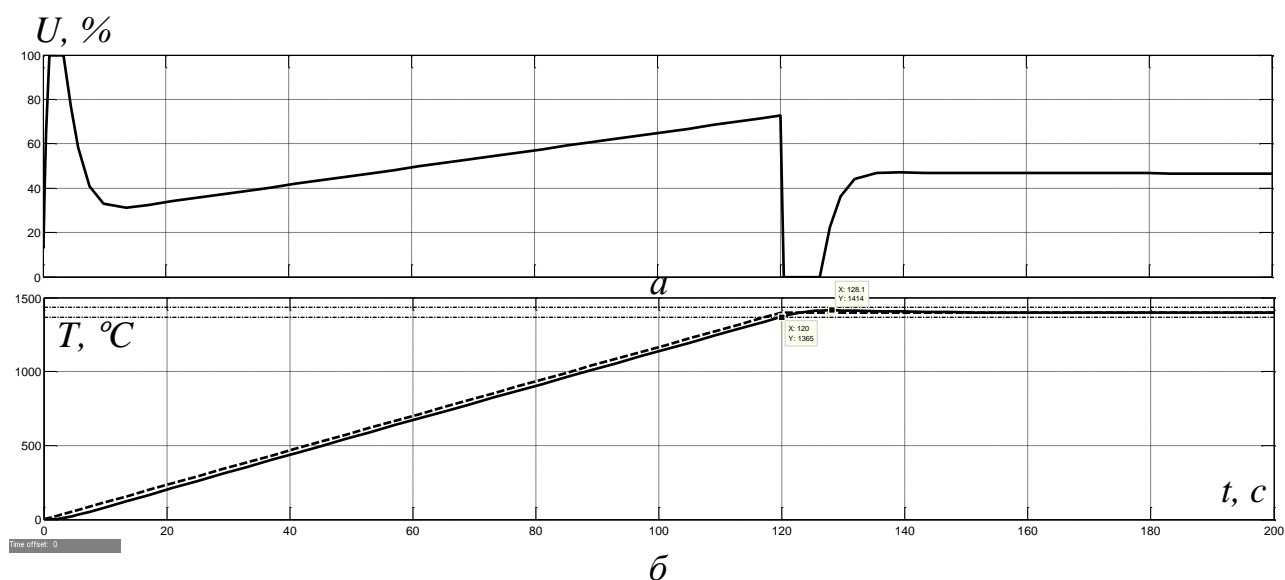


Рисунок 3.4 – Зміна у часі: а – керуючого сигналу (відносна потужність обігрівачів печі); б – керованої величини (температура у печі)

З аналізу результатів моделювання системи керування на рис.3.4 можна зробити висновок, що система автоматичного керування з настроєним комп'ютеризованим способом на максимальну швидкодію ПІД-регулятором та формувачем лінійно змінюваною у часі уставкою температури у печі успішно відпрацьовує задані параметри перехідного процесу на її виході. З рис. 3.4,б ми бачимо, що фактична температура змінюючись лінійно у часі досягає значення

1400 °C рівно за 120 с, тобто без помилки. Далі спостерігається перерегулювання 14 °C (1% у відносних одиницях), але воно не перевищує допустимий рівень 2,5%.

З аналізу рис.3.4,а ми бачимо, що керуючий сигнал на початку перехідного процесу сягає максимального значення, що забезпечує мінімальне відставання графіку зміни у часі фактичної температури від графіку уставки, потім керуючий сигнал лінійно змінюється у часі відповідно до зміни уставки, а на кінці відбувається “гальмування” – він різко зменшується до нуля з послідовним переходом до рівня, що відповідає 1400 °C.

Тепер дослідимо роботу системи керування з настроєним на максимальну швидкодію ПІД-регулятором та формувачем лінійно змінюваною у часі уставкою температури у печі за умови завдання часу нагрівання металу, що сумірний з часом перехідного процесу на виході системи (час нагрівання металу заданий 60 с).

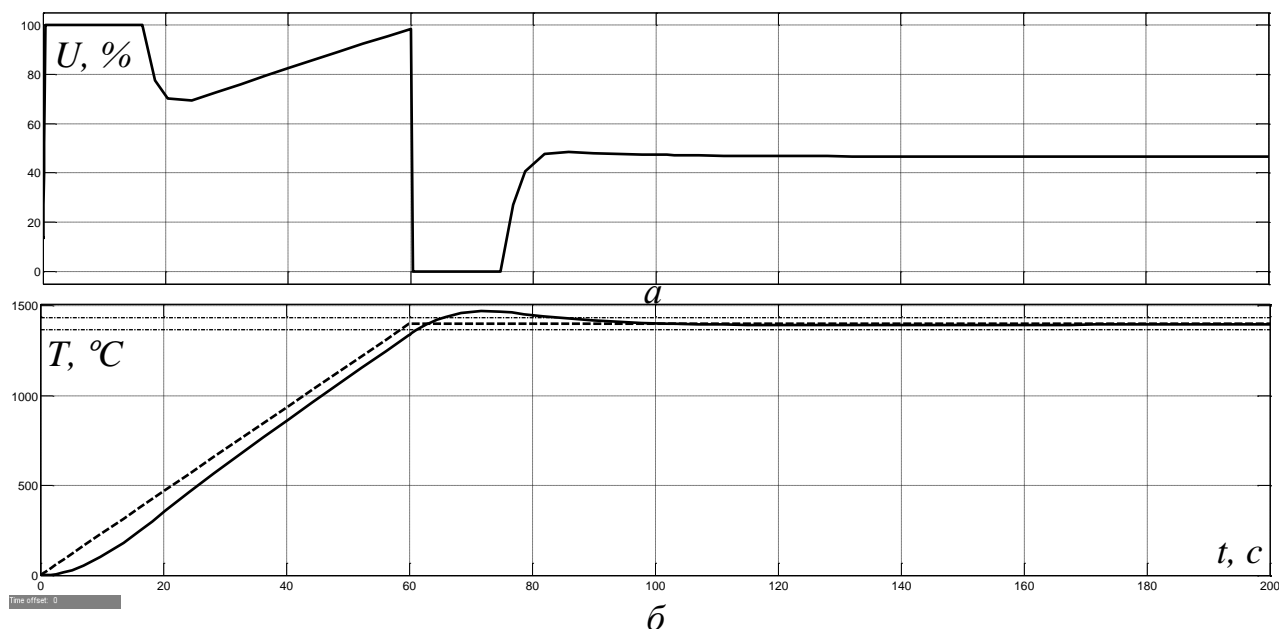


Рисунок 3.5 – Зміна у часі: а – керуючого сигналу (відносна потужність обігрівачів печі); б – керованої величини (температура у печі)

З аналізу результатів моделювання системи керування на рис.3.5 бачимо, що через значну динаміку зміни уставки ПІД-регулятор не встигає “загальмувати”, й з’являється недопустиме перерегулювання значно більше рівня 2,5% (на рис.3.5 горизонтальна нижня штрих-пунктирна лінія).

Спробуємо переналаштувати ПІД-регулятор на меншу швидкодію з метою усунення недопустимого перерегулювання. Результати перенеалаштування показані на рис.3.6.

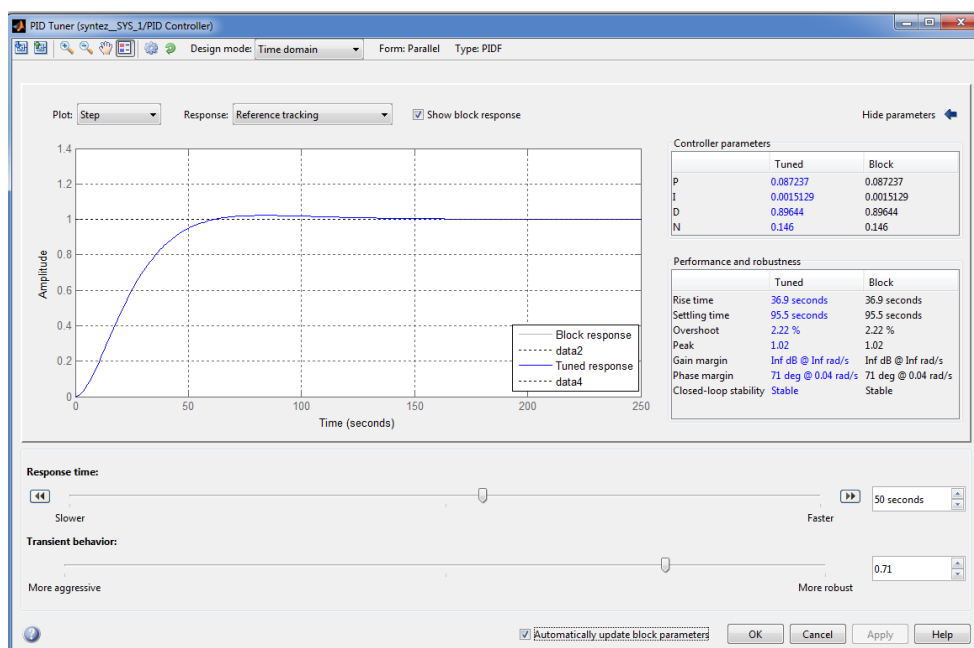


Рисунок 3.6 – Результати налаштування ПІД-регулятора з мінімальним перерегулюванням

З результатів моделювання системи автоматичного керування з переналаштованим ПІД-регулятором на рис.3.7 ми бачимо, що за умови завдання часу нагрівання металу 60 с за рахунок зменшення швидкодії системи керування вдалося втримати перерегулювання у допустимому діапазоні $\pm 2,5\%$ від уставки температури (діапазон обзначений горизонтальними штрих-пунктирними лініями на рис.3.7), але при цьому отримує суттєво погіршений час нагрівання – замість 60 с він становить 93,81 с (відносна похибка 56,3%), що є неприпустимим.

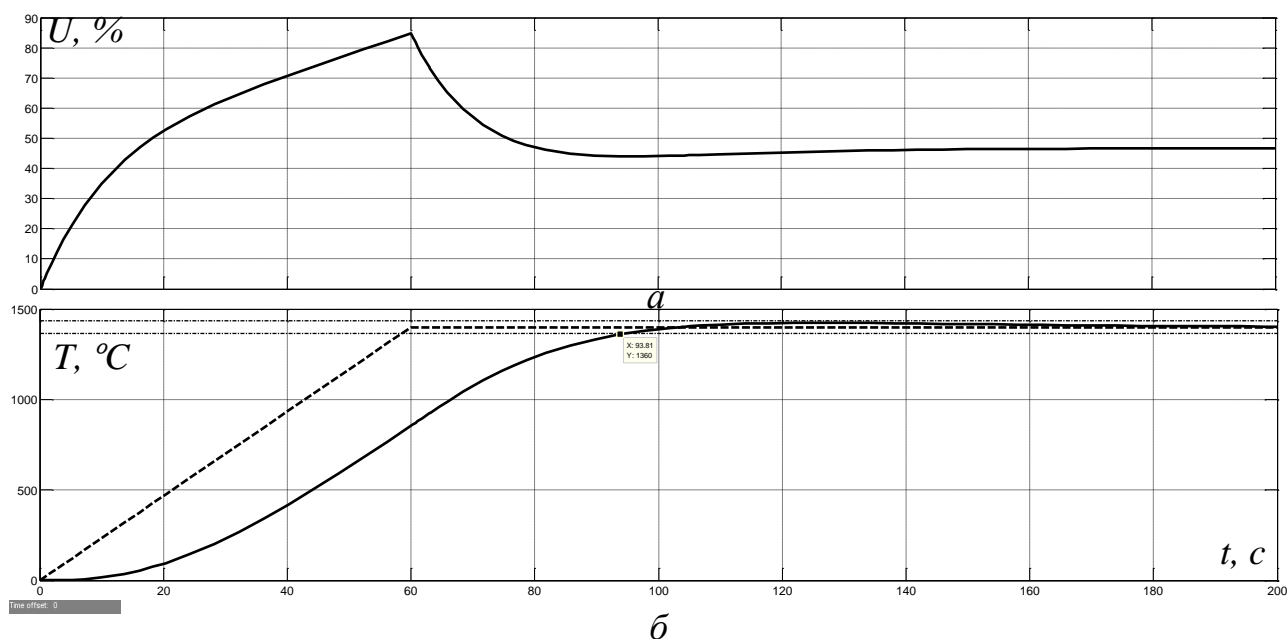


Рисунок 3.7 – Зміна у часі: а – керуючого сигналу (відносна потужність обігрівачів печі); б – керованої величини (температура у печі)

Таким чином, можна зробити висновок, що рішення використання ПД-регулятора разом з формувачем лінійно змінюваної у часі уставки температури у печі буде працювати тільки за умови, коли нагріти деталі потрібно за час, що є значно більшим часу перехідного процесу, який визначається інерційністю печі. Якщо час нагріву деталей є сумірним з часом перехідного процесу при подачі максимального керуючого впливу, варіант з формувачем лінійної уставки та ПД-регулятора працювати не буде, оскільки ПД-регулятор не здатний забезпечити максимальну швидкість системи автоматичного керування без перевищення допустимого перерегулювання.

3.2 Синтез системи автоматичного керування на основі оптимального за швидкістю регулятора

З урахуванням досліджень системи керування у попередньому підрозділі, запропонуємо спосіб автоматичного керування температурою у печі на основі використання оптимального за швидкістю регулятора. При цьому вхідні дані для розрахунку регулятора коригуються таким чином, щоб перехід на заданий

рівень температури у печі був виконаний за певний заданий проміжок часу. Це можна досягнути шляхом штучного обмеження максимального значення керуючого сигналу.

Для цього шляхом серії обчислювальних експериментів на імітаційній моделі системи автоматичного керування з оптимальним за швидкодією регулятором встановим залежність між максимальним рівнем керуючого сигналу на першому інтервалі перемикавання оптимального за швидкодією регулятора та тривалістю перехідного процесу на виході системи (за закінчення перехідного процесу приймемо час досягнення температурою рівня $-2,5\%$ від заданої уставки).

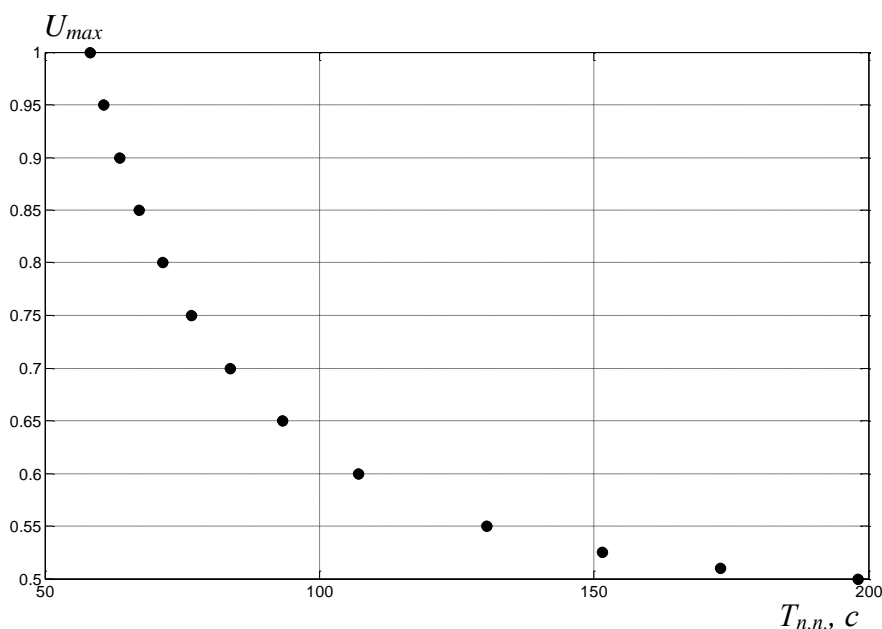


Рисунок 3.8 – Експериментальна залежність рівня керуючого сигналу від тривалості перехідного процесу

З рис.3.8 можна зробити висновок, що залежність між максимальним рівнем керуючого сигналу на першому інтервалі перемикавання оптимального за швидкодією регулятора та тривалістю перехідного процесу на виході системи є зворотною й має експоненціальний характер.

Проведемо апроксимацію залежності на рис.3.8 ступеневим поліномом. Для цього використаємо інструмент Basic Fitting програми MATLAB.

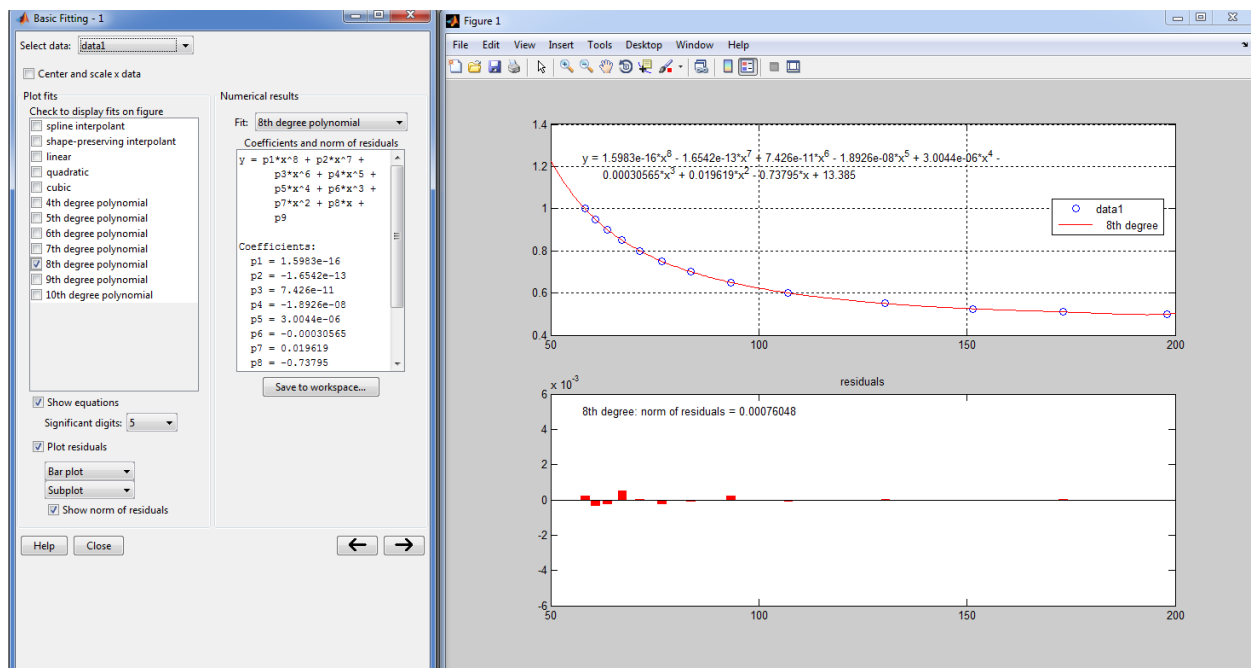


Рисунок 3.9 – Результати апроксимації експериментальної залежності рівня керуючого сигналу від тривалості перехідного процесу

З аналізу рис.3.9 можна зробити висновок, що залежність між максимальним рівнем керуючого сигналу на першому інтервалі перемикання оптимального за швидкодією регулятора та тривалістю перехідного процесу на виході системи з високою точністю (максимальна відносна похибка не перевищує 2,5%) апроксимується ступеневим поліномом восьмого порядку.

З урахуванням встановленої закономірності, у додатку Simulink реалізуємо імітаційну модель системи автоматичного керування з використанням модифікованого оптимального за швидкодією регулятора, який здатний забезпечити задану тривалість перехідного процесу на виході системи керування (рис.3.10).

На рис.3.10 отримана вище апроксимуюча функція, за допомогою якої визначається максимальний рівень керуючого сигналу на першому інтервалі перемикання оптимального за швидкодією регулятора, реалізується за допомогою блока завдання функції “Fcn”. А за допомогою блоку S-Function

реалізується методика розрахунку оптимального за швидкістю регулятора (програмний код функції наведений нижче).

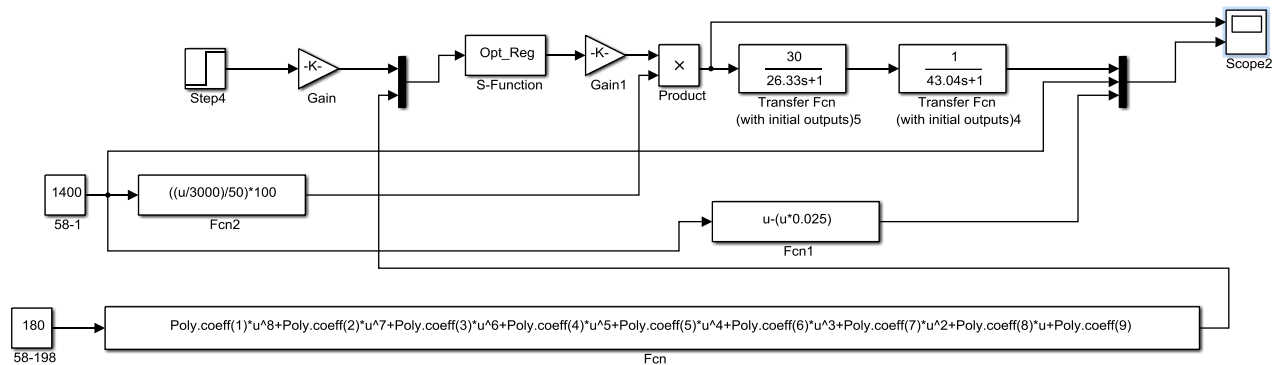


Рисунок 3.10 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування температурою у печі з модифікованим оптимальним за швидкістю регулятором

Програма 3.1 – Розрахунок інтервалів перемикування оптимального за швидкістю регулятора

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

```
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 5;
sizes.NumOutputs = 1;
sizes.NumInputs = 2;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
```



```

sys = simsizes(sizes);
x0 = [0 0 0 0 0];
str = [];
ts = [0.1 0];

function sys = mdlUpdate(t,x,u)
if(u(1)~=x(2))
%Скидання таймеру за умови зміни уставки
sys(1) = 0;
%Зберігання старого значення уставки
sys(3) = x(2);
%Розрахунок інтервалів переключення
%Введення вхідних даних
K=1; T1=26.33;T2=43.04;
p1=(-1)/T2; p2=(-1)/T1;
%Величина зміни керованої величини
yk=abs(u(1)-x(2));
%Максимальне та мінімальне керуючі впливи
Umax=u(2)-x(2);
Umin=x(2);
%Визначення інтервалів перемикавання оптимального регулятора
A21=@(t2)(-p2*(yk+(K*Umin)))/((p1-p2)*exp(p1*t2));
A22=@(t2)(p1*(yk+(K*Umin)))/((p1-p2)*exp(p2*t2));
A11=(0-(K*Umax))/(1-(p1/p2));
A12=0-((p1/p2)*A11);
F1=@(t2)(log((K*(Umax+Umin)*p2)/((A11-A21(t2))*(p1-p2))))/p1;
F2=@(t2)(log(-K*(Umax+Umin)*p1)/((A12-A22(t2))*(p1-p2)))/p2;
t2=0;
for i=2:100000
    if((F1(i*0.1)-F2(i*0.1)<0 && F1((i-1)*0.1)-F2((i-1)*0.1)>0) || (F1(i*0.1)-F2(i*0.1)>0 &&
F1((i-1)*0.1)-F2((i-1)*0.1)<0))
        t2=i*0.1;
        break
    end
end
t1=F1(t2);
sys(4)=t1;
sys(5)=t2;
else
%Хід таймера
sys(1)=x(1)+0.1;
%Внутрішні змінні x3 x4 та x5 не змінюються
sys(3)=x(3);
sys(4)=x(4);
sys(5)=x(5);
end
sys(2)=u(1);

function sys = mdlOutputs(t,x,u)
    if(u(1)>x(3))
    if(x(1)<x(4))
        % Значення керуючого сигналу на першому інтервалі

```

```

sys=u(2);
end
if(x(1)>=x(4) && x(1)<x(5))
    % Значення керуючого сигналу на другому інтервалі
    sys=0;
end
if(x(1)>=x(5))
    % Значення керуючого сигналу на третьому інтервалі
    sys=u(1);
end
end
end
if(u(1)==x(3))
    sys=u(1);
end
end

```

Результати перевірки якості роботи системи автоматичного керування з використанням запропонованого модифікованого оптимального за швидкодією регулятора наведені у наступному підрозділі.

3.3. Дослідження якості роботи системи автоматичного керування

З метою дослідження якості роботи системи автоматичного керування за умови її синтезу різними способами у додатку Simulink програми MATLAB розроблені суміщені моделі систем з ПД-регулятором та регулятором, що оптимальний за швидкодією (рис.3.11).

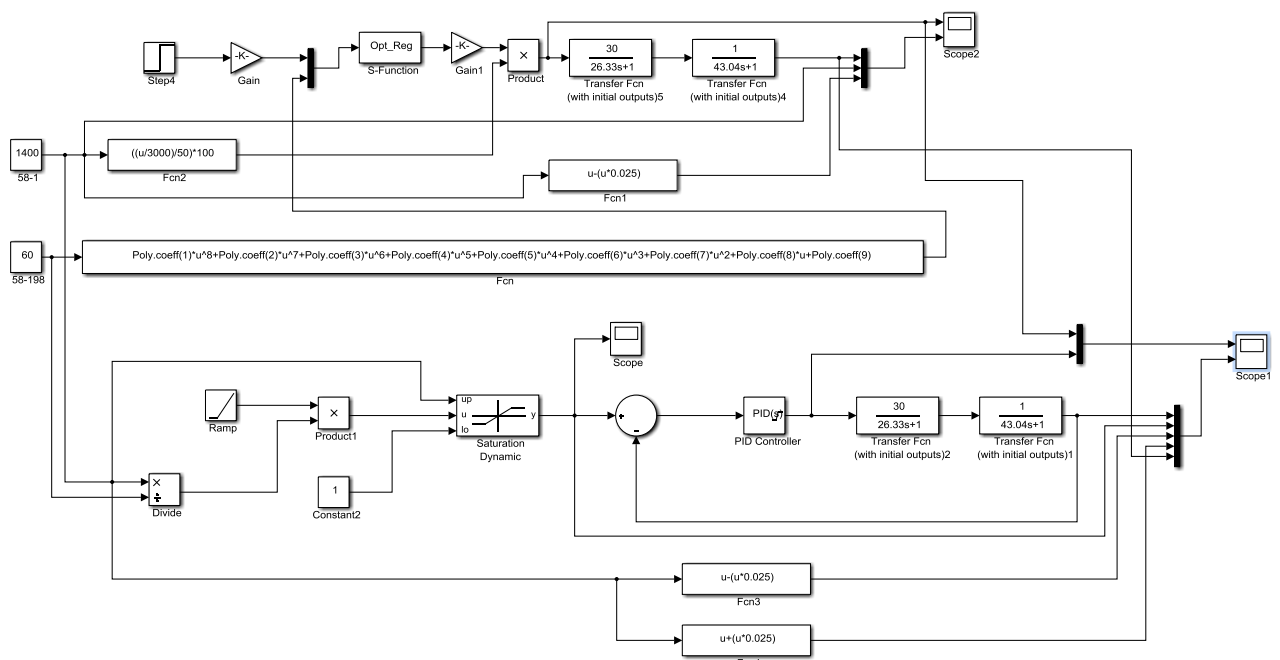


Рисунок 3.11 – Схеми імітаційних моделей систем керування, синтезованих різними способами

Результати моделювання роботи системи керування за умови завдання часу нагрівання металу, близького до часу перехідного процесу печі, показані на рис.3.12.

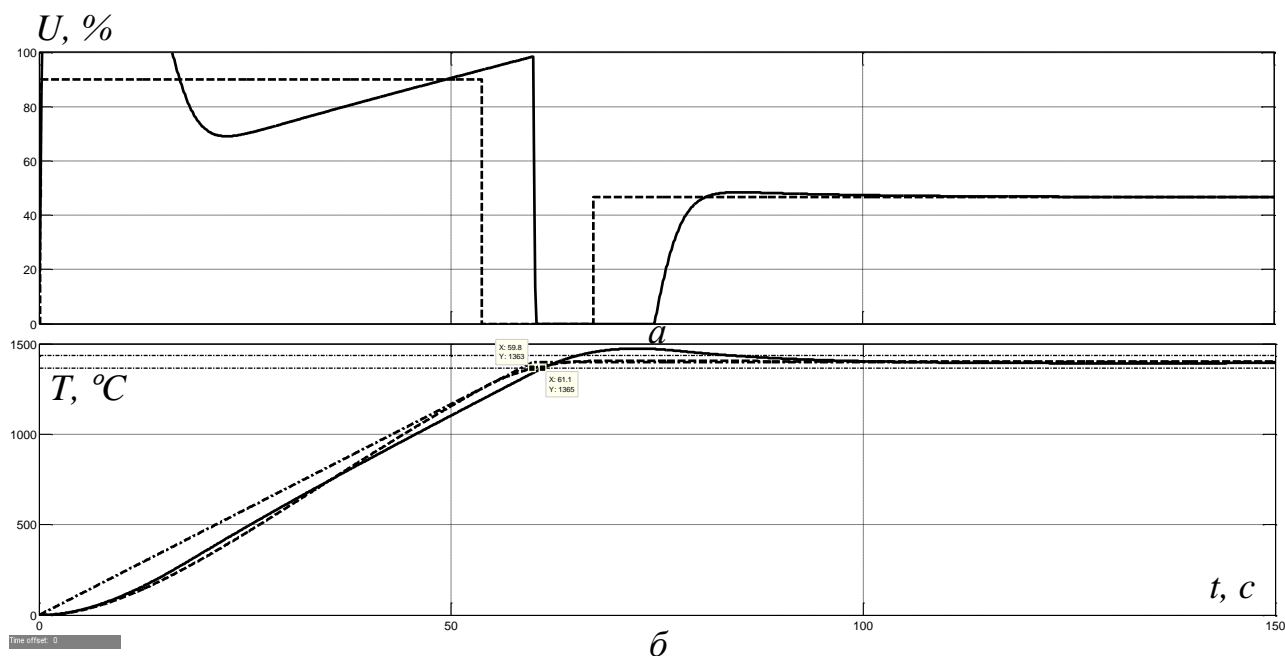


Рисунок 3.12 – Зміна у часі: а – керуючого сигналу (відносна потужність обігрівачів печі); б – керованої величини (температура у печі): суцільна лінія – система керування з ПІД-регулятором; пунктирна лінія – система керування з запропонованим модифікованим оптимальним за швидкодією регулятором; штрих-пунктирна лінія – уставка температури

Із рис.3.12,б видно, що за умови завдання часу нагрівання 60 с система автоматичного керування з модифікованим оптимальним за швидкодією регулятором забезпечує тривалість перехідного процесу (час досягнення рівня $-2,5\%$ від уставки) за 59,8 с (відносна похибка становить 0,3%) з незначним перерегулюванням менше 0,5%. А за умови використання ПІД-регулятора з формувачем лінійно змінюваної у часі уставки температури маємо тривалість перехідного процесу 61,1 с, але при цьому перерегулювання перевищує допустиме перерегулювання 2,5%.

Також проведено моделювання роботи систем керування, синтезованих різними способами, за умови завдання часу нагрівання металу, що набагато більший за час перехідного процесу печі (рис.3.13) – прийнятий 190 с.

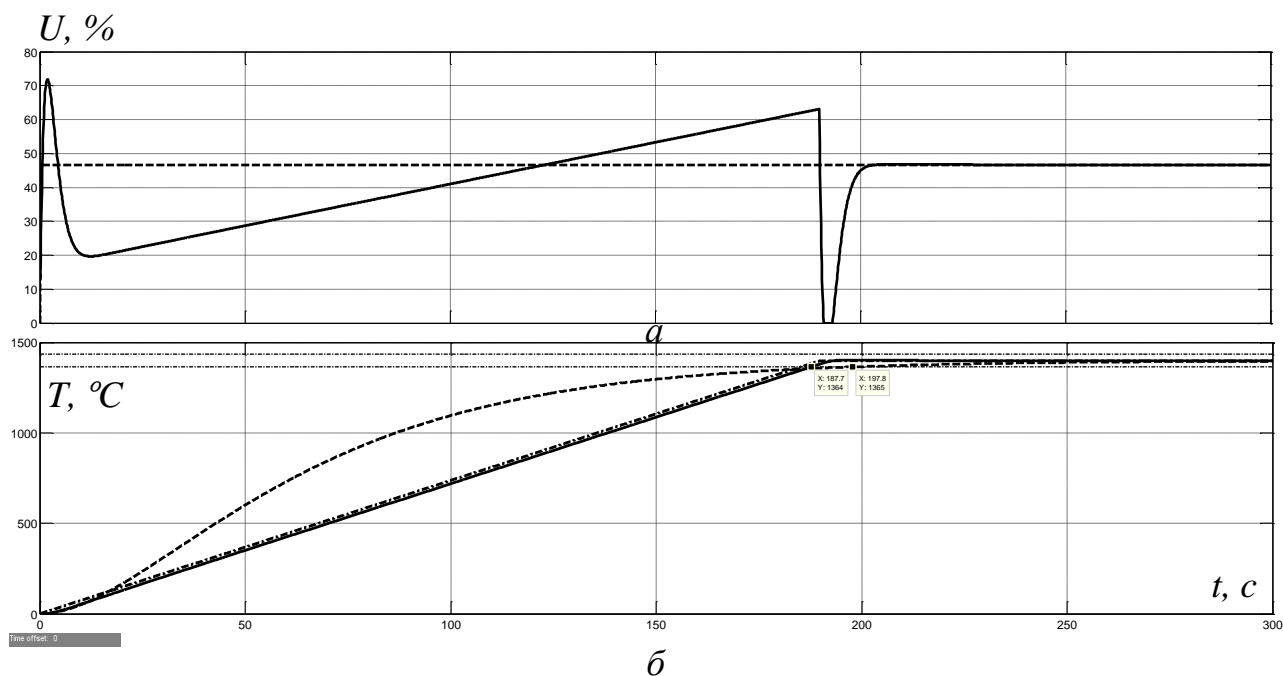


Рисунок 3.13 – Зміна у часі: а – керуючого сигналу (відносна потужність обігрівачів печі); б – керованої величини (температура у печі): суцільна лінія – система керування з ПІД-регулятором; пунктирна лінія – система керування з запропонованим модифікованим оптимальним за швидкодією регулятором; штрих-пунктирна лінія – уставка температури

Із рис.3.13,б видно, що за умови завдання часу нагрівання металу 190 с система автоматичного керування з модифікованим оптимальним за швидкодією регулятором забезпечує тривалість перехідного процесу за 197,8 с (відносна похибка становить 4,1%) з відсутністю перерегулювання. А за умови використання ПІД-регулятора з формувачем лінійно змінюваної у часі уставки температури маємо тривалість перехідного процесу 187,7 с (відносна похибка становить 1,2%), при цьому перерегулювання менше за допустимий рівень перерегулювання 2,5%, та є менше 0,2%.

Таким чином, за умови завдання часу нагрівання металу, що значно перевищує час перехідного процесу об'єкта керування, обидві системи автоматичного керування, синтезовані різними способами, забезпечують якісні показники перехідного процесу за температурою в печі. Однак, з рис.3.13,б ми бачимо, що за умови використання оптимального за швидкодією регулятора маємо набагато меншу ступінь рівномірності нагріву деталей у порівнянні з роботою ПД-регулятора з формувачем лінійно змінюваної у часі уставки температури, що говорить на користь останнього варіанту.

Також на основі аналізу рис.3.12 та рис.3.13 можна зробити наступний висновок. Точність роботи запропонованого модифікованого регулятора, оптимального за швидкодією, залежить від того, на якій ділянці графіку залежності рівня керуючого сигналу від тривалості перехідного процесу ми знаходимося (рис.3.8). Якщо на крутій ділянці, за умови чого перший інтервал переключення оптимального регулятора є не дуже тривалим (рис.3.12,а), а перехідний процес на виході системи не сягає відносного рівня 0,606 від заданого значення керованої величини (диференціал за часом керованої величини біля максимального значення), то похибка становить до 0,2-1 с в абсолютних величинах та до 1% у відносних. А якщо на пологій ділянці, за умови чого перший інтервал переключення оптимального регулятора є тривалим (рис.3.12,а), а перехідний процес на виході системи перевищує відносний рівень 0,606 від заданого значення керованої величини (диференціал за часом керованої величини починає прагнути до нуля), то похибка становить до 5-8 с в абсолютних величинах та до 5% у відносних.

3.4. Висновок до розділу

1. Система автоматичного керування з налаштованим комп'ютеризованим способом на максимальну швидкодію ПД-регулятором та формувачем лінійно змінюваної у часі уставки температури у печі успішно відпрацьовує задані параметри перехідного процесу на її виході, але тільки за умови, якщо час нагрівання металу суттєво (більш ніж у 1,5 рази) перевищує час перехідного

процесу печі як об'єкта керування. У протилежному випадку з'являється недопустиме перерегулювання за температурою у печі.

2. Залежність між максимальним рівнем керуючого сигналу на першому інтервалі перемикання оптимального за швидкодією регулятора та тривалістю перехідного процесу на виході системи є зворотною й має експоненціальний характер. При цьому ця залежність з високою точністю (максимальна відносна похибка не перевищує 2,5%) апроксимується ступеневим поліномом восьмого порядку.

3. Точність роботи запропонованого модифікованого регулятора, оптимального за швидкодією, залежить від того, на якій ділянці графіку залежності рівня керуючого сигналу від тривалості перехідного процесу ми знаходимося. Якщо на крутій ділянці, за умови чого перший інтервал переключення оптимального регулятора є не дуже тривалим, а перехідний процес на виході системи не сягає відносного рівня 0,606 від заданого значення керованої величини (диференціал за часом керованої величини біля максимального значення), то похибка становить до 0,2-1 с в абсолютних величинах та до 1% у відносних. А якщо на пологій ділянці, за умови чого перший інтервал переключення оптимального регулятора є тривалим, а перехідний процес на виході системи перевищує відносний рівень 0,606 від заданого значення керованої величини (диференціал за часом керованої величини починає прагнути до нуля), то похибка становить до 5-8 с в абсолютних величинах та до 5% у відносних. Крім того, при збільшенні заданого часу нагрівання металу за умови використання оптимального регулятора досить суттєво зростає нерівномірність зміни температури у часі.

4. Таким чином, при завданні часу час нагрівання металу, що суттєво перевищує час перехідного процесу печі як об'єкта керування (більш ніж у 1,5 рази), доцільно використовувати систему керування з настроєним на максимальну швидкодію ПІД-регулятором та формувачем лінійно змінюваної у часі уставки температури у печі. У протилежному випадку краще використовувати систему керування з запропонованим модифікованим оптимальним за швидкодією регулятором температури у печі.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель системи керування

В результаті синтезу системи автоматичного керування у третьому розділі було отримано неперервну модель системи, що відповідає сформульованим критеріям якості (рис.4.1).

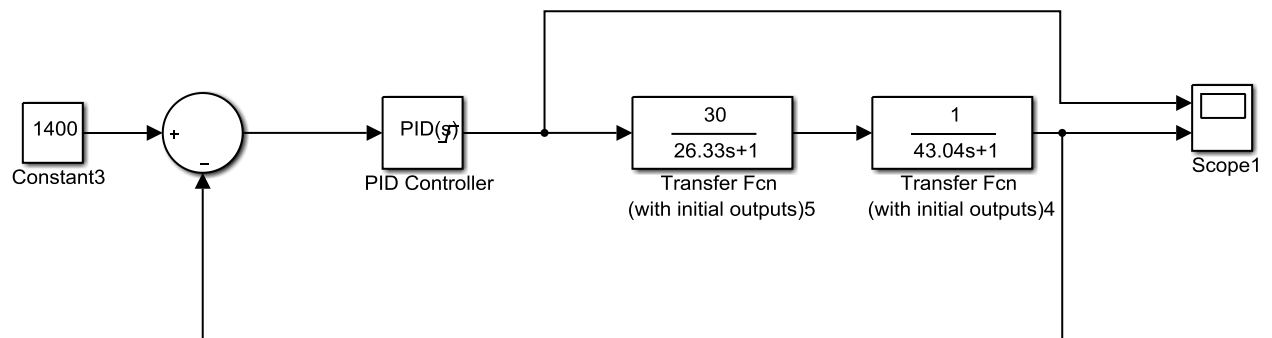


Рисунок 4.1 – Модель системи автоматичного керування

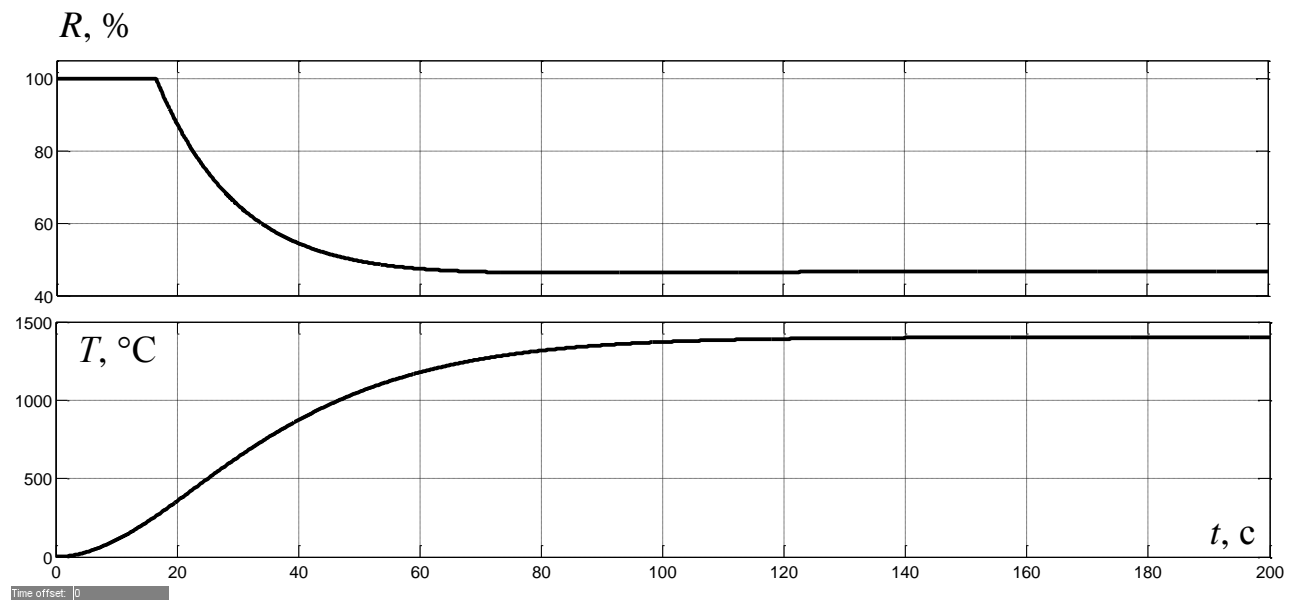


Рисунок 4.2 – Результати моделювання системи автоматичного керування
(знизу – керована величина, зверху – керуюча)

Для подальшої роботи виконаємо заміну неперервних елементів системи автоматичного керування цифровими. Для перетворення неперервних аперіодичних ланок скористаємося функцією MATLAB “c2d” (програма 4.1).

Програма 4.1 Перетворення неперервних моделей елементів САК на цифрові

```
%Перетворення у цифрову форму першої аперіодичної ланки
wa1=tf([30], [26.33 1]);
wa1z=c2d(wa1, 0.1);
[a_a1, b_a1]=tfdata(wa1z);
a_a1=cell2mat(a_a1)
b_a1=cell2mat(b_a1)
%Перетворення у цифрову форму другої аперіодичної ланки
wa2=tf([1], [43.04 1]);
wa2z=c2d(wa2, 0.1);
[a_a2, b_a2]=tfdata(wa2z);
a_a2=cell2mat(a_a2)
b_a2=cell2mat(b_a2)
```

Результати роботи програми:

```
a_a1 =
      0  0.113722380619248

b_a1 =
1.0000000000000000 -0.996209253979358

a_a2 =
      0  0.002320723023127

b_a2 =
1.0000000000000000 -0.997679276976873
```

Перетворення у цифрову форму елементів регулятора:

```
%Перетворення у цифрову форму диференційної ланки
wa2=tf([1 0], [1/0.146000577753953 1]);
wa2z=c2d(wa2, 0.1);
```

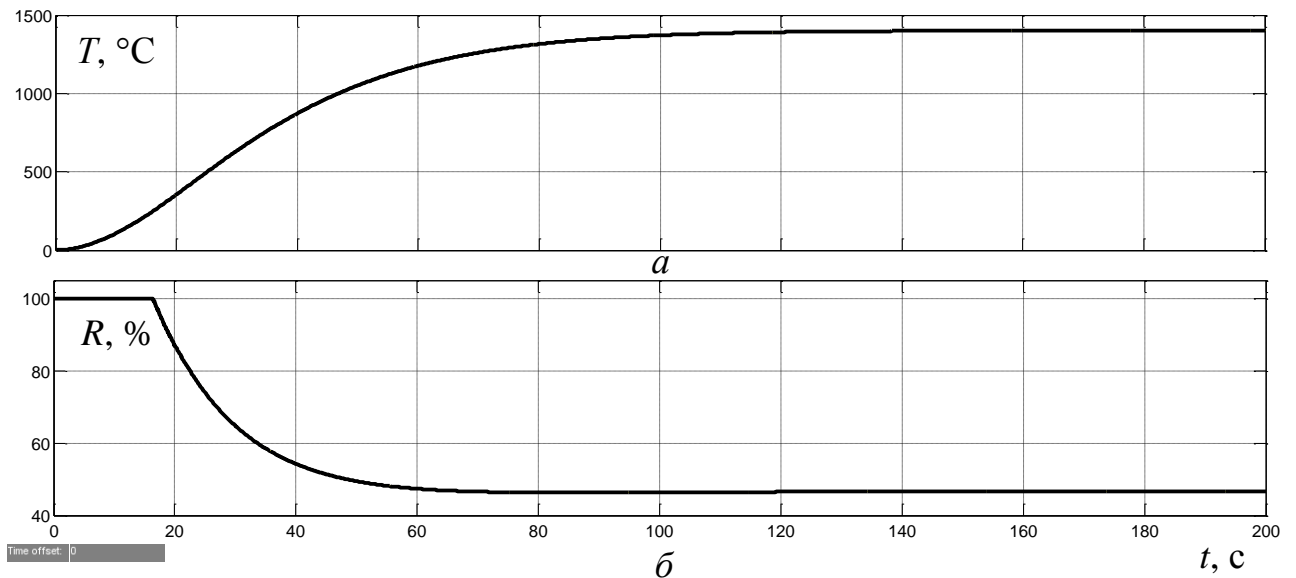



Рисунок 4.5 – Результати моделювання: а – керована величина; б – керуюча величина (суцільна лінія – неперервна модель; пунктирна – цифрова)

Оцінимо відповідність цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі за нормованим середньо-квадратичним відхиленням.

```
>> goodnessOfFit(Sys_continuos,Sys_descrete, 'NRMSE')*100
```

```
ans = 99.811462734011585
```

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

На рис.4.6 представлена модель цифрової САК вже з поділом системи керування на об'єкт керування та регулятор шляхом створення блоків підсистем. Вміст підсистеми об'єкт керування представлений на рис.4.3, а вміст підсистеми регулятор – блоки з зеленою заливкою на рис.4.4.

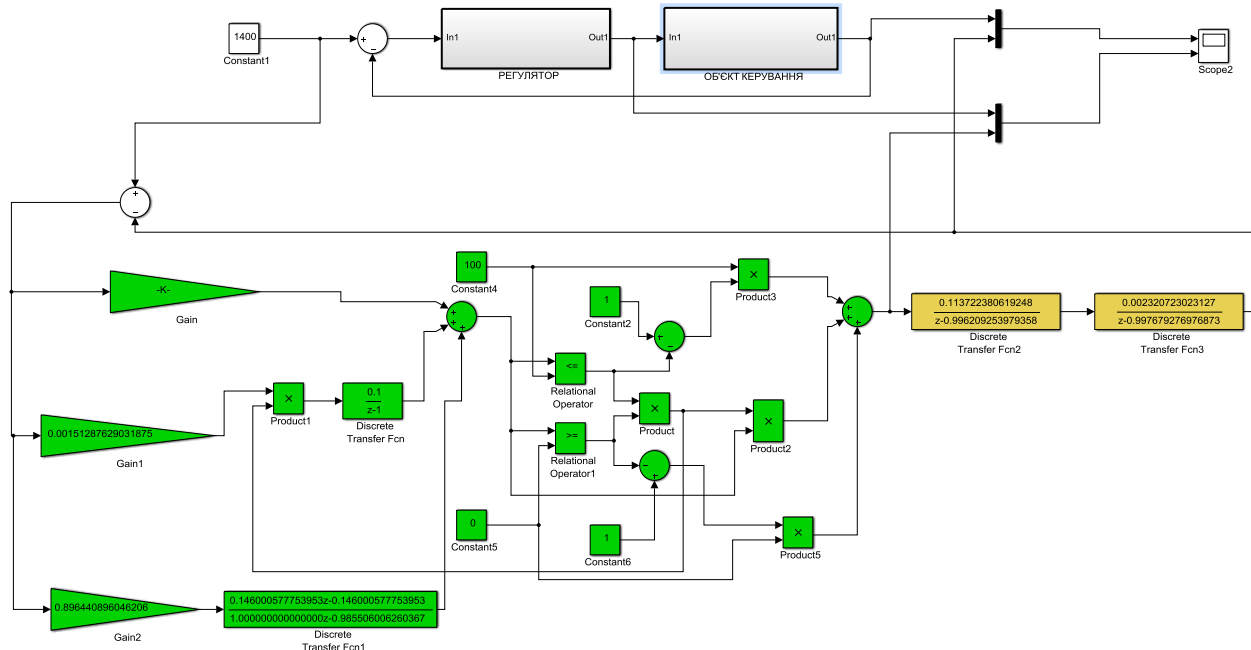


Рисунок 4.6 – Цифрова модель згрупованої системи автоматичного керування

На рис.4.6 у цифровій моделі ПІД-регулятора за допомогою блоків множення, порівняння та суматорів реалізовані обмеження керуючого сигналу у діапазоні від 0 до 100%, а також захист від перенасичення інтегруючої складової.

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'єкту керування було створено драйвер пристрою керування з налаштуванням, що показано на рисунку 4.7.

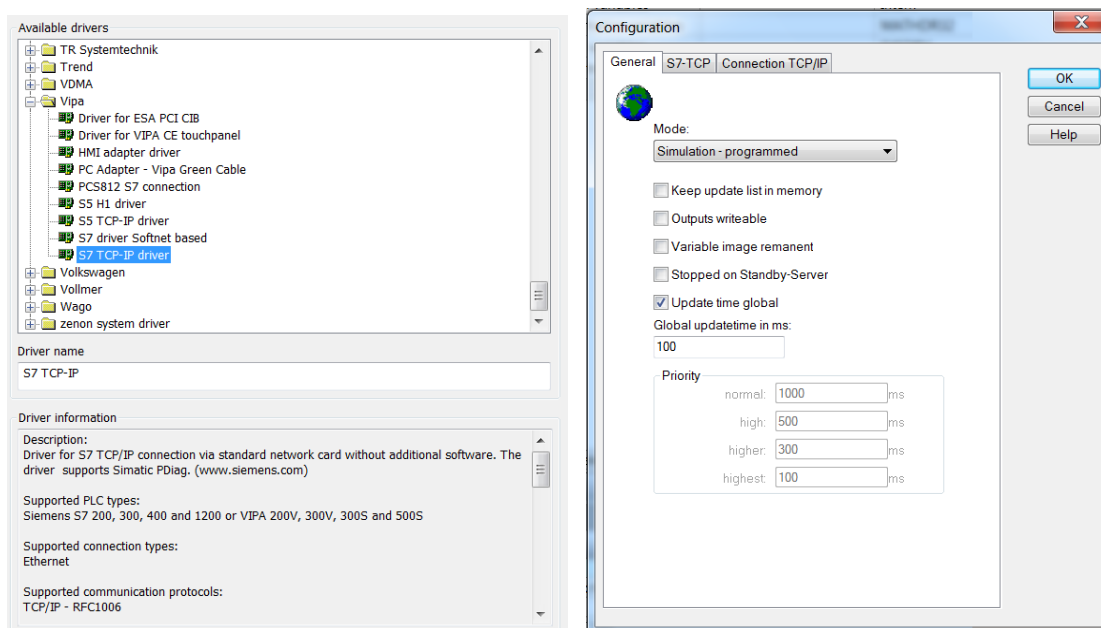


Рисунок 4.7 – Вибір драйверу пристрою керування та його налаштування

Для драйвера пристрою керування було створено такі змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.8).

State	Name	Identification	Measuring unit	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	§
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter text	Filter...	File
	Temperature		град.	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	3	
	OutContr		%	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	

Рисунок 4.8 – Змінні драйверу об'єкту керування

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

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

Для реалізації програмного забезпечення регулятора спочатку було створено проект регулятора (рис. 4.9).

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

Рисунок 4.9 – Проект регулятора

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

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкта керування було реалізовано через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.10).

Name	Source variable	Target variable	Trigger variable #	Trigger ty...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
zenon_to_PLC	Temperature	Controller/Global/Control_Temperat...	< no variable linke...	Edge
PLC_to_zenon	Controller/Global/Control_OutCo...	OutContr	< no variable linke...	Edge

Рисунок 4.10 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином, було створено два розподіли – перший, що копіює значення температури у печі з об'єкта керування до регулятора, та другий – для передачі значення відносної потужності нагрівачів з регулятора до об'єкта керування. Більш докладно список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення регулятора наведено у додатку Б2.

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

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

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

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;

- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта керування;
- 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: 5 – зображення з кнопками, що дозволять без проблем переходити між іншими зображеннями, технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій, список тривог.

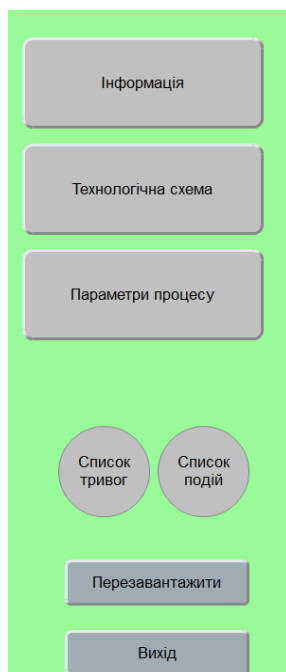


Рисунок 4.11 – Зображення кнопок

На рис. 4.11 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. 4.12), де представлена технологічна схема, розташування датчиків, та основна інформація про об'єкт керування. Реалізація роботи цієї кнопки була виконана

за допомогою функції switch screen, що дозволяє перейти на наступне зображення.

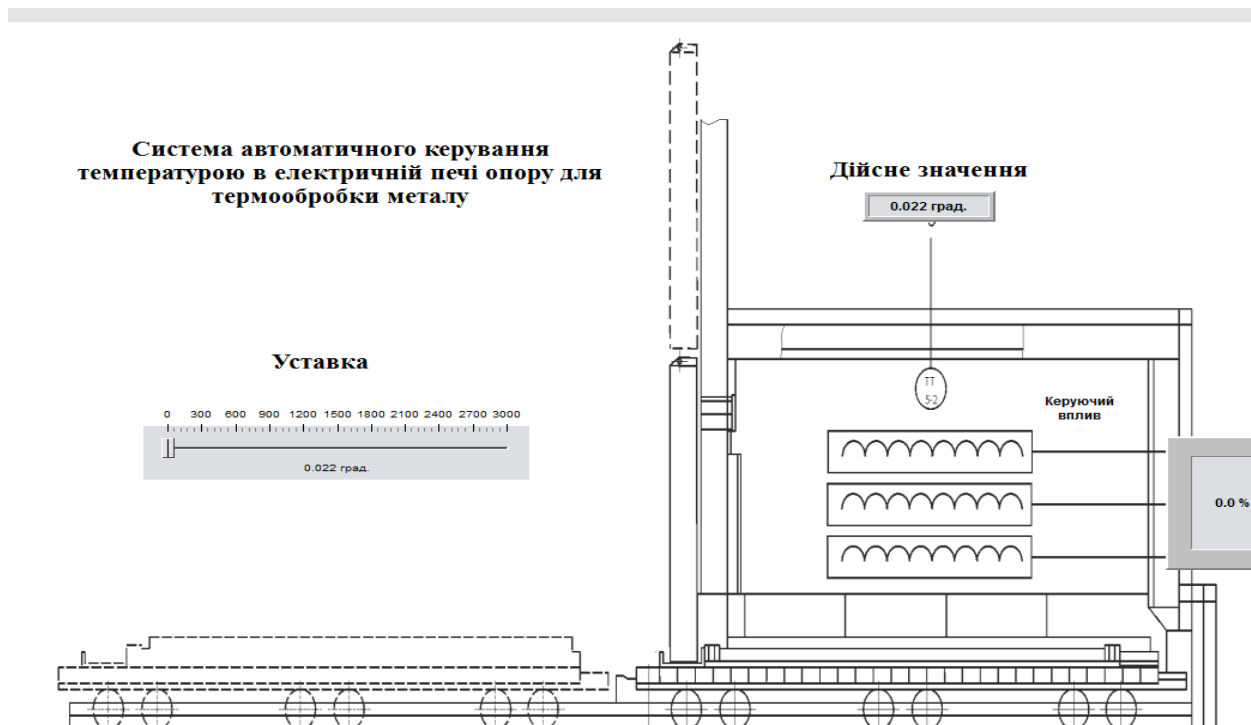


Рисунок 4.12 – Зображення технологічної схеми

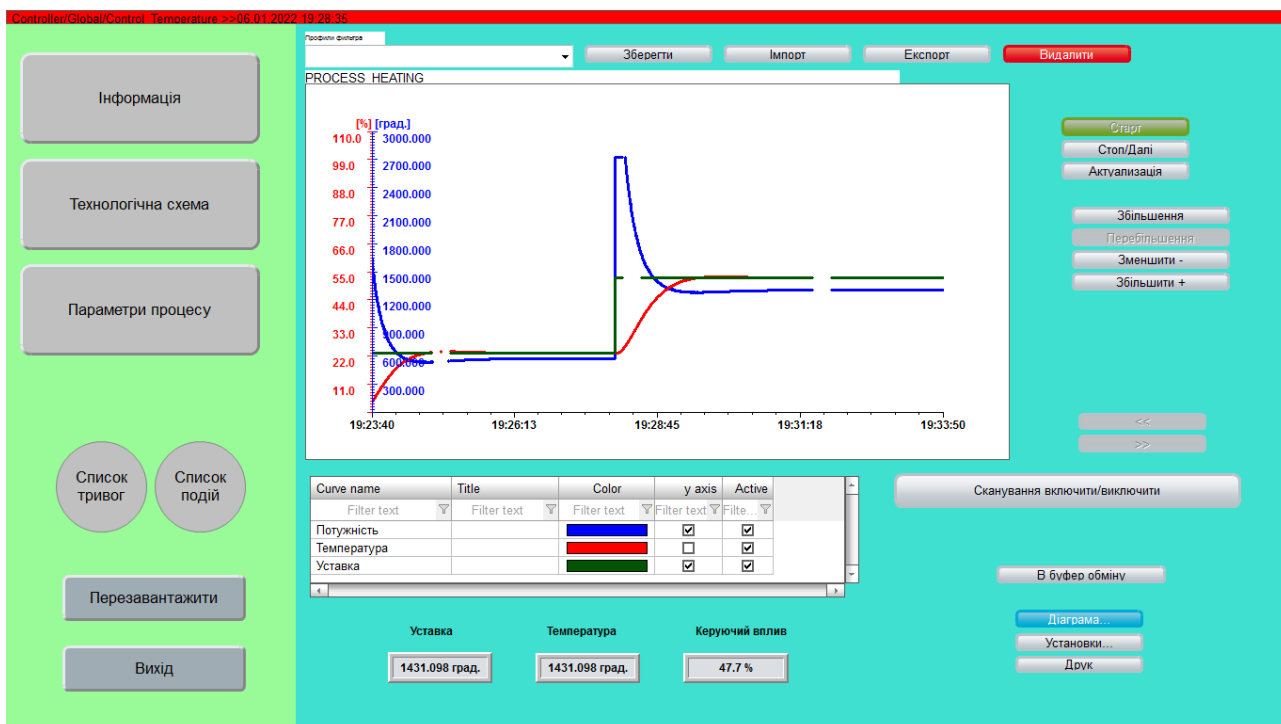


Рисунок 4.13 – Зображення графіку перехідного процесу

Наступні кнопки : «Параметри процесу», «Список тривог», «Список подій», було реалізовано аналогічно та дозволяють перейти на зображення – рис. 4.13, рис. 4.14, рис. 4.15 відповідно. Кнопки «Вихід» та «Перезавантажити» реалізовано за допомогою функцій «exit runtime» та «reload project» відповідно.

The screenshot displays a control system interface for 'Controller/Global/Control_Temperature'. The main area shows a table of events with the following data:

Час отримання	Текст	Ім'я змінної	Знач...	Одн...	Користувач - п...
06.01.2022 19:19:31	System was started				SYSTEM
06.01.2022 19:23:28	Modify spontaneous value: (625.442 град.)	Controller/Global/Control_	625.442 град.		SYSTEM
06.01.2022 19:28:00	Modify spontaneous value: (1431.095 град.)	Controller/Global/Control_	1431.095 град.		SYSTEM

The interface also features a sidebar with buttons for 'Інформація', 'Технологічна схема', 'Параметри процесу', 'Список тривог', and 'Список подій'. At the bottom, there are buttons for 'Друкувати', 'Стоп', and 'Видалити'.

Рисунок 4.14 – Зображення списку подій

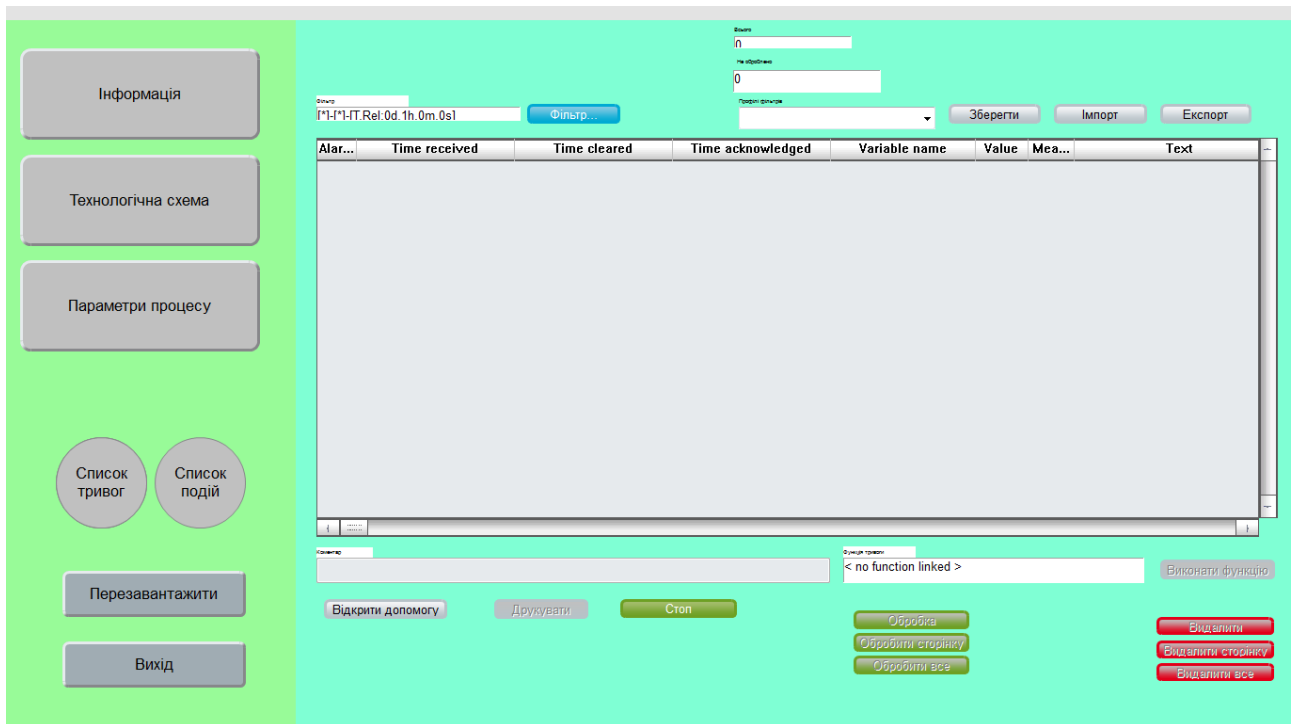


Рисунок 4.15 – Зображення списку тривог

Всі зображення розташовано згідно шаблону на рисунку 4.16.

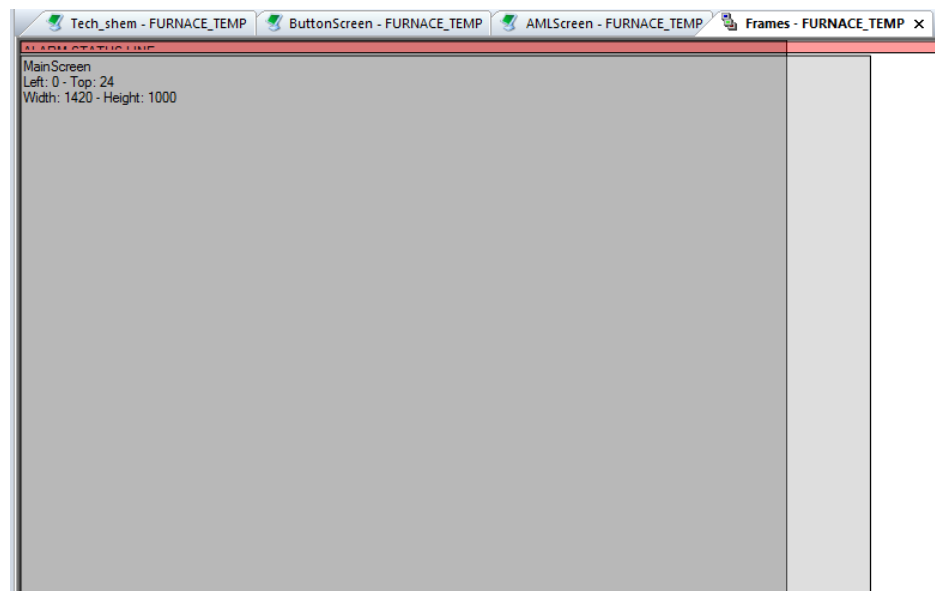


Рисунок 4.16 – Шаблон зображень

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 ЛМІ наводиться в додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі уставки температури 1102,5 °С на вхід об'єкта. З рисунка 4.17 видно, що об'єкт та регулятор працюють адекватно, при цьому виконуються усі вимоги щодо якісної роботи системи керування (перерегулювання не перевищує 5%).

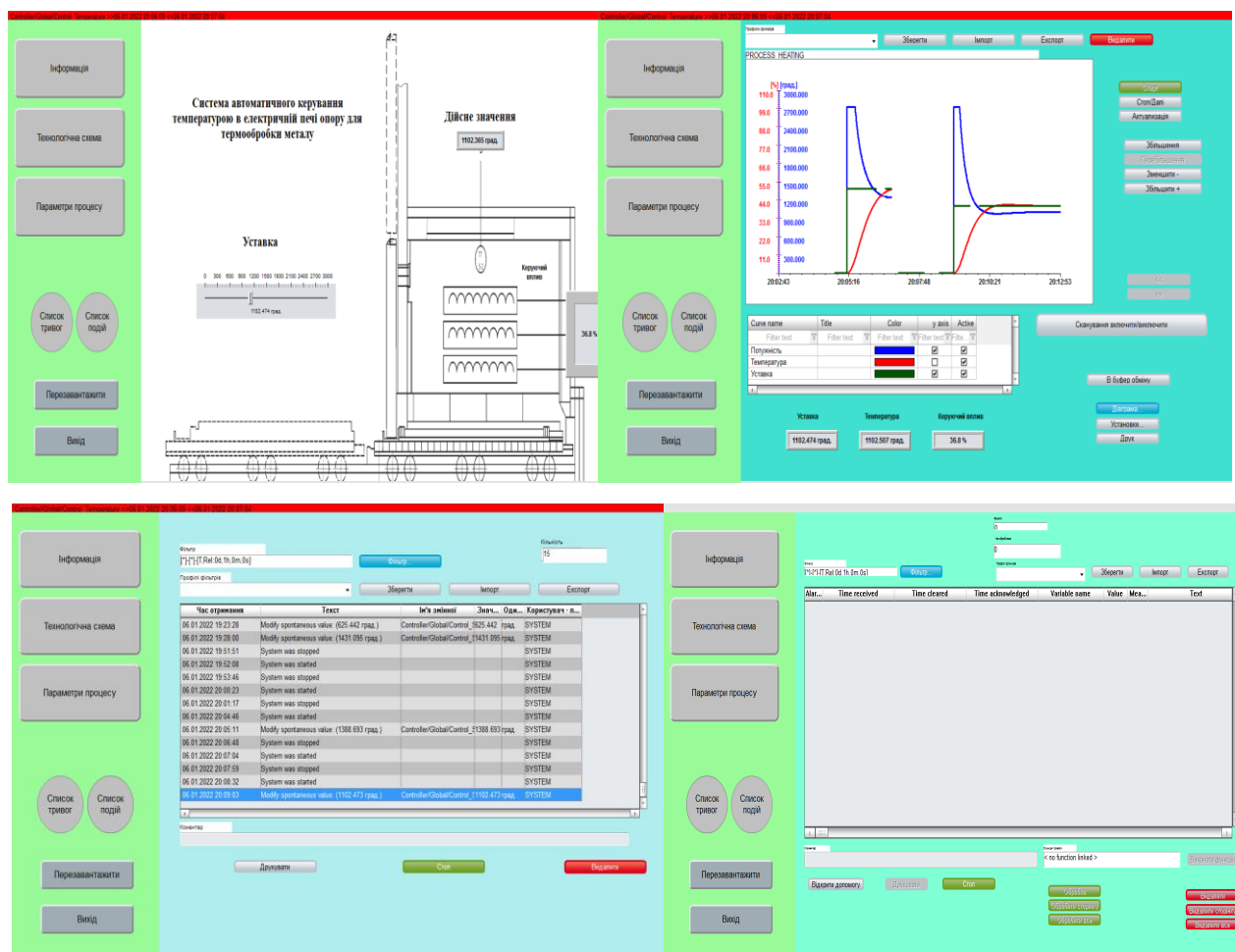


Рисунок 4.17 – Перевірка функціонування ПЗ системи керування

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

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

4.5 Висновки до розділу

У результаті проведеної роботи було розроблено програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. Проведено перевірку функціональності роботи системи автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу та ЛМІ.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У кваліфікаційній роботі розглядається економічна доцільність розробки та впровадження системи автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу. Розроблену систему передбачається використовувати на підприємствах, які мають цикл виробництва різноманітних металевих виробів, що потребують термічної обробки.

Система керування гартом металу в електричній печі має такі переваги:

- дозволяє підвищити інформативність процесу, що дає передумови до створення повністю автоматизованої системи керування підприємством;
- зменшує витрати на електроенергію;
- збільшує продуктивність виробництва.

Розрахуємо капітальні та експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

5.1 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Розрахуємо капітальні витрати, пов'язані з виготовленням та впровадженням системи керування гартом металу в електричній печі.

Визначення проектних капітальних витрат проводиться за такою формулою:

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

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.

Вартість комплектуючих системи наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вартість комплектуючих системи

№ п/п	Найменування виробів згідно проектних розробок	Кількість	Ціна за од., грн.	Сума, грн.	Транспортні витрати, грн. «Нова пошта»
1.	ПЛК VIPA 313-5BF13	1	28875	28875	220
2.	КР А2 S11	2	963,98	1927,96	65
3.	КР L2 S11	2	994,47	1988,94	65
4.	ТПП-1-29-S-0,5-И-0-1300	1	1077	1077	50
5.	ОВЕН НПТ1	1	1500	1500	55
6.	RR2A48D220	1	8798,40	8798,40	100
7.	RM1E23AA100	3	2 100,77	6302,31	86
Разом				50469,61	641

Демонтаж старого обладнання і монтаж нового обладнання виконується силами ремонтно-налагоджувальної бригади підприємства. Витрати на демонтаж, пуск і налагодження системи складаються з витрат на заробітну плату слюсаря-монтажника і інженера-електронщика, в обов'язки яких входить даний вид роботи. Роботу виконують протягом 4 днів. Фонд заробітної плати містить преміальну надбавку в 20%.

Таблиця 5.2 - Витрати на демонтаж, пуск і налагодження системи

№	Найменування професії	Розряд	Кіл-ть людей	Тариф (грн/день)	Кіл. днів	Фонд зар. плати (грн).
1	Слюсар-монтажник	6	1	380	4	1520
2	Інженер-електронщик	-	1	450	4	1800
	Разом:					3320
	ЄСВ (22%):					730,4
	Усього:					4050,4

Капітальні витрати на придбання, транспортування та налагодження обладнання складають:

$$K = 50469,61 + 641 + 4050,4 = 55161,01 \text{ грн}$$

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на утримання апаратури у споживача

За даними підприємства щорічна тривалість ремонту електротехнічного обладнання системи керування дорівнює 168 годин. Розрахунок витрат представлений в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 - Витрати на ремонт обладнання

№	Найменування професії	Розряд	Кіл-ть людей	Тариф (грн/год)	Кіл. годин	Фонд зар. плати (грн)
1	Слюсар-монтажник	6	1	48	168	8064
2	Інженер-електронщик	-	1	56	168	9408
	Разом:					17472
	ЄСВ (22%):					3843,84
	Усього:					21315,84

За допомогою лінійного способу обчислюємо амортизацію обладнання:

$$A = P_{\text{ст}} * N_a / 100\%, \quad (5.2)$$

де $P_{\text{ст}}$ – початкова вартість обладнання;

N_a – норма амортизації.

Маємо:

$$A = 55161,01 * 20 / 100 = 11\,032,20 \text{ грн.}$$

За даними експлуатації системи керування гарту металу в електричній печі на базі контролера VIPA 313-5BF13 максимальна споживана потужність системи складає 180 Вт (0,18 кВт). Таким чином щорічне споживання електроенергії системою керування (враховуючи цілодобову щоденну роботу) складе:

$$Z_p = 0,18 * 24 * 365 = 1576,8 \text{ кВт*год.}$$

Вартість електроенергії розраховується виходячи з того, що ціна електричної енергії 1,68289 грн/кВт * год без ПДВ (2,02 грн/кВт*год з ПДВ):

$$V_{\text{ел}} = Z_p * V_{1\text{кВт}}, \quad (5.3)$$

де Z_p – річні витрати електроенергії;
 $V_{1\text{кВт}}$ – вартість 1кВт електроенергії.

Маємо:

$$V_{\text{ел}} = 1576,8 * 2,02 = 3185,14 \text{ грн.}$$

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

Найменування статей витрат	Сума (грн у рік)
Амортизація обладнання (20%)	11032,20
Поточний ремонт	21315,84
Витрати на електроенергію	3185,14
Разом	35533,18

5.3 Висновки по розділу

Виходячи з розрахунків, видно, що капітальні витрати склали 55161,01грн. та річні експлуатаційні витрати 35 533,18 грн. Таким чином, впровадження нового обладнання та його експлуатація є дуже коштовними в матеріальному плані, але необхідними, оскільки встановлення нової системи керування дозволить покращити умови роботи обслуговуючого персоналу.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Загальна характеристика умов праці

Кожній людині Конституція України гарантує право на належні, безпечні і здорові умови праці. Конституцією гарантується захист від незаконного звільнення. Кожна людина має право на достатній життєвий рівень, на охорону здоров'я, медичну допомогу та медичне страхування. Дослідження та вирішення питань охорони праці в соціальному значення проявляється в наступних факторах, що характеризують рівень розвитку виробництва:

- зростання продуктивності праці в результаті збільшення фонду робочого часу за рахунок скорочення внутрізмінних простоїв шляхом попередження передчасного стомлення, а також зниження числа або ліквідації мікротравм, обумовлених несприятливими умовами праці;
- збереження трудових ресурсів і підвищення професійної активності за рахунок збільшення виробничого стажу;

Об'єктом вивчення є процес управління приводом подачі розкислювачів до дугової сталеплавильної печі, призначеного для забезпечення виплавки сталі високої якості та із необхідними властивостями, тому в даному розділі розглянуті основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори робочого місця оператора, розроблені заходи щодо їх зниження та забезпечення сприятливих умов праці. Узагальнені питання пожежної профілактики робочого місця оператора.

Виробництво сталі нерозривно пов'язане з високими температурами, тиском, з утворенням великої кількості вибухонебезпечних і шкідливих газів, з пересуванням великої кількості вантажів і насиченістю механічним і електричним устаткуванням. Ремонт і огляд устаткування проводиться в складних умовах безперервного технологічного процесу.

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

По характеру робіт робота оператора відноситься до категорії середньої важкості робіт (Ia) з постійним пересуванням і перенесенням невеликої тяжкості до 10 кг. Технологічні операції виконуються в не благоприємних кліматичних умовах (висока температура, теплові випромінювання, запиленість, загазованість і ін.).

Дата вимірювання: 01.09

Характеристика р. місця: постійне;

Енерговитрати організму, ккал/ год: 130;

Категорія робіт: Легкі фізичні р. 1a ;

Період року: теплий період;

1. Фактична t , °C : 27 - задовольняє;

Оптимальна: 23...25;

Допустима: 28...22;

2. Фактична W , % : 65% - не задовольняє,
зменшити знач. на 5...10%;

Оптимальна: 60...40%;

Допустима: 55 при 28°C;

3. Фактична V , м/с: 0.3 м/с – не задовольняє,
зменшити на 0.1...0.2 м/с;

Оптимальна: 0.1 м/с ;

Допустима: 0.2...0.1 м/с.

Висновок - параметри мікроклімату в даному приміщенні не задовольняють вимогам ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Для досягнення допустимих значень необхідно зменшити вологість не менше, ніж на 5...10%, а швидкість руху повітря на 0.1...0.2 м/с.

Джерелом теплового випромінювання є розплавлені маси сталі, полум'я газів, нагріті елементи устаткування і конструкцій, а також електрозварювання. Тепловиділення складають до 32 МВт. Значними виділеннями теплоти супроводжується транспортування рідких продуктів плавки. Наближення до джерел тепла і безпосередній дотик до них може викликати опіки шкіри і важкі травми.

За наявності відкритих джерел теплового випромінювання (рідкий метал, відкритий вогонь) допускається інтенсивність опромінювання людини до 140 Вт/м. Величина опромінюваної поверхні не повинна перевищувати 25% поверхонь тіла працюючого. Використання засобів захисту обличчя й очей є обов'язковим.

Допустимі значення тривалості теплового опромінювання згідно ГОСТ12.1.005-88 представлені в табл. 6.1.

Табл. 6.1 – Допустимі значення тривалості теплового опромінювання

Максимальна тривалість опромінювання, хвилин	Інтенсивність теплового опромінювання, Вт/м ²							
	350	700	1050	1400	1750	2100	2450	2800
Однократно, хвилин	20	15	12	9	7	5	3,5	2,5
Сумарно протягом години, хвилин	60	45	35	30	25	20	15	10

Приміщення - майстерня ,

Розміри - a = 15, b = 6 , h = 2,8

Азимут світлових прорізів - 98°

Кількість прац. - 2

Енерговитрати організму - 175 ккал/год

Оргтехніка - 2 ПК

Потужність ел. обладнання - 600 Р,Вт

$$1) Q_x = Q_3 + Q_o + Q_p$$

$$Q_3 = q_o \cdot V, V = a \times b \times h,$$

$$Q_0 = 35, V = 23,8$$

$$Q_3 = 833$$

$$2) Q_0 = 0,3P + nk Q_{ok}$$

$$Q_0 = 0,3 * 600 + 2 * 300 = 180 + 600 = 780$$

$$3) Q_p = n_p * Q_{op}$$

$$Q_p = 2 * 175 = 350$$

$$Q_x = 833 + 780 + 350 = 1963$$

$$4) Q_k = k \cdot F_k (t_{вн} - t_{зовн}), (\text{ккал/год.})$$

$$F_k = a \cdot h, F_k = 42$$

$$T_{вн} = 23 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{зовн} = -16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_k = 0,92 * 42 * 39 = 1591,04 \text{ ккал/год.}$$

$$5) q = 7,98 (\Delta t - 10) / \Delta T_{\text{ПРИЛ}} * L, \text{ ккал/год}$$

$$\Delta t = t_{\text{поч}} + t_{\text{кін}} / 2 - t_{вн}$$

$$\Delta T_{\text{ПРИЛ}} = t_{\text{поч}} - t_{\text{кін}}, \Delta t = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 100 + 60 : 2 - 23 = 57 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$6) q = 7,98 (\Delta t - 10) / \Delta T_{\text{ПРИЛ}} * L$$

$$q = 7,98 * 47 / 40 * 17,4 = 375,06 / 696 \approx 0,53$$

$$q_{\text{е.м.к}} = 7,98 (\Delta t - 10) * a, (\text{ккал/год. е. к. м.}),$$

$$q_{\text{е.м.к}} = 7,98 * (57 - 10) * 0,92 = 345,0552$$

$$7) F_{\text{пр}} = Q_k / q_{\text{екм}}, \text{ м}^2$$

$$F_{\text{пр}} = 1591,04 / 345,0552 \approx 4,031 \text{ м}^2$$

$$8) N_{\text{пр}} = f_{\text{пр}} / f_{\text{екм}}, \text{ штук}$$

$$N_{\text{пр}} = 4,031 / 0,31 \approx 13$$

В цеху металургійного підприємства характерними є виділення в навколишнє середовище вуглекислого газу (CO₂), окису вуглецю (CO) і металевого пилу, викликаючи отруєння і задуху.

Відповідно до ДСТУ-НБА3.2-1:2007 встановлюються нормування шкідливих речовин у повітрі робочої зони виробничого приміщення оператора, яке знаходиться в безпосередній близькості до технологічного обладнання.

Табл. 6.2 – Гранично припустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони ДСТУ-НБА3.2-1:2007.

Найменування речовини	Величина ГДК, мг/м ³	Переважаючий агрегатний стан в умовах виробництва	Клас небезпеки	Особливості дії на організм
Вуглецю оксид	20	п	IV	о
Металевий пил	6	п	IV	з
Вуглекислий газ	9000	а	IV	

При аналізі робочої зони встановлені наступні фактичні значення: вуглецю оксид – 8 мг/м³, металевий пил – 4 мг/м³, вуглекислий газ – 3000 мг/м³. Норми не перевищені.

На ДСП є велика кількість джерел шуму. Постійно діє шум роботи вентиляторів, дугової сталеплавильної печі і турбулентного руху плазмового струменя на зрізі графітних стержнів.

Відповідно до ДСН 3.3.6-037-99 встановлюються припустимі рівні звукового тиску й значення локальної й загальної вібрації.

Допустимі рівні звукового тиску на октавних смугах частот, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку для робочих місць у виробничих приміщеннях оператора ДСП для широкосмугового постійного й непостійного (крім імпульсного) шуму представлено в табл. 6.3.

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

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

Табл. 6.3 Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у виробничому приміщенні оператора ДСП і безпосередньо біля ДСП відповідно до СН 3223-85.

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

Вимоги до штучного освітлення:

- достатня освітленість робочих поверхонь;
- обмеження прямого й відбитого відблиску;
- раціональний напрямок світла й ступінь його дифузії;
- сталість освітленості в часі;
- надійність, безперебійність і тривалість роботи освітлювальної установки в даних умовах середовища;
- пожежна й електрична безпека освітлювальних пристроїв;
- зручність керування освітлювальною установкою;
- економічність спорудження й експлуатації установки.

Достатня освітленість на робочих майданчиках забезпечується виконанням нормативних вимог, що встановлюють норми освітленості, залежно від характеристики зорової роботи, визначуваним ступенем її точності,

тобто розміром об'єкту розрізнення. ДБН 13.2.5-28-2018 “Природне і штучне освітлення” передбачає нормативи освітленості.

На посту виробничого приміщення оператора встановлена система штучного освітлення, що забезпечує необхідний рівень освітленості робочих місць. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 нормативні значення освітленості й коефіцієнта природного освітлення ($K_{\text{ПО}}$) для виробничих приміщень можна визначити виходячи з наступних факторів:

- характеристика зорової роботи;
- найменший розмір об'єкта розрізнення;
- розряд зорової роботи.

Для посту виробничого приміщення оператора ці фактори такі: робота малої точності, найменший розмір об'єкта розрізнення 1 мм; розряд зорової роботи -V, підрозряд зорової роботи – В. У цьому випадку значення $K_{\text{ПО}}$ рівне 3% при комбінованому і верхньому освітленні.

На посту виробничого приміщення оператора присутні як електричні мережі постійного струму, так і електричні мережі змінного струму з відповідним електроустаткуванням. Для запобігання електричного травматизму передбачається заземлення всього електроустаткування, а також корпусу. Усі заземлюючі пристрої повинні забезпечувати безпеку людей і захист електроустановок, а також експлуатаційні режими їх роботи.

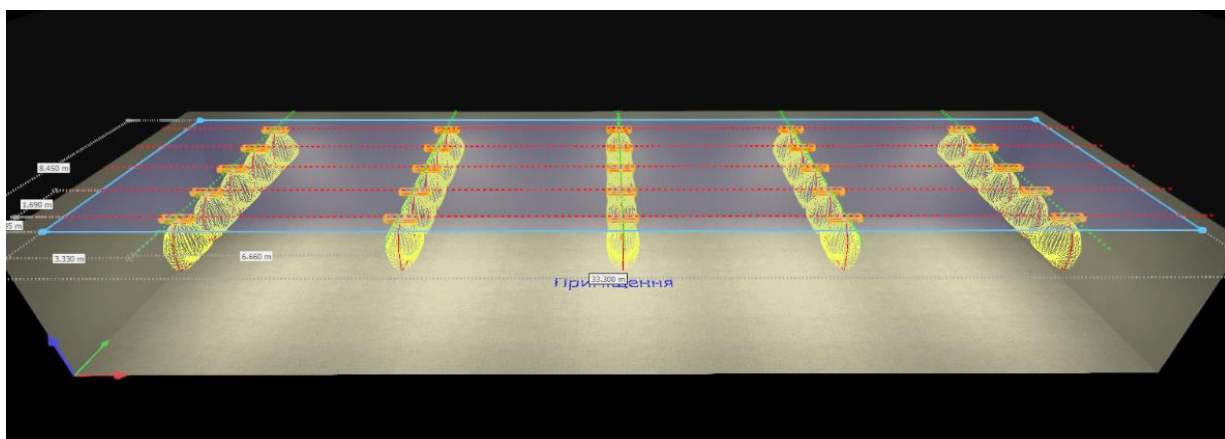


Рис. 6.1 Розрахунок освітленості оператора ДСП

Тип обраного світильника NORKA ERFURT 2X39W, ECG, reflector tube
09 PMMA clear.



Рис. 6.2 Загальний вигляд світильника

$$P = 84.0 \text{ W}$$

$$\Phi_{\text{Лампи}} = 6200 \text{ lm}$$

$$\Phi_{\text{світильника}} = 5107 \text{ lm}$$

$$\eta = 82.38 \%$$

$$C_{\text{втовіддача}} = 60.8 \text{ lm/W}$$

$$CCT = 4000 \text{ K}$$

$$CRI = 80$$

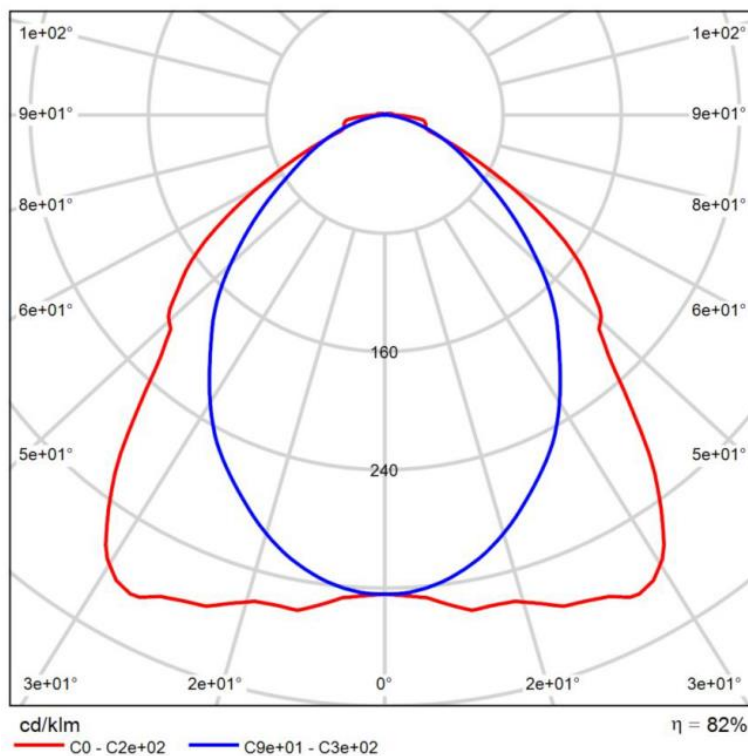


Рис. 6.3 Крива сили світла

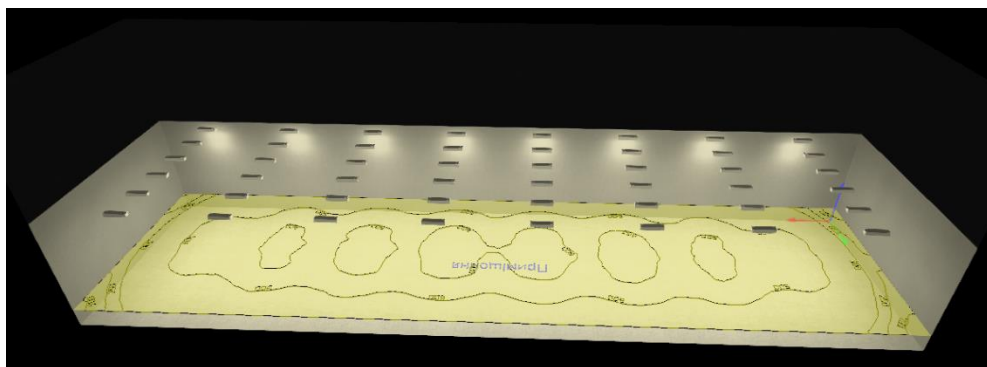


Рис. 6.4 Результати обрахунку приміщення оператора

Згідно Правил улаштування електроустановок на посту виробничого приміщення оператора є електроустановки до 1 кВ, що є потенційно небезпечними. За ступенем небезпеки ураження електричним струмом усі приміщення поділяються на три категорії: приміщення без підвищеної небезпеки; приміщення з підвищеною небезпекою; особливо небезпечні приміщення. Пост оператора відноситься до приміщення з підвищеною небезпекою.

6.2 Техніка безпеки та пожежна профілактика

Дотримання техніки безпеки робочій зоні виробничого приміщення оператора дуже важливо.

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

Згідно НАПБ Б.03.002-2007 ланка операторської відноситься до категорії В по пожежній небезпеці виробництва, тому що в ньому знаходяться легкозаймисті, важкозаймисті рідини, важкозаймисті тверді паливні речовини і матеріали, здатні горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним, оздоблення поста управління, двері, оргтехніка, будматеріали для естетичної обробки приміщення, двері, та кабелі. Джерелами запалювання можуть бути

електронні схеми від ЕОМ, розпечені заготовки, пристрої електроживлення, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, здатні викликати загоряння горючих матеріалів. Цех побудований з негорючих матеріалів (цегли, залізобетону, скла) і згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 має II ступінь вогнестійкості.

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

У цеху використовуються вогнегасники марки ОУ-5, ОУ-8, ОП-2, ОП-6, ОП-9, ОХП-10 у кількості 25 штук.

Відповідно до ДНАОП 0.00-1-32-01 "Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок" вибухо-небезпечні та пожежонебезпечні зони поділяються відповідно на шість (0, 1, 2, 20, 21, 22) та чотири (П-I, П-II, П-IIIa, П-III) класи.

Будівлі і споруди цеху ДСП повинні бути обладнані блискавко захистом відповідно до СН 305-71. Необхідність захисту від блискавки визначається призначенням будівель і споруд, інтенсивністю грозової діяльності в районі їх розташування, а також очікуваної можливості їх уражень.

Табл. 6.4 Характеристика приміщення

Варіант	Матеріал	Кількість матеріалу, G_i , кг	Нижня теплота згоряння, Q_{p1}^p , МДж/кг,	Площа розміщення матеріалу, S , м ²	Площа приміщення, $S_{\text{прим}}$, м ²	Мінімальна відстань від поверхні матеріалу пожежної навантаги до нижнього поясу ферм перекриття, H , м
20	ДСП ²	260,0	14,0	10,7	187	6,2

Величина пожежної навантаги:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_i^P \quad 6.1$$

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_i^P = 260 * 14.0 = 3640 \text{ МДж}$$

Питома пожежна навантага:

$$g = \frac{Q}{s} \quad 6.2$$

$$g = \frac{Q}{s} = \frac{3640}{10.7} = 340.18$$

$$I_{гр} = 1_{гр1} + (11 - H) = 8.3 + (11 - 6.2) = 13.1$$

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Відповідно завдання було введено дані початкові в програму Алоха, та перевірено правильність введення як представлено рис. 5

SITE DATA:
 Location: AMBLER, PENNSYLVANIA
 Building Air Exchanges Per Hour: 5.22 (unsheltered single storied)
 Time: December 22, 2021 2351 hours EST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: ACETONE
 CAS Number: 67-64-1 Molecular Weight: 58.08 g/mol
 AEGL-1 (60 min): 200 ppm AEGL-2 (60 min): 3200 ppm AEGL-3 (60 min): 5700 ppm
 LEL: 26000 ppm UEL: 130000 ppm
 Ambient Boiling Point: 56.3° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.56 atm
 Ambient Saturation Concentration: 561,619 ppm or 56.2%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 25 meters/second from e at 3 meters
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
 Air Temperature: 40° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
 BLEVE of flammable liquid in horizontal cylindrical tank
 Tank Diameter: 15 meters Tank Length: 6 meters
 Tank Volume: 1,060 cubic meters
 Tank contains liquid
 Internal Storage Temperature: 40° C
 Chemical Mass in Tank: 120 tons Tank is 13% full
 Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%
 Fireball Diameter: 277 meters Burn Duration: 16 seconds

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Thermal radiation from fireball
 Red : 452 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)
 Orange: 646 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)
 Yellow: 1.0 kilometers --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)

Рис. 6.5 Тестові дані моделі вогневий шар

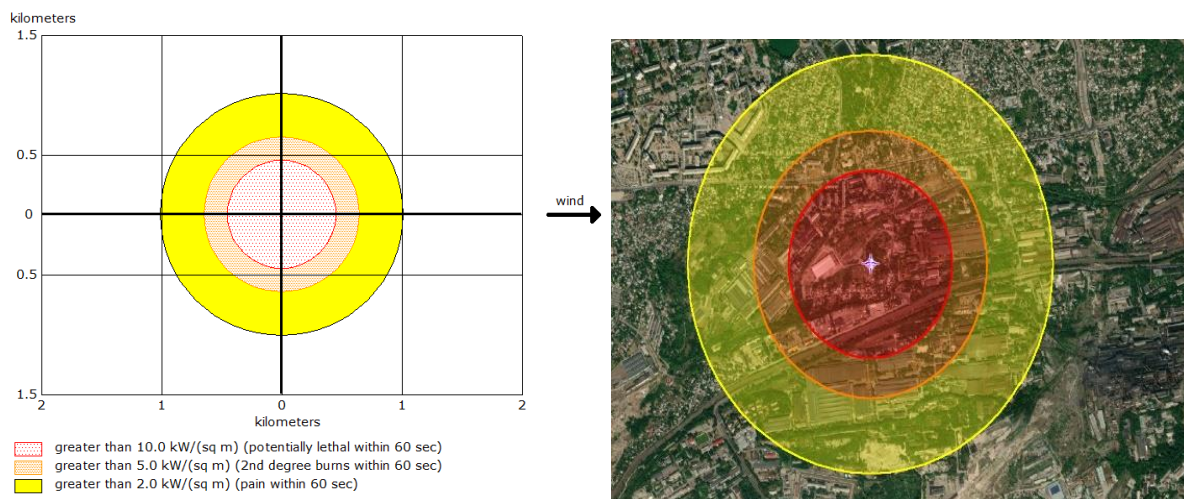


Рис. 6.6 Результати обрахунку вибухової хвилі

Отримані результати були перенесені на реальну ГІС карту, що дозволяє наочно оцінити масштаби впливу надзвичайної ситуації.

6.4 Висновок

У цьому розділі кваліфікаційній роботі розглянуті загальні характеристики умов праці.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз потенційних небезпек, розроблені заходи щодо охорони праці під час обслуговування обладнання, розроблені заходи з виробничої санітарії і гігієни праці, та розглянута пожежна профілактика і цивільний захист у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – електрична піч опору для термообробки металу. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування печі, завданням керування якої є забезпечення максимально швидкого відпрацювання заданого часу нагрівання металу у печі з заданим перерегулюванням перехідного процесу. Предметом дослідження є закони автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу.

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (потужність електричних обігрівачів у печі) та одним керованим виходом (температура у печі), але при нагріванні металу потрібно забезпечити задані параметри перехідного процесу за температурою у печі (як величину зміни температури, так і час перехідного процесу), що робить процес керування температурою у печі складним.

Отже, проведені дослідження залежності параметрів перехідного процесу на виході системи керування від параметрів регулятора, та на основі цих досліджень визначений такий алгоритм налаштування регулятора, який забезпечує необхідну динаміку нагріву металу згідно завдання.

Наукові результати проведених досліджень:

1. Система автоматичного керування з настроєним комп'ютеризованим способом на максимальну швидкодію ПІД-регулятором та формувачем лінійно змінюваної у часі уставки температури у печі успішно відпрацьовує задані параметри перехідного процесу на її виході, але тільки за умови, якщо час нагрівання металу суттєво (більш ніж у 1,5 рази) перевищує час перехідного процесу печі як об'єкта керування. У протилежному випадку з'являється недопустиме перерегулювання за температурою у печі.

2. Залежність між максимальним рівнем керуючого сигналу на першому інтервалі перемикання оптимального за швидкодією регулятора та тривалістю перехідного процесу на виході системи є зворотною й має експоненціальний

характер. При цьому ця залежність з високою точністю (максимальна відносна похибка не перевищує 2,5%) апроксимується ступеневим поліномом восьмого порядку.

3. Точність роботи запропонованого модифікованого регулятора, оптимального за швидкодією, залежить від того, на якій ділянці графіку залежності рівня керуючого сигналу від тривалості перехідного процесу ми знаходимося. Якщо на крутій ділянці, за умови чого перший інтервал переключення оптимального регулятора є не дуже тривалим, а перехідний процес на виході системи не сягає відносного рівня 0,606 від заданого значення керованої величини (диференціал за часом керованої величини біля максимального значення), то похибка становить до 0,2-1 с в абсолютних величинах та до 1% у відносних. А якщо на пологій ділянці, за умови чого перший інтервал переключення оптимального регулятора є тривалим, а перехідний процес на виході системи перевищує відносний рівень 0,606 від заданого значення керованої величини (диференціал за часом керованої величини починає прагнути до нуля), то похибка становить до 5-8 с в абсолютних величинах та до 5% у відносних. Крім того, при збільшенні заданого часу нагрівання металу за умови використання оптимального регулятора досить суттєво зростає нерівномірність зміни температури у часі.

4. Таким чином, при завданні часу час нагрівання металу, що суттєво перевищує час перехідного процесу печі як об'єкта керування (більш ніж у 1,5 рази), доцільно використовувати систему керування з настроєним на максимальну швидкодію ПІД-регулятором та формувачем лінійно змінюваної у часі уставки температури у печі. У протилежному випадку краще використовувати систему керування з запропонованим модифікованим оптимальним за швидкодією регулятором температури у печі.

У кваліфікаційній роботі проведено оцінювання економічної доцільності розробки та впровадження системи автоматичного керування температурою в електричній печі опору для термообробки металу.

Також, проведено аналіз потенційних небезпек, розроблені заходи щодо охорони праці під час обслуговування обладнання, розроблені заходи з

виробничої санітарії і гігієни праці, та розглянута пожежна профілактика і цивільний захист у надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Машинобудівний комплекс України: проблеми та перспективи / МОКАВТО [сайт]. – 2021. Режим доступу: <https://mokavto.com.ua/index.php/statti/157-mashinobudivnij-kompleks-ukrajini-problemi-ta-perspektivi>
2. Соколова Л.В., Стойка О.В. Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку за умов незбалансованої економіки / Л.В. Соколова, О.В. Стойка // Ефективна економіка. – 2019. – №11. Режим доступу: http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/11_2019/7.pdf
3. Термічна обробка // Універсальний словник-енциклопедія. — 4-те вид. — К. : Тека, 2006.
4. Ассонов А.Д. Технология термической обработки деталей машин / А.Д. Ассонов. – М.: Машиностроение, 1969. – 263 с.
5. Соколов К.Н. Оборудование термических цехов / К.Н. Соколов. – Киев, Донецк: Вища школа, 1984. – 328 с.
6. Методичні рекомендації до виконання атестаційної роботи магістра студентами спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В.В. Ткачов, А.В. Бубліков, М.М. Трипутень, С.М. Проценко, О.О. Бойко, В.І. Шевченко – МОН України. – Дніпро: НТУ «ДП», 2018. – 35 с.
7. Шаруда В.Г., Ткачов В.В., Бубліков А.В. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра : навч. посіб. – Д.: Національний гірничий університет, 2015. – 487 с.
8. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного управління для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
9. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

10. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617 с.

11. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235 с.

12. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.

13. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.

14. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою

15. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні

16. ДБН В.2.5-13-98*. Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд. Зі зміною № 1 (укр).

Додаток А

Програмні модулі системи керування

A.1 Модуль об'єкта керування

```
(*
*
* File: modelZZSYS_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"modelZZSYS_group/ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ"
*
* Model name                : modelZZSYS_group
* Model version              : 1.9
* Model creator              : WORK
* Model last modified by    : Misha
* Model last modified on    : Sun Jan 02 16:11:31 2022
* Model sample time         : 0s
* Subsystem name            : modelZZSYS_group/ОБ'ЄКТ
КЕРУВАННЯ
* Subsystem sample time     : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on      : Sun Jan 02 16:14:04 2022
*
* Target IDE selection       : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included        : No
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    In1: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn2_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn3_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    DiscreteTransferFcn2: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

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

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

```

        DiscreteTransferFcn3_states := 0.0;
    SS_STEP:

        (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
        DiscreteTransferFcn2 := 0.113722380619248 *
DiscreteTransferFcn2_states;

        (* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
        Out1 := 0.002320723023127 * DiscreteTransferFcn3_states;

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn2' incorporates:
        * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
        DiscreteTransferFcn2_states := In1 - (-0.996209253979358 *
DiscreteTransferFcn2_states);

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn3' *)
        DiscreteTransferFcn3_states := DiscreteTransferFcn2 - (-
0.997679276976873 * DiscreteTransferFcn3_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: modelZZSYS_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"modelZZSYS_group/РЕГУЛЯТОР"
*
* Model name                : modelZZSYS_group
* Model version              : 1.9
* Model creator              : WORK
* Model last modified by    : Misha
* Model last modified on    : Sun Jan 02 16:11:31 2022
* Model sample time         : 0s
* Subsystem name            : modelZZSYS_group/РЕГУЛЯТОР
* Subsystem sample time     : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on      : Sun Jan 02 16:13:28 2022
*
* Target IDE selection      : 3S CoDeSys 2.3

```

```

* Test Bench included           : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    In1: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Sum4: LREAL;
    rtb_RelationalOperator: BOOL;
    rtb_Product: UINT;
    DiscreteTransferFcn1_tmp: LREAL;
    temp1: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

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

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

        (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1'
        incorporates:
        * Gain: '<S1>/Gain2'
        * Inport: '<Root>/In1' *)
        DiscreteTransferFcn1_tmp := (0.896440896046206 * In1) - (-
        0.985506006260367 * DiscreteTransferFcn1_states);

        (* Sum: '<S1>/Sum4' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn'
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1'
        * Gain: '<S1>/Gain'
        * Inport: '<Root>/In1' *)
        rtb_Sum4 := ((0.0872371248386469 * In1) + (0.1 *
        DiscreteTransferFcn_states)) + ((0.146000577753953 *
        DiscreteTransferFcn1_tmp) + (-0.146000577753953 *
        DiscreteTransferFcn1_states));

```

```

      (* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator'
incorporates:
      * Constant: '<S1>/Constant4' *)
      rtb_RelationalOperator := rtb_Sum4 <= 100.0;

      (* Product: '<S1>/Product' incorporates:
      * Constant: '<S1>/Constant5'
      * RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator1' *)
      IF rtb_RelationalOperator THEN
          temp1 := BOOL_TO_DINT(rtb_Sum4 >= 0.0);
      ELSE
          temp1 := 0;
      END_IF;
      rtb_Product := DINT_TO_UINT(temp1);

      (* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
      * Constant: '<S1>/Constant2'
      * Constant: '<S1>/Constant4'
      * Product: '<S1>/Product2'
      * Product: '<S1>/Product3'
      * Sum: '<S1>/Sum5'
      * Sum: '<S1>/Sum7' *)
      Out1 := ((1.0 - BOOL_TO_LREAL(rtb_RelationalOperator)) *
100.0) + (UINT_TO_LREAL(rtb_Product) * rtb_Sum4);

      (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn' incorporates:
      * Gain: '<S1>/Gain1'
      * Inport: '<Root>/In1'
      * Product: '<S1>/Product1' *)
      DiscreteTransferFcn_states := ((0.00151287629031875 * In1)
* UINT_TO_LREAL(rtb_Product)) - (-DiscreteTransferFcn_states);

      (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn1' *)
      DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn1_tmp;
      END_CASE;
      END_FUNCTION_BLOCK
      VAR_GLOBAL CONSTANT
          SS_INITIALIZE: SINT := 0;
          SS_STEP: SINT := 1;
      END_VAR
      VAR_GLOBAL
      END_VAR

```

Додаток Б

Програмне забезпечення системи керування

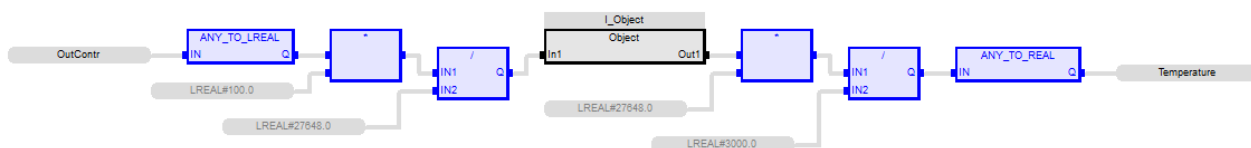
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування

Б.1.1 Список програм

[FBD] Object (* Основна програма *)

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

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувачський функціональний блок

```
(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
DiscreteTransferFcn2 := LREAL#0.113722380619248 *
DiscreteTransferFcn2_states;

(* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
Out1 := LREAL#0.002320723023127 *
DiscreteTransferFcn3_states;

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn2' incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
DiscreteTransferFcn2_states := In1 - (LREAL#-
0.996209253979358 * DiscreteTransferFcn2_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn3' *)
DiscreteTransferFcn3_states := DiscreteTransferFcn2 -
(LREAL#-0.997679276976873 * DiscreteTransferFcn3_states);
```

Б.1.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
    In1 : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1 : LREAL ;
END_VAR
VAR
```

```

DiscreteTransferFcn2_states : LREAL ;
DiscreteTransferFcn3_states : LREAL ;
DiscreteTransferFcn2 : LREAL ;
END_VAR

```

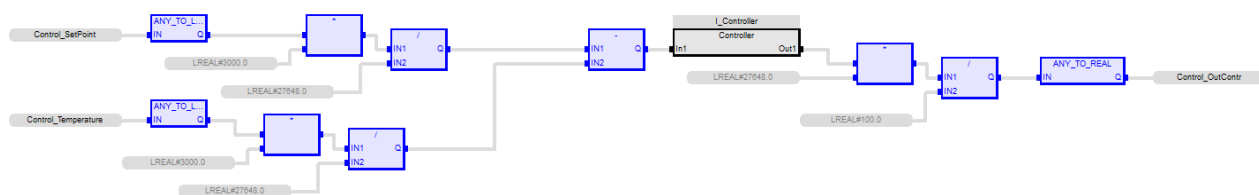
Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

[FBD] Main (* Основна програма *)

[ST] Controller (* Контролер *)

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувачький функціональний блок

```

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1'
incorporates:
  * Gain: '<S1>/Gain2'
  * Inport: '<Root>/In1' *)
DiscreteTransferFcn1_tmp := (LREAL#0.896440896046206 *
In1) - (LREAL#-0.985506006260367 * DiscreteTransferFcn1_states);

(* Sum: '<S1>/Sum4' incorporates:
  * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn'
  * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1'
  * Gain: '<S1>/Gain'
  * Inport: '<Root>/In1' *)
rtb_Sum4 := ((LREAL#0.0872371248386469 * In1) + (LREAL#0.1
* DiscreteTransferFcn_states)) + ((LREAL#0.146000577753953 *
DiscreteTransferFcn1_tmp) + (LREAL#-0.146000577753953 *
DiscreteTransferFcn1_states));

(* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator'
incorporates:
  * Constant: '<S1>/Constant4' *)
rtb_RelationalOperator := rtb_Sum4 <= 100.0;

(* Product: '<S1>/Product' incorporates:
  * Constant: '<S1>/Constant5'
  * RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator1' *)
IF rtb_RelationalOperator THEN
  temp1 := BOOL_TO_DINT(rtb_Sum4 >= 0.0);
ELSE

```

```

        temp1 := 0;
    END_IF;
    rtb_Product := DINT_TO_UINT(temp1);

    (* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
    * Constant: '<S1>/Constant2'
    * Constant: '<S1>/Constant4'
    * Product: '<S1>/Product2'
    * Product: '<S1>/Product3'
    * Sum: '<S1>/Sum5'
    * Sum: '<S1>/Sum7' *)
    Out1 := ((LREAL#1.0 -
    BOOL_TO_LREAL(rtb_RelationalOperator)) * LREAL#100.0) +
    (UINT_TO_LREAL(rtb_Product) * rtb_Sum4);

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
    Fcn' incorporates:
    * Gain: '<S1>/Gain1'
    * Inport: '<Root>/In1'
    * Product: '<S1>/Product1' *)
    DiscreteTransferFcn_states := ((LREAL#0.00151287629031875
    * In1) * UINT_TO_LREAL(rtb_Product)) - (
    DiscreteTransferFcn_states);

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
    Fcn1' *)
    DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn1_tmp;

```

Б.2.4 Перелік змінних

```

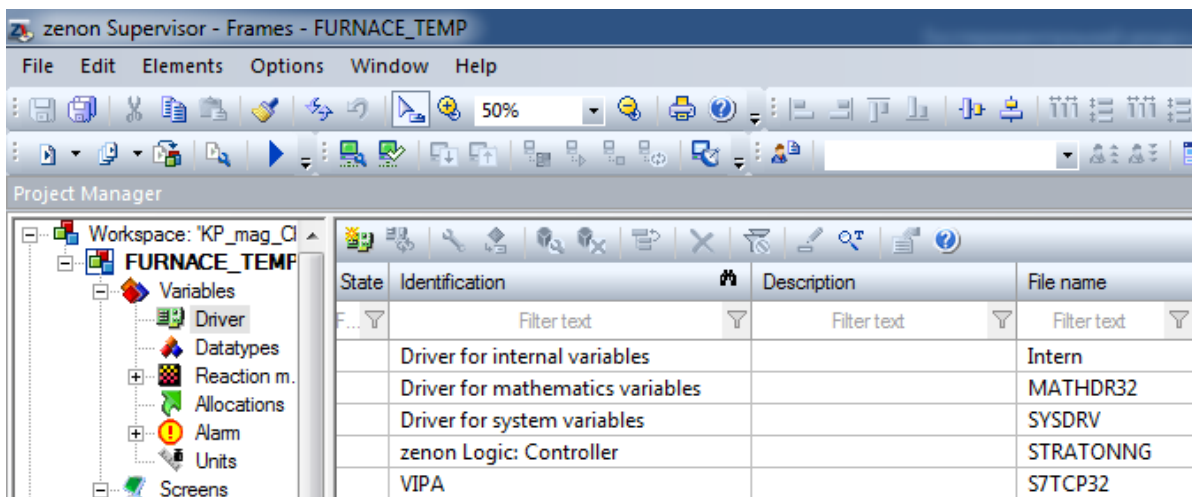
VAR_INPUT
    In1 : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1 : LREAL ;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;
    DiscreteTransferFcn_states : LREAL ;
    rtb_Sum4 : LREAL ;
    rtb_RelationalOperator : BOOL ;
    rtb_Product : UINT ;
    DiscreteTransferFcn1_tmp : LREAL ;
    temp1 : DINT ;
END_VAR

```

Додаток В

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

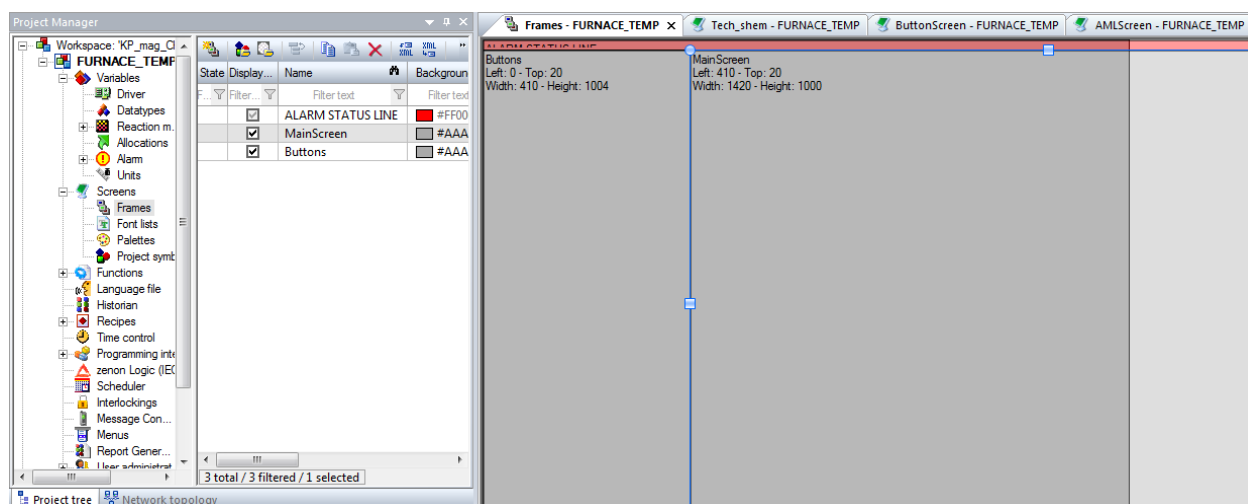
В.1 Драйвера



В.2 Перелік змінних

State	Name	Identification	Measuring unit	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter text	Filter...
	Temperature		град.	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	3
	OutContr		%	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1
	Controller/Global/Control_SetPoint		град.	0	0	0	0	0		STRATONNG - zeno...	REAL	3
	Controller/Global/Control_OutContr		%	0	0	0	0	0		STRATONNG - zeno...	REAL	1
	Controller/Global/Control_Temperature		град.	0	0	0	0	0		STRATONNG - zeno...	REAL	3

В.3 Шаблони зображень



В.4 Функції

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

В.5 Зображення

автоматичного керування в електричній печі опору для термообробки металу

Дійсне значення
3000.000 град.

Уставка
3000.000 град.

Керую впли

Міністерство освіти та науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Інститут електроенергетики
Електротехнічний факультет
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

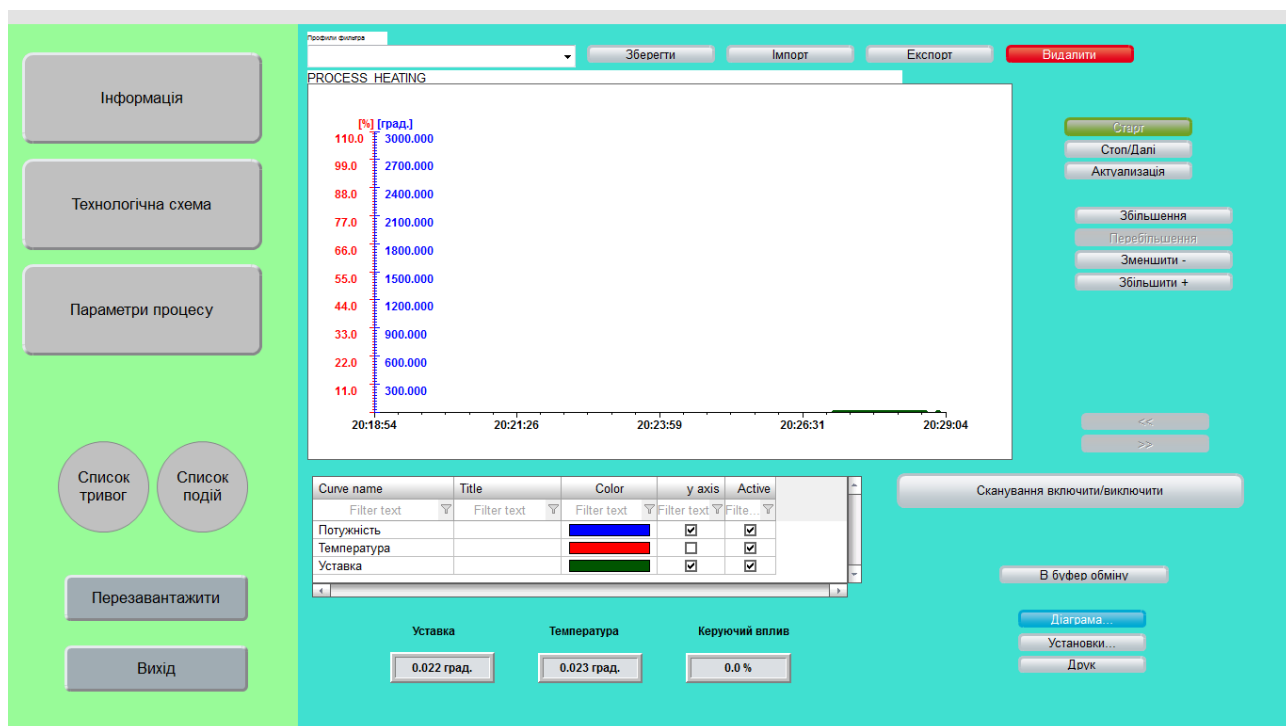
**Людино-машинний інтерфейс до кваліфікаційної роботи ступеню
магістра**

на тему: Дослідження та синтез системи автоматичного керування температурою
в електричній печі опору для термообробки металу

студента групи 151м-20
Хорошайлова Михайла Олександровича

Дніпро
2022





Висновок: n

на обробку: 0

Процес: Нагрівання

Зберегти Імпорт Експорт

Alar...	Time received	Time cleared	Time acknowledged	Variable name	Value	Mea...	Text

Поле для коментарів

Показати підключені функції

Відкрити допомогу Друкувати Стоп

Обробка
Обробити сторінку
Обробити все

Виконати функцію

Видалити
Видалити сторінку
Видалити все

Інформація
Технологічна схема
Параметри процесу

Список тривог Список подій

Перезавантажити
Вихід

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ