**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**
**ім. Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

# Кваліфікаційна робота (проєкт)

другого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему Проект автоматизації камерної печі. Система автоматичного регулювання температурними режимами

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1743-з-с2
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Городенський Д.М.

Керівник професор, доктор. т. н. Пазюк М.Ю.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент _____

Запоріжжя 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (бакалаврський)
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(код та назва)
Спеціалізація
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

# З А В Д А Н Н Я
## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ
Городенський Дмитро Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проект автоматизації камерної печі. Система автоматичного регулювання температурними режимами
керівник роботи Пазюк М.Ю., професор, доктор т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1833-с
2. Строк подання студентом роботи 25 травня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз існуючого рівня автоматизації; розробка схеми інформаційних потоків; розробка технічного завдання; структура програмно-технічного комплексу; проєктування системи регулювання температурним режимом; розробка технічної документації; техніко-економічних показники; охорона праці, пожежна безпека
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): функціональна схема автоматизації, принципові електричні схеми, монтажно-комутаційна схема, схема зовнішніх з'єднань креслень) презентація роботи

6. Консультанти розділів роботи.

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 | професор, Пазюк М.Ю. | | |
| 2 | професор, Пазюк М.Ю. | | |
| 3 | професор, Пазюк М.Ю. | | |
| 4 | професор, Пазюк М.Ю. | | |
| 5 | професор, Пазюк М.Ю. | | |
| 6 | професор, Пазюк М.Ю. | | |

7 Дата видачі завдання 14.04.2026 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| **1** | Аналіз існуючого рівня автоматизації | 14.04-20.04.26 | |
| **2** | Розробка схеми інформаційних потоків | 21.04-27.04.26 | |
| **3** | Розробка технічного завдання | 28.04-04.05.26 | |
| **4** | Вибір структури та складу програмно-технічного комплексу | 05.05-07.05.26 | |
| **5** | Проєктування системи регулювання температурними режимами | 08.05-10.05.26 | |
| **6** | Розробка технічної документації | 08.05-14.05.26 | |
| **7** | Розрахунок системи автоматизації та показників її надійності | 15.05-18.05.26 | |
| **8** | Розрахунок техніко-економічних показників | 19.05-21.05.26 | |
| **9** | Розгляд питань охорони праці та техногенної безпеки | 22.05-23.05.26 | |
| **10** | Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю, підготовка доповіді | 24.05-25.05.26 | |

Студент _____ Дмитро ГОРОДЕНСЬКИЙ
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Михайло ПАЗЮК
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер _____ Віктор КОВАЛЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

# РЕФЕРАТ

Городенський Д. М. Проект автоматизації камерної печі. Система автоматичного регулювання температурними режимами.

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник М.Ю. Пазюк, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2026.

Мета роботи полягає у створенні системи для автоматизації процесу термічної обробки зливків у камерній печі з регулюванням температурного режиму. У вступі надається огляд характеристик термічної камерної печі з нерухомим подом та опис технологічного процесу термічної обробки. Далі досліджується поточний рівень автоматизації та виявляються недоліки існуючої системи. У спеціальній частині розробляється функціональна схема автоматизації камерної печі, вибираються технічні засоби автоматизації, проводяться розрахунки регулюючого органу та виконавчого механізму. Розробляються принципові електричні схеми, монтажні комутаційні схеми, схема зовнішніх з'єднань і проектується приладова шафа КВПіА. В розділі з охорони праці проводиться аналіз небезпечних та шкідливих факторів на підприємстві, розроблені заходи для їх запобігання. У розділі з економічною та організаційною частинами проводяться розрахунки необхідної кількості робочого та обслуговуючого персоналу, а також розраховується собівартість і економічний ефект від впровадження системи автоматизації.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, шести розділів, висновків, переліку джерел посилання з 51 найменувань, викладена на 97 сторінках машинописного тексту, включаючи 30 рисунка, 11 таблиць та 9 аркушів графічного матеріалу.

Ключові слова: автоматизація, камерна піч, температурний режим, автоматизація, проєкт автоматизації, контролер, щит, електрична схема.

ЗМІСТ

ВСТУП ..... 8
1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ..... 10
1.1 Технологічний агрегат і алгоритм його роботи ..... 10
1.3 Формування задачі дослідження ..... 16
1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків ..... 17
1.5 Недоліки існуючої системи управління і шляхи вдосконалення роботи термічних печей ..... 19
2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ..... 21
2.1 Вимоги до структури та функціонування системи ..... 21
2.2 Вимоги до чисельності та кваліфікації персоналу ..... 23
2.2.2 Вимоги до безпеки ..... 24
2.2.3 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і збереження елементів системи ..... 26
2.2.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу ..... 27
2.2.5 Вимоги до збереження інформації при аваріях ..... 27
2.2.6 Вимоги до засобів захисту від зовнішніх впливів ..... 27
2.2.7 Вимоги по стандартизації та уніфікації ..... 28
2.3 Вимоги до функцій, які виконуються системою ..... 28
2.4 Вимоги до видів забезпечення ..... 29
2.4.1 Вимоги до інформаційного забезпечення ..... 29
2.4.2 Вимоги до лінгвістичного забезпечення ..... 31
2.4.3 Вимога до програмного забезпечення ..... 32
2.4.4 Вимоги до технічного забезпечення ..... 32
2.4.5 Вимоги до метрологічного забезпечення ..... 33
2.4.6 Вимоги до організаційного забезпечення ..... 33
3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ..... 35
3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА ..... 35

3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру ..... 36
3.3 Вибір (розробка) математичної моделі системи управління ..... 38
3.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА ..... 46
3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючі пристрої, вторинні прилади ..... 46
3.4.2 Промислові контролери ..... 49
3.4.3 Вибір виконавчих пристроїв ..... 57
3.4.4 Вибір пульта оператора ..... 58
4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ..... 61
4.1 Розробка структурної схеми САР ..... 61
4.2 Розробка принципової електричної схеми ..... 63
4.3 Розробка принципової електричної схеми живлення ..... 64
4.4 Розробка монтажної комутаційної схеми щита КВПіА ..... 65
4.5 Зовнішній вид шафи та вид внутрішній панелі ..... 65
*Висновки.* В даному розділі розроблені структурна, функціональна схеми, принципова електрична схема живлення, монтажна комутаційна схема щита КВПіА схеми САР камерної печі. ..... 66
5 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ..... 67
5.1 Розрахунок параметрів наближеним методом ..... 67
5.2 Повний розрахунок параметрів надійності ..... 69
6 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ..... 74
6.1 Небезпечні та шкідливи фактори виробництва ..... 74
6.2 Організація пожежної безпеки ..... 75
6.3 Електробезпека ..... 78
7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ ..... 82
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації ..... 82
7.2 Розрахунок техніко – економічних показників ..... 84
7.2.1 Визначення капітальних вкладень ..... 84
7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат ..... 85
7.2.3 Річні витрати на ЗП ..... 85

7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань ..... 86
7.2.5 Річні витрати на ремонт ..... 87
7.2.6 Витрати електроенергії на живлення ..... 87
7.2.7 Інші витрати ..... 87
7.2.8 Валова річна економія витрат ..... 88
7.2.9 Фактична економія витрат ..... 89
7.2.10 Річний економічний ефект ..... 89
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА ..... 93

# ВСТУП

Виготовлення металевої продукції в сучасному машинобудуванні та металургії є надзвичайно тривалим і багатостадійним процесом, який охоплює велику кількість операцій і перетворень для надання виробу необхідної форми та властивостей. У цьому виробничому ланцюжку операція нагріву є наскрізною та обов'язковою. Якщо для невеликих виробів термічну обробку можна виконати в стислі строки, то нагрівання масивних деталей великих розмірів у важкому машинобудуванні триває протягом кількох діб і часто повторюється неодноразово під час обробки заготовок тиском. За таких умов виникає гостра проблема низької питомої продуктивності нагрівальних печей, що змушує підприємства або утримувати великий та капіталомісткий парк обладнання, або шукати шляхи інтенсифікації теплообміну. Для нагрівання деталей дрібних і середніх розмірів в умовах індивідуального та серійного виробництва широко застосовують камерні печі періодичної дії. Вони вирізняються простотою конструкції, універсальністю призначення та спроможністю працювати на рідкому чи газоподібному паливі, а також на електричній енергії. Крім того, такі печі є оптимальними для обробки великих і важких злитків, оскільки дозволяють розташовувати їх вертикально для забезпечення швидкого, якісного та всебічного прогріву з усіх сторін.

Управління тепловим режимом камерної печі здійснюється для підтримки заданої технологічної температури, забезпечення рівномірного прогріву садки металу, економічного використання джерел тепла та гарантування безпечної роботи всього обладнання. У сучасних камерних печах безпосередньому регулюванню підлягають такі основні параметри, як температура і тиск у робочому просторі печі, а також оптимальне співвідношення палива та повітря. Поряд із цим на всіх агрегатах передбачають обов'язковий контроль допоміжних, але критично важливих показників теплового режиму, серед яких температура димових газів на виході з печі, температура повітря у разі його підігріву в

рекуператорах, тиск газу та повітря безпосередньо в пальниках і в загальному колекторі, а також поточні витрати палива й повітря.

Вирішальним етапом удосконалення та модернізації виробничих процесів у термічних цехах є впровадження систем автоматичного регулювання. Головною метою створення таких систем є радикальне підвищення надійності та якості роботи як окремої печі, так і всієї виробничої ділянки завдяки утриманню технологічних параметрів у суворо допустимих межах. Автоматизація виробництва дозволяє повністю позбутися помилок обслуговуючого персоналу при виконанні операцій у заданій послідовності, забезпечує безпрецедентний рівень промислової безпеки, суттєво підвищує точність підтримки контрольованих параметрів, а також гарантує значну економію витратних матеріалів, енергоносіїв та коштів на подальше обслуговування системи.

Актуальність автоматизації контролю за термічними режимами сьогодні зумовлена жорсткими вимогами до якості металопродукції та стрімким подорожчанням паливно-енергетичних ресурсів. Оскільки термічна обробка безпосередньо визначає внутрішню структуру та механічні властивості сталі, найменша неточність через людський фактор або запізнілу реакцію оператора призводить до невиправного браку та колосальних збитків. Сучасні печі є складними нелінійними об'єктами з великою тепловою інерцією, тому ефективно керувати ними в ручному режимі практично неможливо. Автоматичний контроль дозволяє миттєво компенсувати коливання тиску газу чи підсмоктування повітря, підтримуючи ідеальний стехіометричний баланс горіння. Це не лише знижує витрати палива на десять-п'ятнадцять відсотків, а й захищає дорогоцінну футеровку печі від руйнівних термічних ударів, що робить автоматизацію єдиним надійним інструментом забезпечення конкурентоспроможності, екологічності та безпеки сучасного термічного виробництва.

# 1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 1.1 Технологічний агрегат і алгоритм його роботи

Камерна термічна піч є спеціалізованим теплотехнічним агрегатом, призначеним для високоефективного нагрівання металевих заготовок із використанням різних видів палива або електроенергії, головною метою якого є оптимізація питомої продуктивності процесу при максимальному збереженні теплової енергії. Завдяки своїй конструктивній гнучкості та універсальності, таке обладнання має надзвичайно широку сферу застосування, оскільки здатне функціонувати в різноманітних температурно-часових режимах і здійснювати повний спектр операцій термічної та хіміко-термічної обробки для виробів практично будь-якої геометричної форми та габаритів.

Ключова конструктивна особливість стандартних камерних печей полягає в тому, що процеси завантаження та вивантаження металу повністю реалізуються за допомогою зовнішніх механічних пристроїв, розташованих поза тепловим контуром агрегату. Таке рішення вигідно відрізняє їх від печей із викотним подом, оскільки усуває масивні втрати акумульованого тепла, які неминуче виникають при викочуванні розжареного поду у простір цеху. Водночас застосування зовнішньої механізації суттєво ускладнює логістику та кінематику завантаження, вимагаючи використання потужних підлогових завантажувальних машин, що переміщуються по рейкових коліях вздовж фронту печних агрегатів і послідовно обслуговують весь ряд печей. Сучасна камерна універсальна піч є цілісним автоматизованим комплексом, що конструктивно складається з трьох функціонально пов’язаних частин: завантажувального тамбура, герметичної камери нагрівання та інтегрованого гартівного бака, що дозволяє виконувати повний цикл обробки в захисній або контрольованій атмосфері без контакту гарячого металу з навколишнім повітрям.

Функціональні можливості універсальних камерних печей визначаються широким діапазоном термічних режимів, кожен з яких вимагає специфічного

керування швидкістю нагріву, температурою витримки та динамікою охолодження середовища. Залежно від поставлених завдань, у таких печах реалізують низькотемпературні режими відпуску та штучного старіння при температурах до двохсот-шістдесяти градусів Цельсія, а також середньотемпературні режими нормалізації, відпалу та загартування конструкційних сталей, що проходять у межах від семисот до дев'ятисот п'ятдесяти градусів. Для інструментальних або високолегованих сплавів застосовують високотемпературний нагрів, який може досягати тисячі двохсот п'ятдесяти градусів Цельсія. Важливою перевагою трикамерної структури з тамбуром і баком є можливість точного контролю режимів охолодження — від повільного охолодження разом із піччю при відпалі до миттєвого ізотермічного або переривчастого загартування у масляному чи водному середовищі гартівного бака. Окрім суто термічних режимів, наявність контрольованої атмосфери (ендогазу, екзогазу чи азотних сумішей) дозволяє успішно реалізувати режими хіміко-термічної обробки, такі як цементація, нітроцементація або азотування, де паралельно з тепловим циклом відбувається точне регулювання вуглецевого чи азотного потенціалу для насичення поверхневого шару деталей.

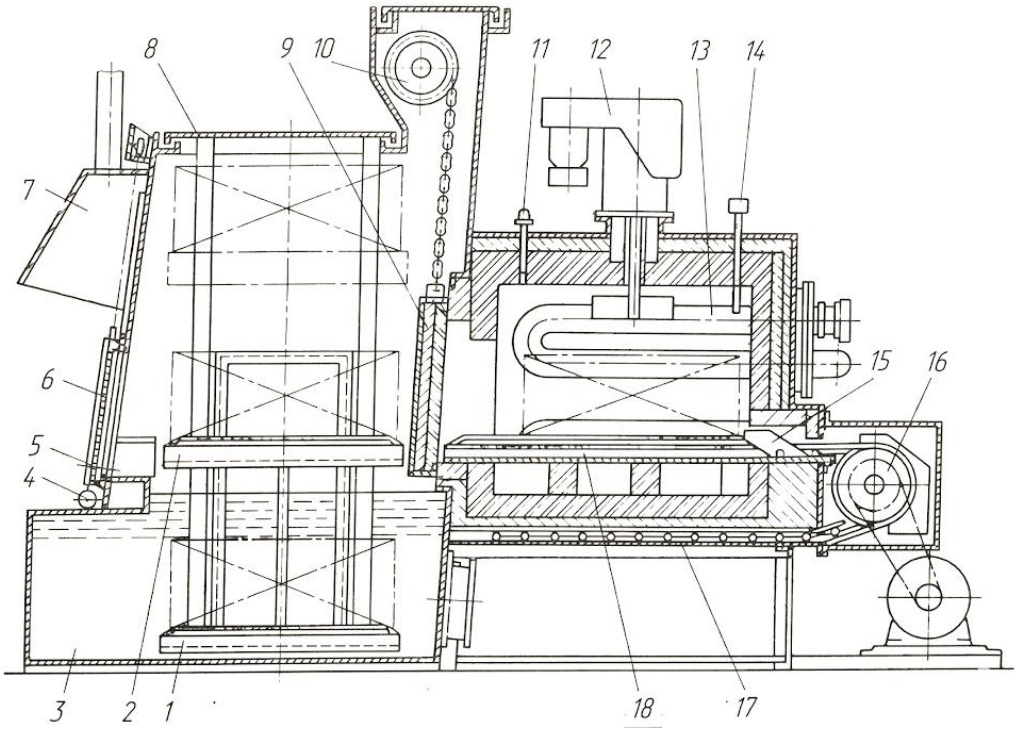



Рисунок 1.1 – Камерна універсальна піч [26]

Універсальна камерна піч представляє собою сучасний високоефективний трикамерний термічний агрегат, конструкція якого забезпечує виконання повного циклу теплової обробки деталей у контрольованому газовому середовищі без найменшого контакту розжареного металу з атмосферним повітрям цеху. Цей технологічний комплекс складається з трьох послідовно з'єднаних та функціонально взаємопов'язаних частин, які включають герметичний завантажувальний тамбур, безпосередню камеру нагрівання та інтегрований гартівний бак.

Головна робоча зона агрегату – камера нагрівання – виконана у міцному сталевому каркасі з внутрішньою футеровкою з високоякісних вогнетривких матеріалів. Нижньою основою або подом печі служать спеціальні направляючі рейки, відлиті із жароміцної хромонікелевої сталі, по яких переміщуються піддони із заготовками. Вхідне вікно камери надійно перекривається масивною заслінкою, звареною з вуглецевої сталі та футерованою високостійким дистенсиліманітовим вогнетривом, а її вертикальне переміщення реалізується за допомогою ланцюгової передачі та приводної зірочки. Для інтенсифікації внутрішнього теплообміну в склепінні камери встановлено циркуляційний вентилятор, який створює потужний примусовий рух газів, що дозволяє швидко та рівномірно прогрівати деталі по всьому об'єму садки, усуваючи температурні перепади між краями та центром піддона, що є критично важливим для стабільності хіміко-термічних процесів, зокрема цементації. Сама система обігріву складається з чотирьох зигзагоподібних радіаційних труб, змонтованих на бічних стінах, а автоматичне регулювання термічного режиму здійснюється на основі безперервних показників керуючої термопари, розміщеної в робочому просторі.

Транспортування металу між камерами забезпечується автоматизованим ланцюговим механізмом, привід якого винесено на задню стінку печі. При обертанні приводної зірочки переміщується спеціальний довгомірний хромонікелевий ланцюг із зачіпним захоплювачем-штовхальником, довжина якого розрахована так, щоб він міг вільно виходити через відкрите вікно з камери

нагрівання безпосередньо в завантажувальний тамбур, тоді як idle-ділянка ланцюга укладається в ізольованому герметичному корпусі під піччю. Прямо під завантажувальним тамбуром розташований гартівний бак, обладнаний двоярусним підйомним столом з двома платформами, геометрія яких дозволяє верхній платформі ставати врівень з подом печі при крайньому верхньому положенні стола, тоді як при його опусканні на лінію поду виходить нижня платформа, а верхня разом із гарячим піддоном повністю занурюється у гартівну рідину.

Сам завантажувальний тамбур виконує роль герметичного газового шлюзу, який повністю ізолює внутрішній простір від цеху в моменти завантаження або вивантаження продукції. Корпус тамбура жорстко з’єднаний з гартівним баком і фронтом камери нагрівання, а його зовнішнє вікно перекривається листовою сталевою заслінкою за допомогою пневматичного циліндра. У цій заслінці передбачено спеціальний газовідвідний отвір, через який технологічний захисний газ виходить назовні, де миттєво спалахує від постійно палаючого запальника, безпечно згоряє у повітрі та видаляється цеховою вентиляцією через витяжний зонт. Для компенсації раптових стрибків тиску та запобігання аварійним руйнуванням при можливих хлопках газу у верхній частині тамбура встановлена запобіжна відкидна кришка. Крім того, зовнішній проріз захищений газовою завісою, яка створюється нижнім колектором, що при підйомі заслінки подає газоповітряну суміш, утворюючи суцільний щільний смолоскип, який перекриває вікно і повністю блокує проникнення атмосферного кисню всередину шлюзу.

Технологічний цикл роботи печі підпорядкований суворій часовій послідовності, де спочатку піддон із деталями встановлюють на зовнішній столик, після чого піднімається заслінка тамбура, спалахує захисна газова завіса і садка заштовхується на верхню платформу підйомного стола. Після опускання заслінки та згасання смолоскипа виконується технологічна витримка тривалістю від п’яти до десяти хвилин, необхідна для повного витіснення залишків повітря та відновлення заданого складу захисної атмосфери в об’ємі шлюзу. Потім

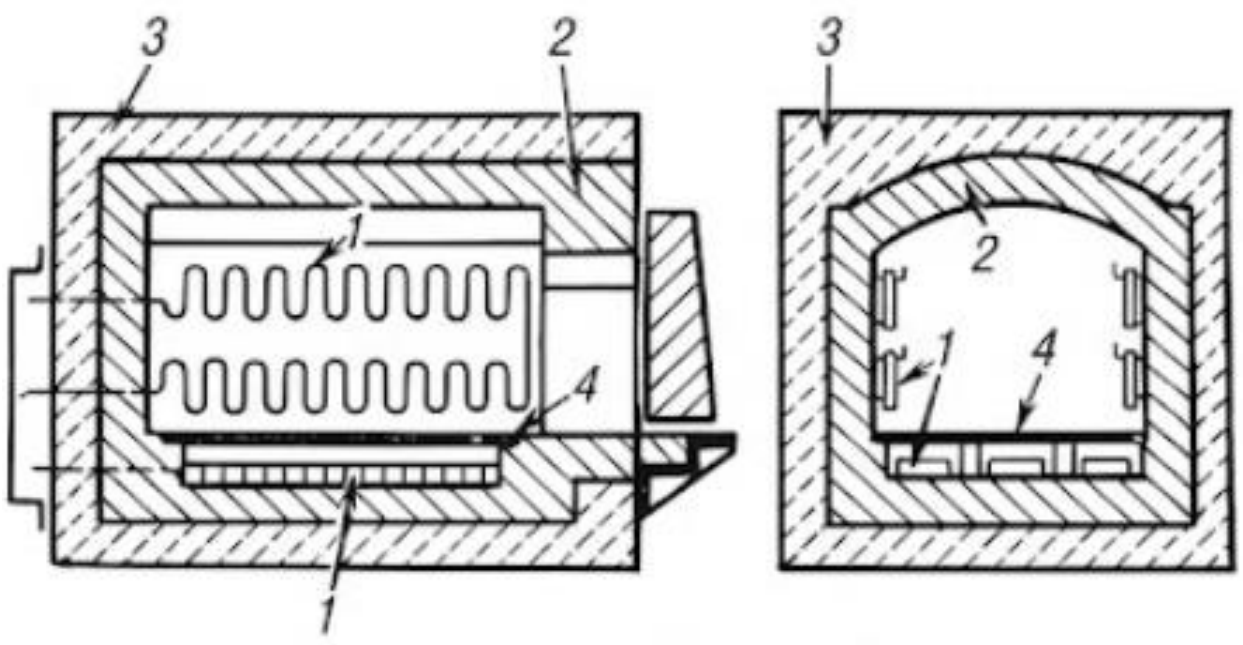
піднімається внутрішня заслінка камери нагрівання, запускається ланцюговий привід, штовхальник з’єднується з піддоном і реверсивним рухом втягує його на жароміцні рейки камери нагрівання, після чого ланцюг повертається у вихідну позицію, заслінка опускається і починається період термічного нагріву заготовок. У випадку проведення цементації, після повного прогріву деталей до робочої температури, в камеру починає дозовано подаватися активний газ-карбюризатор для насичення поверхневих шарів металу вуглецем, а по закінченню часу витримки піддон передається назад у тамбур, де заготовки, залежно від обраної технологічної карти, або миттєво охолоджуються шляхом опускання стола в рідину гартівного бака, або проходять цикл спокійного охолодження безпосередньо в газовому середовищі шлюзового тамбура.

Залежно від масштабів виробництва та специфіки оброблюваних деталей, як альтернативний об'єкт автоматизації може виступати компактна стаціонарна камерна піч чотиристоронннього обігріву. Цей агрегат представляє собою трифазну електричну піч потужністю шістдесят кіловат, яка спеціалізується на гартуванні відповідальних деталей із вуглецевої сталі масою до трьохсот кілограмів, де технологічний режим вимагає інтенсивного нагріву до високої температури в одну тисячу п'ятдесят градусів Цельсія з подальшою стабільною витримкою протягом трьохсот секунд. Завдяки інтеграції нагрівальних елементів у бічні стіни, двері та под печі, в робочій зоні досягається ідеально рівномірне розпреділення тепла, що дозволяє здійснювати прецизійне керування процесом на основі сигналів лише одного еталонного датчика температури, суттєво спрощуючи загальну структуру локальної системи автоматичного регулювання.

Для обробки надзвичайно масивних, великогабаритних заготовок або при складному багатошаровому укладанні металу доцільно використовувати великовагові камерні печі з викотним подом, де завантажувальна платформа виконана у вигляді рухомого залізничного візка, що повністю виїжджає за межі камери для зручного обслуговування цеховими мостовими кранами. Процес роботи такої печі полягає в тому, що з розігрітої камери піднімається заслінка і гаряча подина викочується на зовнішній майданчик, де кран укладає холодний

метал у визначеному порядку, при цьому нагрівальні елементи повністю вимикаються, оскільки внутрішнє футерування стін і склепіння продовжує інтенсивно випромінювати акумульоване тепло у простір цеху, створюючи великі теплові втрати. Після повернення завантаженого візка назад і герметизації заслінки нагрівачі вмикаються на повну потужність, а утворені гарячі димові гази видаляються через димові вікна у нижній частині бічних стін, піднімаються по внутрішніх вертикальних каналах і надходять у збірні борова над склепінням. Звідти гази спрямовуються у загальний димохід, де обов'язково проходять крізь рекуператор, забезпечуючи високотемпературний підігрів дутьового повітря, що повертається до пальників для підвищення паливного ККД, після чого охолоджені продукти згоряння без додаткового очищення викидаються через димарь в атмосферу, а по завершенню повного циклу термообробки подина знову викочується для заміни готових виробів на нову холодну партію.

Конструкція електричної камерної печі опору періодичної дії наведена на рисунку 1.2.




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

Рисунок 1.2 – Конструкція електричної камерної печі опору періодичної дії [26]

## 1.3 Формування задачі дослідження

Метою дослідження кваліфікаційної роботи бакалавра є інтенсифікація теплообміну та підвищення точності відтворення заданих термічних циклів у камерній печі періодичної дії. Основна науково-технічна проблема, на вирішення якої спрямовано дослідження, полягає в теоретичному обґрунтуванні, розробці та впровадженні високоефективної системи автоматичного керування температурою робочого простору. Такий підхід дозволяє оптимізувати складні та динамічні процеси термообробки металу, забезпечуючи суворе дотримання технологічних регламентів, що безпосередньо зумовлює підвищення якісних показників готової продукції, мінімізацію відсотка браку через недогрів або перепал, а також суттєво знижує питомі витрати паливно-енергетичних ресурсів.

Детальний аналіз існуючих методів і технічних засобів автоматичного регулювання температурного режиму в промислових термічних агрегатах дозволив чітко формалізувати камерну електричну піч як об'єкт керування. У межах побудови локальної системи автоматичного регулювання (САР) вхідним впливом є сигнал керування потужністю електричних нагрівальних елементів (опору), що реалізується через зміну напруги за допомогою тиристорних регуляторів або широтно-імпульсної модуляції. Вихідною координатою об'єкта, яка підлягає безперервному вимірюванню та стабілізації, виступає усереднена температура в робочій камері печі. З погляду теорії автоматичного керування, електрична камерна піч за своєю фізичною природою є неперервним, нелінійним об’єктом із суттєвим запізненням та значною тепловою інерцією футеровки й масивної садки металу. Дані динамічні особливості вимагають застосування методів активного планування експерименту, зокрема зняття кривих розгону або використання гармонічного аналізу для ідентифікації об'єкта, визначення його передавальних функцій та обґрунтування вимог до методів дослідження і вибору оптимальних законів регулювання.

Сформульовані завдання та напрямки досліджень безпосередньо спрямовані на синтез нового, більш ефективного підходу до цифрового

керування процесом нагріву, який базується на інтеграції сучасних мікропроцесорних контролерів і ПІД-алгоритмів із функцією адаптації під мінливу масу садки. Це дозволяє гнучко підлаштовувати параметри регулятора під конкретний об'єм металу у камері, мінімізуючи динамічну похибку та час виходу на температурне плато. Створення такої системи повністю відповідає сучасним вимогам концепції Індустрії 4.0 щодо цифровізації металургійних та машинобудівних потужностей, забезпечуючи високу повторюваність результатів, енергоефективність виробництва та повну автоматизацію відповідальних операцій термічної обробки.

## 1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків

Управління сучасним технологічним процесом за своєю суттю є процесом безперервного збору, обробки та передачі інформації, який безпосередньо координує виконання заданих алгоритмів у матеріальному виробництві. Рівень точності, швидкодії та достовірності даних, що надходять від первинних вимірювальних перетворювачів, а також якість їх відображення на операторських інтерфейсах, є визначальними чинниками для суворого дотримання встановлених графіків і режимів термічної обробки.

З огляду на це, для забезпечення прецизійного ведення процесу нагрівання металу та синтезу ефективної системи автоматичного регулювання, теплотехнічний агрегат необхідно розглядати як складну динамічну систему взаємопов'язаних матеріальних та енергетичних потоків. Концептуальна схема такої системи (рисунок 1.3) відображає трансформацію вхідних ресурсів, де паливо, окислювач чи електрична енергія перетворюються на корисний тепловий потік, який передається садці металу, тоді як побічні продукти процесу у вигляді відхідних димових газів та теплових втрат через футеровку виводяться у навколишнє середовище. На основі аналізу балансу цих потоків і будуються

сучасні алгоритми керування, що оптимізують витрати енергоносіїв та забезпечують максимальну питому продуктивність печі.

Таким чином, для якісного ведення процесу нагрівання металу необхідно мати уявлення про процес, як про систему матеріальних потоків, яка наведена на рисунку 1.3.




Рисунок 1.3 – Схема інформаційних потоків камерної печі

Вихідний матеріал, що надходить на об'єкт управління – сортовий прокат – матеріальний потік, кінцева продукція – термічнооброблений метал. На об'єкт, крім сортового прокату подаються – енергетичні потоки, газ і повітря, а видаляються димові гази.

Схема інформаційних потоків усередині цієї системи наведена на рисунку 1.4.




Рисунок 1.4 – Схема матеріальних потоків камерної печі

## 1.5 Недоліки існуючої системи управління і шляхи вдосконалення роботи термічних печей

Експлуатація морально застарілого та фізично зношеного теплотехнічного обладнання, що залишається незмінним упродовж багатьох десятиліть, створює критичні ризики для промислової безпеки, суттєво знижує рентабельність виробництва та унеможливлює досягнення сучасних стандартів якості. Найбільш загрозливим аспектом є тривала несправність або повна відсутність працездатних систем автоматичного відсікання подачі газу та повітря. Коли аварійні захисні контури не функціонують, раптове зникнення напруги в цеху, падіння тиску енергоносіїв або затухання смолоскипа в пальнику можуть призвести до утворення вибухонебезпечної газоповітряної суміші в робочому просторі печі, що створює постійну загрозу масштабних аварій та травмування персоналу. Крім того, неконтрольоване спалювання палива через зношеність запірно-регулюючої арматури та відсутність точного стехіометричного співвідношення компонентів горіння призводить до колосальних втрат енергоресурсів, перевитрати газу та інтенсивного окалиноутворення на поверхні заготовок.

Додатковим деструктивним чинником є використання архаїчних засобів автоматизації та контролю, зокрема паперових приладів самописців серії ДИСК-250, а також промислових регуляторів МІК-20 та МІК-21. Дані пристрої мають низький клас точності, високу похибку вимірювання через механічний знос рухомих частин та схильні до температурного дрейфу нуля. Експлуатація таких засобів є вкрай незручною для оператора термічної ділянки, оскільки паперові діаграмні стрічки потребують постійної ручної заміни, чорнила висихають, а оперативний аналіз трендів у режимі реального часу є фактично неможливим. Заміна цих приладів на сучасні багатоканальні мікропроцесорні реєстратори типу МЕТРАН-900 дозволяє повністю вирішити проблеми збирання та відображення даних. Новітні інтелектуальні пристрої забезпечують не лише наочний графічний моніторинг усіх технологічних змінних на кольоровому РК-

дисплеї, а й здійснюють глибоке цифрове архівування, формування протоколів плавок для виведення на друк та безперешкодну передачу інформації по промислових протоколах на верхній рівень керування (SCADA-систему), роблячи диспетчеризацію процесу максимально прозорою та ефективною.

*Висновки.* На основі проведеного аналізу конструктивних особливостей, технологічних режимів та існуючого стану автоматизації камерних печей періодичної дії можна зробити такі узагальнені висновки:

Камерні термічні печі є ключовою та універсальною ланкою в ланцюжку заготівельного та механообробного виробництва машинобудівних підприємств, проте їхня поточна питома продуктивність обмежена значною тепловою інерцією та низькою ефективністю застарілих систем паливовикористання.

Технічний стан парку контрольно-вимірювальних приладів та систем безпеки на більшості ділянок є незадовільним і вимагає повної модернізації із заміною застарілих паперових реєстраторів та аналогових регуляторів на сучасні мікропроцесорні програмно-технічні комплекси.

Досліджувана електрична камерна піч формалізована як безперервний об'єкт керування зі взаємопов'язаними матеріальними та енергетичними потоками, де основним керуючим впливом визначено потужність електронагрівачів опору, а регульованою координатою – усереднену температуру в робочому просторі.

Розроблювана в межах кваліфікаційної роботи система автоматичного керування спрямована на реалізацію прецизійного безконтактного регулювання потужності нагріву за допомогою сучасних алгоритмів. Це дозволить забезпечити суворе відтворення температурно-часових графіків, гарантувати повну безпеку експлуатації агрегату, мінімізувати вплив людського фактора, а також досягти вагомого техніко-економічного ефекту шляхом суттєвого підвищення якості термообробки виробів та оптимізації споживання електричної енергії.

# 2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

## 2.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Проектування, розробка та впровадження автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСУ ТП) камерної печі мають суворо відповідати положенням ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення». Відповідно до стандартів ієрархічної побудови сучасних промислових систем, архітектура АСУ ТП повинна мати чітку трирівневу структуру, що включає локальний рівень, підсистемний рівень (рівень безпосереднього цифрового керування) та верхній рівень (рівень диспетчеризації та загальновиробничого моніторингу).

1. Локальний рівень (нижній рівень)

Локальний рівень призначений для безпосередньої взаємодії системи автоматизації з технологічним обладнанням печі та реалізує функції первинного збору даних і прямого фізичного впливу на об'єкт. Основними завданнями цього рівня є:

Перетворення контрольованих фізичних параметрів (температури, тиску, витрати) у стандартизовані електричні сигнали за допомогою первинних вимірювальних перетворювачів і датчиків.

Безпосереднє керування виконавчими пристроями, регулюючими органами (клапанами, заслінками) та тиристорними модулями живлення електронагрівачів.

Апаратне та програмно-апаратне забезпечення контурів захисних блокувань і систем аварійного відсікання.

Нормалізація, фільтрація та погодження сигналів від аналогових і дискретних датчиків із вхідними каналами пристроїв зв'язку з об'єктом (ПЗО).

Для оперативного інформування персоналу у випадку виникнення позаштатних або аварійних ситуацій на цьому рівні передбачається обов'язкове функціонування незалежної світлової та звукової сигналізації.

2. Підсистемний рівень (рівень виробництва та ПЛК)

Рівень виробництва базується на застосуванні промислових програмованих логічних контролерів (ПЛК), які здійснюють централізовану обробку даних та безпосереднє програмно-логічне керування агрегатом. До переліку основних функцій цього рівня належать:

Поточний збір та первинна цифрова обробка інформації, що надходить від локальних датчиків технологічної системи печі.

Циклічне опитування датчиків стану обладнання, положення запірних механізмів та заслінок.

Двосторонній прийом, обробка та передача інформаційних пакетів при взаємодії з суміжними системами автоматизації термічної ділянки.

Постійний автоматичний аналіз даних для оперативного виявлення будь-яких відхилень поточних технологічних параметрів від регламентних меж.

Реалізація математичних алгоритмів автоматичного регулювання (наприклад, ПІД-закону) та виконання задач логічного керування послідовністю етапів термообробки.

Часові регламенти роботи підсистемного рівня чітко диференційовані залежно від динамічних властивостей каналів керування. Період циклічного опитування датчиків температури та витрати енергоносіїв, зважаючи на високу теплову інерційність об'єкта, становить 1 хвилину. Натомість для високодинамічних параметрів, таких як тиск у робочому просторі печі та тиск у підвідних трубопроводах газу й повітря, період опитування датчиків та оновлення даних становить 1 секунду.

3. Верхній рівень (рівень диспетчеризації та SCADA)

Верхній ієрархічний рівень АСУ ТП орієнтований на забезпечення ефективної взаємодії людини з машиною (інтерфейс HMI) та вирішення задач техніко-економічного аналізу. На цьому рівні реалізуються такі функції:

Візуальний доступ оператора-технолога до повної та достовірної інформації про поточний стан об'єкта у вигляді наочних мнемосхем, графіків (трендів) та гістограм.

Розрахунок оптимальних режимів роботи камерної печі, калькуляція фактичних витрат матеріальних та енергетичних ресурсів (електроенергії, газу, захисної атмосфери) за цикл обробки.

Автоматичне формування, архівування та видача звітних документів, протоколів плавок і режимних листів.

Частота оновлення динамічної інформації на засобах відображення (моніторах АРМ оператора) суворо синхронізована з періодами опитування відповідних первинних датчиків (1 секунда або 1 хвилина). Формування та видача керуючих впливів з верхнього рівня на виконавчі механізми (в режимі дистанційного керування) також здійснюється з тактом, що відповідає періоду сканування датчиків контролером. Для забезпечення можливості ретроспективного аналізу ходу технологічного процесу та розслідування позаштатних ситуацій тривалість обов'язкового зберігання інформації з передісторії процесу (глибина архіву трендів на верхньому рівні) становить не менше 8 годин.

## 2.2 Вимоги до чисельності та кваліфікації персоналу

Персонал автоматизованої системи відповідно до ролі, виконуваної ним в процесі функціонування Системи, ділиться на 2 основні категорії: оперативний (технологічний) персонал і експлуатаційний (обслуговуючий) персонал. Оперативний персонал повинен складатися з:

– 1 начальника зміни;

– 2 технологів;

– 1 начальник цеху.

Обслуговуючий персонал підрозділу АСУТП повинен пройти відповідне навчання. Для обслуговування системи необхідно:

– 1 начальник сектору АСУТП;

– 2 інженера-електроніка;

– 2 інженера-програміста;

– 2 змінних інженера;

– 2 електрика;

– 2 слюсаря КВП і А.

2.2.1 Вимоги до надійності

Довговічність системи складає 8 років. Кожна функціональна підсистема повинна відповідати вимогам надійності. Час напрацювання на відмову складає 2 роки. Система повинна зберігати працездатність і забезпечувати відновлення своїх функцій при виникненні наступних позаштатних ситуацій:

– при збоях в системі електропостачання апаратної частини, що призводять до перезавантаження ОС, відновлення програми має відбуватися після перезапуску ОС і запуску виконуваного файлу системи;

– при помилках в роботі апаратних засобів (крім носіїв даних і програм) відновлення функції системи покладається на ОС;

– при помилках, пов'язаних з програмним забезпеченням, відновлення працездатності покладається на ОС.

2.2.2 Вимоги до безпеки

Вся обчислювальна техніка повинна відповідати до ДСТУ 2506-94 «Засоби обчислювальної техніки. Відмовостійкість і живучість. Загальні технічні вимоги». При експлуатації електротехнічних виробів повинні бути передбачені засоби шумозахисту і віброзахисту, що забезпечують обмежені рівні шуму і вібрації на робочих місцях відповідно до затверджених санітарними нормами. Допустимі значення шумових і вібраційних характеристик електротехнічних виробів повинні бути встановлені в стандартах і технічних умовах на вироби конкретних видів і не повинні перевищувати нормативних значень. Вироби, які є джерелом теплового, оптичного, рентгенівського випромінювання, а також ультразвуку, повинні бути обладнані засобами для обмеження інтенсивності цих

випромінювань і ультразвуку до припустимих значень. При необхідності вироби повинні бути обладнані сигналізацією, написами і табличками.

Допустимий рівень шумів на робочих місцях у приміщеннях цехового управлінського апарату є 70 Дб. При проектуванні та організації робочого місця слід вживати всіх необхідних заходів щодо зниження шуму, що впливає на людину на робочих місцях, до значень, що не перевищують допустимі 70 Дб, а саме:

- розробкою шумобезпечної техніки;
- застосуванням засобів і методів колективного захисту;
- застосуванням засобів індивідуального захисту.

Частота вібрації повинна бути не більше 25 Гц при амплітуді зміщень не більше 0,1 мм. При вказанні перевищення більше 12 дБ забороняється проводити роботи і застосовувати машини, генеруючі таку вібрацію. Основним засобом забезпечення вібробезпеки має бути створення і застосування вібробезпечних машин.

Створення вібробезпечних машин повинно забезпечуватися застосуванням методів, що знижують вібрацію в джерелі збудження. Мають бути зафіксовані робочі місця, на яких робітники можуть піддаватися впливу вібрації. Технічні засоби АСУТП повинні відповідати вимогам «Правил будови електроустановок». Всі зовнішні елементи технічних засобів АСУТП, що знаходяться під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику людини, а самі технічні засоби мати захисне заземлення відповідно до вимог "Правил будови електроустановок. Захисне заземлення, занулення". У приміщеннях управління повинні бути передбачені автономні контури заземлення, не пов'язані гальванічно з контурами заземлення інших виробничих приміщень, а так само з нейтраллю трифазної мережі.

Опір заземлювального пристрою між корпусом будь частини обладнання Системи і землею (грунтом) не повинно перевищувати 4 Ом в будь-який час року. Контур захисного заземлення з опором повинен бути не більше 4 Ом.

2.2.3 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і збереження елементів системи

Система працює в циклічному режимі. Тривалістю циклу становить 8 годин. Присутній зупинка пов'язана з ремонтом печей. У цьому випадку система відключається від огляду об'єкта, а дані не архівуються. Система раз на 7 днів переходить в профілактичний режим, під час технічного обслуговування. Технічні засоби повинні знаходиться в приміщення де:

– температура навколишнього повітря (20±5)°С;

– відносна вологість навколишнього повітря (60 ± 15) %;

– атмосферний тиск від 84 до 107 кПа (680-800 мм. рт. ст.);

– запиленість повітря в приміщенні – не більше 1мг/куб. м при розмірі часток не більше 3 мкм;

– напруженість зовнішнього електричного поля повинна бути не більше 0,3 V / m;

– напруженість зовнішнього магнітного поля повинна бути не більше 5,0 А / м;

– частота вібрації повинна бути не більше 25 Гц при амплітуді зміщень не більше 0,1 мм.

Обладнання системи має бути забезпечено комплектом ЗІП на весь гарантійний термін. Протягом всього терміну служби Системи комплект ЗІП повинен поповнюватися відповідно до умов договору на сервісне обслуговування.

До складу ЗІП повинні входити комплект функціональних змінних систем встановлених на гарантійний термін і комплект окремо комплектуючих для ремонту функціональних систем. Комплекти ЗІП повинні зберігатися у спеціальних умовах, при температурі від 5 °С до 35 °С, відносної вологості до 85 %, а в атмосфері не повинно бути агресивних

парів викликають корозію [4].

2.2.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система повинна автоматично вести журнал обліку користувачів, записи якого мають містити повну інформацію про роботу і діях користувачів Системи. Повинна використовуватися концепція роботи з Системою тільки від зареєстрованих користувачів, що виключає можливість несанкціонованого доступу. Кожен користувач отримує доступ до Системи тільки з використанням пароля. Для індивідуальних користувачів повинні бути встановлені різні рівні доступу, контрольовані Системою. Кожен користувач повинен мати власний набір дозволених дій для перегляду або зміни даних та інформаційно-керуючих функцій. 30

2.2.5 Вимоги до збереження інформації при аваріях

Тимчасова відмова технічних засобів або втрата електроживлення не повинні призводити до руйнування накопиченої або усередненої в часі інформації, і до втрати поточних виходів на регулюючі органи. При відключенні напруги живлення, система повинна забезпечити збереження інформації за 8 годин. При відключенні контролерів, система має перейти в режим ручного управління. Якщо контролер відключився, то інформація повинна збережуться на вторинний прилад.

2.2.6 Вимоги до засобів захисту від зовнішніх впливів

Технічні засоби системи повинні бути стійкі до впливів температури і вологості навколишнього повітря і до впливу механічних факторів відповідно до ГОСТ 12977-84.ГОСТ 21552-84 обмежує зміну кліматичних умов наступним діапазоном: температура навколишнього повітря від +5 до +40 ° С; відносна вологість навколишнього повітря від 40 до 90% при температурі +30 °С; атмосферний тиск від 84 до 107 кПа (680 - 800 мм. рт. ст.). АСУ ТП повинна розроблятися з використанням ліцензійних програмних продуктів.

Уточнення вимог по патентній чистоті повинно проводитися в договорах на проведення робіт по створенню компонентів системи [5].

2.2.7 Вимоги по стандартизації та уніфікації

Розроблювана Система повинна бути універсальною. Підсистеми повинні використовувати стандартні, уніфіковані методи реалізації функціональних завдань системи. Екранні форми повинні проектуватися з урахуванням вимог уніфікації тобто зовнішня поведінка подібних елементів інтерфейсу (реакція на наведення покажчика «миші», перемикання фокусу, натискання кнопки) повинні реалізовуватися однаково для однотипних елементів 31

2.3 Вимоги до функцій, які виконуються системою

При виникненні аварійних ситуацій, такий як не повне закриття камерної печі має статися перекриття подачі спочатку газу, а потім повітря. Система при цьому повинна перейти в режим ручного управління.

При виникненні аварійних ситуацій, пов'язаних із порушенням герметичності або кінематики запірних механізмів – зокрема, при неповному закритті заслінки робочої камери чи тамбура печі, – система автоматичного захисту та блокування повинна миттєво зреагувати за чітким безпечним алгоритмом. Для запобігання вибухонебезпечному накопиченню несплавлених залишків палива та унеможливлення потрапляння шкідливих газів у простір цеху, логіка протиаварійного захисту (ПАЗ) ініціює послідовне двоступеневе відсікання: спочатку повністю перекривається подача пального газу (або рідкого палива) за допомогою швидкодіючих електромагнітних клапанів, і лише після регламентованої технологічної паузи, необхідної для повної продувки пальників та витіснення залишків газової суміші з радіаційних труб, припиняється подача дутьового повітря.

Одночасно з виконанням захисного відсікання енергоносіїв керуючий контролер повністю блокує виконання поточного автоматичного графіка термообробки й примусово переводить весь програмно-технічний комплекс у режим ручного управління. Це дає змогу оператору термічної ділянки перехопити безпосередній контроль над виконавчими механізмами, оцінити

характер пошкодження через інтерфейс верхнього рівня, дистанційно керувати заслінками чи завантажувальним ланцюгом для евакуації садки та вжити необхідних заходів для безпечного усунення причин несправності. Перехід у ручний режим супроводжується безперервною світлозвуковою сигналізацією на пульті та фіксацією аварійної події в електронному журналі SCADA-системи із зазначенням точного часу та коду помилки кінцевого вимикача заслінки.

Додатково система аварійного захисту інтегрує контури контролю критичних параметрів суміжних вузлів. Наприклад, якщо при повному чи частковому відкритті заслінки тамбура не спрацьовує газова завіса або згасає постійно палаючий запальник, автоматика також зобов'язана заблокувати рух завантажувального механізму для недопущення прориву цехового повітря у розжарену камеру нагрівання. Ручний режим залишається активним і заблокованим для повторного автоматичного пуску до того моменту, поки персонал повністю не ліквідує фізичне перекошування або заклинювання заслінки, а на операторській панелі не буде виконано процедуру скидання аварійного статусу (квитування сигналу), що гарантує повне відновлення працездатності та безпеки всіх елементів теплотехнічного агрегату.

## 2.4 Вимоги до видів забезпечення

### 2.4.1 Вимоги до інформаційного забезпечення

Для забезпечення надійного та оперативного обміну інформацією в межах розподіленої АСУ ТП має бути впроваджена централізована база даних із виділеними локальними сегментами, що гарантує безперешкодний та швидкий доступ до технологічної інформації з будь-якого вузла чи елемента промислової мережі. З метою оптимізації роботи інженерів і технологів-операторів з великими масивами різнорідних даних, а також для формування стійких і інтуїтивно зрозумілих стереотипів взаємодії з програмно-технічним комплексом, усе інформаційне забезпечення системи повинно мати чітку ієрархічну структуру. Взаємодія з оператором має базуватися на застосуванні

стандартизованого набору графічних екранних форм та операційних панелей, кожна з яких виконує суворо визначену функцію.

Екранна форма загального огляду призначена для комплексного моніторингу поточного стану всієї термічної ділянки або групи печей, відображаючи узагальнені статуси роботи, ключові усереднені параметри та загальну готовність агрегатів. Безпосередні мнемосхеми являють собою деталізовані динамічні графічні моделі конкретної камерної печі, які в режимі реального часу візуалізують стан виконавчих механізмів, положення заслінок, роботу циркуляційних вентиляторів і штовхальників, стан пальників чи електронагрівачів, а також поточні значення температури й тиску безпосередньо у відповідних технологічних точках. Панелі груп приладів об’єднують віртуальні аналоги аналогових контрольно-вимірювальних пристроїв за функціональними ознаками, наприклад, контури вимірювання тиску газу чи контури контролю температури футеровки, забезпечуючи зручне одночасне зчитування параметрів суміжних вузлів. Панелі налаштування є спеціалізованими екранами з обмеженим рівнем доступу, які призначені для введення та коригування коефіцієнтів ПІД-закону, калібрування датчиків та завдання температурно-часових графіків і рецептів під конкретні марки сталей. Панелі сигналів тривоги та алармів виконують роль оперативних журналів, які миттєво фіксують будь-які порушення регламенту чи аварійні події з кодуванням за пріоритетністю, часом виникнення та вимогою обов'язкового підтвердження оператором. Наостанок, панелі реєстрації ходу процесу у вигляді трендів відображають хронологічні зміни технологічних параметрів, таких як температурні криві нагріву й витримки чи коливання тиску, у вигляді безперервних часових діаграм для ретроспективного аналізу якості кожної плавки.

Особливо жорсткі вимоги висуваються до живучості та збереження даних системи протиаварійного захисту. Усі категорії інформаційного забезпечення, що відповідають за безпеку агрегату, не повинні втрачатися при повних чи часткових аваріях у системі електроживлення, а також у випадках раптової відмови окремих електронних блоків, процесорних модулів чи плат вводу-

виводу контролера протиаварійного захисту. Для реалізації цієї вимоги енергонезалежна пам'ять пристроїв повинна дублюватися на апаратному рівні за допомогою технологій енергонезалежного оперативне запам'ятовувального пристрою або флеш-пам'яті з автономним живленням від промислових акумуляторів.

Усі настроювальні константи, коефіцієнти масштабування, системні конфігурації прив'язки каналів вводу-виводу, логічні алгоритми протиаварійного відсікання палива та вихідні тексти керуючих програм повинні обов'язково копіюватися на резервні дублюючі сервери або зовнішні носічі інформації та автоматично оновлюватися в процесі ведення пусконалагоджувальних робіт чи внесення будь-яких санкціонованих змін у систему. Для формалізації та кодування інформаційних потоків у межах АСУ ТП мають використовуватися єдині класифікатори та системи ідентифікаторів і тегів, які офіційно прийняті на підприємстві замовника. Ця система кодування повинна безкомпромісно задовольняти критеріям однозначності, коли кожен сигнал має свій єдиний унікальний код, володіти структурною простотою для легкого сприйняття інженерним персоналом, а також мати високий потенціал для подальшого масштабування та розширення інформаційного простору при підключенні нового обладнання.

### 2.4.2 Вимоги до лінгвістичного забезпечення

Зважаючи на відсутність вітчизняних нормативних документів, в якості їх прототипу необхідно використовувати розроблений Міжнародної Електротехнічній Комісією (МЕК) стандарт IEC 61131-3, що регламентує повноту і синтаксис мов технологічного програмування. Вся інформація в АСУТП повинна бути представлена у вигляді понять і визначень властивих металургійної галузі.

### 2.4.3 Вимога до програмного забезпечення

Для реалізації завдань розподіленої системи повинно використовуватися спеціалізоване програмне забезпечення, яке функціонує в середовищі багатозадачної операційної системи реального часу. Мережеві програмні засоби, що забезпечує об'єднання підсистем управління, операторських станцій і засобів архівування даних в єдину систему, повинні реалізовувати завантаження і управління запуском завдань, забезпечувати обмін між завданнями і базами даних, і надавати доступ до периферійних пристроїв. Всі помилкові ситуації виявлені при роботі програми повинні діагностуватися супроводжуватися повідомленнями, і не повинні викликати порушень роботи системи. Всі функції повинні виконуватися в режимі реального часу.

### 2.4.4 Вимоги до технічного забезпечення

Комплекс технічних засобів РСУ і системи ПАЗ повинен бути достатній для реалізації певних функцій, і будуватися на базі наступних спеціалізованих програмно-технічних комплексів: засоби КВП, в тому числі датчики, виконавчі механізми, електронні мікропроцесорні регулятори і потокові аналізатори якості; периферійні мікропроцесорні пристрої-підсистеми управління, або контролери; багатофункціональні операторські та інженерні станції; засоби архівування даних; мережеве обладнання; спеціалізовані мікропроцесорні контролери системи ПАЗ; засоби метрологічної повірки обладнання. Система вимірювань повинна будуватися на базі електронних датчиків витрати, тиску, рівня, температури, перепаду тиску, інтегруючих лічильників, аналізаторів якості і складу. Засоби вимірювання витрат, тисків, рівнів і перепадів тисків повинні мати стандартні сигнали діапазону 4-20 мА. Для реалізації збору та обробки інформації у складі підсистем управління повинні бути передбачені модулі: введення сигналів 4-20тА;введення сигналів 4-20 мА з вбудованими бар'єрами іскрозахисту; входу міллівольтових сигналів з вбудованими бар'єрами іскрозахисту; введення дискретних сигналів; введення по протоколу RS-422/RS-485 від периферійних мікропроцесорних пристроїв. Висновок дискретних

керуючих впливів і блокувань для управління електрообладнанням виконується через модулі виводу дискретних сигналів.

2.4.5 Вимоги до метрологічного забезпечення

Клас точності приладів повинен бути не більше 3%. Усі технічні засоби повинна проходити державну повірку і регулярно обслуговуватися метрологічною службою. Метрологічне забезпечення вимірювальних систем повинні відповідати ДСТУ 2709-94. «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Метрологічне забезпечення.Основні положення». Значення контрольованих параметрів (технологічного процесу, технологічного обладнання) повинні збути виражені відповідно до ДСТУ ISO 80000-1:2016 «Величини та одиниці. Частина 1. Загальні положення». Усі методики вимірювання, використовувані у сфері державного метрологічного контролю і нагляду, повинні бути атестовані. Для технічних засобів, що беруть участь в процесі вимірювання контрольованих параметрів повинні бути забезпечені відповідні умови експлуатації (температура, вологість). Повинен бути забезпечений контроль умов їх експлуатації в приміщеннях управління.

2.4.6 Вимоги до організаційного забезпечення

Організаційне забезпечення АСУТП повинно бути достатнім для ефективного виконання персоналом покладених на нього обов'язків з експлуатації Системи. Організаційне забезпечення повинно включати вимоги щодо чисельності та кваліфікації персоналу АСУТП і КВП, інструкції по кожному виду діяльності, і точне визначення виконуваних функцій. Замовником повинні бути визначені посадові особи, відповідальні за:

- обробку інформації АС;
- адміністрування АС;
- забезпечення безпеки інформації АС;
- управління роботою персоналу з обслуговування АС.

До роботи з системою повинні допускатися співробітники, що мають навички роботи на персональному комп'ютері, ознайомлені з правилами експлуатації і пройшли навчання роботі з системою.

*Висновки*. У даному розділі кваліфікаційної роботи повністю сформовано, деталізовано та систематизовано технічне завдання на проектування АСУ ТП камерної печі періодичної дії. Усі наведені вимоги до ієрархічної трирівневої структури, функціональних можливостей та режимів роботи системи розроблені у суворій відповідності до положень ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення». В межах розділу детально обґрунтовано вимоги до надійності, безпеки праці (включаючи суворі обмеження щодо шумів та вібрацій до 70 дБ та 25 Гц відповідно), а також заземлення обладнання (опір контуру не більше 4 Ом) згідно з «Правилами будови електроустановок». Сформульовано алгоритми протиаварійного захисту (ПАЗ) при порушенні герметичності заслінок камер печі, які передбачають безпечне послідовне відсікання спочатку газу, а потім повітря з примусовим переходом у ручний режим. Визначено вичерпні вимоги до інформаційного (структуризація через ієрархічні операційні панелі та мнемосхеми), програмного (на базі ОСРЧ та стандарту IEC 61131-3), технічного (застосування датчиків із сигналом 4–20 мА та бар'єрів іскрозахисту) та метрологічного забезпечення згідно з ДСТУ 2709-94. Розроблений комплекс вимог є повною та нормативно обґрунтованою основою для подальшого технічного проектування, вибору конкретних засобів автоматизації (ПЛК, SCADA) та безпосереднього синтезу контурів автоматичного регулювання термічного режиму камерної печі.

# 3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА

Сучасна автоматизована система керування технологічними процесами має чітку трирівневу структуру, яка охоплює локальний рівень, рівень виробництва та верхній рівень, що забезпечує послідовний збір даних та надійне управління агрегатом.

На нижньому локальному рівні здійснюється безпосередня взаємодія з устаткуванням, яка включає перетворення контрольованих фізичних величин у стандартизовані електричні сигнали за допомогою первинних датчиків, а також пряме керування виконавчими пристроями та механізмами. Крім того, цей рівень відповідає за апаратне узгодження сигналів від датчиків із входами пристроїв зв'язку з об'єктом, реалізацію контурів захисних блокувань і систем аварійного протиаварійного захисту. У випадку виникнення будь-яких позаштатних або аварійних ситуацій на локальному рівні передбачено миттєве автоматичне ввімкнення світлової та звукової сигналізації для сповіщення персоналу.

Середній рівень, або рівень виробництва, базується на роботі промислових програмованих логічних контролерів, які забезпечують централізований збір та первинну цифрову обробку інформації, що надходить від усієї технологічної системи печі. Тут виконується безперервне циклічне опитування датчиків стану, здійснюється двосторонній прийом та передача пакетів даних при взаємодії із суміжними системами, а також проводиться постійний моніторинг для оперативного виявлення відхилень поточних параметрів від регламентних значень. На основі цих даних контролер реалізує математичні алгоритми та завдання програмно-логічного керування процесом. При цьому часові такт опитування чітко диференційовані, тому для датчиків температури та витрати палива період зчитування становить одну хвилину, тоді як для високодинамічних датчиків тиску на трубопроводах газу та повітря оновлення даних відбувається кожну секунду.

Верхній ієрархічний рівень орієнтований на операторський і диспетчерський контроль, де через інтерфейси людино-машинної взаємодії реалізується повноцінний візуальний доступ до інформації про поточний стан об'єкта. На цьому ж рівні комп'ютерні станції здійснюють розрахунок оптимальних режимів роботи всього технологічного агрегату, калькулюють фактичні витрати матеріальних та енергетичних ресурсів за цикл обробки, а також автоматично формують і видають звітні документи та протоколи плавок. Частота оновлення динамічних даних на екранах моніторів суворо синхронізована і відповідає періодам опитування конкретних первинних датчиків, становлячи одну секунду або одну хвилину. З такою ж частотою, що адаптована під такт сканування контролерами нижнього рівня, проводиться видача керуючих впливів і команд на виконавчі механізми. Для забезпечення можливості ретроспективного аналізу, ведення аналітики та розслідування можливих збоїв тривалість обов'язкового зберігання інформації з передісторії ходу технологічного процесу в базі даних верхнього рівня становить не менше восьми годин.

## 3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру

Забезпечення стабільного та прецизійного температурного режиму в робочому просторі камерної печі є фундаментальною умовою для правильного протікання процесу нагрівання металевих злитків. На основі тривалого досвіду практичної експлуатації та теплотехнічних розрахунків для кожного типу заготовок розробляються суворі технологічні регламенти, які висувають жорсткі вимоги до точності ведення плавки. Зокрема, у найбільш відповідальних точках робочої зони температура теплоносія повинна безперервно підтримуватися із допустимим відхиленням, що не перевищує плюс-мінус десять градусів Цельсія. Це робить температуру найважливішим контрольованим та регульованим параметром, оскільки будь-які коливання теплового поля всередині камери

безпосередньо впливають на внутрішню структуру сталі та якість готового виробу. В реальних виробничих умовах тепловий стан печі постійно зазнає впливу численних зовнішніх і внутрішніх збурень, серед яких зміна маси та тепломісткості завантаженої садки, коливання тиску й витрати палива, нестабільність процесів горіння факела, а також зсуви в загальному аеродинамічному режимі агрегату. Некомпенсовані вчасно збурення неминуче призводять до порушення графіка нагрівання, що тягне за собою появу прихованих дефектів, перепалу металу або повного браку продукції.

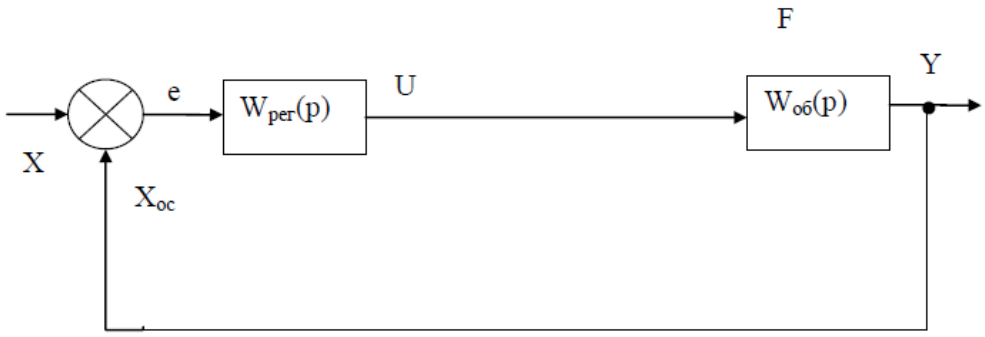
Стабілізація температурного поля по всьому об’єму печі є комплексним завданням, яке нерозривно пов’язане з автоматичним регулюванням інших взаємопов'язаних параметрів. Для забезпечення безперервності та ритмічності роботи сучасних термічних комплексів процеси транспортування і подачі злитків повністю автоматизуються. Впровадження спеціалізованого завантажувального крана або підлогової машини дозволяє перевести операції завантаження масивних розжарених заготовок у робочий простір на рівень програмно-логічного керування. Це не лише мінімізує тривалість відкриття заслінок і знижує супутні теплові втрати випромінюванням, а й повністю вивільняє обслуговуючий персонал від важкої, небезпечної ручної праці у високотемпературній зоні, радикально покращуючи умови безпеки та загальну культуру виробництва в цеху.

Паралельно з температурним контуром особлива увага приділяється стабілізації гідравлічного режиму печі, що реалізується за допомогою системи автоматичного регулювання тиску в робочому просторі. Головним керуючим впливом у цій підсистемі виступає зміна положення регулюючого органу, в якості якого використовується шибер або поворотна заслінка, встановлена на трубопроводі димових газів безпосередньо перед рекуператором або димарем. Шляхом автоматичного переміщення шибера змінюється прохідний переріз борова, що дозволяє динамічно коригувати об'єм відхідних продуктів згоряння, які покидають піч. Таке точне дроселювання димового тракту дає змогу гнучко управляти тиском у камері, підтримуючи його на рівні невеликого надлишку, що

блокує потрапляння всередину печі холодного атмосферного повітря і одночасно перешкоджає інтенсивному вибиванню гарячих газів через щілини заслінок.

### 3.3 Вибір (розробка) математичної моделі системи управління

Діюча в термічному цеху система автоматичного регулювання є одноконтурною САР, що працює за ПІ-законом. Величиною, ще регулюється, є температурний режим термообробки заготівок, регулятор формує керуючий вплив на витрату паливо-повітряної суміші.




X – задане значення; $X_{ос}$ – виміряне значення; e – розголос;
U – управляючий вплив; Y – вихідне значення; $W_{рег}(p)$ – регулятор;
$W_{об}(p)$ – об’єкт

Рисунок 3.1 – Схема діючої одноконтурної САК

Для того, щоб досліджувати динамічні властивості одноконтурної САР режиму термообробки на розробленій моделі, необхідно знайти оптимальні налаштування ПІ-регулятора.

За допомогою програмного пакету MATLAB, використовуючи середу SIMULINK створюється модель об’єкта, рис. 3.2, до моделі об’єкту додається блок оптимізації NCD_Outport2. Результатом роботи блоку оптимізації є підбір налаштувань регулятора, які забезпечать максимальну якість регулювання.

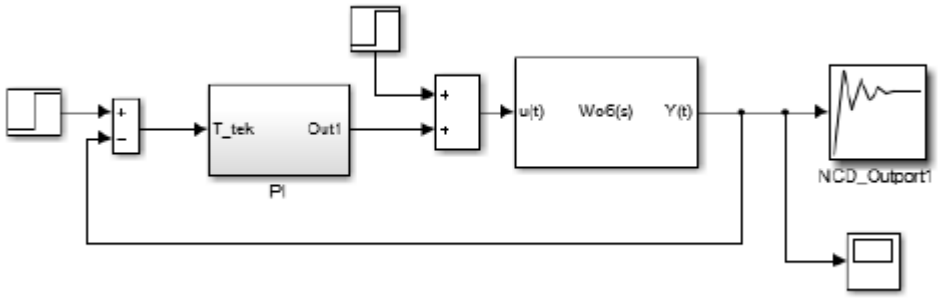



Рисунок 3.2 – Одноконтурна САК режиму нейтралізації в SIMULINK

В результаті оптимізації налаштування регулятора приймаються $К_р$ = 5,97, $Т_и$ = 4,78.

При однократній зміні ступінчатого сигналу на вході регулятора було отримано наступний перехідний процес (рис.3.3).

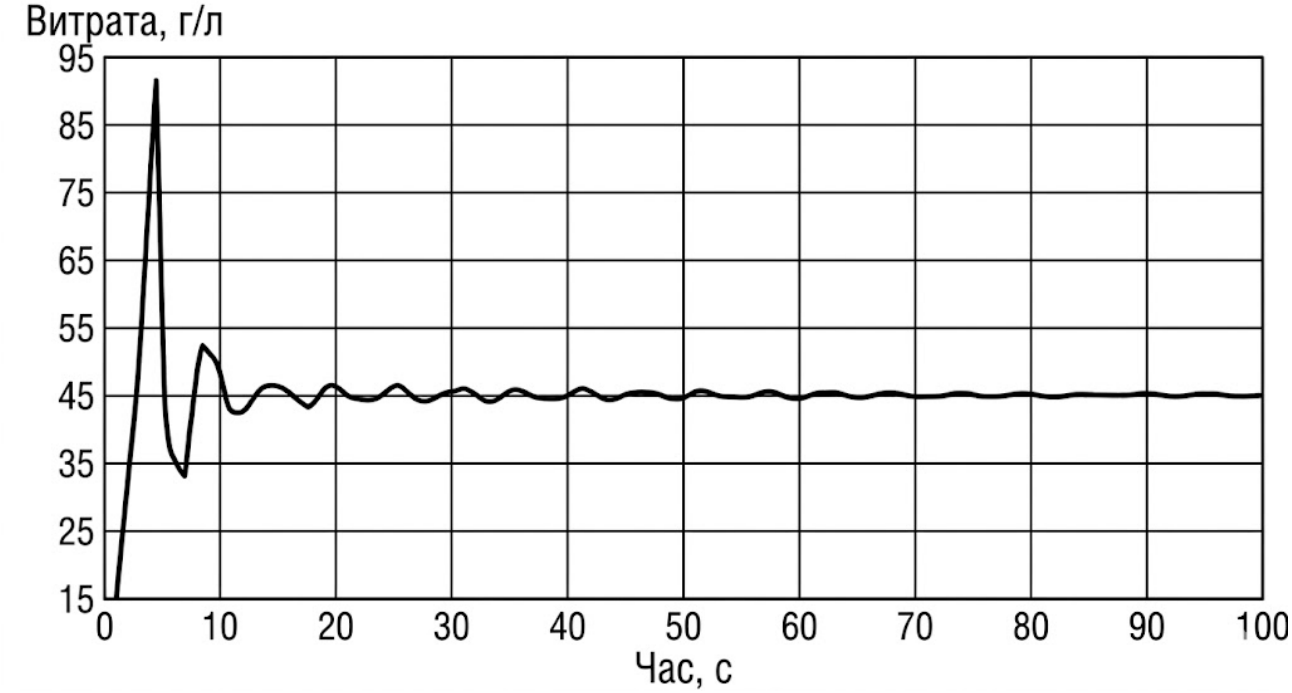



Рисунок 3.3 – Перехідний процес при однократній зміні ступінчатого сигналу

Показники якості регулювання при цьому:

Час перехідного процесу – 100 с;

Максимальне динамічне відхилення – 900;

Статична похибка – 54;

Перерегулювання – 25%.

При безперервно виникаючих збуреннях в процесі термообробки (непостійній витраті паливно-повітряної суміші, стрибках тиску робочого простору тощо) отримано перехідний процес, рис. 3.4.

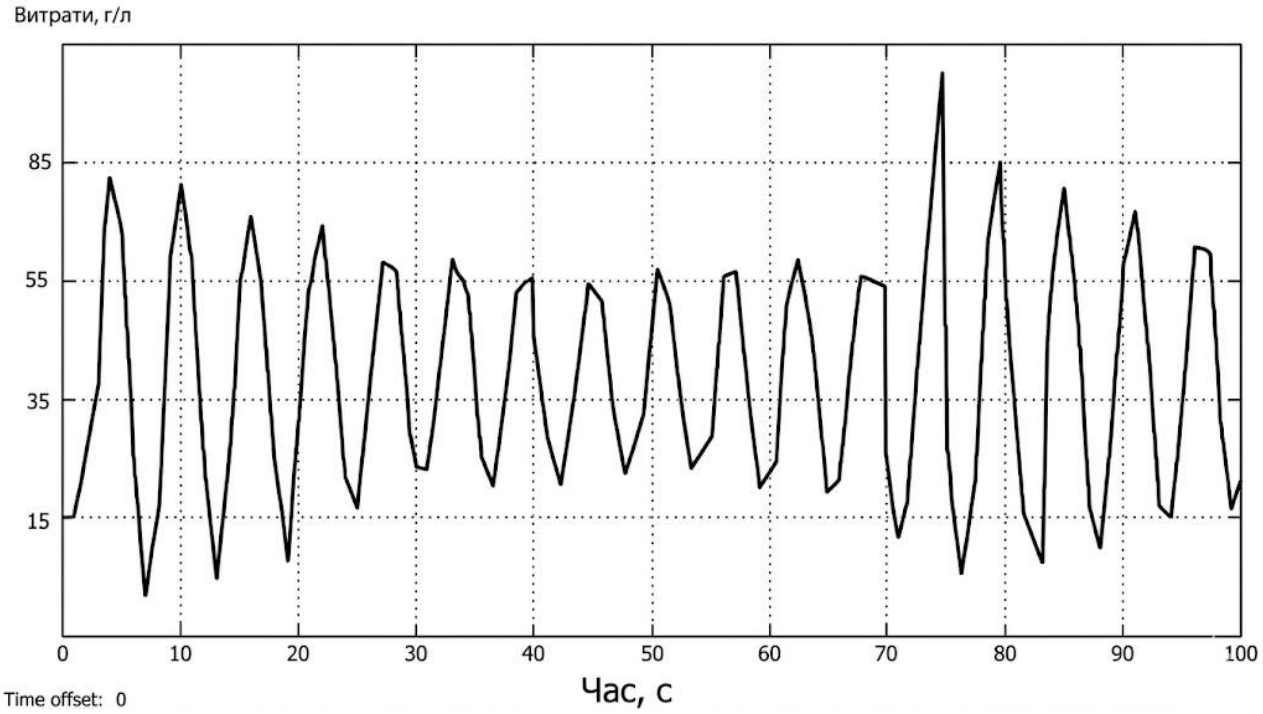



Рисунок 3.4 – Перехідний процес при безперервно виникаючих збуреннях в процесі термообробки

Імпульсно – реверсивний метод управління рухом продуктів горіння у порівнянні з однонаправленим є більш досконалим, оскільки періодично змінює напрям теплопідводу по поверхні металу, тим самим забезпечуючи більш рівномірний його нагрів [20]. Комбінація імпульсної подачі паливно – повітряної суміші і реверсу продуктів горіння дозволяє отримати найбільш позитивний результат при вирівнюванні температури в садці металу.

При моделюванні системи управління роботою печі при імпульсно - реверсивному опаленні основними блоками програми є розрахунок теплового та

матеріального балансів печі, теплової потужності, що підводиться у будь – який момент під час режиму витримки.

Для наочного і поетапного розгляду всієї сукупності розрахунків представлена структура розрахункової частини програми (рис. 3.5).

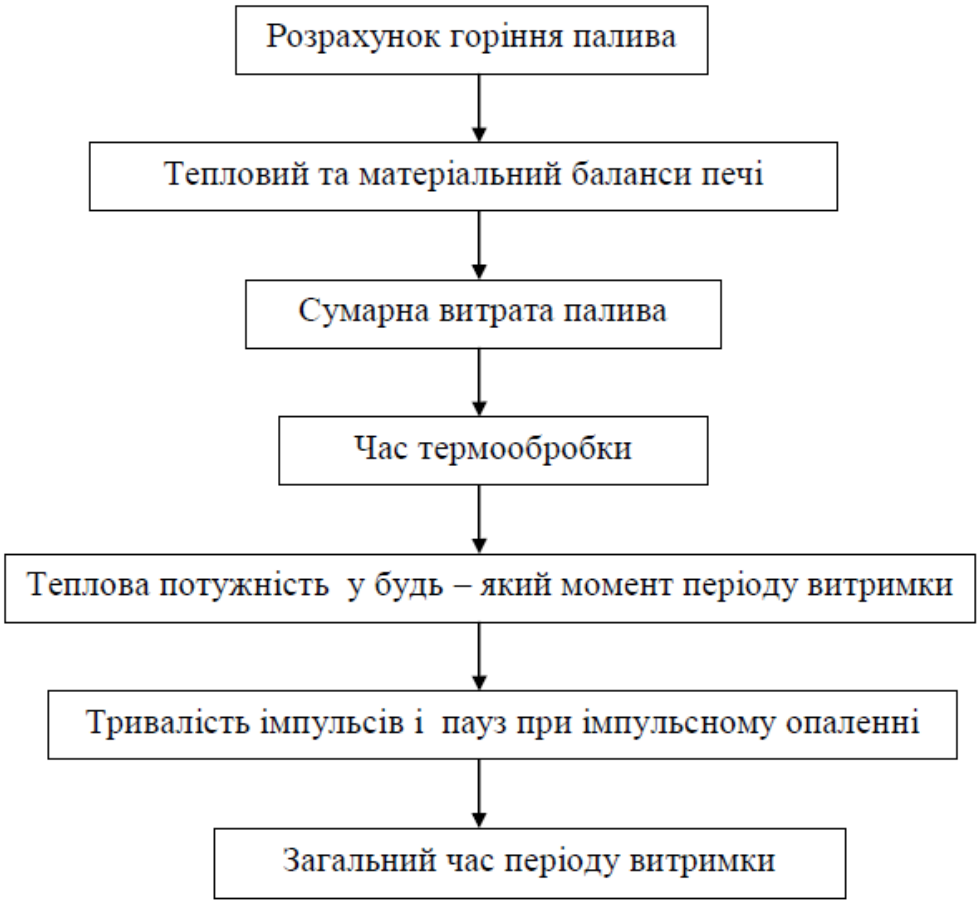


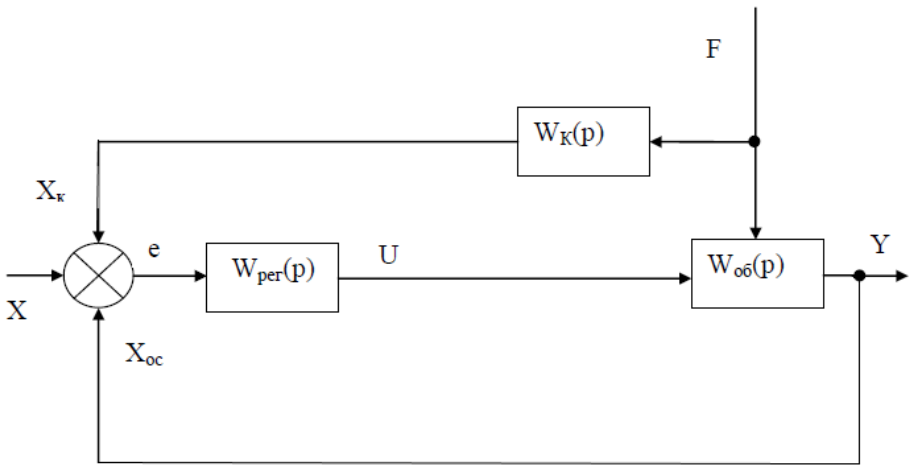

Рисунок 3.5 – Структура програми

Для виключення глибоких знижень температур поверхневого шару металу діапазон управління температурою повинен обмежуватись таким чином, щоб нижня межа температури газового середовища в період імпульсу була вища, ніж поверхневого шару металу. В цьому випадку спрощується реалізація імпульсного опалення за частотою реверсу та керуючої дії, оскільки можливо залишати витрату основного палива, змінюючи подачу кисню або подаючи періодично частину окислювача в паливо. При цьому змінюється температура факелу та зміщується область розташування максимальної температури в робочому просторі печі [17].

При постійних значеннях тривалості імпульсу і паузи к кінцю періоду витримки температура поверхневого шару в момент імпульсу може перевищувати задану, при цьому можлива поява поверхневих дефектів. Доцільно тривалість імпульсів змінювати по ходу витримки в залежності від теплового потоку на метал при звичайному нагріві, постійній часу, робочої теплової потужності та потужності холостого ходу. В процесі витримки тривалість імпульсу зменшується, оскільки зменшується тепловий потік для кожного періоду.

Діюча в термічному цеху система автоматичного регулювання температурним режимом термічних камерних печей представляє собою одноконтурну САР, що працює за ПІ-законом регулювання. Величиною, що регулюється, є поточна витрата палива на піч. Через використання застарілого устаткування (регулятор «Реміконт» серії Р-112) регулювання температурного режиму досить часто переходить на ручне з використанням суб'єктивних оцінок показань термопар, що встановлені в робочих просторах печей. Це призводить до зниження якості регулювання та недотримання оптимального температурного режиму, що необхідний для набуття металом необхідних фізичних якостей після термообробки.

Для підвищення якості регулювання пропонується використання прогнозуючої системи регулювання не тільки по відхиленню, а і по збуренню, тобто комбінованої системи управління.



X – задане значення; $X_{ос}$ – виміряне значення; e – величина розголосу;

U – управляючий вплив; Y – вихідне значення; $W_{рег}(p)$ – регулятор;

$W_{об}(p)$ – об’єкт; WK(p) – зовнішні збурення

Ресунок 3.6 – Функціональна схема комбінованої системи автоматичного регулювання

Для розробки системи управління при моделюванні об’єкту автоматизації було взято динамічні характеристики реальної камерної печі №12 термічного цеху ПАТ «Дніпроспецсталь», отримані при апроксимації її кривої розгону за допомогою додатку System Identification Tool інструментарію MATLAB.

Передавальна функція печі:

$$W_{об}(p) = \frac{1{,}0348}{6{,}8266p + 1}, \qquad (3.1)$$

На рис. 3.2 відображено структуру блоку Pech , що використовувався для реалізації моделі печі.

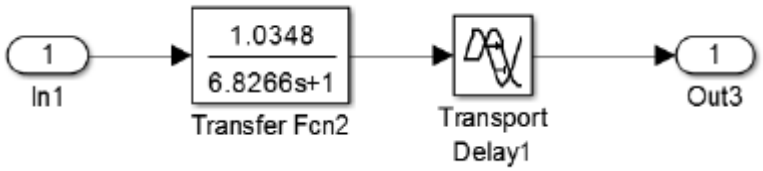



Рисунок 3.7 – Структура блоку Pech

На основі динамічних характеристик об’єкту методом незатухаючих коливань в середовищі MATLAB було підібрано оптимальні налаштування ПІД-регулятора: $K_p = 0{,}72$, $T_i = 8{,}5$, $T_d = 2$.

Моделювання завдання X.

Розрахунок тривалості імпульсів та пауз проводився в блоці MATLAB Function на основі математичної моделі ОК.

Для моделювання імпульсної частини системи управління було використано блоки додатку Stateflow. Першочергово блок Chart починає

працювати зі стану V1. Умовою переходу до наступного стану – V2 – є досягнення піччю температури в 700 °С. Одразу після активації стану V2 система переходила в режим паузи (стан Pause), в якому перебувала інтервал часу, що відповідає тривалості першої паузи (подача енергоносія відбувається з мінімально можливою витратою), розрахованої в блоці MATLAB Function. Після цього відбувався перехід до стану Impulse, під час активності якого на вхід об’єкту $W_{об}(p)$ потрапляв сигнал про режим імпульсу (подача енергоносія відбувається з максимальною витратою), тривалість якого відповідала тривалості першого імпульсу, розрахованого в блоці MATLAB Function. Після закінчення режиму імпульсу цикл повторювався, але тривалість пауз та імпульсів змінювалась згідно розрахованим. При закінченні тривалості витримки система переходила в режим охолодження (стан V3).

Структура блоку Chart додатку Stateflow показано на рис. 3.8.

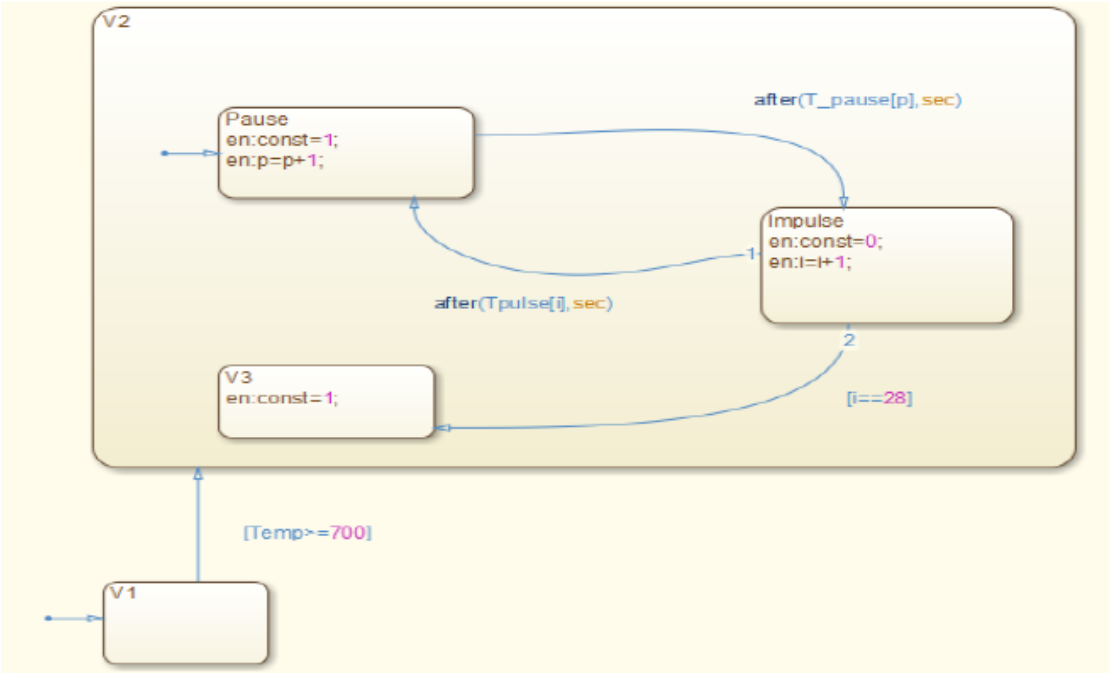



Рисунок 3.8 – Структура блоку Chart

Також при створенні блоку завдання X формування температури печі було змодельовано в блоці Subsystem, структура якого представлена на рис. 3.9.

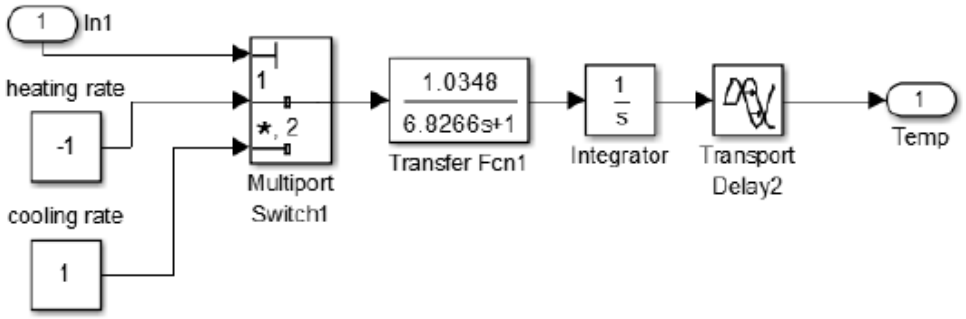



Рисунок 3.9 – Структура блоку Subsystem

Моделювання зовнішніх збурень $W_К(p)$.

Імітація появи зовнішніх збурень була представлена за допомогою блоку Signal Builder. Величина збурень підбиралась хаотично (враховуючи випадковість появи збурень при роботі реального об’єкту).

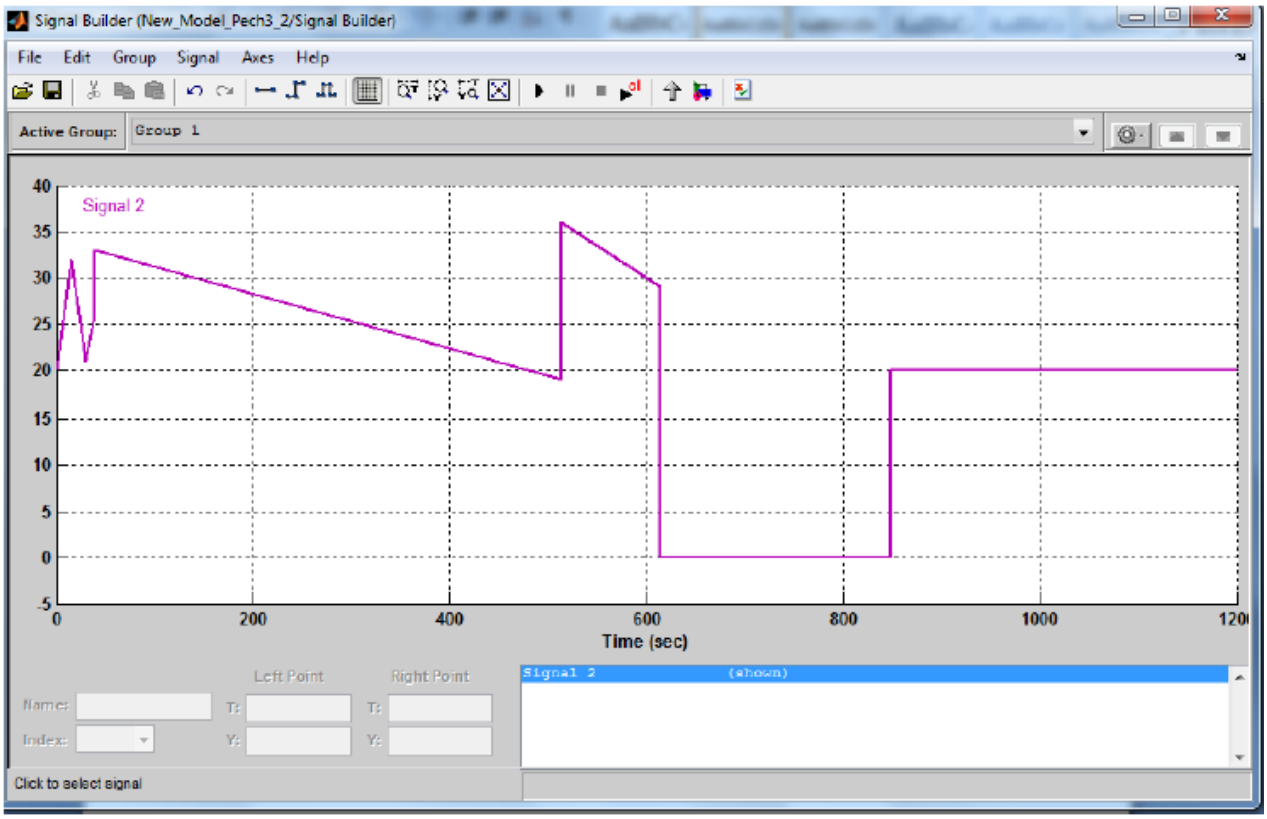



Рисунок 3.10 – Діаграма блоку Signal Builder для імітації появи зовнішніх збурень

На рис. 3.11 показана загальна структура прогнозуючої системи управління.

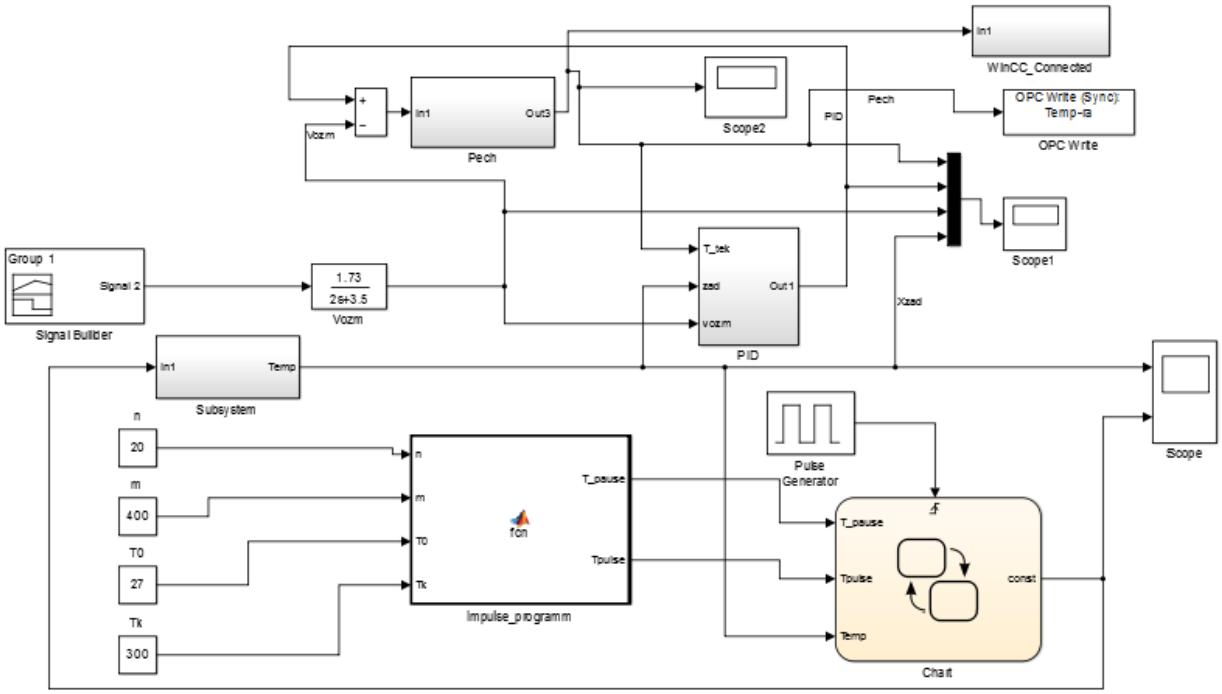



Рисунок 3.11 – Структура прогнозуючої системи управління

## 3.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА

### 3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючі пристрої, вторинні прилади

Контроль роботи камерної печі здійснюється над наступними параметрами:

– положення поду;

– положення двері;

– температуру у середині печі.

Кінцеві положення поду контролюються кнопковими штовхачами KPA2 S11 (рис. 3.12 а), положення дверей контролюється важільними штовхачами з регульованими роликами KP L2 S11 (рис. 3.12 б)



а б

Рисунок 3.12 – Датчик KP A2 S11 (а), датчик KP L2 S11 (б)

Датчики серії KP – це металеві кінцеві вимикачі, призначені для використання в різних системах керування, сигналізації та захисту. Ці вимикачі ідеально підходять для контролю рухомих механізмів і частин в індустріальних додатках. Вони особливо корисні там, де потрібен високий рівень захисту, наприклад, в машинобудуванні або для обладнання, яке використовується на вулиці. Також вони підходять для місць з обмеженим простором, таких як гідравлічні засувки або важкодоступне обладнання.

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

Характеристики металевих кінцевих вимикачів:

– максимальний струм: 10 А;

– максимальне напруга: 250 V AC;

– час спрацьовування: 0,5 ... 1,5 мс;

– довжина кабелю: 2 м;

– ступінь захисту корпусу: IP67;

– робоча температура: - 25 ... + 70 ° C

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

Робочий діапазон температури, 0 – 1300ºС

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



Рисунок 3.13 – Перетворювач термоелектричний ТПП-1-29

Принцип роботи термопар ТПП базується на явищі термоелектрорушійної сили (термо-ЕРС). Коли між робочим і вільним кінцями перетворювача є різниця температур, у його ланцюзі виникає електрорушійна сила. Знаючи закон залежності величини цієї термо-ЕРС від різниці температур, можна виміряти саму різницю температур.

Термопари ТПП складаються з чутливого елемента (термопари), який укладений у вогнетривку керамічну ізоляцію. Цей елемент поміщений у високотемпературний корпус, який захищає термопару від механічних пошкоджень і негативного впливу вимірюваного середовища.

Для підключення датчика температури до контролера необхідно застосувати нормуючий перетворювач ОВЕН НПТ1 (рис. 3.14), призначений для перетворення значення температури виміряної за допомогою термопари або термоопору, в уніфікований сигнал постійного струму 0 (4) – 20 мА.




Рисунок 3.14 – Перетворювач нормуючий ОВЕН НПТ1

Перетворювач ОВЕН НПТ1 можна використовувати у вторинних приладах для систем автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами в різних промислових галузях, а також у комунальному господарстві, диспетчеризації та телемеханічних інформаційно-вимірювальних комплексах тощо.

Основні функції універсального нормуючого перетворювача ОВЕН НПТ1 включають:

– перетворення різних сигналів для подальшої обробки;

– забезпечення стабільної роботи автоматичних систем контролю та керування;

– підвищення точності вимірювань у технологічних процесах;

– інтеграція з різноманітними пристроями в промислових та комунальних системах;

– підтримка дистанційного моніторингу та управління процесами.

Перетворення сигналів термодатчиків в уніфікований сигнал 0(4)...20мА. Підтримка більшості відомих типів термодатчиків.

Налаштування по інтерфейсу USB 2.0.

Робочий діапазон температур: -40 ... + 85 ◦С.

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

### 3.4.2 Промислові контролери

Для реалізації системи автоматизації обрано промисловий мікропроцесорний контролер Siemens SIMATIC S7-300. Цей компактний малоканальний пристрій поєднує функції автоматичного регулювання та логічного керування технологічними процесами.

Завдяки модульній архітектурі дана платформа є універсальним рішенням: вона ефективно керує як окремими локальними об’єктами, так і

складними, відповідальними процесами в масштабах усього підприємства.

Конструктивні особливості SIMATIC S7-300 дозволяють створювати гнучкі системи із локальним, віддаленим або розподіленим введенням-виведенням даних. Необхідна конфігурація легко компонується під конкретну задачу за допомогою оптимального підбору:

– центральних процесорів (CPU);
– модулів введення-виведення сигналів;
– джерел живлення та монтажних стійок (шасі);
– інших спеціалізованих комунікаційних та функціональних модулів.

Для управління процесом використаний контролер SIMATIC S7-300. Зовнішній вигляд контролера показаний на рисунку 3.15.




Рисунок 3.15 – Зовнішній вид контролера SIMATIC S7-300

SIMATIC S7-300 – це модульний програмований контролер, який працює з природним охолодженням.

Ось варіант перефразування та структурування вашого тексту для технічної документації чи пояснювальної записки. Текст очищено від русизмів (наприклад, замінено «харчування» на «живлення»), а формулювання зроблено більш чіткими та лаконічними.

Завдяки модульній конструкції, підтримці розподілених структур керування та інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу, контролер є економічно ефективним рішенням для автоматизації різноманітних процесів у

промисловості. Гнучкість застосування забезпечується широким асортиментом центральних процесорів, комунікаційних, функціональних та сигнальних модулів.

До базового та допоміжного складу ПЛК SIMATIC S7-300 входять такі елементи:

Основні компоненти системи

1. Центральні процесори (CPU): підбираються відповідно до складності задачі. Моделі відрізняються за обчислювальною потужністю, обсягом пам'яті, наявністю вбудованих каналів введення-виведення, спеціальних функцій та мережевих інтерфейсів.

2. Сигнальні модулі (SM): забезпечують приймання та передачу дискретних і аналогових сигналів із різними часовими та електричними характеристиками.

3. Комунікаційні процесори (CP): відповідають за інтеграцію контролера в промислові мережі (PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface) або для організації зв'язку через інтерфейс «точка-точка» (PtP).

4. Функціональні модулі (FM): автономні вузли зі своїми мікропроцесорами, які самостійно вирішують задачі позиціювання, автоматичного регулювання чи швидкої обробки сигналів. Вони продовжують виконувати свої функції навіть у разі збою головного процесора (CPU).

Допоміжні компоненти:

1. Блоки живлення (PS): забезпечують електроживлення компонентів контролера від мережі змінного струму напругою 120 або 230 В.

2. Інтерфейсні модулі (IM): призначені для підключення додаткових стійок (стійок розширення) введення-виведення.

Конструктивне обмеження: загалом архітектура SIMATIC S7-300 дозволяє об’єднувати до 32 сигнальних, функціональних та комунікаційних модулів, які можна розподілити максимум на 4 монтажні стійки.

Всі модулі системи мають пасивне (природне) охолодження, що підвищує надійність апаратної частини.

Діапазон робочих температур стандартне виконання від 0 до 60 °С, з розширеним температурним діапазоном (від -25 до 60 °С) і підвищеною стійкістю до дії вологості, конденсату і морозу.

В даному контролері можуть використовуватися наступні модулі центрального процесора CPU312IFM, CPU313, CPU314IFM, CPU314, CPU315, CPU315-2DP, CPU316-2DP, CPU318-2DP.

Програмування здійснюється за допомогою пакета програмування STEP 7.

Набір інструкцій дозволяє працювати з логічними операціями, операціями з дужками, збереження, рахунок, завантаження, передача, порівняння, зрушення, а також, операції над числами з фіксованою і плаваючою комою, функції переходів.

Системні функції (SFC):

– обробка переривань, помилок і відмов;
– копіювання даних; тимчасові функції (годинник);
– діагностичні функції;
– визначення параметрів модулів;
– перевизначення режимів роботи.

Час виконання операцій: логічних операцій 0,3...0,6 мкс, операцій зі словами 1,0 мкс, операцій з таймерами і лічильниками 12 мкс, складання цілих чисел 2,0 мкс, складання дійсних чисел 50,0 мкс.

Проектне компонування контролера здійснюється на основі інформації про кількість та вид вхідних і вихідних сигналів, з якими працює контролер у процесі автоматичного управління технологічним процесом, бажану конфігурацію вводів-виводів та мережну структуру.

Відповідно табл. 3 і 4, кількість інформаційних сигналів, що надходять від датчиків до контролера дорівнює 14. Усі вони уніфіковані струмові з діапазоном 4-20 мА. На такий вхідний сигнал орієнтований 8-канальний аналоговий модуль вводу SM331.

Для визначення входів і виходів системи керування проведено аналіз, і розроблена таблиця 3.1, яка включає перелік всіх необхідних елементів. В цій таблиці зазначаються вхідні сигнали (такі як сигнал про значення температури), а також вихідні сигнали (які вказують на потужність електронагрівачів). Така система керування дозволяє підтримувати стабільну температуру в камері печі з високою точністю, що є важливим для багатьох технологічних процесів.

Таблиця 3.1 – Перелік входів і виходів системи керування

| Найменування | Напр. вх/вих. | Функція | Вид | Джерело/ Отримувач | Форма подання (розряжність, точність) | | Період вв./вив., сек |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Зовніш. | Внутр. | |
| Под поза піччю | Вхід. | Контр. | Дискрет. | КР А2 S11/ПЛК | 24 В | 1 біт | 0,1 |
| Двері зачин. | Вхід. | Контр. | Дискрет. | КР А2 S11/ПЛК | 24 В | 1 біт | 0,1 |
| Двері відчин. | Вхід. | Контр. | Дискрет. | КР А2 S11/ПЛК | 24 В | 1 біт | 0,1 |
| Под у печі | Вхід. | Контр. | Дискрет. | КР А2 S11/ПЛК | 24 В | 1 біт | 0,1 |
| Температура | Вхід. | Контр. | Аналог. | НПТ-1/ПЛК | 4-20 мА | 12 біт | 0,1 |
| Положж. двері | Вхід. | Контр. | Дискрет. | ПЛК/RR2A48D220 | 24 В | 2 біт | 0,1 |
| Нагрів. 1 | Вихід | Керув. | Аналог. | ПЛК/RM1E23AA100 | 4-20 мА | 12 біт | 0,1 |
| Нагрів. 2 | Вихід | Керув. | Аналог. | ПЛК/RM1E23AA100 | 4-20 мА | 12 біт | 0,1 |
| Нагрів. 3 | Вихід | Керув. | Аналог. | ПЛК/RM1E23AA100 | 4-20 мА | 12 біт | 0,1 |

Компоновка контролера проводиться виходячи з кількості і типу сигналів на вході і виході. В даній САР маємо 9 приладів з аналоговим вихідним сигналом. На вихід з контролеру подаються сигнали на пускачі типу ПБР. Кількість модулів розраховується за формулою:

Кількість модулів = кількість сигналів з об’єкту/розрядність плати

*6 вхідних сигналів*/*8 каналів вводу* = 0,75 = 1 модуль SM331 (серія 6ES7331-7HF01-0AB0). Споживчий струм: 100 мА (на 2 модулі – 200 мА), 5 В постійного струму.

За результатами обробки вхідних сигналів контролер формує керуючий вплив на витрату повітря, палева і димових газів. Здійснюється це за допомогою виконавчих механізмів сталої швидкості, які працюють від імпульсних сигналів

управління. Оскільки при регулюванні технологічних параметрів виконавчий механізм має здійснювати компенсацію збурень шляхом збільшення або зменшення витрати повітря, палева і димових газів, при розрахунку кількості дискретних модулів виводу необхідно передбачити на кожний виконавчий механізм два виходи – «більше» і «менше». Зміну витрат технологічних параметрів здійснюють три виконавчі механізми, а це означає, що для керування їх роботою потрібно шість вихідних каналів дискретного модуля виводу.

Серед існуючих дискретних модулів Simatic S7-300 для керування роботою виконавчих механізмів найбільш підходить модуль SM322 (серія 6ES7322-1BF01-0AA0). Споживчий струм: 40 мА на 5 В постійного струму.

*3 вихідних сигналів/8 каналів виводу* = 0,4 = 1 шт.

Для опитування 6 входів, обробки інформації, відповідно до алгоритмів керування окремими технологічними параметрами, оновлення станів вихідних каналів, реалізації одної гілки розподіленого вводу-виводу та здійснення інших процедур у системі управління, можна використати центральний процесор CPU315-2DP (серія 6ES7315-2AH14-0AB0). Він має можливість підключення до 32 модулей S7-300 (4-рядна конфігурація), вбудований блок живлення =24 в, 256 кбайт робочей пам’яті, 2 інтерфейса DP-MASTER/SLAVE. Споживчий струм шини з 850 мА.

Оскільки, відповідно до завдання, необхідно сконфігурувати розподілений ввід-вивід, для віддаленої панелі потрібен адаптер вузлу, 6GK1571-0BA00-0AA0 – PC USB-адаптер A2 (USB V2.0) для підключення PG / PC чи ноутбука SIMATIC S7 к PROFIBUS чи MPI В комплекті (USB-кабель 5M ).

Для функціонування контролера потрібен модуль живлення, який необхідно розрахувати, користуючись підсумковім струмом, що споживаються усі модулі контролера. Аналогові модулі споживают струм 200 мА, дискретний модуль виводу – 40 мА, центральний процесор – 850 мА. Тобто сумарний струм, що споживають модулі центрального шасі дорівнює 1090 мА. Щоб забезпечити такий струм споживання необхідно використати модуль живлення

В якості джерела живлення для контролеру використовується універсальній модуль живлення PS307 (серія 6ES7307-1EA01-0AA0): має вхідну напругу ~120/230 В, а вихідний струм шини дорівнює 5 А.

Структурна схема розподіленої системи автоматичного управління приведена на рисунок 3.16.

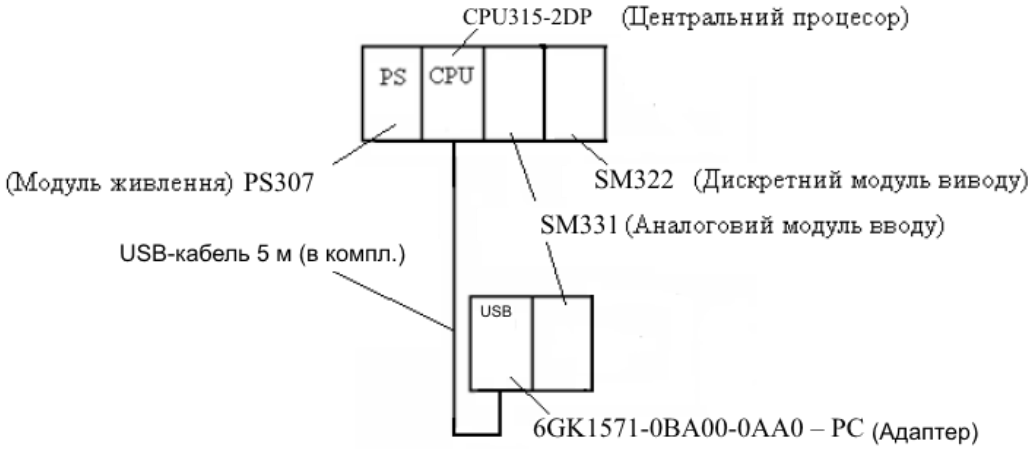



Рисунок 3.16 – Структурна схема розподіленої системи автоматичного управління

Для конфігурування розподіленного вводу-виводу потрібно два шасі. На центральному необхідно встановити модуль живлення, центральний процесор, аналоговий модуль вводу, а на виносному – адаптер вузлу підключення PG / PC і аналоговий модуль вводу. Обираємо профільну шину довжиною 480 мм S7-300, серії 6ES7390-1AE80-0AA0.

Відповідно до величиною крутного моменту, необхідного для перестановки регулюючого органу, обраний механізм електричний однооборотний типу МЕВ-250 / 10-0,25-92К, призначений для експлуатації в умовах:

– температура, ºС - від мінус 30 до 50;

– відносна вологість, до 80%;

– неприпустимо вплив дощу і сонячної радіації.

Основні технічні характеристики МЕВ:

– номінальний крутний момент на вихідному валу, Н·м 250;

– тип кінематичної схеми електроприводу AIP-56A4;

– споживана потужність, Вт 200;

– повний хід вихідного валу, об. 0,25;

– час повного ходу вихідного валу, з 10;

– маса, кг 74,0;

– тип датчика положення вала БСПТ.

Для дистанційного визначення положення вала виконавчого механізму обраний блок БСПТ-10. Блок БСПТ-10 призначений для установки в електричні виконавчі механізми з метою перетворення положення вихідного органу механізму в пропорційний електричний сигнал і сигналізації або блокування в крайніх мулу проміжних положеннях вихідного органу,

Для управління МЕВ обраний пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А, призначений для загальнопромислових умов експлуатації і має технічні характеристики в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні дані регулюючого органу

| Умови екслуатації | Параметри |
|---|---|
| Виконання | УХЛ 4-2 |
| Температура, ºС | від 5 до 50 |
| Відносна вологість, % при<br>Температурі, ºС | от 30 до 80<br>35 |
| Вібрация: частота – Hz<br>амплітуда, *мм* | до 25<br>до 0,1 |
| Магнитні поля постійні чи змішані 50 Hz,<br>напруга, *А/м* | до 400 |

До складу блоку входить блок живлення БП-10 і блок датчика БД-10. Блок датчика призначений для експлуатації під кришкою механізму виконанні У2 або Т2. Технічні дані:

– параметри живлення – однофазна мережа змінного струму 220 V;

– частоти 50 Гц;

– потужність споживана від мережі, не більше 9 Вт;

– вхідний сигнал блоку – кут повороту вала блоку в діапазоні (0 – 90) ° або (0 – 225)°;

– вихідний сигнал блоку постійний струм 4-20 мА або 0-20 мА при опорі навантаження до 1 кОм. Амплітудне значення пульсацій вихідного сигналу до 1%;

– нелінійність блоку до 2,5% від максимального значення виход¬ного сигналу;

– варіація вихідного сигналу до 1,4% від максимального значення вихідного сигналу;

– диференціальний хід мікроперекључателей до 3º;

– розривне потужність контактів мікроперекључателей 30 Вт при змінній напрузі до 220 В частоти 50 Гц;

– маса блоку датчика не більше 1 кг;

– маса блоку живлення не більше 1,45 кг.

3.4.3 Вибір виконавчих пристроїв

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



Рисунок 3.17 – Контролер реверсування асинхронного двигуна RR2A48D220

Для керування приводом дверей печі використовуємо контролер реверсування асинхронного двигуна RR2A48D220, який підтримує потужність до 2,2 кВт і працює при напрузі до 440 VDC, з керуючою напругою в діапазоні від 10 до 40 VDC.

Струм керування 4 ... 20 мА.

Максимальний струм навантаження (AC1) 100 А (280VAC).

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

Для керування нагрівачами в печі застосовуємо альтерністори RM1E23AA100.




Рисунок 3.18 – Альтерністор RM1E23AA100

3.4.4 Вибір пульта оператора

Для програмування контролера та полегшення взаємодії оператора з системою керування використаємо панель серії KTP400 від SIEMENS (рис. 3.19).

Панелі цієї серії відкривають нові можливості для користувачів завдяки потужній системі візуалізації в поєднанні з привабливою ціною обладнання.



Рисунок 3.19 – Панель оператора серії KTP400 від SIEMENS

Характеристики:

– розмір екрану дисплея від 4,3" до 15";

– тип дисплея: кольоровий TFT;

– процесори ARM11, 533 МГц і Cortex-A8 1000 МГц;

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

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

Пристрої цієї серії відрізняються не тільки безкомпромісною надійністю і продуктивністю, але також відмінним співвідношенням ціна/якість. Великий термін служби обладнання забезпечується, серед іншого, за рахунок використання пасивної системи охолодження і електронних накопичувачів інформації. Це означає, що в конструкції панелей відсутні будь-які електромеханічні компоненти.

*Висновки* На основі аналізу технологічних особливостей функціонування камерної печі та технічних характеристик засобів автоматизації розроблено структурну схему інформаційних потоків дослідницької системи.

З урахуванням специфіки камерної печі як об'єкта керування за контуром регулювання температури, а також на базі сформованої схеми інформаційних потоків, було сформульовано та реалізовано план активного експерименту. За результатами ідентифікації динамічних характеристик об'єкта в середовищі

графічного моделювання Simulink/MATLAB створено його імітаційну модель. Проведений порівняльний аналіз результатів моделювання з експериментальними (перевірочними) даними підтвердив їх збіг на 98,41%, що свідчить про високий рівень адекватності розробленої моделі реальному об'єкту.

Відповідно до вимог технологічного процесу та заданих діапазонів зміни технологічних параметрів, підібрано первинні вимірювальні перетворювачі (датчики) та виконавчі механізми. Всі обрані польові пристрої мають уніфікований діапазон вхідних і вихідних сигналів 4...20 мА та стандартну напругу живлення 24 В.

Центральним елементом системи автоматизації визначено програмований логічний контролер SIMATIC S7-300. Через його вбудовані та модульні канали аналогового й дискретного введення-виведення забезпечено взаємодію з периферійним обладнанням, а також інтеграцію панелі оператора KTP400 для організації людино-машинного інтерфейсу (HMI).

Комунікація між контролером SIMATIC S7-300 та панеллю оператора KTP400 реалізована за допомогою промислового інтерфейсу Industrial Ethernet через протокол PROFINET, що гарантує високу швидкість та надійність обміну даними. Розроблений людино-машинний інтерфейс дозволяє здійснювати оперативний моніторинг поточного стану камерної печі, відображати тренди зміни температури у реальному часі, а також оперативно змінювати уставки регулювання. Окрім цього, в системі передбачено архівацію аварійних подій та технологічних параметрів для їх подальшого аналізу. Таке комплексне апаратне та програмне забезпечення дозволяє мінімізувати вплив людського фактора і забезпечує стабільне утримання заданого температурного графіка.

# 4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

## 4.1 Розробка структурної схеми САР

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

Структурна схема (рисунок 4.1) системи керування процесом нагріву в електричній камерній печі була розроблена з урахуванням особливостей цього процесу.

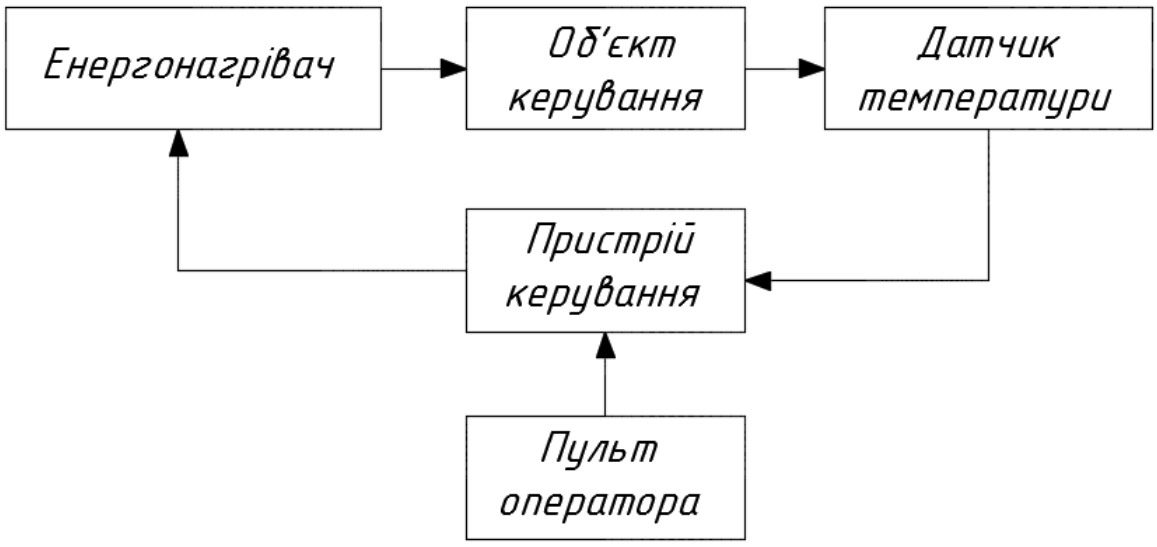



Рисунок 4.1 – Структурна схема системи керування температурою в камерній печі

На структурній схемі системи керування зображено: датчик температури в камері печі, електронагрівач, як виконуючий пристрій, пристрій керування, що задає необхідну температуру в печі. Пульт оператора використовується для спостереження за перебігом технологічного процесу та внесення змін у режим роботи системи. Головний контур регулювання датчик температури в камері печі – пристрій керування – виконавчий пристрій.

Основним впливом на регулювання температури в камері є потужність електронагрівачів опору, яка може варіюватися від 0% до 100%. Ця потужність контролюється за допомогою регулюючого пристрою – альтерністора.

Головною метою системи керування є досягнення і підтримка температури в камері печі на рівні 1000 – 1100°С. Початкова температура в камері при завантаженні металевих виробів становить 20°С.

Функціональна схема автоматизації (ФСА) є основним документом при проектуванні системи автоматизації, який визначає функціональну структуру і обсяг автоматизації об'єкта, а також відображає функції системи автоматизації та їх взаємозв'язок з автоматизуються об'єктом.

ФСА – це креслення, на якому схематично умовними позначеннями показано:

- технічне обладнання і комунікації;
- первинні прилади;
- місця розташування апаратури автоматизації;
- ТСА і всі зв'язки між ними;
- граничне значення контрольованих і регульованих параметрів;
- розшифровка нестандартних засобів трубопроводів.

При розробці ФСА вирішені такі основні завдання:

- отримання первинної інформації про стан процесу і обладнання;
- уявлення первинної інформації;
- формування дій;
- безпосередній вплив на процес.

Відповідно до вимог технологічного процесу до обсягу і рівня автоматизації, і з урахуванням обраної структури управління і технічних засобів, розроблена ФСА камерної печі, представлена у графічній частині проекту.

На функціональній схемі автоматизації показаний контур регулювання температури в камері електричної печі з викотним подом. Для зміни температури в камері печі використовуються електронагрівачі опору, потужність яких

регулюється відповідно до сигналу про значення температури, який надходить до інтелектуального пристрою. Цей сигнал порівнюється з заданим значенням температури, і в залежності від різниці між ними визначається необхідна потужність електронагрівачів для досягнення заданої температури.

Функціональна схема автоматизації зображена на рисунку 4.2.

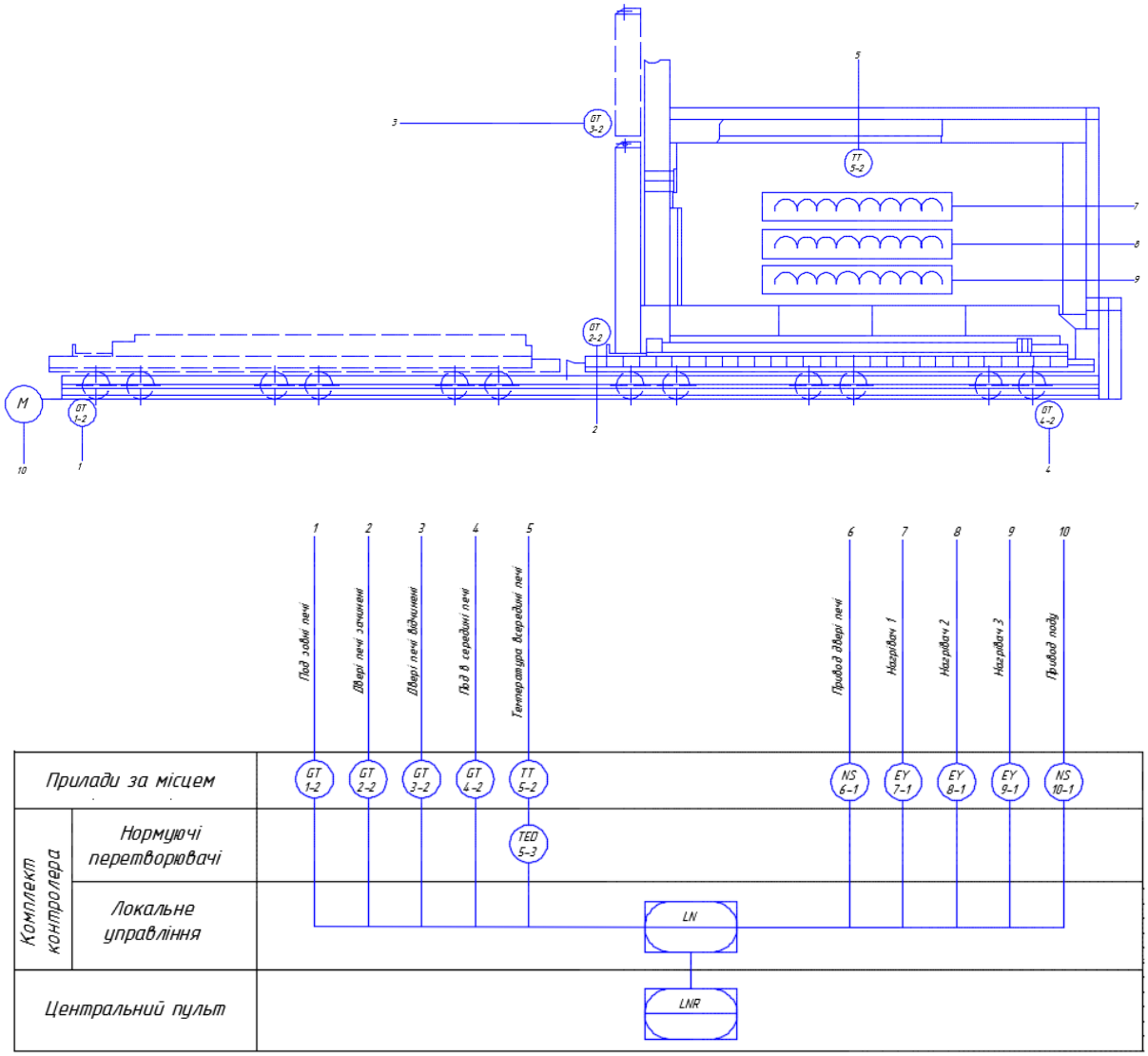



Рисунок 4.2 – Функціональна схема автоматизації

## 4.2 Розробка принципової електричної схеми

Принципова електрична схема, представлена на рис. 4.3, визначає повний склад приладів, апаратури та пристроїв (а також зв'язки між ними), дія яких

забезпечує вирішення задач управління і регулювання.

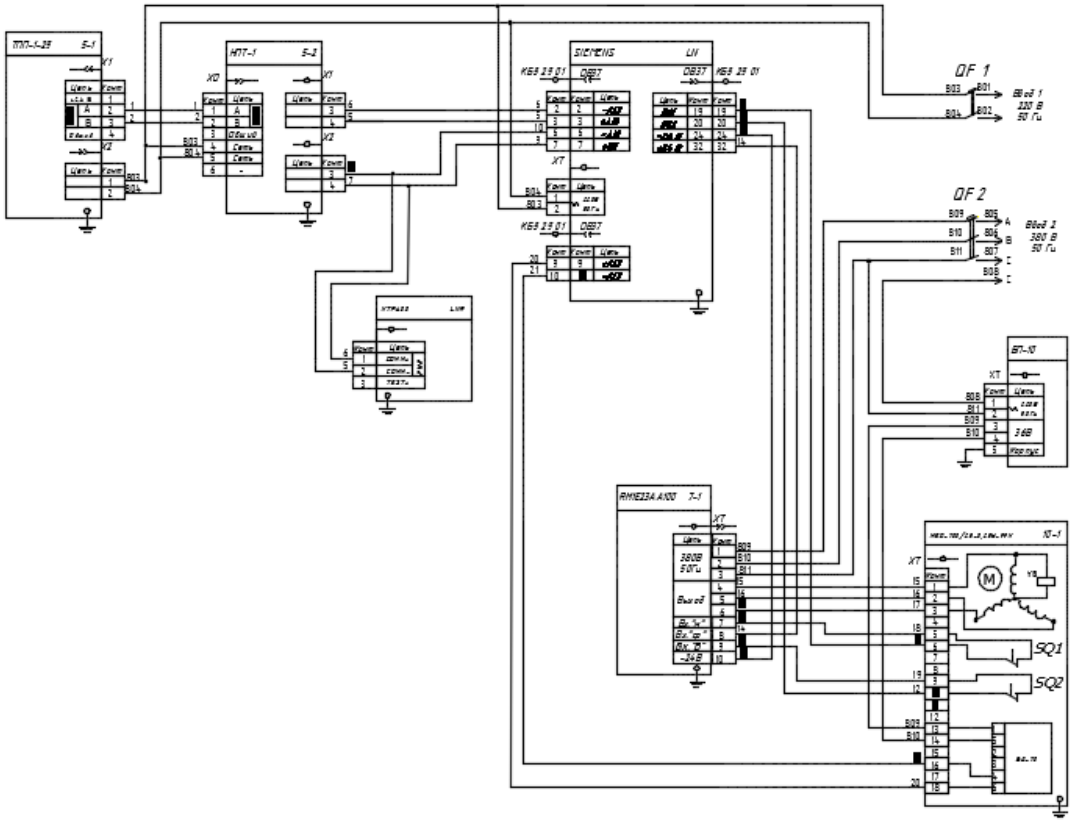



Рисунок 4.3 – Принципова електрична схема

## 4.3 Розробка принципової електричної схеми живлення

Принципова схеми живлення є проектним матеріалом, який використовують не тільки при розробці робочих креслень, але й при експлуатації змонтованих об’єктів.

Серед приладів, реалізуючих системи регулювання, є такі що потребують напругу живлення 380 В та 220В. Живлення здійснюється безпосередньо від існуючої мережі. Для запобігання виходу приладів з ладу в результаті раптового підвищення напруги застосовуються пакетні вимикачі.

Для від’єднання електроприймачів і ліній для ремонтних робіт застосовуються пакетні вимикачі.

## 4.4 Розробка монтажної комутаційної схеми щита КВПіА

Монтажно-комутаційна схема щита проектується виходячи з принципово-електричної схеми та загального вигляду щита. На ній відображаються всі вторинні прилади та інші засоби автоматизації . Зв'язок між приладами здійснюється як шляхом з’єднання безпосередньо контактів технічних засобів проводкою, так і за допомогою клемних колодок, що дає перевагу при модернізації щита або заміні окремих технічних засобів.

Також на монтажно-комутаційній схемі показано зв'язок всіх приладів розташованих на щиті з приладами та технічними засобами які знаходяться поза щитом.

Креслення монтажно-комутаційної схеми щита необхідне для виконання електричної та трубної комутації приладів і засобів автоматизації в межах щита.

Схема виконана адресним методом, на якій відображені взаємозв’язки між пристроями розміщеними безпосередньо на щиті. На щиті також розміщені клемні колодки ,через які відбувається зв'язок з приладами встановленими безпосередньо на об’єкті. За допомогою клемної колодки також на щит вводиться напруга живлення від мережі 220 В змінного струму.

## 4.5 Зовнішній вид шафи та вид внутрішній панелі

Схема зовнішніх з’єднань електричних і трубних проводок це креслення на якому умовно у вигляді ліній зв’язку показуються електричні дроти,кабелі,що прокаладуються поза щитами між окремими приладами та засобами автоматизації.

Шафи систем автоматизації призначені це пристрої ,на яких встановлюють технічні засоби і програмно-технічні комплекси,що забезпечують збір,обробку інформації та подання її експлуатаційному персоналу.

Було обрано шафу типу ЩШ-3Д з задніми дверми . Основні технічні параметри:

- висота шафи – 2200 мм;
- ширина шафи – 800 мм;
- глибина шафи – 600 мм;
- ступінь захисту – IP31.

Даний тип шафи призначений для експлуатації в цехах. Контролер та блоки живлення встановлюється на внутрішній панелі щита у зв’язку з високою запиленістю приміщення. На передній панелі встановлені датчики положення ДУП-М, Метран 900, задатчик та перемикачі режиму управління. На боковій стінці встановлені клемно-блочні з’єднувачі ,та клемні колодки. При кресленні цієї схеми були виведені габаритні розміри приладів та їх розміщення.

## 4.6 Розробка схеми зовнішніх з’єднань системи автоматичного регулювання витрати природного газу

Схема зовнішніх з’єднань електричних і трубних проводок це креслення на якому умовно у вигляді ліній зв’язку показуються електричні дроти,кабелі,що прокаладуються поза щитами між окремими приладами та засобами автоматизації.

*Висновки.* В даному розділі розроблені структурна, функціональна схеми, принципова електрична схема живлення, монтажна комутаційна схема щита КВПіА схеми САР камерної печі.

# 5 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 5.1 Розрахунок параметрів наближеним методом

При цьому методі враховується середньогрупові інтенсивності відмов елементів системи та досвід експлуатації аналогічних виробів (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Вхідні данні

| Термопара | НПТ-1 | Контролер | Панель оператора | Реле |
|---|---|---|---|---|
| 0,1 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 4,3 |

– розраховується загальна сумарна інтенсивність відмов всієї системи автоматичного регулювання (САР):

–

$$\lambda'_{\text{заг}} = k * \sum_{i=1}^{m} \lambda_{oi} * n_i = 2{,}5 * 10^{-6}(0{,}1 + 0{,}9 + 0{,}7 + 0{,}9 + 4{,}3 * 2)$$
$$= 2{,}5 * 11{,}2 * 10^{-6} = 28 * 10^{-6}\ [1/\text{год}] \qquad (5.1)$$

де k – узагальнений коефіцієнт, який враховує призначення САР;

$\lambda_{oi}$ – середня інтенсивність відмов відповідної групи;

m – кількість груп;

$n_i$ – кількість елементів у групі. і n

– розраховується наробіток на відмову:

$$T'_0 = \frac{1}{\lambda'_{\text{заг}}} = \frac{1}{28 \cdot 10^{-6}} = 35714{,}2\ [\text{год}]; \qquad (5.2)$$

– розраховується імовірність безвідмовної роботи САР:

$$P'(t) = e^{-\lambda_{заг}} = e^{-\frac{t}{T_0}} = e^{-\frac{35000}{35714,2}} = 0,98 \qquad (5.3)$$

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків параметрів надійності наближеним методом

| Назва і типи елементів | Середнє значення інтенсивності відмов $\lambda_a \cdot 10^{-6}$, 1/год | Узагальнений коефіцієнт, К | Сумарна інтенсивність відмов, $\lambda_{заг} \cdot 10^{-6}$, 1/год |
|---|---|---|---|
| Первинний перетворювач | 0,1 | 2,5 | $28 \cdot 10^{-6}$ |
| Вторийнний прилад | 0,9 | | |
| Котролер | 0,7 | | |
| Пульт оператора | 0,9 | | |
| Реле | $4,3 \cdot 2$ | | |

Таблиця 5.3 – Дані для побудови графіку залежності P’(t)

| t, год | 0 | $0,5T_0^1$ | $T_0^1$ | $1,5T_0^1$ | $2T_0^1$ | $2,5T_0^1$ | $3T_0^1$ | $3,5T_0^1$ | $4T_0^1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P’(t) | 1 | 0,60 | 0,37 | 0,22 | 0,13 | 0,083 | 0,05 | 0,03 | 0,018 |

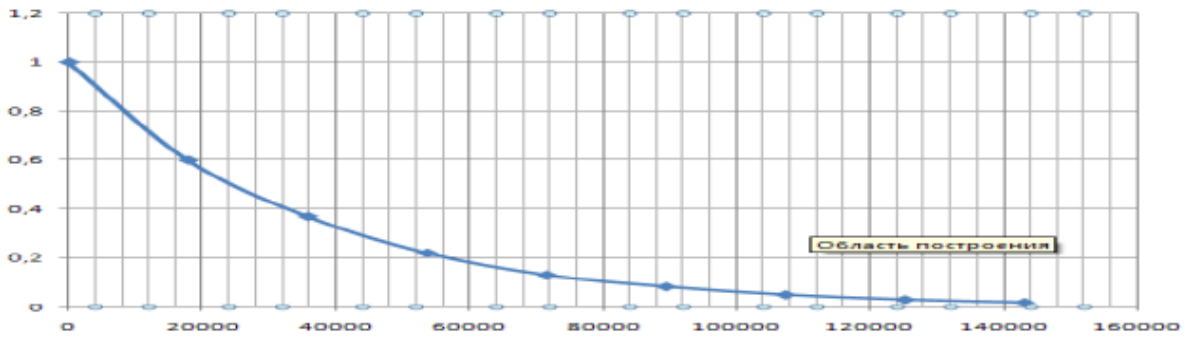



Рисунок 5.1 – Графік залежності P’(t)

## 5.2 Повний розрахунок параметрів надійності

Для визначення коефіцієнтів навантаження елементів роблять розрахунки режимів роботи схеми або приймають рекомендовані коефіцієнти згідно статистичним даним. Вплив дестабілізуючих чинників враховуються за поправними коефіцієнтами, які визначаються конкретними умовами експлуатації та технічними параметрами.

Алгоритм розрахунку наступний:

– визначається кількість груп елементів (m) системи та кількість елементів у кожній групі ($n_j$), які мають однакові коефіцієнти навантаження $K_i$ та однакові інтенсивності відмов.

a = 0,66.

Таблиця 5.4 – Коефіцієнти навантаження

| $К_{\lambda 1}$ | $К_{\lambda 2}$ | $К_{\lambda 3}$ |
|---|---|---|
| 1,04 | 2,5 | 1,1 |

– розраховується комплексний поправочний коефіцієнт:

$$К_{\lambda} = К_{\lambda 1} \cdot К_{\lambda 2} \cdot К_{\lambda 3} = 1{,}04 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}1 = 2{,}86; \quad (5.4)$$

– розраховується загальна інтенсивність відмов:

$$\lambda''_{\text{заг}} = К \cdot K_{\lambda} \cdot \sum_{i=1}^{m} \lambda_{oi} \cdot n_j \frac{1}{\text{год}}, \quad (5.5)$$

$$\lambda''_{\text{заг}} = 9 \cdot 2{,}5 \cdot 2{,}86 \cdot 0{,}66(0{,}1 + 0{,}9 + 0{,}7 + 0{,}9 + 4{,}3 \cdot 2)$$

$$= 437{,}621 \cdot 10^{-6} \left[\frac{1}{\text{год}}\right]$$

– розраховується наробіток на відмову:

$$T_0'' = \frac{1}{\lambda''_{заг}} = 2285 \text{ [год]}; \quad (5.6)$$

– розраховується вірогідність безвідмовної роботи САР :

$$P''(t) = e^{-\lambda''_{заг}} = e^{-\frac{t}{T_0}}, \quad (5.7)$$

Таблиця 5.5 – Дані і результати розрахунків параметрів надійності точним методом

| Назва і типи елементів | Середнє значення інтенсивності відмов $\lambda_a \cdot 10^{-6}$, 1/год | Комплексний поправочний коефіцієнт, $K_\lambda$ | Сумарна інтенсивність відмов, $\lambda_{заг} \cdot 10^{-6}$, 1/год | Напрацювання на відмову, Т’’$_0$, год |
|---|---|---|---|---|
| Первинний перетворювач | 0,1 | 2,5 | $28 \cdot 10^{-6}$ | 2285 |
| Вторийнний прилад | 0,9 | | | |
| Котролер | 0,7 | | | |
| Пульт оператора | 0,9 | | | |
| Реле | $4{,}3 \cdot 2$ | | | |

Таблиця 5.6 – Дані для побудови графіку залежності Р’’(t)

| t, год | 0 | $0{,}5T_0^1$ | $T_0^1$ | $1{,}5T_0^1$ | $2T_0^1$ | $2{,}5T_0^1$ | $3T_0^1$ | $3{,}5T_0^1$ | $4T_0^1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Р’(t) | 1 | 0,60 | 0,37 | 0,22 | 0,13 | 0,083 | 0,05 | 0,03 | 0,018 |

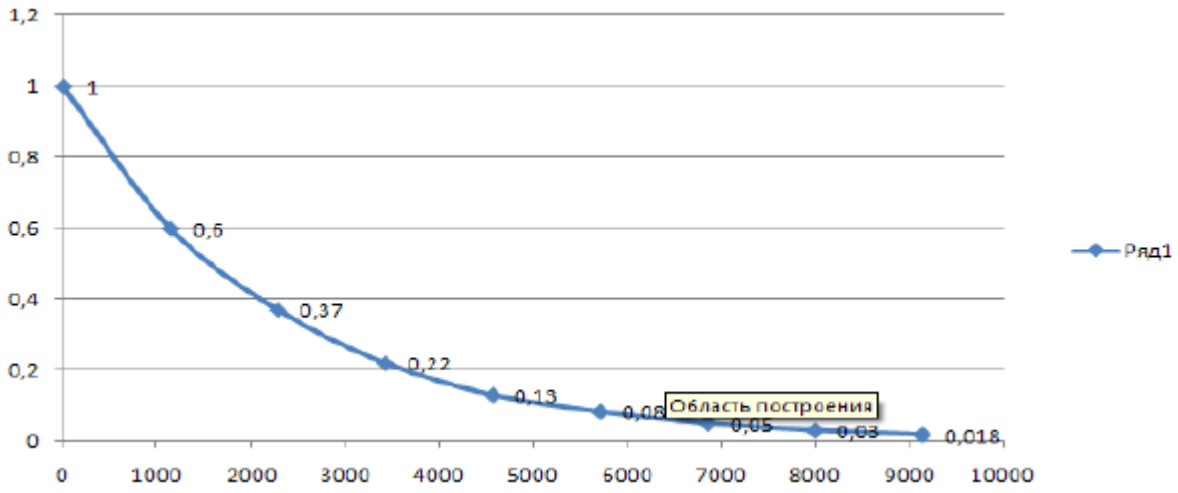



Рисунок 5.2 – Графік залежності P’’(t)

З графіків видно, що розрахунок параметрів надійності, який зроблений з урахуванням режиму роботи елементів і впливом дестабілізуючих чинників є точнішим, ніж розрахунок параметрів наближеним методом. При цьому ймовірність безвідмовної роботи САР значно зменшується з плином часу при точному розрахунку [12].

Гарантійний термін роботи САР :

$$\mathrm{T_г} = \frac{\mathrm{T_0}}{4 \cdot \mathrm{К_{ДН}} \cdot \mathrm{М}}, \qquad (5.8)$$

де $\mathrm{К_{ДН}}$ – кількість днів роботи в місяць;

М – кількість місяців роботи за рік.

$$\mathrm{T_г} = \frac{2285}{4 \cdot 31 \cdot 12} = 1{,}5\ [\text{рік}]$$

Середнє значення тривалості відновлення САР, якщо потрібне повне відновлення:

$$\mathrm{T_в} = \sum_{j=1}^{q} T_{Bj} \cdot m_j, [\text{год}]; \qquad (5.9)$$

де q – кількість груп елементів, які мають однакову тривалість відновлення;

$T_{Bj}$ – середнє значення тривалості відновлення, година;

$m_j$ – кількість елементів в групі.

$$T_в = 0,8 \cdot 6 = 4,8 \text{ год.}$$

Таблиця 5.7 – Дані для розрахунку тривалості відновлення

| Назва і типи елементів | Середнє значення тривалості відновлення $T_{Bj}$, год | Кількість елементів у групі, $m_j$ |
|---|---|---|
| Перемикачі | 0,78 | 6 |

Коефіцієнт готовності :

$$К_г = \frac{1}{1 + \lambda_{заг} \cdot T_в} = 0,99981 \qquad (5.10)$$

У створенні та експлуатації автоматичних систем важливо забезпечити їхню надійність, але це часто є складною задачею. Способи підвищення надійності можуть бути різноманітними і вимагають широких наукових знань, інженерного досвіду та технічної майстерності. Підвищення надійності може бути досягнуте за допомогою використання простих і стабільних схем, вибору якісних елементів та розробки зручних у використанні конструкцій. Також важливо використовувати агрегати з високою надійністю та елементи, які працюють при знижених навантаженнях. Всі ці заходи дозволяють забезпечити мінімальну необхідну надійність системи та підвищити її продуктивність та тривалість служби.

Способи підвищення надійності автоматичних систем дуже різноманітні і вимагають від осіб, що створюють системи, як широких наукових і теоретичних знань, так і інженерного мистецтва, великого досвіду і т. д.

При розробці схеми і конструкції мають також бути передбачені заходи, що дозволяють підвищити надійність системи при експлуатації, а саме: блокова конструкція системи, використання стандартних і уніфікованих вузлів і блоків, зручність перевірок і обслуговування та ін.

*Висновки.* Отже, при проектуванні надійності нерезервованої системи використовуються кілька основних методів:

– вибір простих і стабільних схем, які також мають можливість підвищення надійності під час експлуатації;

– використання якісних і перспективних елементів, а також налаштування режимів роботи елементів для зниження електричного навантаження;

– розробка конструкції системи та приладів, що мінімізують навантаження на систему і елементи, і забезпечують зручність обслуговування.

Крім того, використання агрегатів з високою надійністю, які працюють на принципах природи, таких як швидкохідні агрегати без механічних передач, або деталі, які працюють при низькому навантаженні, також сприяє підвищенню надійності системи.

# 6 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

## 6.1 Небезпечні та шкідливи фактори виробництва

У бакалаврській роботі особливу увагу приділено питанням забезпечення промислової безпеки, оскільки камерні електропечі належать до обладнання підвищеної небезпеки через одночасну дію високих температур, теплових випромінювань та високої електричної напруги. Безперебійна та безпечна експлуатація такої системи можлива лише за умови чіткого виконання комплексу організаційних і технічних заходів.

Електротехнічний персонал, який допускається до монтажу, налагодження та обслуговування системи керування нагрівом, повинен мати відповідну групу з електробезпеки, не нижчу за третю для оперативних працівників, та пройти цільовий інструктаж. До обов'язкових технічних заходів належить регулярне вимірювання опору ізоляції силових кабелів і перевірка цілісності контуру захисного заземлення або занулення металевого кожуха печі та корпусів шаф керування. Усі неізольовані струмопровідні частини, зокрема ділянки шинопроводів від силових трансформаторів до нагрівальних елементів печі, мають бути надійно закриті захисними кожухами або сітчастими огородженнями. Крім того, система автоматизації повинна передбачати обов'язкове механічне або електричне блокування, яке автоматично знеструмлює нагрівачі при відкриванні дверей чи заслінки робочої камери печі.

Для запобігання аварійним ситуаціям, пов'язаним із виділенням значної кількості теплової енергії, необхідно здійснювати систематичний нагляд за станом вогнетривкої кладки та теплоізоляційних матеріалів печі з метою виявлення локальних перегрівів чи прогарів кожуха на ранніх стадіях. Також важливо контролювати щільність прилягання заслінки камери та стан оглядових вікон. Для захисту органів зору та шкіри персоналу від жорсткого теплового й короткохвильового випромінювання оглядові вікна мають бути оснащені спеціальним термостійким та світлофільтрувальним склом.

За наявності технологічних процесів, що супроводжуються виділенням летких або вибухонебезпечних компонентів, наприклад, під час випалу зв'язуючих речовин, конструкція печі обов'язково оснащується вибуховими клапанами, працездатність та цілісність мембран яких технічний персонал зобов'язаний регулярно перевіряти. Додатково у програмному забезпеченні контролера передбачено алгоритми аварійного вимкнення живлення печі у разі перевищення критичної температури, що виконує функцію захисту від розгону печі при виході з ладу основного контуру регулювання. Суворе дотримання вимог посадових та експлуатаційних інструкцій, проведення планово-попереджувальних ремонтів і безперервний автоматичний моніторинг параметрів безпеки за допомогою розробленої системи керування є головною запорукою високопродуктивної, безаварійної роботи обладнання та збереження здоров'я обслуговуючого персоналу.

## 6.2 Організація пожежної безпеки

Аналізуючи специфіку проектованої ділянки термообробки, виробниче приміщення за класифікацією вибухопожежонебезпеки віднесено до класу В-IIа за вибухонебезпечністю та до класу П-IIа за пожежонебезпекою. Ця категорія вказує на те, що за нормального технологічного режиму експлуатації пряма загроза виникнення небезпечних станів відсутня, проте аварійні ситуації, розгерметизація або технічні несправності обладнання можуть призвести до формування вибухо- чи пожежонебезпечного середовища через накопичення горючого пилу чи волокон. З метою забезпечення надійного пожежо- та вибухозахисту всі технологічні процеси нагріву й обробки реалізуються виключно всередині герметично закритих апаратів та печей, конструкція яких унеможливлює потрапляння небезпечних речовин у робочу зону приміщення. Крім того, у проекті передбачено комплексні інженерні заходи захисту від проявів атмосферного та статичного заземлення, що запобігає появі іскрення, а все встановлене електрообладнання, включаючи комутаційні апарати, датчики

та шафи керування контролерами, обрано у спеціальному вибухозахищеному та пожежобезпечному виконанні з відповідним індексом оболонки.

Особлива увага приділена захисту силових електричних мереж від струмів короткого замикання та перевантажень, які є одними з головних джерел займання в промислових умовах. Для миттєвої локалізації таких аварійних режимів у силових шафах встановлюються сучасні швидкодіючі автоматичні вимикачі та пристрої захисного вимкнення. На випадок виникнення локального осередку займання безпосередньо на ділянці термообробки передбачено первинні засоби пожежогасіння, серед яких ефективно використовуються вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-5, призначені для гасіння електроустановок під напругою, хімічні пінні вогнегасники ОХП-10, а також пересувні порошкові установки ПГП-50 для локалізації великих площ пожежі. Додатково приміщення оснащене автоматичною системою пожежної сигналізації, яка інтегрована в загальну схему автоматизації на базі промислового контролера та забезпечує миттєве знеструмлення печей у разі спрацювання датчиків задимлення чи критичного підвищення температури в цеху.

Для забезпечення безпеки персоналу та організації чітких логістичних потоків внутрішнє планування відділення виконано із суворим дотриманням геометричних параметрів проходів та проїздів. Відповідно до чинних нормативних вимог, внутрішні проходи між обладнанням мають чисту ширину не менше ніж 1,5 метра, а транспортні проїзди становлять щонайменше 2,5 метра, що повністю виключає перетин зустрічних людських потоків та гарантує вільне переміщення вантажопідйомної техніки. Згідно з жорсткими вимогами будівельних норм ДБН В.1.1-7:2016, для безпечної евакуації людей у разі пожежі або іншої надзвичайної ситуації передбачено два незалежні запасні евакуаційні виходи, які обладнані легкодоступними дверима з системою відкривання «антипаніка» і ведуть безпосередньо назовні або в безпечну зону. Протяжність, ширина коридорів та геометричні параметри дверних отворів на шляхах евакуації повністю відповідають розрахунковому часу евакуації персоналу, а

самі маршрути руху чітко означені світловими покажчиками зеленого кольору із автономним живленням, які залишаються активними навіть у разі повного знеструмлення підприємства.

Межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі поширення вогню по них визначаємо з наводимо в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Межі вогнестійкості

| Ступінь вогнестійкості будівель | | | II |
|---|---|---|---|
| Мініма льні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (над межею) і максимальні межі розповсюдження вогню по них (під межею) | Стіни | Несучі і сходові клітки | 2/0 |
| | | Самонесучі | 1/0 |
| | | Зовнішні, несучі (з навісних панелей) | 0,25/0 |
| | | Внутрішня несуча (перегородка) | 0,25/0 |
| | Колони | | 2/0 |
| | Сходові майданчики, ступені, балки і марші сход. кліток | | 1/0 |
| | Плити, настили (з утеплювачем) і ін. несучі конструкції | | 0,75/0 |
| | Елементи покрівель | Плити, настили (з утеплювачем і прогони) | 0,25/0 |
| | | Балки, ферми, арки і рами | 0,25/0 |

Для пожежогасіння передбачено розрахункові витрати води на зовнішнє та внутрішнє гасіння, а також первинний комплект засобів пожежогасіння, що включає порошкові та вуглекислотні вогнегасники, ящики з піском, ломи, відра, лопати та пожежну установку УВП-400.

Для захисту від блискавок використовуються ізольовані від будівель блискавкоприймачі стрижневого або тросового типу, які мають відповідний

заземлювач і регулярно піддаються перевірці. Улаштування блискавкозахисту виконуються згідно з нормативними вимогами, зокрема
щодо опору заземлювача, який не повинен перевищувати 10 Ом.

## 6.3 Електробезпека

Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), за ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення термічного цеху віднесено до категорії особливо небезпечних. Такий статус обумовлений специфікою виробничого середовища, зокрема наявністю залізобетонної струмопровідної підлоги, а також високою ймовірністю одночасного дотику людини до заземлених металоконструкцій будівлі з одного боку та до металевих корпусів технологічного електрообладнання з іншого.

Електропостачання цеху термічної обробки здійснюється від трифазної чотирипровідної мережі змінною напругою 220/380 В із частотою 50 Гц та глухозаземленою нейтраллю трансформатора. Така конфігурація мережі є універсальною, оскільки дозволяє одночасно використовувати як лінійну напругу 380 В для живлення потужних силових споживачів, таких як нагрівальні елементи й електроприводи печей, так і фазну напругу 220 В для кіл керування, освітлення та допоміжних пристроїв.

З метою мінімізації ризиків та забезпечення надійного захисту персоналу від дії електричного струму в умовах термічного виробництва впроваджено комплекс взаємопов'язаних технічних заходів. Основним бар'єром є забезпечення повної недоступності струмопровідних частин, що досягається встановленням суцільних або сітчастих захисних огороджень у місцях можливого випадкового наближення чи дотику. Сама конструкція всього обраного обладнання має закрите та пилозахищене виконання, що запобігає потраплянню струмопровідного пилу всередину корпусів. Для контролю стану

діелектричних властивостей системи проводиться регулярний плановий моніторинг і вимірювання опору ізоляції кабельних ліній та обмоток.

Оскільки в цеху експлуатується мережа з глухозаземленою нейтраллю напругою до 1000 В, базовим методом захисту при замиканні на відкриті провідні частини є захисне занулення, яке доповнюється обов'язковим заземленням усіх металевих конструктивних елементів, що не несуть струму, але можуть опинитися під напругою в разі пошкодження робочої ізоляції. При цьому всі неструмопровідні деталі мають чітко видимі ззовні заземлювальні провідники, приєднані до загального контуру, опір якого згідно з нормами ПУЕ не перевищує 4 Ом. Для додаткового зниження напруги дотику в зоні обслуговування печей реалізовано вирівнювання потенціалів шляхом укладання металевих сіток у підлогу та облаштування спеціальних ізолювальних майданчиків.

Для захисту від однофазних замикань на корпус, коли струму короткого замикання може бути недостатньо для миттєвого спрацювання лінійних автоматів, у колах живлення застосовуються високочутливі пристрої захисного вимкнення (ПЗВ). Завдяки низькому порогу спрацювання в межах від 10 до 30 мА, ці пристрої ефективно реагують як на прямі струми замикання на землю, так і на незначні струми витоку, що виникають при деградації ізоляції. Висока швидкодія ПЗВ, яка становить усього 0,1–0,2 секунди, гарантує практично миттєве знеструмлення аварійної ділянки ще до моменту розвитку тяжких наслідків. Усі зазначені технічні рішення працюють у поєднанні з обов'язковим використанням сертифікованих індивідуальних засобів захисту, що забезпечує повну відповідність умов праці сучасним стандартам безпеки.

## 6.4 Захист від шуму і вібрації

Для робочої зони промислових майданчиків гранично допустимий рівень звукового тиску чітко регламентований нормативними документами і не повинен перевищувати 80–90 дБА залежно від важкості праці. Оскільки

практично все діюче технологічне обладнання термічного цеху є потенційним джерелом підвищеного шуму та вібрації, у проекті передбачено комплекс методів боротьби з цими шкідливими виробничими факторами безпосередньо у джерелі їх виникнення та на шляхах поширення.

З метою зниження механічного шуму впроваджено систему регулярного технічного обслуговування для контролю зносу деталей, що зазнають тертя, таких як шестерні, втулки та роликові опори. Найбільш гучні вузли та приводні механізми печей ізолюються за допомогою спеціальних звукопоглинальних кожухів. Для захисту безпосередньо на робочому місці оператора-терміста конструкція стін стаціонарного поста управління виконана із застосуванням звукоізолюючих сендвіч-панелей типу ЗІПС. Ці панелі мають багатошарову структуру, що комбінує щільні гіпсоволокнисті листи та легкі поглинальні шари з мінеральної вати або штапельного скловолокна, що дозволяє ефективно гасити звукові хвилі та знижувати загальний рівень шуму в кабіні до безпечних значень. Оглядові вікна поста оператора виконані у вигляді трикамерних герметичних склопакетів, які гарантують високі акустичні характеристики та водночас забезпечують безперервний візуальний контроль за ходом технологічного процесу.

Для локалізації та гасіння динамічних коливань, які викликають шкідливу вібрацію, кожен силовий апарат і агрегат встановлюється на індивідуальний залізобетонний фундамент, віброізольований від суміжних будівельних конструкцій цеху. Додатково застосовуються методи пасивної віброізоляції, що зменшують передачу механічних коливань від джерела до фундаменту та підлоги. Як ефективний засіб індивідуального захисту від за залишкової вібрації, що може передаватися працівникам через нижні кінцівки, обслуговуючий персонал забезпечується спеціальним взуттям на товстій амортизуючій гумовій підошві.

*Висновки.* На основі детального аналізу небезпечних та шкідливих виробничих аспектів процесу нагріву у камерній печі було обґрунтовано та розроблено комплексні технічні рішення для їх повного усунення або суттєвого

зменшення впливу на обслуговуючий персонал. У розділі належним чином розглянуто питання електробезпеки, захисту від теплового випромінювання, зниження рівнів шуму та вібрації, а також заходи пожежної безпеки, які повністю відповідають чинному законодавству України та вимогам профільних ДСТУ і ДБН.

Додаткові речення для розширення висновків: Впровадження запропонованих засобів автоматичного моніторингу та захисного блокування на базі контролера SIMATIC S7-300 дозволяє звести до мінімуму ймовірність виникнення аварійних ситуацій через людський фактор. Створення ізольованого поста керування із сучасними звуко- та теплоізоляційними властивостями забезпечує комфортні та безпечні умови праці для оператора-терміста протягом усієї робочої зміни. Спроектована система евакуаційних шляхів та первинних засобів пожежогасіння гарантує високу готовність підрозділу до локалізації можливих надзвичайних ситуацій. Таким чином, розроблений комплекс організаційно-технічних заходів робить проектований об'єкт повністю відповідним сучасним стандартам охорони праці та промислової санітарії.

# 7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

## 7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації

Автоматизовані системи управління є складними конструкціями, що поєднують технічні складові і людський фактор. У таких системах людина грає ключову роль у встановленні цілей управління, формулюванні критеріїв якості та у прийнятті рішень у ситуаціях, де потрібен творчий підхід.

Організаційне забезпечення автоматизованих систем управління охоплює різноманітні функції.

По-перше, це аналіз поточної системи управління для виявлення слабких місць та можливостей її поліпшення.

По-друге, це підготовка завдань для вирішення за допомогою комп'ютера, що включає в себе визначення параметрів та об'єктів управління.

І, нарешті, це розробка управлінських рішень для оптимізації ефективності управління, що передбачає аналіз даних, прийняття стратегічних та тактичних рішень з метою досягнення поставлених цілей.

Організаційне забезпечення реалізує наступні функції:

– аналіз існуючої системи управління організацією, де буде використовуватися ІС, та виявлення задач, що підлягають автоматизації;

– підготовку завдань до вирішення на комп'ютері, включаючи технічне завдання на проектування ІС та техніко-економічне обґрунтування її ефективності;

– розробку управлінських рішень по складу та структурі організації, методології рішення задач, спрямованих на підвищення ефективності системи управління.

Одним з важливих компонентом є організаційне забезпечення системи автоматизації. Для того щоб система працювала злагоджено потрібен персонал з 15 осіб.

На рисунку 7.1 наведена структурна схема організаційного забезпечення заводу.

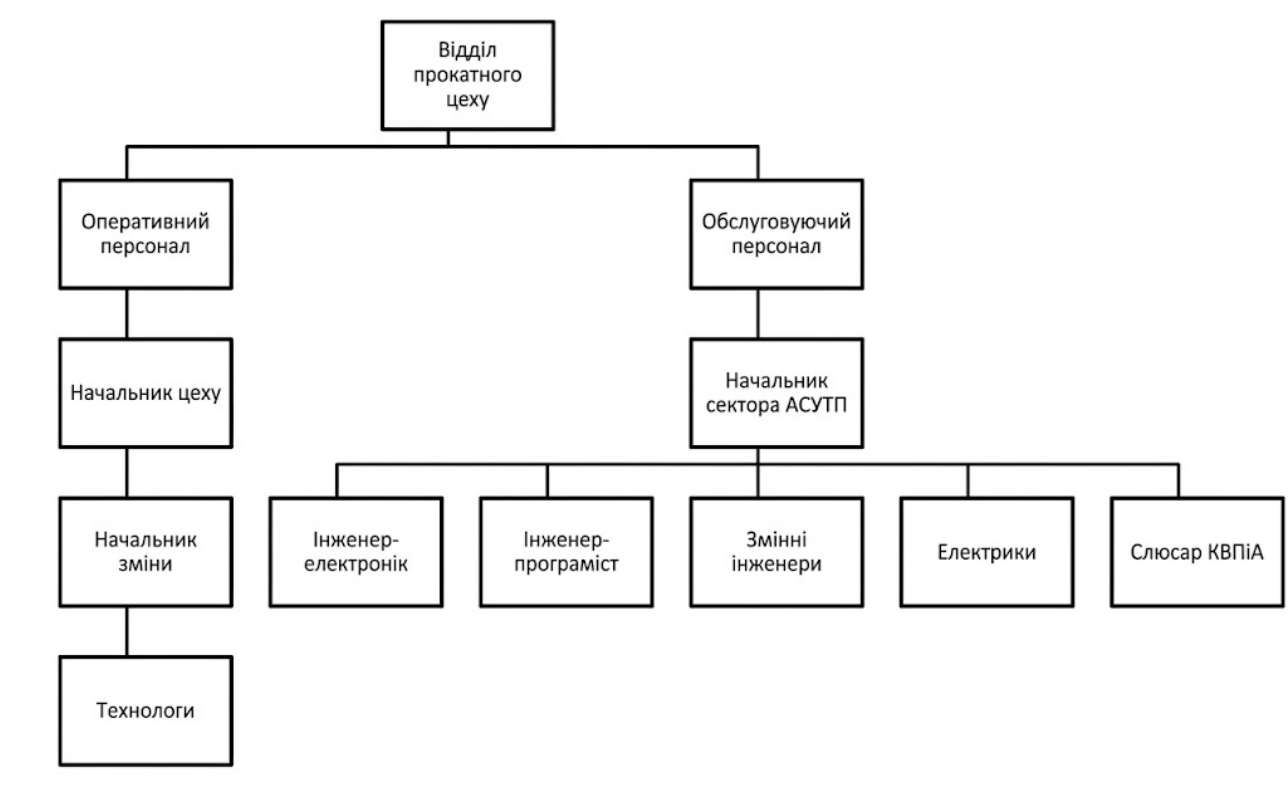



Рисунок 7.1 – Структурна схема організаційного забезпечення заводу

Персонал на виробництві повинен мати відповідну освіту або пройти спеціалізовану підготовку, щоб володіти необхідними знаннями та навичками для виконання своїх обов'язків. Це стосується всіх рівнів персоналу, включаючи оперативний, керівний та технічний склад.

Робота з мікропроцесорними контролерами є ключовою, тому персонал повинен мати відповідні навички і постійно вдосконалювати їх. Кількість і кваліфікація персоналу визначається такими факторами, як складність роботи з системами автоматизації, потреба у постійному контролі параметрів та необхідність дотримання робочого режиму через неперервність виробничого процесу.

## 7.2 Розрахунок техніко – економічних показників

### 7.2.1 Визначення капітальних вкладень

У зв'язку з розробкою і оптимізацію процесу теплового режиму камерної печі, позначеною як САР, проводиться заміна застарілого устаткування на сучасний програмно-технічний комплекс, який має значно більш високі технічні і експлуатаційні можливості, та впровадження нової інформаційно-модулюючої системи управління технологічними режимами.

До складу САР входять шафа управління (ШУ) на базі технічних засобів і ПЛК-управлінням, вартістю 75000 гривень за одиницю.

Сума капіталовкладень ($К_{ов}$) на устаткування без урахування ПДВ включає вартість придбаного устаткування ($В_{уст}$) та витрати на транспортні ($В_{тр}$ = 6%) і заготівельно-складські ($В_{зс}$ = 5%) операції у визначених відсотках від $В_{уст}$.

$$К_{об} = В_{уст} + В_{тр} + В_{зс}, \quad (7.1)$$

де $В_{уст} = В_{ШУ}$

$$В_{ШУ} = 750000 \cdot 5 = 3750000, \text{ грн.};$$

$$К_{ов} = 3750000*(1+0,06+0,05) = 4162500, \text{ грн.};$$

Додаткові капіталовкладення $К_{САР}$ на модернізацію САР складаються з таких витрат:

$$К_{САР} = К_{дм} + К_{об} + К_{м}, \quad (7.2)$$

де $К_{дм}$ – витрати на демонтаж існуючої апаратури ($К_{дм} = 0,05 \cdot К_{ов}$, грн.);

$К_{м}$ – витрати на монтаж нового устаткування ($К_{м} = 0,4 \cdot К_{ов}$, грн.).

$$К_{дм} = 0,05 \cdot 4162500 = 208125, \text{ грн.}$$

$$К_{м} = 0,4 \cdot 4162500 = 1665000, \text{ грн.}$$

$$К_{САР} = 208125 + 166500 + 208125 = 582750, грн.$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Визначення капітальних вкладень

| Визначення капітальних вкладень | |
|---|---|
| Витрати на монтаж нового устаткування $К_м$ | 1665000 грн. |
| Сума капіталовкладень $К_{ов}$ | 4162500 грн. |
| Витрати на демонтаж існуючої апаратури $К_{дм}$ | 208125 грн. |
| Вартість придбаного устаткування $В_{уст}$ | 3750000 грн. |
| Додаткові капіталовкладення модернізацію САР $К_{САР}$ | 582750 грн. |

7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати ($В_{САР}$), пов'язані з обслуговуванням нової САР складаються з річних витрат на:

– зарплату персоналу ($В_{зп}$);

– амортизацію нового обладнання ($В_а$);

– поточний ремонт нового обладнання ($В_р$);

– електричну енергію для живлення нового обладнання ($В_{ел}$);

– інші експлуатаційні витрати ($В_і$).

$$В_{САР} = В_{зп} + В_а + В_р + В_{ел} + В_{ін}. \quad (7.3)$$

7.2.3 Річні витрати на ЗП

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$В_{зп} = n \cdot ФОП, \quad (7.4)$$

де n – чисельність обслуговуючого персоналу (n = 25 роб.);

ФОП – середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими

нарахуваннями на соціальні збори.

Розрахуємо сердньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори:

$$ФОП = Ф_{зп} \cdot К_{ін}, \quad (7.5)$$

де $К_{ін} = 1,1$

$Ф_{зп}$ – щорічна витрата на зарплату робітника з урахуванням нарахувань на ФОП, грн.

$$Ф_{зп} = 12 \cdot ЗП \cdot Н_{зп}, \quad (7.6)$$

де ЗП – середня місячна зарплата робітника (ЗП = 6500 грн.);

$Н_{зп}$ – нарахування на ФОП складають 20%.

Тоді:

$$Ф_{зп} = 12 \cdot 6500 \cdot (1+0,2) = 93600, \text{ грн.}$$

$$ФОП = 93600 \cdot 1,1 = 102960, \text{ грн.}$$

$$В_{зп} = 25 \cdot 102960 = 2574000, \text{ грн.}$$

7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування ($В_а$) на реновацію придбаного устаткування на соціальні збори підприємства визначаються за виразом:

$$В_а = К_{САР} * Н_А /100, \quad (7.7)$$

де $Н_А$ – річна норма амортизації на реновацію ($Н_А = 24\%$);

$$В_а = 582750 \cdot 24/100 = 139860, \text{ грн.}$$

7.2.5 Річні витрати на ремонт

Ці витрати обчислюють через коефіцієнт $К_р$ = 3% від загальної суми капіталовкладень.

$$В_р = К_р \cdot К_{САР}, грн. \quad (7.8)$$

$$В_р = 0,03 \cdot 139860 = 4196, грн.$$

7.2.6 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САР визначаються так:

$$В_{ел} = Р_{ел} \cdot Т_ф \cdot К_з \cdot СВ^{од}_{ел}, грн. \quad (7.9)$$

де $Р_{ел}$ – встановлена електрична потужність САР ($Р_{ел}$ = 3,5 кВт);

$Т_ф$ – фактичний термін роботи САР за рік ($Т_ф$ = 7800 год.);

$К_з$ – коефіцієнт для врахування реального споживання ($К_з$ = 0,8);

$СВ^{од}_{ел}$ – собівартість виробленого 1КВт · год ($СВ^{од}_{ел}$ = 90 коп.)

$$В_{ел} = 3,5 \cdot 7800 \cdot 0,8 \cdot 0,90 = 19656 грн.$$

7.2.7 Інші витрати

Інші витрати визначаються так:

$$В_{ін} = 0,25 \cdot (В_а + В_{зп} + В_р) \quad (7.10)$$

$$В_{ін} = 0,25 \cdot (139860 + 2574000 + 4196) = 679514 грн.$$

Підставляючи отримані значення маємо загальну суму річних експлуатаційних витрат ($В_{САР}$, грн.):

$$В_{САР} = 2574000 + 139860 + 4196 + 19656 + 679514 = 3417226 грн.$$

Дані по розрахунку зведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок річних експлуатаційних витрат

| Розрахунок річних експлуатаційних витрат | |
|---|---|
| Зарплата персонала $В_{зп}$ | 2574000 грн. |
| Амортизація нового обладнання $В_а$ | 139860 грн. |
| Поточний ремонт нового обладнання $В_р$ | 4196 грн. |
| Електричну енергію для живлення нового обладнання $В_{ел}$ | 19656 грн. |
| Інші експлуатаційні витрати $В_{ін}$ | 679514 грн. |
| Експлуатаційні витрати $В_{САР}$ | 3417226 грн. |

7.2.8 Валова річна економія витрат

Валова річна економія витрат. Залежно від сутності інновації охоплює економію заробітної плати, економію матеріалів, економію умовно-постійних витрат.

а) економія заробітної плати – наявна за використання нового способу виконання робіт, який потребує менше часу, ніж старий:

$$E_{з.п.} = (р_1 - р_2) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot В_2, \qquad (7.11)$$

де $р_1$ і $р_2$ – розцінки на операцію відповідно до і після впровадження інновації;

Д і Н – відповідно відсоток додаткової заробітної плати і нарахувань на заробітну плату;

$В_2$ – річний обсяг випуску продукції після впровадження інновації.

$$E_{з.п.} = (25 - 15) \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right) \cdot 375600 = 5868750 \text{ грн.}$$

б) економія витрат матеріалів – розраховується у разі застосування дешевшого замінника (зміна ціни матеріалу) або нового способу оброблення матеріалу, завдяки чому зменшуються його питомі витрати:

$$Е_м = (Н_1 \cdot Ц_1 - Н_2 \cdot Ц_2) \cdot В_2, \qquad (7.12)$$

де $Н_1$ і $Н_2$ – норми витрат матеріалів на одиницю продукції відповідно до і після впровадження інновації;

$Ц_1$ і $Ц_2$ – ціна одиниці матеріалу.

$$Е_м = (3{,}75 \cdot 25 - 3{,}50 \cdot 25) \cdot 375600 = 2347500 \text{ грн.}$$

Тоді умовно-річна економія витрат дорівнює:

$$\Delta С = Е_{з.п.} + Е_м - В_{САР}, \qquad (7.13)$$

$$\Delta С = 5868750 + 2347500 - 3417226 = 4799024, \text{грн.}$$

Перевищення прогнозної економії над додатковими витратами свідчить про доцільність реалізації запропонованого інноваційного рішення.

7.2.9 Фактична економія витрат

Розраховується шляхом приведення умовно – річної економії до періоду використання інновації в даному році за формулою:

$$E_ф = \frac{\Delta С \cdot n}{12} \qquad (7.14)$$

де n – кількість місяців до кінця року з моменту впровадження інновації.

$$E_ф = \frac{4799024 \cdot 6}{12} = 2399512 \quad \text{грн.}$$

7.2.10 Річний економічний ефект

Визначається приведенням капітальних витрат до поточних протягом умовного року за формулою:

$$Е_{р.ек} = \Delta С - Е_н \cdot К_{САР}, \quad (7.15)$$

де $К_{САР}$ – додаткові капіталовкладення, пов'язані з реалізацією інновацій;

$Е_н$ – показник нормативної економічної ефективності, величина якого залежить від прийнятного для підприємства рівня віддачі від капіталовкладень (як правило, для устаткування достатнім є рівень 15%, тобто $Е_н = 0,7$).

$$Е_{р.ек} = 4799024 - 0,15 \cdot 582750 = 4711612 \text{ грн.}$$

Термін окупності ($Т_о$) через суму капіталовкладень ($К_{ов}$) визначається:

$$Т_о = К_{ов} *(1+\alpha_а + \alpha_р + \alpha_{зсв}) /Е_{р.ек}, \text{ років} \quad (7.16)$$

де $\alpha_а$ – додаткові нарахування на амортизацію ($\alpha_а = 0,14$);

$\alpha_р$ – додаткові нарахування на поточний ремонт ($\alpha_р = 0,01$);

$\alpha_{зсв}$ – доля загальностанційних витрат, визначена додатковими капіталовкладеннями ($\alpha_{зсв} = 0,20$).

$$Т_о = 4162500 \cdot (1+0,14 + 0,01+0,20)/4711612 = 1,2 \text{ років.}$$

*Висновки.* В результаті проведеного розрахунку економічних показників були визначені капітальні витрати на будівництво, щорічні витрати, чистий приведений прибуток, внутрішня норма прибутку, індекс доходності, термін окупності проекту, рентабельність і так далі.

Термін окупності проекту 1,2 року, що свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін.

# ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної роботи здійснено комплексне проектування та техніко-економічне обґрунтування системи автоматизації камерної печі періодичної дії, орієнтованої на прецизійне регулювання температурного та гідравлічного режимів в умовах термічного цеху.

У межах аналітичної частини роботи детально формалізовано конструктивні й теплотехнічні характеристики камерної печі, а також повноцінно описано фізико-хімічну сутність технологічного процесу нагріву й витримки масивних металевих злитків під подальшу обробку тиском. Проведено критичний аналіз існуючого рівня автоматизації діючої виробничої ділянки, що дозволило виявити ключові технічні недоліки, моральний знос КВПіА, незадовільний стан контурів протиаварійного захисту та обґрунтувати безальтернативну необхідність проведення глибокої модернізації.

На основі отриманих висновків розроблено функціональну схему автоматизації камерної печі із впровадженням сучасних локальних контурів регулювання. Виконано інженерні розрахунки та вибір оптимальних параметрів регулюючого органу і виконавчого механізму (шибера на димоході та запірно-регулюючої арматури), що гарантує стабільність гідравлічного режиму в камері. Здійснено ретельний підбір, специфікацію та технічне обґрунтування комплексу засобів вимірювальної техніки та мікропроцесорного обладнання для нижнього й підсистемного рівнів ієрархічної структури АСУ ТП. Для розробки прикладного програмного забезпечення ПЛК та створення надійних алгоритмів прямого цифрового керування використано інженерне програмне середовище WinPLC7, яке підтримує стандартизовані мови програмування МЕК та володіє високим інструментальним потенціалом.

Окрему увагу в роботі приділено питанням промислової безпеки: синтезовано логічний алгоритм технологічної сигналізації та протиаварійного захисту основного обладнання, який забезпечує раннє виявлення позаштатних ситуацій – включаючи неповне закриття заслінок або згасання пальників – із

подальшим безпечним послідовним відсіканням енергоносіїв. На базі цього алгоритму написано відлагоджений програмний код, що гарантує живучість системи та захист теплотехнічного агрегату. Технічна реалізація проекту повністю доведена до рівня робочої документації, в межах якої розроблені принципова електрична схема керування, монтажно-комутаційна схема, схема зовнішніх проводок (з’єднань), а також виконано конструкторське проектування та компонування підлогової приладової шафи КВПіА.

У розділі охорони праці та навколишнього середовища проведено ідентифікацію небезпечних і шкідливих виробничих факторів, властивих умовам високотемпературних термічних цехів (високий рівень шумів, вібрацій, теплового випромінювання та вибухонебезпечності), та запропоновано комплекс інженерно-технічних заходів щодо їх повної нейтралізації згідно з чинними санітарними нормами. Розрахунок надійності запропонованого програмно-технічного комплексу дозволив визначити середній час напрацювання на відмову та встановити розрахунковий гарантійний термін безперебійної роботи САР, який становить 1,4 року при загальній довговічності системи до 8 років.

Розрахунок техніко-економічної ефективності проекту підтвердив високу доцільність інвестицій. Загальні капітальні витрати на придбання обладнання, монтажні та пусконалагоджувальні роботи становлять 711612 грн. Завдяки суттєвому зниженню питомих витрат природного газу або електроенергії, зменшенню окалиноутворення, підвищенню виходу придатного металу та скороченню часу термічного циклу, термін окупності модернізованої системи автоматизації складає близько 1,2 року, що свідчить про високу комерційну привабливість розробки для металургійного підприємства.

# ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.

2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII Голос України. 2017. 27 верес. (№ 178-179). С. 10–22.

3. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. Вид. офіц. Київ. 1998. 45 с. (Інформація та документація).

4. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с.

5. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. К. : Міненерговугілля України, 2021. 617 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с. (Інформація та документація).

7. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Чинний від 2002-01-01]. Київ : Мінпраці України, 2001. 45 с. (Інформація та документація).

8. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2014-12-30]. Київ : МВС України, 2014. 91 с. (Інформація та документація).

9. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [Чинний з 1997-10-06]. Київ : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Інформація та документація).

10. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [Чинний з 1998-01-09]. Київ : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Інформація та документація).

11. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроям. [Чинний від 2018-05-18]. Київ : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. (Інформація та документація).

12. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний з 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Інформація та документація).

13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. Київ : МОЗ України, 1999. 106 с. (Інформація та документація).

14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [Чинний з 01.01.2016]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Інформація та документація).

17. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Київ : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Інформація та документація).

18. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [Чинний від 2015-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Інформація та документація).

19. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [Чинний від 2018-02-23]. Київ : МВС України, 2018. 23 с. (Інформація та документація).

20. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем : навч. посібник. Черкаси : ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

21. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: справочник/ Под ред. Тимофеева Б.Б. Киев : Техника, 1983. 351 с.

22. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: http://wikipage.com.ua/1x400f.html (дата звернення: 13.02.2024).

23. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.11.2022).

24. Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: навч. посіб. : Суми, СумДУ, 2008. 212 с.

25. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с.

26. Збірник наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука – 2020» : у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя : ЗНУ, 2020. Т.5. 280 с.

27. Зінченко Ю. М., Барішенко О. М. Теорія автоматичного управління : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 35 с.

28. Ніколаєнко А. М. Технічні засоби автоматизації. Цифрові регулятори : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 84 с.

29. Манько О. О. Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології» для студентів заочної форми навчання. Рівне, 2012. 40 с.

30. Манько О. О., Кутя В. М. Методичні вказівки до виконання розрахунково – графічної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології». Рівне, 2010. 31 с.

31. Металургійна теплотехніка : збірник наукових праць Національної металургійної академії України. Дніпро : «ПП Грек О.С.», 2020. 364 с.

32. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Розрахунок ректифікаційної установки періодичної дії. Проектування насадкової колони.» з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів III–IV курсів; уклад. В. М. Задорожній, В. І. Зражевський, С. О. Опарін. Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2010. 38 с.

33. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності 151 «Автоматизація так комп’ютерно-інтегровані технології» / ред. А. М. Ніколаєнко. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 34 с.

34. Мочалін В. Н., Кочнев Н. В. Моделювання та дослідження систем автотичних управління з використанням ПЕОМ : нав. посіб. Череповець : ЧГІІ, 2005. 178 с.

35. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В., Зеркалов Д. В., Сабарно Р. В., Полукаров О. І., Коз’яков В. С., Мітюк Л. О. Основи охорони праці : підручник. 2-ге вид. Київ: Основа, 2006. 448 с.

36. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР : метод. вказ. до практ. зан. / уклад. В.Г. Трегуб. Київ : НУХТ, 2008. 67 с.

37. Ніколаєнко А.М. Програмування ПЛК у Softlogic-системі. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 203с.

38. Солодовников В.В., Коньков В.Г. Мікропроцесорні автоматичні системи регулювання. Київ: Вища школа, 2021. 255 с.

39. Полянський Г.О. Методичні вказання к розрахунку надійності систем автоматизованого керування. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 24с.

40. Пейсхахов А.Н., Кучер А.М. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» : учебник. Изд-во Михайлова., 2004. 407 с

41. Проектування систем керування : конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами»; уклад. М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленький, Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 279 с.

42. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html (дата звернення: 15.02.2026).

43. Рішан О. Й. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Курс лекцій для студентів спеціальностей: 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» ден. та заочн. форм. навчан. Київ : НУХТ, 2007. 162 с.

44. Свинолобов Н.П. Печи черной металлургии : Учебное пособие для вузов. Днепропетровск : Пороги, 2004. 54 с.

45. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації : навч. посіб. Київ : НМКВО, 2015. 80 с.

46. Тимофеев Б. Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. *Справочник*/ ред. Б. Б. Тимофеева. Киев : Техника, 1983. С. 87 – 88.

47. Емпіріко-теотетичні методи дослідження систем управління. URL: http://examen.od.ua/upravlen/page117.html (дата звернення 22.04.26).

48. Інформаційні технології в металургії. URL: it.edu.ua/news/16-05- 2022-informatsijni-tekhnologiji-v-metalurgiji-ta-mashinobuduvanni-itmm-2022 (дата звернення 22.04.26).

49. Металургійні підприємства України. URL: http://www.steeltorg.com.ua/mp/mp_27.php (дата звернення 20.02.26).

50. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.03.2024).

51. Електрична піч опору. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії: URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрична_піч_опору (дата звернення 13.05.2026).