

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 трьохзонної методичної печі в умовах металургійного виробництва. Система автоматичного регулювання тиску у методичній зоні»

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)

Скірта О.М.
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., Овчинникова І.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

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

Запоріжжя 2024

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Рівень вищої освіти 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» 06 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ

Вирті Олександр Михайловичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Проект автоматизації трьохзонної методичної печі в умовах металургійного виробництва. Система автоматичного регулювання тиску у методичній зоні»
керівник роботи Пазюк Михайло Юрійович, докт.техн. наук, проф
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «26» грудня 2023 року № 2212-с
2. Строк подання студентом роботи 15.06.2024
3. Вихідні дані до роботи: технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз існуючого рівня автоматизації, розробка технічного завдання, проектування систем автоматизації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) функціональна схема автоматизації, принципова електрична схема, монтажно-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 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення особливостей технологічного процесу	20.04.24	
2	Аналіз стану об'єкта та існуючих систем автоматизації	21.04.24	
3	Розробка технічного завдання	04.05.24	
4	Моделювання САР	10.05.24	
5	Підбір технічних засобів автоматизації для систем керування	20.05.24	
6	Визначення і опис небезпечних і шкідливих факторів на виробництві	21.05.24	
7	Розрахунок техніко-економічних показників проєкту і рекомендацій з охорони праці і навколишнього середовища	02.06.24	
8	Проходження нормконтролю	10.06.24	
9	Підготовка доповіді	15.06.24	

Студент

Скирта О.М.
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту)

Пазюк М.Ю.
(ініціали та прізвище)Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

Овчинникова І.А.
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

На пояснювальну записку кваліфікаційної роботи бакалавра на тему: «Проект автоматизації трьохзонної методичної печі в умовах металургійного виробництва. Система автоматичного регулювання тиску у методичній зоні», яка включає 120 стор. машинописного тексту, 23 рис., 7 табл., 51 найменування переліку використаних джерел.

Мета роботи полягає у створенні системи для автоматизації трьохзонної методичної печі в умовах металургійного виробництва. Система автоматичного регулювання тиску у методичній зоні

У вступі надається огляд характеристик трьохзонної методичної печі та опис технологічного процесу термічної обробки. Далі досліджується поточний рівень автоматизації та виявляються недоліки існуючої системи.

У спеціальній частині розробляється функціональна схема автоматизації методичної 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, МЕТОДИЧНА ПІЧ, МЕТОДИЧНА ЗОНА, ТИСК, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПРОЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОНТРОЛЕР, ЩИТ, ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА, МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ З ПОГЛЯДУ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	9
1.1 Режими нагрівання металу.....	9
1.2 Основні елементи конструкції й принцип роботи методичної печі	12
1.3 Технічне завдання до системи автоматизації, що розробляється	14
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ МЕТОДИЧНОЇ НАГРІВАЛЬНОЇ ПЕЧІ	18
2.1 Обґрунтування цілей створення проекту автоматизації.....	18
2.2 Вибір та обґрунтування системи автоматизації.....	21
2.3 Принципи управління технологічними параметрами	22
2.4 Інформаційне забезпечення системи автоматизації	25
2.5 Обґрунтування схеми інформаційного забезпечення системи управління ..	27
3 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	33
3.1 Вибір датчиків і блоків регулювання.....	33
3.2 Проектне компонування мікропроцесорного контролера SIEMENS S7-300	41
3.3 Виконавчі пристрої	44
3.4 Вибір і обґрунтування функціональної схеми контролю й управління	47
3.4.1 Температура в печі.....	47
3.4.2 Тиск у робочому просторі печі	48
3.4.3 Співвідношення «паливо-повітря».....	48
3.4.4 Загальні виміри.....	49
3.4.5 Відсічення газу й сигналізація	50
4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ САР	51
4.1 Розробка принципової електричної схеми	51
4.2 Розробка схеми зовнішніх з'єднань, вибір щитів.....	52
4.3 Розрахунки регулювального органа й виконавчого механізму.....	53

4.4 Розрахунок звужуючого пристрою	65
4.5 Розрахунки системи автоматичного регулювання тиску в методичній печі	68
5 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ МЕТОДИЧНОЇ ПЕЧІ	
5.1 Розробка математичної моделі САР	70
5.2 Розрахунки надійності системи автоматики методичної печі	77
5.3 Розробка програми контролера	80
6 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ	
6.1 Розробка функціональної схеми	83
6.2 Розробка принципової електричної схеми	84
6.3 Розробка принципової електричної схеми живлення	84
6.4 Розробка монтажної комутаційної схеми щита КВПіА	84
6.5 Зовнішній вид шафи та вид внутрішній панелі	85
6.6 Розробка схеми зовнішніх з'єднань системи автоматичного регулювання витрати природного газу	86
7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації	87
7.2 Розрахунок техніко – економічних показників	89
7.2.1 Визначення капітальних вкладень	89
7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат	90
7.2.3 Річні витрати на ЗП	90
7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань	91
7.2.5 Річні витрати на ремонт	92
7.2.6 Витрати електроенергії на живлення	92
7.2.7 Інші витрати	92
7.2.8 Валова річна економія витрат	93
7.2.9 Фактична економія витрат	94
7.2.10 Річний економічний ефект	95

8 ЗАХОДИ ПО ТЕХНИЦІ БЕЗПЕКИ І ПОЖЕЖОГАСІННЮ	96
8.1. Аналіз потенційно небезпечних і виробничих зашкоджень.....	96
8.2. Оцінка умов праці	101
8.3 Загальні заходи щодо забезпечення (підвищенню) безпеки	103
8.3.1 Заходи щодо підвищення безпеки при роботі рухомих механізмів	103
8.3.2 Заходи щодо підвищення безпеки при виконанні підйомно- розвантажувальних робіт	103
8.3.3 Електробезпека	104
8.3.4 Вентиляція.....	105
8.3.5 Захист від шуму	110
8.3.6 Засоби захисту від теплового й інфрачервоного випромінювання.....	111
8.3.7 Освітлення виробничих приміщень	111
8.4 Пожежна безпека.....	112
ВИСНОВКИ.....	115
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	116

ВСТУП

Термічна обробка – найпоширеніший у сучасній техніці спосіб поліпшення властивостей виробів з металів і сплавів. Її застосовують як проміжну операцію для поліпшення технологічних властивостей і як остаточну операцію для додання виробам такого комплексу механічних, фізичних і хімічних властивостей, які забезпечує необхідні експлуатаційні характеристики виробу.

Термічні печі повинні забезпечувати високу точність виконання заданого режиму термообробки та рівномірність температурного поля в повному обсязі робочого простору й на поверхні садки, а також витратити мінімальну кількість палива.

Вони повинні бути придатні для виконання різних видів термічної обробки в широкому діапазоні температур і дозволяти управляти циклом обробки в автоматичному режимі. Виконання необхідних вимог можливо тільки у випадку строгого дотримання температурного режиму обжигу, встановленого залежно від марки сталі, величини й маси рулонів і швидкої зміни температури робочого простору, температурні межі термічного процесу, час витримки металу. З огляду на значний негативний вплив коливання температури у системі печі на якість термічної обробки злитків і, отже, на якість самого металу, що нагрівається, доходимо висновку про необхідність автоматизації нагрівання матеріалів у методичних печах, що дозволить точно виконувати вимоги інструкції ведення процесу й тим самим зменшити відсоток браку металу по нагріванню.

Впровадження автоматизації теплових металургійних агрегатів приводить до скорочення участі робочої сили в їхньому управлінні. Завдяки автоматизації з'являється можливість збільшити продуктивність агрегату й знизити собівартість продукції.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ З ПОГЛЯДУ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Режими нагрівання металу

Високопродуктивна й економічна робота прокатних цехів у значній мірі визначається станом і роботою нагрівальних печей. Найпоширенішими з них є методичні нагрівальні печі.

Конструкції методичних печей розвивалися в напрямку скорочення тривалості нагрівання, підвищення продуктивності, збільшення теплової потужності, механізації й автоматизації теплового режиму й трудомістких процесів.

Методичні печі, як і інші нагрівальні пристрої являють собою агрегати, у яких відбуваються складні комплексні теплотехнічні процеси спалювання палива, руху газів, теплообміну, нагрівання металу. Разом з тим, як теплообмінні апарати вони мають свої специфічні особливості.

Класифікація методичних печей по температурному й тепловому режимах відображає не конструктивні, а режимні особливості печі, хоча останні значною мірою залежать від конструкції печі.

Під температурним режимом методичної печі варто розуміти характер зміни температури джерела тепла (газів і кладки печі) під час нагрівання або по довжині робочого простору

Під тепловим режимом варто розуміти характер зміни теплових потоків, що впливають на метал за час нагрівання або по довжині печі. Цей режим може бути зображений на тепловій діаграмі.

На рисунку 1.1 представлені діаграми трьохзонного температурного й теплового режимів. При такому режимі робочий простір печі по довжині можна розділити на три характерних температурних зони: нагрівання,

витримки й методичну. При трьохзонному режимі в зоні нагрівання підтримується більш висока температура, ніж у зоні витримки.

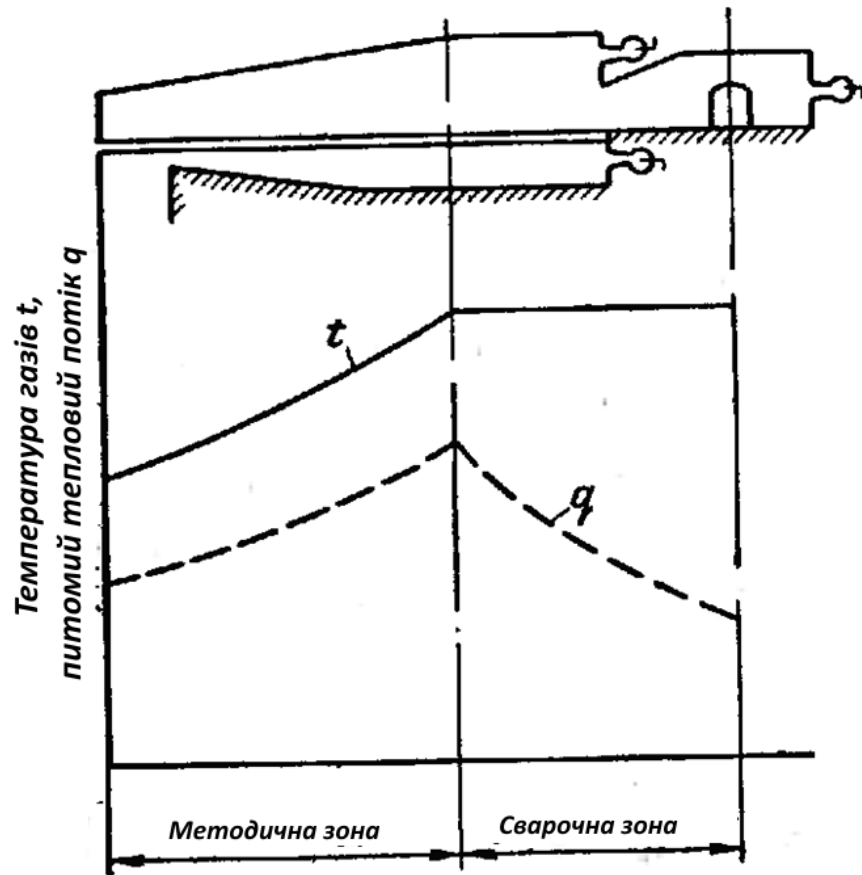


Рисунок 1.1 – Діаграми трьохзонного температурного й теплового режимів методичних печей

Томильна зона служить для вирівнювання температур по перетину металу після його форсованого нагрівання у зварювальній зоні. У нашому випадку для нагрівання перед прокаткою різних марок сталей використовується 3-х зонна прохідна методична піч. По теплотехнічних умовах методична піч може мати не більше трьох зон: для нагрівання газами, що володіють тільки фізичним теплом; для нагрівання з використанням як фізичного, так і хімічного (що виділяється при горінні) тепла, у якій на поверхні матеріалу, що нагрівається, досягається максимальна температура (друга зона); для вирівнювання температури в виробках, що нагріваються (третья зона).

Кожної із зазначених зон відповідають власні граничні умови й рішення диференціального рівняння теплопровідності, а отже, і методи інженерних розрахунків.

У конструктивному відношенні відособлених частин робочого простору може бути й більше, і менше, ніж теплотехнічних зон.

Так, верхня й нижня частини однієї й тої ж зони розглядаються окремо, хоча й виконують однакові теплотехнічні функції. Крім того, при установці пальників на торцевих стінах верхні й нижні частини другої зони ділять на кілька камер, тому що, якщо не зробити цього, довжина струменів виявиться недостатньою для забезпечення інтенсивного теплообміну на всьому її протязі. У цьому випадку розходження між теплотехнічним і конструктивним розподілом методичних печей на зони, навпаки, не можна виявити по конструктивних ознаках можливої теплотехнічної границі між зонами, піч виглядає в конструктивному відношенні як однозонна, хоча може мати всі три теплотехнічні зони.

Надалі будемо застосовувати тільки теплотехнічний розподіл методичних печей на зони.

Просування заготівель здійснюється за допомогою штовхальників. Метал у своєму русі послідовно проходить зони печі: методичну (зону попереднього підігріву), нагрівання й зону витримки. Продукти згоряння рухаються назустріч металу. Кількість зон визначається заданим температурним режимом нагрівання.

У зоні нагрівання відбувається спалювання палива, температура в ній постійна по довжині. У методичній зоні відбувається утилізація тепла відхідних газів і її температура знижується до вікна посаду. Завданням нагрівання є одержання припустимого перепаду температур по перетину заготівлі при заданій кінцевій температурі поверхні. Для зменшення величини різниці необхідно наближати температуру зони нагрівання до кінцевої температури поверхні, а для збільшення інтенсивності нагрівання необхідно прагнути до збільшення температури цієї зони. Це протиріччя

вирішується при трьохзонному режимі, де з'являється спеціальна зона витримки, у якій підтримують постійну температуру, більше низьку, ніж у зоні нагрівання: на 30 – 50°C вище необхідної температури металу, і в якій відбувається вирівнювання температур по перетину.

Методична піч є агрегатом безперервної дії з розподіленими по довжині й постійними в часі температурним і тепловим режимами (при певній продуктивності).

Температура нагрівання металу залежить від марки сталі й становить для рядових марок сталі 1200 – 1250 °С. Для більше глибокої утилізації тепла на печах встановлюють рекуператори: керамічні й металеві – для підігріву повітря.

1.2 Основні елементи конструкції й принцип роботи методичної печі

У прокатному виробництві широке поширення для нагрівання металу одержали методичні печі досить різноманітні по конструкції.

За принципом дії методична піч є піччю безперервної дії, хоча посадка в неї злитків або заготівель відбувається через ті або інші проміжки часу.

Однією з основних особливостей методичних печей є протиточний рух у них газів і металу. Загальний вид методичної печі наведений на рисунку 1.2. Метал, що нагрівається, 1 штовхальником 2 переміщується по водоохолоджуючих трубах 3. Паливо спалюється за допомогою пальників 4, розташованих над поверхнею металу. Продукти згоряння двома потоками верхнім і нижнім рухаються уздовж робочого простору печі в напрямку, протилежному руху металу, тобто протитоком. Через димові канали 5 продукти згоряння виділяються з боровів 6 і з нього через рекуператор 7 і димар 8 в атмосферу. Нагрітий метал через вікно видачі попадає на рольганг і по ньому надходить до прокатного стану.

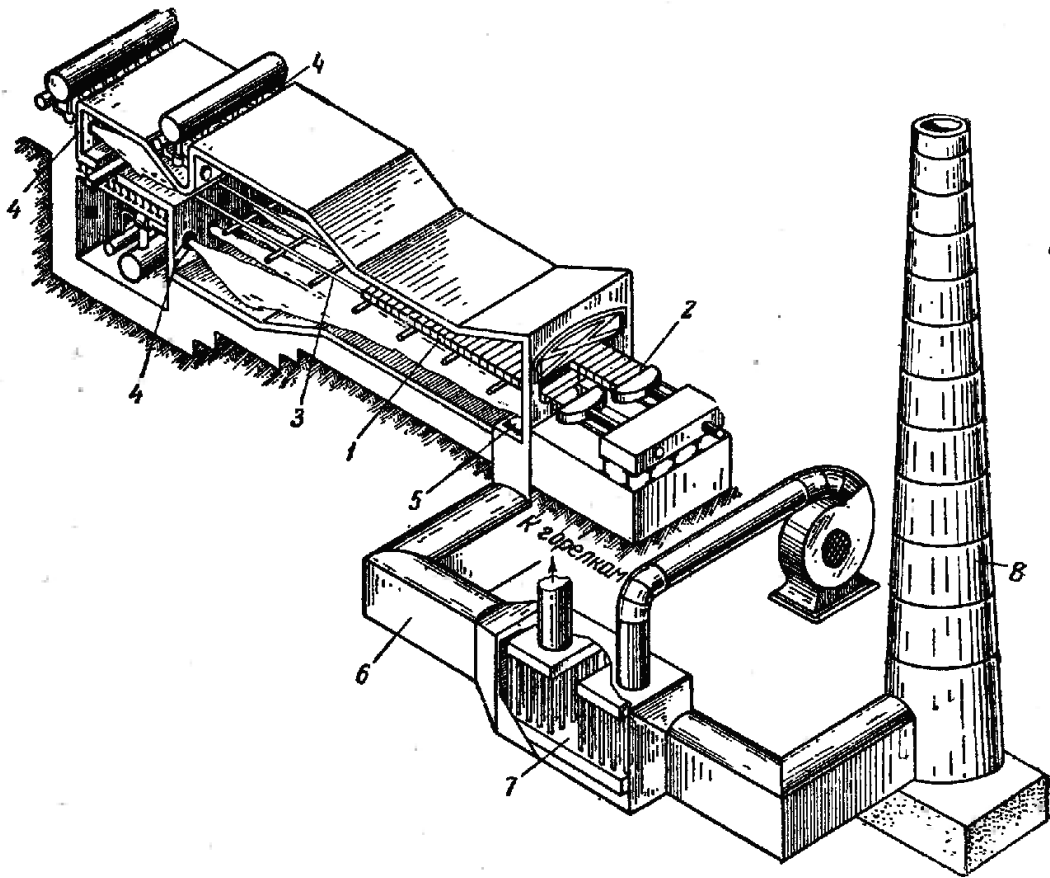


Рисунок 1.2 – Конструкція методичної нагрівальної печі

Кожна зона має певну кількість паливних пристроїв залежно від габаритних розмірів і продуктивності печі, розташовуваних у зовнішніх бічних стінах печі. Видалення димових газів з камер печі провадиться через вікна, розташовані на рівні поду між пальниками, і через отвори в сифонних цеглах, покладених уздовж стіни.

Далі гази за допомогою димососа надходять у загальні димові канали під піччю, а потім викидаються в атмосферу по трубі.

Повітря до пальників подається від вентилятора типу ВВД-11.

Піч обладнана двома футерованими заслінками, підйом і опускання яких здійснюється електролебідками. Для регулювання тиску в робочому просторі печі на загальному боріві перед димососом установлений поворотний шибєр.

Режим роботи печі безперервний. Найбільш газу витрачається в період нагрівання в зоні нагрівання. Потім у зоні витримки витрата газу зменшується й досягає певного мінімуму до моменту, коли злитки нагріваються до заданої температури. При однобічному розташуванні пальників у звичайному режимі роботи неможливо забезпечити рівномірне нагрівання заготовель по робочому просторі через нерівномірність температурного поля в кожній умовній зоні печі. Як показала практика на «Запоріжсталі» перепад температур досягає 100-120 °С по просторі заготовлі. У цьому випадку для одержання якісного нагрівання потрібен більший час витримки, що однаково повністю не усуває перепад. Збільшення часу витримки приводить до зниження продуктивності печі, перевитрати дорогого палива, підвищеній окалиноутворювання. Зазначений перепад по нагріванню приводить до браку в процесі прокатки.

Піч оснащена приладами КВПтаА, звуковою й світловою сигналізацією падіння тиску газу й повітря.

1.3 Технічне завдання до системи автоматизації, що розробляється

Метою автоматизації методичної печі є підвищення її техніко-економічних показників, забезпечення стабільного теплового режиму, підвищення якості продукції й зменшення собівартості продукції, полегшення праці обслуговуючого персоналу.

Прокатний стан обслуговується декількома печами, з яких нагрітий метал через вікно видачі надходить на загальний рольганг і подається до стана. Методичні печі працюють в умовах змінної продуктивності стана, параметрів металу, що завантажується: температури, розмірів, марки.

Завдання оптимального управління процесом нагрівання металу, у методичній печі, полягає в підтримці температурного режиму в умовах змінної продуктивності. Заданий режим повинен забезпечувати максимальну якість нагрівання заготовель нержавіючої сталі.

З огляду на аналіз параметрів об'єкта управління, встановлено технічне завдання на проектування АСУ процесом термообробки металу в методичній печі:

1. Температуру в робочому просторі печі регулювати втратою природного газу. Як управляючі впливи розглядати зміну швидкості руху заготівель і їхніх геометричних розмірів, а також підсмоктування холодного повітря через завантажувальні вікна.

Температурний режим у печі визначає тепловіддачу до металу, розподіл у масі металу, інтенсивність утворення окалини, зношування конструкцій печі й інших найважливіших параметрів, які характеризують процес теплової обробки металу й роботу печі. Автоматичне регулювання температурного режиму є, як правило, основним завданням системи автоматизації методичної печі.

1. Тиск у робочому просторі печі регулювати шиберною заслінкою шляхом зміни розрідження в димовому каналі. Як керуючий вплив розглядати зміну витрати продуктів згоряння.

Від режиму тиску в робочому просторі печі залежить якість нагрівання металу й економічність роботи агрегату. Надлишковий тиск у печі приводить до вибивань газів через нещільності в кладці, завантажувальні вікна в навколишнє середовище. При цьому з робочого простору виноситься тепло, викликається прискорене зношування зовнішніх конструкцій печі, утрудняється візуальний контроль і обслуговування агрегату й забруднюється атмосфера цеху. При надмірно низькому тиску: у робочий простір засмоктується холодне атмосферне повітря, знижується температура в печі, нерівномірно охолоджується кладка й метал, відбувається додаткове окалиноутворення. Таким чином, коливання тиску в печі приводять: до перевитрати палива й зниженню техніко-економічних показників.

3. Співвідношення «паливо-повітря» регулювати зміною видатку вентиляторного повітря, що подається до паливних пристроїв. Як керуючий вплив розглядати зміну видатку природного газу.

Від співвідношення «паливо-повітря», тобто від кількості подаваного для спалювання газу й повітря залежить повнота згоряння природного газу. Це визначає видаток природного газу на нагрівання одиниці продукції. Відомо, що недолік повітря в процесі горіння приводить до неповного згоряння палива, збільшенню кількості СО у димових газах, а отже до перевитрати дорогого енергоносія й забруднення навколишнього середовища. Надлишок повітря збільшує кількісне втримування кисню в печі, що приводить до посиленого окалиноутворювання. Крім того з надлишковим повітрям з печі виноситься тепло, що також приводить до перевитрати палива.

4. Безпека ведення процесу нагрівання.

Автоматизація нагрівальної печі необхідна не тільки для одержання якісної продукції, але й для безпечної роботи агрегату.

У процесі автоматичного управління нагріванням металу необхідно передбачити наступні блокування й сигналізацію:

– відсічення природного газу при падінні його тиску нижче припустимого, передбачити сигналізацію;

– відсічення подачі природного газу при падінні тиску повітря нижче припустимого, передбачити сигналізацію.

У процесі роботи агрегату необхідно реєструвати наступні параметри:

- контроль температури в зонах нагрівання;
- контроль температури в зоні витримки;
- контроль температури повітря й диму після рекуператора;
- контроль температури природного газу;
- контроль температури металу на виході за піччю;
- контроль температури повітря перед рекуператором;

- контроль тиску газу перед піччю;
- контроль тиску повітря до й після рекуператора;
- контроль витрати й облік газу в цілому на піч;
- регулювання температури в зоні нагрівання;
- регулювання температури в зоні витримки;
- регулювання співвідношення « газ-повітря» у зонах нагрівання;
- регулювання співвідношення « газ-повітря» у зоні витримки;
- регулювання тиску в робочому просторі печі;
- аналіз хімічного складу продуктів згоряння;
- контроль температури металу на виході з печі.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ МЕТОДИЧНОЇ НАГРІВАЛЬНОЇ ПЕЧІ

2.1 Обґрунтування цілей створення проекту автоматизації

Однім з основних завдань організації теплової роботи методичних печей прохідного типу є забезпечення технологічно необхідної точності й технологічної рівномірності нагрівання виробів. При східчастих температурних режимах якісна сторона нагрівання вирішується в основному наприкінці нагрівання. Вирівнювання температур по перетині виробів протікає при безупинно зменшуваних теплових потоках на поверхню виробу, при цьому навіть незначна нерівномірність розподілу температур у газовому обсязі може стати причиною нерівномірності нагрівання. Температурне поле формується газами, що гріють та рухаються. У нагрівальних методичних печах характер руху газів у робочих зонах визначається такими основними факторами: розміщенням по висоті - висотою стінок печей паливних пристроїв і каналів відводу відпрацьованих грубних газів; динамікою дії струменів від пальників або форсунок; тиском газів у грубному просторі.

Важливим фактором, що впливає на якість теплової роботи печі і якість нагрівання металу, є тиск пічних газів у робочому просторі печі. Тиск у робочому просторі печі залежить від характеру руху нагрітих пічних газів, а також від висоти димарів або роботи димососів.

Оптимальним тиском грубних газів у робочому просторі вважається деякий надлишковий тиск, який не більше 10...20 Па атмосферного. Практично на це буде вказувати наявність невеликих язичків полум'я, які будуть вибиватися із щілин. Негативним явищем вважається, коли тиск на поді буде менше атмосферного. У цьому випадку холодне повітря буде засмоктуватися в робочу камеру печі, тобто температура печі буде знижуватися, витрата палива збільшиться, а вільний кисень збільшить

інтенсивність окислювання металу. Також погано, коли тиск на поді набагато більше атмосферного. Надто високий тиск у полум'яній печі приводить до вибивань газів через нещільності в кладці, завантажувальні вікна в навколишнє середовище. При цьому з робочого простору виноситься тепло, викликається прискорене зношування зовнішніх конструкцій печі, ускладнюється візуальний контроль і обслуговування агрегату й забруднюється атмосфера цеху. Таким чином, коливання тиску в печі приводять: до перевитрати палива й зниженню техніко-економічних показників.

Тиск у печі регулюють зміною аеродинамічного опору димоходів за допомогою шибера. Положення шибера перед димарем регулюється так, щоб на рівні поду підтримувався атмосферний тиск. У цьому випадку вище рівня поду тиск у робітникові просторі печі буде надлишковим, а нижче від поду з'явиться невелике розрідження, що створює ефект видалення відпрацьованих грубних газів через димоходи. Стабілізація методичного режиму дозволить підтримувати температуру у всіх точках робочого простору практично однакової й тим самим вирішити завдання забезпечення якості нагрівання.

Реалізація оптимальної програми зміни в часі теплового впливу на що нагріваються изделия неможлива без устаткування, необхідного для чіткої реалізації в часі зазначених впливів.

Існуюча автоматична система регулювання тиску в робочому просторі печі і її складові частини морально й фізично застаріли. Середній вік приладів 20-30 років, на їхнє обслуговування й ремонти слюсарями КВП та А витрачається значний час. Установлені датчики виміру витрат типу ДКО мають ряд істотних недоліків, зокрема одним з характерних недоліків є наповнення таких датчиків маслом. При різких коливаннях тиску в печі відбувається вибивання масла в імпульсні канали, що приводить до виходу зі строю всієї системи автоматичного регулювання. Також ці прилади не відповідають сучасним вимогам по обслуговуванню й точності вимірів, їх

пропонується замінити сучасними мікропроцесорними програмованими датчиками типу Метран-100ДИ зі стандартним аналоговим струмовим вихідним сигналом і цифровим вихідним сигналом на базі HART-Протоколу.

Рішення завдань оптимального управління процесом термічної обробки металу, зводиться до створення розвинених систем автоматичного управління із застосуванням засобів електронно-обчислювальної техніки. ЕОМ здійснює контроль параметрів і управління ходом технологічного процесу. Впровадження ЕОМ у процес термічної обробки металу в методичній печі, дозволить вирішити ряд завдань:

- зниження витрати палива на нагрівання металу;
- максимальне зниження відхилення температури металу на виході від заданого значення;
- збільшення продуктивності агрегату.

Основним завданням, яку необхідно вирішити при автоматизації методичної печі, є забезпечення точного нагрівання металу й корекція рівня стабілізованої температури по зонах печі, при зміні продуктивності агрегату й марок металу, що нагрівається.

Через складність управління температурним режимом нагрівання металу, доцільно виконувати управління технологічним процесом за допомогою контролера – SIEMENS S 7-300 і ЕОМ.

Вибір контролера SIEMENS S 7-300 і ЕОМ обумовлений: необхідними для роботи агрегату експлуатаційними параметрами, чітким прийомом і видачею керуючих сигналів, сумісністю, можливістю роботи у важких промислових умовах, достатньою надійністю, простотою в установці й обслуговуванні, можливістю об'єднання декількох контролерів у мережу, передача на відстань даних про процес управління, можливість дистанційного коректування параметрів регулювання, зміна зазаяв й іншими якостями.

2.2 Вибір та обґрунтування системи автоматизації

Для створення умов надійної роботи в методичній печі необхідно забезпечити підтримку параметрів процесу на певному рівні.

Функції по керуванню процесом термічної обробки:

1. Контроль технологічних параметрів, їхня оцінка й сигналізація виходу параметрів за встановлені межі:

а) при зниженні тиску в трубопроводі вентиляторного повітря нижче встановленого рівня

б) при відхиленні температури в робочому просторі печі;

в) при зниженні тиску в трубопроводі природного газу;

г) при зниженні розрідження перед димососом.

2. Програмне регулювання температури за рахунок зміни співвідношення витрат природного газу й повітря в паливній пристрої.

3. Стабілізація розрідження перед димососом.

4. Підтримка необхідного співвідношення газ- повітря

5. Інформаційне обслуговування операторів технологічних постів.

6. Облік роботи системи автоматизації й видача повідомлень у випадку відмови технічних засобів автоматизації.

Метою створення системи є:

– поліпшення управління процесом нагрівання заготівель за рахунок надання оперативному персоналу повного обсягу обробленої інформації про хід і результати роботи об'єкта;

– одержання металу із заданими параметрами за рахунок зменшення відхилення температури димових газів у різні моменти процесу;

– скорочення витрати палива, за рахунок підвищення ефективності управління;

- контроль параметрів (зміна параметрів, порівняння поточного значення параметра із завданням; визначення й видача регулюючого впливу);
- дистанційне управління технологічним устаткуванням і виконавчими пристроями;
- вимірвальне перетворення;
- контроль і сигналізація стану устаткування (діагностика й пошук несправності, видача результатів на реєстрацію, видача причин і результатів порушення режиму роботи на реєстрацію й сигналізацію, визначення перевищення діапазонів зміни параметрів, розрахунок відхилень параметрів від що задають уставок);
- стабілізуюче регулювання;
- вибір режиму роботи регуляторів і ручне управління задатчиками;
- ручне введення даних;
- реєстрація параметрів.

2.3 Принципи управління технологічними параметрами

У зв'язку з тим, що рівень автоматизації методичної печі прокатного стана не задовольняє вимогам, які пред'являються до технології, необхідно застосувати структурну схему автоматизації методичною піччю, представлену на рисунку 2.1.

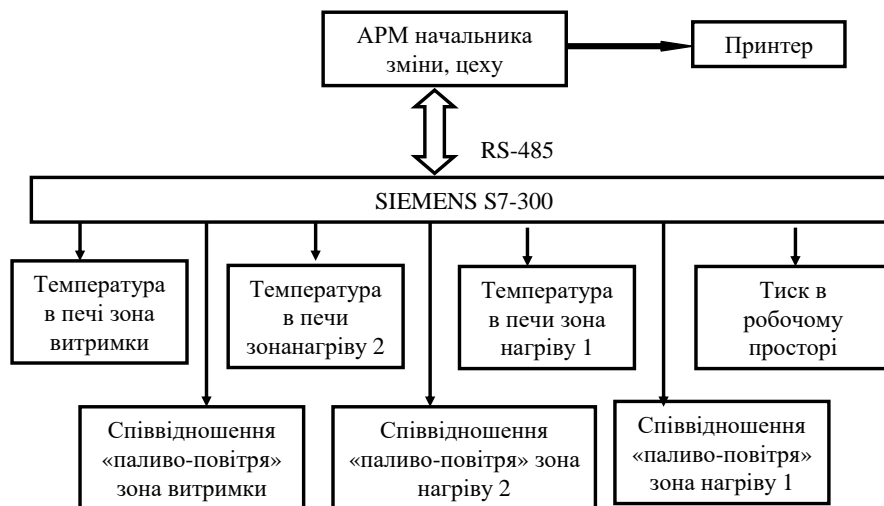


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизації методичної печі

Автоматизована система управління (далі АСУ) методичною піччю складається із трьох рівнів: рівень контролерів, операторський і адміністративний рівні.

На нижньому рівні управління технологічним процесом розташований контролер типу SIEMENS S 7-300.

Нижній рівень системи також містить у собі первинні датчики температури, тиску, витратоміри, блоки живлення, пускачі й виконавчі механізми. В АСУ методичною піччю, реалізовані наступні системи автоматичного регулювання: тепловим режимом печі (САР температури зон нагрівання й САР температури зони витримки); тиску в робочому просторі печі (САР тиску в печі); співвідношення «газ-повітря» (САР співвідношення зон нагрівання й САР співвідношення зони витримки).

Вибір технічних засобів обумовлений необхідними для роботи експлуатаційними параметрами: технологічними можливостями апаратури, простотою в установці й обслуговуванні, сумісністю технічних засобів, оптимальною відповідністю розв'язуваним завданням, надійністю й ін.. У даній системі передбачаються уніфіковані сигнали від датчиків по струму й напрузі й тому можуть бути заведені на контролер.

Як мікропроцесорний контролер обраний SIEMENS S 7-300, що являє собою компактний IBM PC сумісний програмувальний мікроконтролер,

призначений для використання в локальних і розподілених системах автоматизації як автономний пристрій управління. Забезпечує прийом і видачу аналогових і дискретних сигналів, первинне перетворення сигналів по запрограмованим користувачем алгоритмам і обмін інформацією з послідовних каналів зв'язку на базі інтерфейсу RS- 485 або Ethernet. Контролер має відкриту архітектуру й може програмуватися як за допомогою традиційних мов програмування, так і за допомогою мов логічного програмування у відповідності зі стандартом IEC 61131. Вдало сполучить у собі якості програмувального логічного контролера із простий і відкриту архітектуру IBM PC сумісних комп'ютерів.

На операторському рівні розташована робоча станція типу AWS - 8430.

На робочій станції оператора встановлений монітор реального часу, з його допомогою здійснюється супервізорний контроль і управління технологічними процесами в методичній печі. Під управлінням МРВ виконуються такі завдання, як:

- запит даних про стан технологічного процесу з контролера нижнього рівня по кожному з убудованих протоколів або через драйвер;
- передача на нижній рівень команд управління по кожному з убудованих протоколів або через драйвер;
- обмін даними із платами УСО;
- управління сервером документування;
- збереження даних в архівах;
- передача даних по мережі на наступний рівень АСУ;
- подання операторові графічної інформації про стан технологічного процесу;
- автоматичне й супервізорне управління технологічним процесом.

На адміністративному рівні перебуває АРМ диспетчера на основі процесора core-i7 і сервер документування.

У якості ПК диспетчера й сервера архівування використовуються офісні комп'ютери, оскільки вони встановлюються в чистих приміщеннях. Як периферійні засоби використовуються принтери. До принтерів пред'являються вимоги по простоті використання й обслуговування, високої швидкості печатки й надійності, не потрібне висока якість печаті. Був обраний лазерний принтер Xerox Phaser-3117.

У системі також використовуються джерела безперебійного живлення (ДБЖ) BR8001. Один ДБЖ використовується для забезпечення напруги живлення при відключенні електроенергії контролера (через блок живлення контролера), другий - для живлення робочої станції оператора, третій – для сервера архівування даних, четвертий – для живлення АРМ диспетчера.

Застосування запропонованої АСУ дозволяє істотно збільшити продуктивність методичної печі, поліпшити якість термообробки стали, забезпечити своєчасне одержання різної інформації про роботу печі й дозволить контролювати використання енергоресурсів.

2.4 Інформаційне забезпечення системи автоматизації

Аналіз потоків, використовуваної на виробництві інформації, є частиною комплексу робіт із проектування, тому що він формує базу для всіх наступних операцій проектування. Як основні поняття використовують інформацію й потік інформації.

Серед потоків інформації прийнято виділяти:

- мовну передачу інформації;
- передачу інформації за допомогою документів;
- передачу інформації з використанням технічних засобів;
- передачу інформації з автоматичним уведенням повідомлень.

При аналізі потоків інформації рекомендується використовувати дві основні методики:

- спочатку визначається функціональний зв'язок повідомлень, а потім здійснюється формування загального потоку інформації;

- спочатку враховується структура управління об'єктом, на основі якої визначаються потоки інформації.

При аналізі потоків інформації доцільно розділити її на змінну й постійну. Постійна робота характеризує роботу об'єкта протягом досить тривалого часу. З урахуванням можливої зміни цієї інформації, її прийнято називати умовно-постійною. Це означає, що протягом обраного інтервалу часу зазначені параметри можуть змінюватися не більше, ніж на 15%. Якщо зміни перевищують даний рівень, інформацію відносять до змінного.

Для зменшення обсягу інформації й зниження витрат на її обробку рекомендується впорядковувати її потоки. Під упорядочиванням потоків інформації мається на увазі проектування нових потоків даних. Часткове упорядочивання базується на зміні існуючих потоків інформації.

Також необхідно враховувати, що важливі складові частиною цього процесу є раціоналізація й підпорядкування самої інформації. Як основні фактори, що забезпечують рішення поставленої задачі, зниження вартості інформації, рекомендуються наступні:

- зниження вартості отриманих даних;
- зменшення витрат, необхідних для вироблення рішень і виділення управляючих впливів.

При цьому необхідно враховувати наступні етапи перетворення інформації:

- виділення інформації;
- запам'ятовування й підготовка до передачі;
- передача інформації;
- прийом, фіксація й первинна обробка інформації.

Важливим параметром, що характеризує якість передачі інформації, є її вірогідність. Для її збільшення рекомендується користуватися трьома напрямками:

- поліпшення якості технічних засобів;
- збільшення кількості використовуваної апаратури;
- застосування спеціальних кодів для передачі й зберігання інформації.

2.5 Обґрунтування схеми інформаційного забезпечення системи управління

Інформаційне забезпечення в цілому являє собою сукупність матеріальних, енергетичних і інформаційних потоків, і дозволяє досить повно й глибоко проаналізувати хід виробничого процесу, що сприяє правильній постановці завдань, розв'язуваних при проектуванні АСУ ТП.

Призначення інформаційного забезпечення – створення єдиної інформаційної бази для рішення завдань управління технологічними процесами термічної обробки, здійснення періодичного контролю за станом технологічних процесів, своєчасна сигналізація оперативному персоналу про порушення технологічних режимів, а також періодичне подання облікової й аналітичної інформації керуючому персоналу цеху.

Основна мета – представити для управління технологічним процесом повний обсяг оперативної інформації про його стан у кожний момент часу, тим самим здійснити контроль за веденням технологічного процесу й за споживанням енергоресурсів.

Таким чином, для якісного ведення процесу термічної обробки необхідно мати дані про процес, як про систему технологічного встаткування й інформаційних потоків між ними, рисунок 2.1.

Сировиною, що надходить на об'єкт управління, є метал, кінцева продукція – метал, що пройшов термічну обробку.

Крім сировини на об'єкт управління надходять природний газ, витрата й співвідношення палива та повітря, що визначає поточну теплову потужність печі.

У мікропроцесорний контролер (МПК) надходить поточна інформація про хід технологічного процесу й про стан технологічного агрегату у вигляді вхідних інформаційних потоків - $I_1 - I_{20}$:

I_1 – розрідження перед димососом;

I_2 – температура димових газів перед димососом;

I_3 – температура в робочому просторі печі зона витримки;

I_4, I_5 – температура в робочому просторі печі зонах нагрівання 1 і 2;

I_7, I_9 – витрати природного газу на горіння відповідно в зони нагрівання й витримки;

I_8, I_{10} – витрата вентиляторного повітря на горіння відповідно в зони нагрівання й витримки;

I_{11}, I_{12} – витрата й тиск у загальному (на піч) трубопроводі природного газу;

I_{13}, I_{14} – витрата й тиск у трубопроводі вентиляторного повітря;

I_{15}, I_{16} – інформаційний обмін між МПК і пультом управління (ПУ);

I_{17}, I_{18} – інформаційний обмін між МПК і управляючою обчислювальною машиною (УВМ);

I_{19} – тиск у робочому просторі печі;

I_{20} – спектральний аналіз продуктів згоряння.

Мікропроцесорний контролер взаємодіє з ЕОМ, що задає алгоритм управління термічною обробкою залежно від параметрів садки, таких, як марка металу, розміри, форма й маса заготівель. Паралельно з виконанням завдання мікропроцесорним контролером УВМ верхнього рівня розраховує

теоретичне температурне поле заготівель і корегує час термічної обробки шляхом (видачі) певних командних сигналів. Таке ведення процесу можливо завдяки двосторонньому зв'язку між контролерами й ЕОМ верхнього й нижнього рівнів, тобто такого зв'язку при якій обмін інформацією йде у двох напрямках, що й дозволяє вводити корегування в хід процесу, а також вести спостереження за ходом технологічного процесу, не перебуваючи в безпосередній близькості від об'єкт управління.

Мікропроцесорний контролер, одержуючи вхідну інформацію про параметри процесу, а також маючи алгоритми управління формує вихідний сигнал управління, впливаючи цим на об'єкт управління. У системі автоматичного управління процесу спалювання палива передбачена корекція по змісту СО у димових газах. На борві, через який відбувається видалення продуктів згоряння встановлюється чутливий елемент газоаналізатора. Наявність підвищеного змісту СО у продуктах згоряння говорить про погану якість спалювання палива, тобто про недостатню кількість вентиляторного повітря, що надходить до паливного пристрою. Аналіз відбувається в автоматичному режимі в реальному масштабі часу, з видачею корегувального впливу контролером виконавчим механізмам, у випадку відхилення хімічного складу продуктів горіння від заданого значення. У цьому випадку вихідними сигналами є :

U_1 – зміна положення димового шибера;

U_2, U_4 – зміна витрати природного газу, який подається на горіння відповідно в зони нагрівання й витримки;

U_3, U_5 – зміна витрати повітря, який подається на горіння відповідно в зони нагрівання й витримки.

Завдання й алгоритм управління в ході технологічного процесу можуть бути змінені оператором і тоді управління об'єктом буде здійснюватися по знову заданим уставкам.

Інформаційна схема управління процесом термічної обробки дозволяє візуально спостерігати матеріальні й інформаційні потоки, спрощено представити процес із погляду автоматичного управління, виділити контрольовані й регульовані параметри, а також визначити необхідну кількість і тип контурів регулювання.

Основним завданням інформаційного забезпечення є зміна, реєстрація, передача, обробка, зберігання й видача технічної й економічної інформації.

Інформаційне забезпечення передбачає уведення в ЕОМ попередньо формалізовані й однозначно представлені дані про стан технологічних процесів і переробку цих даних відповідно до певної програми й алгоритмами, а також подання зворотного зв'язку у вигляді виробничих документів.

Формовані виробничі документи підрозділяються на дві категорії: оперативні й звітні.

До оперативних документів ставляться протоколи нагрівів, картки нагрівів, добові графіки споживання електроенергії й записи аварійних терміналів.

До звітних документів ставляться зведені відомості витрат, калькуляції фактичної собівартості; зведення даних про споживання ресурсів і енергоносіїв; змінний, денний і місячний рапорти; відомості простоїв і роботи встаткування; розрахунок техніко-економічних показників роботи методичних печей.

2.6 Структура і метрологічні характеристики інформаційних каналів

Завдання метрологічного забезпечення полягає в забезпеченні необхідної точності виконуваних дій на всіх етапах технологічного процесу й на всіх рівнях управління.

Науковою основою метрологічного забезпечення є метрологія - наука про виміри, методи й засоби забезпечення їхньої єдності й досягнення необхідної точності. Технічну основу метрологічного забезпечення становлять:

– система державних еталонів одиниць фізичних величин і система зразкових засобів вимірів;

– система обов'язкових державних випробувань і система обов'язкової державної й відомчої перевірки засобів вимірів.

Основні цілі метрологічного забезпечення: підвищення якості продукції, ефективності управління виробництвом і рівня автоматизації виробничих процесів; уніфікація вузлів, блоків і агрегатів для кооперування виробництва і його спеціалізації; підвищення ефективності науково - дослідницьких і досвідчено – конструкторських робіт.

Метрологічне забезпечення встановлює наукові й організаційні основи, технічні й програмні засоби, правила й норми єдності заданої точності вимірів у процесі функціонування, налагодження й випробування АСУ.

Якісне ведення технологічного процесу є однієї з найважливіших завдань автоматизації технологічного процесу. У таблиці 2.1 наведені основні показники метрологічного забезпечення.

Таблиця 2.1 – Показники метрологічного забезпечення

Показники	Похибка вимірювання, %	Припустимі відхилення, %	Межі виміру
Температура в робочому просторі	± 0,5	± 8	0-1600 °C
Тиск газу на піч	± 1,5	± 3	0-1000 Па
Тиск повітря на піч	± 1,5	± 3	0-1000 Па

Витрата газу на піч	$\pm 0,5$	± 5	0-1000 м ³ /ч
Витрата повітря на піч	$\pm 0,5$	± 5	0-10000 м ³ /ч
Тиск у печі	± 2	$\pm 0, 2$	± 10 Па
Падіння тиску газу	± 1	± 2	100 Па
Падіння тиску повітря	± 1	± 2	100 Па

3 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір датчиків і блоків регулювання

В цьому розділі підібрані технічні засоби автоматизації, за допомогою яких буде реалізована АСУ ТП.

Температура вимірюється за допомогою термоперетворювачів ТХА та ТПР.

У якості термометрів опору обрано ТХА Метран- 205 і ТПР Метран- 206 (100П) (рис. 3.1.).

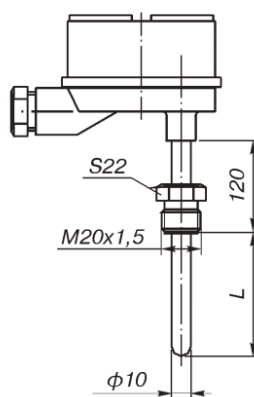


Рисунок 3.1 – ТХА Метран- 205 і ТПР Метран- 206

Призначення: термоперетворювачів хромель-алюмелевого ТХА Метран- 205 і платинового ТПР Метран- 206 призначені для виміру температури рідких і газоподібних хімічно неагресивних середовищ, а також агресивних, що не руйнують матеріал захисної арматур. Мають наступні характеристики:

- кількість чутливих елементів: 1;
- клас допуску: А, В;
- діапазон вимірюваних температур: -50...1300°C (для ТХА); -- 200...1600°C, (ТПР);
- ступінь захисту від впливу пилу й води: IP65 за ДСТ 14254.

Кліматичне виконання: В1.1 за ДСТ 15150, але для значень температури навколишнього повітря від -45° до 60°C ; Т3 по ДЕРЖСТАНДАРТ 15150, але для значень температури навколишнього повітря від -10° до 60°C з відносною вологістю до 98% при температурі 35°C .

Перевірка: періодичність – не рідше одного разу в рік, методика перевірки - відповідно до Держстандарт 8.461. Середній термін служби: не менш 5 років. Гарантійний строк експлуатації: 18 місяців з моменту введення в експлуатацію. Матеріал сполучної головки: поліамід Технамид® А-СВ 30-Л.

Прилади, що реєструють РП 160-28, 29, 38, 39 одноканальні з інтегратором (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Прилади, що реєструють, РП 160-28, 29, 38, 39 одноканальні з інтегратором

Призначені для виміру й реєстрації напруги постійного струму, а також температури, тиску, рівня, витрати й інших неелектричних величин, перетворених в електричні сигнали сили й напруги постійного струму або активний опір.

Прилади РП 160-28, 29, 38, 39, що працюють із вхідним сигналом $0...5$ мА, $0...20$ мА, $4...20$ мА, $0...10$ мВ, $0...20$ мВ, $0...50$ мВ, $0...100$ мВ, $0...10$ В, випускаються із вбудованим лічильником або з імпульсним виходом на

зовнішній лічильник для визначення сумарної кількості витрати рідини, газу, пари й ін. речовин.

Вихідні ланцюги пристрою, що сигналізує, розраховані на підключення активного й індуктивного навантаження в ланцюгах постійного й змінного струму напругою до 240 В, припустимий струм - 0,23 А и 0,5 А відповідно.

Блок ручного керування БРУ-10.

Блок ручного керування БРУ-10 призначений для використання в локальних і комплексних системах промислової автоматизації виробничих процесів як багатофункціональної станції ручного керування аналоговими або імпульсними виконавчими механізмами.

Блок БРУ-10 призначений для перемикання ланцюгів керування виконавчими пристроями й механізмами, індикації режимів робіт, індикації положення ланцюгів керування, а також виміру й індикації одного технологічного параметра.

Блок БРУ-10 працює під керуванням сучасного, високоінтегрованого мікроконтролера RISC архітектури, виготовленого по високошвидкісній КМОП технології з низьким енергоспоживанням.

Виконувані функції:

- вимір і індикація технологічного параметра положення виконавчого механізму;
- ручне або дистанційне перемикання з автоматичного керування на ручний і назад;
- кнопкове керування інтегруючими (імпульсними) виконавчими пристроями;
- кнопкове керування аналоговими виконавчими пристроями;
- індикація режимів керування;
- індикація сигналів регулюючого пристрою з імпульсним вихідним сигналом (сигнали типу більше-менше й сигнали ШІМ-Модулятора).

Блок БРУ-10 містить:

- два канали виміру аналогових величин;
- два задатчики – аналоговий і імпульсний;
- вбудований вузол індикації, що полягає з одного 4-х розрядного семисегментного індикатору й одного лінійного 21 сегментного світодиодного індикатору;
- клавіші керування виконавчими механізмами й задатчиками;
- клавіші програмування;
- клавіші АВТ і РУЧ для зміни режиму роботи – перемикання режиму керування – автомат або ручний;
- блок ручного керування БРУ-10 містить реле з магнітним блокуванням, які виконують функції перемикача на два положення. Перемикання реле відбувається при проходженні імпульсу постійного струму через відповідні обмотки.

Внутрішня програмна пам'ять блоку БРУ-10 містить велика кількість стандартних функцій необхідних для візуалізації й керування технологічними процесам, а так само розв'язку більшості інженерних прикладних завдань, наприклад, таких як:

- порівняння результату перетворення з уставками мінімум і максимум і сигналізацію відхилень;
- програмне калібрування каналів по зовнішньому зразковим джерелу аналогового сигналу;
- цифрова фільтрація;
- масштабування шкал вимірюваних параметрів;
- добування квадратного кореня;
- конфігурування блоку ручного керування, зміна його налаштувань і параметрів, здійснюється за допомогою клавіш передньої панелі або по інтерфейсу RS-485.

Параметри конфігурації блоку ручного керування БРУ-10 зберігаються в енергонезалежній пам'яті й прилад здатний відновити виконання завдань керування після переривання напруги живлення. Батарея резервного живлення не використовується.

Блок ручного керування БРУ-10 може використовуватися в якості:

– станції ручного керування аналоговим виконавчим механізмом, у тому числі з підтримкою функцій статичного й динамічного балансування для забезпечення режимів ненаголошеного перемикання виконавчого механізму. Є індикація режимів робіт. Станція ручного керування може бути сконфігурована із пріоритетом над автоматичним режимом керування;

– станції ручного керування аналоговим виконавчим механізмом з режимом відстеження внутрішнім задатчиком керуючого сигналу контролера;

– станції ручного керування імпульсним виконавчим механізмом. Станція ручного керування може бути сконфігурована із пріоритетом над автоматичним режимом керування;

– індикатору двох фізичних величин на одному вбудованому 4-х розрядному семисегментном індикаторі й на одному лінійному 21 сегментному світлодіодном індикаторі, з можливістю масштабування шкал, вибору методу лінійної індикації (сегмент, гистограма) і сигналізації відхилення уставок «мінімум» і «максимум».

Блок БРУ-10 призначений для виміру вхідного фізичного параметра (температура, тиск, витрата, рівень і т.п.), обробки, перетворення й відображення його поточного значення на вбудованому чотирьохразрядном цифровому індикаторі, на передній панелі є індикатори для сигналізації технологічно небезпечних зон, сигнали перевищення (заниження) вимірюваного параметра.

1. Задатчика імпульсних сигналів типу більше-менше зі світлодіодної індикацією станів ключів менше.

2. Задатчика аналогових уніфікованих сигналів з можливістю цифрової індикації на вбудованих індикаторах.

3. Перетворювача (конвертора) вхідних аналогових уніфікованих сигналів у вихідний аналоговий уніфікований сигнал з можливістю масштабування й перетворення (пряма або зворотна) шкал. Наприклад, перетворення вхідного сигналу 0-100% 0-20мА у вихідний аналоговий сигнал 0-5мА – від 20% до 75% вхідного сигналу, але перетвореного в 0-100% вихідного сигналу.

4. Перетворювача (конвертора) вхідних імпульсних сигналів типу більше-менше у вихідний аналоговий уніфікований сигнал.

5. Перетворювача (конвертора) вхідного імпульсного сигналу від джерела ШІМ-Сигналу контролера у вихідний аналоговий уніфікований сигнал.

6. Прилад має можливість програмного калібрування (виконуваної користувачем) початку шкали й діапазону виміру двох аналогових входів і аналогового виходу.

7. Задатчика аналогових і імпульсних сигналів. Індикатору двох фізичних величин.

8. Задатчика аналогових і імпульсних сигналів із блокуванням зміни аналогового сигналу.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики електроживлення

Технічна характеристика	Значення
Електроживлення	-220 (+22, -33) В, (50 ± 1) Гц або =24 (+4, -4) В
Споживана потужність	≤ 7 Вт при -220 В, ≤ 190 мА при =24 В
Підключення	Із задньої сторони приладу за допомогою рознімання – клеми
Захист даних	ЕЕПРОМ сегнетоелектрична ІУРАМ

Інтелектуальні датчики тиску Метран-100.

Інтелектуальні датчики тиску серії Метран-100 призначені для виміру й безперервного перетворення в уніфікований аналоговий струмовий сигнал і/або цифровий сигнал у стандарті протоколу HART, або цифровий сигнал на базі інтерфейсу RS485 наступних вхідних величин:

- надлишкового тиску Метран 100 ДИ;
- різниці тиску Метран 100 ДД.

Керування параметрами датчика:

- кнопкове із вбудованої панелі;
- за допомогою Hart-Комунікатора або комп'ютера;
- за допомогою програми ICP-Master і комп'ютера або програмних засобів АСУТП. Вбудований фільтр радіоперешкод.

- зовнішня кнопка установки «нуля».
- безперервна самодіагностика.

Вимірювані середовища: рідини, пара, газ, у т.ч. газоподібний кисень і кисневмісні газові суміші; харчові продукти.

Діапазони вимірюваних тисків:

- мінімальний 0-0,04 кПа;
- максимальний 0-100 МПа.

Основна погрішність вимірів: до $\pm 0,1\%$ від діапазону.

Діапазон перенастроювань меж вимірів: до 25:1.

Виконання за ДСТУ 12997:

- звичайне;
- вибухозахищене (Ex, Vn);
- для експлуатації на АС.

Межповерочный інтервал - 3 року, гарантійний строк експлуатації - 3 року.

Одиниці виміру: Па, кПа, МПа, кгс/м², кгс/див, %, мм рт.ст., мм вод.ст.

Датчики моделей 1532, 1534, 1542, 1544 настроєні на вплив тиску з боку штуцера й призначені для монтажу з установкою зрівняльної посудини.

Датчики моделей 1532+, 1534+, 1542+, 1544+ настроєні на вплив з боку відкритої мембрани й призначені для монтажу без установки зрівняльної посудини.

(АС) – датчики можуть випускатися в атомнім виконанні, крім датчиків з кодом МП4, МП5. Датчик моделі 1170 випускається в атомнім виконанні з верхньою межею вимірів не більш 25 МПа.

«ФЛЮОРИТ-Ц» – газоаналізатор

Газоаналізатор для виміру об'ємної частки кисню в інертних газах і азоті; 0,000001...0,00001% / 0,00001...0,001% / 0,0001...0,01% / 0,001...0,1% / 0,1...10% / 1...100%.

Призначений для вимірів об'ємної частки кисню в інертних газах і азоті і являє собою промисловий, автоматичний, одноканальний, однофункціональний, цифровий, стаціонарний прилад безперервної дії.

Контролює гази: O₂.

Область застосування

Газоаналізатор «ФЛЮОРИТ-Ц» використовується на воздухоразделительных установках, установках для одержання й тонкого очищення інертних газів і азоту, як для контролю якості готової продукції, так і для проміжного технологічного контролю роботи цих установок.

Випускається в промисловім виконанні.

Цифровий.

Стаціонарний.

Основні технічні характеристики.

Дія газоаналізатора заснована на застосуванні в якості чутливого елемента потенциометрической твердоэлектролитной гнізда, ЭДС якої пропорційна натуральному логарифму вимірюваної об'ємної частки кисню.

Газоаналізатор призначений для експлуатації у вибухобезпечних приміщеннях.

Газоаналізатор має пристрій сигналізації про досягнення в аналізованому газі верхнього й нижнього значення заданої об'ємної частки кисню.

Діапазони вимірів об'ємної частки кисню $10^{-6} \dots 10^{-4} \%$.

- $10^{-5} \dots 10^{-3} \%$;
- $10^{-4} \dots 10^{-2} \%$;
- $10^{-3} \dots 0,1 \%$;
- $0,1 \dots 10\%$;
- $1 \dots 100\%$.

3.2 Проектне компонування мікропроцесорного контролера SIEMENS S7-300

Проектне компонування – сукупність дій, проведених при підготовці проектної документації для побудови системи автоматизації на основі мікропроцесорних технічних засобів автоматизації.

У даному розділі приводиться компонування приладової шафи.

Постановка завдання здійснюється на основі функціональної схеми автоматизації методичної печі.

Шафа контролера повинен забезпечувати вільний доступ персоналу, зручність обслуговування. Габаритні розміри обрані – 600x760x300.

Збір інформації:

- контроль температури в зонах нагрівання;
- контроль температури в зоні витримки;
- контроль температури повітря й диму після рекуператора;
- контроль температури природного газу;
- контроль температури повітря перед рекуператором;

- контроль тиску газу перед піччю;
- контроль тиску повітря до й послу рекуператора;
- контроль витрати й облік газу в цілому на піч;
- регулювання температури в зонах нагрівання;
- регулювання температури в зоні витримки;
- регулювання співвідношення « газ-повітря» у зоні нагрівання;
- регулювання співвідношення « газ-повітря» у зоні витримки;
- регулювання тиску в робочому просторі печі;
- контроль і сигналізація хімічного складу газів, що відходять.
- аналогові сигнали 17 шт.

Обробку отриманої інформації й формування наступних управляючих сигналів на технологічне встаткування методичної печі:

- відкриття/закриття дроселів природного газу на дві зони печі;
- відкриття/закриття дроселів вентиляторного повітря на дві зони печі;
- відкриття/закриття шиберної заслінки;
- дискретні сигнали 5 шт.

Алгоритми, необхідні для обробки отриманої інформації й формування керуючого впливу на технологічним процесом прошиваються в процесорі робочої станції Pentium 2 350 64Mb 6.4Gb 1.44 CD-ROM 24X SVGA.28 17 4Md AGP mouse, keyboard. У робочій станції встановлене програмне забезпечення, що включає в себе операційну систему SIMATIC NET PROFIBUS SOFTNET – S7, систему драйверів і стандартні системні файли. Це дозволяє використання математичних моделей, розглянутих вище.

Вибір типу шафи контролера.

Шафа контролера із платами УСО й засобами нормалізації сигналів розміщується поблизу об'єкта управління з підвищеною температурою й запыленностью.

На підставі цього вибираємо шафа фірми RITALL серії PS – 4000. Шафа постачена передніми й задніми дверми для вільного доступу до розміщеного всередині нього встаткування, зі ступенем захисту IP 20 і додатковою системою вентиляції.

У системі управління методичної печі передбачається використання однієї шафи контролера. Вибір обумовлений простотою обслуговування через локалізацію всіх технічних засобів.

Крім цього в приладовій шафі передбачається можливість нарощування системи за рахунок резерву алгоритмічної й інформаційної потужностей контролера.

Розрахунки апаратного состава шафи контролера.

Шафа контролера містить у собі комплект, обумовлений розв'язуванням завданням.

Проектне компонування контролера наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Проектне компонування контролера

Найменування компонента	Модель компонента	Кількість, шт.
Контролер	SIMATIC S7-300	1
Модуль живлення	PS-307/5A 6ES7307-1EA00	2
Модуль центрального	CPU36ES7315-1AF03	2
Буферна батарея	6ES7971-1AA00	2
Модуль дискретних	SM323 6ES7323-1BLQ0	4
Модуль аналогових входів	SM331 6ES7331-7NF00	8
Модуль аналогових входів	SM331 6ES7331-7PF10	2
Модуль аналогових входів	SM331 6ES7331-7KF01	2
Фронтальний штекер	40x 6ES7392-1AM0Q	14
Фронтальний штекер	20x 6ES7392-1AJ00	2
Панель оператора	OP7/DP 6AV3607-1JC20	1
Профільна шина, L=530mm	6ES7390-1AF30	2
Шинне рознімання	6ES7972-0BB11	4
Шинне рознімання	6ES7972-0BA11	2
Шинний кабель, L=100m	6XV1830-0ET10	2
Опторозв'язка	3TX 7004-3AB04	40
Клемний блок	8WA1011-0DF22	30
Шафа в зборі з приладами		1

3.3 Виконавчі пристрої

Реле тиску й розрідження РД-2 (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Реле тиску й розрідження РД-2

Реле призначені для контролю, сигналізації й автоматичного двопозиційного регулювання надлишкового тиску (РД-2, РД-2И), розрідження (РД-2В, РД-2Р), різниці тисків і розріджень (РД-2ИР) рідких і газоподібних середовищ.

Можуть використовуватися для заміни електроконтактних манометрів і вакуумметрів. Стійкі до більших перевантажень по вхідному сигналу.

Основні функції:

- вибухозахищене виконання з маркуванням вибухозахисту 1Exдиіct6
- реле тиску РД-2, РД-2В призначені для роботи з рідкими й газоподібними середовищами, у тому числі агресивними. Матеріал, що контактує із середовищем - 12Х18Н10Т и 36НХТЮ.

- реле тиску РД-2И, РД-2Р, РД-2ИР призначені для роботи з неагресивними газоподібними середовищами.

Технічні характеристики.

- діапазон робочих температур -40...+60 °С;

- розкид спрацьовування РД-2И, РД-2Р, РД-2ИР, не більш 0,00005

МПа;

- комутаційна потужність контактів реле, при експлуатації в ланцюгах змінного струму 250 В/3 А;

– ступінь захисту корпусу IP54.

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М.



Рисунок 3.4 – Пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М

Отже, ПБР-2М служить для безконтактного керування електровиконавчими механізмами із асинхронними. Також, захист двигуна від перевантаження. ПБР-2М використовується для керування механізмами АЕС.

Основні параметри ПБР-2М: вхідний опір пускача – 750 Ом, максимальний струм, що комутується – 3А.

Напруга джерела живлення ланцюгів керування – 22-26 В (середнє значення двухполуперіодного випрямленого струму).

Вхідний сигнал ПБР-2М: імпульси 2-х полуперіодного випрямленої синусоїдальної напруги (24 ± 6) В з безперервною зміною шпаруватості; зміна стану безконтактних ключів.

Швидкодія (час запізнювання вихідного струму при подачі й знятті керуючого сигналу) – 25 мс, а різниця між довільностями вхідного й вихідного сигналів становить не більш 20 мс.

Ступінь захисту ПБР-2М - IP20. Електричне живлення – 220 В, 50 Гц.

Споживана потужність рівняється 5 Вт і важить ПБР-2М 3,5 кг.

Норма середнього наробітку на відмову пускача – 100000 година.

Повний термін служби ПБР-2М становить 10 років.

Режим роботи ПБР-2М – повторно-короткочасний реверсивний із частотою включень до 630 у годину при тривалості включення ПВ 25%.

Механізми виконавчі електричні однооборотні: МЭО-40-05А, МЭО-100-05А, МЭО-175-05А, МЭО-250-05А

Механізми виконавчі електричні однооборотні МЭО-40-05А, МЭО-100-05А, МЭО-175-05А, МЭО-250-05А призначені для переміщення регулювальних органів у системах автоматичного регулювання технологічними процесами відповідно до командних сигналів автоматичних регулюючих і керуючих пристроїв.

Механізми призначені для експлуатації в приміщеннях, що обслуговуються, АЕС.

Механізми витримують сейсмічні впливи до 8 балів по шкалі MSK-64.

Механізми виготовляються у фланцевім і важільнім виконанні (виконання «на лабетах»).

Робоче положення механізмів – будь-яке, обумовлене положенням трубопровідної арматур.

Технічні характеристики ПБР-2М наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики ПБР-2М

Найменування параметра	Значення параметра
Електричне живлення	трифазна мережа напругою 380 або 400 або 415У с частотою 50 Гц або 380 У с частотою 60 Гц
Кліматичне виконання за ДСТ 15150	УХЛ2 або Т2 при температурі від плюс 5 до +50 °С IP54, оболонка типу 2, забезпечує роботу механізму
Ступінь захисту за ДСТ 14254-96	при наявності в навколишньому середовищі пилу й бризів води

3.4 Вибір і обґрунтування функціональної схеми контролю й управління

Через складність управління процесом нагрівання металу, для забезпечення максимальної продуктивності методичної печі, мінімізації витрат дорогого природного газу на нагрівання металу управління технологічним процесом виконується за допомогою ЕОМ, разом з мікропроцесорним контролером SIEMENS S7-300.

3.4.1 Температура в печі

Температура в зоні нагрівання печі вимірюється термопарою ТПР позиція 5а, сигнал від якої надходить на аналоговий вхід мікропроцесорного контролера SIEMENS S7-300 і паралельно контролюється блоком ручного управління БРУ-10 позиція 5в та реєструючим пристроєм РП-160 позиція 5б. Мікропроцесорний контролер виробляє управляючий сигнал – 30 V, який надходить на перемикач режиму роботи «ручний – автоматичний», вбудований в БРУ-10. В автоматичному режимі управління виконавчим механізмом ведеться мікропроцесорним контролером. Для управління виконавчим механізмом безпосередньо оператором в БРУ-10 вбудовані кнопки ручного керування.

З БРУ-10 сигнал подається на пускач ПБР – 2М - позиція 5г. Пускач приводить у рух виконавчий механізм МЭО, позиція 5д, за допомогою якого відбувається переміщення дроселя ДХ, який у свою чергу збільшує або зменшує подачу природного газу до пальників, що приведе до підвищення або зменшення температури в печі. Інформацію про ступінь відкриття регулювального органа показує дистанційний покажчик положення, також вбудований в БРУ-10.

Регулювання температури в зонах посаду (позиція 6а-6д) та томильній зоні (позиція 4а-4д) печі аналогічно попередньої.

3.4.2 Тиск у робочому просторі печі

Тиск у робочому просторі печі вимірюється вимірювальним перетворювачем МЕТРАН - 100ДИ, позиція 9а, сигнал від якого надходить на аналоговий вхід мікропроцесорного контролера SIEMENS S7-300 і паралельно контролюється блоком ручного управління БРУ-10 позиція 9в та реєструючим пристроєм РП-160 позиція 9б. Мікропроцесорний контролер виробляє управляючий сигнал – 30 V, який надходить на перемикач режиму роботи «ручний – автоматичний», вбудований в БРУ-10. В автоматичному режимі управління виконавчим механізмом ведеться мікропроцесорним контролером. Для управління виконавчим механізмом безпосередньо оператором в БРУ-10 вбудовані кнопки ручного керування.

З БРУ-10 сигнал подається на пускач ПБР – 2М - позиція 95г. Пускач приводить у рух виконавчий механізм МЭО, позиція 9д, за допомогою якого відбувається переміщення дроселя ДХ, який у свою чергу збільшує або зменшує тягу в печі, що приведе до підвищення або зменшення тиску в робочому просторі в печі. Інформацію про ступінь відкриття регульовального органа показує дистанційний показчик положення, також вбудований в БРУ-10.

3.4.3 Співвідношення «паливо-повітря»

При зміні температури в робітнику просторі печі змінюється витрата подаваного природного газу, що викликає необхідність змінювати кількість вентиляторного повітря, що вводиться. У зоні нагрівання печі витрата природного газу вимірюється методом змінного перепаду тиску за допомогою діафрагми методичної ДКО-06 11а, перепад тиску вимірюється датчиком МЕТРАН 100ДД позиція 11б, сигнал від якого надходить на аналоговий вхід мікропроцесорного контролера SIEMENS S7-300.

Витрата повітря вимірюється аналогічно методом змінного перепаду тиску за допомогою діафрагми методичної ДКС-06 11г, перепад тиску вимірюється датчиком МЕТРАН 100ДД позиція 11д, сигнал від якого

надходить на аналоговий вхід мікропроцесорного контролера SIEMENS S7-300. Паралельно обоє витрати відображаються на вторинні прилади РП-160 позиція 11в, 11е.

Мікропроцесорний контролер виробляє управляючий сигнал – 30 V, який надходить на перемикач режиму роботи «ручний – автоматичний», вбудований в БРУ-10. В автоматичному режимі управління виконавчим механізмом ведеться мікропроцесорним контролером. Для управління виконавчим механізмом безпосередньо оператором в БРУ-10 вбудовані кнопки ручного керування.

З БРУ-10 сигнал подається на пускач ПБР – 2М - позиція 11з. Пускач приводить у рух виконавчий механізм МЭО, позиція 11і, за допомогою якого відбувається переміщення дроселя ДХ, який у свою чергу збільшує або зменшує подачу вентиляторного повітря до пальників. Інформацію про ступінь відкриття регульовального органа показує дистанційний показчик положення, також вбудований в БРУ-10.

Регулювання співвідношення в зоні витримки (позиція 10а-10і) та зоні посаду (позиція 12а-12і) печі аналогічно попередньої.

3.4.4 Загальні виміри

У схемі передбачений вимірювання і передача в контролер інформації про наступні технологічні параметри:

1. Температура:

повітря перед рекуператором - вимірюється термопарою ТХА позиція 1а;

повітря в рекуператорі-вимірюється термопарою ТХА позиція 2а;

диму за рекуператорами-вимірюється термопарою ТХА позиція 3а.

2. Тиск:

газу в трубопроводі вимірюється вимірювачем надлишкового тиску МЕТРАН-100 ДИ позиція 8а та вторинним приладом РП-160- позиція 8б;

повітря в трубопроводі вимірюється вимірювачем надлишкового тиску МЕТРАН-100 ДИ позиція 8а та вторинним приладом РП-160- позиція 8б.

3. Витрата газу на піч загальний. Вимірюється аналогічно витраті газу на зони.

4. Хімічний склад продуктів горіння. Вимірюється газоаналізатором «Флюорит-М» позиція 13а, 13б.

3.4.5 Відсічення газу й сигналізація

Відсічення газу спрацьовує при падінні тиску газу й при падінні тиску вентиляторного повітря, а також падінню тиску в топці печі. Тиск газу вимірюється в зоні нагрівання за допомогою реле тиску РД-2,5 позиція 15а, повітря позиція 16а, падінню тиску в топці печі позиція 14а. При падінні тиску газу або повітря нижче припустимого спрацьовують контакти реле тиску, при цьому загоряється лампа НЛ2, НЛ3, НЛ4 на щиті КВП і А и дзенькає дзвінок голосного бою по місці. Сигнал подається на виконавчий механізм МВМ, який впливає на відсічній клапан ДХО.

4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ САР

4.1 Розробка принципової електричної схеми

Принципова електрична схема виконана на форматі А1 і є проектним документом, що визначають повний состав електричної частини й зв'язків між її елементами, а також дає детальна вистава про принципи роботи системи. Перелік установленого встаткування зазначений у специфікації.

Принципова схема служить підставою для розробки інших схем проекту: монтажних схем щитів і пультів, схем зовнішніх з'єднань.

Принципова електрична схема виконана стосовно до системи автоматичного регулювання тиску в печі.

Простота й економічність спроектованої схеми забезпечується застосуванням стандартної апаратури й типових вузлів.

Принципова електрична схема забезпечує оптимальні умови роботи оперативного персоналу при керуванні й обслуговуванні методичної печі в процесі роботи. Ця вимога передбачає спрощення операцій, вироблених обслуговуючим персоналом при керуванні, можливість швидкого вибору необхідного режиму роботи, перехід з автоматичного режиму на ручний і назад.

Тиск у робочому просторі печі виміряється датчиком надлишкового тиску типу МЕТРАН-100ДІ, струмовий сигнал від якого 4 – 20 мА проходить через блок живлення БЖ-10 і подається на вхід контролера. Контролер виробляє управляючий вплив залежно від відхилення контрольованого параметра. Сигнал з виходу контролера – 30 В подається на ключ вибору режиму управління ручний або автоматичний, за допомогою якого здійснюється вибір режиму регулювання – автоматичний або ручний. В автоматичному режимі роботи управління робить контролер у ручному режимі управління виконується оператором із КБС-БРУ-10. Виконавчий механізм регулювального органа приводиться в рух

реверсивним пускачем. Інформацію про ступінь відкриття регулювального органа показує дистанційний показчик положення БРУ-10, що працює з реостатним датчиком виконавчого механізму.

Провода з індексами А и N (наприклад А803 і N804) служать для підведення електроживлення до окремих елементів схеми.

4.2 Розробка схеми зовнішніх з'єднань, вибір щитів

Схема зовнішніх з'єднань виконана на форматі А2 без дотримання масштабу і являє собою комбіновану схему, на якій показані електричні й трубні з'єднання між приладами й засобами автоматизації, установленими на технологічному устаткуванні. Схема зовнішніх з'єднань виконана для системи автоматичного регулювання тиску в печі.

Із щита КВПтаА виходять два кабелі КВВГ 4*1 у захисній трубі, довгої 60м, і КВВГ 10*1 у захисній трубі довгої 60 м для з'єднання електричної схеми щита КВПтаА із зовнішніми клемниками, розташованими безпосередньо перед виконавчим механізмом МЭО й датчиком тиску МЕТРАН-100. Із клемних з'єднувачів виходять кабелі МКШ 3*1 і МКЭШ 10*0,5 для приєднання електродвигуна й схеми управління виконавчого механізму відповідно (позиція 20д).

Тому, що щит установлюється поблизу об'єкта поза приміщенням, доцільно використовувати щит шафової. Щит призначений для монтажу на його лицьовій панелі апаратури для контролю й управління тепловим режимом печі, для захисту апаратури від механічних ушкоджень, для запобігання випадкового дотику обслуговуючого персоналу до відкритих струмоведучих частин апаратури й складанням затискачів.

Щит має наступні габаритні розміри: висота – 2200 мм, ширина лицьової панелі – 900 мм, ширина бічної стінки – 800 мм. На лицьовій панелі розташовуються три блоки живлення, п'ять блоків ручного

управління, п'ять ламп схеми сигналізації, виносна панель управління контролера. Уся комутація зводиться до складань контактних затискачів.

4.3 Розрахунки регулювального органа й виконавчого механізму

Однієї з відповідальних складових систем автоматичного регулювання є виконавчий пристрій, який містить дросельний регулювальний орган і виконавчий механізм. Від того, на скільки правильно розрахована пропускна здатність і зроблений вибір характеристик регулювального органа, залежить якість регулювання.

Правильно розрахований регулювальний орган не повинен спотворювати характеристики лінійного агрегату (він призначає для усунення нелінійності статичної характеристики об'єкта).

У системах автоматичного регулювання розповсюджений дросельний метод регулювання, заснований на зміні опору трубопроводу між джерелом регульованого середовища й об'єктом регулювання. Для здійснення цього методу використовуються регулюючі дросельні органи – клапани, поворотні заслінки, шибери і т.д.

Через те, що витрата газу на ділянці газопроводу $L_1 - L_6$ у три рази більше, чим на ділянці $L_7 - L_{10}$ розрахунки еквівалентного діаметра траси, втрат напору на тертя, втрат напору на місцевих опорах розділяється на дві ділянки: ділянка 1: $L_1 - L_6$, ділянка 2: $L_7 - L_{10}$, рисунок 6.1. У даному розділі проводиться розрахунки ділянки 2 з умовою, що початковий тиск цієї ділянки $P_{нач}$ відомо й становить $0,8 \text{ кгс/см}^2 = 78,4 \text{ кПа}$, кінцевий тиск становить $0,7 \text{ кгс/див}^2 = 68,7 \text{ кПа}$

Загальні втрати тиску на заданій ділянці трубопроводу складаються із втрат на відрізок до ΔP_1 і після ΔP_2 регулювального органа, а також на самому регулювальному органі ΔP_{PO} . Максимальна витрата газу на даній ділянці становить $200 \text{ м}^3/\text{г}$.

Витрата природного газу:

$$Q_{\min} = 0,25Q_{\max} = 0,25 \cdot 200 = 50 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (4.1)$$

Абсолютний тиск газу на початку трубопроводу:

$$P_{\text{нач}} = P_{\text{н}} + P_{\text{нач}} = 0,179 + 0,078 = 0,257 \text{ МПа}, \quad (4.2)$$

де $P_{\text{н}}=0,179 \text{ МПа}$ – абсолютний тиск газу при нормальних умовах.

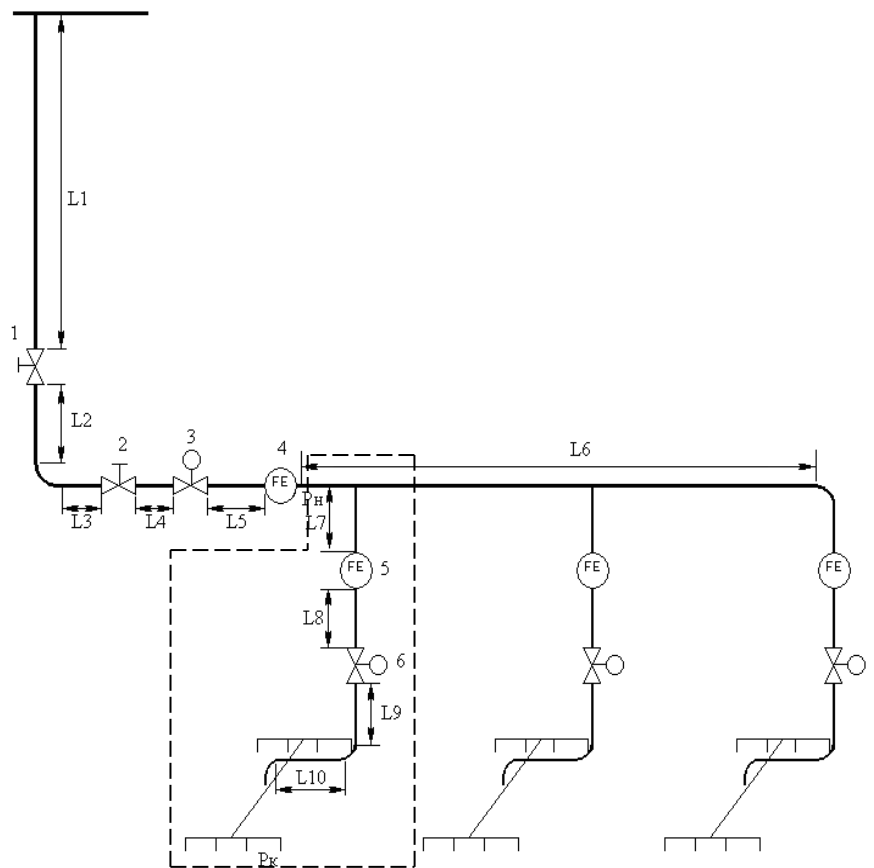


Рисунок 4.1 – Схема пічного газопроводу

Умовні позначки:

1,2 – засувка з ручним приводом; 3 – відсічної клапан; 4,5 – сужающе пристрій витратоміра; 6 – регулювальний орган; $L_1 - L_{10}$ – довжини прямих ділянок газопроводу.

Розрахункова максимальна витрата до РО:

$$Q_{\max 1} = Q_{\max} \frac{P_n \cdot T}{P_{нач} \cdot T_n} = 200 \frac{0,179 \cdot 293}{0,257 \cdot 293} = 139,09 \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.3)$$

Щільність газу до РО:

$$\rho_1 = \rho_n \frac{P_{нач} \cdot T_n}{P_n \cdot T} = 0,725 \frac{0,257 \cdot 293}{0,179 \cdot 293} = 1,042 \text{ кг/м}^3, \quad (4.4)$$

де $\rho_n=0,725 \text{ кг/м}^3$ – щільність газу при нормальних умовах;

$T_n=293 \text{ К}$ – абсолютна температура газу при нормальних умовах.

Динамічна в'язкість газу:

$$\mu_1=1,11 \cdot 10^{-6} \text{ кгс} \cdot \text{с/ м}^3 = 1,08 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с} \quad (4.5)$$

Діаметр трубопроводу до РО:

$$D_I = 18,85 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\max 1}}{V}} = 18,85 \cdot \sqrt{\frac{139,09}{25}} = 44,46 \text{ мм}, \quad (4.6)$$

де $V=25 \text{ м/с}$ – припустима швидкість руху газу.

Ухвалюємо діаметр $D_{cm}=50 \text{ мм}$.

Розрахункова швидкість середовища в трубопроводі до РО:

$$V_1 = \frac{354 Q_{\max 1}}{D_{cm1}^2} = \frac{354 \cdot 139,09}{50^2} = 19,69 \text{ м/с}. \quad (4.7)$$

Число Рейнольдса для газу до РО:

$$Re_1 = 0,354 \frac{Q_{\max 1} \cdot \rho_1}{D_{cm1} \cdot \mu_1} = 0,354 \frac{139,09 \cdot 1,042}{50 \cdot 1,08 \cdot 10^{-5}} = 950108 \quad (4.8)$$

Коефіцієнт гідравлічного тертя для частин трубопроводу до РО:

$$\lambda_1 = \frac{1}{(21g(19,5D_{cm}))^2} = 0,028 \quad (4.9)$$

Втрати тиску на прямих ділянках трубопроводу до РО:

$$\Delta P_{np1} = \lambda_1 \frac{\rho_1 \cdot (L_7 + L_8) \cdot V_1^2}{2D_{cm}} = 0,028 \frac{1,042 \cdot 1 \cdot 19,69^2}{2 \cdot 0,05} = 113 \text{ Па.} \quad (4.10)$$

Втрати тиску на місцевих опорах до РО:

$$\Delta P_{m1} = (\xi_1^1 + \xi_1^2) \frac{\rho_1 \cdot V_1^2}{2} = 3,5 \frac{1,042 \cdot 19,69^2}{2} = 706,9 \text{ Па,} \quad (4.11)$$

де $\xi_1^1=2,5$ – коефіцієнт місцевого опору трійника, що роздає на 90° ,

$\xi_1^2=1$ – коефіцієнт місцевого опору на чутливому елементі витратоміра ИРВИС- ДО-300.

Втрати тиску в лінії до РО:

$$\Delta P_{л1} = \Delta P_{пр1} + \Delta P_{м1} = 113 + 706,9 = 819,9 \text{ Па.} \quad (4.12)$$

Абсолютний тиск газу до РО:

$$P_1 = P_{нач} - \Delta P_{л1} = 0,257 - 0,000819 = 0,256 \text{ МПа.} \quad (4.13)$$

Абсолютний тиск газу наприкінці трубопроводу:

$$P_{кон} = P_n + P_{кон} = 0,179 + 0,068 = 0,247 \text{ МПа} \quad (4.14)$$

Абсолютний тиск газу після РО:

$$P_2 = P_1 - 0,3(P_{нач} - P_{кон}) = 0,256 - 0,3(0,257 - 0,247) = 0,253 \text{ МПа} \quad (4.15)$$

Розрахункова максимальна витрата після РО:

$$Q_{\max 2} = Q_{\max} \frac{P_n \cdot T}{P_{кон} \cdot T_n} = 200 \frac{0,179 \cdot 293}{0,253 \cdot 293} = 141,5 \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.16)$$

Щільність газу після РО:

$$\rho_2 = \rho_n \frac{P_2 \cdot T_n}{P_n \cdot T} = 0,725 \frac{0,253 \cdot 293}{0,179 \cdot 673} = 1,024 \text{ кг/м}^3, \quad (4.17)$$

Діаметр трубопроводу після РО:

$$D_2 = 18,85 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\max}}{V}} = 18,85 \cdot \sqrt{\frac{141,5}{25}} = 44,84 \text{ мм}, \quad (4.18)$$

Приймаємо діаметр $D_{cm}=50 \text{ мм}$.

Розрахункова швидкість середовища в трубопроводі після РО:

$$V_2 = \frac{354Q_{\max}}{D_{cm}^2} = \frac{354 \cdot 141,5}{50^2} = 20,036 \text{ м/с}. \quad (4.19)$$

Число Рейнольдса для газу після РО:

$$Re_2 = 0,354 \frac{Q_{\max 2} \cdot \rho_2}{D_{cm} \cdot \mu_2} = 0,354 \frac{141,5 \cdot 1,024}{50 \cdot 1,08 \cdot 10^{-5}} = 94987 \quad (4.20)$$

Коефіцієнт тертя для частин трубопроводу після РО:

$$\lambda_2 = \frac{1}{(21g(19,5D_{cm}))^2} = 0,028 \quad (4.21)$$

Втрати тиску на прямих ділянках трубопроводу:

$$\Delta P_{np2} = \lambda_2 \frac{\rho_2 \cdot (L_9 + L_{10}) \cdot V_2^2}{2D_{cm}} = 0,028 \frac{1,024 \cdot 2,5 \cdot 20,036^2}{2 \cdot 0,05} = 281,02 \text{ Па}. \quad (4.22)$$

Втрати тиску на місцевих опорах:

$$\Delta P_{,m2} = \xi_2^1 \frac{\rho_2 \cdot V_2^2}{2} = 0,2 \frac{1,024 \cdot 20,04^2}{2} = 41,12 \text{ Па},$$

(4.23)

де $\xi_2^1=0,2$ – коефіцієнт місцевого опору простого коліна,

Втрати тиску в лінії після РО:

$$\Delta P_{,л2} = \Delta P_{,np2} + \Delta P_{,m2} = 281,02 + 41,12 = 322,14 \text{ Па} = 0,00032 \text{ МПа}$$

(4.24)

Загальний перепад тиску в мережі:

$$\Delta P_c = P_{нач} - P_{кон} = 0,257 - 0,247 = 0,01 \text{ МПа} \quad (4.25)$$

Втрати тиску в РО:

$$\Delta P_{,РО} = \Delta P_c - (\Delta P_{,л1} + \Delta P_{,л2}) = 0,01 - (0,00819 + 0,00032) = 0,00139 \text{ МПа}$$

(4.26)

Пропускна здатність РО:

$$K_{,v\max} = \frac{Q_{\max}}{5350} \sqrt{\frac{\rho_2 \cdot T_1 \cdot K}{\Delta P_{,РО} \cdot P_2}} = \frac{200}{5350} \sqrt{\frac{0,725 \cdot 293 \cdot 0,99832}{0,00139 \cdot 0,253}} = 29,03 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.27)$$

Умовна пропускна здатність РО:

$$K_{,v\text{ усл}} \geq 1,2 K_{,v\max}.$$

Приймаємо $K_{v,ysl} = 34,836 \text{ м}^3/\text{год}$.

Вибираємо РО дросельну поворотну затулку ЗМС-50 з $D_y=50 \text{ мм}$, з умовним тиском $P_y=0,1 \text{ МПа}$.

Відношення перепаду тиску в лінії до перепаду тиску на РО:

$$n = \frac{\Delta P_{л}}{\Delta P_{PO}} = \frac{\Delta P_{л1} + \Delta P_{л2}}{\Delta P_{PO}} = \frac{0,00819 + 0,00032}{0,00139} = 6,12 \quad (4.28)$$

Вибираємо рівнопроцентну пропускну характеристику РО.

Уточнене значення максимальної витрати через РО:

$$Q'_{\max} = K_{v,ysl} \cdot \frac{5350}{\sqrt{\frac{\rho_2 \cdot T_1 \cdot K}{\Delta P_{PO} \cdot P_2}}} = 34,836 \cdot \frac{5350}{\sqrt{\frac{0,725 \cdot 293 \cdot 0,99832}{0,00139 \cdot 0,253}}} = 240 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (4.29)$$

Відносне значення витрат:

$$q_{\max} = \frac{Q_{\max}}{Q'_{\max}} = \frac{200}{240} = 0.83 \quad (4.30)$$

$$q_{\min} = \frac{Q_{\min}}{Q'_{\max}} = \frac{50}{240} = 0.21 \quad (4.31)$$

Побудова статичної характеристики з'єднання регульовального органа з об'єктом регулювання. Для якісного регулювання коефіцієнт передачі САР повинен бути незмінним. При обраній формі пропускну характеристики, яка забезпечує сталість коефіцієнта передачі регульовального органа, незмінність Q може бути отримана шляхом компенсації нелінійності

статичної характеристики об'єкта нелінійністю з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом.

Для того щоб побудувати безрозмірну характеристику з'єднання ВМ з РО, спочатку слід побудувати безрозмірну статичну характеристику з'єднання РО з об'єктом регулювання (ОР):

1. У першому квадранті (додаток 3) будуємо безрозмірну статичну характеристику об'єкта регулювання (крива 1), як функцію $x_{\text{ВЫХ}}^{\text{OP}} = f(x_{\text{ВХ}}^{\text{OP}})$.

2. У четвертому квадранті будуємо безрозмірну статичну характеристику регулювального органа (крива 2), певну по номограмі.

3. Ділимо вісь $x_{\text{ВХ}}^{\text{OP}} = x_{\text{ВЫХ}}^{\text{PO}}$ на десять рівних ділянок (по 10 %) і із точок розподілу проводимо вертикалі до перетинання із кривими 1 і 2.

4. Проектуємо точки перетинання вертикалей із кривій 1 на вертикальну вісь $x_{\text{ВЫХ}}^{\text{OP}}$ і із кривій 2 на вісь $x_{\text{ВЫХ}}^{(\text{PO-OP})}$. Горизонталі з першого квадранта продовжуємо в другий, а точки перетинання горизонталей з вертикальною віссю $x_{\text{ВЫХ}}^{(\text{PO-OP})}$ переносимо на горизонтальну вісь $x_{\text{ВЫХ}}^{(\text{PO-OP})}$ другого квадранта.

5. У другому квадранті відновлюємо перпендикуляри із точок розподілу горизонтальної осі $x_{\text{ВЫХ}}^{(\text{PO-OP})}$ до перетинання їх з подібними по номерах горизонталями.

6) Отримані точки перетинання в другому квадранті з'єднуємо плавною лінією (крива 3), яка є шуканою безрозмірною статичною характеристикою послідовного з'єднання РО з ОР.

Розрахунки з'єднання регулювального органа з виконавчим механізмом. Побудова безрозмірної статичної характеристики зчленування виконавчого механізму з регулювальним органом проводиться в такий спосіб:

1. Отриману в статичну характеристику з'єднання регулювального органа з об'єктом регулювання (крива 3), будуємо в першому квадранті координатної площини $x_{\text{ВЫХ}}^{\text{OP}} - x_{\text{ВЫХ}}^{\text{PO}}$ (додаток 4).

2. У другому квадранті будуюмо бажану лінійну характеристику (пряма 4) виконавчому ланцюга по каналу $x_{\text{ВЫХ}}^{\text{ИМ}} - x_{\text{ВЫХ}}^{\text{ОР}}$.

3. Ділимо $x_{\text{ВЫХ}}^{(\text{ВМ-РО})}$ на десять рівних інтервалів. Через точки розподілу відновлюємо перпендикуляри у квадрант 1 до перетинання їх із кривій 3 і опускаємо їх у четвертий квадрант.

4. Із точок перетинання зазначених перпендикулярів із кривій 3 проводимо горизонталі до перетинання із прямою 4 у квадранті 2.

5. Із точок їх перетинання із прямою 4 опускаємо перпендикуляри до перетинання з горизонтальною віссю $x_{\text{ВЫХ}}^{(\text{ВМ-РО})}$.

6. Точки розподілу осі $x_{\text{ВЫХ}}^{(\text{ВМ-РО})}$ циркулем переносимо на вертикальну вісь $x_{\text{ВЫХ}}^{\text{ИМ}} = x_{\text{ВХ}}^{\text{ОБ}}$ і з них проводимо горизонталі в четвертому квадранті до перетинання з вертикалями з подібними номерами.

7. Точки перетинання абсцис і ординат у квадранті 4 з'єднуємо плавною лінією (рис. 4.2).

Отримана лінія є бажаною оптимальною статичною характеристикою зчленування виконавчого механізму з регулювальним органом лінійність, що забезпечує, статичної характеристики виконавчому ланцюга САР.

8) Криву зображуємо на окремій координатній площині $\varphi_{\text{РО}} = f(\varphi_{\text{ИМ}})$.

Побудова зчленування регулювального органа з виконавчим механізмом графічним методом.

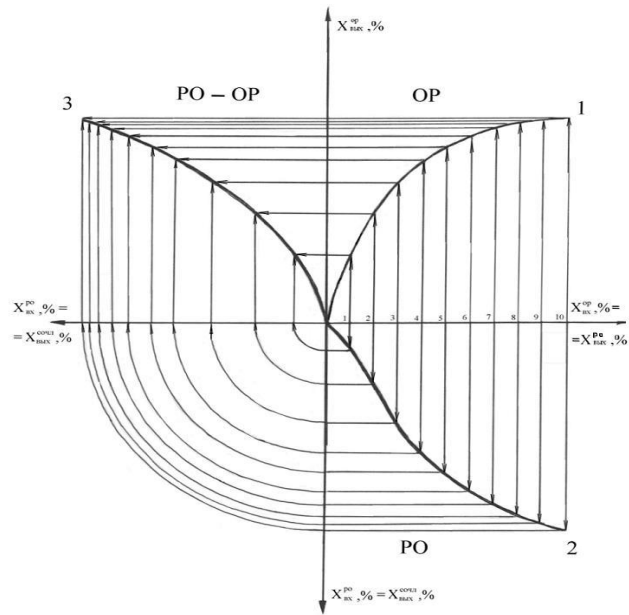


Рисунок 4.2 – Безрозмірна статичної характеристики зчленування виконавчого механізму з регулювальним органом

1. Виділимо на графіку $\varphi_{PO} = f(\varphi_{OP})$ три точки, які найбільше ймовірно відображають його характер.

2. Визначимо збільшення кутів повороту вихідного вала виконавчого механізму $\Delta\varphi'_{VM} = 30^\circ$, $\Delta\varphi''_{VM} = 21^\circ$ збільшення, що й відповідають VM , кутів повороту регулювального органа $\Delta\varphi'_{PO} = 36^\circ$, $\Delta\varphi''_{PO} = 46^\circ$.

3. Задаючи відстань AD між осями валів VM і PO в масштабі 1:4, а також знаючи довжину кривошипа виконавчого механізму $AB = 200$ мм, у такому ж масштабі, попередньо приймаємо розмір кривошипа регулювального органа – DC_1 .

4. Задавши початкові кути положення кривошипів у діапазоні $20 - 30^\circ$ будуємо їх взаєморасположення. Будуємо нове положення кривошипів VM і PO спочатку для збільшень кутів $\Delta\varphi''_{VM}$ і $\Delta\varphi''_{PO}$, а потім для $\Delta\varphi'_{VM}$ і $\Delta\varphi'_{PO}$.

5. Оскільки положення точок Z_1, Z_2, Z_3 обране довільно, але не можна сподіватися, що відстані B_1C_1, B_2C_2 і B_3C_3 однакові. Для визначення дійсного розміру кривошипа $DC_{ист}$ і кута $\Delta\varphi_{PO, ист}$ необхідно,

використовуючи відрізки DB_2 і DB_3 як радіуси окружностей із загальним центром у крапці D , побудувати частини окружностей $B_2 - B'_2$ і $B_3 - B'_3$, повертаючи за годинниковою стрілкою радіуси DB_2 і DB_3 відповідно на кути $\Delta\varphi''PO - \Delta\varphi'PO$. У підсумку точки B_1, B'_2, B'_3 лежать на одній окружності, центр якої й визначає дійсне положення точки Z , довжину кривошипа $DC_{ист}$ і початковий кут його установки $\Delta\varphi_{PO ист}$.

б. Для знаходження положення точки $C_{ист}$ (рис. 4.3):

- з'єднати прямими точки B_1 і B'_2 , а також B'_2 і B'_3 ;
- із середини отриманих хорд, що представляється окружності побудувати перпендикуляри до їхнього взаємного перетинання. Крапка перетинання і є положенням точки $C_{ист}$. Довжина $DC_{ист}$ визначає в масштабі дійсну довжину кривошипа PO , а кут між $DC_{ист}$ і лінією AD рівняється дійсному початковому куту його установки $\Delta\varphi_{PO ист}$. Довжина тяги між кривошипами PO і BM дорівнює довжині відрізка $B_1C_{ист}$.

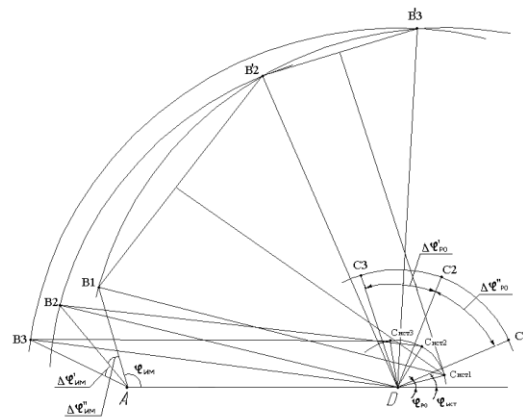


Рисунок 4.3 – Графік $\varphi_{PO} = f(\varphi_{ИМ})$

Вибір виконавчого механізму. Вибір BM базується на зусиллі, яке він повинен розвинути для зміни положення регульовального органа.

Для поворотних заслінок величину моменту, необхідного для їхнього повороту визначають по формулі:

$$M = K(M_p + M_m), \quad (4.32)$$

де K – коефіцієнт, що враховує затягування ущільнювача й завантаження трубопроводу. Ухвалюємо $DO = 2$.

Реактивний момент M_p рівний:

$$M_p = 0,07 \cdot \Delta P_{PO} \cdot D_y = 0,02 \cdot 13900 \cdot 0,005 = 4,86 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.33)$$

Момент тертя в опорах M_m :

$$M_m = 0,785 \cdot D_y^2 \cdot \Delta P_{PO} \cdot r_{ш} \cdot \lambda, \quad (4.34)$$

де $r_{ш}$ – радіус шийки вала ($r_{ш} = 0,02$ м);

λ – коефіцієнт тертя в опорах ($\lambda = 0,15$).

$$M_m = 0,785 \cdot 0,0052 \cdot 13900 \cdot 0,02 \cdot 0,15 = 0,57 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (4.35)$$

Таким чином, мінімальне значення моменту, необхідного для повороту заслінки:

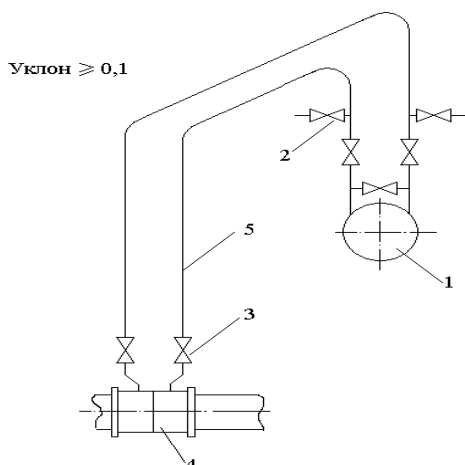
$$M = 2,5 \cdot (4,86 + 0,57) = 13,575 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.36)$$

Ухвалюємо $M = 16 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Вибираємо ВМ типу МЭО-16/63-0,63.

4.4 Розрахунок звужуючого пристрою

Схема виміру витрати газу наведена на рисунку 4.4.



1 – датчик різниці тиску МЕТРАН-100, 2,3 – запірні вентиля;
4 – звужуючий пристрій; 5 – Імпульсна труба

Рисунок 4.4 – Схема виміру витрати газу

Методика розрахунків звужуючого пристрою стандартна, розрахунки виконано по РД50 – 213 – 80.

Тип-Діафрагма звужуючого типу, товщиною 5 мм.

Матеріал. Ст.20

$Kt' = 1$

Б. Трубопровід

$Kt' = 1$

Внутрішній діаметр $D=100$ мм.

Вимірюване середовище

Природний газ

Розрахункова максимальна витрата природного палива –

$Q_n = 1,25 * 150 = 187,5 \text{ м}^3/\text{год.}$

Квадрат відносини витрат для природного газу – $n = (93.75/187.5)^2 = 0.25$

Середня абсолютна температура: $T = 20 + 273 = 293$

Середній абсолютний тиск: $p = 1000000 + 101000 = 201000$ Па.

Розрахункова припустима втрата тиску:

$p_{п.буд.} = p_{п.буд.}' (Q_n/Q_{max})^2 = 0.25 * 1.56 = 0.39$ кПа = 390 кПа;

Щільність $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Показник адіабати: $\kappa=1,4$.

Максимальний тиск рвпм=2333 Па;

Максимальна щільність рвпм=0,1729 кг/м³.

Відносна вологість повітря $\varphi=0$.

Коефіцієнт стискальності повітря ДО=1.

Проміжна величина для визначення щільності вологого газу в робочому стані: $z=1.02 \cdot 10^{-5} \cdot 118.61=120.9 \cdot 10^{-5}$ кг/м³.

Щільність сухої частини газу в робочому стані:
 $\rho_{с.г.}=283,6 \cdot 1,2 \cdot 120,9 \cdot 10^{-5}=41,14$ кг/м³.

Щільність вологого газу в робочому стані: $\rho_{в.г.}=41,31$ кг/м³.

Динамічна в'язкість: $\mu=1.7 \cdot 10^{-5}$ Па·с.

В. Дифманометр

Манометр із багатовитковою трубчастою пружиною.

(манометр типу МЕТРАН). Клас точності $\pm 1,5\%$.

Вибір перепаду тисків і модуля звужуючого пристрою

$$187.5 \cdot \sqrt{41.31} \quad 1205.11$$

Проміжна величина: $C=3.553 \cdot 1002 \cdot 120.9 \cdot 10^{-5} = 429.5 = 2.81$

Попереднє значення граничного перепаду на дифманометрі

$$\Delta p_n' = 28 \text{ кПа.}$$

Попереднє значення модуля звужуючого пристрою $m'=0.05$

Число Рейнольдса для витрати газу:

$$\frac{187.5 \cdot 1.2 \cdot 41.31}{9294.75}$$

Розрахункове $Re = 0.354 \cdot (100 \cdot 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot 41.14) = 69.938 = 132.899 \cdot 10^5$
 $\frac{93.75}{93.75}$

Середнє $Re_{ср} = 132.899 \cdot 10^5 \cdot (187.5) = 66.4 \cdot 10^5$
 $\frac{187.5 \cdot 0.25}{187.5 \cdot 0.25}$

$$\text{Минимальное } Re_{\text{min}} = 132,899 \cdot 10^5 \cdot (187.5) = 33.2 \cdot 10^5$$

За умовою заданий довгий трубопровід.

Остаточне значення граничного номінального перепаду на дифманометрі $\Delta p_n = \Delta p'_n = 28$

Максимальний перехід у звужуючого пристрої $\Delta p = \Delta p_n = 28$ при вимірі витрати газу.

Значення $\Delta p_{\text{ср}}/p$ для випадків виміру витрати газу визначають із рівняння $\Delta p_{\text{ср}}/p = 0,25 \cdot 28 / 201 \approx 0,03$

Попереднє значення $m\alpha'$ для випадків виміру витрати газу

$$m\alpha' = (3,13 \cdot 2,81) / (0,99 \cdot 28) = 0,31729$$

$$\alpha = 0,6863$$

$$m = 0,45$$

$$\varepsilon = 0,99$$

$$\text{Уточнення значення } m\alpha = 0,3088(0,99/0,99) = 0,3088$$

$$\alpha = 0,6863, m = 0,45$$

$$\text{Втрата тиску води в звужуючем пристрої } p_n \approx 28 \cdot 0,55 \cdot 0,64 = 9,9 \text{ Па}$$

Діаметр отвору звужуючого пристрою

$$d = 100 \cdot \sqrt{0,45} = 67$$

$$d_{20} = 67$$

Перевірка розрахунків:

$$Q_n' = 1,3 \cdot 0,6863 \cdot 0,99 \cdot 4489 \cdot 120,9 \cdot 10^{-5} \cdot 4,82 = 23,1$$

$$\text{Погрішність розрахунків: } \delta = ((Q_n - Q_n') / Q_n) \cdot 100\% = 0,087\%$$

4.5 Розрахунки системи автоматичного регулювання тиску в методичній печі

Розрахунки систем автоматичного регулювання (САР) ґрунтуються на статичних і динамічних характеристиках об'єктів регулювання. При

проектуванні САР статичні й динамічні характеристики визначаються по довідниках або експериментально.

Визначення настроювань регулятора складається із двох етапів:

- ідентифікація динамічних властивостей об'єкта;
- розрахунки системи на заданий показник коливання.

5 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ МЕТОДИЧНОЇ ПЕЧІ

5.1 Розробка математичної моделі САР

Вихідним матеріалом для математичного опису об'єкта є його крива розгону. Ця крива повинна бути задана у вигляді ординат, розділених тимчасовим інтервалом. Поберемо динамічну характеристику тиску в робочому просторі методичної печі. Вхідним впливом є стрибкоподібна зміна тиску.

Мета роботи: вивчення методу параметричного синтезу САР з допомогою оптимізації методом Хука-Дживса з інтегрально-квадратичним критерієм.

На практиці важливе значення має автоматизація процесу настроювання параметрів регуляторів на стадії проектування і під час експлуатації промислових САР. Останнє обумовлено тим, що фіксовані параметри настроювання не завжди забезпечують задані якісні показники ведення технологічного процесу внаслідок змін режимів роботи машин і апаратів, їхніх характеристик і параметрів, що призводять відповідно до зміни статичних і динамічних властивостей САР. Зазначені задачі вирішуються автоматичними системами оптимізації та адаптації.

Методи аналізу і синтезу, засновані на моделюванні й оптимізації, є досить універсальними, вони можуть використовувати будь-який опис системи, лінійний чи нелінійний, неперервний чи дискретний, будь-яку комбінацію диференціальних, різницевих, алгебраїчних чи логічних рівнянь. Така універсальність вимагає додаткового часу для обчислень. Для реалізації цього підходу також необхідно відповідне програмне забезпечення.

Засоби моделювання використовують для визначення сигналу помилки E (1) у системі з регулятором. Для цього сигналу помилки i (чи) вихідного сигналу системи може бути обраний критерій, на основі якого оптимізують параметри регулятора. Таким чином, для будь-якої лінійної чи нелінійної системи і будь-якої структури регулятора можна використовувати необхідний критерій у сполученні з обмеженнями кінцевої і нескінченної розмірності, представленими у вигляді функцій штрафу.

Оптимізація є засобом проектування. Вона не дозволяє безпосередньо розрахувати параметри регулятора. Вирішення оптимізаційної задачі визначає оптимальні настройки регулятора, що залежать від обраного іфітерію, структури регулятора і незмінних параметрів регулятора.

Для рішення задачі параметричного синтезу регулятора одним з найбільш придатних методів є метод Хука-Дживса та його модифікації. Суть цього методу полягає в наступному. Задаються деякою початковою точкою $O[0]$. Змінюючи компоненти вектора Δ , обстежують область навколо даної точки, у результаті чого знаходять напрямок, у якому відбувається зменшення критерію I . В обраному напрямку здійснюють спуск доти, доки значення функції зменшується. Після того як у даному напрямку не вдається знайти точку з меншим значенням функції, зменшують величину кроку. Якщо послідовні дроблення кроку не приводять до зменшення функції, від обраного напрямку спуска відмовляються і здійснюють нове обстеження околиці і т.д.

Для дослідження методу параметричного синтезу використовується програма ОпіЗіш в середовищі MATLAB. Для цього у вікні вводимо такі команди:

```

s1CharacterEncoding('cp1251')
OptSim_fig
bdclose all
s1CharacterEncoding('cp1252')

```

Після вводу останньої команди відкривається вікно у котрому ми тепер можемо відкрити необхідну СА.

Дана програма дозволяє виконувати розрахунки оптимальних параметрів настроювання одноконтурних САР, каскадних, комбінованих, САР з введенням похідної з проміжної точки об'єкту, дослідження процесів оптимізації з використанням інтегральних критеріїв різного виду. В якості об'єкту керування оберемо передатну функцію:

$$W_{\text{об}} = \frac{3,5}{54p + 1}$$

Для завдання параметрів об'єкта запускаємо програму, обираємо тип САР-одноконтурна. Після цього потрібно натиснути кнопку Открыть модель. У вікні, що з'явиться, розкрити блок ОУ та відредагувати потрібні елементи. В усіх системах в якості регуляторів оберемо ПІ-регулятори.

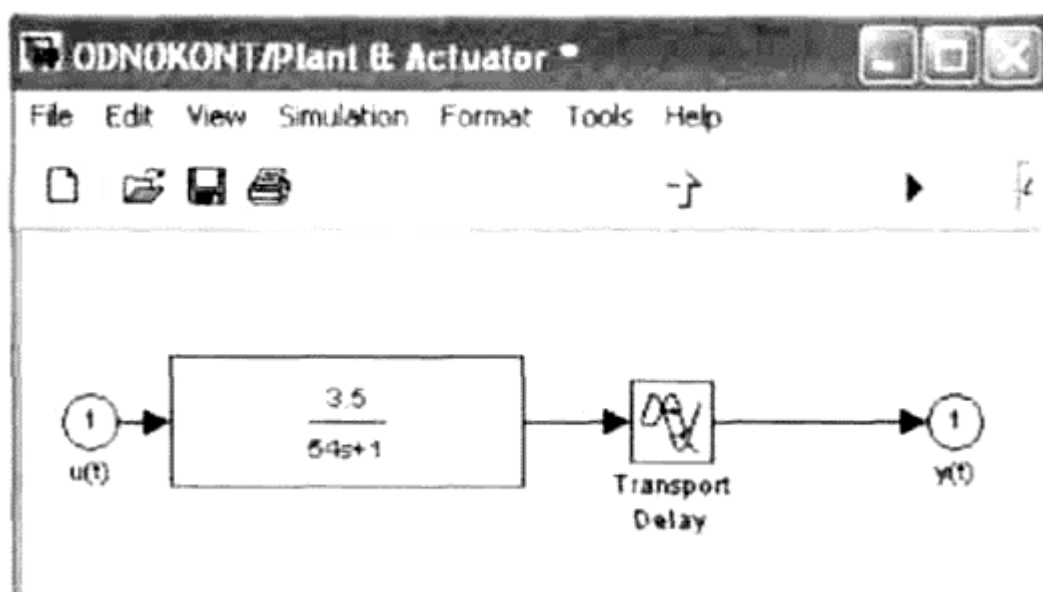


Рисунок 5.1 – Вікно програми MATLAB

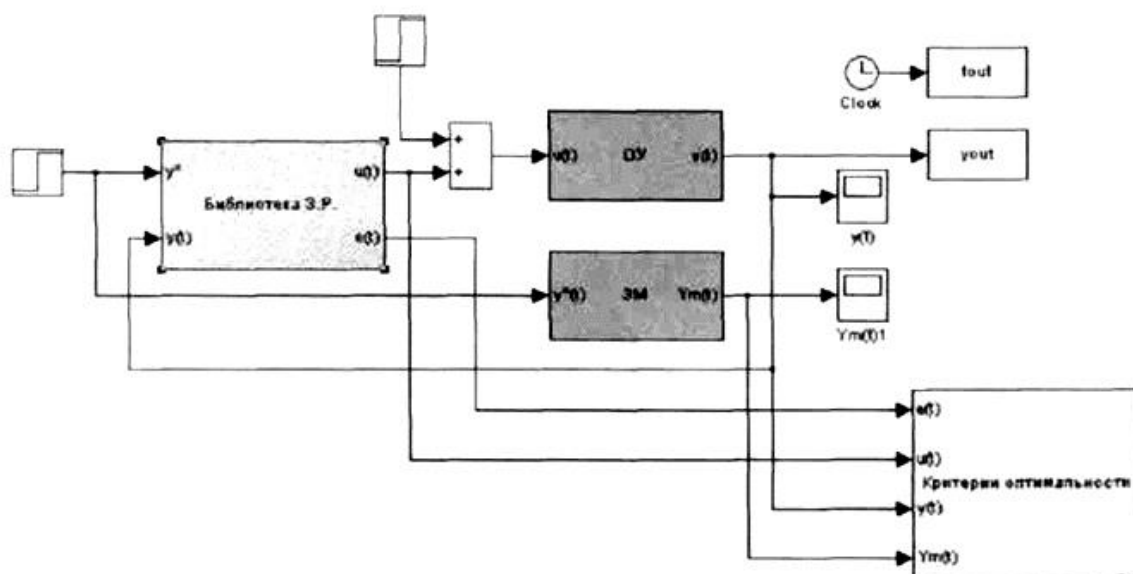


Рисунок 5.2 – Модель одноконтурної САР

Задамо наступний критерій оптимізації:

$$I = \int_{t_n}^{t_k} y^2 \cdot t^a \cdot dt, a = 2$$

Початковий крок оберемо рівним 0.3. Критерій зупинки виберемо $|I(k+1) - I(k)| < \epsilon_{ps}$. Точність встановимо рівною 1.

Задамося початковими параметрами ПІ-закону регулювання:

$$K_p = 1;$$

$$T_i = 10.$$

Натиснувши на кнопку Оптимізувати, ми бачимо як у вікні Command Window вираховуються усі шаги оптимізації, та результати обчислень значення критерію виводяться у стовпчик. Це виглядає наступним чином.

Command Window

New to MATLAB? Watch this [Video](#), see [Demos](#), or read [Getting Started](#).

Начальное значение критерия

I 6.257511e+003

Step	Type	znachenie kriteriy
1	poisk	1.386852e+003
2	poisk	1.082731e+003
3	shag po shablonu	7.878753e+002
4	shag po shablonu	1.053914e+003
5	shag po shablonu	8.405417e+002
6	poisk	9.299864e+002
7	poisk	1.047209e+003
8	poisk	9.157057e+002
9	poisk	8.306660e+002
10	poisk	8.259344e+002
11	poisk	8.710069e+002
12	poisk	8.539278e+002
13	poisk	8.310921e+002
14	poisk	8.252055e+002

Рисунок 5.3 – Вікно Command Window

В результаті отримаємо наступний перехідний процес вже максимально оптимізованими критеріями.

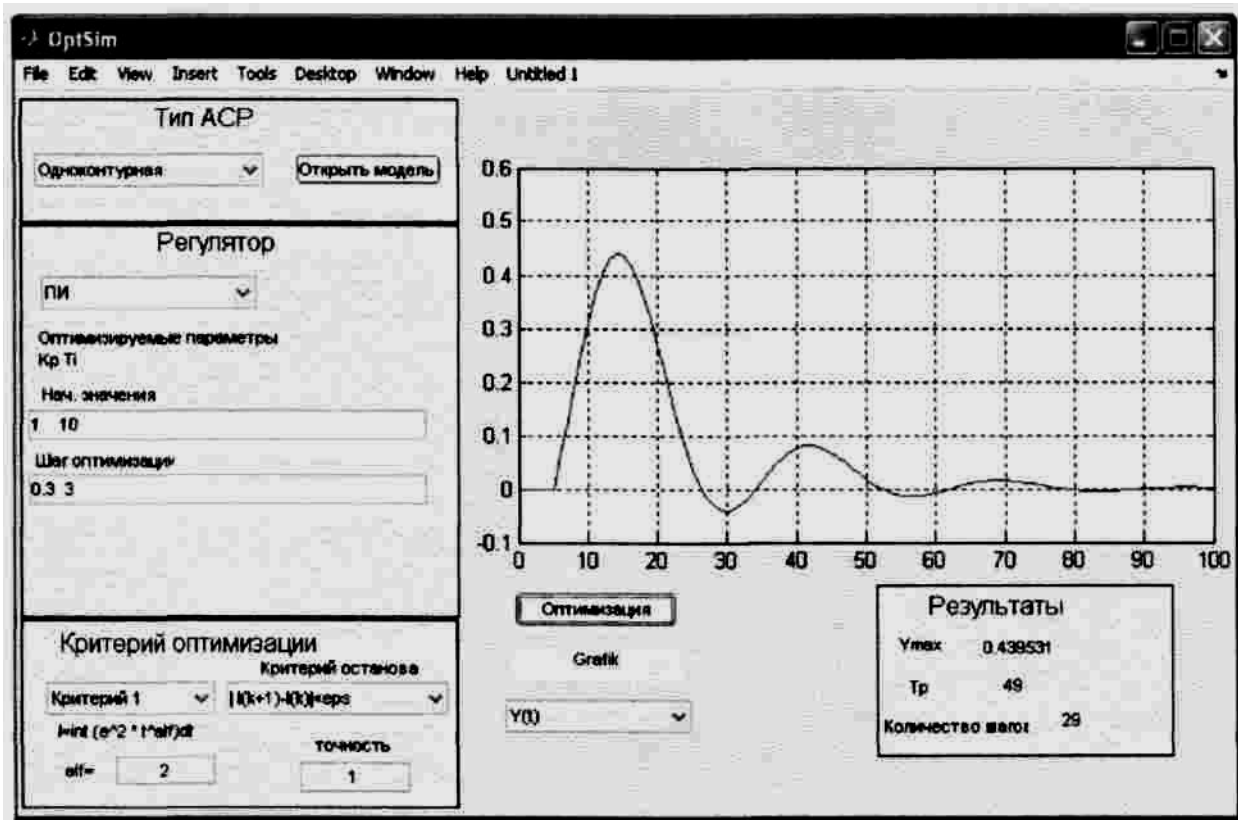


Рисунок 5.4 – Перехідний процес САР

При оптимізації параметрів ПІ-регулятора отримали наступні значення:
 $K_p = 0.657852$; $T_i = 30.352411$.

Кількість кроків: 29.

Знайдемо параметри при оптимізації двохімпульсної САР з введенням похідної. Модель двохімпульсної САР з введенням похідної виглядає наступним чином:

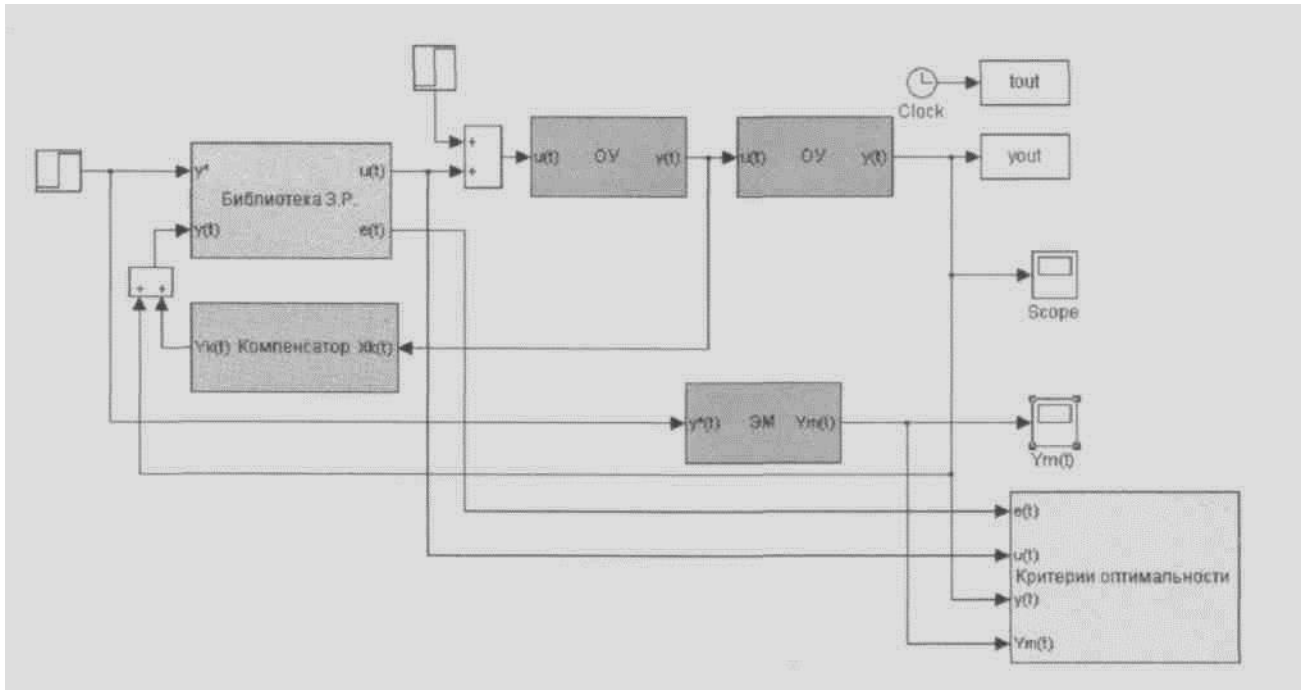


Рисунок 5.3 – Модель двохімпульсної САР

В якості об'єктів керування оберемо наступні функції:

$$W_{ШВ} = \frac{1}{48 \cdot p^2 + 26,2 \cdot p + 1}$$

$$W_{IH} = \frac{1}{747,04 \cdot p^2 + 74,5 \cdot p + 1}$$

Здамося початковими параметрами ПІ-закону регулювання:

$K_p = 1$;

$T_i = 10$.

Задамо наступний критерій оптимізації:

$$-I = \int_{t_n}^{t_k} y \cdot t^a \cdot dt, a = 2$$

Початковий крок оберемо рівним 0.3. Критерій зупинки виберемо $|I(k+1)-I(k)| < \epsilon_{ps}$. Точність встановимо рівною 1.

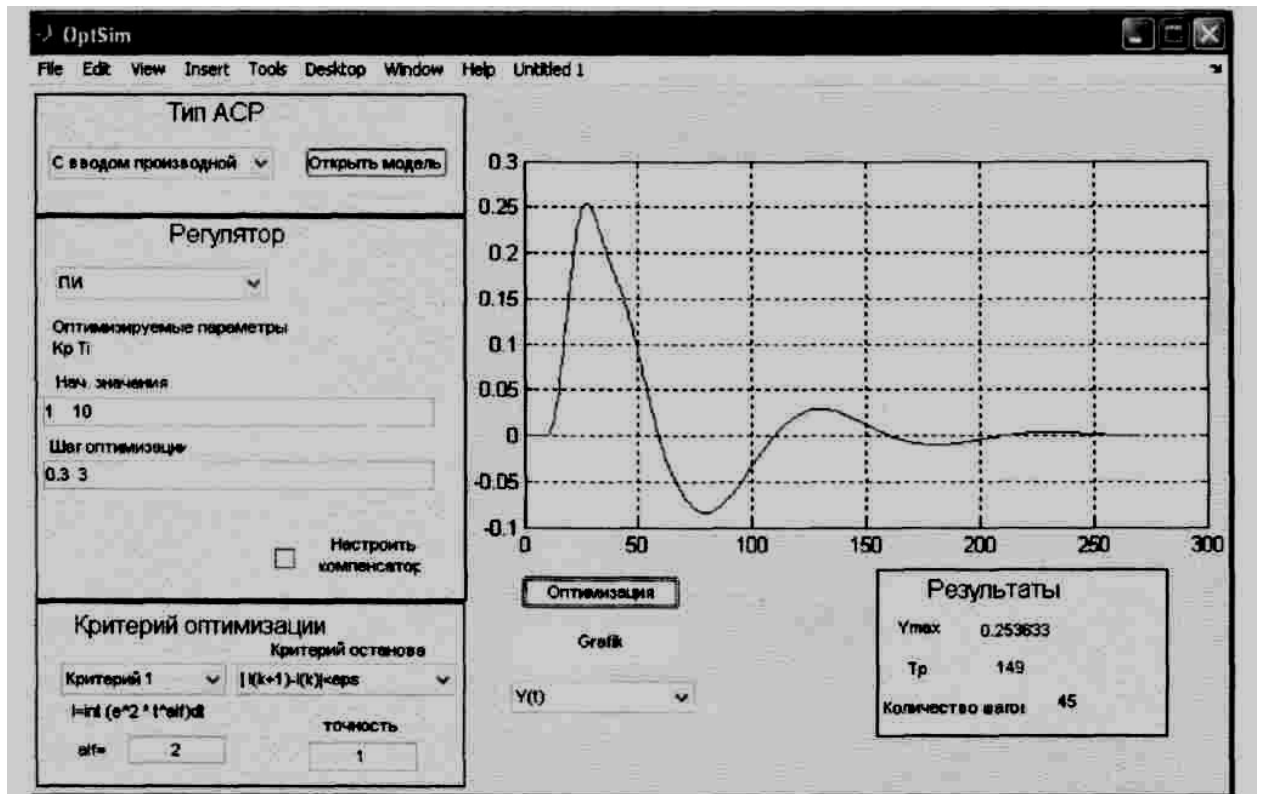


Рисунок 5.4 – Перехідний процес САР

Оптимізація параметрів ПІ-регулятора двоімпульсної САР з введенням похідної дала наступні значення:

$$K_p = 0.251364;$$

$$T_i = 5.425336.$$

Кількість кроків: 45.

Якщо задамося початковими параметрами ПІ-закону регулювання:

$$K_p = 1;$$

$T_i = 40$, то побачимо що крива перехідного процесу приймає інший вид, і оптимальні параметри теж змінюються

$K_p = 0.002813$;

$T_i = 3.833594$

Кількість кроків: 45.

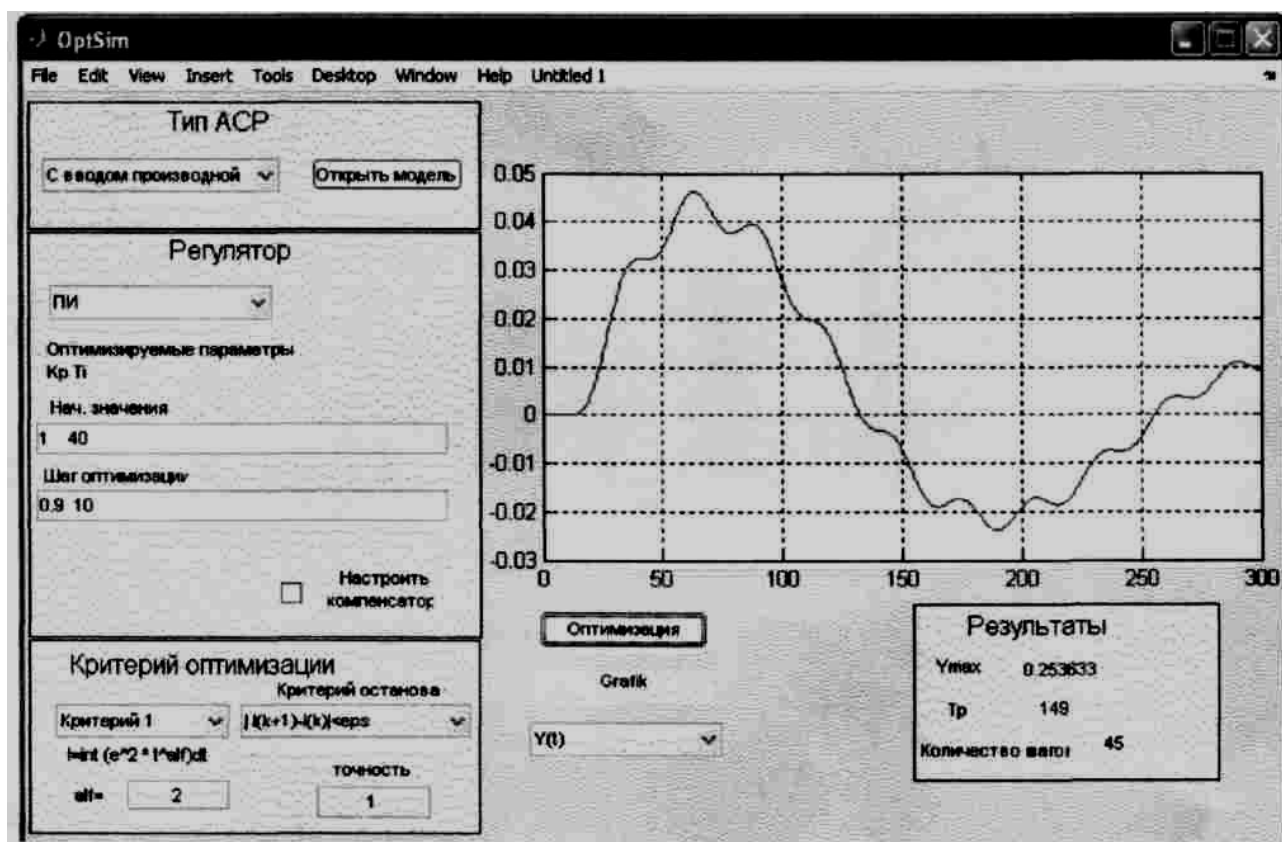


Рисунок 5.4 – Перехідний процес САР

5.2 Розрахунки надійності системи автоматики методичної печі

Розрахунки показників – безвідмовності виробів проводиться методом (λ – характеристик, який заснований на визначенні інтенсивності відмов комплектуючих виробів. При цьому прийняті наступні допущення:

- відмови комплектуючих виробів – випадкові незалежні події;
- інтенсивність відмов комплектуючих виробів у пліні строку їх служби в тих самих робочих режимах і умовах постійна;
- відключений стан комплектуючих виробів прирівнюється до зберігання;

Імовірність безвідмовної роботи системи виміру й регулювання тиску в робочому просторі методичної печі, що має в складі k блоків, визначається з наступного вираження:

$$P(t) = \prod_{i=1}^k P_i \quad (5.1)$$

Імовірність безвідмовної роботи блоку за час t :

$$P_i = \exp(-\lambda_i t), \quad (5.2)$$

де λ_i – інтенсивність відмов i -го блоку.

Інтенсивність відмов системи, що полягає з m -комплектуючих блоків, знаходимо з рівняння:

$$\lambda = \sum_{j=1}^m \lambda_j \quad (5.3)$$

Середній наробіток до відмови системи обчислюють по формулі:

$$T = 1 / \lambda \quad (5.4)$$

Розрахуємо надійність системи регулювання тиску в печі.

Базовим пристроєм САР є мікропроцесорний контролер SIEMENS S7-300, а так само в неї входять такі прилади:

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М;

Виконавчий механізм МЭО-100/25;

Блок ручного управління БРУ-10;

датчик надлишкового тиску МЕТРАН-100 ДИ.

Згідно виробничим даним інтенсивність відмови окремих елементів САР рівні:

$$\lambda_{\text{МПК}} = 0,00001;$$

$$\lambda_{\text{ПБР-3А}} = 0,0000017(\text{ч});$$

$$\lambda_{\text{БРУ-10}} = 0,000004 (\text{ч});$$

$$\lambda_{\text{ІМ}} = 0,000001(\text{ч});$$

$$\lambda_{\text{МЕТРАН}} = 0,0000096(\text{ч}).$$

Згідно з формулою (6.17) розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи окремих елементів:

$$P_{\text{МПК}} = \exp(-1 * 0,00001) = 0,99;$$

$$P_{\text{ПБР-3А}} = \exp(-1 * 0,0000017) = 0,99;$$

$$P_{\text{БРУ-32}} = \exp(-1 * 0,000004) = 0,99;$$

$$P_{\text{ІМ}} = \exp(-1 * 0,000001) = 0,99;$$

$$P_{\text{МЕТРАН}} = \exp(-1 * 0,0000096) = 0,99.$$

Згідно з формулою (6.18) розрахуємо інтенсивність відмови всієї САР:

$$(\lambda = 0,00001 + 0,0000017 + 0,000004 + 0,000001 + 0,0000096 = 0,0000263 (\text{ч}));$$

Здійснимо розрахунок імовірності безвідмовної роботи всієї САР:

$$P(1) = 0,99 * 0,99 * 0,99 * 0,99 * 0,99 = 0,95099;$$

Середній наробіток на відмову по формулі (6.19):

$$T = \frac{1}{0,0000263} = 38022,8 \text{ (ч)} \approx 4,34 \text{ років.}$$

5.3 Розробка програми контролера

У редакторі бази каналів степ-7 була створена структура автоматичної системи керування тиском в печі для чого був вибраний вузол типу Великий МРВ з інформаційною потужністю: Об'єкт = 2048 Канал = 32000 FBD = 16000. Для АРМ створені канали, які генеруються відповідно до алгоритмами і згідно з параметрами.

У редакторі надання даних для АРМ було створено три екрани. На першому екрані розроблена мнемосхема, що відображає параметри технологічного процесу роботи методичної печі. На другому екрані – тренди, що відображають параметри температури печі, а також витрати природного палива. На третьому екрані – екран звіту тривоги.

Робота екранів в режимі реального часу представлена на рисунках 5.5 – 5.7.

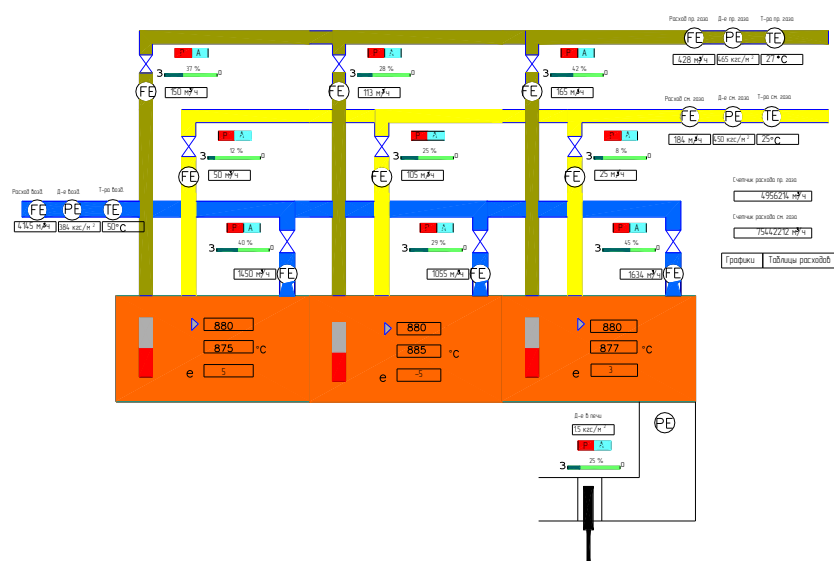


Рисунок 5.5 – Мнемосхема виробничого процесу



Рисунок 5.6 – Тренди

The figure shows a screenshot of the 'Тренди' (Trends) window. It features a filter section at the top with columns for 'Имя', 'Нача...', 'Коне...', 'Нижн...', 'Верх...', 'Имя...', 'Коди...', and 'Сооб...'. Below the filter is a table of events. The table has the following columns: 'Тип', 'Дата', 'Время', 'Имя канала', 'Кодировка', 'Сообщение', 'Время квити...', and 'Оператор'. The events are listed as follows:

Тип	Дата	Время	Имя канала	Кодировка	Сообщение	Время квити...	Оператор
✓	09/06/2...	21:14.42.0	свод_	—	neznachitelnoe zanigenie\$		
✓	09/06/2...	21:14.44.5	свод_	—	znachitelnoe zanigenie\$		
✓	09/06/2...	21:14.47.5	свод_	—	neznachitelnoe zanigenie\$		
✓	09/06/2...	21:14.48.0	свод_	—	optimalnoe znachenie\$		
✓	09/06/2...	21:15.13.0	газ_	—	neznachitelnoe zanigenie\$		
✓	09/06/2...	21:15.25.5	газ_	—	optimalnoe znachenie\$		
✓	09/06/2...	21:15.28.0	свод_	—	neznachitelnoe previshenie\$		
✓	09/06/2...	21:15.38.0	газ_	—	neznachitelnoe zanigenie\$		
✓	09/06/2...	21:15.41.0	свод_	—	optimalnoe znachenie\$		
✓	09/06/2...	21:15.51.5	газ_	—	optimalnoe znachenie\$		
✓	09/06/2...	21:15.53.5	свод_	—	neznachitelnoe previshenie\$		
✓	09/06/2...	21:16.04.0	газ_	—	neznachitelnoe zanigenie\$		
✓	09/06/2...	21:16.07.0	свод_	—	optimalnoe znachenie\$		
✓	09/06/2...	21:16.17.0	газ_	—	optimalnoe znachenie\$		
✓	09/06/2...	21:16.25.0	газ_	—	neznachitelnoe zanigenie\$		
✓	09/06/2...	21:16.38.5	газ_	—	optimalnoe znachenie\$		
✓	09/06/2...	21:16.59.5	ванна_	—	neznachitelnoe previshenie\$		
✓	09/06/2...	21:17.13.0	ванна_	—	optimalnoe znachenie\$		
✓	09/06/2...	21:17.25.5	ванна_	—	neznachitelnoe previshenie\$		

Рисунок 5.7 – Звіт тривог

Алгоритм роботи програми.

Для реалізації управління процесом нагріву сталі розроблена FBD-програма Представлена у додатку 1), що реалізує візуалізацію процесу роботи методичної печі. На головному екрані відображаються основні

параметри які необхідно контролювати для забезпечення нормального процесу нагріву. На екрані «тренди» відображаються параметри температури, а також витрати природного палива. На екрані «звіт тривог» виводиться екран звіту тривог, який служить для запису інформації про зміну значень каналів, повідомлень, що містять тексти зі словників подій. Кожний рядок містить час і дату, а також ряд додаткових полів. Усі повідомлення у звіті тривог мають свій тип, що визначає ступінь відповідальності повідомлень. В аварійному режимі повідомлення для аналогових сигналів заносяться у звіт тривог при перетинанні реальним значенням аварійних меж.

На рисунку 5.8 наведена FBD – програма системи.

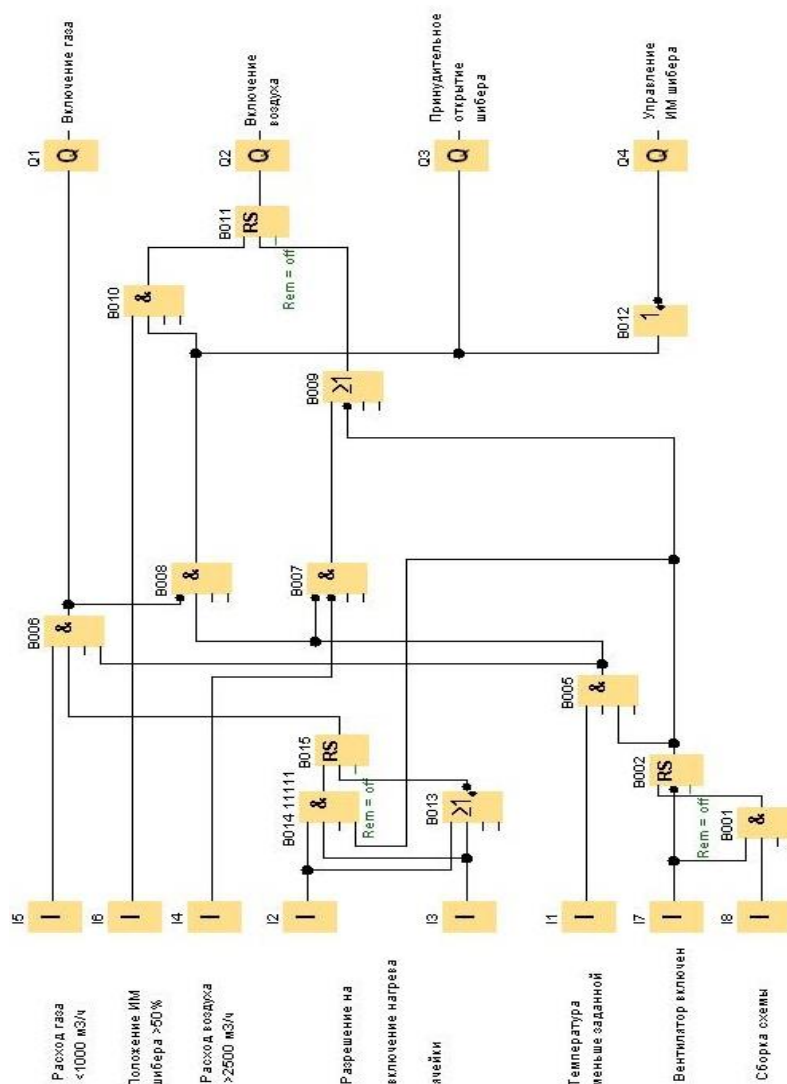


Рисунок 5.8 – FBD – програма системи

6 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

6.1 Розробка функціональної схеми

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 методичної 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.

6.2 Розробка принципової електричної схеми

Принципова електрична схема, представлена на Графічному матеріалі визначає повний склад приладів, апаратури та пристроїв (а також зв'язки між ними), дія яких забезпечує вирішення задач управління і регулювання.

6.3 Розробка принципової електричної схеми живлення

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

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

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

6.4 Розробка монтажної комутаційної схеми щита КВПіА

Монтажно-комутаційна схема щита проектується виходячи з принципово-електричної схеми та загального вигляду щита. На ній відображаються всі вторинні прилади та інші засоби автоматизації. Зв'язок між приладами здійснюється як шляхом з'єднання безпосередньо контактів

технічних засобів проводкою, так і за допомогою клемних колодок, що дає перевагу при модернізації щита або заміні окремих технічних засобів.

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

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

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

6.5 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, 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.

6.6 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.

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.

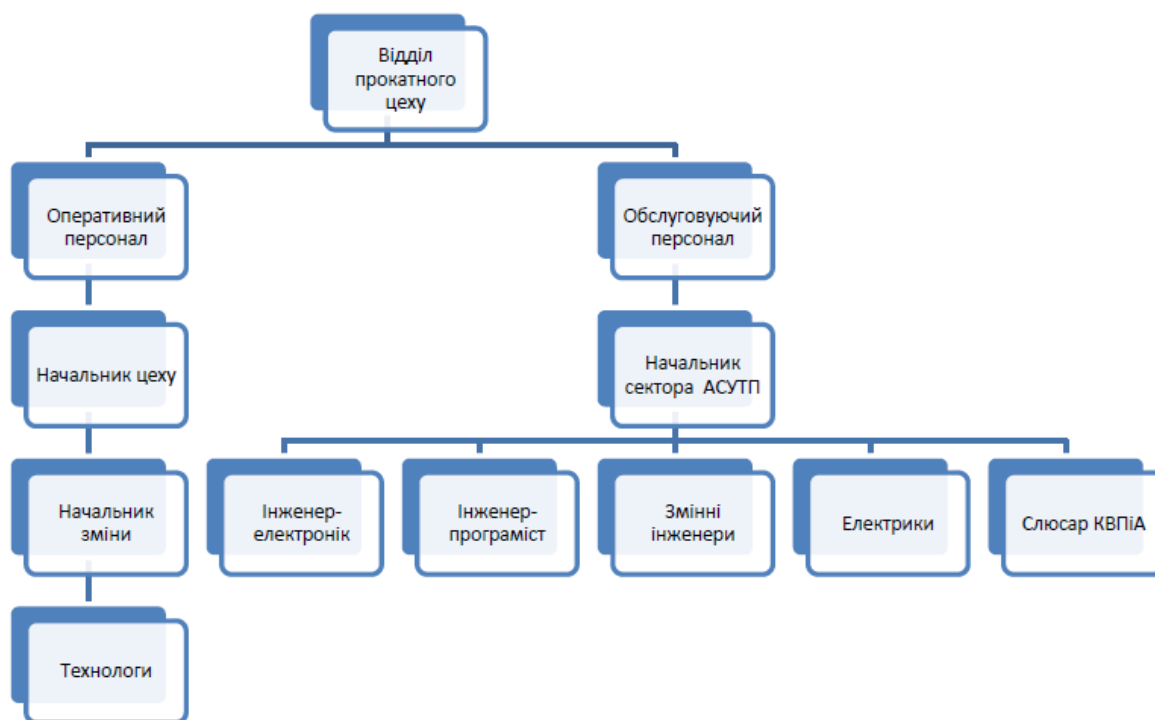


Рисунок 7.1 – Структурна схема організаційного забезпечення заводу

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 металичної 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.

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

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

$N_{\text{зп}}$ – 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:

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

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

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

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:

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

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

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

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

$СВ^{од}_{ел}$ – 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:

$$E_{з.п.} = (p_1 - p_2) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{Н}{100}\right) \cdot B_2, \quad (7.11)$$

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;

B_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 замітника (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 ($\alpha_{зсв} = 0,20$).

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

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

8 ЗАХОДИ ПО ТЕХНИЦІ БЕЗПЕКИ І ПОЖЕЖОГАСІННЮ

8.1 Аналіз потенційно небезпечних і виробничих зашкоджень

Технологічний процес прокату сталі починається з укладання металевих заготовок електромостовим краном на піднімальний стіл. Далі заготовки подаються на прийомний рольганг перед піччю. Потім відбувається нагрівання й витримка заготовок у прохідній печі, за яким стежить терміст. Після нагрівання до необхідної температури заготовки подаються на прокатний стан. За всім процесом стежить оператор. Після прокатки готовий метал надходить у кліть. У технологічному процесі прокатного відділення задіяні наступні спеціальності:

- 1) терміст – 2 людини;
- 2) машиніст електромостового крана – 8 чоловік;
- 3) вогнетривщики – 2 людини;
- 4) черговий слюсар-механік, черговий електрик, черговий слюсар-гідрравлік, черговий слюсар КВПтаА і А – 4 людини.

Основною спеціальністю в данім відділенні є професія терміста.

У даному відділенні застосовуються наступні енергоносії й матеріали: змішаний (природно – доменний) і природний газ; технічна вода; масла й змащення; газ і т.п.

У процесі виробництва сортового прокату застосовують наступне основне встаткування: електромостові крани; методична нагрівальна піч; транспортувальні рольганги; кліті й ін.

Небезпечні й шкідливі виробничі фактори діляться на наступні групи: фізичні, хімічні, психофізіологічні й біологічні.

На території прокатного відділення негативно діють наступні фізичні фактори:

- рушійні машини й механізми;

- підвищений рівень вібрації;
- підвищений рівень шуму;
- підвищений рівень інфрачервоного випромінювання;
- підвищена температура повітря в літній період часу;
- небезпечна для життя діюча напруга;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони.

До хімічно небезпечних і шкідливих факторів, що постійно діють на робочого прокатного відділення, ставляться – дратівні й токсичні; до психофізіологічних шкідливих факторів – фізичні перевантаження й нервово-психічні перевантаження. Біологічні шкідливі фактори в данім відділенні на працівників не діють.

Далі більш докладно розглянуті небезпечні й шкідливі виробничі фактори, що діють на працівників термотравильного відділення.

Ролики, по яких переміщаються металеві заготовки, мають групові приводи, за допомогою ланцюгової передачі і є рушійними частинами встаткування.

Залежно від того, на які частини тіла людини поширюється вібрація, її можна розділити: на місцеву й загальну. Вимоги до вібраційних характеристик виробничого встаткування, гігієнічним нормам вібрації і їх класифікація (стосовно виробничого встаткування й транспортним засобам) викладені в [1].

Коливання, які передаються від вібруючої поверхні до тіла людини, викликають роздратування в стінках кровоносних судин, численних нервових закінченнях, різних групах м'язів і інших тканинах, що в підсумку може привести до вібраційної хвороби.

Підвищений рівень шуму, на території прокатного відділення, створюють [2]:

- тертьові деталі й вузли машин, що рухаються, і механізмів (характер шуму механічний);

– працюючі на газоподібному паливі пальника печі (характер шуму термічний).

По спектру виробничого шуму можна судити про характер його джерела, а також визначити найнебезпечніші й шкідливі для організму звуки.

Загальний рівень звукового тиску на території відділення становить – 84 дБ, при нормі 80 дБ.

Виробничий шум по характеру, інтенсивності звукового тиску, частоті й тривалості впливу на працюючих, може привести до перенапруги нервової системи, зниженню гостроти слуху й негативному впливу на фізіологічні функції організму.

Мікроклімат виробничого приміщення обумовлений діючим на організм людини комбінацією таких факторів як: температура, вологість, швидкість руху повітря й інфрачервоне випромінювання (ІФЧ) [3].

Територія прокатного відділення ставиться до приміщень, де виконуються роботи, які належать до категорії – важкі – 3 і тому повинні діяти наступні вимоги (у теплий період року):

- оптимальне ІФЧ випромінювання $< 140 \text{ Вт/м}^2$ (довжина хвиля 3000–4500 нм);
- оптимальна температура повітря 18-20 °С (припустима 13-26°С);
- оптимальна відносна вологість 40-60% (припустима 75%);
- оптимальна швидкість руху повітря не більш 0,4 м/с (припустима- 0,2 – 0,6 м/с).

Інфрачервоне випромінювання охоплює область спектра з довжиною хвилі, що лежить у межах від 760 нм до 540 мкм.

Джерелом підвищеного рівня інфрачервоного випромінювання є: випромінювання від пальників печі, випромінювання з гартівного вікна, що становлять 2200 Вт/м^2 . Підвищена температура повітря в літній період часу -

41°C (область Із при довжині хвилі—4100 нм), при нормативнім значенні 140 Вт/м² (при довжині хвилі 3000—4500 нм) [4].

Інфрачервоні випромінювання впливають на функціональний стан людини, його нервову й серцево-судинну системи. Найбільш важкі наслідки можуть бути викликані короткими ІФЧ. При тривалім перебуванні працюючого в зоні дії ІФЧ, відбувається порушення водно-сольового балансу й може виникнути теплова гіподинамія (перегрів).

У частині дотримання мікроклімату виробничого приміщення, на території прокатного відділення, перевищені нормативні показники по температурі й ІФЧ випромінюванню, тоді як інші показники в нормі.

Приміщення відділення, по небезпеці поразки електричним струмом, ставиться до особливонебезпечними. Це обумовлене наявністю трьох факторів: агресивного середовища (пари й газу), підвищеної температури й струмопровідного пилю.

Небезпечний і шкідливий вплив на людей електричного струму, електричної дуги й електромагнітних полів виражається у вигляді електротравм і професійних захворювань [4].

Ступінь небезпечного й шкідливого впливу на людину вище перерахованих факторів залежить від: тривалості впливу на організм людини, роду й величини струму й напруги, частоти електричного струму, шляхи проходження струму через тіло людини й ін.

Небезпечно для життя діюча напруга й струм, на території прокатного відділення:

1) електродвигуни кранів, піднімального стола, рольгангу й візка живляться напругою 380В и 500В змінного струму й частотою 50Гц;

Основні причини, які можуть викликати поразка людини електричним струмом на робочім місці – це дотик до металевих неструмоведучих частин устаткування, які можуть виявитися під напругою, у результаті ушкодження ізоляції або пробією на корпус.

Джерелом хімічно небезпечних і шкідливих факторів є тепловий агрегат, що перебуває в цьому прольоті прокатний і. Хімічно небезпечні й шкідливі фактори, що присутні в повітрі робочої зони:

- підвищений вміст у повітрі ангідриду хромового – 0.016 мг/м^3 при нормі 0.01 мг/м^3 ;
- підвищений вміст у повітрі оксиду марганцю $0,35 \text{ мг/м}^3$ при нормі $0,3 \text{ мг/м}^3$;
- оксиди нікелю $0,054 \text{ мг/ м}^3$ при нормі $0,05 \text{ мг/ м}^3$;
- підвищений вміст у повітрі діоксиду азоту – $4,5 \text{ мг/ м}^3$ при нормі $2,0 \text{ мг/ м}^3$;
- кремнію діоксиди $1,65 \text{ мг/ м}^3$ при нормі $2,0 \text{ мг/ м}^3$;
- ангідрид сірчистий $10,2 \text{ мг/ м}^3$ при нормі $10,0 \text{ мг/ м}^3$.

Для гігієнічної оцінки пили її важливою характеристикою є – дисперсність. Зі збільшенням ступеня дисперсності пили зростає її хімічна активність, яка пов'язана з підвищенням її адсорбційної здатності [5].

Підвищений вміст пили, переважно фіброгенні дії – кремнію діоксид $2,49 \text{ мг/м}^3$, при нормативнім значенні $4,0 \text{ мг/м}^3$. Кремнію діоксид належить до 3 класу шкідливих речовин (речовини помірковано небезпечна).

По ступеню впливу на організм людини шкідливі для організму речовини можна розділити на: дратівні речовини (діоксид азоту) вражають поверхню тканин дихального тракту, шкірний покрив і слизуваті оболонки око, носа, гортані, причому для цих речовин фактор концентрації має більше значення, чому тривалість його дії; токсичні метали (соматичні отрути) – можуть викликати мутагенні реакції, які впливають на репродуктивну функцію організму (оксиди марганцю), а також викликають органічні ушкодження одного або декількох внутрішніх органів.

До психофізіологічних, шкідливим факторам, можна віднести робочу позу: нахили тулуба більш ніж на 30° [6].

У плинні зміни робітник вимушено робить 192 нахилу, що відповідає факторові 1 ступеня шкідливих умов праці (при нормі 101-300 нахилів тулуба більш 30°).

8.2. Оцінка умов праці

Гігієнічні критерії оцінки й класифікації умов праці засновані на принципі диференціації умов праці по ступеню відхилення параметрів виробничого середовища й трудового процесу від діючих гігієнічних нормативів відповідно до виявленого впливу цих відхилень на функціональний стан і здоров'я працюючих [7].

Оцінка факторів виробничого середовища й трудового процесу, для терміста прокату, наведено в таблиці 1.

Умови й характер праці ставляться до III класу III ступені.

Робоче місце має в наявності: 7 факторів I ступені, 2 фактора III ступені, III класу шкідливих і небезпечних умов і характеру праці. По показниках робоче місце слід уважати з особливо шкідливими й особливо важкими умовами праці, що відповідає списку №1 (пункт 1).

Таблиця 8.1 – Оцінка факторів виробничого середовища й трудового процесу

Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	3 клас – шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
			I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1. Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : 1 клас безпеки: ангідрид хромовий; Нікелю оксиди 2 клас безпеки: марганцю оксиди (MnO ₂); 3-4 класи безпеки: Кремнію діоксид азоту діоксид (NO ₂).	0,01 0,05 0,3 1,0 2,0	0,016 0,054 0,48 0,35 1,65 2,53	1,6р 1,08р 1,6р 1,2р 1,65р 1,27р			88 88 88 88 88 88
2. Пил переважно фіброгенної дії, мг/ м ³ кремнію діоксид 2,19%.	4,0	2,49				88
3. Вібрація (загальна й локальна), дБ						
4. Шум, дБ	80	84	4			88
5. Мікроклімат у приміщенні (теплий період): -температура повітря, °С -швидкість руху повітря, м/с -відносна вологість повітря,% -інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	13-26 0,6 75 140	41,0 0,3 41 2200			15 220 0	88 88 88 88
6. Важкість і напруженість праці	Важка III - го ступеню, напружена					88

8.3 Загальні заходи щодо забезпечення (підвищенню) безпеки

8.3.1 Заходи щодо підвищення безпеки при роботі рухомих механізмів

Частини, що рухаються, агрегату – піднімальний стіл обгороджені загальним огороженням із замикаючим пристроєм. Замикаючий пристрій має блокування, включену в схему управління даним механізмом, при відкритому замикаючому пристрої механізм не може бути пущений у роботу.

Ланцюгові передачі рольгангів мають знімні суцільні огороження з міцного й стійкого до корозії й механічним впливам металу.

Обертіві частини (вали) електродвигунів, редукторів закриті захисними кожухами, які закріплені до підлоги або станини за допомогою нарізного сполучення.

Справність огорожень перевіряється кожної зміни. Виявлені несправності негайно усуваються.

Система автоматизованого управління передбачає припинення подачі змішаного газу відсічним клапаном, у випадку виникнення аварійної ситуації. У таких випадках подається звуковий і світловий сигнал (дзвінок голосного бою й лампочка).

8.3.2 Заходи щодо підвищення безпеки при виконанні підйомно-розвантажувальних робіт

Передбачена наявність монтажних майданчиків при проведенні робіт з набору кіш металу перед його транспортуванням на робочий стіл.

Перебування в зоні роботи грузо-піднімальних механізмів без захисних касок – строго заборонене.

На початку кожної робочої зміни обов'язково проводиться інструктаж з безпечного ведення робіт. Приступати до роботи без інструктажу – строго заборонене.

8.3.3 Електробезпека

Безпека експлуатації електроустановок забезпечується наступними захисними заходами:

- застосуванням подвійної й посиленої ізоляції;
- захищеність від несанкціонованого доступу струмоведучих частин, що відключає апаратурою й блокуваннями, застосуванням малих напруг (36;12 В);
- заземленням металевих частин, які можуть виявитися під напругою при ушкодженні основної ізоляції струмоведучих частин;
- вирівнюванням потенціалів і застосуванням ізолюючих майданчиків. Усі електроустановки виконані відповідно до ПУЭ [8], усі неструмоведучі металеві елементи електроустановок мають видиме заземлення. Усе електроустаткування має закрите й пилезахищене виконання.

У цеху основним двигуном є електромотор. Допоміжні пристрої, електрокрани, електролебедки, приводи, вентиляційних установок приводяться в рух тільки електромоторами. Експлуатація електроустаткування вимагає розв'язку мережі електропроводки, розподільних установок.

Безпеки обслуговування електричних установок визначається умовами виробничої обстановки. Відповідно до правил приміщення відділення ставиться до групи з підвищеною небезпекою. Тому в приміщенні використовують електродвигуни закритого типу.

Для розмикання електричних кіл застосовують повітряні вимикачі. Повну безпеку від поразки електричним струмом забезпечують магнітні пускачі. Для захисту електроустановок від перевантажень застосовують плавкі запобіжники.

Внутріцехову електричну мережу виконують із ізольованих проводів і кабелів. У приміщенні прокатного відділення внутріцехову проводку

напругою до 1000 виконують, укладаючи ізольовані проведення в сталеві труби. Кабелі усередині цеху можна прокладати по стінах і металевих конструкціях будинку. Кабельні канали влаштовують глибиною не менш (40-60) з урахуванням габаритних розмірів сполучних і тройникових муфт. Відстань між силовими кабелями, прокладеними в підлозі, приймають не менш 35. Мінімальна відстань між трубопроводами й прокладеними кабельними лініями.

Однією з основних причин аварій на електроустаткуванні електротравм є ушкодження ізоляції. Тому ізоляція повинна витримувати без ушкодження певну величину перенапруги в електромережі. При спорудженні електроустановок неізольовані проведення й шини, а також прилади й апарати, що мають незахищені струмоведучі частини, поміщають у спеціальні ящики, шафи, камери й інші пристрої, що закриваються суцільними або сітчастими огороженнями.

У пожежебезпечних приміщеннях будь-якого класу, згідно з, можуть використовуватися електричні машини з напругою до 10 за умови, що їхньої оболонки мають ступінь захисту по не менш IP-44.

Для вибухонебезпечних зон має особливе значення виконання, згідно яким електромашини повинні мати вибухозахист залежно від класу вибухонебезпечної зони. Формувальне відділення ставиться до класу В- Іа, тому оболонка електромашин повинна бути підвищеної надійності проти вибуху. частини, Що Іскряться, машин повинні бути укладені в ковпаки.

8.3.4 Вентиляція

Вентиляція є засобом забезпечення потрібних гігієнічних якостей повітря.

По застосовуваному способу переміщення повітря розрізняють природну й примусову вентиляцію [9].

Будинок прокатного цеху ставиться до розряду багатопрогноних цехів, тому на його території застосована змішана вентиляція. На території

прокатної ділянки передбачена природна (організована) вентиляція – аерація. Її застосування обумовлене значними тепловиделанням й тому на території відділення, для припливу зовнішнього повітря, передбачені прорізи в зовнішніх стінах. Прорізи розташовано на висоті 4 м від підлоги. Для видалення повітря з приміщення передбачені, що аераційні установки.

Крім природної вентиляції на території прокатного відділення передбачена й загально цехова приточно-витяжна механічна вентиляція.

Розрахунки вентиляції для видалення надлишкової теплоти.

У прокатному цеху в печному прольоті на місцях постійного перебування робітників, які зазнають впливу інфрачервоного випромінювання інтенсивністю більше 350 Вт/м^2 , для усунення перегріву, організму робітників приточний повітря направляється безпосередньо на поверхню тіла робітника у вигляді так званого "повітряного душирования". Швидкість повітря залежить від інтенсивності інфрачервоного випромінювання й категорії робіт.

Виконаємо розрахунки для печного прольоту прокатного цеху.

Методична піч для нагріву заготівель є піччу безперервної дії. Робота даної ділянки прокатного цеха полягає в наступному: в піч загружаються холодні металеві злитки, які нагріваються в печі до кінцевої температури – $1250 \text{ }^\circ\text{C}$. Максимальна температура в печі для прискорення нагріву металу підтримується на рівні 1300°C . Під час теплової роботи піч випромінює тепло від стін і зводу. Після нагріву металеві вироби по черзі вигружують з печі і загружують на прокатний стан, де під час прокатки їх температура знижується до величини порядку $950 \text{ }^\circ\text{C}$. Після закінчення прокату готові листи транспортуються на склад. Таким чином під час роботи вказаної ділянки прокатного цеха має місце подвійне випромінювання тепла: від печі під час нагріву заготівель і від металу при його обробці тиском.

Ісходні дані для розрахунку: в одному печному прольоті прокатного цеху обсягом 28000 м^3 установлена нагрівальна піч із тепловою

поверхнею 210 м^2 . Температура усередині печі 1300°C . Продуктивність печі $P = 2200 \text{ кг/ч}$. Стінки печей - вогнетривка цегла (шамот) товщиною $\delta_1=345 \text{ мм}$. Кожух печі зі сталі товщиною $\delta_2= 3 \text{ мм}$. Початкова температура металла, що достають із печі, $T_{\text{нач}} = 1250^\circ\text{C}$, до моменту вивезення з відділення метал остигає до $T_{\text{кон}}=950^\circ\text{C}$. Температура повітря в печному прольоті прокатного цеху $T_{\text{ц}} = 41^\circ\text{C}$.

Кількість повітря, яка необхідно ввести для видалення надлишкової теплоти, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$V_{\text{воз}} = \frac{Q_{\text{изб}}}{C \cdot (t_{\text{yx}} - t_{\text{прит}})}, \quad (8.1)$$

де $Q_{\text{изб}}$ – надлишки тепла, кДж/год ;

C – теплоємність повітря, $C=1,256 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \text{ К})$;

t_{yx} – температура повітря, що йде із приміщення, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{прит}}$ – температура приточного повітря, $t_{\text{прит}}=27^\circ\text{C}$ – для Запоріжжя.

Температура повітря, що йде, залежить від кількості явного тепла, повітрообміну, висоти цеху й ін. Її можна визначити з формули;

$$m = \frac{t_{\text{р.з}} - t_{\text{прит}}}{t_{\text{yx}} - t_{\text{прит}}}, \quad (8.2)$$

де m – коефіцієнт, що залежить від відношенні площі, займаної тепловиділяючим устаткуванням до площі приміщення: для печного прольоту прокатного цеху $m = 0,9$;

$t_{\text{р.з}}$ – температура повітря в робочій зоні, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{р.з}} = 41^\circ\text{C}$.

$$m = \frac{41 - 27}{t_{yx} - 27} = 0,9 \Rightarrow t_{yx} = 42,5^{\circ} \text{C}.$$

Тепловиділення від нагрівальних печей визначається по формулі, Вт:

$$Q_B = R \cdot (T_{BH} - T_{Ц}) \cdot S$$

де R - коефіцієнт теплопередачі стінок печі, Дж/(м²сК);

S - сумарна площа теплових поверхонь печей, м².

$$R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{14} + \frac{0,345}{0,93} + \frac{0,003}{7} + \frac{1}{9,3}} = 1,81 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К}), \quad (8.3)$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти тепловіддачі на внутрішній і зовнішньої поверхнях печі, Дж/(м² сК),

λ_1 і λ_2 - коефіцієнти теплопровідності шамотної цегли й кожуха печі, Дж/(м² сК).

Тоді тепловиділення від печей:

$$Q_n = 1,81 \cdot (1300 - 41) \cdot 210 = 478545 \text{ Дж/с}.$$

Тепловиділення від металу, що остигає:

$$Q_m = P \cdot C \cdot (T_{нач} - T_{кон}) = 2200 \cdot 0,14 \cdot (1250 - 950) = 92400 \text{ Дж/с}.$$

де $C = 0,14$ Дж/(кгК) - теплоємність металу.

Загальна кількість теплоти, що виделяється в цеху від печей і металу:

$$Q_{\text{обц}} = Q_n + Q_m = 478545 + 92400 = 570945 \text{ Дж / с.}$$

Ухвалюємо втрати теплоти через огороження будинків цеху, рівними 20% від загального вступу теплоти. Тоді надлишкова кількість теплоти:

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{обц}} \cdot 0,8 = 570945 \cdot 0,8 = 456756 \text{ Дж / с.}$$

Тоді необхідний повітрообмін:

$$V_{\text{воз}} = \frac{3600 \cdot 456756}{1,256 \cdot 10^3 \cdot (42,5 - 27)} = 84462,79 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Кратність повітрообміну:

$$K = \frac{V_{\text{воз}}}{V_{\text{пом}}} = \frac{84462,79}{28000} = 3,016. \quad (8.4)$$

Повітря в приміщенні протягом години обмінюється 3,016 разів.

Для здійснення аерації влаштуємо два ряди отворів у поздовжніх стінах будинку прокатного цеху: перший ряд – на рівні 10 м від підлоги, другий – на рівні підкранових балок – 26 м. На даху влаштуємо витяжний ліхтар. Таке розміщення отворів дозволяє збільшити повітрообмін улітку, а взимку, закривши нижні прорізи, зменшити його й забезпечити за рахунок тепла приміщення підігрів поступаюшого через середній проріз холодного повітря перш ніж він дійде до робочих місць.

По розрахунковому повітрообміну визначимо площаді приточних і витяжних отворів. За умови рівності цих площадей. Площа кожної з них може бути розрахована по спрощеній формулі:

$$F = \frac{V_{\text{воз}}}{700\mu\sqrt{H\Delta t}}, \quad (8.5)$$

де μ – середній коефіцієнт витрати для отворів (від 0,54 до 0,58);

H – відстань між центрами нижніх і верхніх отворів, м;

Δt – різниця між середньою температурою цеху й зовнішньої, °С.

$$F = \frac{84462.79}{700 \cdot 0.56 \sqrt{16(41 - 27)}} = 14.3 \text{ м}^2.$$

На будинку прокатного цеху влаштована витяжна шахта, що піднімається над ковзаном даху будинку на 1 м.

8.3.5 Захист від шуму

У якості інженерних розв'язків по боротьбі із шумом пропонуються засоби й методи колективного захисту [10].

Залежно від способу реалізації вони підрозділяються на: акустичні, організаційно-технічні й архітектурно-планувальні.

До організаційно-технічних методів по зниженню шуму на території прокатного відділення можна віднести використання раціональних режимів праці й відпочинку працівників.

До архітектурно-планувальних методів боротьби із шумом, крім тих які застосовувалися при проектуванні будинку й раціональним розміщенні встаткування, машин і механізмів, можна віднести створення додаткових шумозахищених зон, шумоізольованих кімнат відпочинку, пультових приміщень.

У якості індивідуальних засобів захисту працівників від шуму застосовують шумозахищені вкладиші (беруши).

8.3.6 Засоби захисту від теплового й інфрачервоного випромінювання

У якості засобів захисту від теплового й інфрачервоного випромінювання застосовуються [11]:

- 1) повітряне душення – стаціонарні повітряні душі;
- 2) захист часом – перерви в роботі;
- 3) гідропроцедури – установлений раціональний питний режим газованою підсоленою водою (від 0,2 до 0,5 % хлористого натрію);
- 4) екранування робочих місць;
- 5) кімнати для відпочинку робітників, у яких створюються спеціальні кліматичні умови.

У якості засобів індивідуального захисту, застосовують спецодяг зі спеціального матеріалу й каски зі спеціальними захисними світлофільтрами.

8.3.7 Освітлення виробничих приміщень

У прокатнім відділенні передбачене сполучене освітлення, тобто штучне й природне освітлення[12].

За умовами зорової роботи приміщення ставиться до II групи, тому що розрізнення об'єктів проводиться при нефіксованій лінії зору й огляд навколишнього простору. Розряд зорової роботи VII – робота зі світними матеріалами в гарячих цехах.

Природне освітлення комбіноване (верхнє й бічне). Освітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в стінах і аераційних ліхтарях.

У процесі експлуатації, внаслідок забруднення й старіння світлопрозорих заповнень у світлових прорізах, джерел світла (ламп), а також зниження властивостей, що відбивають, поверхонь приміщення знижується освітленість. Коефіцієнт запасу, що враховує зниження КЭО ухвалюємо $K_3=1,3$.

Штучне освітлення передбачає: робоче, аварійне, евакуаційне. Робоче освітлення призначене для забезпечення нормальної роботи у звичайних

умовах і становить 200 лк. Висота виробничого приміщення значна – 14 м, тому для освітлення території термотравильного відділення використані світильники СДДРЛ із лампами ДРЛ-1000.

8.4 Пожежна безпека

У нагрівальній печі в якості палива використовується змішаний газ. У суміші з повітрям він утворює вибухонебезпечну суміш.

Виробництво ставиться до пожеженебезпечної категорії Г, тому що пов'язане з розпеченим металом, процес обробки якого супроводжується виділенням променистого тепла, а змішаний газ використовується як паливо.

Відповідно до ПУЕ виробниче приміщення ставиться в частині його електроустаткування до вибухо та пожеженебезпечному, тому що в приміщенні постійно або періодично звертаються горючі речовини, але технологічний процес пов'язаний із застосуванням відкритого вогню, розпечених частин або технологічні апарати мають поверхні, нагріті до температури самозапалювання горючих пар,пилу волокон.

На даній ділянці слід передбачити виникнення пожеж класу С і Е. С – пожежі газів, Е – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Тому, що будинок цеху з несучими, що й обгороджують конструкціями із залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів і в покритті будинку застосовуються незахищені сталеві конструкції – ступінь вогнестійкості II. Межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі поширення вогню по них визначаємо і дані зводимо в таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Межі вогнестійкості

Ступінь вогнестійкості будинку	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій, r (над рисою) і максимальні межі поширення вогню по них, див (під рисою)								
	стіни				колони	Сходові майданчики, щаблі, балки й марші сходів. кліток	Плити, настили (з утепленням) і ін. несучі конструкції	Елементи покриттів	
	Несучі й сходових кліток	Самонесучі	Зовнішні несучі (з навісних панелей)	Внутрішня несуча (перегородка)				Плити, настили (з утепленням і протони)	Балки, ферми, арки, рами
II	2/0	1/0	0,25/0	0,25/0	2/0	1/0	0,75/0	0,25/0	0,25/0

У кабельних відсіках і тунелях прокатного цеху застосовується система автоматичної сигналізації й система пожежогасіння. На території електричних підстанцій застосовується система автоматичного пожежогасіння.

У відділенні передбачені евакуаційні виходи виробничого приміщення безпосередньо назовні, призначення яких – забезпечити безпечну евакуацію людей, що перебувають у будинку, на випадок виникнення пожежі або аварії.

Ефективність і своєчасність евакуації досягається пристроєм шляхів евакуації, кількість, довжина й ширина яких задовольняє нормативним вимогам. Ширина основних проходів усередині цеху не менше 1,5 м, а ширина проїздів – 2,5 м. потоки людей у всіх випадках мають прямий напрямок без перетинання зустрічного руху. Виходи задовольняють безпечної й організованої евакуації людей по своєму конструктивним виконанню й пропонованим до них планувальним вимогам.

У первинний комплект засобів пожежогасіння включені: вогнегасники порошкові (ОП-10), вогнегасники вуглекислотні (ОУ-5), ящики з піском,

ломи, багри, цебра, лопати і т.д. Також для ліквідації пожежі передбачена пожежна установка УВП – 400.

Для захисту від блискавок застосовують ізольовані від будинків окремі блискавковідводи стержневого або тросового типу. Вони бувають окремо встановлені, ізольовані й не ізольовані від будинку, що захищається, або спорудження.

У якості блискавковідводів використовують круглі сталеві стрижні, товстий сталевий дріт, сталь різних профілів, сталеві труби, металеві конструкції споруджень, що захищаються, сталеву сітку й ін. Для захисту від корозії блискавковідводи красять, лудять або оцинковують.

Стержневі блискавковідводи мають довжину 200 – 2500 мм і перетин не менш 100 мм².

Розрахунковою висотою блискавковідводу є відстань по вертикалі від рівня землі, на якому розташований об'єкт, що захищається, до вершини стержневого блискавковідводу. Кожний блискавковідвід має окремий заземлювач перетином не менш 35 мм² зі сталевого дроту, катанки або смугової сталі.

Заземлювачі бувають поверхневі, поглиблені або комбіновані. Їх розташовують у малодоступних місцях. Усі частини блискавковідводів з'єднують зварюванням.

Опір заземлювачу для кожного блискавковідводу не повинне перевищувати 10 Ом (будинку 1 і 2 категорій) і 20 Ом (будинку 3 категорії).

Пристрій блискавковідводу виконуються відповідно до РД – 34.21.122-87 [13].

ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної роботи здійснено розробку системи автоматизації трьохзонної методичної печі в умовах металургійного виробництва. Система автоматичного регулювання тиску у методичній зоні

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

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

Було обрано та обґрунтовано технічні засоби для нижнього рівня системи автоматизації. 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 : «ППП 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-tehnologiji-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).