

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 бакалавра

студента Кулибаба Роман Володимирович

(П.І.Б.)

академічної групи 151-19-1

(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 процесу керування температурою у муфельній печі

(назва за наказом ректора)

| Консультанти | Прізвище, ініціали | Оцінка за шкалою | | Підпис |
|--|------------------------|------------------|---------------|--------|
| | | рейтинг. | інституційною | |
| Керівник кваліфікаційної роботи | ст.викл. Бойко О.О. | | | |
| Провідний консультант | ст.викл. Бойко О.О. | | | |
| Розробка апаратного забезпечення системи керування | доц. Соснін К.В. | | | |
| 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. Воскобойник Є.К. | | | |

Дніпро
2023

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

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

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавр

студенту Кулибаба Р.В.
(прізвище та ініціали)

академічної групи 151-19-1
(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 процесу керування температурою у муфельній печі
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» № 328-с від 08.05.2023 р.

| 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. | 01.05.2023 |
| Розробка апаратного забезпечення системи керування | Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної. | 10.05.2023 |
| Визначення моделі об'єкта керування | Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність. | 15.05.2023 |
| Економічна частина | Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування. | 25.05.2023 |
| Охорона праці | Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи. | 31.05.2023 |

Завдання видано _____
(підпис керівника)

ст. викл. Бойко О.О.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.05.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії

10.06.2023

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Кулибаба Р.В.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Об'єкт розробки – система автоматичного керування вакуумною муфельною термічною піччю фірми Serthel Industrie VPA 1400, яка використовується на Державному підприємстві «Антонов» (Україна).

Об'єкт дослідження - піч фірми Serthel Industrie VPA 1400 для термообробки авіаційних лопаток для реактивних двигунів, виготовлених зі сплавів металу ВЖМ-4, INC713LC.

Предмет дослідження – математична модель вакуумної муфельної термічною печі Serthel Industrie VPA 1400.

Мета роботи - розробка моделі об'єкта керування для регульованого температури у муфелі, в залежності від потужності електричного нагрівача. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки системи керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення системи керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої системи керування піччю Serthel Industrie VPA 1400 для термообробки авіаційних лопаток для реактивних двигунів.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розроблено інженерно-технічні заходи з охорони праці.

МУФЕЛЬНА ПІЧ, СПЛАВ, ТЕРМООБРОБКА, ЕЛЕКТРИЧНИЙ НАГРІВАЧ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ДАТЧИК, ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ, ДОСЛІДНИЦЬКА СИСТЕМА, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Перелік скорочень | 7 |
| Вступ | 8 |
| 1 Стан питання та постановка завдання | 9 |
| 1.1 Галузь промисловості | 9 |
| 1.2 Виготовлення турбінних лопаток | 11 |
| 1.2.1 Загальні відомості | 11 |
| 1.2.2 Державне підприємство «Антонов» | 12 |
| 1.2.3 Покриття лопатей реактивних двигунів за допомогою процесу термообробки | 13 |
| 1.3 Об'єкт керування | 14 |
| 1.3.1 Загальні відомості | 14 |
| 1.3.2 Характеристика об'єкта керування | 15 |
| 1.3.3 Структура об'єкту керування | 16 |
| 1.3.4 Принцип функціонування об'єкту керування | 17 |
| 1.3.4.1 Загальні відомості | 17 |
| 1.3.4.2 Види термообробки | 19 |
| 1.4 Структурна схема об'єкту керування | 21 |
| 1.5 Формулювання задачі дослідження | 22 |
| 1.6 Висновки за розділом | 23 |
| 2 Розробка апаратного забезпечення системи керування | 25 |
| 2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування | 25 |
| 2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування | 26 |
| 2.2.1 Вибір датчиків | 26 |
| 2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв | 29 |
| 2.2.3 Вибір пристроїв керування | 31 |
| 2.2.4 Вибір джерел живлення | 37 |
| 2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації | 39 |
| 2.4 Розробка схеми електричної принципової | 41 |

| | |
|--|----|
| | 5 |
| 2.5 Висновки за розділом | 43 |
| 3 Визначення моделі об'єкта керування | 44 |
| 3.1 Загальні відомості | 44 |
| 3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи | 45 |
| 3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування | 47 |
| 3.4 Виконання експерименту | 49 |
| 3.5 Обробка результатів експерименту | 52 |
| 3.5.1 Підготовка даних | 52 |
| 3.5.2 Структурна ідентифікація | 54 |
| 3.5.3 Параметрична ідентифікація | 57 |
| 3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink | 61 |
| 3.5.5 Перевірка моделі на адекватність | 63 |
| 3.8 Висновки за розділом | 65 |
| 4 Економічна частина | 67 |
| 4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування | 67 |
| 4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування | 68 |
| 4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення | 69 |
| 4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення | 69 |
| 4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення | 72 |
| 4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат | 73 |
| 4.4.1 Амортизація основних фондів | 73 |
| 4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати | 74 |
| 4.4.3 Відрахування на соціальні заходи | 74 |
| 4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт | 75 |
| 4.4.5 Витрати на електроенергію | 75 |
| 4.4.6 Інші витрати | 75 |
| 4.5 Висновки за розділом | 76 |
| 5 Охорона праці | 77 |
| 5.1 Характеристика об'єкту та умови його експлуатації | 77 |

| | |
|---|----|
| | 6 |
| 5.2 Аналіз шкідливих факторів на робочому місці | 77 |
| 5.3 Висновки | 81 |
| Висновки | 83 |
| Перелік посилань | 86 |
| Додаток А | 89 |
| Додаток Б | 90 |
| Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи | 91 |
| Відгук | 93 |
| Рецензія | 95 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

| | |
|--------|---|
| АСК ТП | - автоматизована систему керування технологічним процесом |
| ОУ | - об'єкт керування; |
| САК | - система автоматичного керування; |
| ПЛК | - програмований логічний контролер; |
| ЕОМ | - електронна обчислювальна машина. |

ВСТУП

Термічна обробка призводить до значних змін мікроструктури та твердості сплавів. Крім того, істотних відмінностей між мікроструктурою і твердістю сплавів після традиційних і автоматизованих процесів термічної обробки не існує.

Процес термічної обробки розглядається як один з важливих методів, широко використовуваних сьогодні для досягнення шуканих механічних властивостей металевих матеріалів і їх сплавів. Процес термічної обробки складається з комбінації операцій, які охоплюють нагрівання та охолодження металів у твердому стані, з метою зміни механічних властивостей металу. Операції, що охоплюються процесом термічної обробки, зазвичай поділяються на кілька основних методів. Головним чином; відпал, нормалізація; Зняття напруги, старіння і загартування. Правильна термічна обробка з прийнятною, отриманою якістю вимагає досягнення і підтримки точного контролю за температурою, часом, що тримається при потрібній певній температурі і швидкості охолодження.

Застосування системи керування призводить до прийнятного розподілу температурного поля в муфельній печі менше ніж 5 °С. Крім того, шляхом застосування системи керування розробляються моделі для визначення режимів термічної обробки деталей зі сплавів в агрегатах безперервного відпалу [8].

Запропонована сучасна система автоматичного керування процесами термічної обробки є надійною і корисною для зниження витрат і часу, що витрачаються в цих процесах.

В кваліфікаційній роботі проводиться розробка нової надійної недорогої розумної системи, необхідної для автоматизації процесу термічної обробки. Ця система замінить існуючу, що зменшить пряму взаємодію з людиною.

Автоматизована система керування для математичної ідентифікації печі включає блок керування, алгоритм, датчик і схему керування. Модель печі була змодельована в MATLAB / Simulink і протестована для різних режимів термічної обробки.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Муфельна піч — це промислова піч, яка має муфель (муфельну камеру), тобто посудину або камеру із зашліфеною кришкою, котрі призначені для захисту виробів, які випалюються чи нагріваються, від прямої дії вогню та продуктів горіння. Муфельна піч використовується для нагрівання різноманітних матеріалів до певної температури. Використовується для плавлення, гартування чи іншої термообробки металів, випалювання керамічних, порцелянових, емальованих виробів, спалювання, сушіння. При заповненні робочого простору печі захисним газом, нейтральним до металу можна забезпечити безокисний нагрів.

Типи муфельних печей. За різними характеристиками муфельні печі розподіляються на різні типи.

За температурою:

- помірні: 100...500 °С;
- середні: 400...900 °С;
- високі: 400...1400 °С;
- надвисокі: 400...2 000 °С.

За типом нагрівання:

- електричні;
- газові.

За захисним режимом обробки:

- повітряні.

Із захисною газовою атмосферою

- вакуумні.

За будовою:

- вертикального завантаження;
- горизонтального завантаження;
- ковпакові;
- трубчасті.

Муфель є невід'ємною частиною печей термічної обробки, що використовуються для загартування, відпустки, пайки, відпалу, карбонітування, загартування, гіпергасіння, спікання, яскравого відпалу або інших подібних промислових процесів. Під час цих обробок муфель може піддаватися інтенсивним тепловим, механічним або хімічним навантаженням через активну атмосферу всередині печі. Муфельні печі можуть бути коробчатими або циліндричними. Найпоширеніші печі мають паралелепіпедну камеру, хоча печі з арочним або склепінчастим дахом також поширені. Крім того, ми також можемо знайти перекидну трубку, відкриті та роторні печі.



Рисунок 1.1 - Коробчата муфельна піч



Рисунок 1.2 - Циліндрична муфельна піч

Внутрішня частина роторних печей оснащена ретортою, найважливішим елементом печі, який ізолює атмосферу і створює транзитний рух деталі, як правило, до відпустки. Аналогічно муфелю в конвеєрних печах, активна атмосфера в деяких камерних печах повинна міститися в металевому муфелю. Теплове напруження, що утворюється в зонах нагрівання і швидкого охолодження, вимагає особливих пристосувань, а також комбінацій сплавів, придатних для цього складного середовища [1].

1.2 Виготовлення турбінних лопаток

1.2.1 Загальні відомості

Потреба турбінних лопаток виникла в середині минулого століття у зв'язку з розробкою газотурбінних двигунів для реактивних літаків, які здійснили революційний прорив у літакобудуванні.

У камери згоряння газотурбінного двигуна подаються газ і стиснене повітря (під тиском 6...7 атм.), потік розпечених газів, що утворюються, обертає турбіну і, виходячи через сопло, створює реактивну рушійну силу, при цьому, чим вище температура спалювання палива, тим вище потужність двигуна.



Рисунок 1.3 - Турбінні лопатки

У процесі експлуатації турбінні лопатки повинні витримувати механічну дію газів, що обертають турбіну, не втрачаючи механічних властивостей при тривалому впливі високих температур. В даний час температура газів на вході в турбіну становить 1 627° С), а теоретично можлива може досягати 1 927 °С.

Лопатки, що працюють в умовах впливу таких високих температур, виготовляють з нікелевих сплавів, де основним носієм жароміцності є субмікроскопічні частинки інтерметалічної фази на основі сполуки Ni_3Al . Як легуючі елементи до складу сплаву вводять: 6 % алюмінію, 6...10% вольфраму, танталу, ренію і трохи рутенію.

Для охолодження лопаток, з метою продовження їх терміну служби, було придумано розміщувати в них поздовжні канали для подачі охолоджуючого повітря, від компресора.

Для більш ефективного охолодження в конструкції лопаток є каналами складної конфігурації з вихідними отворами, що забезпечують виникнення тонкої повітряної плівки навколо лопатки, виключаючи зіткнення розпечених газів з матеріалом лопатки, що виключає нагрівання лопатки та охолодження газів, що відходять, і як результат, підвищує ефективність двигуна.

Виготовлення лопаток здійснюють методом лиття за моделями, що виплавляються. Існуючі на сьогоднішній день технології дозволяють отримувати литу заготовку, що не вимагає механічної обробки, передбачається тільки шліфування і нанесення захисного покриття. Це особливо важливо, тому що нікелеві сплави для лопаток практично не піддаються механічній обробці.

Охолодні канали формують керамічними стрижнями. Раніше для їх виробництва використовували оксид кремнію, зараз віддають перевагу оксиду алюмінію (Al_2O_3), що має високу температуру плавлення – $2\ 050^\circ C$ [5].

1.2.2 Державне підприємство «Антонов»

Державне підприємство «Антонов» (Україна), основною сферою діяльності якого є вантажні авіап перевезення, а також розробка, виробництво та ремонт літаків серії «Ан», постійно поліпшує свою продукцію, створює нову.

Наразі є гостра потреба в модернізації технологічного обладнання, для проведення досліджень з розробки нових компонентів, яке використовуватиметься для виробництва деталей авіаційних двигунів, зокрема робочих лопаток першого та другого ступенів турбіни високого тиску двигунів «ВІ-28».

Контроль монокристалльної структури кожної виливки проводиться двічі – до і після термічної обробки.

Одним з насущних завдань є розробка системи керування вакуумною термічною піччю фірма Serthel Industrie VPA 1400 (Бельгія), яка використовується для термообробки виливків зі сплаву «ВЖМ-4» та INC713LC.

Температурна обробка виливків зі сплаву «ВЖМ-4» та INC713LC повинна забезпечувати можливість виконання режимів високотемпературної обробки деталей з високим ступенем вакууму [2].

1.2.3 Покриття лопатей реактивних двигунів за допомогою процесу термообробки

Серед модульних промислових муфельних печей є печі, які призначені для покриття лопатей реактивних двигунів за допомогою процесу термообробки обробки, який називається алюмінізуючим, також відомим як VPA.



Рисунок 1.4 – Технологічне обладнання для високотемпературної обробки деталей

Цей процес дозволяє проводити почергові цикли термообробки в єдиній високотемпературній печі.

Перевагою цього алюмінізуючого процесу є можливість подвоїти виробництво, розділяючи цикли термообробки та охолодження навантажень, що призводить до неперевершеної рентабельності інвестицій. Вантажі поміщаються в ящики під герметичним розтрубом, в якому проводиться алюмінізуюча обробка під захисним газом.

Технологічне обладнання складається з:

- корпус для алюмінізаційної обробки;
- високотемпературна піч;
- зона підготовки та розвантаження вантажів;
- обмежена охолоджувальна камера;
- система керування.

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальні відомості

У кваліфікацій роботі бакалавра в якості об'єкту керування була обрана вакуумна термічна піч.

До найбільш поширених термічних обробок відносяться загартування корпусу, карбонітування, відпустка, відпал і процес. До кожної обробки пред'являються різні вимоги – термічні в зоні нагріву і механічні в зоні, де розміщуються деталі для термообробки.

У купольних печах матеріал, що підлягає обробці, може бути завантажений на легкодоступні контейнери.

Два захисні кожухи, які використовуються для герметизації простору деталей з захисним газом (інертний газ, вакуум), відокремлюючи його від нагрітого простору, можуть бути встановлені на основу за допомогою мостового крана, рухомого козлового крана або інших рішень. Нерухомі основи на які встановлюють захисні, нагрівальні / охолоджуючі куполи. Це забезпечує більш короткий час обробки за рахунок їх послідовного використання на одному і тому ж обладнанні. Крім того, купольні печі пропонують недорогий метод термічної обробки, якщо використовувати його з кількома послідовними печами. Таким чином, купольна піч складається з: двох кожухів, оснащеними вентилятором, два захисних кожуха, що відокремлюють деталі від опалювального простору; охолоджуюча кришка, що забезпечує швидке охолодження після термообробки. За допомогою такого роду печей термообробки можуть проводитися на широкому спектрі матеріалів завдяки використуваним захисним атмосферам [4].

1.3.2 Характеристика об'єкта керування

Вакуумна термічна піч фірми Serthel Industrie VPA 1400 показана на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 - Вакуумна муфельна термічна піч VPA 1400

Вакуумна термічна піч фірми Serthel Industrie VPA 1400 має наступні основні характеристики:

| | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Модель | VPA1400; |
| Конфігурація | муфельна секційна піч, купольна; |
| Атмосфера | вакуум, азот, аргон; |
| Тиск газу | 20...200 Па; |
| Матеріал, що покривається | ВЖМ-4, INC713LC т.п. |
| Дифузійне покриття алюмінію | метод «Out of Pack»; |
| Звичайна товщина покриття | 40...70 мкм |

| | | | |
|--------------------------------|-------------|--|-------------------------------|
| Джерело тепла | | електроенергія, 100 кВт (~380 В); | |
| Інші характеристики | | промислові, вертикальні, для аеронавігаційних застосувань | |
| Температура | номінальна | 1 050 °С | (1 922 °F) |
| | мінімальна | 400 °С | (1 472 °F) |
| | максимальна | 1 150 °С | (2 102 °F) |
| Стабільність регулювання | | ± 5 °С; | |
| Переміщування гарячого повітря | | спеціальний вентилятор, 2,4 кВт (~380 В); | |
| Вакуумна установка | | 5,6 кВт (~380 В); | |
| Об'єм муфеля | | 3 м ³ | (105,9 ft ³) [3]. |

1.3.3 Структура об'єкту керування

Купольний тип печі являє собою різновид муфельної печі для загартовування сплавів металу. Конструктивною особливістю обладнання є наявність муфелю. Він захищає оброблюваний матеріал від безпосереднього впливу на нього продуктів нагріву, ще може бути з вакуумом або інертним газом. Як правило, муфель - це знімна конструкція. Принцип роботи печі купольного типу полягає в тому, що муфель з продуктами для термічної обробки поміщається в опалювальну піч. Він може поміщатися навіть у розігріту піч. Час і температурний режим обробки залежить від виду виконуваного технологічного процесу, а також типу сплаву деталей, що піддається термообробці. Після цього муфель знімається, а деталі охолоджуються.

На рис. 1.6 Представлена структурна схема вакуумна купольна муфельна піч Serthel Industrie VPA 1400 з розташуванням датчиків і виконавчих пристроїв.

На об'єкті розташовані наступні датчики:

- датчик температури в муфеля;
- датчик температури нагрівача;
- датчик вакууму;

На об'єкті розташовані наступні виконавчі пристрої:

- електричний нагрівач;

- вентилятор;
- вакуумна установка.

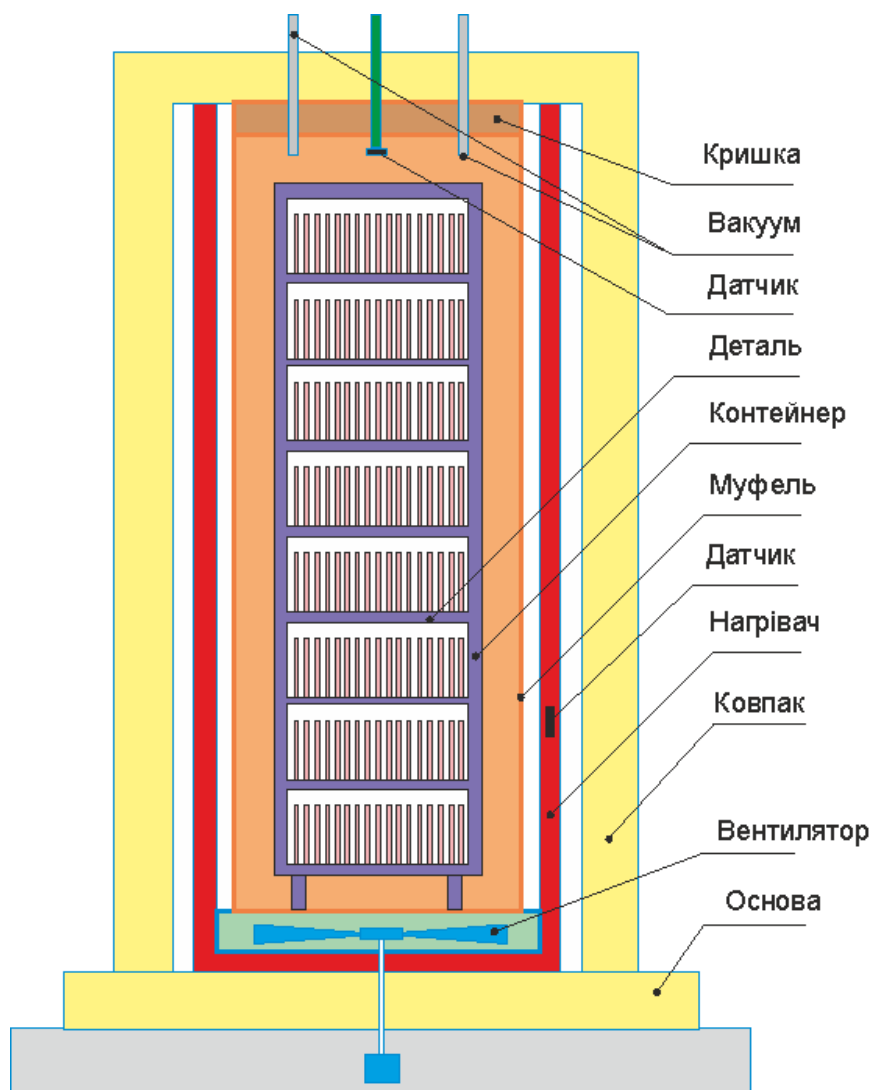


Рисунок 1.6 – Вакуумна купольна муфельна піч Serthel Industrie VPA 1400

1.3.4 Принцип функціонування об'єкту керування

1.3.4.1 Загальні відомості

Температура нагрівання залежить від виду процесу та складу оброблюваного сплаву (марки матеріалу) і визначається відповідно до діаграми стану сплавів. При випалу, нормалізації і загартуванні цей параметр вибирається вище точок фазових перетворень ($T_{ФП}$). У деяких сплавів у процесі перших двох видів термообробки (ТО) розігрів здійснюється при великих значеннях температур необхідних для структурних трансформацій. Нагрівання ж при загартуванні вони проводять вище

точки видозмін. У всіх випадках це підвищення становить 30...50 °С від потрібних величин.

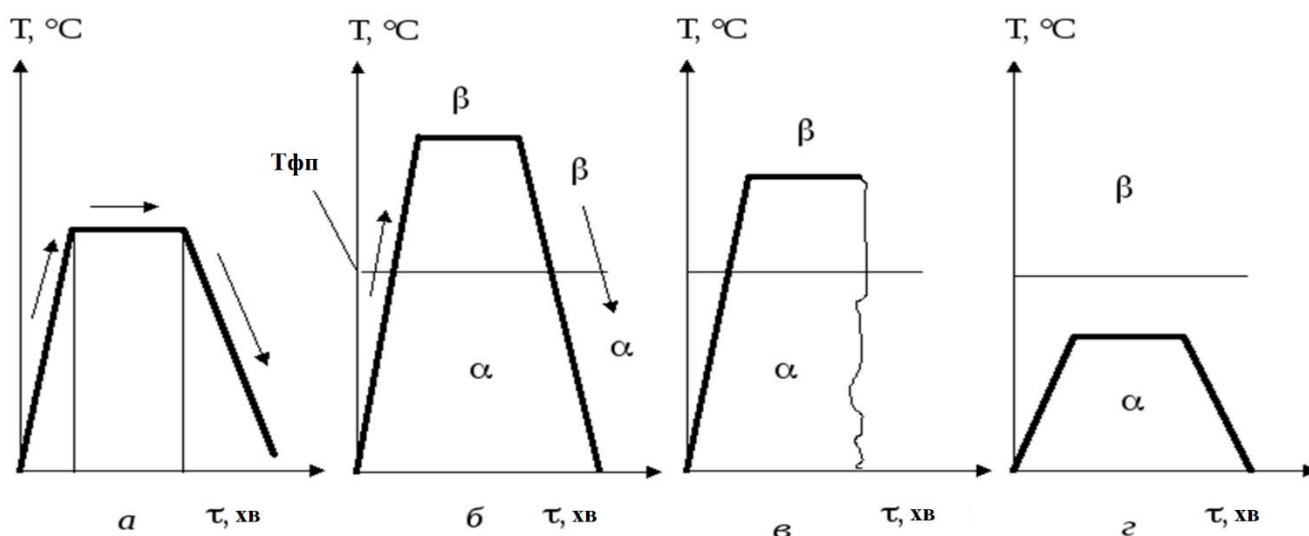


Рисунок 1.7 - Термограми основних видів термічної обробки:

а – загальна схема; б – випалу; в – загартування; г – відпустка

Продолжительность ТО складається із часу нагріву до заданої температури і часу витримки при ній.

Величина τ_n залежить від називаючої здатності середовища, розмірів та форми деталей, їх укладання в печі; $\tau_{\text{вит}}$ – крім перерахованих факторів, ще й від швидкості фазових перетворень, яка визначається ступенем перегріву вище за критичні точки та дисперсністю вихідної структури.

Швидкість охолодження деталей після часу витримки визначається згідно з діаграмою ізотермічних перетворень залежно від наміченої структури або механічних характеристик оброблюваного сплаву. За заданою маркою сплаву вибирається діаграма ізотермічного переходу твердого розчину, за якою згідно з необхідною твердістю на готовій деталі, визначається тип процесу термообробки та встановлюється середовище (швидкість) охолодження. Остання залежить від середовища, форми виробу та теплопровідності сталі. Охолоджувальну здатність середовища оцінюють швидкістю охолодження в областях температур (650...550 °С).

Визначивши три основні параметри термічної обробки конкретних виробів з певних марок сталей, можна розпочати проектування її технологічного процесу

цих деталей. У техпроцесах додатково можуть бути обумовлені окремі пристрої для завантаження виробів у піч, дано додаткові вимоги щодо режимів охолодження, допустимих деформацій і так далі. Ці умови повинні виконуватись у технологічному процесі додатковими заходами [6].

1.3.4.2 Види термообробки

1. Відпал I роду можливий будь-яких сплавів. При його проведенні не реєструється жодних фазових перетворень у твердому стані. Нагріванням частково або повністю усувається хімічна неоднорідність, зменшуються внутрішні напруження та виходить рівноважний стан (структура) з максимальною пластичністю та мінімальною міцністю. Це термічна операція, що складається з нагрівання та подальшим повільним охолодженням разом із піччю. Швидкість охолодження при цьому найменша і становить близько $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Розрізняють такі різновиди відпалу 1 роду:

- дифузійний (гомогенізуючий) для усунення хімічної неоднорідності, що утворилася при кристалізації сплаву: режим нагріву до $1\ 050\dots 1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{вйд.}} - 8\dots 10\text{ г}$; гомогенізуючий відпал піддають в основному леговані сталі;
- рекристалізований застосовують після холодної пластичної деформації для отримання рівноважного стану сплаву та відновлення його пластичності: температура $680\dots 730\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{виг.}}$ – залежить від товщини перерізу та складає $25\dots 30\text{ хв}$.
- для зняття напруги, що виникають при куванні, зварюванні та литті: відпал здійснюють при $400\dots 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ з витримкою $2,5\text{ хв}$ на 1 мм товщини перерізу; проводять для деталей із вуглецевої сталі.

2. Відпал II роду – нормалізація. Так називають відпал металів і сплавів, що зазнають фазових перетворень при нагріванні ($760\dots 1040\text{ }^{\circ}\text{C}$) та охолодженні. Дану термічну обробку проводять для сплавів, в яких є поліморфні перетворення, а також може бути змінною розчинність у твердому стані; основне його призначення

- повніша зміна фазового складу; зі зменшенням міжпластинчастої відстані твердість та міцність підвищуються, а пластичність знижується.

Залежно від температури нагрівання розрізняють повний та неповний відпал. Повний відпал - вироби нагрівають до температури (830...1 040 °С), що забезпечує повну перекристалізацію початкової структури; при охолодженні сталь матиме дрібнозернисту структуру.

Неповний відпал (760...820 °С) застосовують у випадках, коли необхідно лише зниження твердості.

3. Загартування, як і відпал II роду, здійснюється тільки сплавів, що мають фазові перетворення у твердому стані. Мета процесу загартування – це отримання структур високої міцності та твердості. Головна відмінність цього типу загартування швидке охолодження. Тобто для отримання необхідної структури деталі остуджують її із різною швидкістю. Охолодження після загартування можна проводити у двох середовищах: мінеральній олії та воді. В олії швидкість охолодження сталей становить близько 100 °С/с; швидкість охолодження сплавів у воді становить 450...1 000 °С/с. Сплав миттєво остигає до температур нижче 200 °С. Різде охолодження створює в металі великі внутрішні напруги. Під їхньою дією в структурі виникають зсувні деформації. У площині зміщення рухливість ядра сильно підвищується, у цьому місці спостерігається перебудова початкової решітки, але для повної зміни структури необхідне глибше охолодження до негативних температур.

4. Відпустка або старіння полягає в нагріванні до температур нижче точки фазових перетворень (727 С), витримці при цьому параметрі, тривалістю, що забезпечує дифузійні трансформації відповідно до цих умов, в залежності від габаритів і товщини деталі, і охолодженні переважно на повітрі, так як швидкість охолодження не впливає формування структури. Метою відпустки є часткове розкладання гартувальних структур, зняття внутрішньої напруги, підвищення пластичності та зменшення твердості. Цей вид термічної обробки застосовується лише до загартованих сплавів, що знаходяться в термодинамічно нестійкому стані. Тому при подальшому розігріванні сплав прагне до більш стабільного стану. В

результаті його зменшується внутрішня напруга, сплав переходить у більш рівноважний стан. Відпустка є остаточною термічною обробкою.

При високотемпературній відпустці розпад гартової структури що протікає з високою швидкістю, повніше знімаються внутрішні напруження, підвищується пластичність, знижуються міцність і твердість. Нагрів при високотемпературній відпустці проводять до 450...650 °С. При відпустці необхідно враховувати, що процес протікає значно повільніше, тому що при низьких температурах розігрів здійснюється головним чином конвекцією, а не променевипусканням.

5. Загартування у поєднанні з високою відпусткою називається термо-покращеннями і застосовується для обробки відповідальних деталей, які після термо-покращення добре працюють при ударних та знакозмінних навантаженнях.

Структури відпустки на відміну однойменних структур загартування мають зернисту, а не пластинчасту форму. Ця зміна конфігурації покращує багато властивостей сплавів. При однакових значеннях твердості, меж міцності і плинності сплав з відпускними структурами має більш високі значення відносного звуження і коефіцієнт ударної в'язкості, а також опір руйнуванню втоми, ніж сплав з аналогічними будовами загартування. У той же час при рівних величинах пластичності і в'язкості сплав після гарту і відпустки має найбільшу міцність [7].

1.4 Структурна схема об'єкту керування

Купольна піч Serthel Industrie VPA 1400 призначена для термообробки деталей (авіаційних лопаток для реактивних двигунів), виготовлених зі сплавів металу ВЖМ-4, INC713LC.

Конструктивною особливістю обладнання є наявність муфелю у якому розміщуються контейнер з деталями для термообробки, який захищає оброблювані деталі від безпосереднього впливу на нього продуктів нагріву. Муфель знімна краном конструкція, об'ємом 3 м³.

Принцип роботи печі купольного типу полягає в тому, що муфель з продуктами для термічної обробки поміщається в опалювальну піч. Час і температурний режим обробки деталей, у діапазоні температур 400...1 150 °С з

точністю ± 5 °С, залежить від виду виконуваного технологічного процесу, а також типу сплаву деталей, що піддається термообробці. Після цього муфель знімається, а деталі охолоджуються.

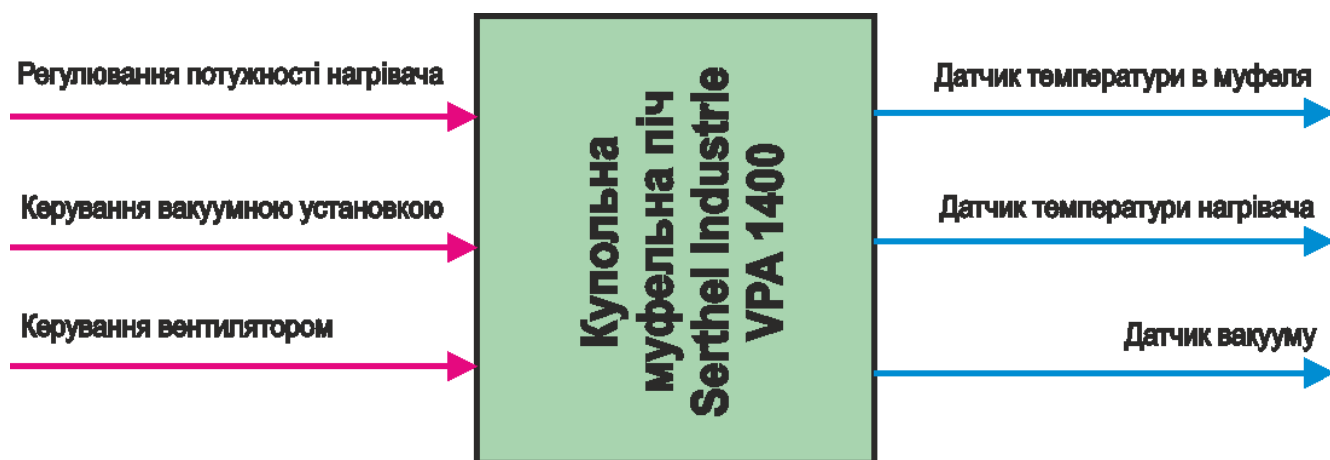


Рисунок 1.8 – Структурна схема об'єкту керування

Джерелом тепла є електроенергія потужністю 0...100 кВт (~ 380 В).

Атмосфера у муфелю може бути з азоту або аргону з тиском 20...200 Па (вакуум).

Переміщення повітря між муфелем і нагрівачем здійснюється спеціальним вентилятором 2,4 кВт (~ 380 В).

Режим заданого ступеню вакууму забезпечуються вакуумною установкою 5,6 кВт (~ 380 В).

1.5 Формулювання задачі дослідження

Система керування купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 має підтримувати заданий температурний режим у муфелі, каналом керування є «потужність електричного нагрівача – температура у муфелю».

Основним збурючим факторами є коливання напруги джерела живлення електричного нагрівача.

Маємо наступні показники:

- джерело тепла: електроенергія, 100 кВт (~ 380 В);
- температура у муфелю 400...1 150 °С (± 5 °С).

Система керування купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 має відповідати вимогам технологічного процесу, наведеного раніше при його огляді і обов'язково бути виконана за допомогою стандартних компонентів, які мають відповідні сертифікати відповідності.

1.6 Висновки за розділом

Об'єктом керування виступає купольна піч Serthel Industrie VPA 1400, яка використовується на Державному підприємстві «Антонов» (Україна), основною сферою діяльності якого є вантажні авіап перевезення, розробка, виробництво та ремонт літаків серії «Ан», яке постійно поліпшує свою продукцію, створює нову авіаційну продукцію.

Система керування купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 призначена для модернізації технологічного обладнання, необхідного для проведення досліджень з розробки нових компонентів деталей авіаційних двигунів, зокрема робочих лопаток першого та другого ступенів турбіни високого тиску для двигунів «ВІ-28».

Автоматизація печі Serthel Industrie VPA 1400 включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію. Експлуатація печі Serthel Industrie VPA 1400 повинна забезпечувати надійне і ефективне її використання і безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу. Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Автоматизація роботи піччю Serthel Industrie VPA 1400 повинна здійснюватися за такими основними параметрами:

- підтримка заданого режиму термообробки;
- підтримка заданого ступеню вакууму.

Для коректної роботи технологічного обладнання з модернізованою системою керування треба мати математичну модель самого об'єкта технологічного обладнання, працюючого у допустимих технологічних межах, яка

у наступному має бути використана при синтезі нової системи керування цим технологічним обладнанням.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування - купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 для регульованої температури, в залежності від потужності електричного нагрівача. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра в якості об'єкту керування була обрана купольна піч Serthel Industrie VPA 1400 призначена для термообробки деталей - авіаційних лопаток для реактивних двигунів, виготовлених зі сплавів металу ВЖМ-4, INC713LC (Державне підприємство «Антонов», Україна).

Конструктивною особливістю обладнання є наявність муфелю у якому розміщуються контейнер з деталями для термообробки, який захищає оброблювані деталі від безпосереднього впливу на нього продуктів нагріву. Муфель знімна краном конструкція.

Принцип роботи печі купольного типу полягає в тому, що муфель з продуктами для термічної обробки поміщається в опалювальну піч. Час і температурний режим обробки деталей залежить від виду виконуваного технологічного процесу, а також типу сплаву деталей, що піддається термообробці. Після цього муфель знімається, а деталі охолоджуються.

Джерелом тепла є електроенергія, атмосфера у муфелю є розрідженою у азоті або аргоні, яка забезпечується вакуумною установкою, а перемішування повітря між муфелем і нагрівачем здійснюється спеціальними термостійкими лопатями вентилятору.

До складу структури системи керування входять наступні сигнали.

Вхідні сигнали:

- датчик температури в муфелі: аналоговий, 0...1 200 °C (± 5 °C);
- датчик температури нагрівача: аналоговий, 0...1 200 °C (± 5 °C);
- датчик вакууму: аналоговий, 20...200 Па ($\pm 0,5\%$);

Вихідні сигнали керування:

- електричний нагрівач: пропорційний, 0...100 кВт (~380 В);
- вентилятор: дискретний, 2,4 кВт (~380 В);
- вакуумна установка: дискретний, 5,6 кВт (~380 В).

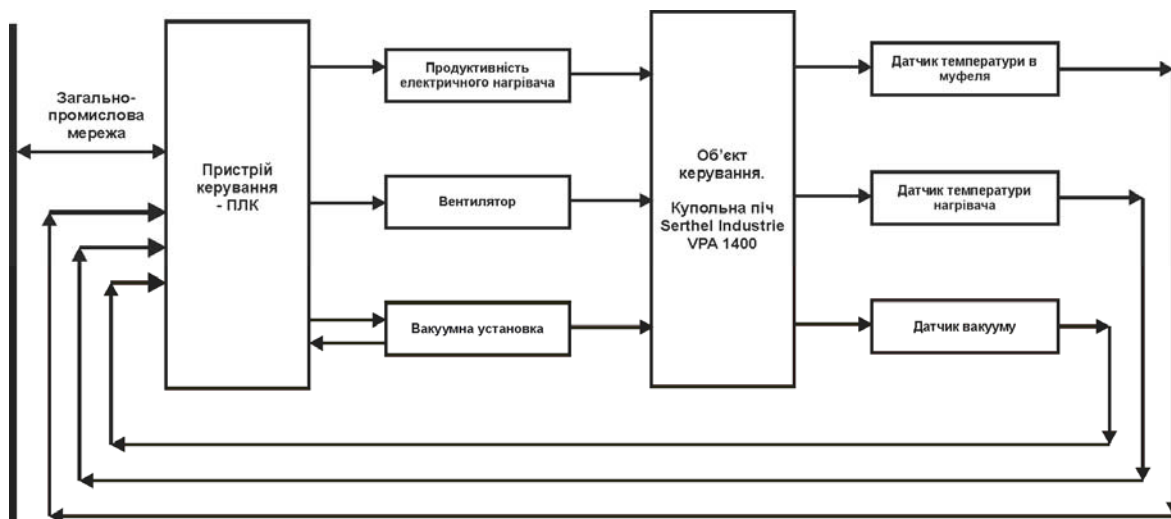


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування

Система керування купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 має підтримувати заданий температурний режим у муфелі, каналом керування є «потужність електричного нагрівача – температура у муфелю». Основним збурючим факторами є коливання напруги джерела живлення електричного нагрівача. Маємо наступні показники:

- джерело тепла: електроенергія, 100 кВт (~380 В);
- температура у муфелю 400...1 150 °С (± 5 °С).

Вибір пристроїв автоматизації для побудови системи керування необхідно робити на основі серійних засобів автоматизації. Якщо є можливість, то необхідно вибирати з пристроїв, вироблених в Україні, або які вже поставляються в Україну.

Вибір приладів буде проводитися відповідно до необхідного діапазону вимірювань.

2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування

Датчики слід обирати відповідно до переліку вхідних сигналів, параметри яких треба вибирати у розширеному діапазоні можливих змін.

2.2.1 Вибір датчиків

Для вимірювання температури в муфелі та температури нагрівача: у діапазоні 0...1 400 °С (± 5 °С) використаємо модель з використанням високотемпературної

термопари, що виконана з КТМС і захисного газощільного керамічного чохла з кераміки С799.

Датчик застосовується для вимірювання температури газоподібних і повітряних середовищ. Перетворювач сигналу в 4...20 мА або RS-485 (протокол T-bus або ModBus). Для уникнення перегріву перетворювача рекомендовано використовувати окремий корпус Z67 з гермовведеннями і підключатись до датчика по термокомпенсаційному кабелю [8].

Модель 1-29 не є високотемпературною по всій довжині, тому в гарячій зоні повинна знаходитись лише дійсно необхідна високотемпературна частина. Для забезпечення даної умови іноді необхідно замовляти більш довшу монтажну чи зовнішню частину, щоб вивести вразливу частину ТП з «гарячої» зони. Температура біля головки не повинна перевищувати 300 °С, у місці переходу з звичайної сталі (321S) на кераміку - не більш 800 °С. Головка забезпечує захист IP54 тільки до 120°С.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчику температури ТПП-1-29-S-1-И-1000-400-С799-12-0,35-А-/0...1400/-Exd-КА

| № | Найменування параметра | Значення |
|----|--|---|
| 1 | Тип | ТПП (S, R) |
| 2 | Номінальний діапазон вимірювання, °С | 0...1 400 |
| 3 | Принцип вимірювання | КТМС сплав Microbel |
| 4 | Точність, °С | 5 |
| 5 | Вихідний сигнал, мА | 4...20 |
| 6 | Живлення, В (Вт) | 12...30 (1,5) |
| 7 | Потужність споживання, Вт | 2 |
| 8 | Показник інерції, с | 60 |
| 9 | Матеріал корпусу | Н/ж сталь 12Х18Н10Т (АISI 321S) |
| 10 | Довжина монтажної частини (робочої), L, мм | 320 (250), 400 (250), 500 (320), 600 (400), 800 (400), 1000 (400), 1000 (800), 1250 (800), 1500 (800) |



Рисунок 2.2 – Датчик температури ТПП-1-29-S-1-И-1000-400-С799-12-0,35-А-/0...1400/-Exd-КА

Для вимірювання розрідження у діапазоні 20...200 Па ($\pm 0,5\%$) використаємо датчик тиску Метран 100 дв - датчик розрідження тиску, що вимірює вакуумметричний тиск. В якості опорного тиску використовується атмосферне. Інтелектуальні датчики тиску серії Метран-100 призначені для вимірювання і безперервного перетворення в уніфікований аналоговий струмовий сигнал і/або цифровий сигнал у стандарті протоколу HART, або цифровий сигнал на базі інтерфейсу RS-485.

Датчики призначені для вимірювані середовища: рідини, пара, газ, в т. ч. газоподібний кисень і кисневмісні газові суміші; харчові продукти.

Мінімальний вимірюваний тиск 0...0,04 кПа, основна похибка вимірювань: до $\pm 0,1\%$ від діапазону [9].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчик тиску Метран 100 дв

| № | Найменування параметра | Значення |
|---|--------------------------------------|------------------------|
| 1 | Тип | Комплексне вимірювання |
| 2 | Діапазон вимірювання, Па | 20...1024 |
| 3 | Похибка вимірювання, % від діапазону | $\pm 0,1\%$ |
| 4 | Частота відгуку, Гц | 0,1 |
| 5 | Живлення, В (Вт) | 12...24 (1,5) |
| 6 | Потужність споживання, Вт | 4 |
| 7 | Діапазон температур, °С | -40 до 85 |
| 8 | Вихідний сигнал, мА | 4...20 |



Рисунок 2.3 – Датчик тиску Метран 100 дв

На підставі обраних датчиків та їх технічних характеристик складена табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Датчики

| № | Назва параметру | Принцип дії | Тип | Діапазон зміння | Точність | Значення виходу | Період оновлення | Напруга живлення | Потужність споживання, |
|---|-----------------------|------------------------|------------|-----------------|----------|-----------------|------------------|------------------|------------------------|
| 1 | Температура в муфелі | Термопара | Аналоговий | 0...1400 °С | ±5 °С | 4...20 мА | 0,1 с | 12...30 В | 1,5 |
| 2 | Температура нагрівача | Термопара | Аналоговий | 0...1400 °С | ±5 °С | 4...20 мА | 0,1 с | 12...30 В | 1,5 |
| 3 | Розрідження в муфелі | Комплексне вимірювання | Аналоговий | 20...1024 Па | ±0,1 % | 4...20 мА | 0,1 с | 12...30 В | 1,5 |

2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

Для керування електричний нагрівачем з пропорційним керуванням використовуємо тиристорні промислові джерела живлення серії Autonics DPU, які призначені для регулювання параметрів електроживлення і застосовуються в різних промислових технологічних процесах.

Завдяки малому опору тиристорів у відкритому стані, всі наявні моделі регуляторів потужності серії Autonics DPU мають компактні розміри, виділяють мінімальну кількість тепла і, для більшої надійності, забезпечені вбудованим вентилятором охолодження [10].

У товарній номенклатурі регуляторів потужності серії Autonics DPU представлені моделі виробів, що працюють від мереж змінного струму з напругою в діапазоні від 110 В - до 440 В, для навантажувального струму від 25 А до 600 А.

Вхідна змінна напруга може бути одне - або трьох-фазним.

Комунаційний інтерфейс регуляторів потужності серії Autonics DPU - RS485. Значення контрольованих параметрів і їх установка відображаються на крупній LED-панелі.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики DPU

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| Серія | DPU | |
| Кількість фаз | 1 фаза | 3 фази |
| Напруга | 110/220/380/440 В~ | |
| Діапазон відхилення напруги | 90–110 % | 85–115 % |
| Частота | 50/60 Гц ±2 Гц | |
| Мин. струм навантаження | 1 А | |
| Діапазон виходу | Фазове управління: 5–98 %. Циклічне керування: 0—100 % | |
| Навантаження | Фазове керування: резистивне навантаження, індуктивне навантаження. Дискретне, циклічне керування: резистивне навантаження | |
| Вхід керування | Автомат. управл.: 4–20 мА=0–20 мА=0–5 В=1–5 В=0–10 В=імпульс напруга (0/12 В=) /вхід зв'язку (RS485). | |
| Умови зберігання і експлуатації | Температура | -10...+50 °С, зберігання: -20...+80 °С |
| | Вологість | 5–90 % відносної вологості |

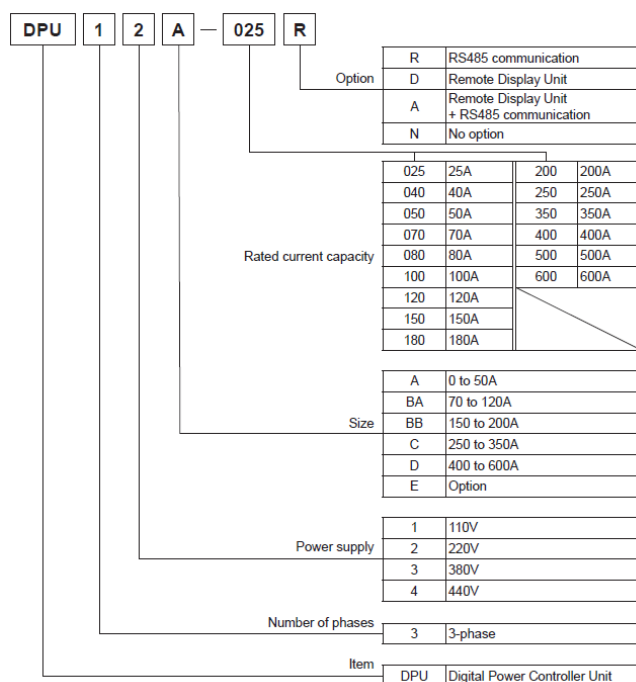


Рисунок 2.4 – Тиристорні промислові джерела живлення Autonics DPU

У нашому випадку для керування керованими зонами нагріву з пропорційним керуванням будемо використовувати тиристорне промислове джерело живлення Autonics DPU 33C025R (3x380 В, 25 А).

Для керування вентилятор (2,4 кВт, ~380 В) та вакуумною установкою (5,6 кВт, ~380 В), де використовується дискретне керування - використаємо

трифазне твердотільне реле змінного струму Jotta SSR 10DA 480 В змінного струму, з керуванням 0...24 В постійної напруги, яке будемо використовувати у дискретному режимі керування [11].



Рисунок 2.5 – Трифазне твердотільне реле Jotta SSR 10 (3x~380 В, 0-24 В)

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Виконавчих пристроїв

| № | Назва параметру | Принцип дії | Тип | Діапазон змінення | Лінійність | Значення входу | Період оновлення | Напруга живлення | Потужність споживання |
|---|----------------------|-------------------------------|------------|-------------------|------------|----------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 1 | Електричний нагрівач | Тиристорне промислове джерело | Аналоговий | 0...100 % | Ленійний | RS-485B | 0,1 с | 24 В | - |
| 2 | Вентилятор | Твердотільне реле | Дискретний | вимк./вкл.. | Нелінійний | 0/24 В | 0,1 с | 24 В | 1,0 Вт |
| 3 | Вакуумна установка | Твердотільне реле | Дискретний | вимк./вкл.. | Нелінійний | 0/24 В | 0,1 с | 24 В | 1,0 Вт |

2.2.3 Вибір пристроїв керування

В якості пристрою керування, обрано програмований логічний контролер компанії VIPA. Цикл роботи контролера 100 мс, контролер має 1 кбайт вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування. Контролер має модульну структуру, яка забезпечує підключення обраного обладнання і має легке розширення подальшого функціоналу.

До контролеру повинні бути підключені три аналогових датчиків з типом вихідного сигналу 4...20 мА:

- датчик температури в муфелі;
- датчик температури нагрівача;
- датчик вакууму.

До контролеру мають бути підключено один аналоговий виконавчий пристрій з типом входу керування 4...20 мА:

- електричний нагрівач.

До контролеру мають бути підключені два дискретних виконавчих пристрої з типом входу керування 0; 24 В (1 Вт):

- вентилятор;
- вакуумна установка.

Так як система керування купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 повинна інтегруватися у загально-заводську автоматизовану систему керування з іншим технологічним обладнанням заводу то у контролера має бути інтерфейс RS-485.

Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. Контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, об'єм пам'яті програм 144 кбайт, об'єм робочої пам'яті 96 кбайт та інтерфейс RS-485 (рис. 2.6). Технічні характеристики контролеру наведені в табл. 2.6.



Рисунок 2.6 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33

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

Для підключення усіх трьох аналогових датчиків, які мають стандартний струмовий сигнал 4...20 мА, обрано модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40, який має чотири аналогових входів (рис. 2.7). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.7.



Рисунок 2.7 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40

| № | Найменування параметра | Значення |
|---|------------------------------------|-------------|
| 1 | Тип | SM 231, ESO |
| 2 | Кількість каналів | 4 |
| 3 | Тип каналу | Аналоговий |
| 4 | Діапазон вхідного сигналу, мА | 4...20 |
| 5 | Довжина екранованого провідника, м | 200 |
| 6 | Споживана потужність, Вт | 0.6 |

Приклад схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА до модуля аналогового вводу наведена на рис. 2.8.

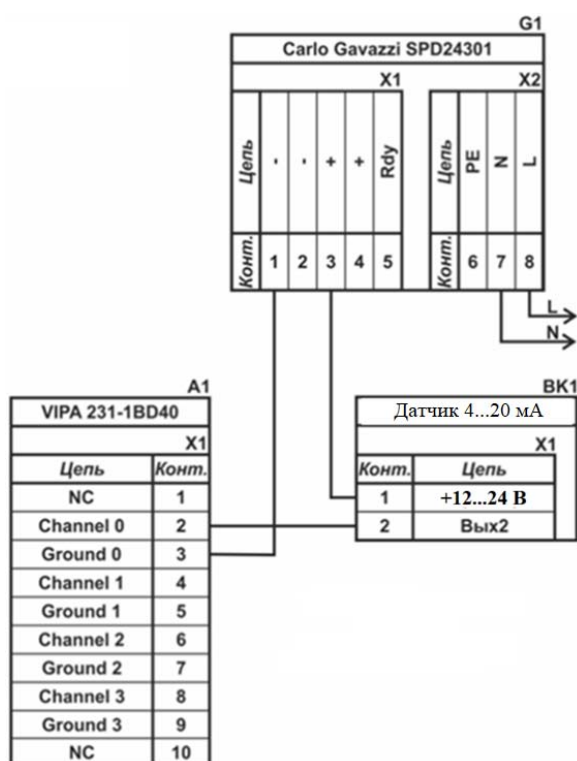


Рисунок 2.8 – Схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА

До контролеру повинні бути підключені два дискретних канали керування (тип виходу 0, +24 В), тому для підключення цих пристроїв обрано модуль дискретного вводу VIPA 222-1BF00, який має по вісім незалежних каналів керування (рис. 2.9). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.8.



Рисунок 2.9 – Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики модуля дискретного виводу VIPA 222-1BF00

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

Схема підключення до модуля дискретного виводу наведена на рис. 2.10.

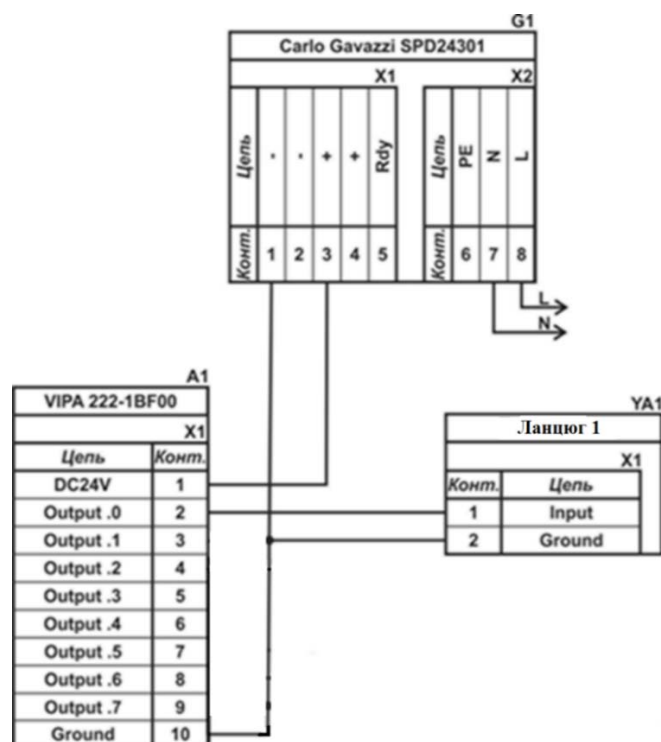


Рисунок 2.10 – Схема підключення дискретних пристроїв узгодження

Відповідно до схеми підключення модуль має вісім незалежних каналів, кожний з яких може бути використаний для керування дискретним виконавчим пристроєм з напругою +24 В. Блок живлення підключено до 1 та 10 входів модуля. Для прикладу показана схема підключення умовного ланцюга 1 (одного з п'яти). Відповідний вихід модуля 2 підключено до входу пристрою узгодження (Ланцюг 1). Земляний вихід пристрою узгодження підключено до земляного входу блока живлення. Аналогічно підключено інші ланцюги пристроїв узгодження навантаження, але до відповідних до виходів цього модуля.

До контролеру є бути підключено один аналоговий виконавчий пристрій з типом входу керування 4...20 мА для регулювання потужності електричного нагрівача.

Таким чином потрібен модуль аналогового виводу з діапазоном аналогового сигналу 4...20 мА. Даним вимогам відповідає модуль VIPA 232-1BD40 який має чотири аналогових виходи 4...20 мА (рис. 2.11). Технічні характеристики модулю наведені в табл. 2.9.



Рисунок 2.11 – Модуль аналогового виводу 232-1BD40

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики модуля аналогового виводу 232-1BD40

| Найменування параметра | Значення |
|------------------------------------|-------------------|
| Тип | SM 232, ECO |
| Кількість каналів | 4 |
| Тип каналу | аналоговий |
| Діапазон вхідного сигналу, мА | 4...20, -20...+20 |
| Довжина екранованого провідника, м | 200 |
| Споживана потужність, Вт | 1,5 |

Схема підключення частотного перетворювача до модуля аналогового виводу наведена на рис. 2.12.

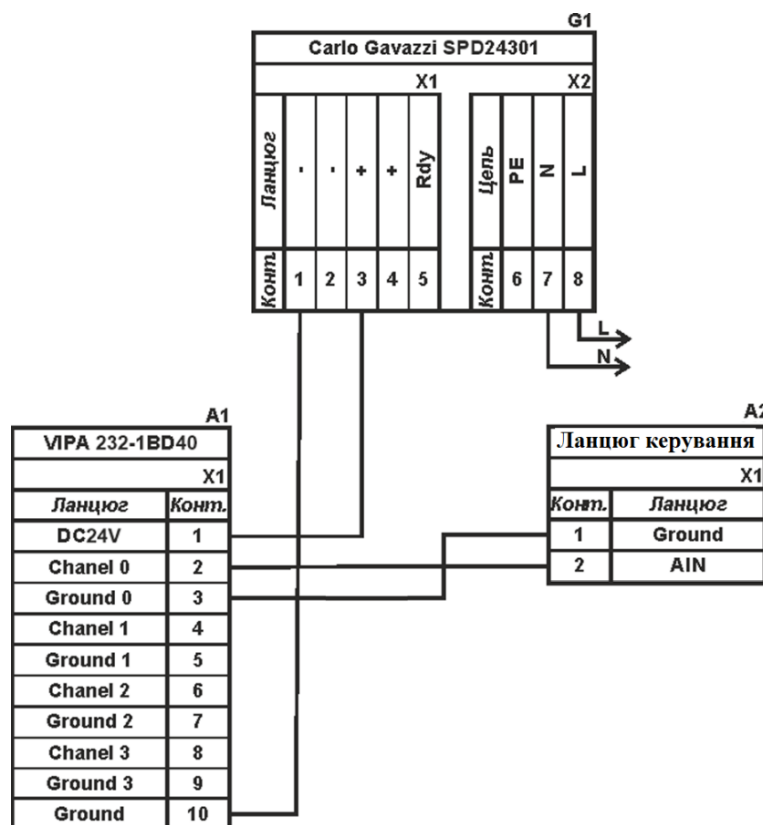


Рисунок 2.12 – Схема підключення частотного перетворювача

Згідно з вимогами до підсистеми керування, в якості котрого виступає програмований логічний контролер, та пультом оператора, в якості якого виступає персональний комп'ютер, повинна бути організована мережа за допомогою інтерфейсу RS-485. Обраний програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33 має інтерфейс RS-485. Схема підключення персонального комп'ютеру до програмованого логічного контролеру наведена на рис. 2.13.

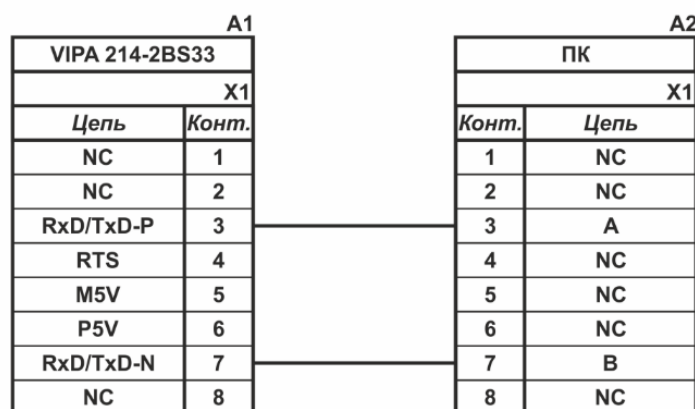


Рисунок 2.13 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

На підставі обраного програмованого логічного контролера та його модулів складена табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Пристрій керування та його модулі

| № | Назва модуля | Пристрій | Напруга живлення | Потужність споживання |
|---|----------------|---------------------------------------|------------------|-----------------------|
| 1 | VIPA 214-2BS33 | Центральний процесорний модуль | 24 В | 5,0 Вт |
| | | Зв'язок з АСК ТП | | |
| 2 | VIPA 231-1BD40 | Модуль аналогового вводу | 24 В | 0,6 Вт |
| | | Датчик температури в муфелю | 24 В | 1,5 Вт |
| | | Датчик температури нагрівача | 24 В | 1,5 Вт |
| | | Датчик вакууму | 24 В | 1,5 Вт |
| 3 | VIPA 232-1BD40 | Модуль аналогового виводу | 24 В | 1,5 Вт |
| | | Керування електричним нагрівачем | 24 В | 1,0 Вт |
| 4 | VIPA 222-1BF00 | Модуль дискретного виводу | 24 В | 2,0 Вт |
| | | Вентилятор | 24 В | 1,0 Вт |
| | | Вакуумна установка | 24 В | 1,0 Вт |

2.2.4 Вибір джерел живлення

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

$$P = 5,0 + 0,6 + 1,5 + 2,0 = 9,1 \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

Виходячи з потужності споживання контролеру та його модулів у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт (рис. 2.14). Технічні характеристики блока живлення наведені в табл. 2.11.



Рисунок 2.14 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

| № | Найменування параметра | Значення |
|---|--------------------------------|------------|
| 1 | Напруга живлення, В | ~85...~264 |
| 2 | Вихідна напруга, В | 24 |
| 3 | Потужність, Вт | 30 |
| 4 | Максимальний вихідний струм, А | 1,25 |

Схему підключення програмованого логічного контролера до блока живлення наведена на рисунку 2.15.

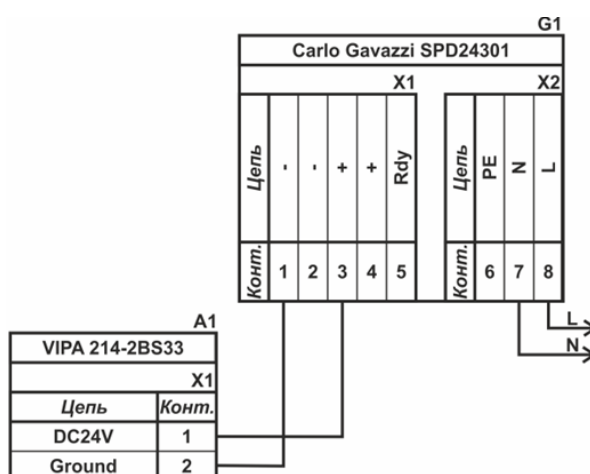


Рисунок 2.15 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для трьох аналогових датчиків, одного аналогового ланцюга керування та двох дискретних ланцюгів, які мають напругу живлення +24 В та потужність споживання:

$$P = 3 * 1,5 + 1 * 1,0 + 2 * 1,0 = 7,5 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

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

2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

Виходячи з вимог до підсистеми керування купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рис. 2.16.

У якості пристрою керування технологічним процесом використовується програмований логічний контролер (UY 7) – VIPA 214-2BS33. Програмований логічний контролер в складі підсистеми керування підключено до АСУ ТП, за що відповідає контролер більш високого рівня (UY 8), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Температура у муфелі вимірюється у верхній частині муфелю за допомогою датчика температури (TE 1-1 - ТПП-1-29-S-1), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 1-2 - ТПП-1-29-S-1) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Температура електричного нагрівача вимірюється за допомогою датчика температури (TE 2-1 - ТПП-1-29-S-1), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 2-2 - ТПП-1-29-S-1) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Ступінь розрідження у муфелі вимірюється у верхній частині муфелю за допомогою датчика тиску (PE 3-1- Метран 100 дв), виміряне значення за допомогою

вбудованого до датчика перетворювача (РТ 3-2 - Метран 100 дв) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Регулювання потужності електричного нагрівача здійснюється по каналу керування 4...20 мА (СЕ 4-2 – Autonics DPU 33C025R).

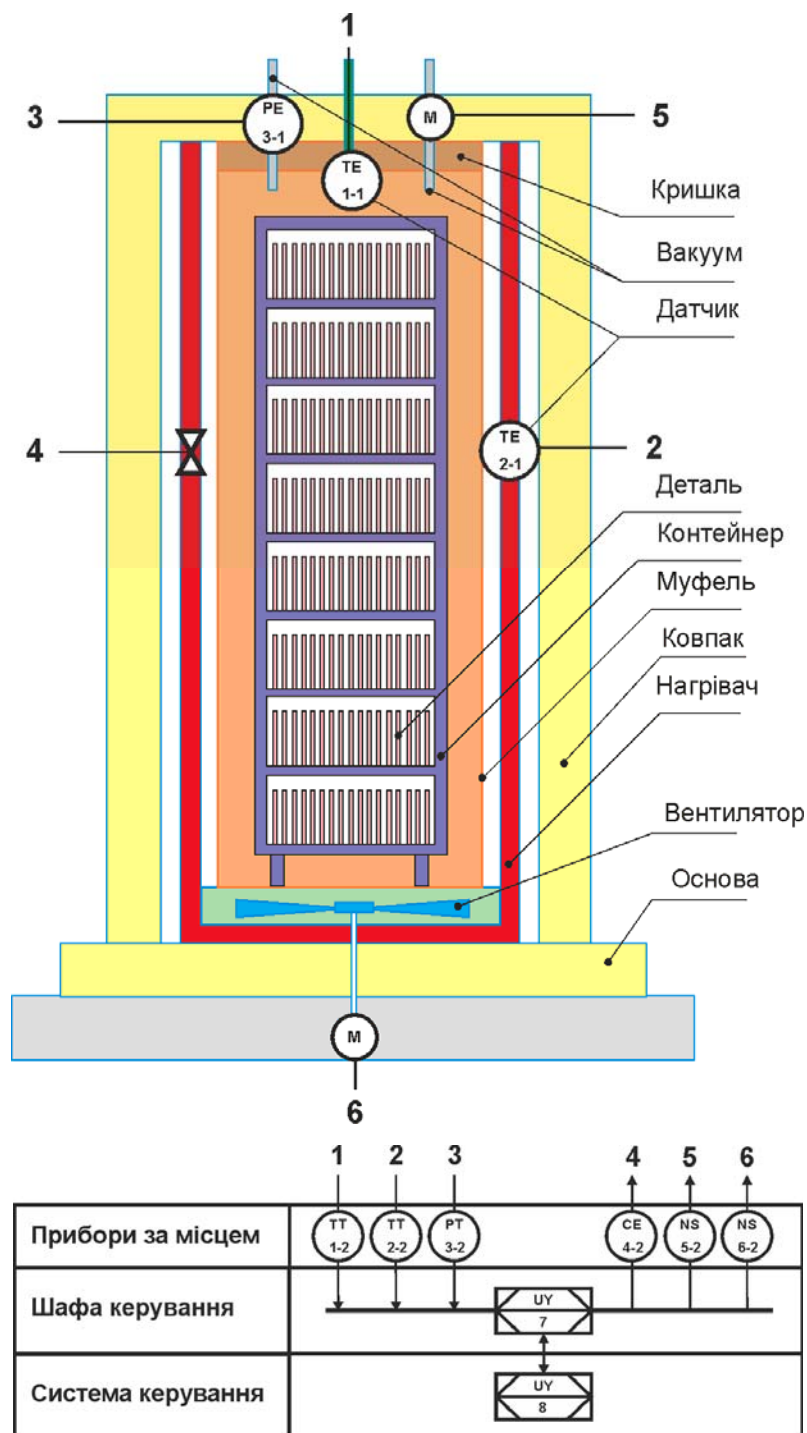


Рисунок 2.16 – Функціональна схема автоматизації системи керування купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400

Керування вакуумною установкою здійснюються за допомогою дискретного модуля твердотільного реле (NS 5-2 - Jotta SSR 10).

Керування вентилятором здійснюються за допомогою дискретного модуля твердотільного реле (NS 6-2 - Jotta SSR 10).

На підставі отриманих первинних значень з відповідних датчиків програмований логічний контролер (UY 7 – VIPA 214-2BS33) за допомогою виконавчих пристроїв формує керуючі впливи по підтримці заданого режиму роботи купольної печі Serthel Industrie VPA 1400.

2.4 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова системи керування купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 (рис. 2.17).

В системі керування використовуються два блока живлення. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33 (A1). Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено до модулю аналогового (A1 – X5) та дискретного виводу VIPA 222-1BF00 (A1 – X4), к усім трьом датчикам (BK1...BK3).

Усі три аналогових датчиків мають уніфікований сигнал 4...20 мА і підключені до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналів 0...2.

Керування потужністю електричного нагрівача (YA3) здійснюється по каналу керування 4...20 мА який підключено до підключені до модулю аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X5) до каналу 0.

Керування вакуумною установкою здійснюється за принципом дискретного керуванням за допомогою твердотільного реле (YA1) типу Jotta SSR 10 яке підключено до дискретного модуля VIPA 231-1BF40 (A1 – X4) до каналу 0.

Керування вентилятором здійснюється за принципом дискретного керуванням за допомогою твердотільного реле (YA2) типу Jotta SSR 10 яке підключено до дискретного модуля VIPA 231-1BF40 (A1 – X4) до каналу 1.

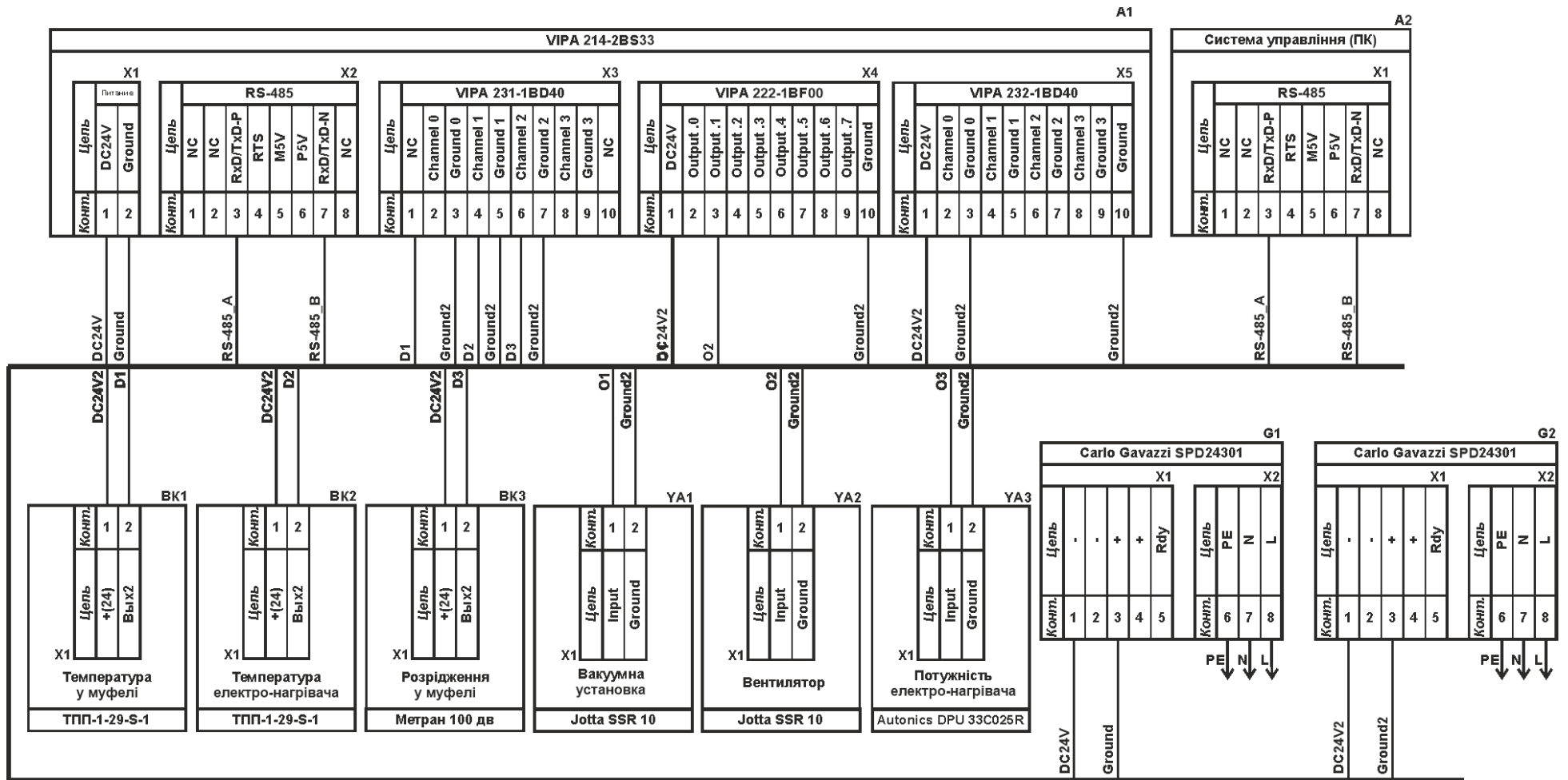


Рисунок 2.17 – Схема електрична принципова підсистеми керування

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (A1) та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

2.5 Висновки за розділом

У якості об'єкта керування виступає купольна піч Serthel Industrie VPA 1400 Державного підприємства «Антонов».

Для синтезу системи керування об'єктом керування VPA 1400 обрані необхідні апаратні засоби, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1 Загальні відомості

У кваліфікацій роботі бакалавра в якості об'єкту керування була обрана купольна муфельна піч Serthel Industrie VPA 1400, яка призначена для термообробки деталей, виготовлених зі сплавів металу ВЖМ-4, INС713LC (авіаційні лопатки для реактивних двигунів) на Державному підприємстві «Антонов» (Україна).

Конструктивною особливістю цієї печі є наявність муфелю у якому розміщуються контейнер з деталями для термообробки, який захищає оброблювані деталі від безпосереднього впливу на них продуктів нагріву. Муфель це знімна за допомогою крана конструкція об'ємом 3 м³.

Принцип роботи печі купольного типу полягає в тому, що муфель з продуктами для термічної обробки поміщається в опалювальну піч. Час і температурний режим обробки деталей має робочий температурний діапазон 400...1 150 °С, який треба забезпечувати з точністю ± 5 °С. Час і характер зміни режимів термообробки залежить від виду виконуваного технологічного процесу, а також від типу сплаву деталей, що піддається термообробці. Після закінчення термообробки муфель знімається, а деталі охолоджуються завдяки наступному технологічному обладнанню.

Джерелом тепла для термообробки є електроенергія потужністю 0...100 кВт (~380 В).

Атмосфера у муфелью може бути з азоту або аргону при розрідженні 20...200 Па, що в залежності від параметрів технологічного процесу забезпечуються вакуумною установкою потужністю 5,6 кВт (~380 В).

Перемішування повітря між муфелем і нагрівачем здійснюється спеціальним термовентилятором 2,4 кВт (~380 В).

В ході технологічного процесу термообробки необхідно підтримувати декілька основних технологічних параметрів. Основними з них є температура у муфелі в залежності від потужності електричного нагрівача.

Таким чином на даному етапі для синтезу системи керування, моделювання її роботи для перевірки її працездатності, перш за все треба мати модель об'єкту керування – купольної печі Serthel Industrie VPA 1400 для регульованої температури, в залежності від потужності електричного нагрівача, скорочено - за каналом керування: «потужність нагрівача – температура». При цьому інші вхідні і вихідні параметри об'єкта керування мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Температура контролюється аналоговим датчиком ТПП-1-29-S-1-И-1000-400-С799-12-0,35-А-/0...1400/-Exd-КА з номінальним діапазоном вимірювання 0...1 400 °С з точністю $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Керування потужністю електричного нагрівача здійснюється регулятором потужності Autonics DPU 33C025R по каналу керування 4...20 мА у діапазоні 0...100 кВт.

3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи

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

У кваліфікаційній роботі будуть розглядатися питання по створенню системи керування купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 для регульованої температури, в залежності від потужності електричного нагрівача.

Для отримання математичної моделі об'єкту керування треба провести комплексні заходи по дослідженню поведінки об'єкту керування під впливом ряду стандартних вхідних впливів.

Візуалізація процесу керування у дослідницькій системі відбувається за допомогою персонального комп'ютера зі SCADA системою zenon. Така система дозволяє, крім функцій керування, виконувати функції дослідження об'єкта - для

чого достатньо використати дослідницьке програмне забезпечення. Виходячи з цього розроблена структурна схема системи керування, яка і наведена на рис. 3.1.

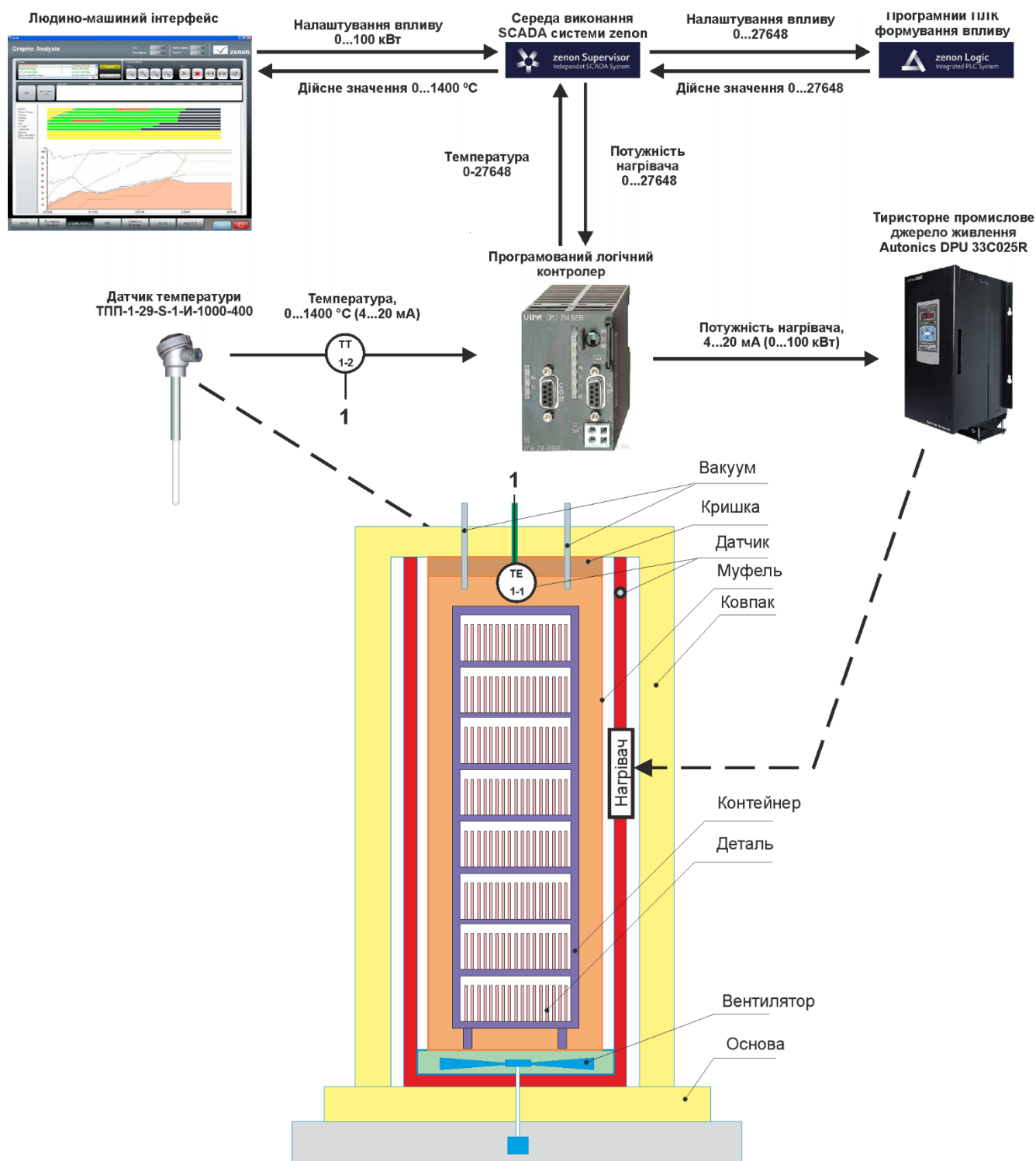


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

Згідно зі структурною схемою, система дослідження має формувати керуючий вплив, в якості якого виступає потужність електричного нагрівача, яка змінюється у діапазоні 0...100 кВт (0...100 %) за рахунок чого виконуються

необхідні зміни значення температури у муфелі. При вказаному діапазоні змін потужності нагрівача, зміни дійсного значення – температури у муфелі можуть сягати діапазону від температури навколишнього середовища приблизно до 1 200 °С.

Програмований логічний контролер виконує керування потужністю електричного нагрівача завдяки регулятору потужності Autonics DPU 33C025R, який керується нормованим аналоговим сигналом 4...20 мА.

В залежності від режиму термообробки деталей можуть бути певні обмеження швидкості зростання / зменшення потужності до 0,25 кВт/с.

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

3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування

Система дослідження дозволяє формування різноманітних керуючих впливів для подання їх через систему керування на об'єкт керування. При цьому об'єкт керування не накладає ні яких обмежень на керуючий вплив. Виходячи з цього об'єкт керування можливо дослідити за допомогою методу активного експерименту.

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

1. Налаштувати систему дослідження.
2. Отримати динамічну характеристику.
 - 2.1. Привести об'єкт керування до початкових умов, дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.
 - 2.2. Запустити процес реєстрування.
 - 2.3. Задати максимальну амплітуду керуючого впливу (100 %), дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.

2.5. Зупинити процес реєстрації.

3. Отримання даних за для побудови статичної характеристики.

3.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

3.2. Розбити весь діапазон керуючого впливу на 5...10 рівних частин. Далі запуснути процес реєстрування та поетапно подавати ці значення керуючого впливу на об'єкт керування, поетапно дочекавшись усталеного режиму дійсного значення фіксувати його.

3.3. Зупинити процес реєстрації.

4. Отримання даних при П-образному впливі.

4.1 Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

4.2 Запуснути процес реєстрування.

4.3. Задати керуючий вплив на рівні 100 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.

4.4. Задати керуючий вплив на рівні 0 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.

4.5. Зупинити процес реєстрації.

5. Отримання перевіірочних даних.

5.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

5.2. Налаштувати псевдовипадковий вплив таким чином, щоб період зміни впливу був бажано у 5...10 разів менший за час перехідного процесу, а амплітуда керуючого впливу змінювалася дискретно (бажано випадково) в діапазоні 0...100 %.

5.3. Запуснути процес реєстрування.

5.4. Запуснути формування псевдовипадкового впливу.

5.5. Виконувати реєстрацію бажано на протязі часу не менш ніж за 5...10 інтервалів часу перехідного процесу плюс час затримки.

5.6. Зупинити процес реєстрації.

3.4 Виконання експерименту

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином, що керуючий вплив – потужність електричного нагрівача буде змінюватися дискретно з мінімального можливого значення до максимального, а відповідне дійсне значення – температура у муфелі, під впливом керуючого значення з часом буде теж змінюватися з мінімального значення до максимального.

На другому етапі було виконано отримання динамічної характеристики об'єкта керування (рис. 3.4).

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 0 кВт (фактичне значення 0 %). Після досягнення усталеного режиму – температура у муфелі дорівнює температурі навколишнього середовища (25 °C), керуючий сигнал було встановлено на рівні 100 кВт (фактичне значення 100 %) і після досягнення усталеного режиму – температура у муфелі приблизно 1 250 °C, експеримент було закінчено.

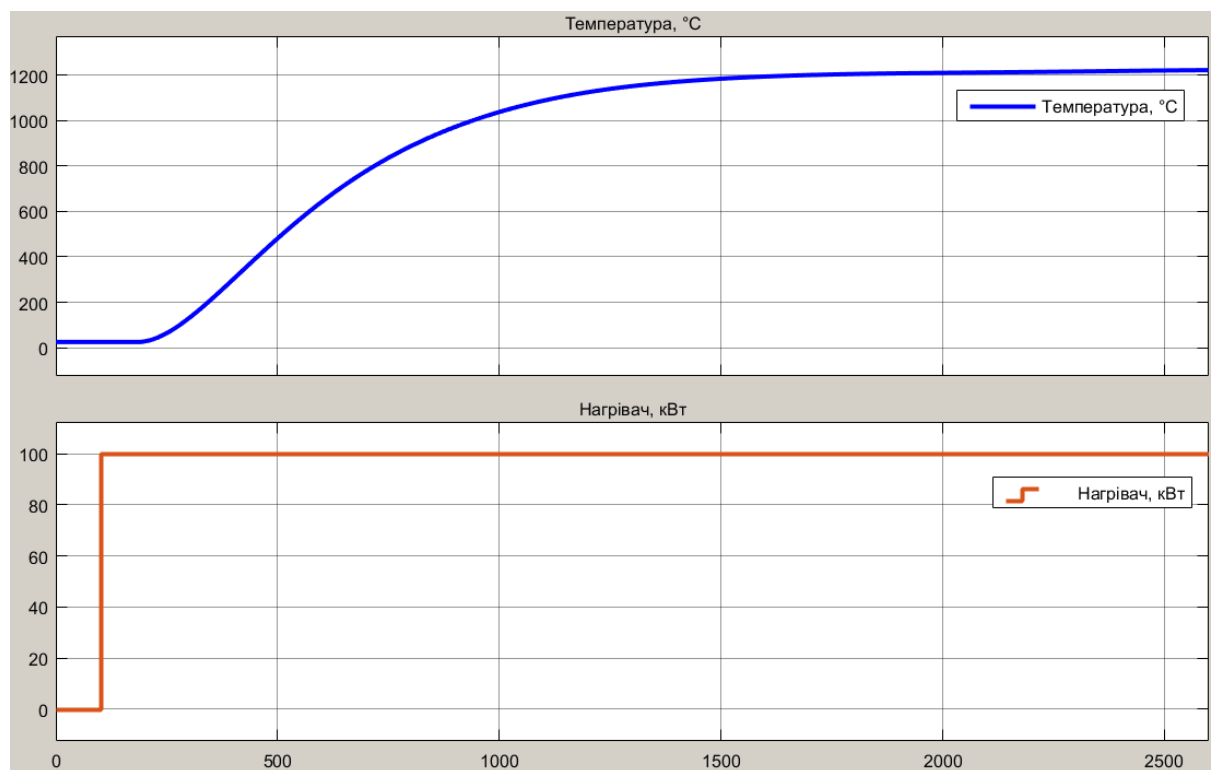


Рисунок 3.4 – Отримання динамічної характеристики

На третьому етапі було виконано отримання даних для побудови статичної характеристики (рис. 3.5).

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 20 кВт (20 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 40 кВт (40 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 60 кВт (60 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 80 кВт (80 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 100 кВт (100 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Після цього експеримент було закінчено.

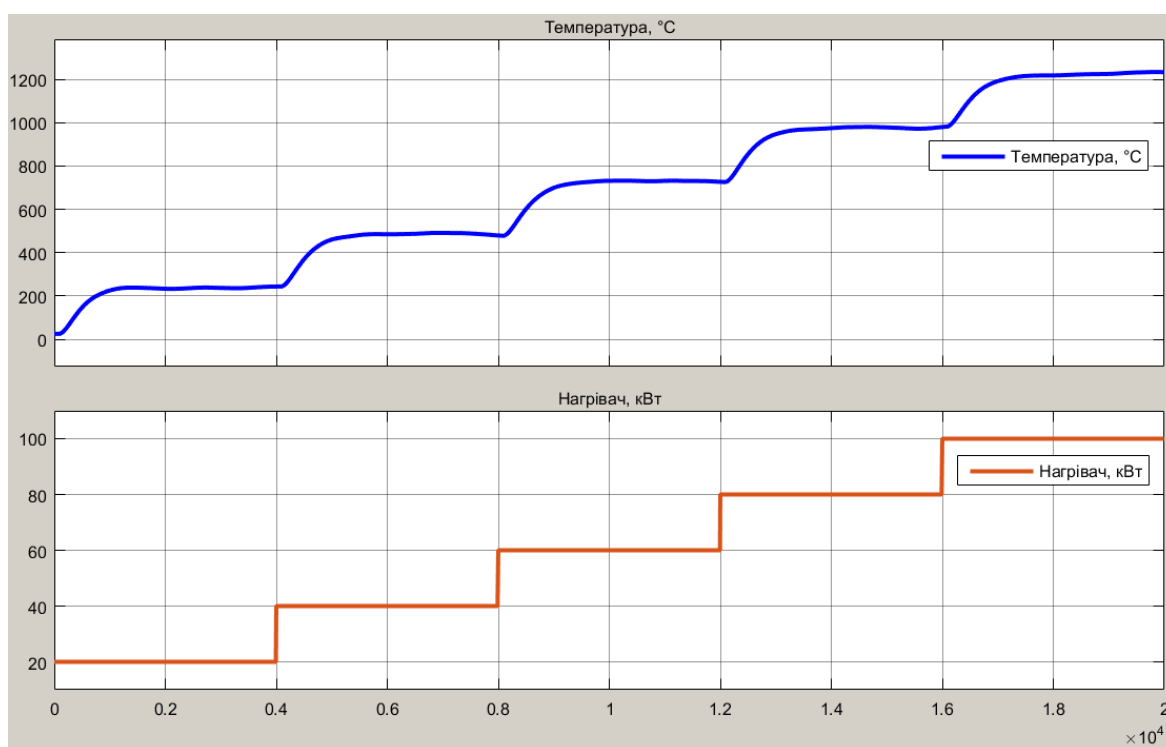


Рисунок 3.5 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.6).

Для цього було встановлено керуючий вплив на рівні 0 кВт (0 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина, після досягнення усталеного режиму дійсного значення було встановлено керуючий вплив на рівні на рівні 100 кВт (100 %), після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на рівні 0 кВт (0 %), після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

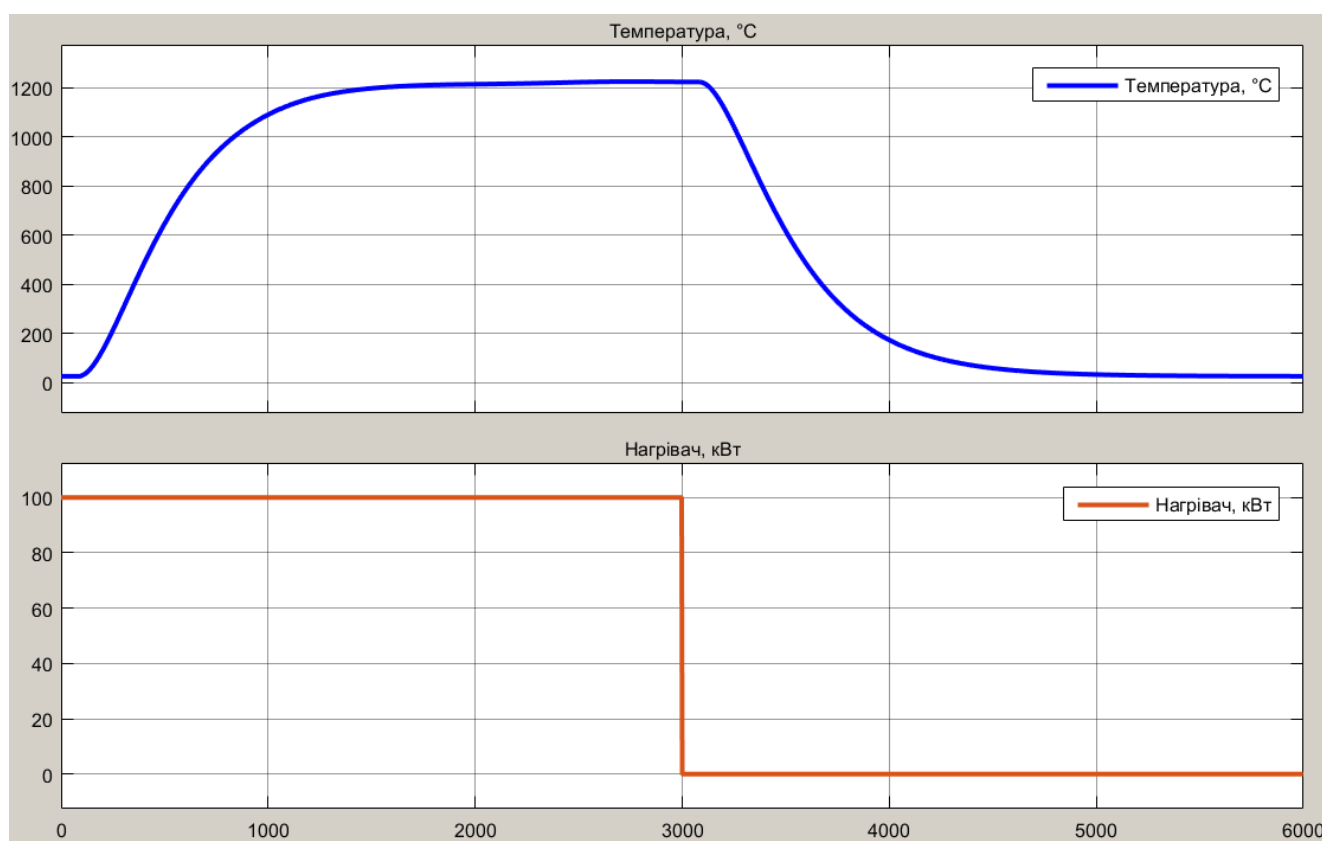


Рисунок 3.6 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

На п'ятому етапі було виконано отримання перевірочних даних (рис. 3.7).

Для цього керуючий вплив було налаштовано на випадкову послідовність в діапазоні 100 кВт (100 %), з інтервалом зміни близько 500 с (враховуючі постійну часу об'єкту керування приблизно у 500 с та обмеження по швидкості зміни керуючого сигналу 0,25 кВт/с), а сама реєстрація відбувалася на протязі 30 000 с.

У результаті виконання плану експерименту проведено всеосяжне дослідження об'єкта керування та отримані динамічна характеристика, дані для

побудови статичної характеристики, дані при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані.

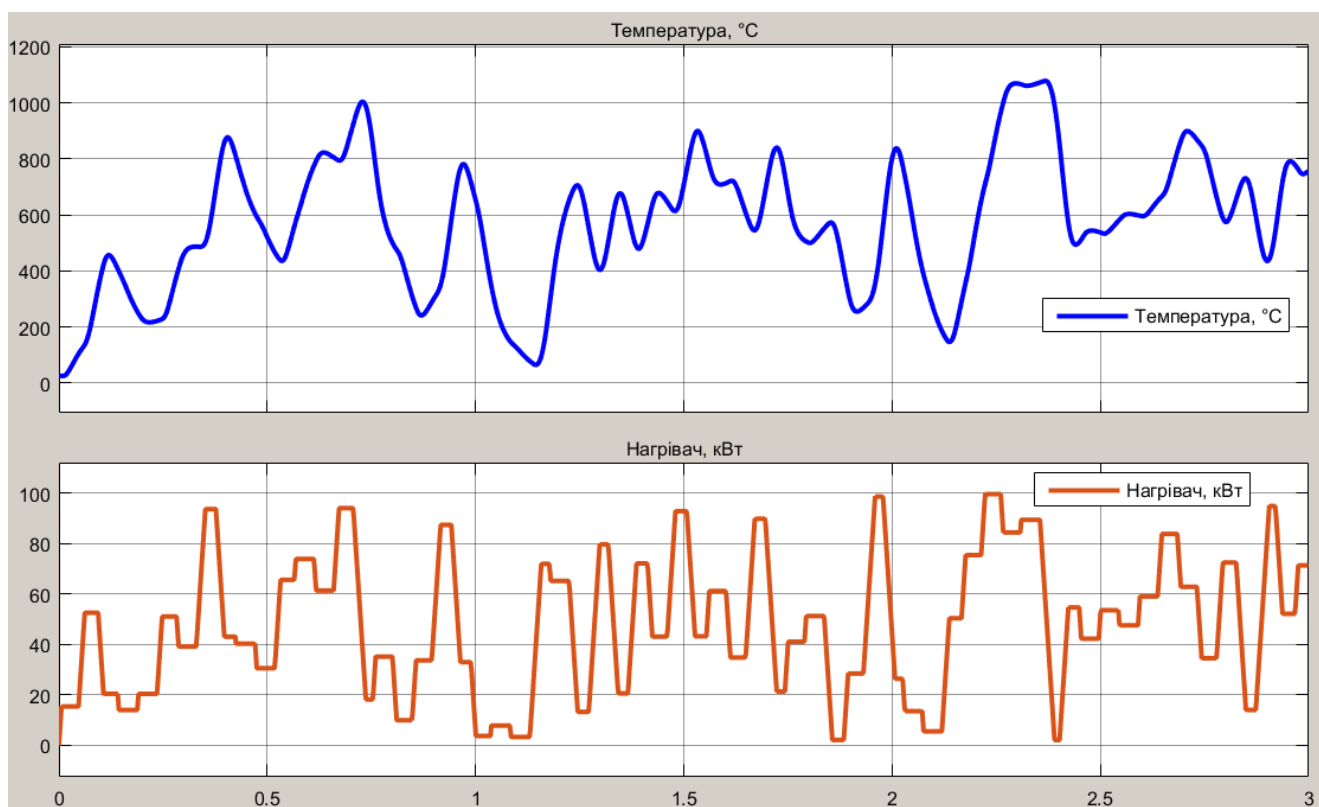


Рисунок 3.7 – Отримання перевірочних даних

3.5 Обробка результатів експерименту

3.5.1 Підготовка даних

Дані отримані в SCADA системі zenon було імпортовано до математичного пакета MATLAB з метою подальшої обробки (рис. 3.8).

The screenshot shows the MATLAB Workspace window with a table of variables. The variables are listed in the 'Name' column and their corresponding values in the 'Value' column. All values are of type 'double'.

| Name | Value |
|----------------|----------------|
| Check_Input | 30001x1 double |
| Check_Output | 30001x1 double |
| Dynamic_Input | 2601x1 double |
| Dynamic_Output | 2601x1 double |
| P_Input | 6001x1 double |
| P_Output | 6001x1 double |
| Static_Input | 20001x1 double |
| Static_Output | 20001x1 double |

Рисунок 3.8 – Імпортовані данні

Змінні які відповідають даним динамічної характеристики “Dynamic_Input”, “Dynamic_Ounput”, даним для побудови статичної характеристики “Static_Input”,

“Static_Ounput”, даним отриманим при П-образному керуючому впливі “P_Input”, “P_Output”, перевірочним даним “Check_Input”, “Check_Otput”. Суфікс “_Input” позначає керуючий вплив, а суфікс “_Output” дійсне значення.

Для спрощення подальшого аналізу дані були конвертовані до об’єктів типу “iddata”. Та з отриманих даних була видалена статична складова.

На рис. 3.9 та рис. 3.10 показані результати моделювання з видалення статичної складової для динамічної, статичної, П-образної та перевірочної характеристик.

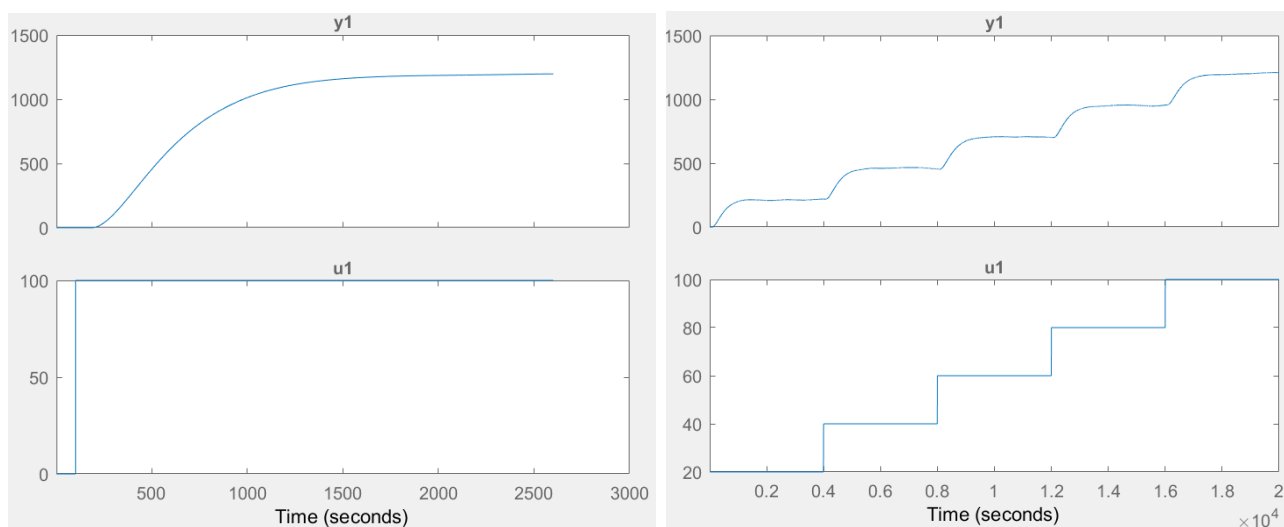


Рисунок 3.9 – Динамічна і статична характеристики з видаленими статичними складовими

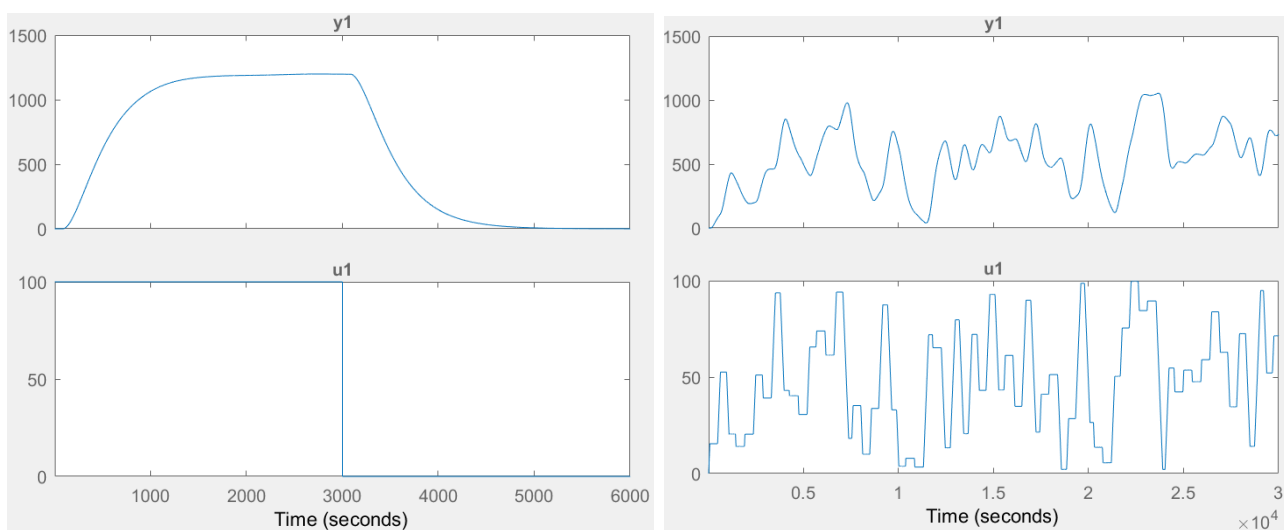


Рисунок 3.10 – П-образна та перевірочна характеристики з видаленими статичними складовими

3.5.2 Структурна ідентифікація

З метою оцінки структури моделі об'єкта керування проаналізуємо динамічну характеристику об'єкта керування (рис. 3.11).

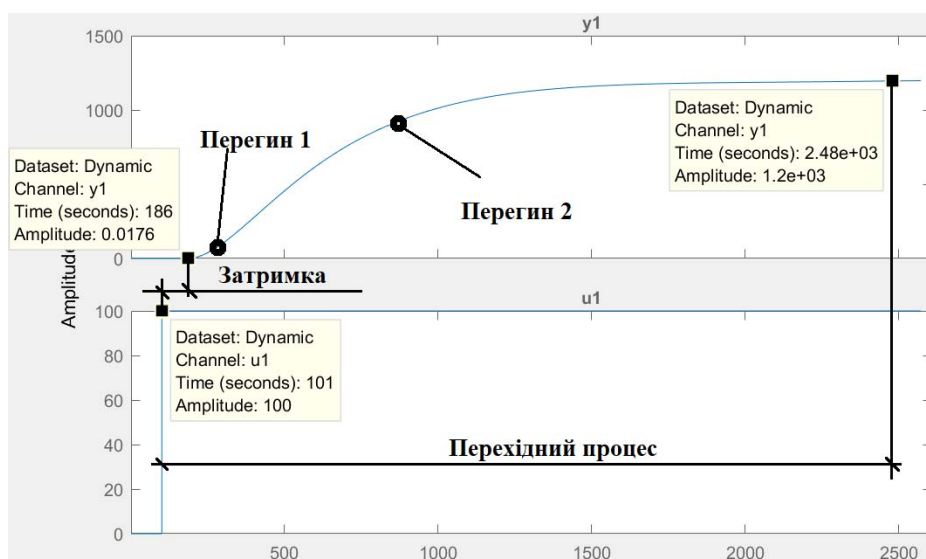


Рисунок 3.11 – Аналіз динамічної характеристики

Після подачі керуючого впливу дійсно значне змінюється з значним запізненням, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє запізненням - приблизно десь $186 - 101 \approx 85$ с. Це може бути пов'язано з особливістю розповсюдження температури від нагрівача до муфелю та інерційністю датчика температури у 60 с.

Крім того на динамічній характеристиці відсутня інерція, характер перехідного процесу монотонний, а кількість перегинів дорівнює двом. На підставі цього можливо зробити висновок, що модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого порядку з запізненням.

Коефіцієнт посилення $K \approx 1200 / 100 = 12$.

Час перехідного процесу 2 500 с, а постійна часу $2\,500 / 5 \approx 500$ с.

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 3.12).

Для перевірки статичної характеристики на лінійність розраховано коефіцієнти посилення для усіх точок крім нульових:

Static Gain =

11.2000 11.4250 11.8000 12.0250 12.1000

Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 7.44 %

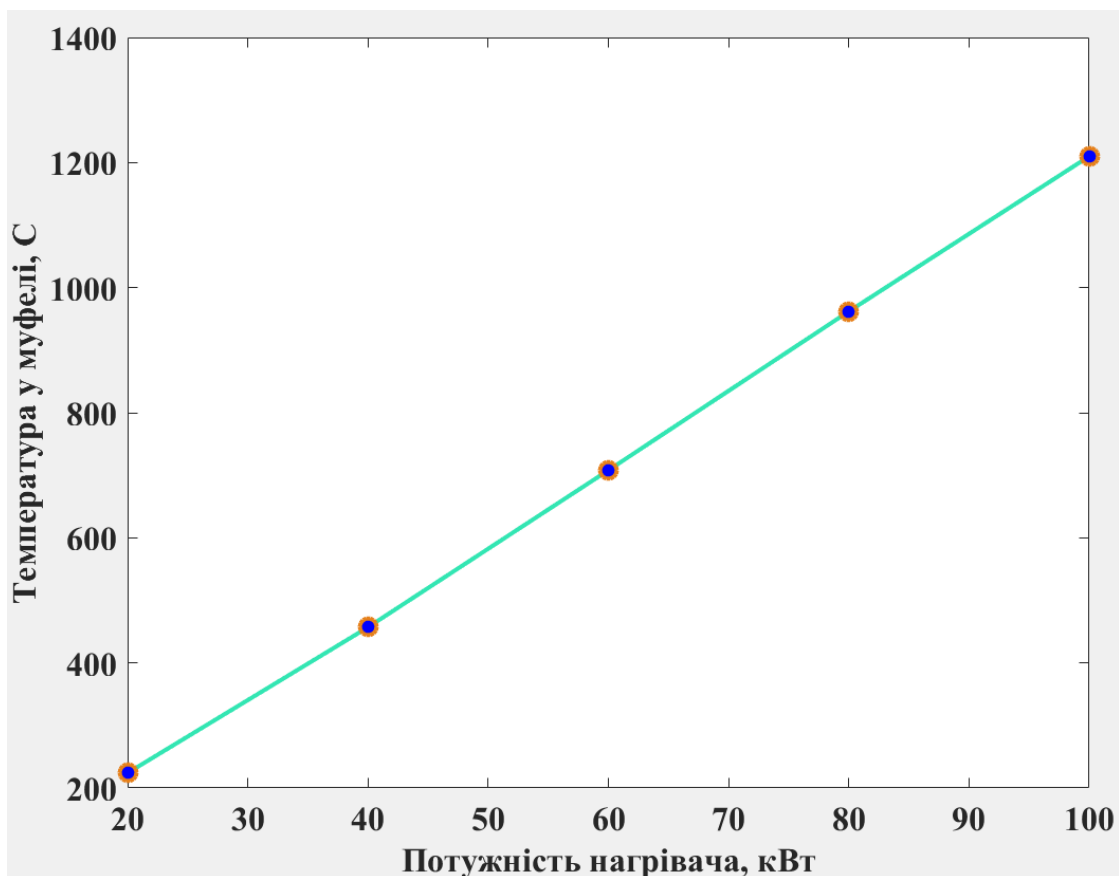
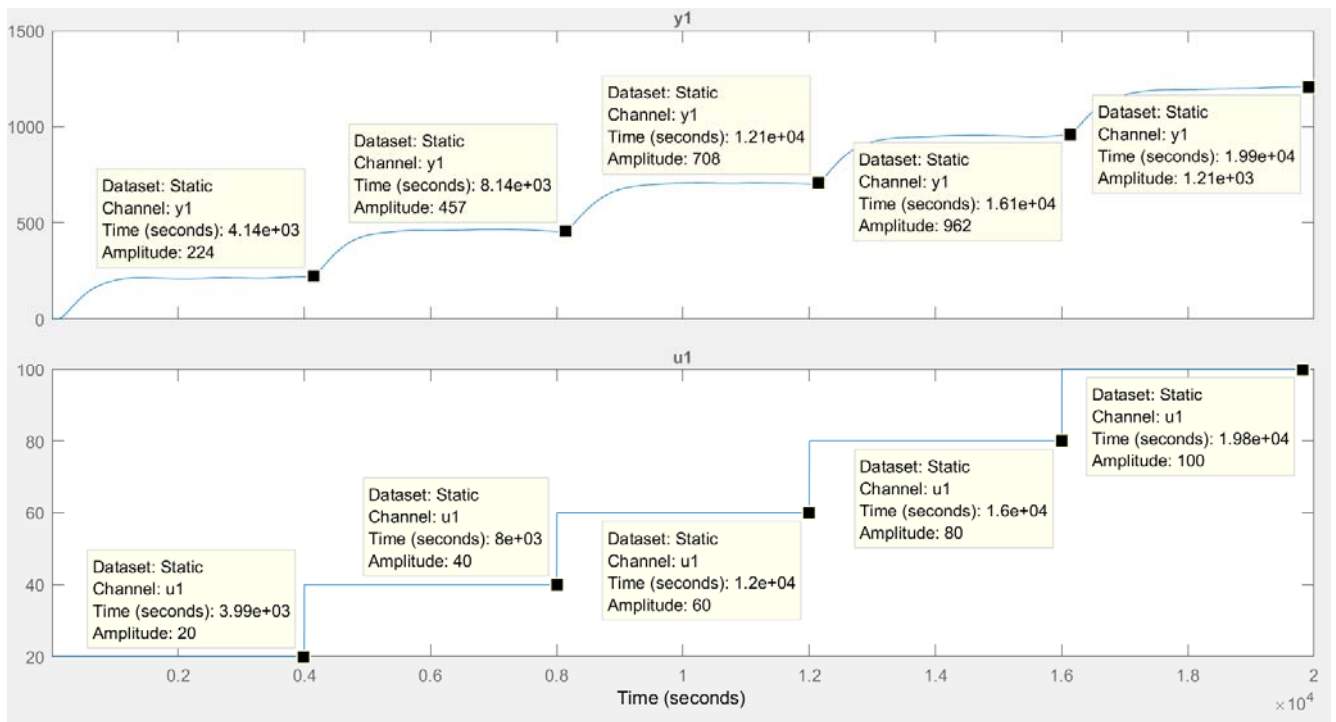


Рисунок 3.12 – Статична характеристика

За статичною характеристикою та отриманими коефіцієнтами посилення об'єкт керування є лінійним в усьому досліджуваному діапазоні керуючих впливів та для його опису можуть бути використані лінійні моделі, так як відхилення

коефіцієнту посилення у всьому діапазоні менше ніж величина технічної похибки 10 %.

Проаналізуємо характеристику отриману при П-образному керуючому впливі (рис. 3.13).

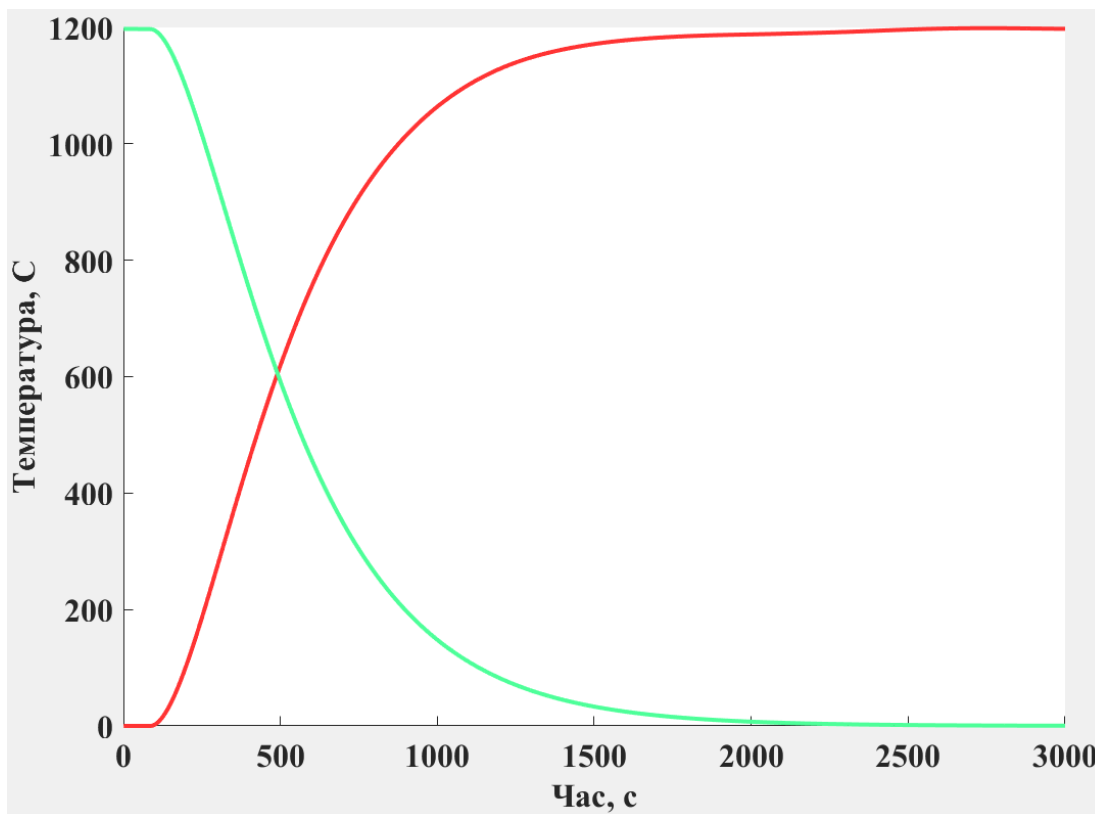


Рисунок 3.13 – Аналіз симетричності характеристика при П-образному керуючому впливі

Збільшення керуючого впливу з 0 кВт (0 %) до 100 кВт (100 %) приводить до відповідного збільшення дійсного значення, а зменшення керуючого впливу з 100 кВт (100 %) до 0 кВт (0 %) приводить до відповідного зменшення дійсного значення. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт не володіє інтегруючими властивостями і є об'єктом з самовирівнюванням.

З метою аналізу симетричності об'єкта керування його характеристика отримана при П-образному впливі була поділена на ділянки підйому та спаду (рис. 3.13).

Порівняння ділянок підйому та спаду виконувалася через порівняння стандартних середнє квадратичних відхилень:

Порівняння ділянок підйому та спаду: 0.26 %

За отриманою П-характеристикою при аналізі симетричності середнє квадратичне відхилення менше ніж величина технічної похибки 10 %. Тобто можна стверджувати, що час перехідного процесу, форма та стандартне середнє квадратичні відхилення ділянок підйому та спаду співпадають, таким чином об'єкт керування є симетричним та може бути представлений однією лінійною моделлю.

За результатами структурної ідентифікації встановлено, що об'єкт керування є лінійним, симетричним, має два дійсні від'ємні домінуючі корені та ланку чистого запізнення. На підставі цього об'єкт керування може бути описано аперіодичною ланкою другого, або більш високого порядку з запізненням:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}, \quad (3.1)$$

де $W(s)$ – передавальна функція моделі об'єкта керування;

s – оператор диференціювання;

k – коефіцієнт посилення;

τ – час запізнення, с;

T_1, T_2 – постійні часу, с.

3.5.3 Параметрична ідентифікація

Параметрична ідентифікація виконувалася у програмному забезпеченні System Identification Toolbox яке входить до складу математичного пакета MATLAB та запускається командою `ident`.

До програмного забезпечення System Identification Toolbox (рис. 3.14) імпортувалися підготовлені дані без статичної складової – «Dynamic». Дані динамічної характеристики використовувалися для розрахунку параметрів моделі об'єкта керування, а перевіірочні дані «Check», для оцінки відповідності отриманої моделі до об'єкта керування.

Для визначення параметрів моделі об'єкта керування використано метод «Process Models». Налаштування параметрів ідентифікації наведено на рис. 3.15.

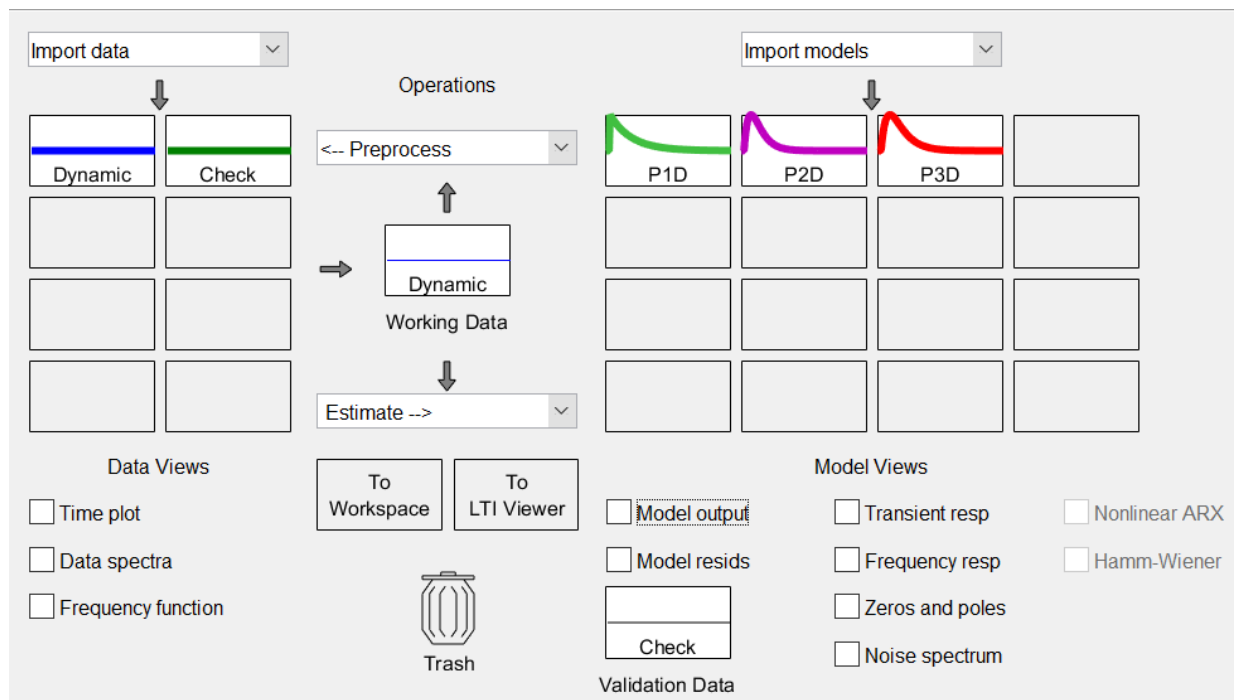
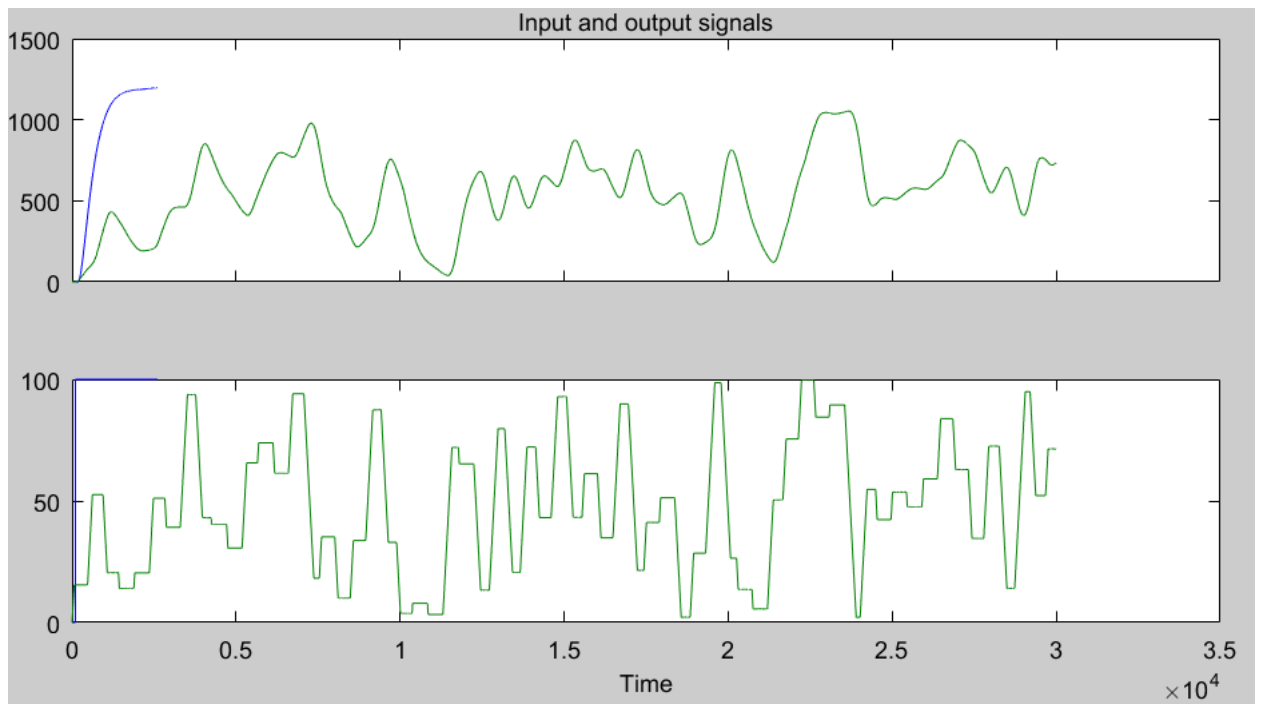


Рисунок 3.14 – Налаштування System Identification Toolbox

Перевірка результатів розрахунків наведена на рис. 3.15 та в табл. 3.1.

Розрахунок параметрів виконувався через метод Process Models для аперіодичних ланок першого та другого порядку з запізненням (рис. 3.14).

Параметри ідентифікації за методом Process Models P1D:

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d*s)$$

$$\begin{aligned}K_p &= 12.388 \pm 0.017369 \\T_{p1} &= 513.77 \pm 2.81 \\T_d &= 82\end{aligned}$$

Fit to estimation data: 88.95%
FPE: 2095, MSE: 2091

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)} * \exp(-T_d*s)$$

$$\begin{aligned}K_p &= 11.941 \pm 0.00060537 \\T_{p1} &= 285.78 \pm 0.60571 \\T_{p2} &= 199.91 \pm 0.59591 \\T_d &= 82\end{aligned}$$

Fit to estimation data: 99.65%
FPE: 2.15, MSE: 2.141

Параметри ідентифікації за методом Process Models P3D:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)(1+T_{p3}s)} * \exp(-T_d*s)$$

$$\begin{aligned}K_p &= 11.924 \pm 0.0023392 \\T_{p1} &= 0.17813 \pm 1.1045 \\T_{p2} &= 180.05 \pm 2.0304 \\T_{p3} &= 311.36 \pm 1.8218 \\T_d &= 82\end{aligned}$$

Fit to estimation data: 98.83%
FPE: 23.49, MSE: 23.36

За допомогою «Model output» показана відповідність отриманих моделей P1D...P3D до перевірочних даних отриманих на об'єкті керування Check наведена на рис. 3.15 та представлена у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Відповідність отриманих моделей до перевірочних даних об'єкта керування

| Назва параметру | P1D | P2D | P3D |
|-----------------|--------|--------|---------|
| k | 12,388 | 11,941 | 11,924 |
| T_1, c | 513,77 | 285,78 | 0,17813 |
| T_2, c | - | 199,91 | 180,05 |
| T_3, c | - | - | 311,36 |
| τ | 82 | 82 | 82 |
| НСКП, % | 88,95 | 99,65 | 98,83 |
| ПОП | 2095 | 2,15 | 23,49 |
| СКП | 2091 | 2,141 | 23,36 |
| НСКП, % | 75,44 | 93,76 | 93,95 |

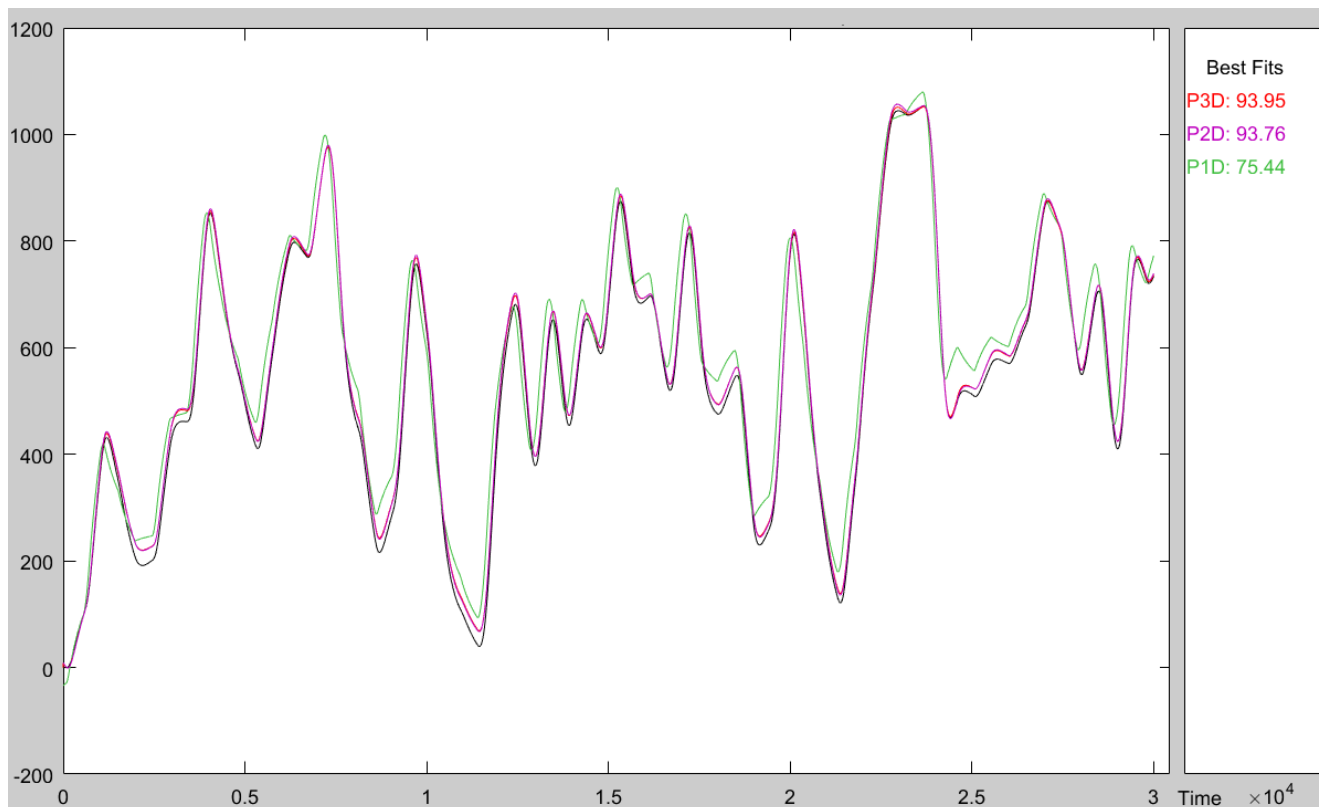


Рисунок 3.15 – Перевірка результатів розрахунків

Аналіз відмінностей між оцінками моделей P2D – другого порядку з затримкою та P3D – третього порядку з затримкою по динамічній характеристиці показав, що за нормалізованим середньоквадратичним похибкам (НСКП), краще всього підходять модель P2D (99,65 %), помилка остаточного передбачення (ПОП) для P3D у $23,49 / 2,15 \approx 11$ разів більша ніж у P2D.

Основним показником, який впливає на остаточний вибір між цими моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними. Моделі P2D та P3D мають майже однакові показники НСКП відповідності за перевірочними даними у 93,76 % та 93,95 % відповідно. Враховуючи, той факт, що для моделі P3D один з показників постійної часу майже дорівнює нулю, то можна сміливо зупинити свій вибір на моделі P2D.

Для додаткової перевірки обраної моделі можна звернути увагу на наступне, що при параметричній ідентифікації за динамічною характеристикою (рис. 3.11) коефіцієнт посилення 12, час перехідного процесу складає близько біля $\sim 2\,500$ с, постійна часу 500 с, затримка близько 85 с. Для отриманої моделі другого порядку P2D коефіцієнт посилення дорівнює 11,941; постійна часу становить

$285,78 + 199,91 = 485,69$ с; а затримка 82 с, що додатково підтверджує, що об'єкту керування дійсно краще всього відповідає обрана модель P2D - аперіодична ланка другого порядку з запізненням.

Виходячи з усього, що наведено вище можна остаточно стверджувати, що обрана модель P2D має достатню відповідність до перевірочних даних, яка значно більше ніж граничне неприпустиме значення у 80 %,

За результатами параметричної ідентифікації отримана модель у вигляді передавальної функції, яка відповідає об'єкту керування за перевірочими даними на 93,8 % (табл. 3.1):

$$W(s) = \frac{11,94 \cdot e^{-82s}}{(286s + 1) \cdot (200s + 1)}, \quad (3,2)$$

3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Використовуючи передавальну функцію (3.2) у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB розроблена модель отримання даних для перевірки на адекватність (рис. 3.16).

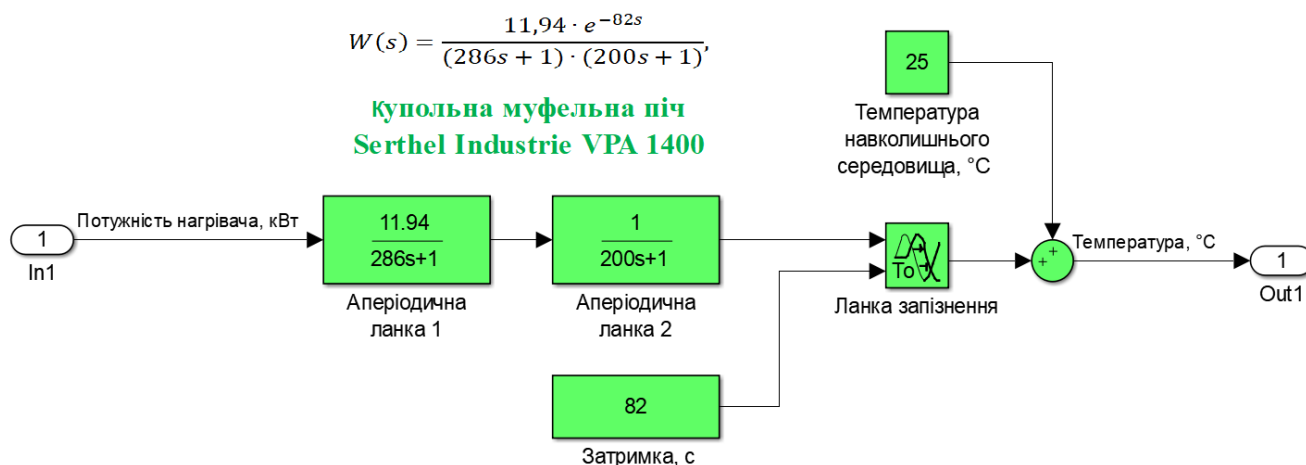


Рисунок 3.16 – Модель об'єкта керування купольна - муфельна піч Serthel Industrie VPA 1400

При налаштуванні час моделювання задано 30 000 с, що дорівнює кількості перевірочних даних. Додані блоки запису перевірочних даних та результатів моделювання до змінних Object і Model відповідною, крок запису задано 1 с, що відповідає первинним даним. На виході додано статичний зсув характеристики

дійсного значення, який є корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкту керування: потужність нагрівача на вході моделі об'єкту керування 0...100 кВт (0...100 %), а температура на виході моделі об'єкту керування: температура навколишнього середовища (25 °C)...1250 °C (дійсне значення).

На рис. 3.17 показана модель отримання даних для перевірки на адекватність, На вихід моделі P2D доданий статичний зсув дійсного значення, який відповідає за початкове значення дійсного сигналу – температура навколишнього середовища при початковому вхідному сигналі 0 кВт (0 %).

Порівняння відбувається з чистими перевірочними даними над якими не виконувалися дії які б могли їх «скомпрометувати».

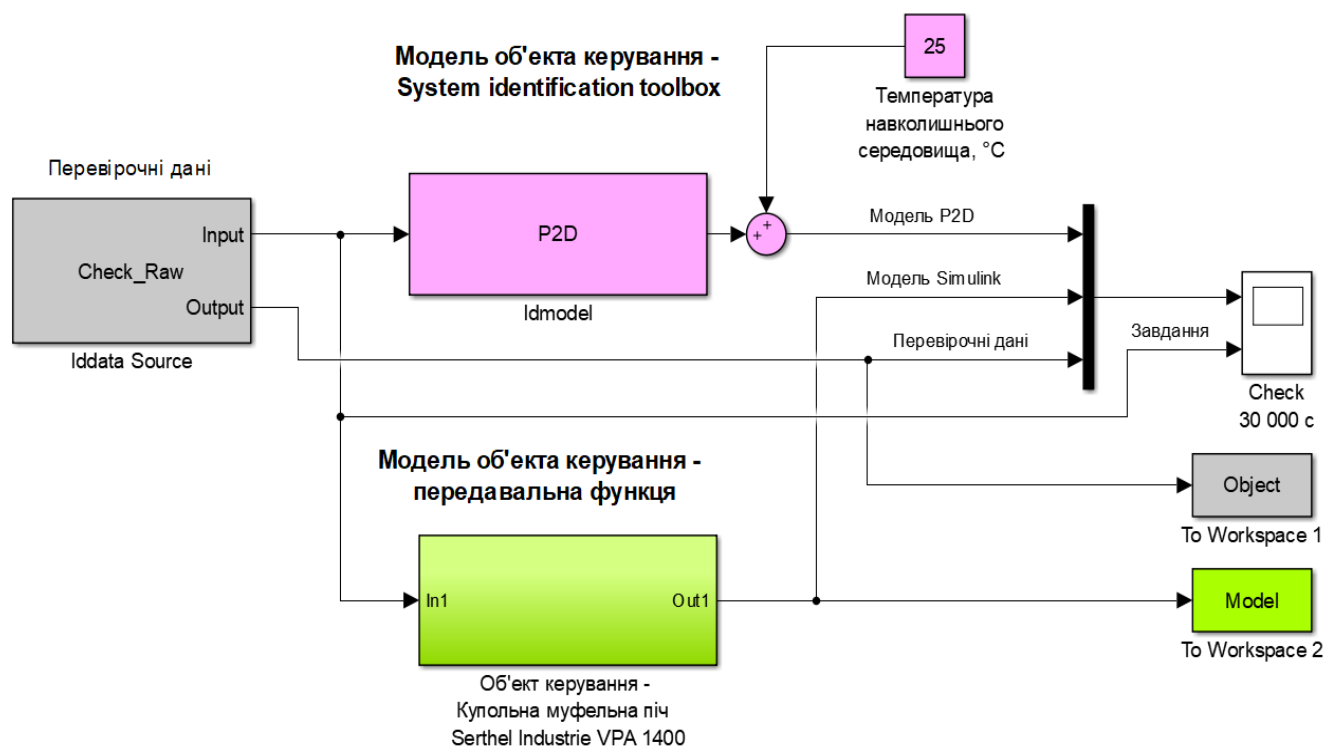


Рисунок 3.17 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

За результатами моделювання бачимо, що дійсні значення отримані на виході моделі System Identification Toolbox (сигнал – «Модель P2D») та моделі розробленій на базі передавальної функції (сигнал – «Модель Simulink») співпадають з перевірочними даними (рис. 3.18).

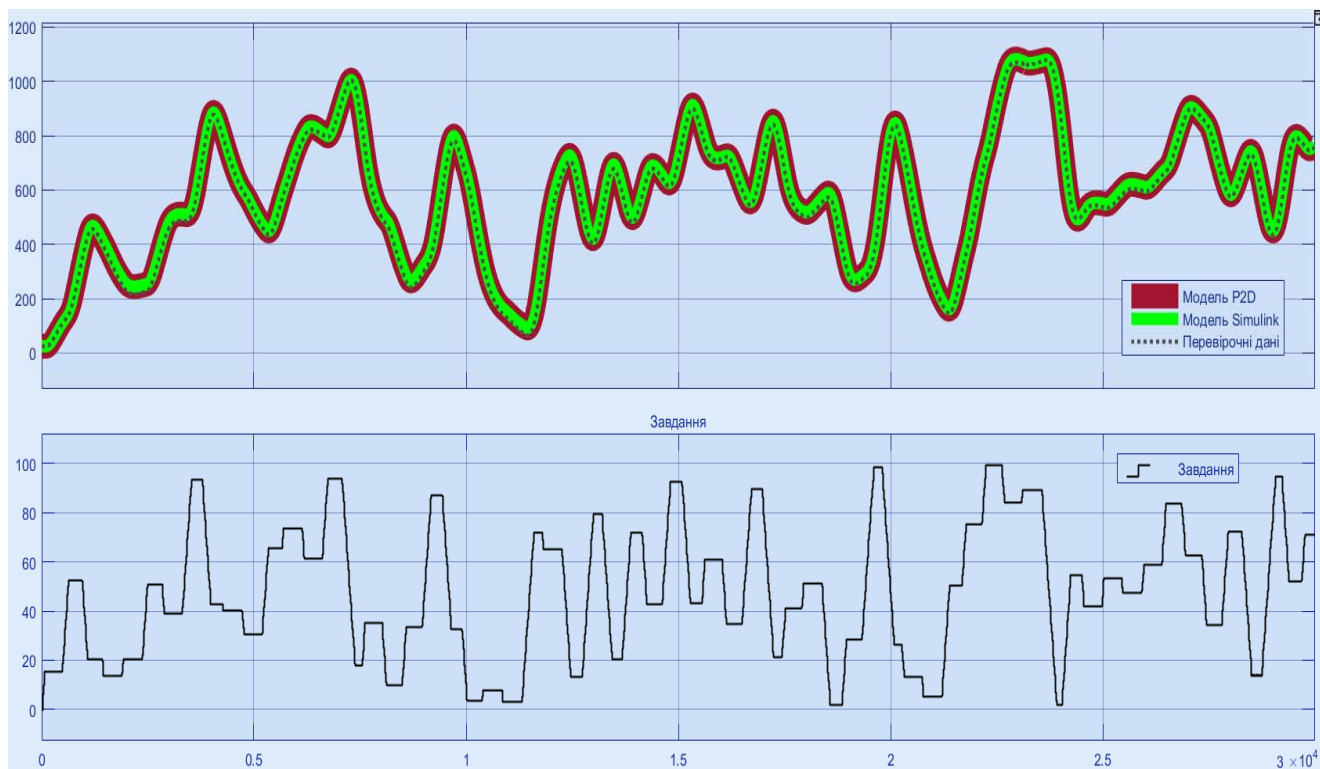


Рисунок 3.18 - Результат отримання даних для перевірки на адекватність

Наступним етапом є перевірка моделі на адекватність

3.5.5 Перевірка моделі на адекватність

При перевірці на відповідність її значення у більшості випадків повинно бути вище 80 %, при перевірці на адекватність коефіцієнт кореляції повинен бути вище 0,8, а довірчий інтервал відповідати 0,9. У деяких випадках ці значення можуть бути змінені.

Перевірка на адекватність виконувалася за допомогою скрипту GetAdequacy.m, який реалізує відповідний розрахунок перевірки на адекватність.

Результат виконання статистичного аналізу (виклику функції):

Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0

Коефіцієнт кореляції: 1.000

Статистичний критерій Фішера: 43317707.819

Критичне значення статистики Фішера: 2.706

Статистичний критерій Фішера більший критичного значення, модель є адекватною до об'єкта керування.

Використовуючи скрипт GetAdequacy.m встановлено, що між перевірочними даними та результатами моделювання присутній дуже високий зв'язок, коефіцієнт

кореляції 1.0. Статистичний критерій Фішера 43317707 більший критичного значення 2,706, тобто модель є адекватною до об'єкта керування.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структуру об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та перевірки на адекватність зроблено висновок, що розроблена модель є адекватною до об'єкта керування та може бути використана у подальшому при синтезі системи керування в умовах досліджуваного технологічного процесу,

В залежності від режиму термообробки деталей можуть бути застосовані певні обмеження по швидкості зростання / зменшення потужності електричного нагрівача до 0,25 кВт/с, тобто в при синтезі системі керування треба враховувати цю особливість.

Програмований логічний контролер виконує керування потужністю електричного нагрівача за допомогою уніфікованого аналогового каналу керування, тому треба задіяти вузол 'Rate Limiter' для обмеження швидкості зміни потужності нагрівача на рівні 0,25 кВт/с.

На рис. 3.19 представлена схема для отримання динамічної характеристики об'єкта керування з обмеження швидкості подачі керуючого впливу.

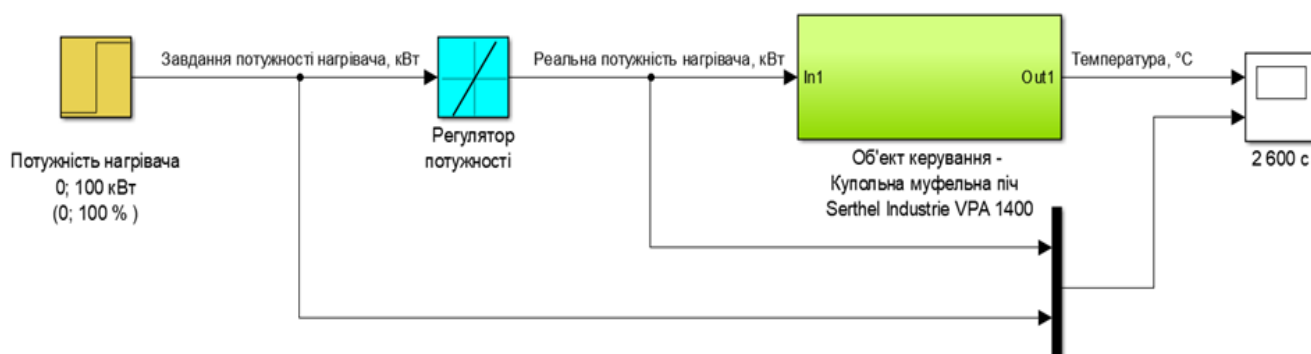


Рисунок 3.19 – Схема для отримання динамічної характеристики об'єкта керування з обмеження швидкості подачі керуючого впливу

Графік динамічної характеристики об'єкта керування з обмеження швидкості подачі керуючого впливу представлено на рис. 3.20.

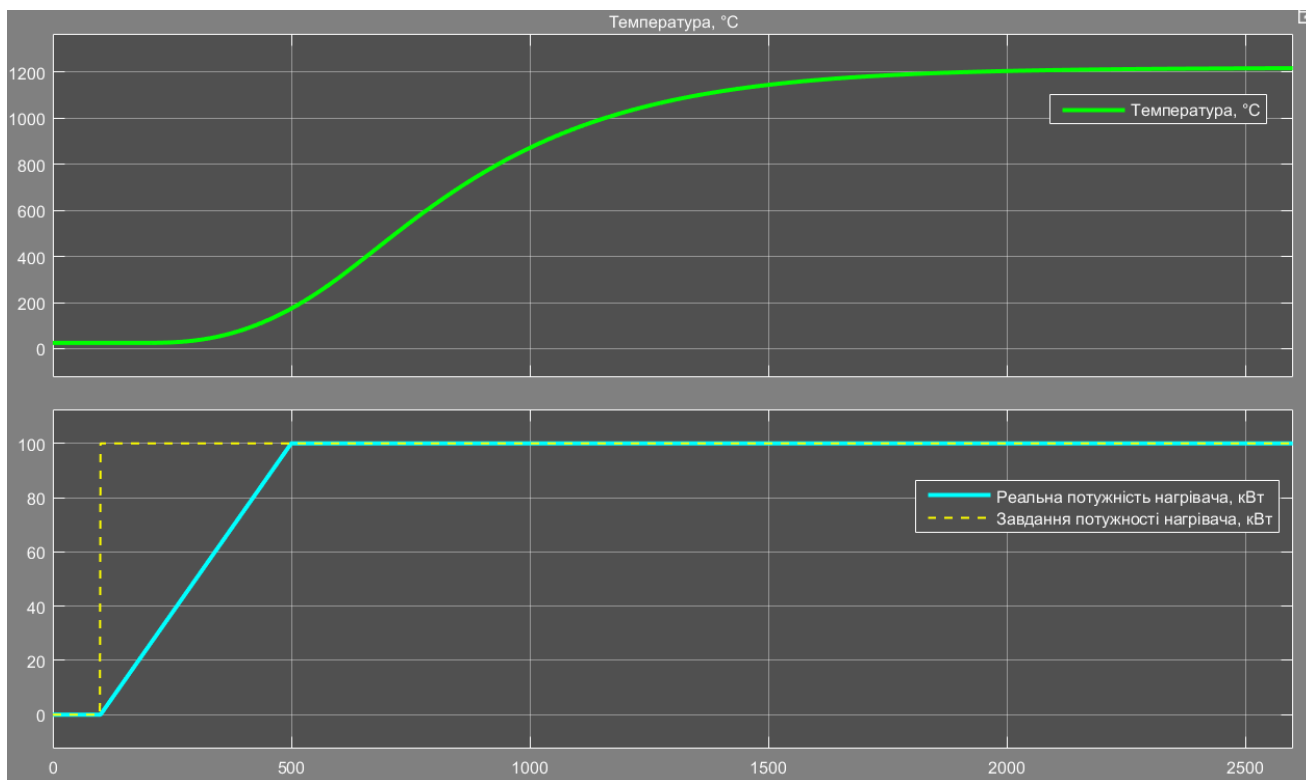


Рисунок 3.20 – Результат моделювання обмеження швидкості зміни потужності нагрівача

3.8 Висновки за розділом

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних, отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням та розраховані параметрами моделі: коефіцієнт підсилення 11,94, постійні часу 286 с та 200 с, а запізнення становить 82 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 93,8 %, сильний кореляційний зв'язок 1,0 та статистичний критерій Фішера 43317707 значно більшу критичного значення 2,706. Велике значення статичного критерію

адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Згідно до вимог технологічного процесу, обмеження швидкості зміни потужності нагрівача повинно складати 0,25 кВт/с, тому до складу моделі об'єкта керування додано блок 'Rate Limiter' який виконує функції регулятора потужності.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу модель є адекватною до об'єкта керування – купольної муфельної печі Serthel Industrie VPA 1400, яка призначена для термообробки деталей, виготовлених зі сплавів металу ВЖМ-4, INC713LC.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра в якості об'єкту керування була обрана купольна муфельна піч Serthel Industrie VPA 1400, яка призначена для термообробки деталей, виготовлених зі сплавів металу на Державному підприємстві «Антонов» (Україна).

Велика кількість сьогоденних авіалайнерів працюють від турбодвигунів підприємства «Антонов», які мають надзвичайну якість за багатьма важливими параметрами.

Міцні, легкі, стійкі до корозії, термічно стійкі компоненти двигуна мають важливе значення для життєздатності будь-якого літака, і були розроблені певні матеріали, щоб забезпечити ці та інші бажані характеристики.

Впускний вентилятор в передній частині двигуна повинен бути надзвичайно міцним, щоб він не зламався при засмоктуванні в його лопаті великих птахів та іншого сміття, тому він виготовлений з титанового сплаву. Проміжний компресор виготовлений з алюмінію, в той час як секція високого тиску ближче до місця інтенсивного нагрівання виготовлена з нікелевих і титанових сплавів, краще здатних витримувати екстремальні температури. Камера згоряння також виготовлена з нікелевих і титанових сплавів, а лопаті турбіни, які повинні витримати найінтенсивніше нагрівання двигуна, складаються з нікель-титано-алюмінієвих сплавів.

Найчастіше і камера згоряння, і турбіна отримують спеціальні керамічні покриття, які краще дозволяють їм протистояти нагріванню.

Тому одним з насущних завдань є розробка системи керування вакуумною термічною піччю фірма Serthel Industrie VPA 1400 (Бельгія) для термообробки виливків зі сплаву «ВЖМ-4» та INC713LC.

Конструктивною особливістю цієї печі є наявність муфелю у якому розміщуються контейнер з деталями для термообробки, який захищає оброблювані

деталі від безпосереднього впливу на них продуктів нагріву. Муфель це знімна за допомогою крана конструкція.

Принцип роботи печі купольного типу полягає в тому, що муфель з продуктами для термічної обробки поміщається в опалювальну піч. Час і температурний режим обробки деталей має робочий температурний діапазон залежить від виду виконуваного технологічного процесу, а також від типу сплаву деталей, що піддається термообробці. Після закінчення термообробки муфель знімається, а деталі охолоджуються завдяки наступному технологічному обладнанню.

Джерелом тепла для термообробки є електроенергія, атмосфера у муфелю може бути з азоту або аргону при розрідженому тиску.

Система керування наступні переваги:

- підвищення якості продукції;
- підвищення продуктивності підприємства;
- підвищення інформативності керування підприємством;
- підвищення надійності роботи обладнання;
- підвищення безпеки праці;
- обмін інформації з іншими виробничими системами.

4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Розрахуємо капітальні витрати:

$$K_{\text{ПКВ}} = C_{\text{ОБ}} + D_{\text{ТР}} + M_{\text{МН}} + K_{\text{ПЗ}}, \quad (4.1)$$

де $K_{\text{ПКВ}}$ – проектні капітальні витрати, грн.;

$C_{\text{ОБ}}$ – вартість основного та допоміжного обладнання, грн.;

$D_{\text{ТР}}$ – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

$M_{\text{МН}}$ – витрати на монтаж і налагодження системи, грн.;

$K_{\text{ПЗ}}$ – витрати на розробку програмного забезпечення, грн.

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат C_{OB} [8...12]

| № | Найменування | Одиниці виміру | Кількість | Вартість (грн.) | Сума (грн.) |
|----|---|----------------|-----------|-----------------|-------------|
| 1 | Модуль ПЛК VIPA 214-2BS33 | од. | 1 | 32 774,40 | 32 774,40 |
| 2 | Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40 | од. | 3 | 24 149,30 | 72 447,90 |
| 3 | Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00 | од. | 1 | 16 740,30 | 16 740,30 |
| 5 | Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40 | од. | 1 | 28 045,50 | 28 045,50 |
| 6 | Система керування, виконана на базі ПК | од. | 1 | 42 335,80 | 42 335,80 |
| 7 | Датчик температури ТПП-1-29-S-1-И-1000 | од. | 1 | 1 567,00 | 1 567,00 |
| 8 | Датчики тиску Метран 100 дв | од. | 1 | 4 327,00 | 4 327,00 |
| 9 | Тиристорне джерело живлення Autonics DPU 33C025R | од. | 1 | 12 784,00 | 12 784,00 |
| 10 | Реле твердотільне Jotta SSR 10 (3x~380 В, 0-24 В) | од. | 2 | 870,00 | 1 740,00 |
| 15 | Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 | од. | 2 | 2 200,00 | 4 400,00 |
| 16 | Шафа монтажна | од. | 1 | 4 000,00 | 4 000,00 |
| 17 | Монтажні дроти | м | 100 | 12,50 | 1 250,00 |
| 18 | Мережний кабель | м | 320 | 29,00 | 9 280,00 |
| 20 | Програмне забезпечення | разом | 1 | 80 000,00 | 80 000,00 |
| | Разом | | | | 311 691,90 |

Вартість основного та допоміжного обладнання складає $C_{OB} = 311\,691,90$ грн.

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи визначаються в залежності від вартості обладнання, як 8 % від загальної вартості:

$$D_{TP} = C_{OB} \cdot 0,08, \quad (4.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 311\,691,90 \cdot 0,08 = 24\,935,36 \text{ (грн.)}$$

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт приймаються на рівні 7 % від вартості обладнання:

$$M_{MH} = C_{OB} \cdot 0,07. \quad (4.3)$$

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 311\,691,90 \cdot 0,07 = 21\,818,44 \text{ (грн.)}$$

4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення (ПЗ) розраховується як:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{OT} + t_g, \quad (4.4)$$

де t – трудомісткість розробки ПЗ (люд.-год.); t_o – витрати праці на підготовку завдання (люд.-год.); t_u – витрати праці на дослідження алгоритмів керування (люд.-год.); t_a – витрати праці на розробку схеми алгоритму (люд.-год.); t_n – витрати праці на програмування по схемі алгоритму (люд.-год.); t_h – витрати праці на налаштування ПЗ (люд.-год.); t_g – витрати праці на підготовку документації по завданню (люд.-год.).

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

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (4.5)$$

де Q – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні; q – кількість операторів у ПЗ (на мові Structured Text типове значення має діапазон 200... 500, приймаємо $q = 425$); c – коефіцієнт складності програми (приймаємо $c = 1,35$); p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо $p = 0,3$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 425 * 1,35 * (1 + 0,3) \approx 746$$

Витрати праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають $t_o = 48$ (люд, –год,),

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

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k'} \quad (4,6)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці (приймаємо $B = 1,75$); k – коефіцієнт кваліфікації програміста (приймаємо $k = 1,4$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 746 * 1,75 / (80 * 1,4) \approx 12 \text{ (люд, –год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \quad (4.7)$$

Для ПЗ, що розробляється:

$$t_a = 746 / (20 * 1,4) \approx 27 \text{ (люд. –год.)}.$$

Витрати праці на складання програми по готовій схемі алгоритму визначаються як:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k'} \quad (4.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 746 / (20 * 1,4) \approx 27 \text{ (люд. –год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_n = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k}. \quad (4.9)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 746 / (4 * 1,4) \approx 134 \text{ (люд. –год.)},$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{др} + t_{до}. \quad (4.10)$$

де $t_{др}$ – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;
 $t_{до}$ – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{др} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k}. \quad (4.11)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{др} = 746 / (15 * 1,4) \approx 36 \text{ (люд. –год.)}.$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

$$t_{до} = 0,75 \cdot t_{др}. \quad (4.12)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 * 36 = 27 \text{ (люд. –год.)}.$$

Для розробленого програмного забезпечення витрати праці на підготовку документації по завданню:

$$t_g = 36 + 27 = 63 \text{ (люд. –год.)}.$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 48 + 12 + 27 + 27 + 134 + 63 = 311 \text{ (люд. –год.)}$$

4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку ПЗ визначається як:

$$K_{\text{ПЗ}} = Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{МІ}}, \text{ грн}, \quad (4.13)$$

де $Z_{\text{ЗП}}$ – витрати на заробітну плату розробника ПЗ, грн.; $Z_{\text{МІ}}$ – вартість машинного часу, необхідного для налаштування ПЗ, грн,

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

$$Z_{\text{ЗП}} = t \cdot C_{\text{ПР}}, \text{ грн}, \quad (4.14)$$

де t – час розробки ПЗ, год; $C_{\text{ПР}}$ – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо $C_{\text{ПР}} = 150$ грн./год.).

Заробітна плата розробника ПЗ, що розробляється:

$$Z_{\text{ЗП}} = 311 \cdot 150 = 46\,650,00 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$Z_{\text{МІ}} = t_n \cdot C_{\text{МЧ}}, \text{ грн}, \quad (4.15)$$

де t_n – час налаштування ПЗ, год; $C_{\text{МЧ}}$ – вартість машинного часу (приймаємо $C_{\text{МЧ}} = 17,5$ грн./год.),

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{МІ}} = 27 \cdot 17,5 = 472,50 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{\text{ПЗ}} = 46\,650,00 + 472,50 = 47\,122,50 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (4.16)$$

де T – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.); B_k – кількість розробників (приймаємо $B_k = 1$); F_p – місячний фонд робочого часу ($F_p = 176$ (год./міс.)).

$$T = 311 / (1 \cdot 176) = 1,86 \approx 2,0 \text{ (міс.)}$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{\text{ПКВ}} = 311\,691,90 + 24\,935,36 + 21\,818,44 + 47\,122,50 \approx \\ \approx 405\,568,20 \text{ грн.},$$

4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{\text{РО}} + C_{ee} + C_{\text{ІНШ}}, \quad (4.17)$$

де C_e – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування, грн.; C_a – амортизація основних фондів, грн.; C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.; C_c – відрахування на соціальні заходи, грн.; $C_{\text{РО}}$ – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання, грн.; C_{ee} – вартість електроенергії, грн.; $C_{\text{ІНШ}}$ – інші витрати, грн.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

4.4.1 Амортизація основних фондів

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі системи керування, належить до 4 групи (машини та обладнання), передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років, При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

$$H_a = \frac{2}{T} \cdot 100 \%, \quad (4.18)$$

де H_a – норма амортизації, %; T – термін корисного використання об'єкта, років.

Амортизація основних фондів визначається як:

$$C_a = \frac{\text{ПВ} \cdot H_a}{100 \%,} \quad (4.19)$$

де C_a – річна амортизація основних фондів, грн.; ПВ – первинна вартість (ПВ = $K_{\text{ПКВ}}$), грн.

Отже, норма амортизації для проектованої системи керування складає:

$$H_a = \frac{2}{5} \cdot 100 \% = 40 \%,$$

Сума амортизації для проектованої і базової системи становить:

$$C_a = 405\,568,20 * 40 / 100 = 162\,227,28 \text{ грн},$$

4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{НР}} = (T_{\text{К}} - T_{\text{ВС}} - T_{\text{В}}) \cdot T_{\text{З}}, \quad (4.20)$$

де $T_{\text{НР}}$ – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника, год.;
 $T_{\text{К}}$ – календарний фонд робочого часу, днів ($T_{\text{К}} = 365$); $T_{\text{ВС}}$ – вихідні дні та свята,
 днів ($T_{\text{ВС}} = 114$); $T_{\text{В}}$ – відпустка, днів ($T_{\text{В}} = 21$); $T_{\text{З}}$ – тривалість зміни, год ($T_{\text{З}} = 8$),

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{НР}} = (365 - 114 - 21) * 8 = 1\,840 \text{ год},$$

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу на зміну, 1 інженер-технолог та 1 наладчик електроустаткування на добу. Процес безперервний – 3 зміни на добу,

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

| № п/п | Найменування професії робітників | Число працюючих, чол. | Годинна тарифна ставка, грн./год. | Номінальний річний фонд робочого часу | Пряма заробітна плата, грн. | Додаткова заробітна плата (8%), грн. | Доплати (7%), грн. | Всього заробітна плата, грн. |
|-------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 1 | Оператор НМІ | 3 | 125,70 | 1 840 | 693 864,00 | 55 509,12 | 48 570,48 | 797 943,60 |
| 2 | Інженер-технолог | 1 | 137,60 | 1 840 | 253 184,00 | 20 254,72 | 17 722,88 | 291 161,60 |
| 3 | Наладчик | 1 | 115,40 | 1 840 | 212 336,00 | 16 986,88 | 14 863,52 | 244 186,40 |
| Разом | | | | | | | | 1 333 291,60 |

Заробітна плата персоналу проектної системи керування

$$C_3 = 1\,333\,291,60 \text{ грн},$$

4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3, \text{ грн,} \quad (4,21)$$

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_c = 0,22 * 1\,333\,291,60 = 293\,324,16 \text{ грн,}$$

4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

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

$$C_{PO} = 0,05 \cdot K_{KB}, (K_{ПКВ}) \quad (4,22)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 * 405\,568,20 = 20\,278,41 \text{ грн.}$$

4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{РД} \cdot T_3 \cdot T_e, \quad (4,23)$$

де K_e – кількість електроенергії, спожите проектною системою керування (приймаємо $K_e = 0,75$ (кВт · год,)); T_3 – кількість часу роботи за сутки ($T_3 = 24$ (год,)); $K_{РД}$ – кількість робочих днів у році ($K_{РД} = 365$ (день)); T_e – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,86 грн, ·кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф $T_e = 2,86 * 1,2 = 3,432$ (грн.)).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 0,75 * 365 * 24 * 3,432 = 22\,548,24 \text{ грн.}$$

4.4.6 Інші витрати

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

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 \cdot C_3, \quad (4,24)$$

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 * 1\,333\,291,60 = 53\,331,67 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (табл. 4,4):

$$C = 405\,568,20 + 1\,333\,291,60 + 293\,324,16 + 20\,278,41 + 22\,548,24 + 53\,331,67 = 2\,128\,342,28 \text{ грн.}$$

Таблиця 4,4 – Експлуатаційні витрати

| № п/п | Назва показника | Проектний варіант, грн, |
|-------|-----------------------------------|-------------------------|
| 1 | Амортизація | 405 568,20 |
| 2 | Фонд заробітної плати | 1 333 291,60 |
| 3 | Відрахування на соціальні виплати | 293 324,16 |
| 4 | Ремонт та технічне обслуговування | 20 278,41 |
| 5 | Електроенергія | 22 548,24 |
| 6 | Інше | 53 331,67 |
| 7 | Загалом | 2 128 342,28 |

4.5 Висновки за розділом

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають 405 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 2 місяці,

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи менше 2,12 млн. грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Характеристика об'єкту та умови його експлуатації

Підрозділ охорони праці є невід'ємною частиною організаційної структури будь-якого підприємства.

Оператори керування температурою у муфельній печі виконують роботу безпосередньо на персональних комп'ютерах та з використанням друкувальної, копіювальної та іншої офісної техніки. Тому для такої діяльності передбачаються умови праці з урахуванням вимог норм ДСанПіН 3.3.2.007-98 та наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207, тобто норма площі на одного працюючого не менш ніж 6 м². У офісному приміщенні знаходиться шість персональних комп'ютерів, основними частинами яких є дисплей, процесор та багатофункціональний пристрій. У приміщенні працюють шість операторів.

У відповідності до ст. 13 Закону України "Про охорону праці", що є обов'язковим для виконання на підприємствах чи установах. Відповідальність за створення умов праці у кожному структурному підрозділі і на робочому місці відповідно до вимог нормативних актів покладена начальника установи.

В загальна кількість працюючих становить цеху 128 працівників, з яких 90 атестовані. Відтак, відповідно до нормативної бази з охорони праці, функції служби охорони праці покладаються на стороннього працівника, послугами якого користуються на договірних засадах. Він в свою чергу підпорядковується безпосередньо начальнику установи.

У операторська має шість персональних комп'ютерів, багатофункціональний пристрій, телефон та факс. Приміщення площею 36 м² поділене на шість робочих зон, у яких працюють головний оператор та п'ять помічників. Загальний об'єм приміщення складає 74 м³.

5.2 Аналіз шкідливих факторів на робочому місці

При роботі з ПЕОМ користувач перед початком роботи інструктується первинним інструктажем, а потім через кожні 6 місяців проходить повторний

інструктаж. До роботи з ПЕОМ допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання, медичний огляд, інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки.

Начальник установи повинен застрахувати працівників як користувача ПЕОМ від нещасних випадків та професійних захворювань. Можливі фактори небезпечного впливу наведені в табл. 5.1

Таблиця 5.1 - Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

| Найменування фактору | Джерело виникнення фактору | Характер впливу фактору на людину |
|--|--|---|
| Електромагнітне випромінювання | Оргтехніка: комп'ютер, факс | Розлади нервової, серцево-судинної системи, внутрішньочерепний тиск |
| Нестача природного освітлення | Замалий розмір вікна та наявність лише одного вікна | Впливає на зорові аналізатори, погіршує зір |
| Низька контрастність кольорового оформлення приміщення | Кольорове вирішення інтер'єру | Впливає на зорові аналізатори, погіршує кольорове сприйняття |
| Неергономічна організація робочого місця | Розміри та габарити робочого місця | Вплив на статуру, положення окового яблука |
| Замалі розміри приміщення для двох працівників | Конструкція будівлі | Невідповідність встановленим нормам, нервово перенапруження |
| Виникнення статичної електрики; | Оргтехніка, а саме дисплей комп'ютера | Теплова та біологічна дія на організм людини |
| Психоемоційне навантаження | Високий рівень відповідальності, велика кількість обов'язків | Вплив на нервову систему |
| Ультразвукове випромінювання | Комп'ютер персональний | Вплив на серцево-судинну, ендокринну систему, загальний стан організму |
| Порушення кліматичного режиму приміщення влітку | Відсутність системи клімат-контролю | Можливість теплового удару, збої у терморегуляційних процесах організму |

Мікроклімат у приміщенні операторської визначає наступні параметри: температура, рухливість повітря, відносна вологість повітря і інтенсивність теплового випромінювання.

У відповідності ДСН 3.3.6.042-99 встановлюються оптимальні умови, при виборі яких враховується пора року та категорія важкості роботи. За витратами енергії робота характеризується напруженою розумовою працею (сидяча робота не потребує фізичного напруження) та згідно вказаного стандарту, визначається за

категоріями важкості як 1б. Оптимальні параметри мікроклімату наведені у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Оптимальні параметри мікроклімату

| Категорія роботи за енергозатратами | Пора року | Температура повітря, °С | Відносна вологість повітря, % | Швидкість руху повітря, м/с |
|-------------------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Легка 1б | Холодна | 21-23 | 40 - 60 | 0,1 |
| | Тепла | 22-24 | 40 - 60 | 0,2 |

Для освітлення офісного приміщення використовується змішане освітлення, що складається з природного, створюваного світлом з вікна, та штучного, отриманого з освітлювальних пристроїв.

У приміщенні використовується бічне природне освітлення, що потрапляє крізь три бічних вікна. Вікно характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО не нижче 2,0% [4]. Відтак, КПО визначається за формулою 5.1.:

$$e_H^{IV} = e_H^{III} \times m \times c \quad (5.1)$$

де m – коефіцієнт світлового клімату, що приймається рівним 0,9; c – коефіцієнт сонячності клімату, що приймається рівним 1.

Тоді

$$e_H^{IV} = 2,0 \times 0,9 \times 1 = 1,8$$

Розряд зорової роботи працюючих з використанням комп'ютерів приймається виходячи з мінімального розглядуваного об'єкту від 0,3 до 0,5 мм та відносяться до III розряду.

Характеристики освітлення подано у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 - Характеристика освітлення

| Найменування приміщення | Розряд зорової роботи | Площа підлоги, м ² | Освітлення | | |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|--------|--------------------------|
| | | | Природне | | Штучне, комбіноване |
| | | | Вид освітлення | КПО, % | Нормоване освітлення, лк |
| Операторська | III | 36,0 | бічне | 1,8 | 400 |

Рівні звукового тиску на робочих місцях, де використовуються персональні комп'ютери повинні відповідати вимогам ДСТУ 2867-94. Зокрема, рівні шуму на робочих місцях осіб, що працюють із відеотерміналами та ПК, визначені ДСанПін 3.3.2-007-98 і не перевищують 50 дБА, рівень вібрації віброприскорення не

перевищує 75 дБ.

Джерелом виникнення шумів для офісного приміщення може бути наявна офісна техніка. Шуми виробничих приміщень не повинні доходити до внутрішнього середовища офісу, задля чого офісні приміщення розташовуються на відстані не менш ніж 100 м від виробництва.

Серед основних заходів для зниження шуму можна назвати такі:

- 1) застосування шумопоглинаючих матеріалів;
- 2) акустична обробка приміщень (підвісні стелі);
- 3) розташування джерел шуму в ізольованих приміщеннях;
- 4) заміна матричних та струменевих принтерів на лазерні.

У операторському приміщенні, що за класифікацією можна віднести до приміщень без підвищеної небезпеки, розміщено п'ять розеток змінного струму з напругою 220 В та потужністю 50 Гц.

Задля забезпечення електробезпеки на підприємстві та у окремих приміщеннях звертаються до таких заходів:

- 1) захисне заземлення корпусів персональних комп'ютерів, занулення, захисне відключення;
- 2) впровадження системи допусків при виконанні ремонтних робіт;
- 3) відгородження, за необхідності, робочих місць або струмовідних частин, що залишилися під напругою;
- 4) розміщення у небезпечних місцях попереджувальних знаків, плакатів, пам'яток.

Пожежна безпека відповідно до ДСТУ 8828:2019 забезпечується системами запобігання пожежі, пожежного захисту, організаційно-технічними заходами. Позаяк причинами виникнення пожежі у приміщенні можуть бути несправність електропроводки та устаткування, коротке замикання, перегрів апаратури та блискавка. Система запобігання пожежі складається з таких елементів:

- 1) контроль та профілактика ізоляції, наявності плавких вставок і запобіжників в електронному устаткуванні;
- 2) заземлення – для захисту від статичної напруги;

3) захист від блискавок будівель і устаткування.

Приміщення операторської по пожежонебезпечності відноситься до категорії Д, згідно. Приміщення відповідно до ДНАОП 0.00-1.32-01 (ПУЕ-87) по пожежонебезпечній зоні відноситься – до класу П-Па.

Приміщення має 2 вогнегасники типу ВВК-5. На стіні перед виходом наявний план евакуації з приміщення та будівлі. Серед персоналу проводяться навчання та інструктажі щодо правил пожежної безпеки

Одним з видів забруднення природи є саме повітря, оскільки він після проходження через будь-яку систему виробництва придбаває деякі негативні чинники, які негативно впливають на навколишнє середовище. Щоб цього не відбувалося при проектуванні систем вентиляції і кондиціонування повітря передбачається використання рециркуляції і установка фільтрів на витяжних системах.

Діяльність виробництва відповідає вимогам Закону України "Про охорону навколишнього природного середовища". З цією метою воно має дозвіл на розміщення відходів та дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, адже на його території розташовані газові котельні. Відповідно до згаданих дозволів підприємство повинне забезпечити належне зберігання відходів до вирішення їх задачі та утилізації, своєчасно видаляти відходи з власної території, організувати та вести первинний облік за утворенням та рухом відходів, своєчасно здійснювати плату за розміщення відходів, а також утримувати територію підприємства у належному санітарному стані.

5.3 Висновки

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-

побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для людей, які його оточують, або для виробничого середовища чи довкілля. Він зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника або роботодавця. Факт наявності такої ситуації за необхідності підтверджується спеціалістами з охорони праці підприємства за участю представника профспілки, членом якої він є, або уповноваженої працівниками особи з питань охорони праці (якщо професійна спілка на підприємстві не створювалася), а також страхового експерта з охорони праці.

Продуктивність праці, настроїв і здоров'я працівників прямо пропорційна залежать від організації робочих місць. Робоче місце - просторова зона, оснащена технічними засобами, в якій здійснюється трудова діяльність працівників. Організація робочого місця - сукупність заходів щодо оснащення робочого місця засобами і предметами праці і їх розміщення в певному порядку. Робоча зона - частина простору робочого місця, обмежена крайніми точками, до яких дістають руки і ноги працівника, з відхиленням на один-два кроки від умовного центру робочого місця.

Конструкція робочого місця повинна забезпечувати швидкість, безпеку, простоту й економічність його обслуговування в нормальних і аварійних умовах, цілком відповідати функціональним вимогам і передбачуваним умовам експлуатації. Вона повинна бути такою, щоб експлуатацію, технічне обслуговування або ремонт устаткування робочого місця міг робити персонал, що має мінімальну підготовку.

ВИСНОВКИ

Об'єктом керування виступає купольна піч Serthel Industrie VPA 1400, яка використовується на Державному підприємстві «Антонов» (Україна), основною сферою діяльності якого є вантажні авіап перевезення, розробка, виробництво та ремонт літаків серії «Ан», яке постійно поліпшує свою продукцію, створює нову авіаційну продукцію.

Система керування купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 призначена для модернізації технологічного обладнання, необхідного для проведення досліджень з розробки нових компонентів деталей авіаційних двигунів, зокрема робочих лопаток першого та другого ступенів турбіни високого тиску для двигунів «ВІ-28».

Автоматизація печі Serthel Industrie VPA 1400 включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію. Експлуатація печі Serthel Industrie VPA 1400 повинна забезпечувати надійне і ефективне її використання і безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу. Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Автоматизація роботи піччю Serthel Industrie VPA 1400 повинна здійснюватися за такими основними параметрами:

- підтримка заданого режиму термообробки;
- підтримка заданого ступеню вакууму.

Для коректної роботи технологічного обладнання з модернізованою системою керування треба мати математичну модель самого об'єкта технологічного обладнання, працюючого у допустимих технологічних межах, яка у наступному має бути використана при синтезі нової системи керування цим технологічним обладнанням.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування - купольною піччю Serthel Industrie VPA 1400 для регульованої температури, в залежності від

потужності електричного нагрівача. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

У якості об'єкта керування виступає купольна піч Serthel Industrie VPA 1400 Державного підприємства «Антонов». Для синтезу системи керування об'єктом керування VPA 1400 обрані необхідні апаратні засоби, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних, отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням та розраховані параметрами моделі: коефіцієнт підсилення 11,94, постійні часу 286 с та 200 с, а запізнення становить 82 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 93,8 %, сильний кореляційний зв'язок 1,0 та статистичний критерій Фішера 43317707 значно більшу критичного значення 2,706. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Згідно до вимог технологічного процесу, обмеження швидкості зміни потужності нагрівача повинно складати 0,25 кВт/с, тому до складу моделі об'єкта керування додано блок 'Rate Limiter' який виконує функції регулятора потужності.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу модель є адекватною до об'єкта керування – купольної муфельної печі Serthel Industrie VPA 1400, яка призначена для термообробки деталей, виготовлених зі сплавів металу ВЖМ-4, INC713LC.

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають 405 тис, грн., час розробки ПЗ становитиме 2 місяці,

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи менше 2,12 млн, грн,

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розроблено інженерно-технічні заходи з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Muffles and retorts, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www,nicrospa,com/products/muffles/>
2. Муфельна піч, [Електронний ресурс], Режим доступу: https://uk,wikipedia,org/wiki/%D0%9C%D1%83%D1%84%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D1%96%D1%87
3. Muffle furnace VPA FURNACE, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www,directindustry,com/prod/ecm-technologies/product-16218-1660416,html>
4. Bells, bases and diffusers for furnaces, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www,nicrospa,com/products/covers-for-bell-furnaces/>
5. Виготовлення турбінних лопаток, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://on-v,com,ua/novosti/texnologii-i-nauka/izgotovlenie-turbinnux-lopatok/>
6. Основні параметри процесів термічної обробки, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://studfile,net/preview/4614379/page:16/>
7. Переходи з нерівноважного стану до рівноважного, [Електронний ресурс], Режим доступу: https://studme,org/424810/matematika_himiya_fizik/perehody_neravnovesnogo_sos_toyaniya_ravnovesnoe
8. Термоперетворювачі, [Електронний ресурс], Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://ao-tera,com/img/common/content/files/PDF/1-27_1-28_pdf,pdf
9. Метран-100-ДВ датчик розрідження, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://ukrpromcentr,com,ua/ua/p710382980-metran-100-datchik,html>,
10. DPU(3-phase) Series (user manual, [Електронний ресурс], Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www,svaltera,ua/upload/iblock/b45/dpu_3_phase_manu_user_en_aum_e_0507b_161013,pdf
11. SSR-10DA Datasheet, Equivalent, State Relay,

12. DC to AC Solid State Relay, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://datasheetspdf.com/pdf/789330/Fotek/SSR-10DA/1>
13. ДБН В,2,5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування,
14. ДСТУ Б,А,3,2-12:2009, Система стандартів безпеки праці, Системи вентиляційні, Загальні вимоги ДНАОП 0,03-33,14-85, Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях,
15. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України, – 2017 – 617с,
16. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», № 528 - 2001,
17. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14,02,2018 № 207,
18. 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,
19. 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,
20. ДСанПіН 3,3,2-007-98 Державні санітарні правила і норми, Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин
21. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка, Обладнання виробниче, Загальні вимоги дизайну та ергономіки
22. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка, Робоче місце під час виконання робіт стоячи, Загальні ергономічні вимоги,

23. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка, Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи, Загальні ергономічні вимоги
24. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції
25. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (затверджено наказом МОЗ України від 27,12,2001р № 528),

ДОДАТОК А

Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

| № рядка | Формат | Позначення | Найменування | Кількість аркушів | Шифр документу | Примітка | |
|-----------|--------|------------------------|-------------------------|--|--|----------|---------|
| 1 | | | Документація | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | A4 | КІВС.КВР.151.19.14.ПЗ | Пояснювальна записка | | ПЗ | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | Графічна частина | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | A2 | КІВС.КВР.151.19.14.Е2 | Функціональна схема | | | | |
| 8 | | | автоматизації | 1 | Е2 | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | A2 | КІВС.КВР.151.19.14.Е3 | Схема електрична | | | | |
| 11 | | | принципова | 1 | Е3 | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | A4 | КІВС.КВР.151.19.14.ПЕ3 | Перелік елементів | 1 | ПЕ | | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | A4 | КІВС.КВР.151.19.14.Д | Презентація | | Д | | |
| 16 | | | | | | | |
| 17 | | КІВС.КВР.151.19.14.ВДЕ | Носій інформації | 1 | ВДЕ | | |
| 18 | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | |
| | | | Підп. | Дата | КІВС.КВР.151.19.14.ТП | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | | | | | |
| Розробив | | Кулибаба | | 07.05.23 | | | |
| П. конс. | | Бойко | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Н. контр. | | Воскобойник | | | | | |
| | | | | Автоматизація процесу керування температурою у муфельній печі. | Літ. | Аркуш | Аркушів |
| | | | | Відомість проекту | | 1 | 1 |
| | | | | | Національний ТУ «Дніпровська політехніка». ЕТФ. 151-19-1 | | |

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація процесу керування температурою у муфельній печі», студент гр. 151-19-1 Кулибаба Роман Володимирович

Об'єкт розробки – система автоматичного керування вакуумною муфельною термічною піччю фірми Serthel Industrie VPA 1400, яка використовується на Державному підприємстві «Антонов» (Україна).

Об'єкт дослідження піч фірми Serthel Industrie VPA 1400 для термообробки авіаційних лопаток для реактивних двигунів, виготовлених зі сплавів металу ВЖМ-4, INC713LC.

Предмет дослідження – математична модель вакуумної муфельної термічною печі Serthel Industrie VPA 1400.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування для регульованої температури у муфелі, в залежності від потужності електричного нагрівача. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки системи керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення системи керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої системи керування піччю Serthel Industrie VPA 1400 для термообробки авіаційних лопаток для реактивних двигунів.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розроблено інженерно-технічні заходи по охороні праці, розглянуті протипожежні заходи.

Така система може бути затребувана для будь-яких технологічних з термообробки металевих сплавів.

Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з професійною діяльністю фахівця спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Цілі, поставлені перед кваліфікаційною роботою, повністю виконані.

ПЗ і графічна частина кваліфікаційної роботи виконана відповідно до вимог ГОСТ і ЕСКД, зауважень до проекту немає.

При виконанні кваліфікаційної роботи і ухваленні рішень проявлена висока міра самостійності, технічної грамотності.

Оцінки по розділах кваліфікаційної роботи - « _____ ».

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінку « _____ », а студент Кулибаба Р.В., привласнення освітнього рівня «бакалавр» в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування.

Керівник кваліфікаційної роботи, _____ ст, викл, Бойко О.О.

___.06.2023

РЕЦЕНЗІЯ

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація процесу керування температурою у муфельній печі», студент гр. 151-19-1 Кулибаба Роман

Володимирович

1. Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті - перевірці знань і ступеня підготовленості студента за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».
2. Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження нової системи керування дозволить зменшити вплив основних недоліків технологічного обладнання.
3. Отримана модель може бути використана за для розробки програмного забезпечення системи керування.
4. Повнота і глибина вирішення завдань, поставлених в завданні на кваліфікаційну роботу достатня.
5. В рамках кваліфікаційної роботи було визначено структуру об'єкта керування та побудована його модель.
6. В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки «_____», за умови відповідного захисту.
7. Студент Кулибаба Р.В. присвоєння їй кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, _____

____.06.2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувачем кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем

_____ Бубліковим А.В.

« _____ » _____ 2023 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація процесу керування температурою у муфельній печі», здобувача вищої освіти, групи 151-19-1, Кулибаба Роман Володимирович.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає _____ сторінок, Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unicheck.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,
посада, ас, каф, КФІВС
ступінь

Воскобойник Є.К.

(підпис)

(дата)