

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 (проект)

перший (бакалавр)
(рівень вищої освіти)

на тему Проект автоматизації камерної печі в умовах електromеталургійного заводу «Дніпроспецсталь» ім. А.М. Кузьміна. Система автоматичного регулювання температурного режиму

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1510
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)

Бондарець К.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., Пазюк М.Ю.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент директор ТОВ «Електрофехмаш»
Куріленко І.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код та назва)
 Спеціалізація _____
(код та назва)

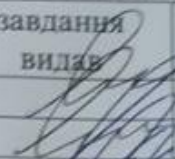

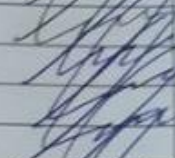
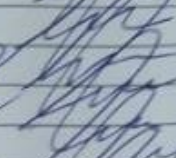
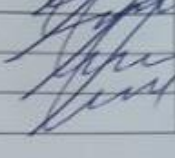
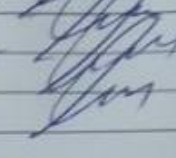
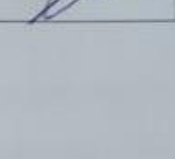
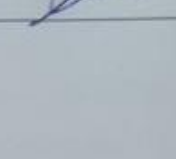
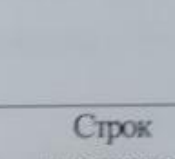
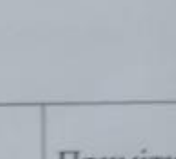
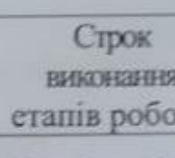
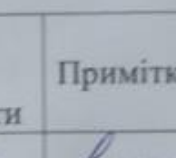
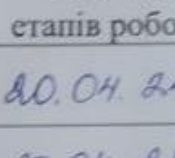
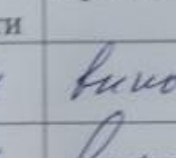
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри _____
 « 17 » _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ
Бондарець Кирилу Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проекту) Проект автоматизації камерної печі в умовах електрометалургійного заводу «Дніпроспецсталь» ім. А.М. Кузьміна. Система автоматичного регулювання температурного режиму
 керівник роботи Пазюк Михайло Юрійович, докт.техн. наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом ЗНУ від «26» грудня 2023 року № 2215-с
- Строк подання студентом роботи «14» червня 2024 р.
- Вихідні дані до роботи: технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз існуючого рівня автоматизації, розробка технічного завдання, проектування систем автоматизації
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) функціональна схема автоматизації, принципова електрична схема, монтажньо-комутаційна схема, загальний вигляд щита, схема зовнішніх з'єднань

6. Консультанти розділів роботи

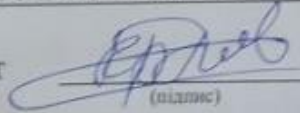
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
2	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
3	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
4	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
5	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
6	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
7	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		

1. Дата видачі завдання 15.04.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення особливостей технологічного процесу	20.04.24	Викон.
2	Аналіз стану об'єкта та існуючих систем автоматизації	27.04.24	Викон.
3	Розробка технічного завдання	04.05.24	Викон.
4	Моделювання САР	10.05.24	Викон.
5	Підбір технічних засобів автоматизації для систем керування	20.05.24	Викон.
6	Визначення і опис небезпечних і шкідливих факторів на виробництві	27.05.24	Викон.
7	Розрахунок техніко-економічних показників проєкту і рекомендацій з охорони праці і навколишнього середовища	02.06.24	Викон.
8	Проходження нормконтролю	10.06.24	Викон.
9	Підготовка доповіді	15.06.24	Викон.

Студент



(підпис)

К.В. Бондарець

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту)



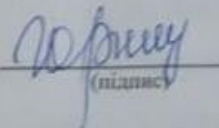
(підпис)

М.Ю. Пазюк

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер



(підпис)

І. А. Овчинникова

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

На пояснювальну записку кваліфікаційної роботи бакалавра на тему: «Проект автоматизації камерної печі в умовах електromеталургійного заводу «Дніпроспецсталь» ім. А.М. Кузьміна. Система автоматичного регулювання температурного режиму», яка включає 89 стор. машинописного тексту, 30 рис., 11 табл., 53 найменування переліку використаних джерел.

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.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, КАМЕРНА ПІЧ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ,
АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПРОЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОНТРОЛЕР, ЩИТ,
ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА, МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП	11
1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	13
1.1 Коротка характеристика підприємства	13
1.2 Технологічний агрегат і алгоритм його роботи	14
1.3 Формування задачі дослідження	19
1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків.....	20
1.5 Недоліки існуючої системи управління і шляхи вдосконалення роботи термічних печей.....	21
2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	22
2.1 Вимоги до структури та функціонування системи.....	22
2.2 Вимоги до чисельності та кваліфікації персоналу	23
2.2.1 Вимоги до надійності.....	24
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	28
2.4.1 Вимоги до інформаційного забезпечення.....	28
2.4.2 Вимоги до лінгвістичного забезпечення.....	29
2.4.3 Вимога до програмного забезпечення	29
2.4.4 Вимоги до технічного забезпечення	30
2.4.5 Вимоги до метрологічного забезпечення	30
2.4.6 Вимоги до організаційного забезпечення.....	31
3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	32

3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА	32
3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру	33
3.3 Вибір (розробка) математичної моделі системи управління.....	34
3.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА	42
3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючі пристрої, вторинні прилади	42
3.4.2 Промислові контролери.....	46
3.4.3 Вибір виконавчих пристроїв	54
3.4.4 Вибір пульта оператора	55
4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ.....	57
4.1 Розробка структурної схеми САР.....	57
4.2 Розробка схеми електричної принципової	60
4.3 Принципова електрична схема живлення.....	60
4.4 Монтажна комутаційна схема щита КВПіА.....	61
4.5 Зовнішній вид шафи та вид внутрішній панелі	61
5 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	64
5.1 Розрахунок параметрів наближеним методом	64
5.2 Повний розрахунок параметрів надійності	66
6 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	71
6.1. Небезпечні та шкідливі фактори виробництва	71
6.2 Організація пожежної безпеки.....	72
6.3 Електробезпека.....	74
7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	77
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації	77
7.2 Розрахунок техніко – економічних показників.....	79
7.2.1 Визначення капітальних вкладень	79
7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат.....	80
7.2.3 Річні витрати на ЗП.....	80
7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань.....	81
7.2.5 Річні витрати на ремонт.....	82

	10
7.2.6 Витрати електроенергії на живлення	82
7.2.7 Інші витрати.....	82
7.2.8 Валова річна економія витрат.....	83
7.2.9 Фактична економія витрат	84
7.2.10 Річний економічний ефект	85
ВИСНОВКИ.....	87
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	88

ВСТУП

Для нагрівання деталей дрібних та середніх розмірів у термічних цехах індивідуального і серійного виробництв широко застосовують камерні печі періодичної дії. Вони прості за конструкцією, універсальні за призначенням і можуть працювати на рідкому та газоподібному паливі або на електричній енергії.

Отримання готового продукту в металургії або машинобудуванні є дуже тривалим процесом, який обмежується великою кількістю операцій і перетворень для надання необхідної форми виробу. У будь-якому ланцюжку отримання готової металевої продукції завжди є операція нагріву. При отриманні невеликих виробів операцію нагріву можна виконати в дуже стислі строки, а при нагріванні виробів з великими розмірами нагрів може здійснюватися протягом кількох діб. У важкому машинобудуванні під час обробки заготовки тиском нагрів здійснюється кілька разів. У таких умовах проблемою є низька питома продуктивність нагрівальних печей, що змушує або створювати великий парк печей, або інтенсифікувати теплообмін.

Управління тепловим режимом камерної печі здійснюється з метою забезпечення підтримки необхідної температури та рівномірного нагріву садки, економічного використання джерела тепла та безпечної роботи обладнання для нагріву.

У камерних печах регулюють наступні основні параметри:

- температуру робочого простору печі;
- тиск у робочому просторі печі;
- співвідношення паливо-повітря.

Крім того, на всіх печах зазвичай передбачають контроль таких важливих параметрів теплового режиму, як температура димових газів на виході з печі та повітря (у разі його нагріву в рекуператорах), тиск газу та

повітря у горілках і загальному колекторі, витрати палива та повітря (останній вимірюють у разі використання регулятора співвідношення).

Етапом удосконалення виробничих процесів у термічних камерних печах є їхня автоматизація. За мету створення САР температурного режиму камерної печі поставлено підвищення надійності та якості роботи як окремої печі, так і їх ділянки в цілому, яка повинна підтримувати значення необхідних технологічних параметрів в допустимих межах, тим самим забезпечуючи якісну, ефективну та економічну роботу агрегатів.

Автоматизація виробництва має багато переваг, що дозволяє:

- позбутися помилок персоналу при виконанні операцій в заданій послідовності;
- забезпечити необхідний рівень безпеки та збільшити точність підтримки контрольованих параметрів;
- забезпечити економію витратних матеріалів та витрати на обслуговування системи;

Термічні камерні печі є найбільш підходящими для обробки великих злитків. Це пояснюється тим, що для швидкого і якісного нагріву великих і важких злитків потрібно гріти їх з усіх сторін, розташовуючи вертикально. Запровадження автоматизації термічного режиму камерної печі дозволяє підвищити ефективність всієї системи в цілому.

1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Коротка характеристика підприємства

Приватне акціонерне товариство «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» імені А. М. Кузьміна» (ПрАТ «Дніпроспецсталь») – єдине підприємство в Україні, яке спеціалізується на випуску спецсталей: сортового прокату, сталі, що калібрується, а також підшипникової, безнікелевої, хромонікелевої.

Основним видом діяльності ПрАТ «Дніпроспецсталь» є розробка, виробництво та реалізація металопродукції з нержавіючих, інструментальних, швидкорізальних, порошкових, підшипникових, легованих і конструкційних марок сталі. Продукція підприємства використовується при виготовленні вузлів і деталей машин, інструментів для обробки металів і сплавів, труб, а також підшипників.

Підприємство є потужним експортером металургійної продукції та виробляє високоякісні металургійні вироби широкої номенклатури. На сьогоднішній день до роботи нагрівальних і термічних камерних печей підприємства висувають вимоги, які включають в себе:

- забезпечення заданої продуктивності;
- забезпечення якісного нагріву, тобто задоволення вимог по структурі й механічними властивостями металу, а також за ступенем окислення утворення і зневуглецювання;
- ефективне використання палива, характеристикою якого служить питома витрата енергії на одну тону продукції;
- відповідність екологічним нормам по гранично допустимому викиду в атмосферу шкідливих газів: CO, CO₂, NO_x, SO₂, C₂₀H₁₂;
- механізація праці при експлуатації і ремонті печі та автоматизація її теплового режиму. На перший план при конструюванні печей висувається

вимога ефективного використання палива та інших ресурсів, також рівномірності прогріву металу [12].

До основних способів економії енергії у промислових печах слід віднести:

- зниження витрат теплоти з робочого простору печі через футерівку і вікна в навколишнє середовище, а також на розігрів футерівки до робочої температури;

- підвищення коефіцієнта використання теплоти палива (КВП) в робочому просторі печі [13].

При цьому залишаються не менш актуальні питання вдосконалення управління температурними полями в печах, рухом гріючих газів та оптимізація управління теплової роботи.

Таку практику було випробувано на схожому підприємстві «Маріупольському ремонтно-механічному заводі» в 2013 р. Це крок дозволив підприємству скоротити витрати природного газу на 35% , а рівномірність прогріву металевих заготовок підняти з 75% майже до 93%. Також таку практику ввели на таких підприємствах: металургійний комбінат «Азовсталь» та «Макійовському металургійному заводі».

1.2 Технологічний агрегат і алгоритм його роботи

Камерна термічна піч – це спеціальна піч, призначена для нагрівання металу з використанням палива і оптимізації продуктивності процесу. Основне завдання такої печі – забезпечити ефективне нагрівання металу, зберігаючи при цьому максимальну кількість тепла.

Ці печі мають широке застосування завдяки їхній універсальності: вони можуть працювати в різних режимах та здійснювати різні види термообробки для різних форм і розмірів продукції.

Особливість камерних термічних печей полягає в тому, що завантаження та вивантаження металу здійснюється за допомогою механічних пристроїв, розташованих поза печею. Це дозволяє уникнути втрати тепла, яка відбувається у печах з викотним подом при завантаженні металу. Однак процес завантаження металу в таку піч складніший через зовнішню механізацію. Зазвичай для завантаження великих печей використовують потужну напільну завантажувальну машину, яка переміщується по рейках вздовж торців ряду печей і обслуговує цей процес [17].

Камерна універсальна піч (рисунок 1.1) призначена для термічної обробки в контрольованій атмосфері. Піч складається із трьох основних частин: камери нагрівання, гартівного бака й завантажувального тамбура.

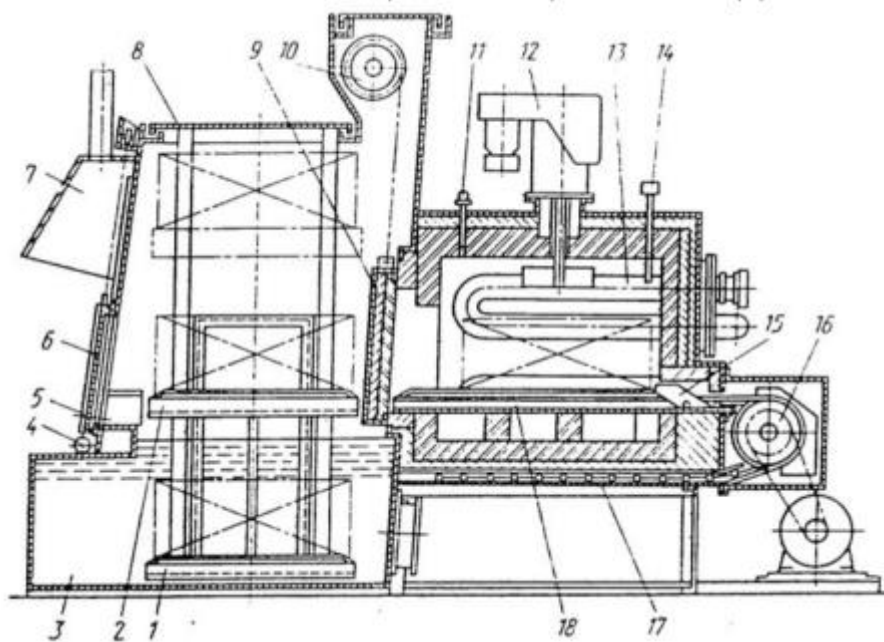


Рисунок 1.1 – Камерна універсальна піч [26]

Камера нагрівання має герметичний сталевий каркас, вогнетривку кладку, заслінку завантажувального вікна, механізм завантаження й вивантаження деталей, вентилятор для перемішування атмосфери, що оточує деталі, що нагріваються, і систему обігріву мови. Подом печі

служать рейки 18, відлиті із хромонікелевої сталі. Заслінка 9 завантажувального вікна зварена з вуглецевої сталі й футерована дистенсилиманітовим вогнетривом, підвішена на двох ланцюгах що піднімається нагору при обертанні зірочки 10, насадженої на вал. Привід механізму для завантаження в піч піддона з деталями розміщений на задній стінці печі. При обертанні зірочки 16 переміщається ланцюг, на одному кінці якої закріплено захоплення-штовхальник 15. Довжина ланцюга, виготовленої із хромонікелевої сталі, обрана такий, що захоплення-штовхальника може виходити при піднятій заслінці з камери нагрівання в завантажувальний тамбур. Зворотна галузі ланцюга розташована під камерою нагрівання в герметичному корпусі 17. Вентилятор 12 переміщує атмосферу печі й вирівнює температуру в камері нагрівання. Інтенсивна циркуляція газів забезпечує швидке нагрівання деталей, що перебувають у середній частині піддона, що позитивно позначається на рівномірності прогріву садки по всьому її обсягу. Це має особливе значення при цементації. Система нагрівання печі складається із чотирьох зигзагоподібних радіаційних труб 13, розташованих на бічних стінах камери нагрівання. Температура в камері нагрівання регулюється автоматично залежно від температури в робочому просторі печі термopарою, що заміряться, 14. Гартівний бак 3 розташований безпосередньо перед камерою нагрівання й має піднімальний стіл із двома платформами. При верхньому положенні стола платформа 1 перебуває на рівні поду печі. При нижньому положенні стола верхня платформа 2 перебуває на рівні поду, а нижня платформа 1 у цей момент занурена в гартівну рідину.

Завантажувальний тамбур печі є шлюзом, що відокремлює камеру нагрівання від цехового простору в момент завантаження й вивантаження деталей. Корпус тамбура герметичний і приєднаний до гартівного бака й до камери нагрівання. Завантажувальне вікно тамбура перебуває перед завантажувальним вікном камери нагрівання й перекрите заслінкою 6 з листової сталі, що піднімається пневматичним циліндром. Заслінка 6

тамбура має отвір 5, через яке з печі виходить захисний газ. При виході з печі захисний газ з'єднується з повітрям і згоряє, запалюючись від постійно палаючого запальника. Продукти горіння віддаляються через зонт 7, з'єднаний з вентиляційною системою. У випадку хлопка в печі кришка 8 припіднімається над тамбуром і тиск у печі знижується. Завантажувальне вікно тамбура має газову завісу. При піднятті заслінки 6 тамбура з колектора 4, розташованого нижче вікна, починає виходити газоповітряна суміш. Запалюючись від постійно гарячого запальника, суміш згоряє й утворює при цьому смолоскип, що перекриває вікно тамбура. Газова завіса забезпечує надійне згоряння вихідного з печі газу. Послідовність роботи печі наступна. Піддон з деталями встановлюють на завантажувальний столик. Піднімається заслінка тамбура, загоряється газова завіса й піддон з деталями через завісу заштовхується на платформу піднімального стола гартівного бака. Заслінка тамбура опускається, смолоскип газової завіси гасне. Для відновлення складу атмосфери в тамбурі й печі, робиться витримка 5...10 хв., після чого піднімається заслінка камери нагрівання, включається привід механізму завантаження піддона в піч і ланцюг починає просуватися через піч у тамбур. Дійшовши до піддона, ланцюг зупиняється, а захоплювач-штовхальник ланцюга з'єднується з піддоном. При русі ланцюга у зворотному напрямку піддон переміщається з тамбура в камеру нагрівання. Повернувшись у вихідне положення, ланцюг зупиняється, заслінка камери нагрівання опускається. Починається період нагрівання деталей. При цементації, після прогріву садки, у камеру нагрівання подається газ-карбюратор – починається процес насичення деталей вуглецем. Після відповідної витримки в камері нагрівання піддон передається в тамбур. Залежно від виду термічної обробки деталі охолоджуються або в гартівному баку, або в газовому середовищі тамбура.

Об'єкт автоматизації є камерною пічю з викочуванням подом. Камерна піч використовується для загартування деталей із вуглецевої сталі. Маса деталі складає 300 кг. Під час гарту деталь нагрівається до

температури 1050 °С, після чого витримується протягом 300 секунд. Камерна піч є трифазною електричною піччю потужністю 60 кВт. Завдяки використанню чотиристороннього обігріву (бічні стіни, двері та під) температура в камері печі розподіляється рівномірно і може бути виміряна одним датчиком температури.

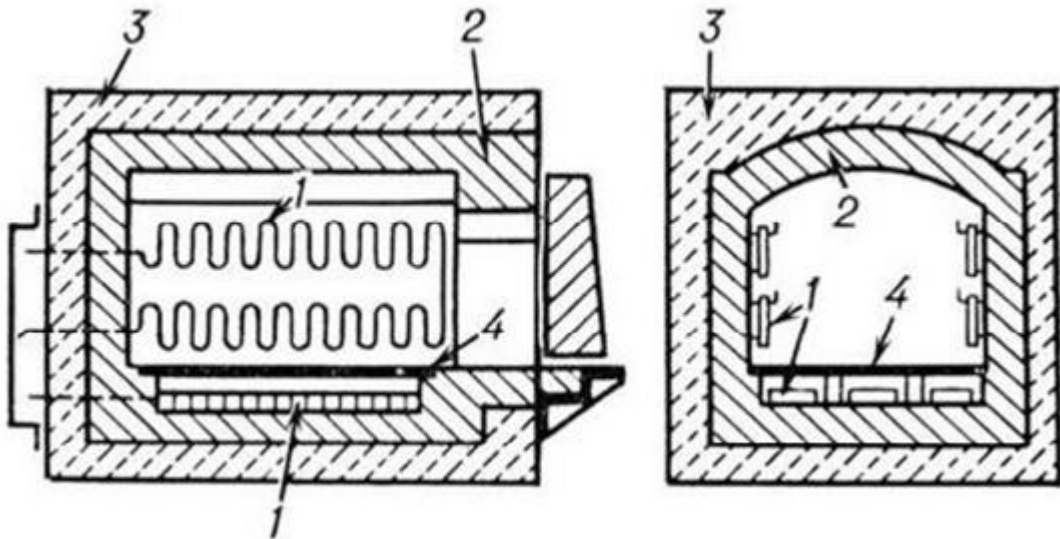
Піч з викотним подом – це спеціальний тип печі, в якому завантаження та вивантаження металу здійснюється за допомогою цехового крана на подіну, що викочується до стін і склепіння печі. Цей тип печі використовують у випадках, коли об'єм металу значний і має складну структуру, наприклад, коли метал розташовується в кілька шарів.

Процес роботи печі полягає у наступному: у розігрітій порожній печі піднімається заслінка і подина, яка викочується на майданчик перед піччю. Завантаження металу в печі здійснюється за допомогою підйомного крана на викочену подіну у визначеному порядку. Протягом цього процесу нагрівачі не працюють, оскільки стіни та склепіння печі віддають тепло випромінюванням на місце, де раніше знаходилася подина. Після завантаження металу подина повертається назад, заслінка закривається, і нагрівачі увімкнені.

Нагрівачі зазвичай розташовані у бічних стінах та стелі печі. Готові вироби вивантажуються з робочого простору через димові вікна у бокових стінках. Дим проходить по підйомних димових каналах і надходить у збірні канали над склепінням. Потім дим направляється у загальний канал, де знаходиться рекуператор для підігріву повітря, а після охолодження викидається у повітря без очищення.

Після завершення процесу термообробки подина викочується, і метал замінюється на холодний для наступного циклу роботи.

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

Мета дослідження кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у підвищенні швидкості та точності процесу нагріву у камерній печі. Основною проблемою, яку дослідник прагне вирішити, є розробка та впровадження автоматичного керування температурою нагріву в цій печі. Такий підхід спрямований на оптимізацію процесу термообробки металу, що в результаті призведе до покращення якості виготовленої продукції та зниження витрат енергії.

Аналіз існуючих методів керування температурою в промислових печах показав, що для електричної камерної печі, як об'єкта керування, вхідним є сигнал керування потужністю електронагрівачів, а вихідним – температура в камері печі. При цьому, електрична камерна піч є неперервним об'єктом керування. При цьому для безперервного об'єкта керування визначаються напрямки планування експерименту і вимоги до методів дослідження.

Ці завдання спрямовані на створення нового, більш ефективного підходу до керування процесом нагріву у камерних печах, що відповідає сучасним вимогам промисловості до якості, енергоефективності та автоматизації виробничих процесів.

1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків

Управління технологічним процесом – це процес передачі інформації, який забезпечує виконання певних завдань у матеріальному процесі. Точність та достовірність інформації про хід технологічного процесу і її передача операторові визначають виконання встановлених режимів термообробки.

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

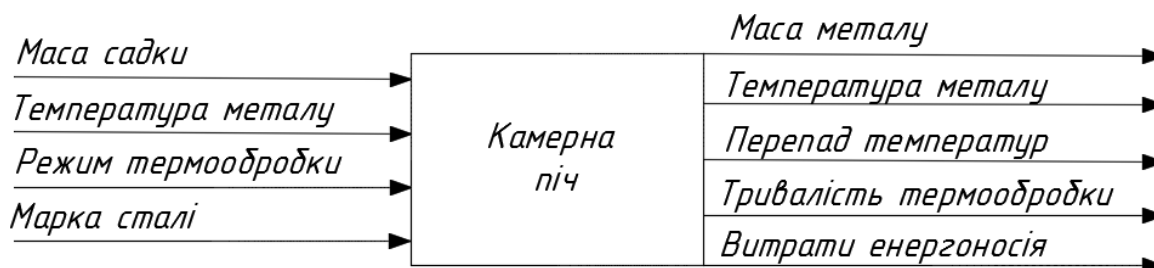


Рисунок 1.3 – Схема інформаційних потоків камерної печі

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

Застаріле обладнання, яке залишилося незмінним ще з радянських часів, створює серйозні проблеми для безпеки та ефективності виробництва. Наприклад, система відсічення газу і повітря у печах не працює протягом останніх 20 років, що призводить до ризику аварій. Крім того, це обладнання сприяє втратам палива через свою неефективність.

Використання застарілих самописців ДИСК-250 та промислових регуляторів МІК-21 і МІК-20 є неефективним та незручним для оператора. Сучасні пристрої, такі як МЕТРАН-900, можуть забезпечити більш зручну та ефективну експлуатацію. Вони не лише забезпечують графічний перегляд на дисплеї, але й можуть надавати цифрові дані для друку або передачі на комп'ютер, що робить контроль процесу більш ефективним і зручним.

Висновки. Отже, система керування спрямована на те, щоб автоматично регулювати потужність електронагрівачів опору з метою забезпечення потрібної температури в камері печі для ефективного процесу нагріву металевих виробів.

2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Вимоги до структури та функціонування системи АСУТП повинна відповідати ДСТУ 2226-93 Автоматизовані системи. Терміни та визначення.

Загальні вимоги. Система повинна складатися з декількох рівнів:

- локальний рівень;
- рівень виробництва;
- верхній рівень.

На локальному рівні необхідне виконання наступних завдань:

- перетворення вимірюваних параметрів в електричний сигнал;
- управління виконавчими пристроями;
- реалізація блокувань і аварійного захисту;
- погодження сигналів від датчиків з входами в ПЗО.

При аварійних ситуаціях має спрацьовувати світлова та звукова сигналізація.

Завдання на рівні підсистемного виробництва:

- збір та обробка інформації яка надходить від технологічної системи;
- періодичне опитування датчиків стану; прийом та передача інформації від інших систем;
- виявлення відхилень технологічних параметрів від регламентуючих значень;
- реалізація завдань програмно-логічного управління технологічним процесом.

Частота опитування датчиків температури, витрати становить 1 хвилину. Період опитування датчиків тиску в робочому просторі печі, а також датчиків тиску на трубопроводах газу та повітря становить 1 секунду.

На верхньому рівні повинен бути реалізований візуальний доступ до інформації про об'єкт, а також необхідно здійснювати розрахунок режимів роботи технологічного агрегату і його витрати на ресурси. Повинна проводитися видача звітних документів. Інформація на засобах відображення оновлюється з частотою, що відповідає періоду опитування датчиків, з яких вона надходить. Видача керуючих впливів на виконавчі механізми проводиться з частотою, що відповідає періоду опитування датчиків. Тривалість зберігання інформації з передісторії процесу становить 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 знаходитися в приміщенні де:

- температура навколишнього повітря $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- відносна вологість навколишнього повітря $(60 \pm 15) \%$;
- атмосферний тиск від 84 до 107 кПа (680-800 мм. рт. ст.);
- запиленість повітря в приміщенні – не більше 1 мг/куб. м при розмірі часток не більше 3 мкм;
- напруженість зовнішнього електричного поля повинна бути не більше $0,3 \text{ V / m}$;
- напруженість зовнішнього магнітного поля повинна бути не більше $5,0 \text{ A / m}$;
- 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°C до 35°C , 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 збережуватися 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.

2.4 Вимоги до видів забезпечення

2.4.1 Вимоги до інформаційного забезпечення

Для обміну інформацією в рамках розподіленої Системи повинна бути створена база даних, що забезпечує доступ до даних з локальних елементів мережі. Для зручності роботи технологів-операторів з великими об'ємами різноманітної інформації, і для вироблення відповідних стереотипів взаємодії з Системою, інформаційне забезпечення Системи повинно бути структуровано, і мати ієрархічну організацію. Повинні бути передбачені такі стандартні операційні панелі: загального огляду, мнемосхеми, групи приладів, панелі налаштування, панелі сигналів

тривоги, панелі реєстрації ходу процесу (тренди). Всі категорії даних інформаційного забезпечення СПЗ (системи протиаварійного захисту) не повинні губитися при аваріях електроживлення та відмову блоків і модулів системи ПАЗ. Всі настроювальні константи, інформація прив'язки, алгоритми вирішення завдань і тексти програм повинні зберігатися на дублюючих носіях і оновлюватися при внесенні змін в Систему. Для кодування інформації повинні бути використані класифікатори (коди) прийняті замовником і які відповідають вимогам однозначності, простоти і можливості розширення.

2.4.2 Вимоги до лінгвістичного забезпечення

Зважаючи на відсутність вітчизняних нормативних документів, в якості їх прототипу необхідно використовувати розроблений Міжнародної Електротехнічної Комісією (МЕК) стандарт ІЕС 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 4-20 мА; введення сигналів 4-20 мА з вбудованими бар'єрами іскрозахисту; входу мілівольтових 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. В даному розділі наведені усі необхідні вимоги до структури та функціонування системи АСУТП повинна, які відповідають ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення».

3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА

Система складається з 3 рівнів:

- локальний рівень;
- рівень виробництва;
- верхній рівень.

На локальному рівні виконуються наступні дії:

- перетворення вимірюваних параметрів в електричний сигнал;
- управління виконавчими пристроями;
- реалізація блокувань та аварійного захисту;
- погодження сигналів від датчиків з входами в ПЗО.

При аварійних ситуаціях спрацьовує світлова та звукова сигналізація.

На рівні виробництв виконуються завдання:

- збір та обробка інформації, яка надходить від технологічної системи;
- періодичне опитування датчиків стану, прийом та передача інформації від інших систем;
- виявлення відхилень технологічних параметрів від регламентуючих значень;
- реалізація завдань програмно-логічного управління технологічним процесом.

Частота опитування датчиків температури та витрати становить 1 хвилину. Період опитування датчиків тиску на трубопроводах газу та повітря становить 1 секунду.

На верхньому рівні повинен бути реалізований візуальний доступ до інформації про об'єкт ,а також необхідно здійснювати розрахунок режимів

роботи технологічного агрегату і його витрати на ресурси. Повинна проводитися видача звітних документів.

Інформація на засобах відображення оновлюється з частотою, що відповідає періоду опитування датчиків, з яких вона надходить.

Видача керуючих впливів на виконавчі механізми проводиться з частотою, що відповідає періоду опитування датчиків.

Тривалість зберігання інформації з передісторії процесу становить 8 годин.

3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру

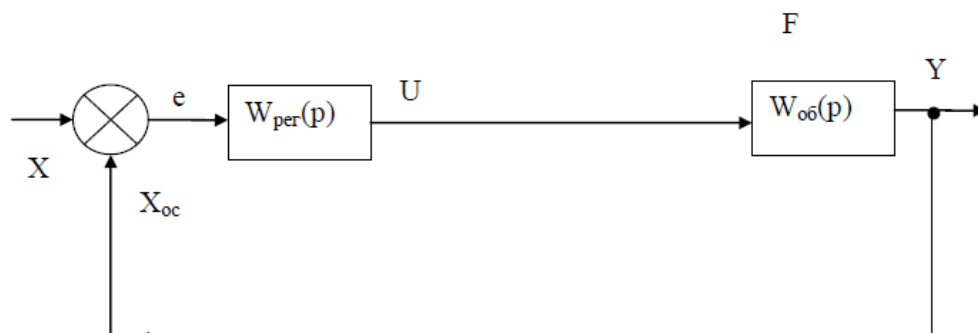
Одна із основних умов нормального нагрівання металевих злитків – підтримка встановлених температур в робочому просторі печі. На підставі практичної роботи камерної печі встановлені технологічні режими, до яких існують чіткі вимоги.

Так наприклад, в робочій зоні температура теплоносія повинна підтримуватися з точністю $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Отже, температура найбільш важливий параметр термічної печі, що контролюється. Для термічних печей в найбільш відповідальних точках робочого простору підтримуються постійні температури. Температура в печі змінюється з ряду причин, наприклад, в результаті зміни режиму навантаження, зміни витрати палива та умов його горіння, аеродинамічного режиму печі і т.д. Всі збурення призводять до порушення режиму нагрівання і, як наслідок, виходу продукції низької якості або браку. Підтримка температур по об'єму печі нерозривно пов'язана з регулюванням інших параметрів. Для безперервно діючих термічних печей подача злитків є автоматизованою. Впровадження цього крану дозволяє автоматизувати завантаження злитків в робочій простір та вивільнити від тяжкої ручної праці робітників, що покращує умови праці.

Для регулювання тиску в робочому просторі керуючий вплив подається на регулюючий орган (шибер), який знаходиться на трубопроводі димових газів. При зміні кількості продуктів згоряння, що покидають піч, регулюється тиск.

3.3 Вибір (розробка) математичної моделі системи управління

Діюча в термічному цеху ПАТ «Дніпроспецсталь» система автоматичного регулювання є одноконтурною САР, що працює за ПІ-законом. Великою, що регулюється, є температурний режим термообробки заготовок, регулятор формує керуючий вплив на витрату паливо-повітряної суміші.



X – задане значення; X_{oc} – вимірне значення; e – розголос;
 U – управляючий вплив; Y – вихідне значення; $W_{reg}(p)$ – регулятор;
 $W_{ob}(p)$ – 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.

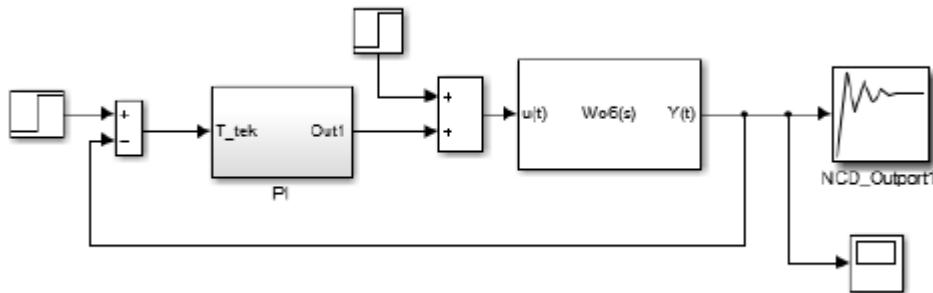


Рисунок 3.2 – Одноконтурна САК режиму нейтралізації в SIMULINK

В результаті оптимізації налаштування регулятора приймаються $K_p = 5,97$, $T_n = 4,78$.

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

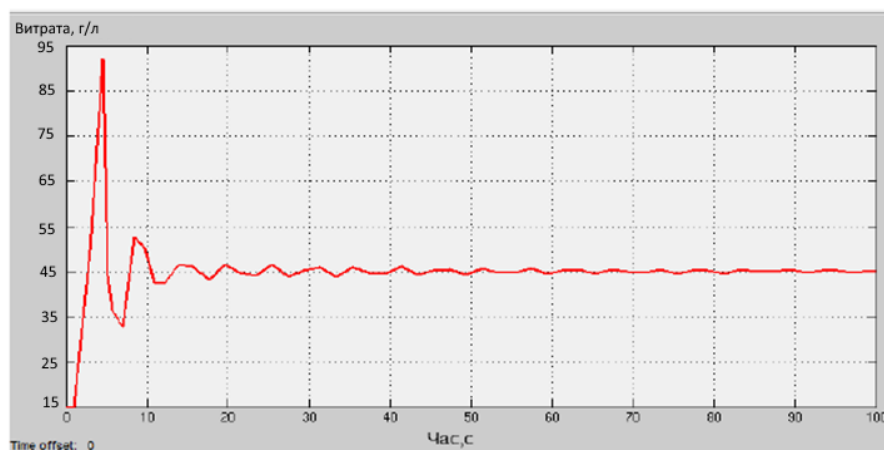


Рисунок 3.3 – Перехідний процес при однократній зміні ступінчатого сигналу

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.

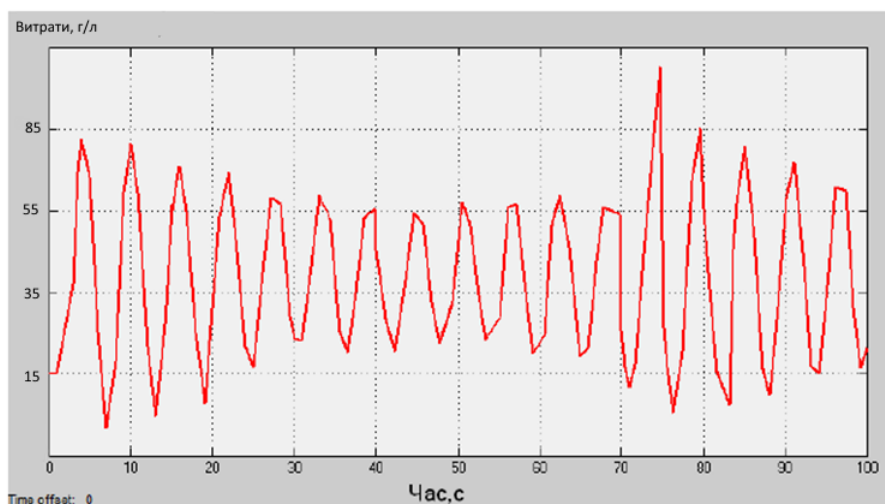


Рисунок 3.4 – Перехідний процес при безперервно виникаючих збуреннях в процесі термообробки

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).

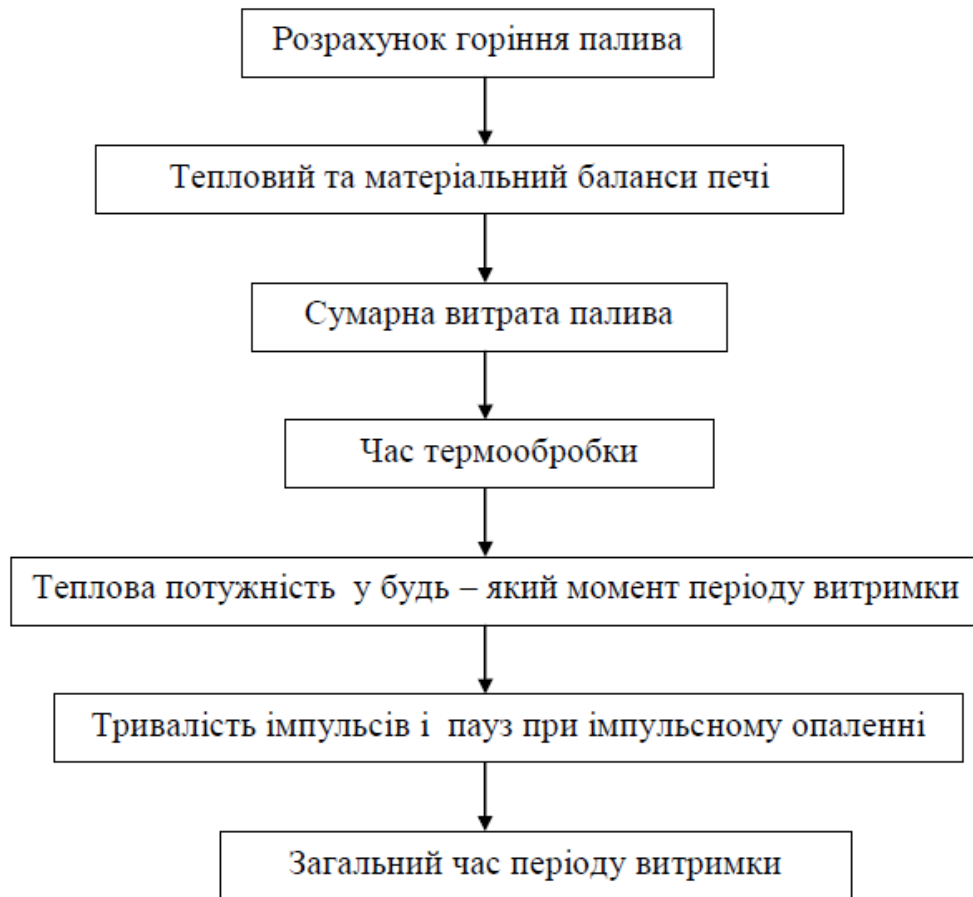


Рисунок 3.5 – Структура програми

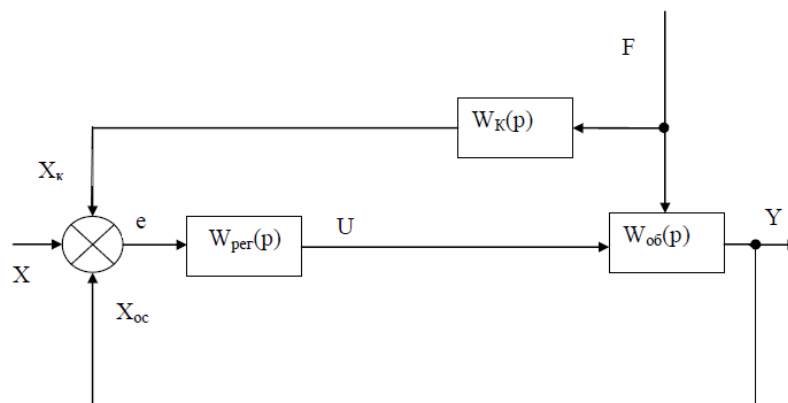
Для виключення глибоких знижень температур поверхневого шару металу діапазон управління температурою повинен обмежуватись таким чином, щоб нижня межа температури газового середовища в період імпульсу була вища, ніж поверхневого шару металу. В цьому випадку спрощується реалізація імпульсного опалення 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

теплогового 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 ПАТ «Дніпроспецсталь» система автоматичного регулювання температурним режимом термічних камерних печей представляє собою одноконтурну САР, що працює за ПІ-законом регулювання. Великою, 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_{oc} – вимірне значення; e – величина розголосу;

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

$W_{ob}(p)$ – об'єкт; $W_k(p)$ – зовнішні збурення

Рисунок 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:

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

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

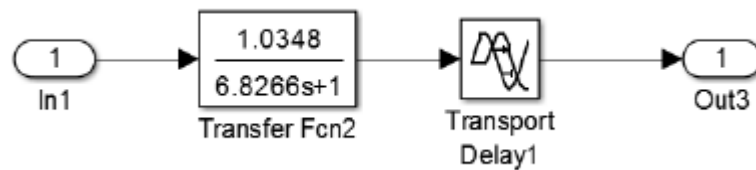


Рисунок 3.7 – Структура блоку Pesh

На основі динамічних характеристик об'єкту методом незатухаючих коливань в середовищі MATLAB було підбрано 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.

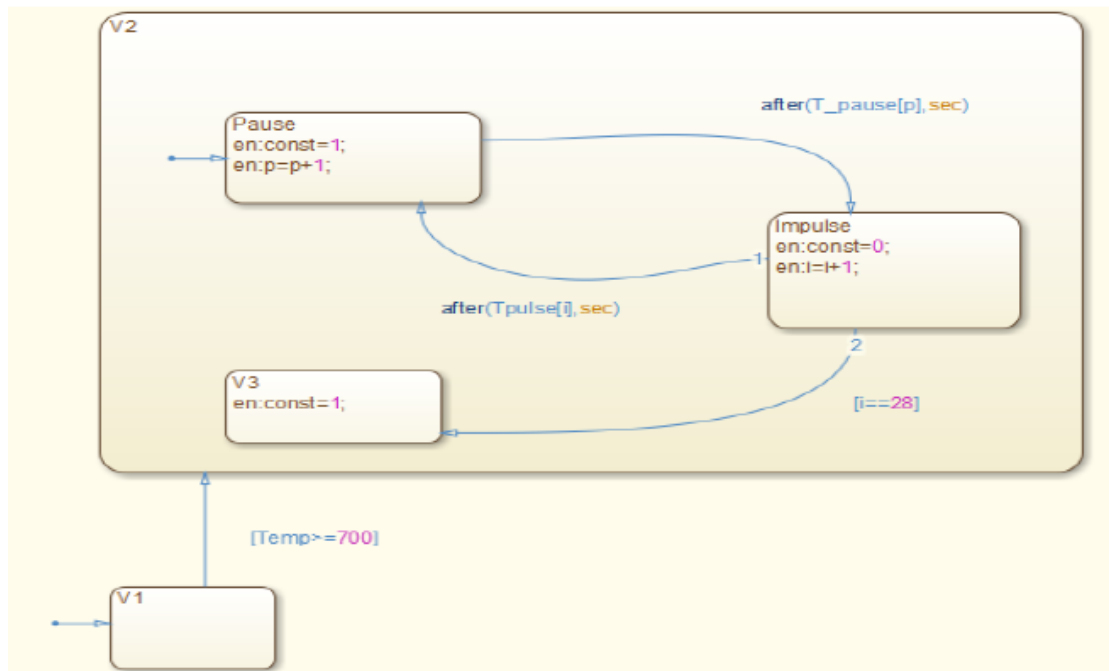


Рисунок 3.8 – Структура блоку Chart

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

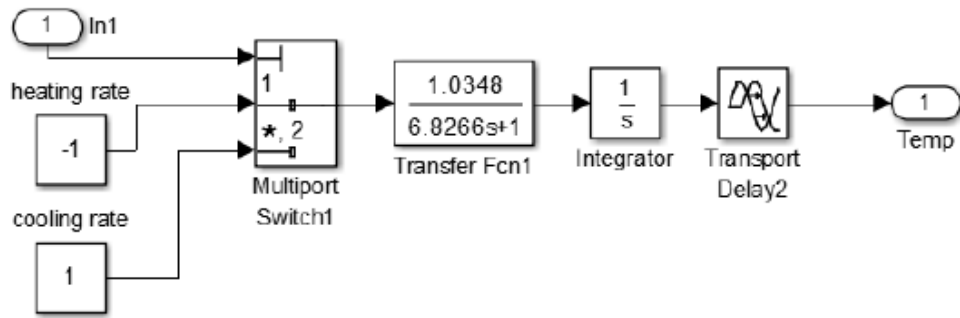


Рисунок 3.9 – Структура блоку Subsystem

Моделювання зовнішніх збурень $W_k(p)$.

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

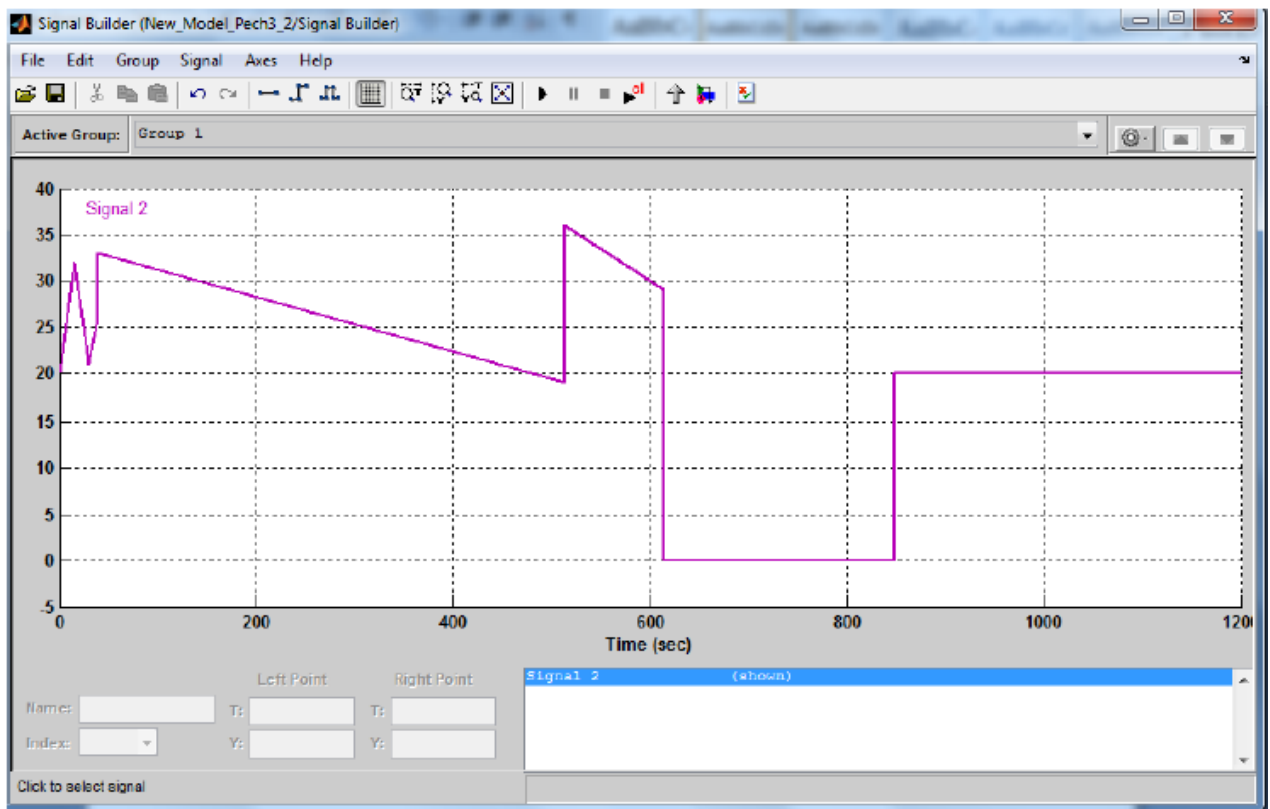


Рисунок 3.10 – Діаграма блоку Signal Builder для імітації появи зовнішніх збурень

На рис. 3.11 показана загальна структура прогнозуючої системи управління.

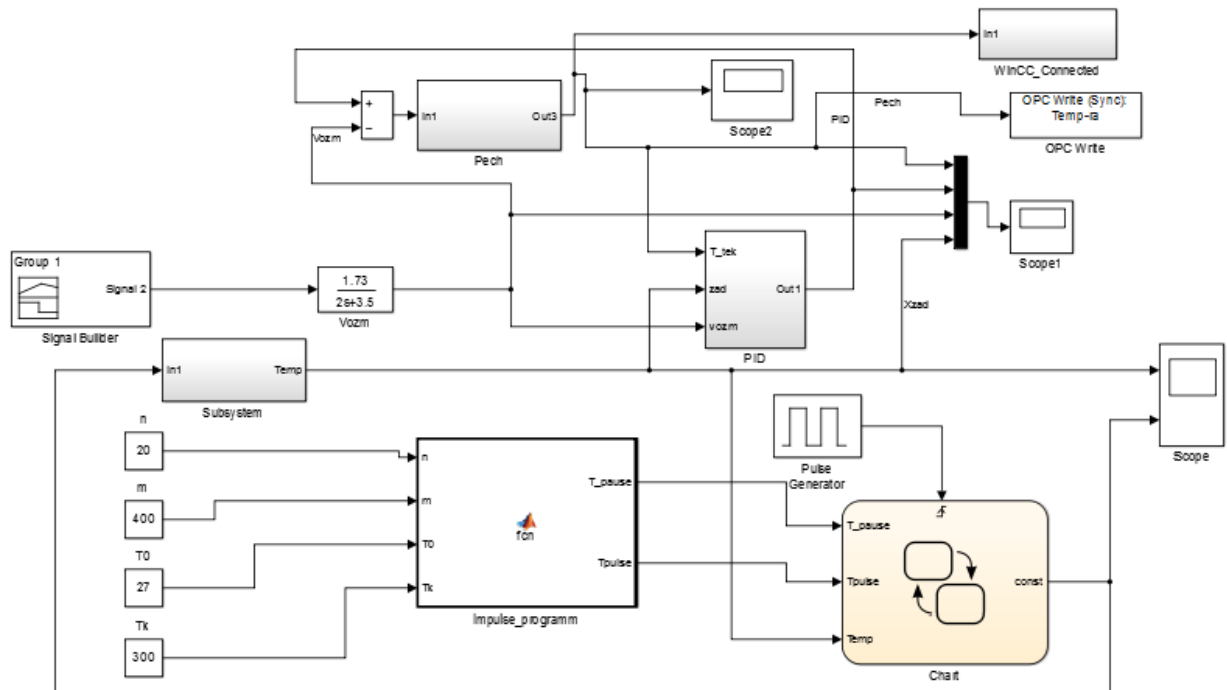


Рисунок 3.11 – Структура прогнозуючої системи управління

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 дверей;
- температуру у середині печі.

Кінцеві положення поду контролюються кнопковими штовхачами КРА2 S11 (рис. 3.12 а), положення дверей контролюється важільними штовхачами з регульованими роликами КР L2 S11 (рис. 3.12 б)

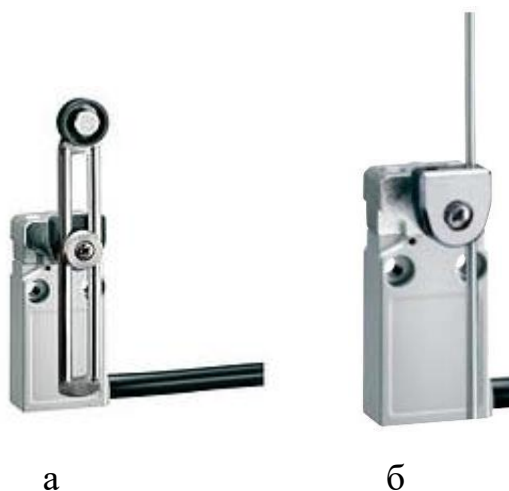


Рисунок 3.12 – датчик KP A2 S11 (а), датчик KP L2 S11 (б)

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 індустриальних 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 – 1300°C

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



Рисунок 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 НРТ1 (рис. 3.14), призначений для перетворення значення температури вимірюваної за допомогою термопари або термоопору, в уніфікований сигнал постійного струму 0 (4) – 20 мА.



Рисунок 3.14 – Перетворювач нормуючий ОВЕН НРТ1

Перетворювач ОВЕН НРТ1 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 НРТ1 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

Як регулятор вибираємо промисловий контролер SIEMEN S7 – компактний малоканальний багатифункціональний мікропроцесорний контролер, призначений для автоматичного регулювання та логічного керування технологічними процесами.

Серія програмованих контролерів Simatic S7-300 фірми Siemens є платформою для розв'язання завдань в області промислової автоматизації. Завдяки модульній архітектурі контролер Simatic S7-300 може забезпечувати керування як нескладними об'єктами автоматизації, так і найбільш відповідальними технологічними процесами на рівні цілого підприємства.

На базі Simatic S7-300 можна реалізувати локальну, віддалену або розподілену конфігурацію вводу-виводу, які компонуються певною комбінацією шасі, центральних процесорів, джерел живлення, модулів вводу-виводу та інших технічних засобів.

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.

Модульна конструкція, можливість побудови розподілених структур управління, наявність дружнього користувачеві інтерфейсу дозволяє використовувати контролер для економічного вирішення широкого кола завдань автоматичного управління в різних областях промислового виробництва. Ефективному застосуванню контролерів сприяє можливість використання декількох типів центральних процесорів різної продуктивності, наявність широкої гами модулів вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів, функціональних модулів і комунікаційних процесорів.

Контролер SIMATIC S7-300 має модульну конструкцію і може включати до свого складу:

- модулі центральних процесорів (CPU). Залежно від ступеня складності розв'язуваної задачі в контролері можуть бути використані різні типи центральних процесорів, що відрізняються продуктивністю, об'ємом пам'яті, наявністю або відсутністю вбудованих входів-виходів і спеціальних функцій, наявністю або відсутністю комунікаційних інтерфейсів;

- сигнальні модулі (SM), призначені для введення-виведення дискретних і аналогових сигналів з різними електричними і часовими параметрами;

- комунікаційні процесори (CP) для підключення до мереж PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS інтерфейсу або організації зв'язку по PPI (point to point) інтерфейсу;

- функціональні модулі (FM), здатні самостійно вирішувати завдання автоматичного регулювання, позиціювання, обробки сигналів. Функціональні модулі забезпечені вбудованим мікропроцесором і здатні виконувати покладені на них функції навіть у разі відмови центрального процесора ПЛК.

При необхідності в складі контролера можуть бути використані:

– модулі блоків живлення (PS), що забезпечують можливість харчування контролера від мережі змінного струму напругою 120 або 230 В;

– інтерфейсні модулі (IM), що забезпечують можливість підключення до центрального контролера стійок розширення введення-виведення. Контролери SIMATIC S7-300 дозволяють використовувати в своєму складі до 32 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів, розподілених по 4 монтажним стійок.

Всі модулі працюють з природним охолодженням.

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 входних і вихідних сигналів, з якими працює контролер у процесі автоматичного управління технологічним процесом, бажану конфігурацію введів-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 входний 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 входні 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 (розрядність, 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
Полож. 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

$6 \text{ вхідних сигналів} / 8 \text{ каналів вводу} = 0,75 = 1$ 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.

$3 \text{ вихідних сигналів} / 8 \text{ каналів виводу} = 0,4 = 1$ 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 6ES7315-2АН14-0AB0). Він має можливість підключення до 32 модулів 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 5М).

Для функціонування контролера потрібен модуль живлення, який необхідно розрахувати, користуючись підсумковим струмом, що споживаються усі модулі контролера. Аналогові модулі споживають 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.

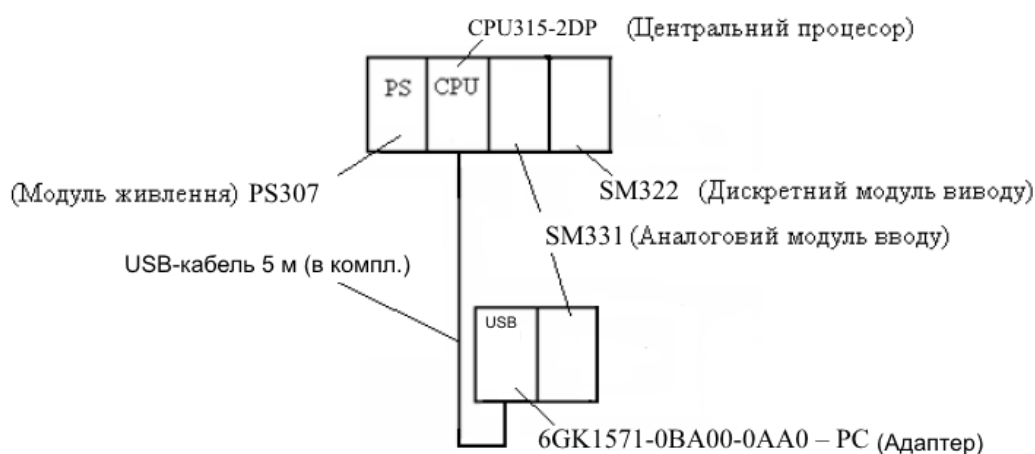


Рисунок 3.16 – Структурна схема розподіленої системи автоматичного управління

Для конфігурування розподіленого 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, °С - 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 АІР-56А4;
- 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 експлуатації	Параметри
Виконання	УХЛ 4-2
Температура, °С	від 5 до 50
Відносна вологість, % при Температурі, °С	от 30 до 80 35
Вібрація: частота – Hz амплітуда, мм	до 25 до 0,1
Магнітні поля постійні чи змішані 50 Hz, 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 виконання 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 вихідного сигналу;
- варіація вихідного сигналу до 1,4% від максимального значення вихідного сигналу;
- диференціальний хід мікропереключачей до 3°;
- розривне потужність контактів мікропереключачей 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 використовуємо 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 Використовуючи інформацію про особливості роботи камерної печі та апаратних засобів системи керування було розроблено структурну схему інформаційних потоків дослідницької системи.

Розглядаючи камерну піч, як об'єкт керування по контуру регулювання температури в камері та беручи до уваги розроблену схему інформаційних потоків дослідницької системи був запропонований план активного експерименту. За результатами ідентифікації об'єкта керування розроблено імітаційну модель камерної печі в графічному середовищі Simulink/MATLAB. Порівняльний аналіз даних отриманих при роботі імітаційної моделі з перевірочними даними показав їх відповідність на 98,41%, тому отримана імітаційна модель є адекватною до об'єкта керування.

Згідно до технологічного процесу, діапазони зміни вимірювальних параметрів та керованих параметрів були обрані датчики та виконавчі пристрої які мають стандартні діапазони вхідних та вихідних сигналів $4\div 20$ мА та стандартне живлення 24 В. В якості пристрою керування обрано SIMATIC S7-300, через аналогові та дискретні порти вводу та виводу якого забезпечено підключення датчиків та виконавчих пристроїв і пальль оператора КТР400.

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.

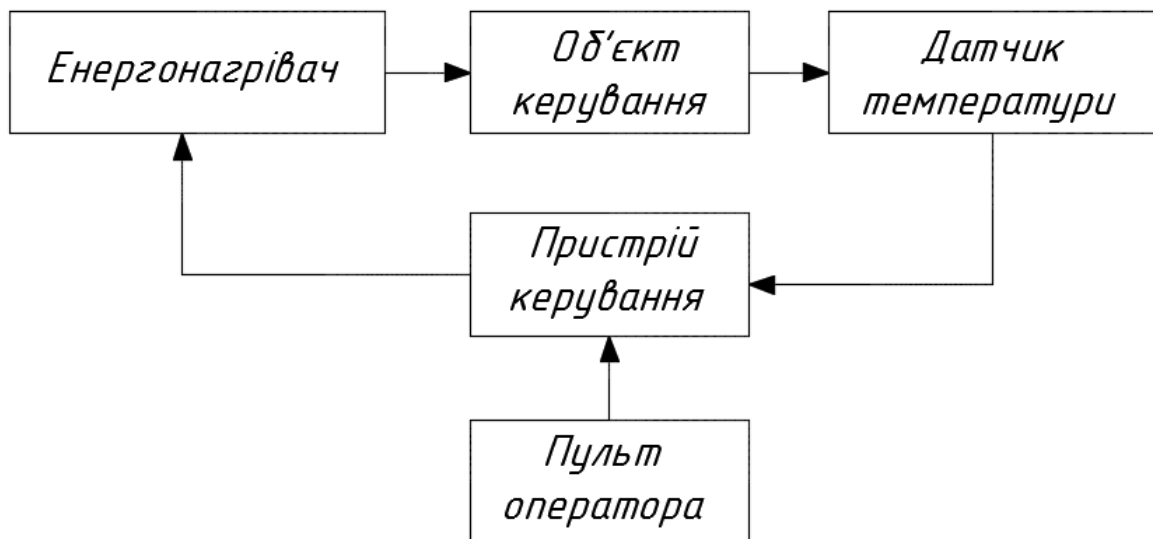


Рисунок 4.1 – Структурна схема системи керування температурою в камерній печі

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°C. Початкова температура в камері при завантаженні металевих виробів становить 20°C.

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.

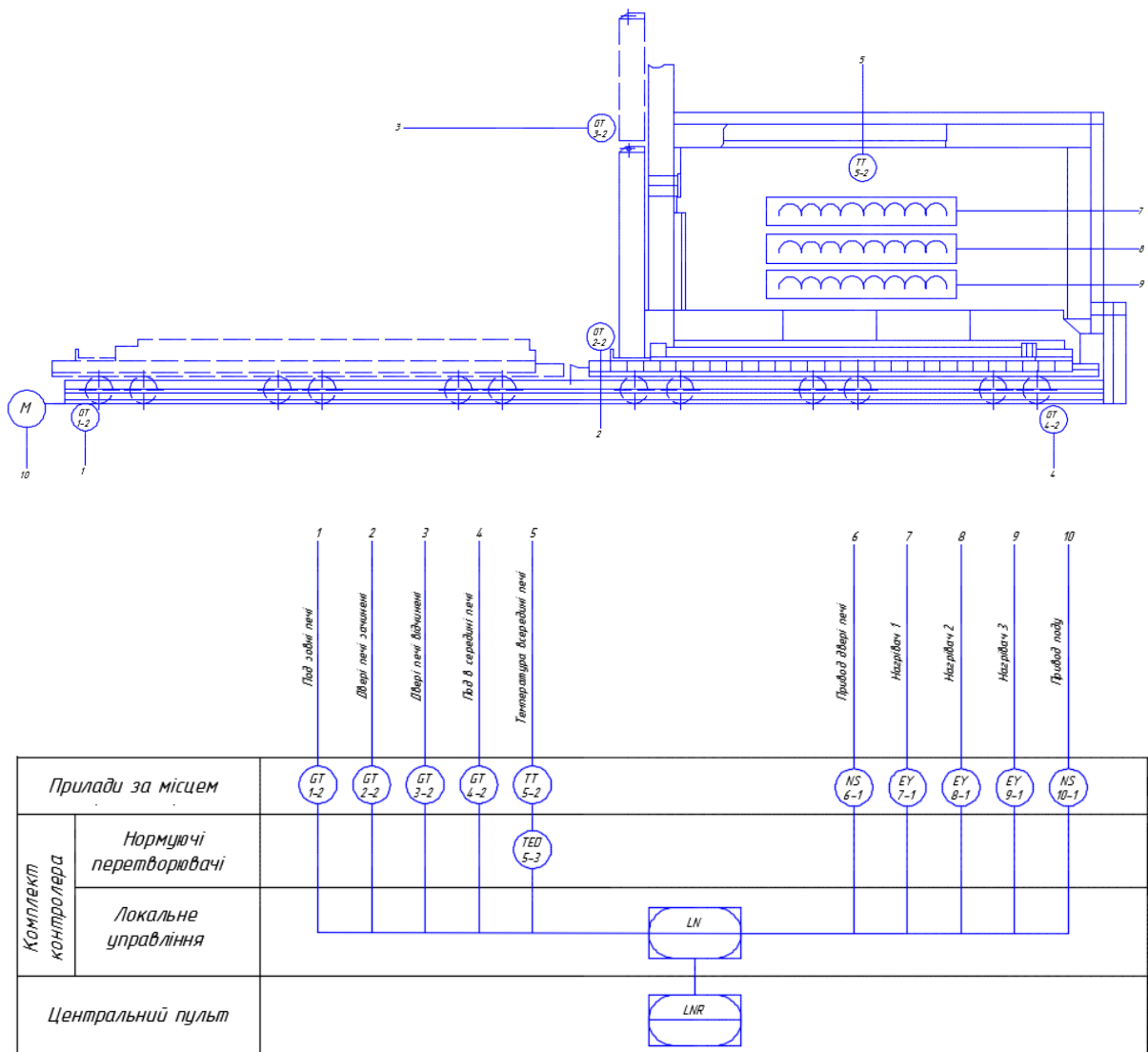


Рисунок 4.2 – Функціональна схема автоматизації

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 трубої 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 прокладаються 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 прокладаються 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):

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

$$= 2,5 * 11,2 * 10^{-6} = 28 * 10^{-6} \text{ [1/год]} \quad (5.1)$$

де k – узагальнений коефіцієнт, який враховує призначення САР;

λ_{oi} – середня інтенсивність відмов відповідної групи;

m – кількість груп;

n_i – кількість елементів у групі. i п

– розраховується наробіток на відмову:

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

– розраховується імовірність безвідмовної роботи САР:

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

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, $\lambda_{\text{заг}} \cdot 10^{-6}$, 1/ГОД
Первинний перетворювач	0,1	2,5	$28 \cdot 10^{-6}$
Вторийний 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

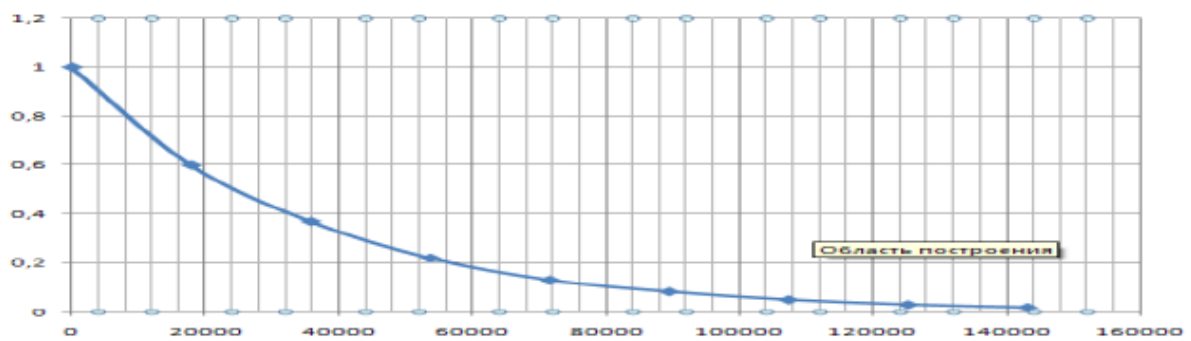


Рисунок 5.1 – Графік залежності $P'(t)$

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_j та однакові інтенсивності відмов.

$$a = 0,66.$$

Таблиця 5.4 – Коефіцієнти навантаження

$K_{\lambda 1}$	$K_{\lambda 2}$	$K_{\lambda 3}$
1,04	2,5	1,1

– розраховується комплексний поправочний коефіцієнт:

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

– розраховується загальна інтенсивність відмов:

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

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

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

– розраховується наробіток на відмову:

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

– розраховується вірогідність безвідмовної роботи САР :

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

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_λ	Сумарна інтенсивність відмов, $\lambda_{\text{заг}} \cdot 10^{-6}$, 1/год	Напрацювання на відмову, T_0'' , ГОД
Первинний перетворювач	0,1	2,5	$28 \cdot 10^{-6}$	2285
Вторийний прилад	0,9			
Котролер	0,7			
Пульт оператора	0,9			
Реле	$4,3 \cdot 2$			

Таблиця 5.6 – 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

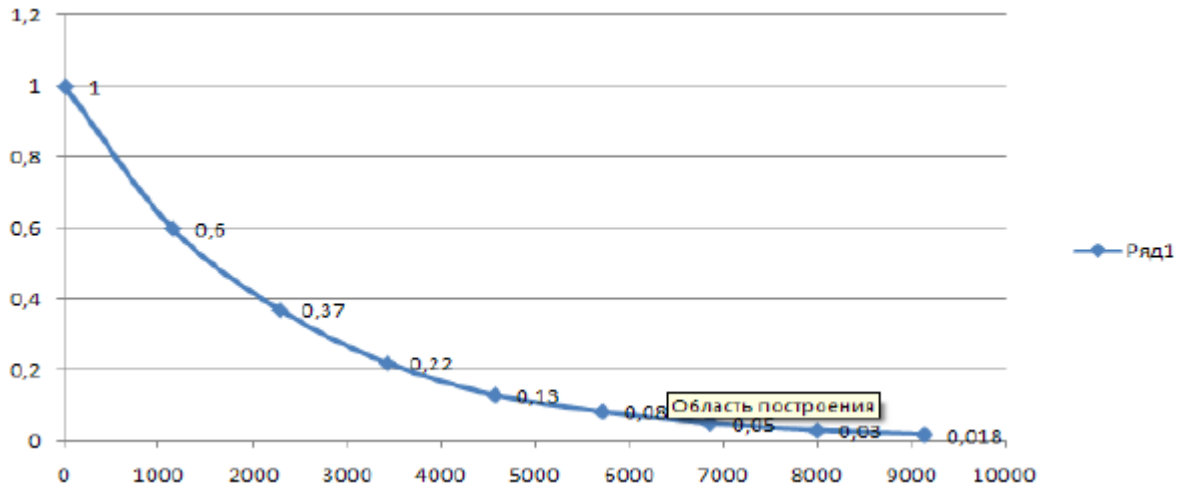


Рисунок 5.2 – Графік залежності P''(t)

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 :

$$T_{\Gamma} = \frac{T_0}{4 \cdot K_{\text{дн}} \cdot M} \quad (5.8)$$

де $K_{\text{дн}}$ – кількість днів роботи в місяць;

M – кількість місяців роботи за рік.

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

Середнє значення тривалості відновлення САР, якщо потрібне повне відновлення:

$$T_{\text{в}} = \sum_{j=1}^q T_{\text{в}j} \cdot m_j, \text{ [год]}; \quad (5.9)$$

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

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

m_j – кількість елементів в групі.

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

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 :

$$K_r = \frac{1}{1 + \lambda_{\text{заг}} \cdot T_B} = 0,99981 \quad (5.10)$$

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 шкідливі фактори виробництва

У роботі бакалавра розглянуто розробку та впровадження системи керування нагрівом у камерній печі. Оскільки ці печі працюють під напругою та високими температурами, важливо дотримуватися правил безпеки під час їх монтажу, пуску та експлуатації.

Обслуговуючому персоналу слід мати відповідну кваліфікацію та знати правила роботи з електричними установками. Перевірка справності електропостачання, ізоляції та заземлення є обов'язковою для запобігання аваріям.

Також необхідно систематично перевіряти теплоізоляцію печей та їх футерування, щоб уникнути аварій через перегрів. Важливо забезпечити обладнання вибуховими клапанами та перевіряти їх справність. Деякі печі можуть виділяти випромінювання короткохвильового спектру, тому необхідно ретельно перевіряти ущільнення та стан оглядових віконць, щоб уникнути опромінення персоналу.

Сучасні камерні печі мають численні елементи, які вимагають правильної установки та систематичного технічного обслуговування для забезпечення безпечної експлуатації та високої продуктивності. Тому слід ретельно дотримуватися правил їх монтажу, пуску та експлуатації, запобігаючи небезпеці своєчасним здійсненням необхідних технічних і організаційних заходів. Також слід дотримуватися загальних правил роботи з електричними установками, а також систематично перевіряти справність лінії постачання печей електроенергією, особливо на ділянках між трансформаторами і печами, справність електричної ізоляції, заземлення кожухів печей і наявність огорожі у неізольованих ділянок струмопідводів.

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

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

6.2 Організація пожежної безпеки

Приміщення віднесено до класу В - Па за вибухонебезпечністю та до класу П - Па за пожежонебезпекою. Це означає, що у нормальних умовах експлуатації небезпечних станів немає, але вони можуть виникнути внаслідок аварій або несправностей.

Для забезпечення пожежо- та вибухозахисту всі процеси проводяться у герметично закритих апаратах, де передбачені заходи захисту від атмосферних та статичних електричних ризиків. Електрообладнання має відповідати вимогам безпеки від пожеж та вибухів.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7:2016, передбачено два запасних евакуаційних виходи у разі пожежі. Ширина коридору, дверей та проходу також відповідає встановленим нормам безпеки.

Для локалізації наслідків короткого замикання, яке може призвести до пожежі, встановлюються швидкодіючі вимикачі. На проектованій ділянці термообробки використовуються вогнегасні засоби, такі як ОУ-5, ОХП-10 та ПГП-50.

У відділенні передбачені евакуаційні виходи, які ведуть безпосередньо назовні для забезпечення безпечної евакуації у випадку пожежі або аварії. Шляхи евакуації мають відповідати нормативним вимогам щодо кількості, протяжності і ширини. Внутрішні проходи повинні мати ширину не менше 1,5 м, а проїзди – 2,5 м, забезпечуючи прямий напрямок руху без перетину зустрічних потоків людей.

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

Приміщення цеху термічної обробки має електропостачання у вигляді трифазної мережі з напругою 220/380В (50 Гц) та глухозаземленою нейтраллю.

Ця схеми мережі дозволяє використовувати як лінійну (нагрівачі та приводи печі) так і фазну напругу.

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

- періодичний контроль ізоляції;
- забезпечення недоступності струмоведучих частин. Забезпечується
- установкою захисних огорожень в місцях можливого випадкового дотику;
- застосування захисного занулення. Зумовлено використанням схеми з глухозаземленою нейтраллю і електроустановками напругою до 1000 В змінного струму. Згідно з правилами устрою електричних установок при напрузі 1000 В допустимий опір заземлюючих пристроїв не вище 4 Ом ($P_d = 4 \text{ Ом}$);
- застосування захисного відключення. Обумовлено можливим однофазним замиканням на корпус електрообладнання в мережах з глухозаземленою нейтраллю. Пристрої захисного відключення (УЗО) мають високу чутливість і швидкодія. Їх струми спрацьовування досить

малі (10 – 30 мА), тому вони реагують як на струми замикання на землю, так і на струми

- витоку при зниженні опору ізоляції мережі, а їх швидкодія (0,1 - 0,2 с);
- забезпечує майже миттєве відключення установки;
- застосування індивідуальних захисних засобів;
- заземленням металевих частин які можуть бути під напругою при пошкодженні основних ізоляцій струмоведучих частин;
- вирівнюванням потенціалів і застосування ізолюючих площадок.

Всі електроустановки виконані у відповідності з ПУЕ, всі нетоковедучі металеві елементи електроустановок мають видиме заземлення. Усе електрообладнання має закрите і пилозахисне виконання.

6.4 Захист від шуму і вібрації

Для робочої зони промислових підприємств рівень звуку не повинен перевищувати 90дБА [15].

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

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

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

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

Висновки. На основі аналізу небезпечних та шкідливих аспектів процесу нагріву у камерній печі були розроблені технічні рішення для їх усунення або зменшення впливу на працівників. Також було розглянуто питання пожежної безпеки, що відповідають законодавству України.

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.

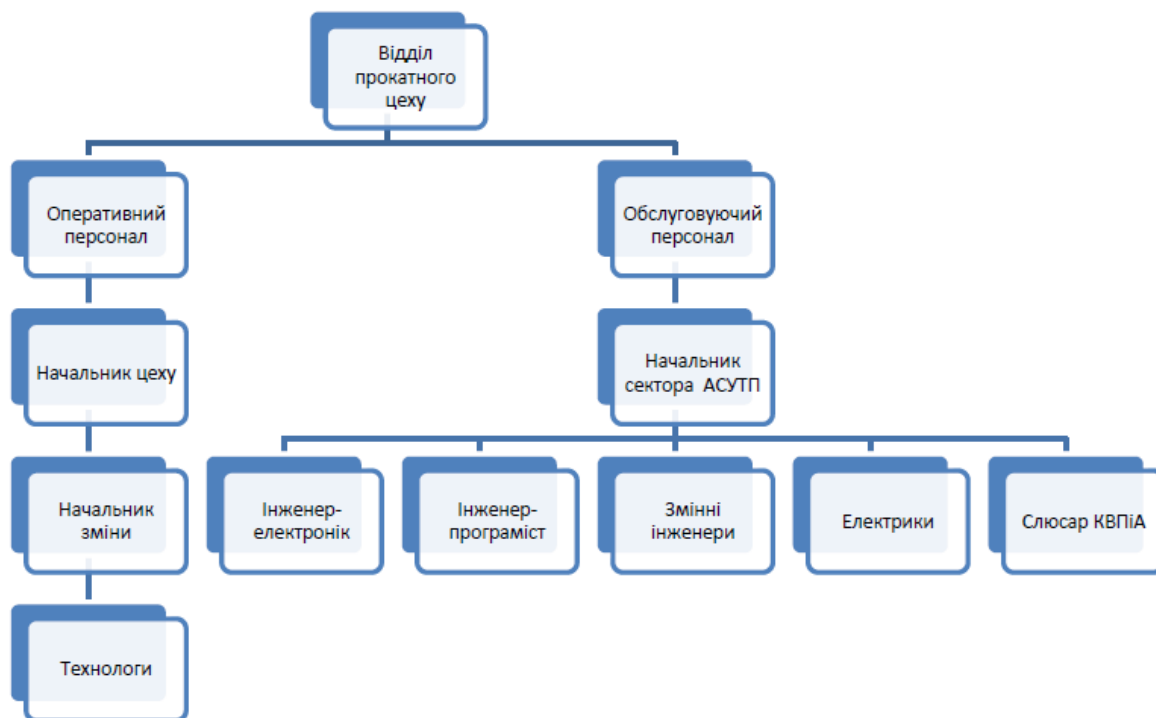


Рисунок 7.1 – Структурна схема організаційного забезпечення заводу

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 ($K_{об}$) на устаткування без урахування ПДВ включає вартість придбаного устаткування ($V_{уст}$) та витрати на транспортні ($V_{тр} = 6\%$) і заготівельно-складські ($V_{зс} = 5\%$) операції у визначених відсотках від $V_{уст}$.

$$K_{об} = V_{уст} + V_{тр} + V_{зс}, \quad (7.1)$$

де $V_{уст} = V_{ШУ}$

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

$$K_{об} = 3750000 \cdot (1 + 0,06 + 0,05) = 4162500, \text{ грн.};$$

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

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

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

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

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

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

$$K_{CAP} = 208125 + 1665000 + 208125 = 582750, \text{ грн.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Визначення капітальних вкладень

Визначення капітальних вкладень	
Витрати на монтаж нового устаткування K_M	1665000 грн.
Сума капіталовкладень K_{OB}	4162500 грн.
Витрати на демонтаж існуючої апаратури K_{DM}	208125 грн.
Вартість придбаного устаткування $V_{уст}$	3750000 грн.
Додаткові капіталовкладення модернізацію САР K_{CAP}	582750 грн.

7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

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

- зарплату персоналу ($V_{зп}$);
- амортизацію нового обладнання (V_a);
- поточний ремонт нового обладнання (V_p);
- електричну енергію для живлення нового обладнання ($V_{ел}$);
- інші експлуатаційні витрати (V_i).

$$V_{CAP} = V_{зп} + V_a + V_p + V_{ел} + V_i. \quad (7.3)$$

7.2.3 Річні витрати на ЗП

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$V_{зп} = n \cdot \text{ФОП}, \quad (7.4)$$

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

ФОП – середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори.

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

$$\text{ФОП} = \Phi_{\text{зп}} \cdot K_{\text{ін}}, \quad (7.5)$$

де $K_{\text{ін}} = 1,1$

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

$$\Phi_{\text{зп}} = 12 \cdot \text{ЗП} \cdot H_{\text{зп}}, \quad (7.6)$$

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

$H_{\text{зп}}$ – нарахування на ФОП складають 20%.

Тоді:

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

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

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

7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

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

$$B_a = K_{\text{САР}} \cdot H_A / 100, \quad (7.7)$$

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

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

7.2.5 Річні витрати на ремонт

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

$$V_p = K_p \cdot K_{CAP}, \text{ грн.} \quad (7.8)$$

$$V_p = 0,03 \cdot 139860 = 4196, \text{ грн.}$$

7.2.6 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САР визначаються так:

$$V_{ел} = P_{ел} \cdot T_{ф} \cdot K_3 \cdot СВ^{од}_{ел}, \text{ грн.} \quad (7.9)$$

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

$T_{ф}$ – фактичний термін роботи САР за рік ($T_{ф} = 7800$ год.);

K_3 – коефіцієнт для врахування реального споживання ($K_3 = 0,8$);

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

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

7.2.7 Інші витрати

Інші витрати визначаються так:

$$V_{ін} = 0,25 \cdot (V_a + V_{зп} + V_p) \quad (7.10)$$

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

Підставляючи отримані значення маємо загальну суму річних експлуатаційних витрат (V_{CAP} , грн.):

$$V_{CAP} = 2574000 + 139860 + 4196 + 19656 + 679514 = 3417226 \text{ грн.}$$

Дані по розрахунку зведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Розрахунок річних експлуатаційних витрат	
Зарплата персоналу $V_{зп}$	2574000 грн.
Амортизація нового обладнання V_a	139860 грн.
Поточний ремонт нового обладнання V_p	4196 грн.
Електричну енергію для живлення нового обладнання $V_{ел}$	19656 грн.
Інші експлуатаційні витрати $V_{ін}$	679514 грн.
Експлуатаційні витрати V_{CAP}	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:

$$E_{з.п.} = (p_1 - p_2) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot V_2, \quad (7.11)$$

де p_1 і p_2 – розцінки на операцію відповідно до і після впровадження інновації;

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

V_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:

$$E_M = (H_1 \cdot C_1 - H_2 \cdot C_2) \cdot B_2, \quad (7.12)$$

де H_1 і H_2 – норми витрат матеріалів на одиницю продукції відповідно до і після впровадження інновації;

C_1 і C_2 – ціна одиниці матеріалу.

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

Тоді умовно-річна економія витрат дорівнює:

$$\Delta C = E_{з.п.} + E_M - B_{CAP}, \quad (7.13)$$

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

Перевищення прогнозованої 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:

$$E_\phi = \frac{\Delta C \cdot n}{12} \quad (7.14)$$

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

$$E_\phi = \frac{4799024 \cdot 6}{12} = 2399512 \text{ грн.}$$

7.2.10 Річний економічний ефект

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

$$E_{p.ек} = \Delta C - E_H \cdot K_{CAP}, \quad (7.15)$$

де K_{CAP} – додаткові капіталовкладення, пов'язані з реалізацією інновацій;

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

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

Термін окупності (T_o) через суму капіталовкладень ($K_{ов}$) визначається:

$$T_o = K_{ов} \cdot (1 + \alpha_a + \alpha_p + \alpha_{зсв}) / E_{p.ек}, \text{ років} \quad (7.16)$$

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

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

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

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

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 розробку системи автоматизації камерної печі, а саме регулювання температурного режиму, в умовах заводу «Дніпроспецсталь» ім. А.М. Кузьміна.

Представлена характеристика камерної печі описаний технологічний процес нагріву злитків. Розглянуто існуючий рівень автоматизації з виявленням недоліків діючої системи.

Розроблена функціональна схема автоматизації камерної печі, вибрані технічні засоби автоматизації та приведені розрахунки регулюючого органу та виконавчого механізму.

Було обрано та обґрунтовано технічні засоби для нижнього рівня системи автоматизації. Для програмування контролерів використовуємо програмне середовище Win PLC7, оскільки воно надійне та має широкі можливості для розробки алгоритмів. Розробили алгоритм сигналізації та протиаварійного захисту для технічного обладнання. Цей алгоритм передбачає вчасне виявлення потенційних небезпек та негайне втручання для запобігання аваріям. На основі цього алгоритму створили програмний код, який забезпечує ефективну роботу системи автоматизації і надійний захист обладнання від непередбачених ситуацій. Розроблені принципова електрична, монтажна комутаційна схеми, схема зовнішніх з'єднань і спроектовано приладову шафу КВПіА.

У розділі охорони праці проведений аналіз небезпечних та шкідливих факторів на території термічного цеху, розроблені заходи щодо їх запобігання. При розрахунку надійності системи автоматизації визначений гарантійний термін роботи САР, який складає 1,4 року.

Після розрахунку техніко-економічних показників було виявлено що впровадження системи обійдеться у 4711612 грн.

Строк окупності системи складає близько 1,2 року.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.
2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ 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 авто-тичних управління з використанням ПЕОМ : нав. посіб. Череповець : ЧГП, 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. Пейсхахав 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: 15.02.2024).

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. Емпірико-теоретичні методи дослідження систем управління. URL: <http://examen.od.ua/upravlen/page117.html> (дата звернення 22.02.24).

48. Інформаційні технології в металургії. URL: it.edu.ua/news/16-05-2022-informatsijni-tekhnologiji-v-metalurgiji-ta-mashinobuduvanni-itmm-2022 (дата звернення 15.10.24).

49. Металургійні підприємства України. URL: http://www.steeltorg.com.ua/mp/mp_27.php (дата звернення 20.02.24).

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 13.05.2024).