

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Інститут електроенергетики  
(інститут)  
Електротехнічний факультет  
(факультет)  
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

студента Животовича Іллі Володимировича  
(П.І.Б.)  
академічної групи 151-19ск-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 Автоматизація технологічного процесу нагріву у камерній печі  
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	ст.викл. Козарь М.В.			
Провідний консультант	ст.викл. Козарь М.В.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	ст.викл. Проценко С.М.			
Визначення моделі об'єкта керування	ст.викл. Бойко О.О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро  
2022

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувачем кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірвальних систем  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра

студенту \_\_\_\_\_ Животовичу І.В. \_\_\_\_\_ академічної групи \_\_\_\_\_ 151-19ск-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 Автоматизація технологічного процесу нагріву у камерній печі,  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	06.05.2022
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	12.05.2022
Визначення моделі об'єкта керування	Розробка методики дослідження об'єкта керування. Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	20.05.2022
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	03.06.2022
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	03.06.2022

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис п.конс.)

\_\_\_\_\_ ст.викл. Козарь М.В.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 28.03.2022

Дата подання до екзаменаційної комісії 14.06.2022

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

\_\_\_\_\_ Животович І.В.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 57 сторінок, 29 рисунки, 10 таблиці, 21 джерело.

Предметом дослідження в кваліфікаційній роботі є процес нагріву у камерній печі. Об'єктом дослідження є автоматизація процесу керування камерною піччю (електропіччю опору). Метою дослідження є підвищення ефективності процесу автоматичного керування температурою в камері електричної печі. В якості об'єкта керування виступає камерна піч з викотним подом.

За результатами аналізу технологічного процесу нагріву металевих виробів при термообробці, структури об'єкта керування – камерної печі з викотним подом та вимог до його функціонування сформовані вимоги до апаратного забезпечення системи керування її функціонування та дослідження об'єкта керування.

Згідно до технологічного процесу, діапазони зміни вимірювальних параметрів та керованих параметрів були обрані датчики та виконавчі пристрої які мають стандартні діапазони вхідних та вихідних сигналів 4÷20 мА та стандартне живлення 24 В. В якості пристрою керування обрано ПЛК VIPA 313-5BF13, через аналогові та дискретні порти вводу та виводу якого забезпечено підключення датчиків та виконавчих пристроїв. Розроблені функціональна схема автоматизації камерної печі з викотним подом та схема електрична принципова системи керування

Використовуючи інформацію про особливості роботи камерної печі з викотним подом та апаратних засобів системи керування було розроблено структурну схему інформаційних потоків дослідницької системи. Розглядаючи камерну піч, як об'єкт керування по контуру регулювання температури в камері та беручи до уваги розроблену схему інформаційних потоків дослідницької системи був запропонований план активного експерименту.

Використовуючи результати ідентифікації об'єкта керування розроблено імітаційну модель камерної печі в графічному середовищі Simulink/MATLAB. Порівняльний аналіз даних отриманих при роботі імітаційної моделі з перевірочними даними показав їх відповідність на 98,41%, тому отримана імітаційна модель є адекватною до об'єкта керування.

Подальшим напрямком розвитку роботи є використання отриманої моделі об'єкту керування для його дослідження з метою отримання нових закономірностей та розробки на їх підставі нових принципів та методів керування об'єктом які дозволять підвищити ефективність його функціонування.

Ключові слова: НАГРІВ, КАМЕРНА ПІЧ, ДАТЧИКИ, КОНТРОЛЕР, СИСТЕМА, ІДЕНТИФІКАЦІЯ, МОДЕЛЬ, АДЕКВАТНІСТЬ.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Стан питання та постановка завдання.....	8
1.1 Галузь промисловості .....	8
1.2 Технологічний процес .....	9
1.3 Об'єкт керування.....	11
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування .....	11
1.3.2 Структура об'єкта керування.....	12
1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування .....	12
1.5 Висновки по розділу .....	14
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування .....	15
2.1 Розробка структурної схеми системи керування.....	15
2.2 Вибір апаратного забезпечення системи керування.....	16
2.2.1 Вибір датчиків .....	16
2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв .....	19
2.2.3 Вибір пристрою керування .....	20
2.2.5 Вибір джерел живлення.....	24
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації.....	25
2.4 Розробка схеми електричної принципової .....	26
2.5 Висновки по розділу .....	27
3 Визначення моделі об'єкта керування.....	29
3.1 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи .....	29
3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування .....	30
3.3 Виконання експерименту .....	32
3.4 Обробка результатів експерименту.....	34
3.4.1 Підготовка даних.....	34
3.4.2 Структурна ідентифікація .....	35

3.4.3 Параметрична ідентифікація.....	37
3.5 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink.....	40
3.6 Перевірка моделі на адекватність.....	41
3.7 Висновки по розділу .....	42
4 Економічна частина .....	43
4.1 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування .....	43
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на систему керування.....	44
4.3 Висновки по розділу .....	46
5 Охорона праці.....	47
5.1 небезпечні та шкідливі виробничі фактори.....	47
5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці.....	48
5.2.1 Електробезпека.....	48
5.2.2 Захист від шуму та вібрації.....	49
5.2.3 Інші заходи по техніці безпеки .....	50
5.3 Пожежна профілактика.....	51
5.4 Висновки по розділу .....	51
Висновки .....	52
Перелік посилань.....	54
Додаток А – Відомість роботи.....	58

## ВСТУП

В сучасному виробництві часто зустрічаються технологічні процеси, які вимагають інтенсивного поверхневого нагрівання відносно великих виробів. До них, насамперед, відносяться поверхнева термообробка металевих виробів, емалювання, сушіння та осклування будівельних матеріалів, прожарювання кераміки, обробка ливарних форм перед заливкою, тощо.

Термічну обробку застосовують або як проміжну операцію для поліпшення технологічних властивостей (оброблюваності тиском чи різанням), або як прикінцеву технологічну операцію для досягнення певних експлуатаційних властивостей матеріалу. На результат термообробки впливають швидкість (час) нагрівання, температура нагрівання, тривалість (час) витримання при цій температурі та швидкість (час) охолодження, тобто основними факторами є час і температура. [1]

Підвищення якості готової продукції, в даний час можливе шляхом впровадження автоматизованої системи керування нагрівом у камерній печі. Це завдання входить у сферу діяльності фахівця.

Крім того, розробка нової системи керування нагрівом у камерній печі, дозволить швидко зупиняти обладнання, у випадку аварійної ситуації, виключаючи людський фактор.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи керування нагрівом у камерній печі, яка прискорить і спростить на порядок всю процедуру термічної обробки металевих виробів.

Обрана тема актуальна для машинобудівних підприємств і спрямована на зниження собівартості термічної обробки металевих виробів.

# 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

## 1.1 Галузь промисловості

Машинобудівний комплекс України охоплює підприємства загального машинобудування, сільгоспмашинобудування, оборонної промисловості, радіоелектронної промисловості та приладобудування.

Машинобудування є найважливішою галуззю промисловості. Його продукція – машини різного призначення – поставляються всім галузям народного господарства. Перед технологами машинобудівниками стоять завдання подальшого підвищення якості машин, зниження трудомісткості, собівартості, матеріаломісткості їх виготовлення, механізації та автоматизації виробництва, а також скорочення термінів підготовки виробництва нових об'єктів.

Технічний прогрес у машинобудуванні характеризується не тільки поліпшенням конструкцій машин, але і безперервним вдосконаленням технології їх виробництва. Важливо якісно, дешево і в задані планові терміни з мінімальними витратами живої і матеріалізованої праці виготовити машину, застосувавши високопродуктивне обладнання, технологічне оснащення, засоби механізації та автоматизації виробництва. Від прийнятої технології виробництва багато в чому залежить надійність роботи машин, що випускаються, а також економіка їх експлуатації. Удосконалення технології машинобудування визначається потребами виробництва необхідних суспільству машин. Розвиток нових прогресивних технологічних методів сприяє конструюванню більш досконалих машин, зниженню їх собівартості та зменшенню витрат праці на їх виготовлення. [2].

Сьогодні спостерігаються значні темпи розвитку у машинобудівній галузі. Можна зазначити, що загальне машинобудування становить 8% внутрішнього валового продукту. Це автомобільне, транспортне, важке



машинобудування, верстатoinструментальна, металургійна промисловість та електротехніка.

## 1.2 Технологічний процес

Термообробка – це нагрівання й охолодження металу, що залишається у твердому стані, – є, як правило, обов’язковою операцією. Майже завжди вона пов’язана з перетворенням кристалічної структури металу, у результаті чого змінюються його властивості (наприклад, відпал робить метал більш ковким, нагрівання і повільне охолодження зменшує його твердість, гартування збільшує її, низькотемпературне нагрівання знімає внутрішні напруження) [3].

Залежно від мети термічної обробки існують різні її види (рис. 1.1)., що відрізняються температурою нагрівання, тривалістю витримування та швидкістю охолодження. Розрізняють такі види термічної обробки: відпалювання, нормалізація, загартування і відпуск [4].

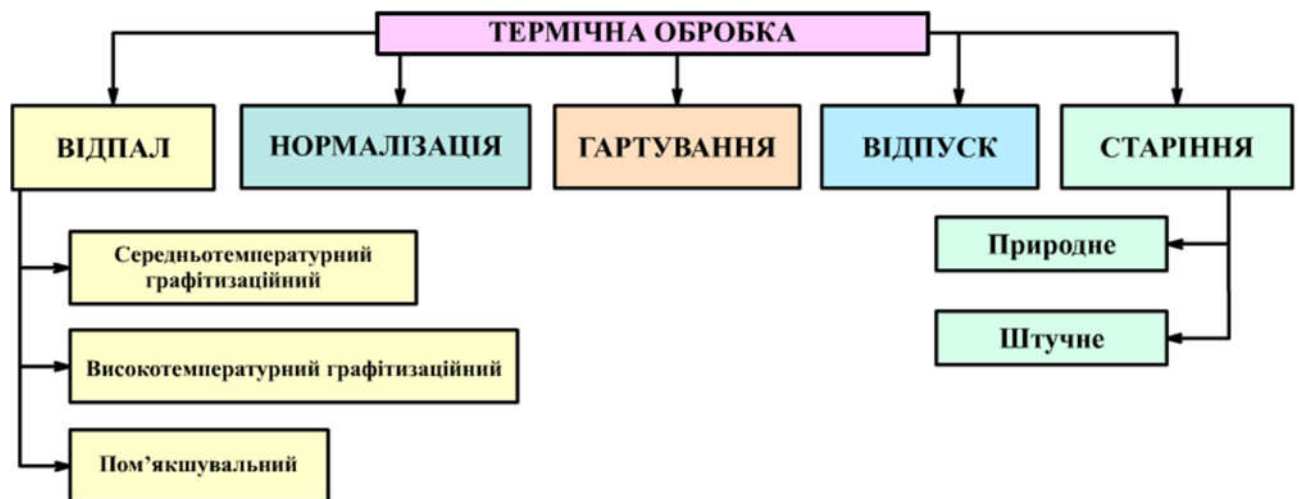


Рисунок 1.1 – Основні види термічної обробки металу

Відпалювання (відпал). Відпалювання – вид термообробки, який полягає в нагріванні матеріалу (метал тощо) до температури вище критичної точки, тривалій витримці за цієї температури і подальшому повільному охолодженні. Основними видами відпалювання є гомогенізувальне, графітизувальне, перекристалізаційне, рекристалізаційне, релаксаційне та сфероїдизувальне.

Графітізувальне та сфероїдизувальне відпалювання характерне тільки для сталей. Відпалювання підвищує пластичність, зменшує внутрішні напруження, понижує твердість сталей [4].

Нормалізація. Нормалізацією називають нагрівання до високої температури, видержування і повільне охолодження на повітрі. Нормалізація доводить сталь до дрібнозернистої та однорідної структури. Твердість і міцність сталі після нормалізації вищі, ніж після відпалу [4].

Загартування (гартування, гарт). Загартуванням називають нагрівання до високої температури, витримування і швидке охолодження (у воді, мінеральній оліві та інших охолоджувачах). Є такі види загартування: в одному охолоджувачі; перервне; ступінчасте; ізотермічне; поверхнєве та ін. Загартування сталей забезпечує підвищення твердості, виникнення внутрішніх напружень і зменшення пластичності. Твердість збільшується у зв'язку з виникненням таких структур: сорбіт, тростит, мартенсит. Практично загартуванню піддаються середньо- і високовуглецеві сталі [4].

Відпуск. Відпуском називають нагрівання до температури нижчої за  $700^{\circ}\text{C}$ , витримування та повільне охолодження на повітрі. Розрізняють три види відпуску: низький (нагрівання до температури  $200^{\circ}\text{C}$ ; середній ( $300\text{--}500^{\circ}\text{C}$ ); високий ( $500\text{--}700^{\circ}\text{C}$ ). Після відпуску певною мірою зменшується твердість і внутрішні напруження, збільшується пластичність і в'язкість сталей. До цього приводить зміна структур після відпуску. Структура мартенситу сталі переходить відповідно в структуру трооститу і сорбіту. Чим вища температура відпуску, тим менша твердість відпущеної сталі і тим більша її пластичність та в'язкість.

Відпуск, в основному, проводять після загартування для зняття внутрішніх напружень. Низький відпуск застосовують при виготовленні різального інструменту, вимірювального інструменту, цементованих деталей та ін; середній – при виробництві ковальських штампів, пружин, ресор; високий –

для багатьох деталей, що зазнають дії високих напружень (осі автомобілів, шатуни тощо) [4].

Старінням називається такий вид термообробки, при якому пересичений твердий розчин, отриманий внаслідок гартування, розпадається шляхом дифузійного перерозподілу атомів і його структура поступово наближається до рівноважного стану. Старіння поділяють на природне і штучне залежно від температури процесу [5].

Природне старіння відбувається при нормальній температурі, а штучне — при нагріванні до температур 100...200 °С. [5].

### 1.3 Об'єкт керування

#### 1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Електричні камерні печі з викотним подом розповсюджені на машинобудівних підприємствах і використовуються для термічної обробки металевих виробів.

На рисунку 1.2 показано піч з викотним подом для відпалу великих деталей. Під 6 цієї печі висувається на ковзанках по рейках до місця завантаження й розвантаження. При цьому заслінка 3 піднімається й опускається за допомогою приводного механізму 4.

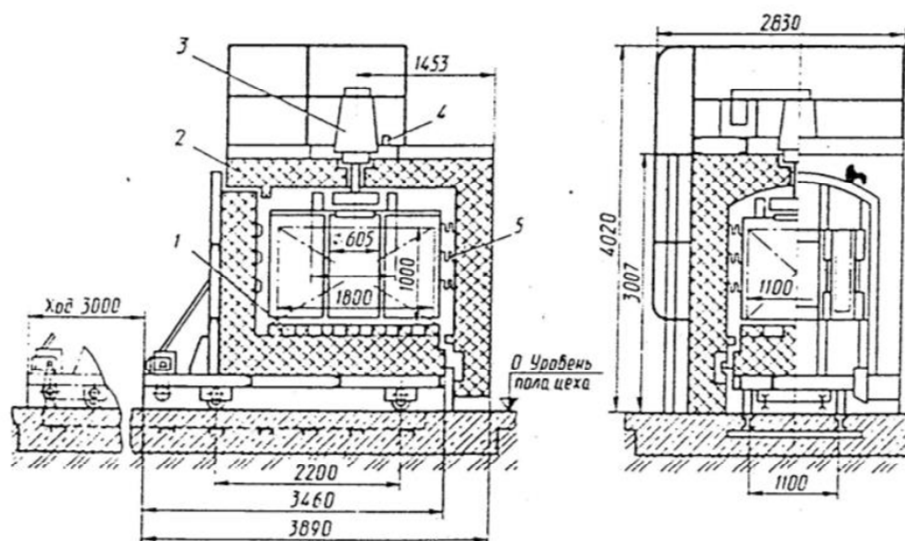


Рисунок 1.2 – Камерна піч з викотним подом [6]

Електропіч опору з викотним подом призначена для відпустки. Піч складається з камери нагрівання 2 і висувного поду 1, нагрівачів опору 5, водоохолоджувального вентилятора 3 із системою водоохолодження 4. Вентилятор призначений для вирівнювання температури в робочій камері печі. Електричні нагрівачі розташовані на бічних стінах камери нагрівання й на вертикальній стінці висувного поду [6].

### **1.3.2 Структура об'єкта керування**

Об'єкт автоматизації є камерною пічю з викочуванням подом . Камерна піч використовується для загартування деталей із вуглецевої сталі. Маса деталі складає 300 кг. Під час гарту деталь нагрівається до температури 1050 °С, після чого витримується протягом 300 секунд. Камерна піч є трифазною електричною пічю потужністю 60 кВт. Завдяки використанню чотиристороннього обігріву (бічні стіни, двері та під) температура в камері печі розподіляється рівномірно і може бути виміряна одним датчиком температури.

### **1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування**

Піч з викотним подом - піч, в якій завантаження і вивантаження металу виконується цеховим краном на подину, що викочується щодо стін і склепіння печі. Цю піч використовують у тих випадках, коли маса садка велика і має складну "архітектуру", наприклад, садок розташовується в кілька шарів.

У розігрітій порожній печі піднімається заслінка і подина, спираючись на ковзанки, викочується на майданчик перед пічю. Часто замість котків використовують колеса, що прикріплюються до рами подини і рухаються спеціально укладеними рейками. За допомогою підйомного крана на викочену подину укладається садок металу в певному порядку. В цей час нагрівачі не працюють, а стіни та склепіння інтенсивно віддають теплоту випромінюванням на те місце, де щойно стояла подина. Тому місце під подіною має бути теплоізолюваним. Після завантаження всієї садки подина заковчується назад,

заслінка закривається і включаються нагрівачі. Нагрівачі розташовуються у бічних стінах та стелі. Продукти термообробки видаляються з робочого простору через димові вікна у бокових стінках. Дим проходить по підйомних димових каналах і надходить у збірні канали, розташовані вздовж стін печі над склепінням. Зі збірних каналів дим надходить у загальний канал, в якому знаходиться рекуператор для підігріву повітря. Охолоджений у рекуператорі дим прямує в димову трубу та викидається без очищення у повітря. Після завершення процесу термообробки подина викочується і метал замінюється на холодний. Далі процес повторюється.

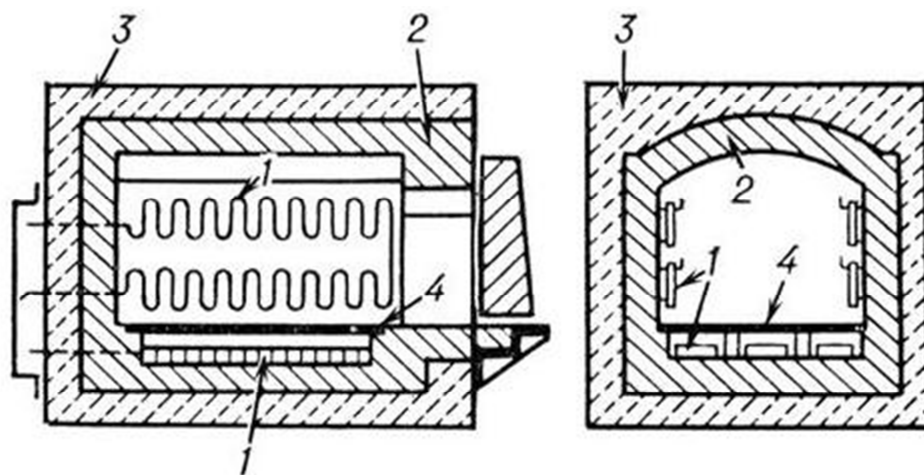


Рисунок 1.2 – Конструкція електричної камерної печі опору періодичної дії:

1 - нагрівальні елементи; 2 - вогнетривка частина кладки; 3 - теплоізоляція; 4 - жаротривка подова плита.

#### 1.4 Формулювання задачі дослідження

Метою дослідження кваліфікаційної роботи бакалавра є підвищення швидкості та точності нагріву у камерній печі.

Завданням дослідження є вивчення можливості автоматичного керування температурою нагріву у камерній печі.

Ефективне керування будь-яким об'єктом можливе лише в разі наявності його математичної моделі. Математична модель повинна бути отримана у

вигляді передатної функції. Кінцева модель має бути представлена в пакеті імітаційного моделювання Simulink.

Об'єкт керування відноситься до безперервного класу. При цьому для безперервного об'єкта керування визначаються напрямки планування експерименту і вимоги до методів дослідження.

Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність повинна виконуватися за нормованим середньоквадратичним відхиленням. Розбіжність між результатами моделювання та експериментальними даними не повинна перевищувати стандартного технічного відхилення в 10%.

### **1.5 Висновки по розділу**

Відповідно до інформації про технологічний процес нагріву металевих виробів та технічних особливостей електричної камерної печі, можна зробити наступні висновки:

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є технологічний процес нагріву металевих виробів.

Предметом дослідження кваліфікаційної роботи є автоматизація процесу керування технологічним процесом нагріву металевих виробів в електричній камерній печі.

Мета дослідження: підвищення ефективності процесу автоматичного керування температурою електричній камерній печі за рахунок поліпшення алгоритмів керування.

Об'єктом керування є електрична камерна піч (електропіч опору);

Для електричної камерної печі, як об'єкта керування, вхідним є сигнал керування потужністю електронагрівачів, а вихідним – температура в камері печі. При цьому, електрична камерна піч є неперервним об'єктом керування.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми системи керування

З огляду на особливості роботи електричної камерної печі була розроблена структурна схема системи керування процесом нагріву металевих виробів.

Вхідним впливом для регулювання температури в камері печі є потужність електронагрівачів опору. Потужність електронагрівачів опору, задається в межах  $0\div 100\%$ , де  $0\%$  відповідає повністю вимкненим електронагрівачам, а  $100\%$  відповідає роботі електронагрівачів на повну потужність. Потужність електронагрівача задається за допомогою регулюючого пристрою – альтерністора. Вихідним параметром об'єкта керування є температура всередині камери печі. Основним завданням системи керування є досягнення та підтримка температури в камері печі на рівні  $1000-1100^{\circ}\text{C}$ . Початкова температура в камері печі при завантаженні металевих виробів складає  $20^{\circ}\text{C}$ .



Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування температурою

На структурній схемі системи керування (рис. 2.1) зображено: датчик температури в камері печі, електронагрівач, як виконуючий пристрій, пристрій керування, що задає необхідну температуру в печі. Пульт оператора

використовується для спостереження за перебігом технологічного процесу та внесення змін у режим роботи системи. Головний контур регулювання датчик температури в камері печі – пристрій керування – виконавчий пристрій.

## **2.2 Вибір апаратного забезпечення системи керування**

### **2.2.1 Вибір давачів**

Для контролю роботи камерної печі з викотним подом необхідно контролювати такі параметри:

- положення поду;
- положення дверей;
- температуру у середині печі.

Кінцеві положення поду контролюються кнопковими штовхачами КР А2 S11 (рис. 2.2а), положення дверей контролюється важільними штовхачами з регульованими роликами КР L2 S11 (рис. 2.2б)



Рисунок 2.2 – Датчики КР А2 S11 (а) та КР L2 S11(б)

Датчики КР А2 S11 та КР L2 S11 є металевими кінцевими вимикачами, які призначені для роботи в різних ланцюгах систем керування, сигналізації, захисту.

Змонтовані вимикачі чудово підходять для контролю рухомих механізмів і частин при вирішенні задач в індустріальній сфері. Ці вимикачі особливо підходять при необхідності забезпечення високого ступеня захисту таких як, машинобудування і обладнання вуличного застосування або при економії



розмірів пристрою, наприклад, гідравлічні засувки або важкодоступне обладнання.

Відповідають нормам IEC / EN 60947-1, IEC / EN 60947-5-1, VDE 0630, VDE0660. Сертифікати CSA, UL, KEMA, LR0S

Характеристики металевих кінцевих вимикачів:

- максимальний струм: 10 А;
- максимальне напруга: 250 V AC;
- час спрацьовування: 0,5 ... 1,5 мс;
- довжина кабелю: 2 м;
- ступінь захисту корпусу: IP67;
- робоча температура: - 25 ... + 70 ° C

Для контролю температури у середині печі використовуємо перетворювач термоелектричний ТПП-1-29-S-0,5-И-0-1300.

Робочий діапазон температури, 0-1300°C

Перетворювачі термоелектричні ТПП-1-29 призначені для вимірювання температури окислюючих та нейтральних газових середовищ, які не взаємодіють з матеріалом термоелектродів і не руйнують матеріал захисної арматури.



Рисунок 2.3 – Перетворювач термоелектричний ТПП-1-29

Принцип дії термопар ТПП заснований на явищі термо-ЕРС (електрорушійної сили) - при різниці температур між робочим і вільними кінцями перетворювача в його ланцюзі виникає електрорушійна сила і, при відомому законі залежності величини цієї термо-ЕРС від різниці температур, можна виміряти саму різницю температур .

Принципова побудова термопар ТПП - термоперетворювач складається з чутливого елемента (термопари, армованої електроізоляційною вогнетривкої

керамікою), укладеного в високотемпературну арматуру, що захищає чутливий елемент терморпарі від механічних пошкоджень і шкідливого впливу вимірюваного середовища.

Для підключення датчика температури до контролера необхідно застосувати нормуючий перетворювач ОВЕН НПТ1 (рис. 2.4), призначений для перетворення значення температури вимірної за допомогою терморпарі або термоопору, в уніфікований сигнал постійного струму 0 (4) - 20 мА.



Рисунок 2.4 – Перетворювач нормуючий ОВЕН НПТ1

Перетворювач ОВЕН НПТ1 може використовуватися у вторинних приладах систем автоматичного контролю, регулювання та керування технологічними процесами в різних галузях промисловості, а також в комунальному господарстві, диспетчеризації, телемеханических інформаційно-вимірювальних комплексах і т.д. [7]

Основні функції універсального нормуючого перетворювача ОВЕН НПТ1

Перетворення сигналів термодатчиків в уніфікований сигнал 0(4)...20мА

Підтримка більшості відомих типів термодатчиків

Налаштування по інтерфейсу USB 2.0

Робочий діапазон температур «-40 ... + 85 С»

Висока надійність. Відповідність ГОСТ Р 51522-99 по ЕМС, клас А

На підставі обраних датчиків і їх технічних характеристик складена таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 - Датчики системи керування

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон зміни	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Температура печі	Термопара	аналог	0÷1300 °С	0.0075t	4-20mA	0.1с	24В	0,9Вт
2	Положення поду	Вимикач	дискр.	ввімк/ вимк	-	0-24В	постійно	24В	0,1Вт

### 2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

Двері печі приводяться в дію за допомогою трифазного асинхронного двигуна АИР 100 L6, потужністю 2кВт.



Рисунок 2.5 – Контролер реверсування асинхронного двигуна  
RR2A48D220

Для керування приводом дверей печі використаємо контролер реверсування асинхронного двигуна RR2A48D220 потужністю до 2.2 кВт, з робочою напругою до 440VDC, керуюча напруга 10 ... 40VDC.

Для керування нагрівачами в печі використаємо альтерністори RM1E23AA100.



Рисунок 2.6 – Альтерністор RM1E23AA100

Струм керування 4 ... 20 mA

Максимальний струм навантаження (AC1) 100 A (280VAC)

Застосовуються в системах регулювання по замкнутому зворотньому зв'язку або в пристроях, де необхідно плавне регулювання потужності в навантаженні

На підставі обраних виконуючих пристроїв та їх технічних характеристик складена таблиця 2.2.

Таблиця 2.2 – Виконуючі пристрої

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон зміни	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Електрична потужність	альтерністор	аналог.	4 ... 20 mA	100%	24В	100мс	24В	10Вт
2	Переміщення поду	реле	дискр.	Ввімк/ вимк	100%	24В	постійно	24В	5Вт

### 2.2.3 Вибір пристрою керування

Процесорні модулі (модулі ЦПУ) здійснюють керування і регулювання технологічним процесом або обладнанням відповідно до закладеної в них користувачем програмою. Їх вибір здійснюється виходячи з особливостей розв'язуваної задачі відповідно необхідним рівнем продуктивності і обсягом пам'яті. Вони можуть розширюватися за допомогою сигнальних і функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів.

Серія ПЛК 300S базується на технології SPEED7, завдяки якій вона є однією з найшвидших та найефективніших у застосуванні систем управління у своєму класі. Програмування здійснюється за допомогою WinPLC та/або STEP7 компанії Siemens.

Контролери відрізняє не тільки їхню високу швидкодію. При необхідності їхня швидкість реакції додатково може бути істотно збільшена за допомогою швидкісної системної шини SPEED-bus.

Наявність в складі серії 300S широкого набору різних моделей процесорних модулів дозволяє створювати системи керування, які будуть оптимальними як за функціональними можливостями, так і за ціною.

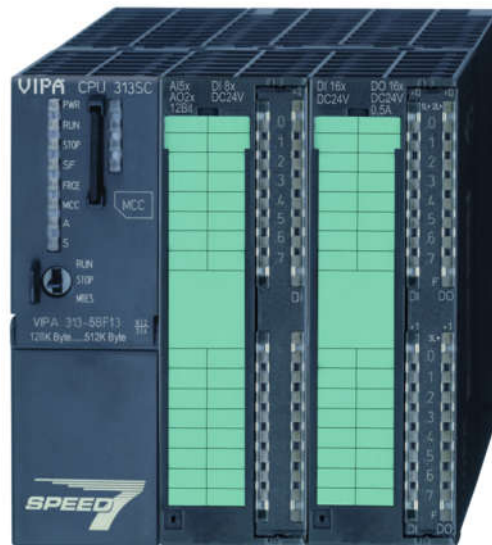


Рисунок 2.7 –VIPA 313-5BF13 [9]

#### Характеристики

- Високопродуктивна система керування
- Програмування за допомогою STEP7 компанії Siemens або Zenon logic компанії VIPA
- Вбудована робоча пам'ять, робота без додаткової карти пам'яті
- Вбудоване ОЗУ з резервним живленням від акумулятора
- Гнучке розширення обсягу робочої пам'яті за допомогою карт MMC
- Підтримка стандартних карт MMC для збереження програм і даних
- Вбудована підтримка інтерфейсів Ethernet, PROFIBUS DP і MPI
- Параметризуємий порт RS-485 з функціями PROFIBUS DP і PtP
- Напруга живлення 24 В пост. струму
- Можливість застосування в складі централізованої них і розподілених систем керування

- Годинник реального часу
- Світлодіодні індикатори стану

Контролер VIPA 313-5BF13 містить у собі

- модуль CPU 313SC,
- робоча пам'ять 128 кбайт (розширення до 512 кбайт),
- MPI,
- порт RS-485 (PtP),
- порт Ethernet PG / OP,
- 24 x DI, 16 x DO, 4 x AI, 2 x AO, 1 x AI (Pt100),
- 3 лічильника (32 розряду, 30 кГц),
- сумісність з TIA Portal [8]

Таблиця 2.3 – Програмований логічний контролер

№	Найменування	Пристрій	Потужність
1	VIPA 313-5BF13	Модуль центрального процесора	6,00 Вт

#### 2.2.4 Вибір пульта оператора

Для програмування контролера та полегшення взаємодії оператора з системою керування використовуємо панель серії ESO.

Панелі серії ESO відкривають нові можливості для користувачів завдяки потужній системі візуалізації в поєднанні з привабливою ціною обладнання. Пристрої цієї серії відрізняються не тільки безкомпромісною надійністю і продуктивністю, але також відмінним співвідношенням ціна / якість. Великий термін служби обладнання забезпечується, серед іншого, за рахунок використання пасивної системи охолодження і електронних накопичувачів інформації. Це означає, що в конструкції панелей відсутні будь-які електромеханічні компоненти.



Рисунок 2.8 – Панелі серії ECO

Панелі серії ECO в комбінації з системою візуалізації Movicon Basic володіють потужнішим функціоналом, ніж будь-які інші аналогічні вироби, що досягається за рахунок вдалого поєднання всіх переваг технології Movicon з простий у використанні середовищем розробки. Все це забезпечує високу масштабованість і значне поліпшення продуктивності кожного проекту.

Додаткове ПО VIPA PLCTOOL дозволяє вивантажувати і завантажувати програму в контролер, зчитувати діагностичний буфер, а також керувати режимом роботи (ПУСК / СТОП) підключеного контролера без використання пристрою з системою програмування.

#### Характеристики

Розмір екрану дисплея від 4,3" до 15"

Тип дисплея: кольоровий TFT

Процесори ARM11, 533 МГц і Cortex-A8 1000 МГц

Інтерфейси: RS-232, RS-232 / RS-422 / RS-485, Ethernet RJ45, USB-A (вбудовані), MPI / PROFIBUS DP slave (опціональні)

Пам'ять користувача 50-256 Мбайт, розширення за допомогою карт SD і MMC, а також USB-накопичувача

Попередньо встановлено операційна система Windows Embedded CE 6.0 Core і середовище виконання Movicon BASIC 11

Для нашої системи використаємо модель 62P-NHC0-CB. Панель оператора 62P-NHC0-CB має в своєму складі TP 615LC+, кольоровий РК-

дисплей 15" 1024x768, процесор Cortex-A8 1000 МГц, робоча пам'ять 256 Мбайт, інтерфейси: 2 x Ethernet (RJ45), RS-232 (DB9), RS-232/422/485 (DB25), 1 x USB-A; передвстановлена ОС Windows Embedded CE 6.0 Professional

Таблиця 2.6 – Пульт оператора

№	Назва панелі оператора	Напруга живлення	Потужність споживання
1	VIPA 62P-NHC0-SB	24В	27Вт

### 2.2.5 Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер 313-5BF13 має напругу живлення +24 В. Загальна споживана потужність програмованого логічного контролера і його модулів:

$$P = 6 \text{ Вт}, \quad (2.1)$$

В якості джерела постійної напруги для контролера обрано джерело живлення VIPA 307-1BA00 зі змінною напругою живлення від ~ 85 до ~ 264 В, вихідною напругою +24 В і потужністю 60 Вт (Рис. 2.8). Технічні характеристики джерела живлення наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики джерела живлення VIPA 307-1BA00

№	Найменування параметру	Значення
1	Напруга живлення, В	~85÷~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	60
4	Максимальний вихідний струм, А	2,5

Для живлення перетворювача нормуючого ОВЕН НПТ1 буде використано також джерела живлення VIPA 307-1BA00. Третє подібне джерело живлення буде використано для панелі оператора VIPA 62P-NHC0-SB.





Рисунок 2.8 – Джерело живлення VIPA 307-1BA00

### 2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

На функціональній схемі автоматизації показаний контур регулювання температури в камері електричної печі з викотним подом.

Регулювання температури в камері печі здійснюється зміною потужності електронагрівачів опору. Сигнал про значення температури надходить до інтелектуального пристрою, де він порівнюється з заданим значенням.

Для визначення необхідно проведено аналіз і визначити перелік входів і виходів системи керування – таблиця 2.5.

Таблиця 2.5 – Перелік входів і виходів системи керування

№	Найменування	Напр. вх./вих	Функція	Вид	Джерело/Отримувач	Форма подання (розрядність, точність)		Період вв./вив., сек
						Зовніш.	Внутр.	
1	Под поза піччю	Вхід.	Контр.	Дискрет.	КР А2 S11 / ПЛК	24 В	1 біт	0,1
2	Двері зачинені	Вхід.	Контр.	Дискрет.	КР L2 S11 / ПЛК	24 В	1 біт	0,1
3	Дверь відчинені	Вхід.	Контр.	Дискрет.	КР L2 S11 / ПЛК	24 В	1 біт	0,1
4	Под у печі	Вхід.	Контр.	Дискрет.	КР А2 S11 / ПЛК	24 В	1 біт	0,1
5	Темпер-ра	Вхід.	Контр.	Аналог.	НПТ-1 / ПЛК	4-20 мА	12 біт	0,1
6	Полож. двери	Вхід.	Керув.	Дискрет.	ПЛК / RR2A48D220	24 В	2 біт	0,1
7	Нагрів. 1	Вихід	Керув.	Аналог.	ПЛК / RM1E23AA100	4-20 мА	12 біт	0,1
8	Нагрів. 2	Вихід	Керув.	Аналог.	ПЛК / RM1E23AA100	4-20 мА	12 біт	0,1
9	Нагрів. 3	Вихід	Керув.	Аналог.	ПЛК / RM1E23AA100	4-20 мА	12 біт	0,1

Функціональна схема автоматизації зображена на рисунку 2.9.

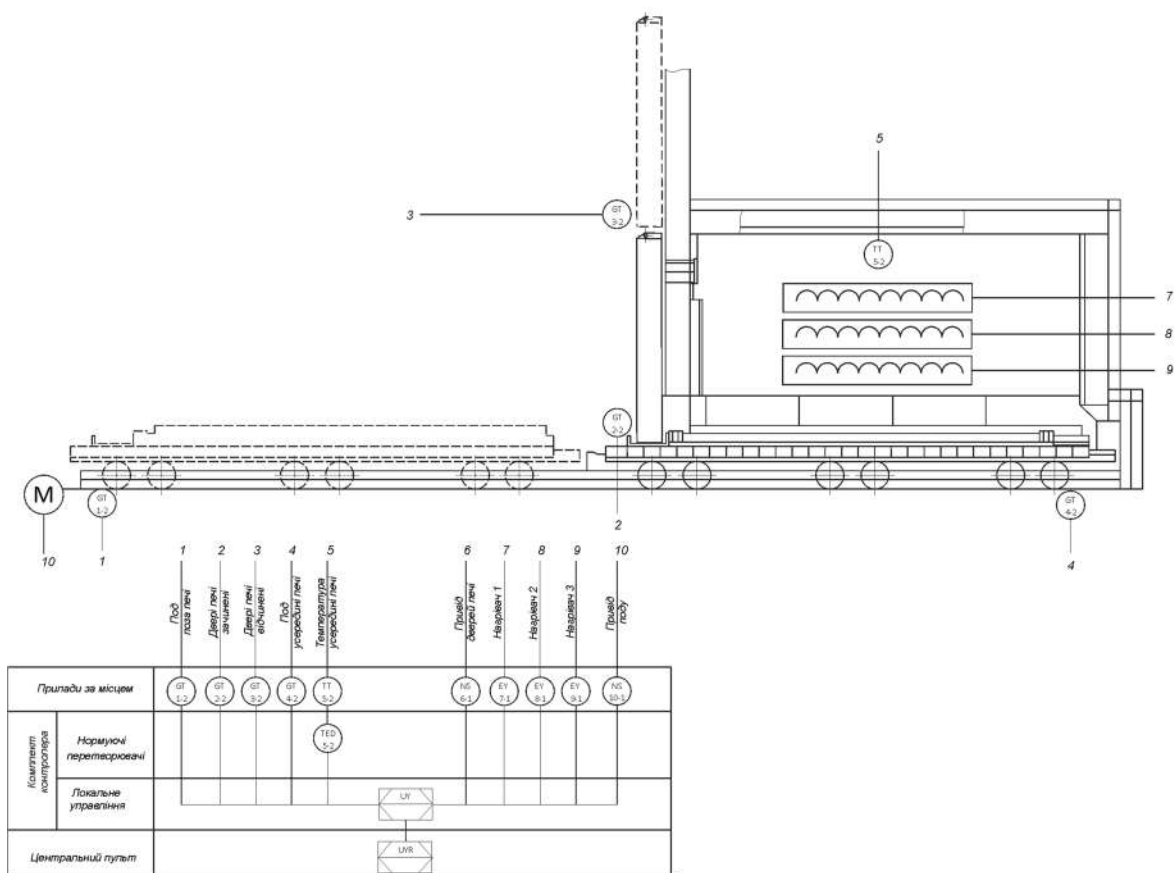


Рисунок 2.9 – Функціональна схема автоматизації

## 2.4 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова системи керування процесом нагріву камерної печі представлена на рисунку 2.10.

Контролери серії VIPA 300S складаються з набору окремих блоків. Процесорний блок контролера є пристроєм, який перетворює аналогові й дискретні вхідні сигнали в цифрову форму, обробляє отриману інформацію відповідно до обраного алгоритму керування, перетворює внутрішні цифрові сигнали в аналогові і дискретні вихідні сигнали.

В основну частину контролера входять: модуль процесора, модуль стабілізованої напруги. Контролер має порти підключення аналогових та дискретних сигналів.

Блок живлення підключається до промислової мережі напругою 220 В і виробляє дві не стабілізовані напруги 24 В постійного струму, які використовуються для живлення блоку контролера, ланцюгів аналогових виходів, інтерфейсних ланцюгів блоку контролера.

Всі аналогові сигнали заводяться на аналогові входи відповідних портів, через клемно-блокові з'єднання. Клемно-блокові з'єднання - це відрізок кабелю, з одного кінця якого вилка роз'єму, а з іншого - клемна колодка для підключення вхідних і вихідних аналогових ланцюгів блоку контролера.

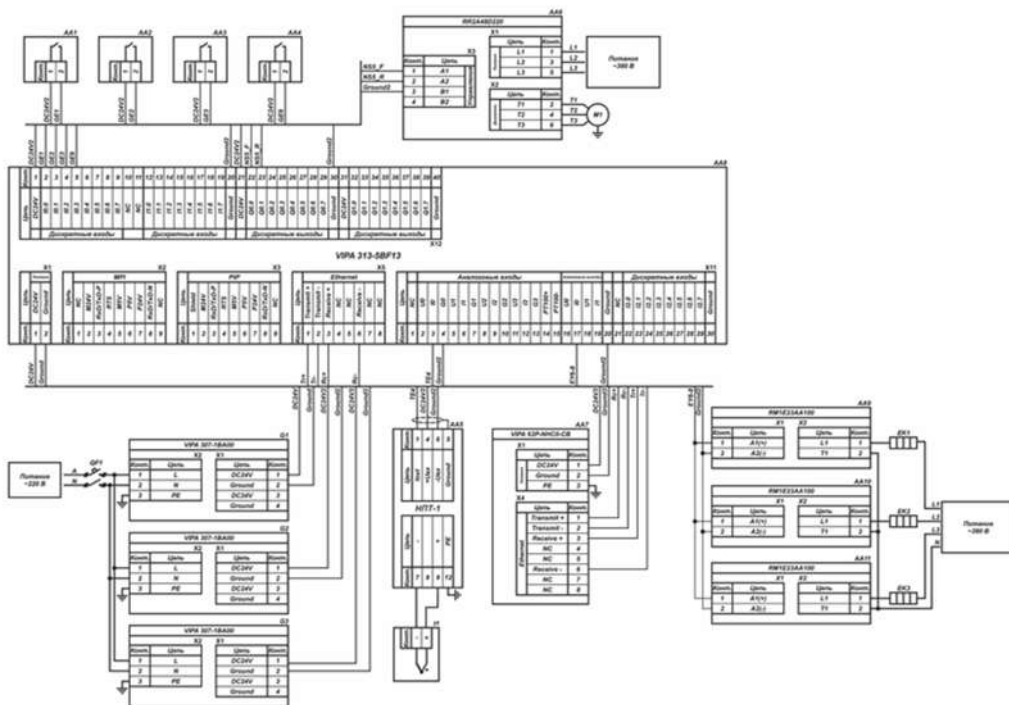


Рисунок 2.10 – Схема електрична принципова системи керування

## 2.5 Висновки по розділу

1. За результатами аналізу вимог до функціонування системи керування було розроблено структурну схему, вибрано датчик, виконавчий пристрій, пульт оператора, джерела живлення та пристрій керування – ПЛК VIPA 313-5BF13, наведено його технічні характеристики.

2. На основі цієї інформації розроблено функціональну схему автоматизації випарної установки по каналу регулювання температури в камері печі та схему електричну принципову системи керування процесом нагріву металевих виробів в камерній печі.
3. Отримані схеми та технічні характеристики апаратного забезпечення системи керування в подальшому будуть використанні при створенні дослідницької системи за допомогою якої буде визначено математичну модель об'єкта керування – електричної камерної печі (електропечі опору)

### 3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи

Scada zenon має людино-машинний інтерфейс, середовище виконання і програмний контролер.

Людино-машинний інтерфейс дозволяє налаштовувати діапазон керуючого впливу і дійсного значення та відображує ці значення у вигляді трендів.

Температура в камері печі вимірюється за допомогою датчика ОВЕН ТПП-1-29, вихідний сигнал якого, за допомогою нормуючого перетворювача ОВЕН НПТ1 перетворюється в вихідний сигнал 4..20 мА. Сигнал від датчика перетворюється аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) контролера в цифрове значення з діапазоном від 0 до 27648. Це значення по каналу зв'язку передається середовищу виконання, яке перетворює його в фізичні одиниці і відображує за допомогою людино-машинного інтерфейсу.

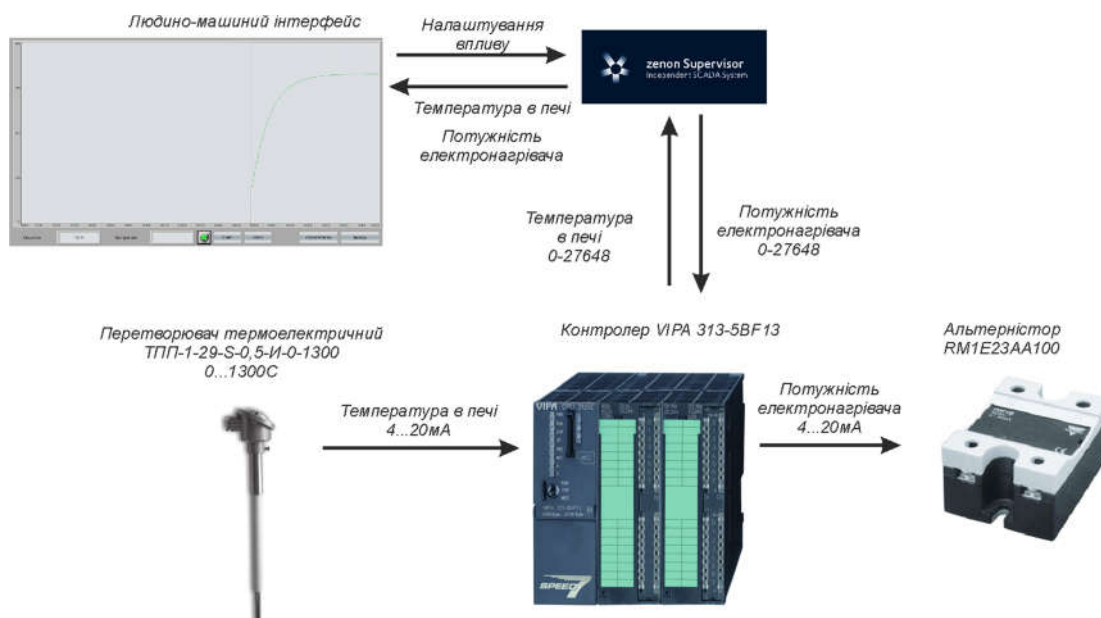


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

В цей же час сигнал оброблюється згідно закладеної програми та формується керуючий вплив, у вигляді цифрове значення від 0 до 27648. Далі,

за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) це значення перетворюється в електричну величину в межах 4..20 мА, що подається на пристрій керування електронагрівачами – альтерністор RM1E23AA100.

### **3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування**

Для подальших досліджень складемо план активного експерименту для отримання інформації про об'єкт керування – камерна піч.

План зняття необхідних характеристик:

1. Динамічна характеристика:
  - 1.1 Система дослідження переводиться в вихідний стан (температура в камері печі 20°C, потужність електронагрівачів – 0);
  - 1.2 Початок реєстрації даних системи дослідження;
  - 1.3 Зміна керуючого впливу на значення 60кВт потужності електронагрівачів;
  - 1.4 Перевірка встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі;
  - 1.5 Завершення запису даних системи дослідження.
2. Дані для побудови статичної характеристики:
  - 2.1 Система дослідження переводиться в вихідний стан (температура в камері печі 20°C, потужність електронагрівачів – 0);
  - 2.2 Початок реєстрації даних системи дослідження;
  - 2.3 Зміна керуючого впливу на значення 15кВт потужності електронагрівачів;
  - 2.4 Перевірка встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі;
  - 2.5 Зміна керуючого впливу на значення 30кВт потужності електронагрівачів;
  - 2.6 Перевірка встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі;

- 2.7 Зміна керуючого впливу на значення 45кВт потужності електронагрівачів;
- 2.8 Перевірка встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі;
- 2.9 Зміна керуючого впливу на значення 60кВт потужності електронагрівачів;
- 2.10 Перевірка встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі;
- 2.11 Завершення запису даних системи дослідження.
3. П-подібна (імпульсна) характеристика:
  - 3.1 Система дослідження переводиться в вихідний стан (температура в камері печі 20°C, потужність електронагрівачів – 0);
  - 3.2 Початок реєстрації даних системи дослідження;
  - 3.3 Зміна керуючого впливу на значення 60кВт потужності електронагрівачів;
  - 3.4 Перевірка встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі;
  - 3.5 Зміна керуючого впливу на значення 0 – вимкнення електронагрівачів;
  - 3.6 Перевірка встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі;
  - 3.7 Завершення запису даних системи дослідження.
4. Перевірочні дані:
  - 4.1 Система дослідження переводиться в вихідний стан (температура в камері печі 20°C, потужність електронагрівачів – 0)
  - 4.2 Початок реєстрації даних системи дослідження;
  - 4.3 Періодична зміна керуючих впливів тривалістю 20хв із псевдовипадковими значеннями потужності електронагрівачів від 0 до 60кВт протягом 200 хвилин;

#### 4.4 Завершення запису даних системи дослідження

### 3.3 Виконання експерименту

Дані для побудови динамічної характеристики.

Система дослідження переводиться в вихідний стан (температура в камері печі 20°C, потужність електронагрівачів – 0кВт). Запускаємо реєстрацію даних системи дослідження. Змінюємо керуючий вплив на значення 60кВт потужності електронагрівачів. Очікуємо встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі.

Закінчуємо запис даних системи дослідження та отримуємо динамічну характеристику (рис 3.2).

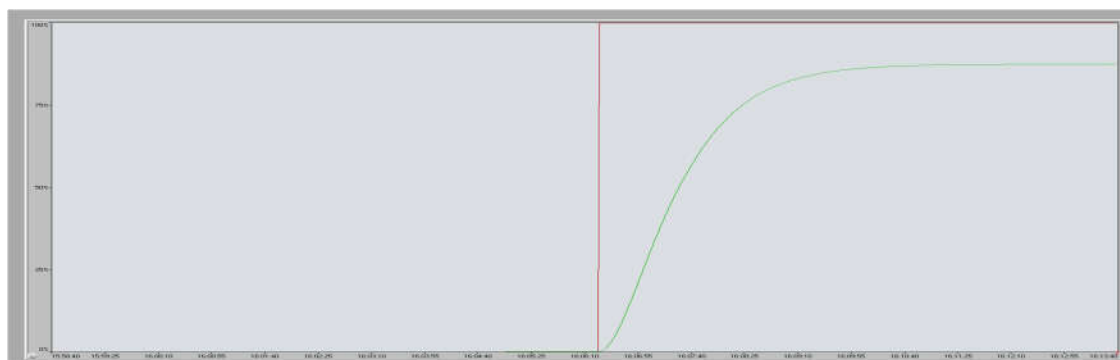


Рисунок 3.2 – Дані для побудови динамічної характеристики

Дані для побудови статичної характеристики:

Система дослідження переводиться в вихідний стан (температура в камері печі 20°C, потужність електронагрівачів – 0кВт). Запускаємо реєстрацію даних системи дослідження. Послідовно змінюємо керуючий вплив на значення 15кВт, 30кВт, 45кВт та 60кВт потужності електронагрівачів. Кожного разу очікуємо встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі.

Закінчуємо запис даних системи дослідження та отримуємо дані для побудови статичної характеристики (рис. 3.3).



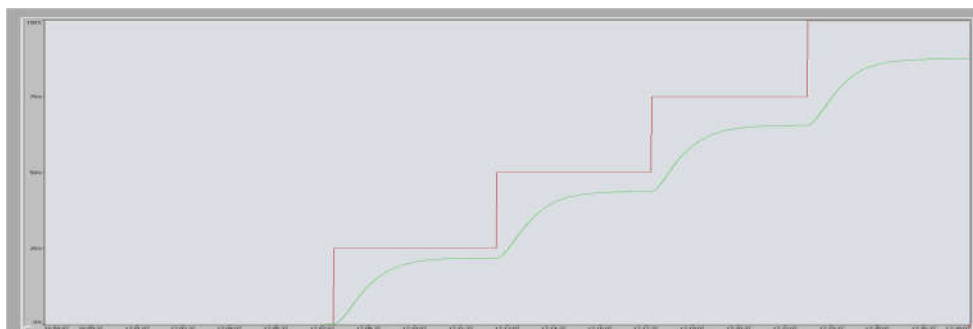


Рисунок 3.3 – Дані для побудови статичної характеристики

Дані для побудови П-подібної характеристики,

Система дослідження переводиться в вихідний стан (температура в камері печі  $20^{\circ}\text{C}$ , потужність електронагрівачів –  $0\text{кВт}$ ). Запускаємо реєстрацію даних системи дослідження. Послідовно змінюємо керуючий вплив на значення  $60\text{кВт}$ , очікуємо встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі, а потім встановлюємо  $0\text{кВт}$  потужності електронагрівачів, тобто вимикаємо їх. Очікуємо встановлення постійного значення дійсної величини – температури в камері печі.

Закінчуємо запис даних системи дослідження та отримуємо П-подібну характеристику (рис 3.4).

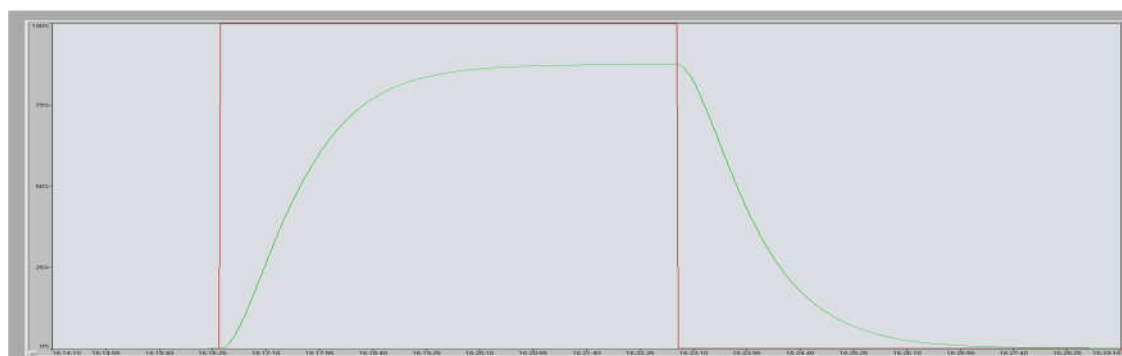


Рисунок 3.4 – Дані для побудови П-подібної характеристики

Система дослідження переводиться в вихідний стан (температура в камері печі  $20^{\circ}\text{C}$ , потужність електронагрівачів –  $0\text{кВт}$ ). Запускаємо реєстрацію даних системи дослідження. Періодично, раз на  $20\text{хв}$ , змінюємо керуючі впливи із псевдовипадковими значеннями потужності електронагрівачів від  $0$  до  $60\text{кВт}$  протягом  $200$  хвилин.

Закінчуємо запис даних системи дослідження та отримуємо перевіірочні дані (рис. 3.5).

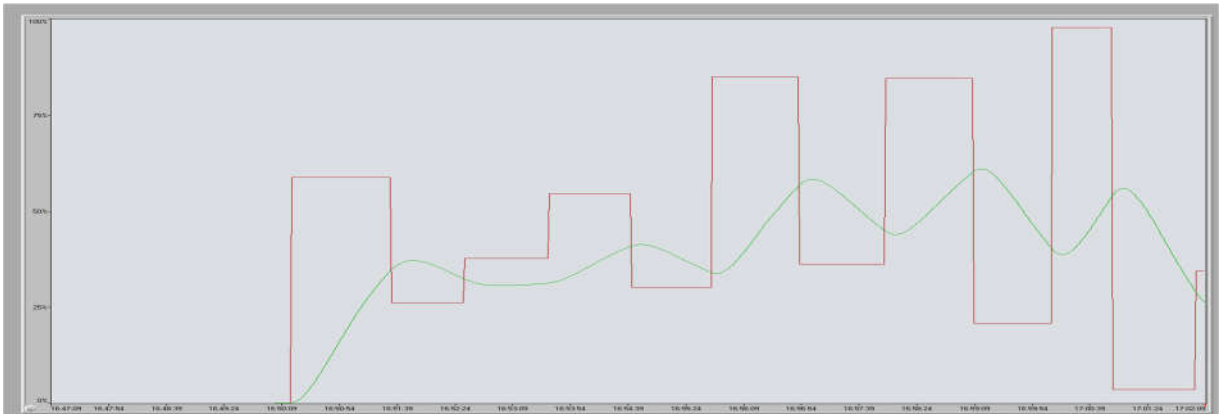


Рисунок 3.5 – Перевіірочні дані

### 3.4 Обробка результатів експерименту

#### 3.4.1 Підготовка даних

Використовуючи дані, отримані при проведенні активного експерименту, виконаємо ідентифікацію об'єкта керування. Сам процес ідентифікації можна виконати в ППП MATLAB. Для цього дані активного експерименту необхідно імпортувати до MATLAB у вигляді змінних.

Так як в дійсних значеннях знятих даних присутня статична складова (початкова температура металу, що дорівнює 20°C), то для проведення ідентифікації ми прибираємо її:

```
>> Dynamic_Output = Dynamic_Output - 20 ;
>> Static_Output = Static_Output - 20;
>>;P_Output = P_Output - 20
>> Check_Output = Check _Output - 20;
```

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

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

Дані отримані в результаті дослідження П-подібним впливом розділяємо на два вектори. Перший вектор відображає реакцію об'єкта керування на зміну керуючого впливу від 0 до 60кВт потужності, а другий на зміну керуючого впливу від 60кВт до 0.

### 3.4.2 Структурна ідентифікація

Проаналізувавши динамічну характеристику (рис. 3.7) встановлено, що час подачі керуючого впливу відповідає 1 секундi, та час початку реакції об'єкта керування відповідає 1 секундi. Це свідчить про те, що об'єкт керування не має запізнення.

На динамічній характеристиці видно виражені два перегини. На підставі цього, можна зробити висновок, що об'єкт має два явно виражених кореня. Отже, модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого або більш високого порядку.

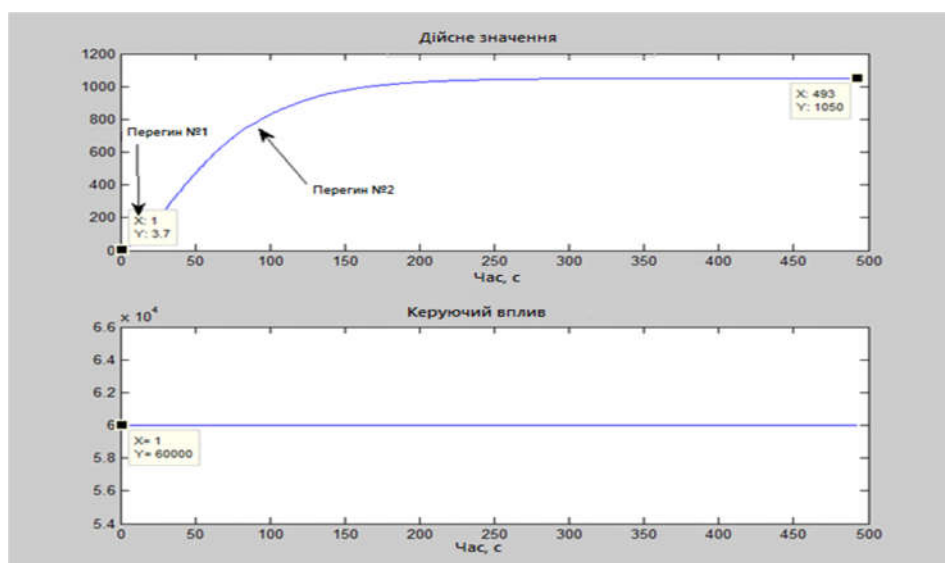


Рисунок 3.7 – Аналіз динамічної характеристики

Проаналізувавши характеристику, отриману за допомогою П-подібного керуючого впливу (рис. 3.8), встановлено, що зміна керуючого впливу від 0 до 60кВт призводить до збільшення дійсного значення, а зміна керуючого впливу від 60кВт до 0 до його зменшення. На підставі цього можна зробити висновок, що об'єкт самовирівнюється і не має інтегруючих властивостей.

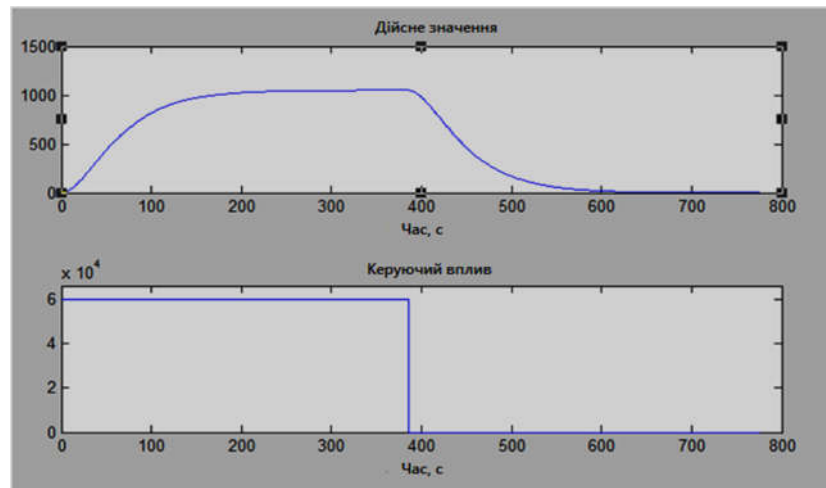


Рисунок 3.8 – Аналіз П-подібної характеристики

Діапазон зміни дійсного значення об'єкта керування дорівнює 1050, отже, різниця стандартних відхилень 1.3278 в абсолютних величинах, і 0.2180 в відносних, що становить менше 1% від діапазону. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що об'єкт керування є симетричним, а його модель може використовуватися при моделюванні процесів пов'язаних зі збільшенням і зменшенням дійсного значення.

```
>>std(P_First)-std(P_Second)
ans =
    1.3278
```

За допомогою засобів редагування графіків середовища MATLAB отримані значення для побудови статичної характеристики (рис. 3.9).

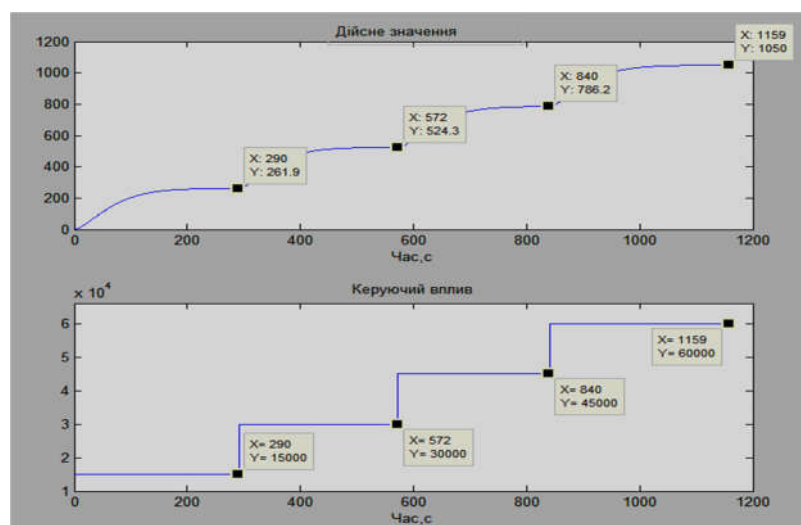


Рисунок 3.9 – Дані для побудови статичної характеристики

На підставі отриманих даних виконано побудова статичної характеристики:

```
>> Static_Input_Vector = [15000, 30000, 45000, 60000];
>> Static_Output_Vector = [261.9, 524.3, 786.2, 1050];
>> plot(Static_Input_Vector,Static_Output_Vector, '-ok', 'LineWidth',3);
```

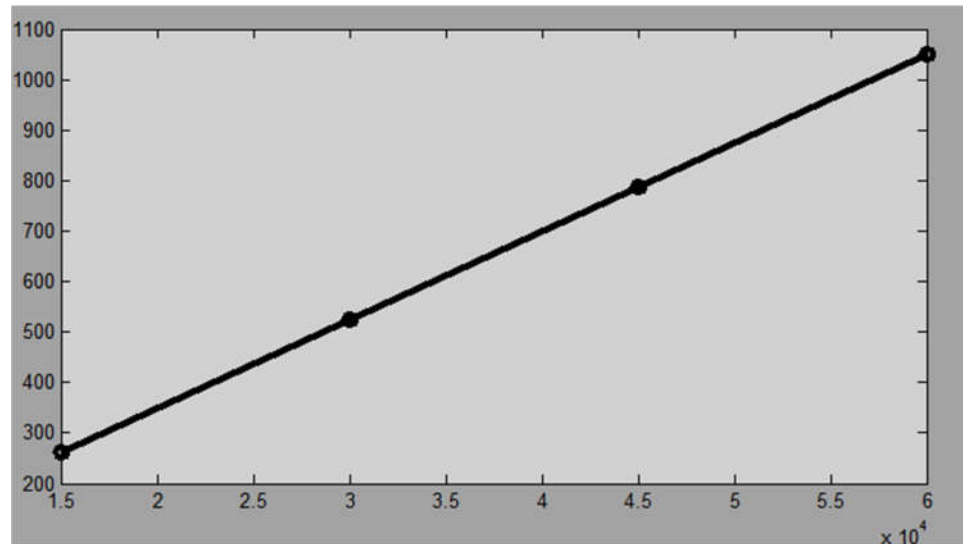


Рисунок 3.10 –Статична характеристика

Статична характеристика об'єкта керування є лінійною на підставі цього можна зробити висновок, що об'єкт керування так само є лінійним у всьому діапазоні керуючого впливу від 0 до 60кВт (рис.3.10).

Таким чином, проведені дослідження та аналіз характеристик об'єкта керування дозволяє стверджувати, що камерна піч, по контуру регулювання температури, може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки 2-ого або більш високого порядку:

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

### 3.4.3 Параметрична ідентифікація

Проведемо автоматичний розрахунок параметрів для аперіодичних ланок другого та третього порядку (рис. 3.11 – 3.12):

Model Transfer Function		Parameter Known	Value	Initial Guess	Bounds
$\frac{K}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$		K	0.017504	Auto	[-Inf Inf]
Poles:		Tp1	43.0389	Auto	[0.001 Inf]
<input type="text" value="2"/> <input type="text" value="All real"/>		Tp2	26.3298	Auto	[0.001 Inf]
<input type="checkbox"/> Zero <input type="checkbox"/> Delay <input type="checkbox"/> Integrator		Tp3	0	0	[0.001 Inf]
		Tz	0	0	[-Inf Inf]
		Td	0	0	[0 30]
		Initial Guess			
		<input checked="" type="radio"/> Auto-selected <input type="radio"/> From existing model: <input type="text"/> <input type="radio"/> User-defined: <input type="text"/> Value-->Initial Guess			
Disturbance Model: <input type="text" value="None"/>		Initial state: <input type="text" value="Auto"/>		Options...	
Focus: <input type="text" value="Simulation"/>		Covariance: <input type="text" value="Estimate"/>			
Iteration 1		Fit: 0.919		Improvement 0 %	
		<input type="checkbox"/> Display		<input type="button" value="Continue"/>	
Name: <input type="text" value="O2"/>		<input type="button" value="Estimate"/>		<input type="button" value="Close"/> <input type="button" value="Help"/>	

Рисунок 3.11 - Розрахунок параметрів для аперіодичної ланки другого порядку

Model Transfer Function		Parameter Known	Value	Initial Guess	Bounds
$\frac{K}{(1+T_{p1} s)(1+T_{p2} s)(1+T_{p3} s)}$		K	0.017495	Auto	[-Inf Inf]
Poles:		Tp1	23.2105	Auto	[0.001 Inf]
<input type="text" value="3"/> <input type="text" value="All real"/>		Tp2	52.8657	Auto	[0.001 Inf]
<input type="checkbox"/> Zero <input type="checkbox"/> Delay <input type="checkbox"/> Integrator		Tp3	53.167	Auto	[0.001 Inf]
		Tz	0	0	[-Inf Inf]
		Td	0	0	[0 30]
		Initial Guess			
		<input checked="" type="radio"/> Auto-selected <input type="radio"/> From existing model: <input type="text"/> <input type="radio"/> User-defined: <input type="text"/> Value-->Initial Guess			
Disturbance Model: <input type="text" value="None"/>		Initial state: <input type="text" value="Auto"/>		Options...	
Focus: <input type="text" value="Simulation"/>		Covariance: <input type="text" value="Estimate"/>			
Iteration 20		Fit: 0.887		Improvement 0 %	
		<input type="checkbox"/> Display		<input type="button" value="Continue"/>	
Name: <input type="text" value="O2"/>		<input type="button" value="Estimate"/>		<input type="button" value="Close"/> <input type="button" value="Help"/>	

Рисунок 3.12- Розрахунок параметрів для аперіодичної ланки третього порядку

Параметри моделей, отримані в результаті параметричної ідентифікації в програмному забезпеченні "SystemIdentificationToolbox" представлені в таблиці 3.1.

Результати розрахунку при дослідницькому розрахунку коефіцієнта посилення(рис.3.13).

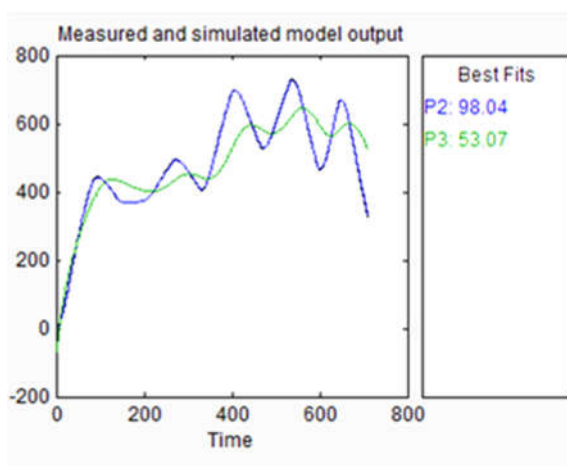


Рисунок 3.13- Оцінка моделей по перевірочним даним

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку параметрів об'єкту керування

Назви	P2	P3
k	0.0175	0.017495
T1,c	43.039	23.21
T2,c	26.33	52.866
T3,c	-	53.167
Dynamic – динамічні характеристики		
FPE	0.934333	0.907388
MSE	0.923098	0.892899
Check – Перевірочні дані		
NRMSE,%	98.04	53.07

Як видно з отриманих оцінок модель другого порядку більше відповідає перевірочним даними, ніж модель третього порядку (98,04% проти 53,07%) на підставі цього можна зробити остаточний висновок, що об'єкту керування найбільш відповідає аперіодична ланка другого порядку. На підставі

проведених досліджень отримана модель об'єкта керування у вигляді передавальної функції:

$$W(s) = \frac{0.0175}{(43.039s + 1)(26.33s + 1)}$$

### 3.5 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Графік дійсного значення об'єкта керування накладається на графік моделі об'єкта керування отриманої за допомогою програмного забезпечення "SystemIdentificationToolbox" і на графік моделі об'єкта керування побудованої на базі передавальної функції. Таким чином, модель, отримана в середовищі імітаційного моделювання Simulink, не відрізняється від моделі, отриманої за допомогою програмного забезпечення "SystemIdentificationToolbox"(рис.3.14). Результат моделювання об'єкта керування представлений на рисунку 3.15.



Рисунок 3.14– Модель Simulink об'єкта керування

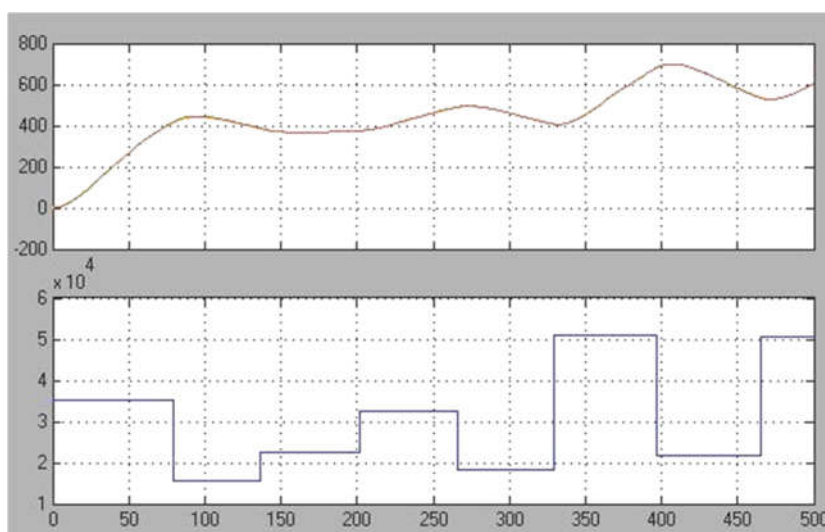


Рисунок 3.15– Результат моделювання об'єкта керування



### 3.6 Перевірка моделі на адекватність

Оцінка відповідності моделі:

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

nrmse =

    98.4117
```

Модель об'єкта керування відповідає перевірочним даними на 98.4117%. Виходячи з цього, модель є адекватною і може бути використаня для моделювання об'єкта керування і системи керування в цілому(рис.3.16).

Результат моделювання представлений на рисунку 3.17.



Рисунок 3.16 – Модель Simulink об'єкта керування

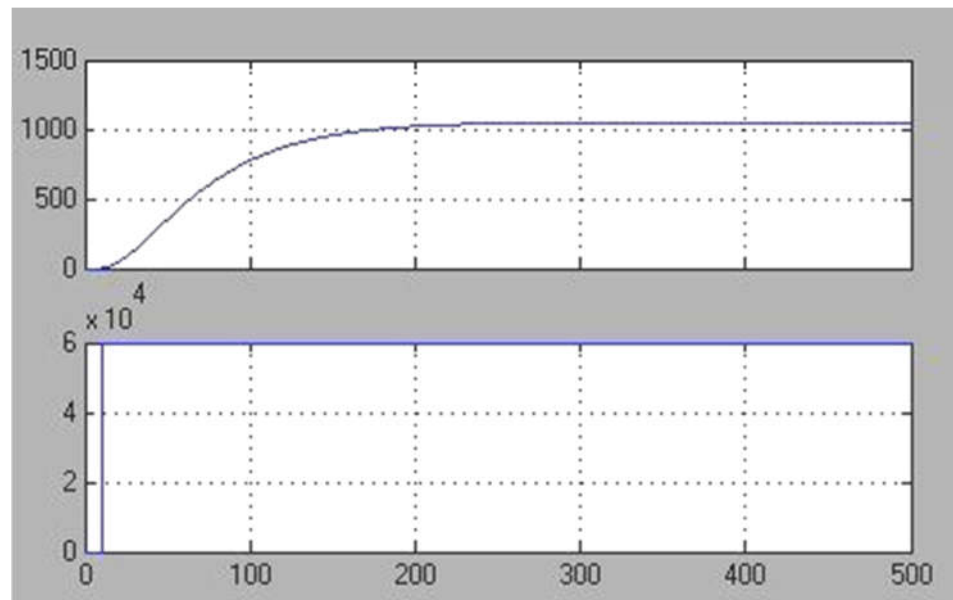


Рисунок 3.17– Результат моделювання

### 3.7 Висновки по розділу

Використовуючи інформацію про особливості роботи камерної печі з вискотним подом та апаратних засобів системи керування було розроблено структурну схему інформаційних потоків дослідницької системи.

Розглядаючи камерну піч, як об'єкт керування по контуру регулювання температури в камері та беручи до уваги розроблену схему інформаційних потоків дослідницької системи був запропонований план активного експерименту.

За результатами ідентифікації об'єкта керування розроблено імітаційну модель камерної печі в графічному середовищі Simulink/MATLAB. Порівняльний аналіз даних отриманих при роботі імітаційної моделі з перевірочними даними показав їх відповідність на 98,41%, тому отримана імітаційна модель є адекватною до об'єкта керування.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

В представленій роботі бакалавра розглядається економічна доцільність розробки та впровадження системи керування нагрівом у камерній печі. Систему керування температурою в камері печі можна використовувати в процесах, що потребують термічної обробки.

Система керування нагрівом у камерній печі має такі переваги:

- підвищує інформативність процесу;
- зменшує витрати енергоносіїв;
- пришвидшує виробничий процес.

Розглянемо питання, що стосується капітальних витрат необхідних на придбання, монтаж та налагодження системи керування та експлуатаційних витрат на цю систему.

Капітальні витрати, необхідні на придбання, монтаж та наладку системи керування нагрівом у камерній печі.

Капітальні витрати становлять:

$$K_{\text{пр}} = C_{\text{об}} + D_{\text{тр}} + M_{\text{мн}} \quad (4.1)$$

де  $C_{\text{об}}$  – витрати на апаратні засоби системи керування;

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

$M_{\text{мн}}$  – витрати, пов'язані з монтажем та наладкою системи.

Витрати на апаратні засоби системи керування зведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вартість комплектуючих системи

№ п/п	Найменування виробів згідно проектних розробок	Кількість	Ціна за од., грн.	Сума, грн.	Транспортні витрати, грн. «Нова пошта»
1.	Контролер VIPA S300	1	28875	28875	220
2.	Кінцевий вимикач A2 S11	2	963,98	1927,96	65
3.	Кінцевий вимикач 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

Витрати на демонтаж, пуск і наладку системи керування зведені в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Витрати на демонтаж, пуск і налагодження системи

№	Професія	Розряд	Чисельність персоналу	Тарифна ставка (грн/год)	Тривалість, годин	Фонд ЗП (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

Таким чином, капітальні витрати разом по всім пунктам дорівнюють:

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

#### 4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на систему керування

Витрати на ремонт обладнання системи керування представлені в таблиці

4.3.

Таблиця 4.3 - Витрати на ремонт обладнання

№	Професія	Розряд	Чисельність персоналу	Тарифна ставка (грн/год)	Тривалість, годин	Фонд ЗП (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

Амортизацію обладнання обчислюємо використовуючи лінійний спосіб:

$$A = P_{\text{ст}} * N_a / 100\%, \quad (4.2)$$

де  $P_{\text{ст}}$  – вартість обладнання (дорівнює капітальним витратам),

$N_a$  – річна норма амортизації.

Таким чином:

$$A = 55161,01 * 20 / 100 = 11032,20 \text{ грн} \quad (4.3)$$

Враховуючи те, що максимальна потужність системи керування складає близько 0,18кВт, споживання електроенергії складе:

$$Z_p = 0.18 * 24 * 365 = 1576.8 \text{ кВт*год}$$

Вартість електроенергії складає

$$V_{\text{ел}} = Z_p * V_{\text{кВт}}, \quad (4.4)$$

де  $Z_p$  – річні витрати електроенергії,

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

Враховуючи, що ціна електричної енергії 2,02 грн/кВт\*год (з ПДВ), отримаємо:

$$V_{\text{ел}} = 1576,8 * 2,02 = 3185,14 \text{ грн} \quad (4.5)$$

Таблиця 4.4 - Експлуатаційні витрати на систему керування

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

### 4.3 Висновки по розділу

Економічний розрахунок показав, що впровадження системи керування камерною піччю та її експлуатація, є дуже витратним: капітальні витрати дорівнюють 55161,01грн; експлуатаційні витрати – 35533,18 грн. Але ці витрати є також необхідними, оскільки впровадження системи керування камерною піччю дозволить підвищити інформативність процесу, зменшити витрати енергоносіїв, пришвидшити виробничий процес.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

В представленій роботі бакалавра розглядається розробка та впровадження системи керування нагрівом у камерній печі.

Камерні печі, як електричні установки при неправильному монтажі і експлуатації можуть служити джерелом небезпеки для обслуговуючого персоналу, тому слід ретельно дотримуватися правил їх монтажу, пуску та експлуатації, запобігаючи небезпеці своєчасним здійсненням необхідних технічних і організаційних заходів.

Камерні печі є в першу чергу пристроями, що працюють під напругою. Тому у всіх випадках при експлуатації цих печей слід дотримуватися загальних правил роботи з електричними установками, а також систематично перевіряти справність лінії постачання печей електроенергією, особливо на ділянках між трансформаторами і печами, справність електричної ізоляції, заземлення кожухів печей і наявність огорожі у неізольованих ділянок струмопідводів.

Камерні печі є також пристроями, що працюють при підвищених температурах і службовцями джерелами теплового випромінювання. Футеровка і теплова ізоляція печей повинні піддаватися систематичному ремонту з тим, щоб не тільки забезпечити проектні техніко-економічні показники їх роботи, підтримувати встановлену температуру на поверхні кожуха, а й виключити можливість аварій, викликаних зносом вогнетривкої кладки.

Печі повинні бути обладнані вибуховими клапанами, справність яких необхідно систематично перевіряти.

Нарешті, деякі печі є джерелом випромінювання в короткохвильовій частині спектра. Слід ретельно перевіряти ущільнення кожухів та оглядових віконць з тим, щоб виключити рентгенівське опромінення персоналу.

Слід зазначити, що в конструкцію сучасних електричних печей закладені численні елементи, правильна установка яких при монтажі печі та підтримання

у справному стані при її подальшій експлуатації забезпечують безпечні умови праці обслуговуючого персоналу.

Необхідно систематично перевіряти справність вузлів конструкції і чітко дотримуватися технічні інструкції по експлуатації печей. У цьому запорука безпечної і високопродуктивної роботи.

## **5.2 Інженерно-технічні заходи з охрани праці**

### **5.2.1 Електробезпека**

Відповідно до ПУЕ приміщення термічного цеху за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відносяться до приміщень особливо небезпечним, так як можливе одночасне зіткнення людини з наявними сполуками металоконструкцій з одного боку і з металевими корпусами електроустаткування з іншого боку і в приміщенні є залізобетонні струмопровідні підлоги [23].

Приміщення цеху термічної обробки має електропостачання у вигляді трифазної мережі з напругою 220/380В (50 Гц) та глухозаземленою нейтраллю. Ця схеми мережі дозволяє використовувати як лінійну (нагрівачі та приводи печі) так і фазну напругу.

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

- періодичний контроль ізоляції;
- забезпечення недоступності струмоведучих частин. Забезпечується установкою захисних огорожень в місцях можливого випадкового дотику;
- застосування захисного занулення. Зумовлено використанням схеми з глухозаземленою нейтраллю і електроустановками напругою до 1000 В змінного струму. Згідно з правилами устрою електричних установок при напрузі 1000 В допустимий опір заземлюючих пристроїв не вище 4 Ом ( $P_d = 4$  Ом);



- застосування захисного відключення. Обумовлено можливим однофазним замиканням на корпус електрообладнання в мережах з глухозаземленою нейтраллю. Пристрої захисного відключення (УЗО) мають високу чутливість і швидкодія. Їх струми спрацьовування досить малі (10 - 30 мА), тому вони реагують як на струми замикання на землю, так і на струми витоку при зниженні опору ізоляції мережі, а їх швидкодія (0,1 - 0,2 с) забезпечує майже миттєве відключення установки.

- Застосування індивідуальних захисних засобів.

### **5.2.2 Захист від шуму та вібрації**

Для робочої зони промислових підприємств рівень звуку не повинен перевищувати 90дБА [24].

Практично всі технологічні обладнання є джерелом шуму і вібрації. Для зниження шуму систематично перевіряють знос труться деталей (шестерень, втулок, роликів і т.д.) вживають відповідних заходів. Гучні механізми встановлюються в звукоізолюючому кожусі.

Для зниження рівня шуму на робочому місці оператора-терміста стіни поста управління заповнені звукоізоляційні сендвіч-панелями ЗПС, що знижує рівень шуму до допустимих значень. Вони складаються з комбінації щільних (гіпсоволокнисті листи) і легких (мінеральна вата і / або штапельне скловолокно) шарів. Вікна поста оператора-терміста складаються з трьох герметичних камер, які забезпечують підвищення звукоізоляції і постійний візуальний контроль об'єкта.

Для зниження рівня вібрації необхідно встановити і усунути причини механічного коливання. В якості запобіжного захисту від вібрації застосовується віброізоляція (зменшення ступеня передачі вібрації від джерела до захищених об'єктів). Для зниження шуму і вібрації кожен апарат встановлений на окремому фундаменті.

В якості засобу індивідуального захисту від вібрацій, що передаються людині через ноги, обслуговуючий персонал носить взуття на товстій гумовій підшві.

### **5.2.3 Інші заходи по техніці безпеки**

До числа заходів з техніки безпеки при експлуатації установок і приладів контролю параметрів технологічного процесу термічної обробки відносяться наступні: при контролі температури - проходи до первинних перетворювачів температури, встановленим в важкодоступних місцях, повинні бути забезпечені оглядовими майданчиками і сходами.

При роботі на електротермічному обладнанні не допускається змішування горючих газів застосовуються під час виготовлення робочої газового середовища з повітрям, щоб уникнути утворення вибухової суміші. Перед введенням в піч робочої газового середовища з неї необхідно попередньо видалити повітря. Для продувки печей необхідно застосовувати інертні гази. Видалення газів володіють різким запахом з робочої зони проводиться місцевими вентиляторами з відсмоктувачами.

Для запобігання вибухонебезпечності ділянку термообробки розділяється від цеху, що не згорає газонепроникної розділової стіною. Проектом передбачається обладнання ділянки газовідводом і вентиляційним пристроєм. У місць завантаження і розвантаження деталей в піч передбачений відсмоктування газів, шкідливих для здоров'я людини.

У нагрівальних індукторів з високочастотними генераторами допускається напруженість поля до 20 в/м. Межа для магнітної складової напруженості поля відповідно до санітарних норм і правил при роботі з джерелами електромагнітних полів (СН 848-70) приймається 5 а/м. Генератор струмів високої частоти встановлюється в окремій звукоізолюваній оболонці.

Надійний спосіб захисту від електромагнітних полів - екранування. Електромагнітне поле послаблюється екраном, внаслідок створення в товщі

його поля з протилежними напрямками. Для екранування використовують матеріал з хорошою електричною провідністю (сталь, мідь, алюміній, латунь) у вигляді листів товщиною не менше 0,5 мм або сітки з осередками не більше 4x4 мм.

### **5.3 Пожежна профілактика**

За вибухонебезпечності приміщення належить до класу В - Па і по пожежонебезпеці до класу П - Па. До цього класу належать приміщення, в яких небезпечні стани не мають місця при нормальній експлуатації, а можливі тільки в результаті аварії або несправності [27].

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

- Ширина коридору - 2,5 м
- Ширина дверей - 1,0 м
- Ширина проходу - 2,0 м.

Для локалізації наслідків короткого замикання на ділянці, в результаті якого може виникнути пожежа, встановлюються швидкодіючі вимикачі. На проєктованій ділянці термообробки в якості вогнегасних засобів застосовуються такі засоби - ОУ-5 та ОХП-10, ПГП-50.

### **5.4 Висновки по розділу**

На основі аналізу шкідливих та небезпечних факторів процесу нагріву у камерній печі були розроблені інженерно-технічні заходи для усунення цих факторів або зменшення їх впливу на обслуговуючий персонал. Також розглянуто питання пожежної профілактики.

## ВИСНОВКИ

Предметом дослідження в кваліфікаційній роботі є процес нагріву у камерній печі. Об'єктом дослідження є автоматизація процесу керування камерною піччю (електропіччю опору). Метою дослідження є підвищення ефективності процесу автоматичного керування температурою в камері електричної печі. В якості об'єкта керування виступає камерна піч з викотним подом.

За результатами аналізу технологічного процесу нагріву металевих виробів при термообробці, структури об'єкта керування – камерної печі з викотним подом та вимог до його функціонування сформовані вимоги до апаратного забезпечення системи керування її функціонування та дослідження об'єкта керування.

Згідно до технологічного процесу, діапазони зміни вимірювальних параметрів та керованих параметрів були обрані датчики та виконавчі пристрої які мають стандартні діапазони вхідних та вихідних сигналів 4÷20 мА та стандартне живлення 24 В. В якості пристрою керування обрано ПЛК VIPA 313-5BF13, через аналогові та дискретні порти вводу та виводу якого забезпечено підключення датчиків та виконавчих пристроїв. Розроблені функціональна схема автоматизації камерної печі з викотним подом та схема електрична принципова системи керування

Використовуючи інформацію про особливості роботи камерної печі з викотним подом та апаратних засобів системи керування було розроблено структурну схему інформаційних потоків дослідницької системи. Розглядаючи камерну піч, як об'єкт керування по контуру регулювання температури в камері та беручи до уваги розроблену схему інформаційних потоків дослідницької системи був запропонований план активного експерименту.

Використовуючи результати ідентифікації об'єкта керування розроблено імітаційну модель камерної печі в графічному середовищі Simulink/MATLAB.

Порівняльний аналіз даних отриманих при роботі імітаційної моделі з перевірочними даними показав їх відповідність на 98,41%, тому отримана імітаційна модель є адекватною до об'єкта керування.

Економічний розрахунок показав, що впровадження системи керування камерною піччю та її експлуатація, є дуже витратним: капітальні витрати дорівнюють 55161,01грн; експлуатаційні витрати – 35533,18 грн. Але ці витрати є також необхідними, оскільки впровадження системи керування камерною піччю дозволить підвищити інформативність процесу, зменшити витрати енергоносіїв, пришвидшити виробничий процес.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тимофеева Л.А., Комарова Г.Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Ч. 2 – 50 с.
2. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 386 с., рис. 38, табл. 10.
3. І.Г.Ткаченко, Ю.Б.Капаціла, Ю.Є. Паливода. Посібник для практичних занять та самостійної роботи студентів за напрямком підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» з професійною орієнтацією на спеціальності 7.05050201 та 8.05050201 «Технології машинобудування» та спеціалізацію «Комп'ютерні технології в машинобудуванні». Тернопіль 2013. – 84с
4. Термічна обробка. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії: URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрична\\_під\\_опору](https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрична_під_опору) (дата звернення 13.05.2022)
5. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія і практика термообробки» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 104 Фізика та астрономія, за освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія» всіх форм навчання / Укладач: Лисенко О.Б. – Кам'янське: ДДТУ, 2019.– 124 с.
6. Технологічне устаткування ливарних, ковальсько-пресових і термічних цехів. Конспект. Розділ 3 Технологічне устаткування термічних цехів URL:[http://amons.com.ua/Subjects/TULKPC/LectureNotes/TULKPC\\_LectureNotes\\_ua-part\\_3.pdf](http://amons.com.ua/Subjects/TULKPC/LectureNotes/TULKPC_LectureNotes_ua-part_3.pdf)
7. Електрична під опору. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії: URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрична\\_під\\_опору](https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрична_під_опору) (дата звернення 13.05.2022)

8. Бурштинський М.В., Хай М.В., Харчишин Б.М. Давачі / М.В. Бурштинський, М.В. Хай, Харчишин Б.М. – 2-ге вид. доповн. – Львів: ТзОВ „Простір М”, 2014. – 202 с.
9. System 300S – VIPA URL: <https://vipa.com.ua/products/control-systems/300s.html> (дата звернення 18.05.2022)
10. Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, Є.А. Коровяка, В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 23 с.
11. Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти НТУ «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, О.О. Конопльова, В.О. Салова, В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 40 с.
12. Стандарт вищої освіти України. Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень. Ступінь вищої освіти бакалавр. Спеціальність 151 Автоматизації та комп'ютерно-інтегровані технології. МОН України. – Київ. – 2018. – 17 с.
13. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [чинний від 2017-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 27 с.
14. ДСТУ 1.5:2015. Правила розроблення. Викладання та оформлення національних нормативних документів оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [чинний від 2017-02-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 61 с.
15. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Уведено вперше ; чинний від 2016-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 17 с.

16. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Система проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Уведено вперше ; чинний від 2010-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2008. – 10 с.
17. ГОСТ 2.710-81. Единая система конструкторской документации. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах / Государственный комитет СССР по стандартам. – Вид. офіц. – [Уведено вперше ; чинний від 1981-07-01]. – М. : Издательство стандартов, 1989. – 17 с.
18. Камнев В.Н. Чтение схем и чертежей электроустановок: Практ. пособие для ПТУ. – 2-е. изд., перераб. и доп. / В.Н. Камнев – М.: Высш. шк. , 1990. – 144 с.
19. Кваліфікаційна робота бакалавра. Методичні рекомендації до виконання здобувачами вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / В.В. Ткачов, О.О. Бойко та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Електрон. Текст. Дані – Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – 29 с. Бойко О.О.
20. 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.
21. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю. М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.
22. Фригер И.В. Термическая обработка сплавов: справочник.– Л.: Машиностроение, 1982. – 304 с.
23. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник /под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Metallurgia, 1981. – 420 с.



24. Долженков И.Е. Основы проектирования термических цехов /И.Е. Долженков, К.Ф.Стародубов, А.А. Спа- сов. –К.: Высшая школа, 1986. - 215 с.
25. Металловедение и термическая обработка стали: справочник: в 3 т /под ред. М.Л. Бернштейна и А.Г. Рах- штадта. – М.: Металлургия, 1983
26. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Харків: Вид-во «Форт», 2017. - 760 с.
27. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку
28. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення.
29. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
30. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою

## ДОДАТОК А – ВІДОМІСТЬ РОБОТИ

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Шифр документу	Примітка
1			<b><u>Документація</u></b>			
2						
3	A4	КФІВС.КВР.151.19СК.05.ПЗ	Пояснювальна записка	62	ПЗ	
4						
5			<b><u>Графічна матеріали</u></b>			
6						
7	A2	КФІВС.КВР.151.19СК.05.Е2	Функціональна схема			
8			автоматизації	1	Е2	
9						
10	A2	КФІВС.КВР.151.19СК.05.Е3	Схема електрична			
11			принципова	1	Е3	
12						
13	A4	КФІВС.КВР.151.19СК.05.Д	Перелік елементів	1	Д	
14						
15		КФІВС.КВР.151.19СК.05.ВДЕ	Носій інформації	1	ВДЕ	
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
			Підп.	Дата	<b>КФІВС.КВР.151.19СК.05.ТП</b>	
Зм.	Арк.	№ докум.			Автоматизація технологічного процесу нагріву у камерній печі. Відомість роботи	Літ.   Аркуш   Аркушів     1   1 Національний ТУ «Дніпровська політехніка», ЕТФ, 151-19ск-1
Розробив		Животович		14.06		
П. конс.		Козарь		15.06		
Н. контр.		Славінський		18.06		

## **ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

## **ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

## ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра  
на тему: “Автоматизація технологічного процесу нагріву у камерній печі”  
здобувача вищої освіти академічної групи 151-19ск-1 Животовича Іллі  
Володимировича

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

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка нової системи керування дозволить зменшити вплив основних недоліків обладнання для термічної обробки, а саме вдосконалити керування камерною електропеччю з викотним подом.

У першому розділі проаналізовані технологічний процес, структура об’єкта керування та вимоги до його функціонування. На підставі чого сформовані вимоги до апаратного забезпечення системи керування її функціонування та дослідження об’єкта керування.

У другому розділі вирішено завдання вибору датчиків та виконавчих пристроїв системи керування. За результатами аналізу вимог до функціонування системи керування, датчиків та виконавчих пристроїв обрано пристрій керування ПЛК VIPA 313-5BF13. На підставі обраного апаратного забезпечення розроблено функціональну схему автоматизації об’єкта керування та схему електричну принципову системи керування.

У третьому розділі, на підставі результатів параметричної та структурної ідентифікації, розроблено імітаційну модель об’єкта керування в графічному середовищі Simulink математичного пакету MATLAB. Порівняння даних отриманих на моделі з перевірочними даними показало їх відповідність на 98,41%. Враховуючи аналіз об’єкта керування, його структури і функціонування та відповідність результатів моделювання, встановлено, що отримана модель є адекватною до об’єкта керування.

Четвертий та п’ятий розділи присвячені розрахунку вартості розробленої системи керування та аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації системи керування камерною електропеччю з викотним подом.

При вирішенні завдань у розділах кваліфікаційної роботи здобувач вищої освіти підтвердив компетенції K01 «Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях»; K02 «Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово»; K04 «Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій»; K05 «Здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел»; K13 «Здатність виконувати аналіз об’єктів автоматизації на основі знань про процеси, що в них відбуваються та застосовувати методи теорії автоматичного керування для дослідження, аналізу

та синтезу систем автоматичного керування»; K14 Здатність застосовувати методи системного аналізу, математичного моделювання, ідентифікації та числові методи для розроблення математичних моделей окремих елементів та систем автоматизації в цілому, для аналізу якості їх функціонування із використанням новітніх комп'ютерних технологій. та інші.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки \_\_\_\_\_ балів при відповідному захисті, а здобувач Животович І.В. присвоєння кваліфікації “бакалавр” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Керівник кваліфікаційної роботи, \_\_\_\_\_  
ст.викл., (підпис)

Козар М.В.

\_\_\_\_\_  
(дата)

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра  
на тему: “Автоматизація технологічного процесу нагріву у камерній печі”  
здобувача вищої освіти академічної групи 151-19ск-1 Животовича Іллі  
Володимировича.

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

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка нової системи керування дозволить зменшити вплив основних недоліків обладнання для термічної обробки, а саме вдосконалити керування камерною електропечю з викотним подом.

В рамках кваліфікаційної роботи проаналізовано технологічний процес, структура об’єкта керування та вимоги до його функціонування. На підставі чого сформовані вимоги до апаратного забезпечення системи керування її функціонування та дослідження об’єкта керування. Обрано апаратне забезпечення, розроблено функціональну схему автоматизації камерної електропечі з викотним подом та схему електричну принципову системи керування. На підставі параметричної та структурної ідентифікації розроблено імітаційну модель об’єкта керування в графічному середовищі Simulink математичного пакету MATLAB. Порівняння даних отриманих на моделі з перевірочними даними показало їх відповідність на 98,41%. Враховуючи аналіз об’єкта керування, його структури і функціонування та відповідність результатів моделювання, встановлено, що отримана модель є адекватною до об’єкта керування.

При цьому для вирішення поставлених завдань використані емпіричні та теоретичні методи дослідження технологічних об’єктів, методи математичної статистики та теорії автоматичного керування.

Досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі відбувається за рахунок використання сучасних засобів та способів автоматизації.

Основними результатами кваліфікаційної роботи є поглиблення і підтвердження студентом теоретичних і практичних знань з обраної спеціальності, набутих при вивченні професійно-орієнтованих дисциплін, вироблення умінь при вирішенні конкретних практичних завдань.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки \_\_\_\_\_ балів при відповідному захисті, а здобувач Животович І.В. присвоєння кваліфікації “бакалавр” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувачем кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 року

### **ВИСНОВОК**

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему “Автоматизація технологічного процесу нагріву у камерній печі”, здобувача вищої освіти, групи 151-19ск-1 Животовича Іллі Володимировича.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає 53 сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichек.com>”. Рівень запозичень у роботі складає \_\_\_\_\_ %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Нормоконтролер,  
асистент,

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Славінський Д.В.

\_\_\_\_\_  
(дата)