

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри АВП
к.т.н., доцент
_____ Дідик О.К.
« ____ » _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Модернізація та дослідження автоматизованої системи
керування обертовою піччю для випалювання вапняку»**

**«Modernization and research of the automated control system
of the rotary kiln for limestone firing»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу
групи АК-20 М (1,4)
151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»

_____ Негруц К.С.
« ____ » _____ 2021 р.

Керівник роботи
д.т.н, професор

_____ Кондратець В.О.
« ____ » _____ 2021 р.

Рецензент

_____ 2021 р.
« ____ » _____

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Опис технологічного процесу випалювання вапняку.....	6
1.1 Обертова піч для випалення вапняку як технологічний об'єкт керування	6
1.1.1 Технологія виробництва вапняку в обертовій печі і її коротка технічна характеристика	6
1.2 Аналіз існуючих систем керування обертовими печами для випалювання вапняку	9
1.3 Обґрунтування доцільності розробки автоматизованої системи керування обертовою піччю для випалювання вапняку	13
1.4 Технічне завдання на створення АСР обертової печі випалення вапняку	14
1.4.1 Вимоги до структури і функціонування системи автоматизації	14
1.4.2 Вимоги до діагностування системи	14
1.4.3 Вимоги до надійності	16
1.4.4 Вимоги до засобів зв'язку інформаційного обміну між відповідними компонентами системи	16
2 Склад системи автоматичного керування обертовою піччю для випалювання вапняку	18
2.1 Структура і функції АСУТП обертової печі випалення вапняку	18
2.1.1 Організація збору і передачі інформації	19
2.1.2 Склад і опис структури комплексу технічних засобів обертової печі випалення вапняку	21
2.2 Розробка функціональних схем обертової печі як об'єкту САР температури відхідних газів	22
2.3 Математичне забезпечення автоматизованої системи керування обертовою піччю для випалювання вапняку	26
2.3.1 Розробка математичної моделі обертової печі	26

2.3.2 Розробка структури системи автоматичного керування температури відхідних газів	30
2.3.3 Розробка алгоритму керування співвідношенням «газ – повітря»	35
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій	40
3.1 Вибір технічних засобів автоматизації та обчислювальної техніки 1-го та 2-го рівня	40
3.2 Вибір датчиків, первинних перетворювачів та виконавчих пристроїв	43
3.3 Вибір та обґрунтування промислового контролера та модулів введення-виведення	52
4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність системи	61
4.1 Комп'ютерне моделювання елементів системи автоматичного керування обертовою піччю для випалення вапняку	61
Висновок	116
Література	118
Додаток А. Охорона праці	74
Додаток Б. Очікувані техніко-економічні показники	99

ВСТУП

Конкуренція на світовому ринку висуває підвищені вимоги до якості, собівартості, обсягів виробленої продукції. Тому одним із шляхів виконання цих вимог є автоматизація технологічних процесів.

Сучасні засоби вимірювання і автоматизації на базі мікропроцесорної техніки відрізняються високою точністю вимірювання та регулювання, надійністю, гнучкістю при змінених режимах і умовах технологічних процесів.

Витрати на впровадження автоматизованих систем зазвичай вищі, ніж у випадку застосування традиційної апаратури КВП і релейно–контакторного обладнання. Однак при застосуванні комплексної автоматизації технологічного об'єкту економічний ефект різко зростає.

При комплексній автоматизації охоплюються всі технологічні операції: подача і дозування сировини, витрата енергетичних продуктів, безпосередньо процес виробництва продукції, вивантаження і підготовка до транспортування готової продукції, утилізація і використання вторинної енергії (тепло димових газів), очищення та (або) утилізація відходів виробництва (вапняна і вапняковий пил, відсів). Такі системи зазвичай передбачають у собі ведення матеріально-енергетичних балансів, тобто облік палива, сировини, пилу і т. д.

Основним завданням технологічного процесу з виробництва вапна є отримання готової продукції стабільної якості (вміст $\text{CaO} + \text{MgO} - 90\%$) за умов максимального використання енергії згоряння палива.

У свою чергу паливо, що подається в піч (в даному випадку - природний газ) має бути в оптимальному співвідношенні з повітрям, необхідним для горіння. Всі основні параметри (кількість завантаженого вапняку, витрата природного газу, витрата повітря) з ряду причин не є стабільними: можлива зміна фракційного складу вапняку, його вологості; зміна тиску і температури природного газу і повітря, що подаються в піч через атмосферних або інших умов. Крім того, важливу роль у технологічному процесі відіграє людський фактор. Автоматизація технологічного процесу дозволяє уникнути всіх цих недоліків і добитися значної економії палива і сировини.

Мета і завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є підвищення техніко–економічних показників роботи обертової печі за рахунок оптимізації використання природного газу, розширення функціональних та інформаційних можливостей технологічного персоналу. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз технологічного процесу виготовлення вапняку;
- провести порівняльний аналіз, обґрунтувати вибір датчиків;
- розробити структурну та функціональну схеми САК;
- вибрати та обґрунтувати структуру системи керування та комплексу технічних засобів;
- перевірити систему на працездатність.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес виготовлення вапняку в обертовій печі.

Предмет дослідження. Автоматизована система керування обертовою піччю.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у роботі використовувались методи: оптимізації; теорії автоматичного керування; математичного опису об'єктів автоматизації; підвищення точності засобів вимірювання оптимізації (для забезпечення найкращого вибору вимірювальних пристроїв); мікросхемотехніки.

1 Опис технологічного процесу випалювання вапняку

1.1 Обертова піч для випалювання вапняку як технологічний об'єкт керування

1.1.1 Технологія виробництва вапняку в обертовій печі і її коротка технічна характеристика

У виробництві металургійного вапна в обертових печах (рис. 1.1), початковою сировиною є вапняки флюсів і доломітизовані вапняки, які повинні задовольняти вимогам технологічного процесу по хімічному і гранулометричному складу і не містити сторонніх домішок.

Із складу за допомогою лопатевих живильників і системи стрічкових конвеєрів вапняк подається у витратні бункери, встановлені перед завантажувальними облаштуваннями обертової печі. Завантаження бункерів робиться окремо різними видами вапняку.

Із витратних бункерів вапняк поступає на живильник, який здійснює його подання в піч.

Робочий простір печі складається з наступних технологічних зон:

- сушки і підігрівання вапняку;
- випалювання;
- охолодження вапна.

Вапняк, що завантажується в піч, послідовно проходить через усі зони і обпалюється до отримання вапна. Отримання вапняку відбувається за реакцією



Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва вапняку в обертовій печі

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика обертової печі

№ з/п	Найменування показника	Значення
1	Довжина корпусу, м	75

2	Внутрішній діаметр корпусу, м	3, 6
3	Нахил корпусу, %	3, 5
4	Число опор печі, шт	5
5	Топливо	Природний газ
6	Кількість пальників, шт	2
7	Продуктивність печі, т/ч	До 14, 0

Відхідні димові гази виходять через вільний укіс в зовнішню кільцеву порожнину підігрівача в пилоосаджувальну камеру, потім по газоходу на котли-утилізатори і далі на очисні пристрої.

Очищення димових газів двоступінчате: перший ступінь складається з системи циклонів, другий – з електрофільтрів. Очищені димові гази димососом через димар викидаються в атмосферу.

У протитечії з матеріалом в піч подається природний газ двома пальниками, які встановлені у відкотній голівці печі. Повітря для спалювання природного газу поступає з охолоджувача вапняку і по обвідному повітропроводу за рахунок нагнітання дуттьовим вентилятором, а також, частково, за рахунок розрідження, що створюється в печі димососом.

Свіжообпалене вапно, поступає на охолодження в шахтний протитечийний охолоджувач, що є бункером циліндричного перерізу.

Усередині бункера встановлена повітророзподільна камера з перфорованими бічними стінками для рівномірного подання повітря на охолодження вапна. Повітря нагнітається в охолоджувач дуттьовим вентилятором в кількості, що забезпечує охолодження вивантажуваного вапна до 40-50°C.

З охолоджувача повітря з температурою 150-300°C подається у відкотну голівку печі. Інша частина повітря, необхідна для горіння природного газу, подається по обвідному повітропроводу безпосередньо у відкотну голівку.

У конусній частині охолоджувача встановлена система пневмообвалення, яка включається у разі перевищення температури вапняку більше 200°C. Завантаження охолоджувача здійснюється автоматично по сигналу радіоізотопного рівнеміра. Час розвантаження задається спеціальним реле

часу. Охолоджене вапно системою стрічкових конвеєрів подається на склад готової продукції.

Перед потраплянням у витратні бункери вапно подається на нерухомі колосникові грати з розміром щілини 10 мм для відсівання дрібних фракцій. Вапно крупністю 10-50 мм конвеєром з візком, що розвантажується, розподіляється по витратних бункерах складу. Відсів вапна крупністю 0-10 мм складається в окремих бункерах.

По гранулометричному складу вапно повинне відповідати наступним вимогам:

- крупність шматків 10-50 мм;
- масова доля фракції менше 10 мм повинна складати не більше 10%.

Перепалювання або гасіння вапна не допускається. Вапно не повинне містити сторонніх домішок.

1.2. Аналіз існуючих систем керування обертовими печами для випалювання вапняку

При виробництві вапняку на обертовій печі контролюються наступні параметри:

- витрата природного газу;
- витрата повітря вентилятора;
- тиск природного газу;
- тиск повітря вентилятора;
- розрідження у відкотній голівці;
- розрідження за пиловою камерою;
- розрідження перед димососом;
- температура повітря перед піччю;
- температура перед пиловою камерою;
- температура по зонах холодильника;
- температура вапняку на виході холодильника.

Вхідні дані, що приймаються модулями пристроїв зв'язку з об'єктом (ПЗО) :

– аналогові сигнали поточних значень витрати природного газу і витрати повітря;

– положення виконавчого механізму регулюючого клапана витрати природного газу, а також положення регулюючих клапанів витрати повітря по основному і обвідному повітропроводу;

– дискретні сигнали режиму регулювання : ручний, автоматичний.

Розрахункові вхідні дані:

– приведена витрата природного газу;

– ознаки вичерпання діапазону регулювання.

Вхідні змінні ручного введення: мінімальні і максимальні витрати повітря залежно від витрати природного газу, а також співвідношення «Витрата природного газу / Витрата повітря» в середині шкали; величини завдань регуляторів при роботі в ручному, дистанційному режимі, автоматичному режимі.

Нині на обертових печах застосовуються наступні типи обладнання систем контролю та керування:

– для вимірювання витрати, тиску, розрідження: вторинні прилади КСД-3, КСФ-3, А542, ДІСК-250; датчики ДМ 3583М, ДКО-ФМ, ДМІ-Р;

– для вимірювання температури: вторинні прилади КСП-3, КСП-4, ДІСК-250, РП-160; датчики ТХА, ТХК, ТСМ різної модифікації. У системах дистанційного керування застосовуються такі типи устаткування:

– виконавчі механізми типу МЕО-10, МЕО-100, МЕО-630;

– пускачі типу «ELMARINE», ПБР-2, ПБР-3А.

Виконаний аналіз технічної документації вапнякового відділення вапняково-вогнетривкого цеху стосовно наявного парку приладів та засобів автоматизації показав, що на сьогодні 65 % устаткування – 1974-1989 років випуску, 29 % устаткування – 1990-1995 років випуску, і лише 6 % устаткування – 2000-2005 років випуску. Фактично більша частина обладнання є морально застарілою та фізично зношеною. Це призводить до зниження техніко-економічних показників процесу сушіння вапняку в обертовій печі, збільшення часу простою обладнання у зв'язку з поламаками.

Струмові системи вимірювання складають 5% від загальної кількості.

Системи автоматичного керування (регулювання) технологічними параметрами відсутні. Схеми сигналізації (у тому числі відсічення природного газу) виконані на релейно – контакторному устаткуванні.

Ведення процесу виробництва вапняку здійснюється технологічним персоналом цеху, до функцій якого входить контроль за значенням різних параметрів (витрата, тиск, розрідження, температура), а також підтримка цих параметрів в необхідних діапазонах. З опису вживаного устаткування видно, що в основному застосовуються диференційні трансформаторні системи вимірювання, клас точності яких 1,5 і нижче. Крім того, устаткування має фізичний знос. Недолік застосування систем дистанційного керування також очевидний – основну роль в «налаштуванні» ходу печі грає людський чинник. При цьому навіть досвідчений працівник не може врахувати усі фактори, що впливають на оптимальне налаштування параметрів печі.

З метою використання сучасних технічних та алгоритмічних рішень в галузі автоматизації обортових печей в даній кваліфікаційній роботі виконано аналіз впроваджених на інших підприємствах систем автоматизації.

Так, на ЗАТ « Нев'янський Цементник» (Російська Федерація) для керування обортовою піччю випалювання клінкеру впроваджено нову систему регулювання швидкості обертання печі шляхом заміни головного привода на систему ТПЧ-АД. Впроваджена система призначена для дистанційного автоматичного керування електродвигуном головного приводу печі випалювання в заданому оператором діапазоні.

Об'єктом модернізації був головний привід печі випалювання клінкеру, призначений для рівномірного обертання барабанної печі діаметром 4.5 м і довжиною 80 м в заданому оператором діапазоні. В результаті модернізації було замінено електродвигун постійного струму серії П2П на асинхронний електродвигун загальнопромислового виконання типу ДА304, тиристорний (аналоговий) перетворювач для керування двигуном постійного струму замінений на високовольтний перетворювач.

Встановлено додаткові елементи системи, зокрема ввідний розподільчий пристрій перетворювача частоти – осередок КСВ, вихідний розподільний пристрій (забезпечує безпечне обслуговування системи). В результаті заміни

електродвигуна постійного струму П2П головного приводу обпалювальної печі на загальнопромисловий асинхронний електродвигун вдалося досягти зниження витрати на поточні ремонти та періодичне технічне обслуговування (новий електродвигун практично не вимагає технічного обслуговування), значно знижені витрати на ремонт і технічне обслуговування системи.

Стабілізація і точне регулювання швидкості обертання обертової печі без застосування тахометричного зворотного зв'язку (векторне управління) в заданому діапазоні регулювання (1:10) дозволило оптимізувати технологічний процес випалювання клінкеру, що в свою чергу призвело до збільшення якості продукції.

Точне регулювання обертового моменту електродвигуна обертової печі, дозволило практично повністю виключити вібрацію печі випалювання, а також оптимізувати технологічний процес випалювання клінкеру, що в свою чергу значно знизило знос механічного обладнання печі випалювання.

Значно розширено діапазон швидкостей обертання обертової печі, що дозволяє в майбутньому збільшити обсяги продукції.

Серед додаткових позитивних ефектів впровадження системи автоматичного регулювання швидкості обертання печі покращено якість мережі живлення, оскільки впроваджений високовольтний перетворювач частоти виконаний за топологією інвертор струму з ШІМ – випрямлячем і дана топологія дозволяє «інтелектуально» придушувати вищі гармонійні складові струму і напруги, що виникають при використанні тиристорних перетворювачів. Також на вході перетворювача встановлений інтегрований конденсатор-фільтр, що пригнічує 5-у та 7-у гармоніки. Сумарне гармонічне спотворення напруги (HTD) на вході перетворювача не перевищує 1,5%.

Система має гнучку програму налаштування режимів роботи обладнання за заданими технологічними параметрами (при цьому не припиняється технологічний процес), з його використанням з'являється можливість жорстко підтримувати задану швидкість обертання обертової печі, діагностувати несправності та порушення режимів експлуатації приводу.

1.3. Обґрунтування доцільності розробки автоматизованої системи керування обертовою піччю для випалювання вапняку

Здійснення дистанційного керування:

- витратою природного газу;
- витратою вентиляторного повітря (основний повітропровід);
- витратою вентиляторного повітря (обвідний повітропровід).

Недоліки дистанційного керування

- зниження точності керування параметрами технологічного процесу;
- зниження оперативного керування технологічними процесами;
- бракування інформації про хід технологічного процесу та стану обладнання для оперативного керування;
- низька стійкість системи до відмов;
- підвищене споживання електроенергії;
- підвищене споживання газу.
- застосування електроприводів обертання і орієнтування, які мають значні габарити, володіють значно меншою надійністю в порівнянні з аналогічними сучасними приводами;
- застосування електричних регулюючих механізмів в магістралях подачі газу і повітря, що забезпечують регулювання в дуже вузькому діапазоні.

1.4 Технічне завдання на створення АСК обертовою піччю для випалювання вапняку

1.4.1 Вимоги до структури і функціонування системи автоматизації

Система розрахована на цілодобову роботу усіх робочих станцій, контролерів та інших компонентів, з перервою роботи на технічне обслуговування під час зупинки технологічного устаткування. З точки зору функціональності система може працювати в наступних режимах:

- нормальний режим, що характеризується повною справністю усіх компонентів системи і ліній зв'язку;

– режим обмеженої працездатності, що характеризується несправністю або відмовою резервної мережі, а також одному з двох робітників станцій операторів або станції архівування. У даному режимі усі функції по управлінню процесом випалення зберігаються при зниженні об'єму візуалізації ходу технологічного процесу;

– режим автономного функціонування контролерів, що характеризується несправністю(чи відмовою локальної мережі) обох робітників станцій оператора і станції архівації.

– аварійний режим, що характеризується несправністю контролера. Усі відхилення від нормального режиму повинні аналізуватися самою системою і фіксуватися в протоколі роботи системи.

1.4.2 Вимоги до діагностування системи

Програмні і технічні засоби системи повинні забезпечувати діагностику і самодіагностику компонентів технічних засобів. Інформація про роботу цих засобів формується за допомогою індикаторів, вбудованих в технічні засоби; повідомлень, що передаються в робочі станції по локальній мережі. За допомогою засобів самодіагностики повинні фіксуватися наступні ситуації:

– самодіагностика контролера(помилка пам'яті програм, відсутність або невідповідність типу модуля введення/виведення, спрацьовування сторожового таймера, збій живлення);

– діагностика роботи засобів вимірювальної техніки, механізмів і устаткуванням з прив'язкою до часу;

– обрив ланцюга аналогового датчика з сигналом 4-20мА;

– відмова джерел живлення 24В постійного струму;

– відсутність або вихід за встановлені межі напруги живлення 220В змінного струму на введенні шаф контролерів(реле контролю напруги) ;

– відмова, зупинка робочих станцій, контролерів;

– відмова зв'язку контролерів із станціями оператора;

– відмова комутаторів локальній мережі Ethernet;

– відмова одного з двох каналів або повна відмова дубльованої мережі.

Діагностичні повідомлення повинні поступати в станції оператора і звітуватися оперативним персоналом.

Система має бути розрахована на тривале функціонування в реальному масштабі часу і забезпечувати все режимне керування і контроль технологічного процесу. Система повинна зберігати працездатність впродовж часу, який не має бути менше імовірно-тимчасових характеристик роботи технологічного устаткування. Система повинна забезпечити відповідність призначенню при будь-яких змінах технологічних параметрів, що допускаються прийнятою технологією.

Завдання САК співвідношення «Природний газ - Повітря» повинно забезпечувати розрахунок і відповідну зміну витрати повітря залежно від витрати природного газу. Для цього повинно вимірюватися поточна витрата природного газу і повітря, ступінь відкриття виконавчих механізмів. Необхідне співвідношення витрат природного газу і повітря повинно задаватися відповідно до технологічної інструкції. Залежно від виміряних параметрів і поточного завдання до співвідношення повинні видаватися команди на виконавчі механізми збільшити/зменшити витрату повітря і газу. Вирішення задачі повинно задовольняти наступним вимогам:

- точність регулювання витрати повітря – не більше 5%;
- періодичність виконання функцій вимірів – не більше 50мс.

1.4.3 Вимоги до надійності

Вірогідність безвідмовної роботи повинна складати 95% в інтервалі часу від 0 до 10 років. Час відновлення не більше 40 годин.

Як комплексний показник надійності(що враховує безвідмовність і ремонтоздатність) використовується коефіцієнт готовності (K_g), що визначає ремонтоздатність систем у будь-який довільно вибраний момент часу відповідно до режиму роботи об'єкту керування

Критерій відмови для усіх функцій АСР – коефіцієнт готовності K_g :

а) для режиму автоматичного керування (з урахуванням надійності датчиків), $K_g = 0,995$;

б) для режиму автоматичного керування (без урахування надійності датчиків), $K_{\Gamma} = 0,998$;

в) для ручного керування $K_{\Gamma} = 0,999$.

1.4.4 Вимоги до засобів зв'язку інформаційного обміну між відповідними компонентами системи

Сукупність способів і засобів зв'язку повинні забезпечувати обмін інформацією між окремими компонентами системи. Основним засобом зв'язку в системі повинна являтися локальна обчислювальна мережа на базі комутованої 10/100-Мбітної технології ETHERNET (зв'язок контролерів із станціями оператора, зв'язок між станціями оператора). Середовище передачі – вита пара категорії 5+. Як базовий протокол мережевої і міжмережевої взаємодії повинні використовуватися протоколи UDP, TCP/IP. Система повинна фіксувати обрив зв'язку, видавати діагностичне застережливе повідомлення і реєструвати в протоколі роботи.

Системи автоматичного керування (регулювання) технологічними параметрами відсутні. Схеми сигналізації (у тому числі відсічення природного газу) виконані на релейно-контакторному устаткуванні.

Ведення процесу виробництва вапняку здійснюється технологічним персоналом цеху, до функцій якого входить контроль за значенням різних параметрів (витрата, тиск, розрідження, температура), а також підтримка цих параметрів в необхідних діапазонах. З опису вживаного устаткування видно, що в основному застосовуються дифтрансформаторні системи виміру, клас точності яких 1,5 і нижче. Крім того, устаткування має фізичний знос. Недолік застосування систем дистанційного керування також очевидний – основну роль в "налаштуванні" ходу печі грає людський чинник. При цьому навіть досвідчений працівник не може врахувати усі чинники, що впливають на оптимальне налаштування параметрів печі.

2 Склад системи автоматичного керування обертовою піччю для випалювання вапняку

2.1 Структура і функції АСУТП обертової печі випалення вапняку

Метою створення системи є підвищення техніко – економічних показників роботи обертової печі за рахунок оптимізації використання природного газу, розширення функціональних та інформаційних можливостей технологічного персоналу.

Автоматизована система керування (АСК) обертовою піччю реалізується як багаторівнева інтегрована система, що працює в темпі технологічного процесу (реальному часі) і включає програмно-технічний комплекс (ПТК), оперативний технологічний і обслуговуючий персонал. Функціональна структура ПТК містить наступні функціональні підсистеми:

- збору і первинної обробки інформації;
- автоматичного регулювання;
- дистанційного і логічного керування;
- технологічних блокувань;
- технічного обліку енергоносіїв (природного газу), споживаних піччю;
- технічного обліку витрати сировини (вапняку) і виробленої готової продукції – вапна (облік поточний, за зміну, добу, місяць та ін.);
- представлення інформації оперативному персоналу;
- архівації (зберігання даних за тривалий період часу);
- метрологічну (здійснення калібрування вимірювальних каналів);
- інструментальну (налаштування програм, інформаційна база, програмування).

Робота всіх підсистем ПТК здійснюється шляхом взаємодії усіх видів забезпечення системи, а саме:

- математичного забезпечення у вигляді сукупності математичних методів і алгоритмів;
- інформаційного забезпечення по об'ємах вхідної і вихідної інформації, розміщення і форми представлення інформації(відео кадри);

- лінгвістичного забезпечення у вигляді сукупності засобів; правил для формалізації природної мови, використовуваних при спілкуванні експлуатаційного персоналу з комплексом засобів автоматизації;
- програмного забезпечення у вигляді сукупності програм, призначених для налагодження, функціонування і перевірки роботоздатності ПТК;
- технічного забезпечення у вигляді сукупності засобів обчислювальної техніки і інших технічних пристроїв, які використовують при функціонуванні системи, комплекс технічних засобів (КТС) ;
- метрологічного забезпечення у вигляді сукупності методів, правил і програмно-технічних засобів, що дозволяють реалізувати функції ПТК відповідно до встановлених вимог до достовірності інформації;
- організаційного забезпечення у вигляді сукупності документів, що встановлюють організаційну структуру, права і обов'язки експлуатаційного персоналу в умовах функціонування, перевірки і забезпечення працездатності ПТК.

2.1.1 Організація збору і передачі інформації

За характером отримання і використання інформація є технологічною. Технологічна інформація включає параметри технологічних процесів виробництва і стану устаткування.

Відповідно до об'єму і складності комплексу функцій, що реалізуються, а також підвищених вимог до надійності системи, доцільно АСК реалізувати у вигляді системи з ієрархічною структурою з розподіленими функціями керування. Структура інформаційних потоків відповідає структурі комплексу технічних засобів системи.

Інформаційною одиницею міжсистемного обміну є повідомлення.

Розподіл функцій контролю і керування поєднується з централізацією функцій людино-машинного інтерфейсу і ухвалення рішень по управлінню комплексом взаємозв'язаних технологічних процесів.

Нижній рівень АСК обертовою піччю для випалювання вапняку реалізує функції виміру параметрів процесу, реєстрації, аварійної сигналізації,

дистанційного керування, а також автоматичного (локального) регулювання. Технічні засоби цього рівня забезпечують безпосередній зв'язок з технологічним процесом.

Нижній рівень АСК реалізує наступні функції:

- попередня обробка технологічних змінних (масштабування, фільтрація і інші математичні процедури);
- формування локальних баз даних кожної з підсистем;
- зв'язок з системами верхнього рівня ієрархії;
- зв'язок з системами керування електроустановками.

Нижній рівень АСК для випалювання вапняку розбитий на системи так, щоб звести до мінімуму або навіть повністю виключити необхідність в інформаційному зв'язку систем нижнього рівня один з одним. Набір вхідних сигналів, що поступають в кожну систему, є достатнім для автономної роботи систем. Тим самим досягається розвантаження локальної обчислювальної мережі і забезпечення максимальної швидкості доставки інформації в систему верхнього рівня.

Автоматизоване робоче місце (АРМ) диспетчера печі відноситься до верхнього рівня ієрархії і створюється для вирішення наступних завдань:

- представлення інформації операторові у виді, зручному для спостереження за ходом технологічного процесу (кольорові графічні відео кадри, графіки і тому подібне);
- формування і супровід глобальної бази даних технологічного процесу;
- формування і видача попереджувальних і аварійних повідомлень;
- введення інформації від оперативно-технологічного персоналу;
- розрахунок матеріального і теплового балансів ;
- розрахунок комплексних показників (теоретична температура горіння, міра використання газу і тому подібне);
- формування і зберігання звітних документів.

2.1.2 Склад і опис структури комплексу технічних засобів оберткової печі випалювання вапняку

Комплекс технічних засобів для реалізації АСКТП складається з наступних компонентів:

- первинні перетворювачі(датчики);
- вторинні прилади реєстрації;
- виконавчі пристрої;
- програмований логічний контролер (ПЛК);
- інтелектуальні пульти керування (робочі станції) з кольоровими графічними відеотерміналами, клавіатурами, пристроями і засобами довготривалого зберігання даних для реалізації систем рівня ухвалення рішення АСК;
- лінії зв'язку і устаткування локальних обчислювальних мереж;

Виконання різних функцій АСК розподілене між окремими технічними засобами, що виконують самостійні завдання і пов'язаними магістралями передачі даних.

Основу комплексу утворює функціонально повна відкрита сукупність виробів з уніфікованими зовнішніми зв'язками, погоджених за призначенням, конструкції, основним технічним параметрам і умовам застосування.

Функціональна повнота комплексу припускає можливість ефективної реалізації на його базі усіх функцій збору, обробки, зберігання, передачі інформації, ручного введення і відображення інформації, формування і видачі дій, що управляють, в розподіленій системі автоматизації.

Використані технічні засоби мають промислове виконання, що допускає можливість експлуатації останніх в шкідливих і важких кліматичних умовах.

2.2 Розробка функціональних схем обертової печі як об'єкту САР температури відхідних газів

Аналіз технологічного процесу випалювання вапняку в обертовій печі, виконаний в першому розділі, показав, що основною технологічною метою керування процесом випалювання вапняку є отримання готової продукції стабільної якості (вміст $\text{CaO} + \text{MgO}$ - 90%) за умов максимального використання енергії згоряння палива. При цьому головною технологічною операцією, що

визначає якість готової продукції, є саме процес термічної обробки вапняку в обертовій печі. Тому підвищення техніко-економічних показників процесу (підвищення якості випаленого вапняку, збільшення продуктивності, зниження питомих витрат) можна досягти шляхом вдосконалення систем автоматичного керування обертовою піччю.

Основою для розробки будь-якої системи автоматичного керування є математична модель технологічного процесу, тому доцільно розглянути обертову піч як об'єкт автоматизації. Основним фактором, за яким можна оцінити завершеність технологічного процесу випалювання, є температура відхідних газів. Тому цей параметр доцільно вважати керованою величиною процесу і будувати систему автоматичного керування саме за цим параметром. Для розробки математичної моделі обертової печі як об'єкту керування температурою необхідно оцінити входні фактори, що впливають на температуру відхідних газів. Продуктивність завантаження визначається поточною необхідністю підприємства у вапняку. Вологість та температура вапняку є величинами, що залежать лише від характеристик сировини і вносять збурення в процес регулювання температури. Також до факторів, які безпосередньо не можна змінювати в процесі керування, можна віднести температуру зовнішнього повітря, яке використовується для розбавлення продуктів спалювання газу. З огляду на це, регулювати температуру можливо лише шляхом змінення витрат газу та повітря.

Отже, для обертової печі як об'єкту автоматизації керованою величиною є температура відхідних газів, основними керуючими величинами доцільно прийняти витрати газу та повітря, а збурюючими факторами вважатимемо змінення продуктивності завантаження вапняку, варіації вологості та температури вапняку, а також температуру зовнішнього повітря (рис. 2.1).

Рисунок.2.1 – Функціональна схема обертової печі як об'єкту керування САР температури відхідних газів

Виконаний факторний аналіз об'єкту керування показує, що систему автоматичного керування температурою відхідних газів доцільно реалізувати за принципом керування за відхиленням, оскільки при використанні такого

підходу система буде компенсувати вплив невимірюваних збурень, пов'язаних зі змінами вологості вихідної сировини (вапняку) та температури повітря, що використовується для розбавлення теплоносія, що отримується в результаті спалювання природного газу.

Для дослідження та розробки системи автоматичного керування температурою відхідних газів необхідно скласти функціональну та структурну схему САК. До складу САК температурою відхідних газів входять два контури керування – контур регулювання температури відхідних газів шляхом змінення витрати газу (ведучий) та контур регулювання витрати повітря (рис. 2.2) для забезпечення заданого співвідношення витрати газ-повітря. До складу контуру керування витратою газу входять об'єкт керування (обертова піч); регулюючий орган (заслінка); виконавчий механізм, що керує заслінкою; керуючий пристрій, функції якого буде виконувати програмований логічний контролер (ПЛК) і який є основою другого рівня комплексу технічних засобів; первинний перетворювач для вимірювання температури (термопара). Керуючий пристрій на основі поточного значення температури, виміряного первинним перетворювачем (термопарою), формує сигнал керування положенням регулюючого органу, який відпрацьовується виконавчим механізмом. Оскільки виконавчий механізм, що планується використовувати в комплексі технічних засобів системи, має імпульсний режим керування, то до складу керуючого пристрою повинні входити безперервний регулятор та трьохпозиційний перемикач, який безпосередньо формує керуючі імпульси на відкриття або закриття регулюючого органу.

Контур регулювання витрати повітря призначений для автоматичного підтримання заданого співвідношення між витратами газу та первинного повітря. Завданням для контуру є задане значення витрати повітря, що формується в блоці розрахунку бажаного співвідношення «газ-повітря» на основі поточного виміряного значення витрати газу.

Функціональну схему автоматизації складемо для контролю і регулювання параметрів природного газу і повітря, що надходить в піч.

Схема автоматизації ділянки подачі природного газу і повітря, що надходить у піч приведена на рис.2.3. Контроль витрат природного газу та повітря, що надходить безпосередньо в піч, здійснюється набором апаратури.

Рисунок 2.2 – Функціональна схема проектованої САК температури відхідних газів

Рисунок 2.3 – Схема автоматизації ділянки подачі природного газу і повітря, що надходить у піч

Цей набір включає:

- імпульсну трубку;
- вимірвальні перетворювачі витрат типу «Honeywell» (позиції 2А, 2Б).

Витрата природного газу та повітря вимірюється звужуючими пристроями 1А, 1Б, перепад тиску, на яких за допомогою імпульсних трубок передається вимірвальним перетворювачем різниці тиску 2А, 2Б. вихідний сигнал перетворювача, який пропорційний перепаду витрати на діафрагмі надходить на аналоговий вхід контролера. На аналоговий вхід контролера також надходять сигнали пропорційні тиску природного газу і повітря.

Контролер обчислює витрати природного газу і повітря і цей сигнал несе інформацію про поточні значення витрати природного газу і повітря. У контролері програмно реалізовано автоматичний регулятор витрати природного газу і повітря, на перший вхід якого надходить сигнал про поточне значення витрати природного газу і повітря, а на другий вхід - сигнал пропорційний заданому значенню витрати. Задане значення співвідношення витрат надходить від оператора робочої станції технологічного персоналу.

Регулятор обчислює сигнал неузгодженості та відповідно до прийнятого закону регулювання виробляє керуючий вплив. Цей вплив через блок ручного керування (БРУ) 1Н, пускач безконтактний реверсивний ФЦ 1S, надходить на виконавчий механізм 2М, вал якого жорстко пов'язаний з регулюючим органом подачі повітря. Виконавчий механізм і регулюючий орган переміщується до тих пір поки поточне значення витрати природного газу і повітря не стане рівним заданому значенню в межах точності роботи системи.

2.3 Математичне забезпечення автоматизованої системи керування обертовою піччю для випалювання вапняку

2.3.1 Розробка математичної моделі обертової печі

Об'єкти керування складаються з кількох або багатьох елементів, що взаємодіють між собою. При моделюванні об'єкта, для спрощення роботи, доцільно виділити в його структурі елементи, що взаємодіють один з одним, описати (промоделювати) їх окремо, а потім отримати модель усього об'єкта об'єднанням моделей елементів.

Опис кожного такого елементу може бути проведено як на основі аналітичної моделі, що відбиває фізику процесів в ньому (теоретична модель), що з одного боку досить складно для інженера, але з іншого боку дає повну картину того, що відбувається, дозволяючи на основі глибоко розуміння принципів роботи визначати можливі шляхи керування таким об'єктом. Але дуже часто може виявитися цілком достатнім провести опис елемента об'єкта або об'єкта в цілому на основі експериментального вивчення його поведінки (емпірична модель об'єкта).

При нормально налагодженому виробничому процесі системи об'єкти керування більшу частину часу працюють в усталеному режимі. При цьому об'єкт насамперед виявляється своїми статичними властивостями, тобто тим, як він поводить себе при постійних впливах або таких, що дуже повільно змінюються. Інерційно-динамічні властивості об'єкта в усталеному режимі роботи системи виявляються порівняно не сильно, на відміну від перехідного режиму роботи.

Тому для побудови системи автоматичного керування дуже важливо мати статичну характеристику об'єкта керування, щоб побудувати повну модель об'єкта в статиці. Особливість реальних об'єктів керування полягає в тому, що вони мають кілька вхідних впливів (керуючих величин), а також може бути і кілька вихідних, керованих. Іншими словами, керовані величини об'єкту представляють собою функції декількох змінних і ці функції, як правило, нелінійні. Традиційні аналітичні методи опису та моделювання таких

багатовимірних нелінійних об'єктів досить трудомісткі і не застосовувалися широко в інженерній практиці. Традиційно намагаються виконати лінеаризацію об'єкта, а потім дослідити і оптимізувати щодо його роботи по приростам впливів у вибраній робочій точці.

З метою розробки статичною моделі обертової печі для випалювання вапняку було проаналізовано усталені режими її роботи при трьох вхідних параметрах (керуючих впливах) – подача вапняку, подача газу та подача первинного повітря. При усталених на тривалому інтервалі часу значеннях цих вхідних величин шляхом аналізу записів реєструючих пристроїв визначалася температура відхідних газів. За результатами виконаного аналізу складено таблиці, що уявляють собою табличну форму представлення статичної характеристики об'єкту (табл. 2.1 – 2.4). Для комбінацій параметрів, які не зустрічалися в наявних показах реєструючих пристроїв, було опитано технологічний персонал вапнякового відділення та на основі їх досвіду виконано апроксимацію відповідної статичної характеристики об'єкту.

Таблиця 2.1 – Залежність температури відхідних газів від подачі вапняку та витраті газу при витраті повітря $Q_{\text{п}} = 3000 \text{ м}^3/\text{год}$

Подача вапняку, т/год	Витрата газу, $\text{м}^3/\text{год}$					
	250	500	725	1000	2000	3000
6	30	60	91	102	149	196
9	25	52	72	82	123	163
12	23	46	67	75	112	147
18	18	35	51	60	95	131
24	16	28	42	51	80	110
30	14	25	37	44	68	93

Таблиця 2.2 – Залежність температури відхідних газів від подачі вапняку та витраті газу при витраті повітря $Q_{\text{п}} = 15000 \text{ м}^3/\text{год}$

Подача вапняку, т/год	Витрата газу, $\text{м}^3/\text{год}$					
	250	500	725	1000	2000	3000
6	149	298	455	508	744	980
9	122	259	359	411	613	814
12	113	228	333	376	560	735
18	88	175	254	298	473	656
24	79	140	210	254	399	551
30	70	123	184	219	341	464

Таблиця 2.3 – Залежність температури відхідних газів від подачі вапняку та витраті газу при витраті повітря $Q_{\text{п}} = 22500 \text{ м}^3/\text{год}$

Подача вапняку, т/год	Витрата газу, $\text{м}^3/\text{год}$					
	250	500	725	1000	2000	3000
6	223	446	683	761	1116	1470
9	184	389	538	617	919	1221
12	171	341	499	564	840	1103
18	131	263	381	446	709	984
24	118	210	315	381	599	827
30	105	184	276	328	512	696

Таблиця 2.4 – Залежність температури відхідних газів від подачі вапняку та витраті газу при витраті повітря $Q_{\text{п}} = 30000 \text{ м}^3/\text{год}$

Подача вапняку, т/год	Витрата газу, $\text{м}^3/\text{год}$					
	250	500	725	1000	2000	3000
6	298	595	910	1015	1487	-
9	245	518	718	823	1225	-
12	228	455	665	756	1120	1470
18	175	350	508	595	945	1312
24	158	280	420	508	798	1102
30	140	245	368	438	683	927

Для побудови динамічної моделі об'єкта керування на основі експериментальних даних бажано досить мати його репрезентативні розгінні характеристики, як за керуючою величиною, так і за збуренням. Для багатьох об'єктів промислового призначення розгінні характеристики можна знайти в літературі. Проте в реальному проектуванні краще мати зняті самостійно експериментальні розгінні характеристики. Ці характеристики знімаються окремо шляхом подачі ступінчастого діяння, змінюючи на малі відсотки від номінальної величини керуючого діяння та збурень об'єкта, який працює у номінальному режимі.

Як вказано в [1], динамічну модель обертової печі можна представити у вигляді послідовно з'єднаної нелінійної статичної моделі та лінійної динамічної моделі. В динамічному відношенні обертова піч для випалювання вапняку може бути апроксимована аперіодичною ланкою першого порядку з передаточною функцією [1]

$$W_{ок}(p) = \frac{F_3(Q_в, Q_г, Q_п)}{T_{ок}p + 1}, \quad (2.1)$$

де $T_{ок}$ – стала часу об'єкту керування; $F_3(Q_в, Q_г, Q_п)$ – функція, що описує нелінійну статичну характеристику об'єкту керування; $Q_в, Q_г, Q_п$ – витрати вапняку, газу та повітря відповідно.

На основі експериментальних характеристик визначено, що при миттєвому збільшенні будь-якого з трьох параметрів $Q_в, Q_г, Q_п$ процес зміни температури відхідних газів закінчується за час приблизно 700 с. Відомо, що для аперіодичних ланок тривалість перехідного процесу $t_p = 3 \cdot T_{ок}$, тобто стала часу об'єкту становить приблизно 240 с.

Отже, передаточна функція об'єкту керування:

$$W_{ок} = \frac{1}{240p + 1}; \quad (2.2)$$

Отримані дані використаємо для побудови математичної моделі об'єкту керування та для його моделювання в середовищі MATLAB.

2.3.2 Розробка структури системи автоматичного керування температури відхідних газів

Структурна схема, що відповідає функціональній схемі на рис. 2.2, зображена на рис. 2.4. На структурній схемі на рис. 2.4 позначено: $W_{рег}$ – передаточна функція регулятора температури; $F_1(u)$ – нелінійний елемент з характеристикою типу «трьохпозиційний перемикач»; $W_{вм}$ – передаточна функція виконавчого механізму; $F_2(\delta)$ – нелінійний елемент з характеристикою типу «обмеження»; $W_{ро}$ – передаточна функція регулюючого органу; $F_{ок}(Q_в, Q_г, Q_п)$ – нелінійна статична характеристика об'єкту керування; $W_{ок}$ – передаточна функція об'єкту керування; $W_{підс}$ – передаточна функція підсилювача; $W_{дт}$, $W_{двг}$, $W_{двп}$ – передаточні функції датчиків температури, витрати газу та витрати повітря відповідно.

Рисунок 2.4 – Структурна схема системи автоматичного керування температурою обертової печі

Заслінка виконує функції регулюючого органу. Прийmemo, що подача газу, що здійснюється заслінкою, пропорційна куту її відкриття, що змінюється від 0° до 90°. Це означає, що при максимальному відкритті заслінки, що дорівнює 90 °, подача газу в піч максимальна і вона дорівнює 3000 м³ / год. Отже, заслінка може бути промодельована пропорційною ланкою (підсилювачем), коефіцієнт посилення якої дорівнює:

$$K_z = \frac{Q_z}{\varphi_z}; \quad (2.3)$$

де Q_z – максимальна витрата газу, м³/год; φ_z – кут повороту заслінки, град;

$$K_z = \frac{3000}{90} = 33,3(\text{м}^3 / \text{год} * \text{град}); \quad (2.4)$$

Оскільки кут повороту заслінки обмежено діапазоном від 0 до 90 град, для врахування цього перед передаточною функцією регулюючого органу необхідно додати нелінійний елемент F₂(8) типу «обмеження».

В якості виконавчого механізму в схемі на рис. 2.2 використовується механізм електричний однооборотний МЕО, який спеціально розроблений для керування заслінками. Після досягнення на його керуючому вході деякого рівня напруги МЕО включається і, в залежності від знаку керуючої напруги, переміщує заслінку в ту чи іншу сторону до тих пір, поки її положення не досягне крайніх меж, або до тих пір, поки на його вході не стане напруги.

До складу виконавчого механізму входить асинхронний двигун з передаточною функцією за каналом «керуюча напруга» - «швидкість обертання двигуна»

$$W_{\text{вм}} = \frac{K_{\text{вм}}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}; \quad (2.5)$$

де $K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт підсилення виконавчого механізму; T_1 , T_2 – сталі часу двигуна.

Отже, передаточна функція виконавчого механізму

$$W_{\text{вм}} = \frac{3.6}{0.3p^2 + 1.6p + 1}; \quad (2.6)$$

Статичний коефіцієнт посилення моделі асинхронного двигуна (АД) визначено з того, що при керуючому сигналі, рівному 1, двигун переміщує заслінку на 90, звідси:

$$K_{\text{вм}} = \frac{\varphi_3}{t}; \quad (2.7)$$

де φ_3 – кут повороту заслонки, град; t – час повороту заслонки з нульового положення в максимальне (90°)

$$K_{\text{вм}} = \frac{90}{1.25} = 3.6(\text{град}/\text{сек}); \quad (2.8)$$

Оскільки вихідною величиною виконавчого механізму є кут повороту, то для переходу від частоти обертання до кута повороту в структурну схему необхідно додати ідеальну інтегруючу ланку.

Для вимірювання температури відхідних газів доцільно використовувати термопару, верхня межа вимірювання якої перевищує величину в 850 – 1100 °С.

$$W_{\text{д.т.}} = K_{\text{д}}; \quad (2.9)$$

де $K_{\text{д}}$ – коефіцієнт підсилення датчика;

Звідси, передаточна функція датчика температури

$$W_{\text{д.т.}} = 0.02; \quad (2.10)$$

Відомо, що зміна температури на 800 С призводить до зміни вихідного струму датчика на 16 мА (20 мА – 4 мА), що дає значення коефіцієнта посилення моделі датчика:

$$K_{\text{д.}} = \frac{I_{\text{вих}}}{t}; \quad (2.11)$$

де $I_{\text{вих}}$ – вихідний струм датчика температури, мА; t – зміна температури в обертовій печі;

$$K_{\text{д.}} = \frac{16}{800} = 0.02(\text{мА}/\text{град}^\circ\text{С}); \quad (2.12)$$

При моделюванні, для зручності сприйняття результатів і завдання рівнів стабільної температури доцільно задати значення посилення зворотного зв'язку, де знаходиться датчик, рівний одиниці.

Природно, при реалізації САР цей момент повинен бути врахований і посилення додаткового підсилювача зворотного зв'язку має бути перенесено в посилення ПД-регулятора, а для зручності спостереження задається величини в градусах С, відповідний підсилювач, з коефіцієнтом підсилення, зворотним коефіцієнту підсилення додаткового підсилювача зворотного зв'язку

$$W_{\text{підс}} = \frac{1}{K_{\text{д.т.}}}; \quad (2.13)$$

де $K_{\text{д.т.}}$ – коефіцієнт підсилення датчика температури; отже передаточна функція підсилювача:

$$W_{\text{підс}} = \frac{1}{0.02}; \quad (2.14)$$

Використовуємо пропорційно-диференційний (ПД) регулятор, передаточна функція якого

$$W_{\text{пд}} = K_{\text{п}} \left(1 + \frac{1}{T_{\text{и}} p} \right); \quad (2.15)$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт підсилення регулятора; $T_{\text{и}}$ – стала часу інтегратора;

Рисунок 2.5 – Структурна схема системи автоматичного керування температурою відхідних газів обертової печі

2.3.3 Розробка алгоритму керування співвідношенням «газ – повітря»

Математичне забезпечення має визначати на всіх етапах розробки та експлуатації АСУ ТП методи та алгоритми обробки інформації для цільового завдання керування (рис.2.6)

Рисунок 2.6 – Алгоритми обробки інформації для цільового завдання керування.

Для підтримання співвідношення «Приведена витрата природного газу / витрата повітря на пальники» необхідне введення цієї залежності « $F_{\text{пр.газу}}/F_{\text{повітря}}$ » для кожної печі з мнемосхеми станції оператора. Залежність « $F_{\text{пр.газу}}/F_{\text{повітря}}$ » є кусково-лінійною і задається за трьома точкам: мінімальна витрата природного газу $F_{\text{хв}}^{\text{пр.газу}}$ і відповідно їй витрати повітря $F_{\text{хв}}^{\text{повітря}}$, максимальна витрата природного $F_{\text{макс}}^{\text{пр.газу}}$ і відповідно їй витрати повітря $F_{\text{макс}}^{\text{повітря}}$, а також витрати у середині шкали $F_{\text{с}}^{\text{пр.газу}}$ і $F_{\text{с}}^{\text{повітря}}$.

Визначення завдання витрати повітря на піч проводиться за наступними формулами

$$F_{\text{зад.}}^{\text{пов.}} = F_{\text{мін.}}^{\text{пов.}} + \frac{F_{\text{пот.}}^{\text{пр.г.}} - F_{\text{хв}}^{\text{пр.г.}}}{F_{\text{с}}^{\text{пр.г.}} - F_{\text{хв}}^{\text{пр.г.}}} \cdot (F_{\text{с.}}^{\text{пов.}} - F_{\text{мін.}}^{\text{пов.}}) \text{ при } F_{\text{пот.}}^{\text{пр.г.}} < F_{\text{с}}^{\text{пр.г.}}; \quad (2.16)$$

$$F_{\text{зад.}}^{\text{пов.}} = F_{\text{мін.}}^{\text{пов.}} + \frac{F_{\text{пот.}}^{\text{пр.г.}} - F_{\text{хв}}^{\text{пр.г.}}}{F_{\text{с}}^{\text{пр.г.}} - F_{\text{хв}}^{\text{пр.г.}}} \cdot (F_{\text{макс}}^{\text{пов.}} - F_{\text{с.}}^{\text{пов.}}) \text{ при } F_{\text{пот.}}^{\text{пр.г.}} \geq F_{\text{с}}^{\text{пр.г.}}; \quad (2.17)$$

Завдання підтримки заданої витрати повітря включає автоматичне включення регулювання витрати по обвідному воздуховоду в разі вичерпання діапазону регулювання по основному воздуховоду.

Рисунок 2.7 – Залежність « $F_{\text{пр.газу}}/F_{\text{повітря}}$ »

Алгоритми оперативного контролю та керування повинні мати високу оперативність виконання (мінімальна кількість розгалужень, умовних переходів переривань) при розумній їх довжині. Розроблені алгоритми керування прикладними процесами повинні володіти високою надійністю і стійкістю. Не допускається наявність тупикових ситуацій. Крім цього, математичне забезпечення має включати програми, що здійснюють сервісні функції при обробці інформації (сортування, фільтрація, виконання арифметичних операцій над масивами даних та ін.) Розрахунок витрат природного газу повинен здійснюватися за алгоритмом, з урахуванням коректуючих показників по надлишковому тиску і температурі середовища з застосуванням постійного коефіцієнта витрати звужуючого пристрою.

Математичне забезпечення керуючих функцій ПТК необхідно будувати по блочно-модульному принципу. Алгоритми керування, і регулювання описуються технологічною мовою і здійснюють компоновку і настройку типових модулів на вирішення конкретних завдань, а також формують їх вхідну і вихідну інформацію.

Алгоритм програми керування співвідношенням «газ – повітря» (рис. 2.8) являє собою нескінченний програмний цикл, який складається з пускового блоку і основного блоку.

Рисунок 2.8 – Алгоритм програми керування співвідношенням газ – повітря

Пусковий блок включає в себе:

Блок А1 – початок програми.

Блок А2 – обнуління робочих осередків ОЗП, констант, ознак.

Блок А3 – приведення виконавчого механізму заслінки витрати повітря в початковий стан (закрито).

Блок А4 – призначення констант і заданих величин, необхідних у процесі роботи системи.

Блок А5 – перевірка умови, чи не виконано перезапуск програми; якщо «так», то пусковий блок повторюється; якщо «ні», то керування передається в основний блок.

До основного блоку програми входять:

Блок А6 – підпрограма введення сигналу від датчика витрати повітря.

Блок В1 – підпрограма опитування витрати природного газу.

Блок В2 – підпрограма опитування витрати повітря.

Блок В3 – обчислення базової витрати повітря.

Блок В4 – підпрограма установки базового значення повітря.

Блок В5 – приведення виконавчого механізму заслінки в положення базової витрати повітря.

Блок В6 – обчислення неузгодженості регульованих параметрів.

Далі основний програмний блок повторюється за умови, що не було перезапуску програми.

Для технічної реалізації системи автоматичного регулювання співвідношення «газ – повітря» необхідно обрати відповідні технічні засоби автоматизації. САК співвідношення «газ – повітря» доцільно реалізувати на основі комплексу технічних засобів автоматизації, до яких входять:

- а) вимірювальний перетворювач надлишкового тиску – STG 94;
- б) керуючий пристрій на базі програмованого контролера Modicon M340;
- в) пускач безконтактний реверсивний – ПБР-3А;
- г) блок живлення – БЖ-10;
- д) механізм виконавчий електричний – МЕО-1600/25-0, 25у-92К;
- е) регулюючий орган – клапан регулюючий дисковий;
- ж) вторинний реєструючий прилад – DR 4311;
- з) для створення перепаду тиску, на якому заснований метод вимірювання витрати, необхідно встановити в трубопроводах газу і повітря діафрагми ДБС 1,6-350-б, ДБС 1,6-1200-б;
- і) для ручного керування застосовуємо БРУ – 42;
- к) для керування виконавчим механізмом вибираємо підсилювач ФЦ 0620.

До складу виконавчого механізму також входить датчик положення вала виконавчого механізму БСПТ-10 і блок живлення БЖ-10, положення заслінки виводиться на відеоконтрольний пристрій.

3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій

3.1 Вибір технічних засобів автоматизації та обчислювальної техніки 1-го та 2-го рівня

Система керування випалюванням в печах являє собою комплекс технічних засобів, які забезпечують наступні функції;

- забезпечення роботи печі та її механізмів у точній відповідності до вимог технології в автоматичному режимі;

- попередження і діагностування аварійних ситуацій, що дозволяє забезпечити безпеку праці і цілісність обладнання цеху;

- візуальне відображення ходу технологічного процесу і роботи печі на екрані комп'ютера оператора;

- запис і архівування даних про основні параметри технологічного процесу в базі даних комп'ютера.

АСКТП випалювання в печі складається з трьох рівнів.

Перший рівень: комплекс засобів, для отримання даних про технологічний процес і його параметрах.

Цей рівень включає в себе датчики, які здійснюють збір інформації про температуру, тиск, витрату, положення механізмів та інших параметрів технічного процесу.

Другий рівень: програмований логічний контролер Modicon M340 фірми Schneider Electric.

Даний контролер, отримавши інформацію з першого і з третього рівнів, здійснює керування технологічним процесом за програмою, завантаженої в нього за допомогою програмного пристрою - програматора. Керування здійснюється шляхом подавання команд на виконавчі механізми.

Третій рівень: комплекс засобів, для відображення технологічного процесу, а також для передачі параметрів керування в контролер.

Цей рівень виконаний на базі сучасних персональних комп'ютерів промислового виконання фірми Advantech, оснащених спеціальними платами - комунікаційними процесорами для зв'язку з контролерами через шину ETHWAY. Через ці комп'ютери здійснюється завдання параметрів і режимів роботи печі, а також здійснюється керування піччю в ручному режимі у разі виникнення позаштатних ситуацій. Програмним забезпеченням на даному рівні є система візуалізації In Touch7.1 фірми WonderWare.

Відповідно до поставлених завдань, необхідно розробити контури керування – основних технологічних параметрів і подачею паливного газу в піч. Отже, можна синтезувати такі контури контролю та керування:

1. Контур контролю і реєстрації температури в перехідному каналі. Тут використано датчик ТХАв/ТХКв-2088-01, сигнал з якого надходить в контролер, в комплекті з реєструючим приладом типу МТМ-РЄ-160.

2. Контур контролю тиску продувного повітря. Використано датчик тиску STD 110 в комплекті з вторинним приладом DR 4311 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, сигнал з якого надходить в контролер.

3. Контур контролю і реєстрації тиску в сполучному каналі. Складається з датчика тиску АІР – 20/М2 і реєструючого приладу МТМ – РЭ – 160 з уніфікованим вхідним сигналом 4-20 мА, сигнал з якого надходить в контролер.

4. Контур контролю витрати повітря на горіння (верхній). Побудований на основі витратоміра STD 924 в комплекті з вторинним перетворювачем DR 4311. Сигнал з DR 4311 за протоколом Modbus надходить в контролер.

5. Контур контролю тиску повітря на горіння і контур контролю тиску продувного повітря (верхній). Використано датчик тиску STG 94 в комплекті з вторинним приладом DR 4311 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, сигнал з якого надходить в контролер.

6. Контур контролю витрати повітря на охолодження (нижній). Побудований на основі витратоміра STD 924 в комплекті з вторинним перетворювачем DR 4311. Сигнал з DR 4311 за протоколом Modbus надходить в контролер.

7. Контур контролю тиску повітря на охолодження (нижній). Контур контролю тиску продувного повітря. Використано датчик тиску STG 94 в

комплекті з вторинним приладом DR 4311 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, сигнал з якого надходить в контролер.

8. Контур контролю і реєстрації температури вапна з шахти. У ньому використовуються первинний перетворювач ТХАв/ТХКв-2088-01, сигнал з якого надходить в контролер, в комплекті з реєструючим приладом типу МТМ-РЄ-160.

9. Контур контролю температури газів, що відходять з шахти. У ньому використовуються первинний перетворювач ТХАв/ТХКв-2088-01, сигнал з якого надходить в контролер, в комплекті з реєструючим приладом типу МТМ-РЄ-160.

10. Контур контролю температури природного газу. У ньому використовуються термопара ТХАв/ТХКв-2088-01, сигнал з якого надходить в контролер, в комплекті з реєструючим приладом типу МТМ-РЄ-160.

Побудований на основі витратоміра STD 924 в комплекті з вторинним перетворювачем DR 4311. Сигнал з DR 4311 за протоколом Modbus надходить в контролер. Контролер генерує сигнал на відкриття або закриття регулюючого органу. Даний сигнал надходить на виконавчий механізм МЕО, який відкриває або закриває регулюючий орган.

Отже, на основі аналізу технічних вимог до системи автоматизації, можна здійснити вибір устаткування для реалізації описаних контурів керування:

- для вимірювання витрати: датчики STD 924; вторинні прилади DR 4311;
- для вимірювання тиску: датчики STG 94; вторинні прилади DR 4311;
- для вимірювання розрідження: датчики STD 110, AIP – 20/M2; вторинні прилади DR 4311, МТМ – РЭ – 160;
- для вимірювання температури: датчики ТХА, ТХК; вторинний прилад, МТМ – РЭ – 160;

У системах дистанційного керування застосовуються такі типи устаткування :

- виконавчі механізми типу МЭО-10, МЭО-100, МЭО-630;
- пускачі типу ПБР-2, ПБР-3А.

Далі наведемо основні технічні характеристики обраної апаратури керування.

3.2 Вибір датчиків, первинних перетворювачів та виконавчих пристроїв

Вибір первинних та вторинних приладів для вимірювання витрати

Датчик STD-924 виробництва фірми «Honeywell» (табл. 3.1) призначений для вимірювання витрати газоподібних речовин та забезпечує перетворення витрати в аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА та працює в стандарті двохпроводних систем. Засобом вимірювання є п'єзорезистивний чутливий елемент, який фактично містить три датчики в одному: датчик перепаду тисків, датчик температури і датчик статичного тиску.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики датчика STD-924

№ з/п	Параметр		Значення
1	Верхня межа шкали	дН ₂ О	400 (2 ° С - це стандартна базова температура для шкал в дюймах Н ₂ О)
		Мбар	1000
2	Мінімальна шкала дН ₂ О: 10;	дН ₂ О	10
		Мбар	25
3	Нахил характеристики		40 к 1
4	Рівень нуля і придушення		Від -5 до 100% URL
5	Точність (Відносна - включає об'єднане вплив лінійності, гістерезису і повторюваності)		В аналоговому режимі: ± 0.075% від калібрувальної шкали або значення верхньої межі (URV) (від більшого значення). У цифровому режимі: ± 0.0625% від калібрувальної шкали або значення верхньої межі (URV) (від більшого значення).
6	Вплив температури на нуль, кожні 28 ° С		В аналоговому режимі: ± 0.1625% У цифровому режимі: ± 0.15% від шкали
7	Спільне вплив температури на нуль і шкалу, кожні 28 ° С		В аналоговому режимі: ± 0.25% від шкали У цифровому режимі: ± 0.225% від шкали
8	Вплив статичної тиску на нуль, кожні 1000 пси (70 бар)		± 0.625% від шкали
9	Спільне вплив статичного тиску на нуль і шкалу, кожні 1000 пси (70		± 0.30% від шкали

	бар)	
10	Тимчасова стабільність	$\pm 0.015\%$ від URL на рік

Для реєстрації результатів вимірювання витрати в комплекті з первинним перетворювачем STD-924 доцільно використовувати вторинний прилад DR 4311 виробництва фірми «Honeywell», який являє собою однопір'яний самописець з рідкокристалічним дисплеєм (табл. 3.2). Передача даних на верхній рівень відбувається за протоколом Modbus зі швидкістю передачі до 19200 бод, яка може налаштовуватися для моделей з дисплеєм, та є фіксованою (9600 бод) для моделей без дисплея. Використовується двох провідна багатоточкова лінія зв'язку.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики вторинного приладу DR 4311

№ з/п	Параметр	Значення
1	Температура навколишнього середовища	0 °C ÷ 55 °C
2	Відносна вологість	5 % ÷ 90 % RH при 40 °C
3	Вібрація	Частота
		0 ÷ 200 Гц
4	Механічний удар	Прискорення
		0.5 g
5	Монтажне положення відносно вертикалі	Прискорення
		5 g
		Тривалість
6	Живлення	нахил вперед
		5°
		нахил назад
7	Споживана потужність	нахил в сторону (±)
		90°
8	Тип приведення в дію	20°
		напруга (ac/dc)
9	Мінімальний діапазон зміни входу	100 В ÷ 240 В змінного струму (ac)
		частота (Гц)
10	Вхідний імпеданс	60 ±1 або 50 ±1
11	Час відгуку на крок зміни	Максимум 20 Вт
12	Відтворюваність	Термопара: В, Е, Е (низькотемпературна), J, J (нізкотемп.), К, К (нізкотемп.), Ni-Ni Moly, Nicrosil-Nisil, R, S, T, Т (нізкотемп.), W5W26 RTD: Платиновий 100 Ом, 100 Ом (нізкотемп.), 100 Ом
13	Частота відліків	Повністю настроюваний діапазон в межах обмежень робочого діапазону чутливого елемента.
		Постійний струм mA: 250 Ом Постійна напруга В dc: 200 кОм Термометр опору RTD: 13.3 кОм .Всі інші: 10 МОм
		Максимум 7 секунд
		0.1% від діапазону зміни
		Відлік входу 3 рази в секунду

Вибір первинних та вторинних приладів для вимірювання тиску

Для вимірювання тиску доцільно використовувати первинний перетворювач STG–94 (табл. 3.3).

Датчик STG–94. Засобом вимірювання є п'єзорезистивний чутливий елемент, який містить три датчика в одному. Він містить датчик перепаду тиску, датчик температури і датчик статичного тиску.

Робота при номінальних умовах – Модель STG94L (від 0 до 500 псі/35 бар)

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики первинного приладу STG 94

№ з/п	Параметр		Значення
1	Верхня межа шкали	Псі	500
		Бар	35
2	Мінімальна шкала дН2О: 10;	Псі	20
		Бар	1.4
3	Нахил характеристики		25 к 1
4	Рівень нуля і придушення		Жодної межі за винятком мінімальної шкали від абсолютного 0 (нуля) до +100% URL. Специфікації дійсні для цієї шкали.
5	Точність (Відносна - включає об'єднане вплив лінійності, гістерезису і повторюваності)		В аналоговому режимі: $\pm 0.075\%$ від калібрувальної шкали або значення верхньої межі (URV) (від більшого значення). У цифровому режимі: $\pm 0.0625\%$ від калібрувальної шкали або значення верхньої межі (URV) (від більшого значення).
6	Вплив температури на нуль, кожні 28 ° C		В аналоговому режимі: $\pm 0.1625\%$ У цифровому режимі: $\pm 0.15\%$ від шкали
7	Спільне вплив температури на нуль і шкалу, кожні 28 ° C		В аналоговому режимі: $\pm 0.25\%$ від шкали У цифровому режимі: $\pm 0.225\%$ від шкали
8	Тимчасова стабільність		$\pm 0.015\%$ від URL на рік

Для реєстрації результатів вимірювання тиску в комплекті з первинним перетворювачем STG 94 доцільно використовувати вторинний прилад DR 4311 виробництва фірми «Honeywell».

Вибір первинних та вторинних приладів для вимірювання розрідження

Для вимірювання температури доцільно використовувати датчик STD-110 та AIP-20/M2 (табл. 3.4).

Датчик STD-110 інтелектуальний датчик перепаду тиску може використовуватися з будь-яким первинним елементом витрати для забезпечення надійного вимірювання витрати. Засобом вимірювання є п'єзорезистивний чутливий елемент, який також містить три датчика в одному. Він містить датчик перепаду тиску, датчик температури і датчик статичного тиску.

Робота при номінальних умовах - Модель STD110 (від 0 до 10 дюймів Н₂O).

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики первинного приладу STD-110

№ з/п	Параметр		Значення
1	Верхня межа шкали	дН ₂ O	10 (2 ° С – це стандартна базова температура для шкал в дюймах Н ₂ O)
		Мбар	25
2	Мінімальна шкала дН ₂ O: 10;	дН ₂ O	0.4
		Мбар	1
3	Нахил характеристики		25 к 1
4	Рівень нуля і придушення		Ніякого межі за винятком мінімальної шкали в діапазоні ± 100% URL.
5	Точність (Відносна - включає об'єднане вплив лінійності, гістерезиса і повторюваності)	точність включає залишкову похибка усереднення декількох послідовних вимірювань	В аналоговому режимі: ± 0.1% від калібрувальної шкали або значення верхньої межі (URV) (від більшого значення). У цифровому режимі: ± 0.0625% від калібрувальної шкали або значення верхньої межі (URV) (від більшого значення).
		для FOUNDATION Fieldbus використовуйте специфікації цифрового режиму, для HART - аналогового.	
6	Вплив температури на нуль, кожні 28 ° С		В аналоговому режимі: ± 0.0625% У цифровому режимі: ± 0.05% від шкали
7	Спільне вплив температури на нуль і шкалу, кожні 28 ° С		В аналоговому режимі: ± 0.10% від шкали У цифровому режимі: ± 0.075% від шкали
8	Вплив статичної тиску на нуль, кожні 1000 пси (70 бар)		± 0.075% від шкали
9	Спільне вплив статичного тиску на нуль і шкалу, кожні 1000 пси (70 бар)		± 0.15% від шкали
10	Тимчасова стабільність		± 0.01% від URL на рік

Датчик AIR-20/M2 – призначений для безперервного перетворення значень надлишкового тиску, розрідження, абсолютного тиску, різниці тиску і гідростатичного тиску (рівня) рідких і газоподібних, у тому числі агресивних,

середовищ газоподібного кисню та кисневмісних газових сумішей в уніфікований вихідний струмовий сигналі. У приладі реалізований подвійний комбінований струмовий вихід 0...5/4...20 мА (табл. 3.5).

Датчик має вбудований світлодіодний індикатор (СД) або рідкокристалічний (РК) індикатор з підсвічуванням. Для зручності візуалізації індикатор має кут обертання $\pm 180^\circ$, корпус – 270° .

Він оснащений сучасним тензорезистивними сенсорами з металевими і керамічними мембранами. Для в'язких і швидко застигаючих середовищ застосовуються сенсори з відкритою мембраною з нержавіючої сталі або з кераміки.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики первинного приладу АІР-20/М2

№ з/п	Параметр		Значення
1	Верхні межі вимірювань:	абсолютний тиск (ДА)	1,0 кПа ... 6,0 МПа
		надлишковий тиск (ДІ)	0,16 кПа ... 60 МПа
		тиск-розрідження (ДВ)	0,4 кПа ... 100 кПа
		Надлишковий тиск розрідження (ДИВ)	$\pm 0,3$ кПа ... (-0,1 ... +2,4) МПа;
		диференціальне тиск (ДД)	0,063 кПа ... 16 МПа
		гідростатичний тиск (ДГ)	(фланцеві) - 1,6 кПа ... 250 кПа;
		гідростатичний тиск (ДГ)	(заглибні) - 1 кПа ... 250 кПа;
2	Глибина перенастроювання діапазонів		25:1;
3	Вихідний сигнал		4 ... 20 мА; 4 ... 20 мА або 0 ... 5 мА; 0...5/4...20 мА одночасно;
4	Конфігурація		мікроперемикачі, ПО
5	Функція		витягання квадратного кореня;
6	Похибка		від $\pm 0,1\%$;
7	Кліматичні виконання		С2 (-40 ... +70 °С, -55 ... +70 °С), С3 (-10 ... +70 °С, -25 ... +70 °С, -10 ... +60 °С, -25 ... +60 °С);
8	Пиловологозахисту		IP65, IP54;
9	Варіанти виконання		загальнопромислове, «Ех» (ЕхІаІІСТ6 Х), «Ехd» (1ЕхdІІСТ6), кисневе, «Для АЕС»;
10	Індикація		ЖК з підсвічуванням, СД (з можливістю повороту на 180 °);
11	Обертання корпусу		на $\pm 135^\circ$
12	Електромагнітна сумісність (ЕМС)		IV-A;

Для реєстрації результатів розрідження в комплекті з первинним перетворювачем STD-110, АІР-20-М2 доцільно використовувати вторинний прилад DR 4311 виробництва фірми «Honeywell», а також МТМ-РС-160 (табл. 3.6).

Вторинний прилад МТМ-РС-160 призначений для накопичення (архівування) в незалежній пам'яті, зберігає і відображає інформацію про стан технологічного параметру, заданих сигналів термоелектричних перетворювачів (ТП), термометрів опору (ТС), сигналів постійного струму 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, напруги постійного струму 0-100 мВ по шести каналах; а також для заміни самописних приладів, які використовують паперові носії (КСП, КСМ, РП160 та ін.)

Функції:

- число каналів перетворення та архівування – 6;
- період реєстрації в діапазоні 1-60 сек. з дискретністю 1 сек;
- іскробезпечні входні ланцюги з маркуванням вибухозахисту «ExiaПС»;
- спільні датчики: ТВР, ТПР, ТПП, ТХА, ТХК, ТМК, ТЖК, ТНН, ТСС, ТСП (50П, 100П), ТСМ (50М, 100М), ТСН (100Н), гр21, гр23, Pt100;
- автоматична компенсація термоЕРС «вільних кінців» ТП;
- входні сигнали 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-100 мВ (НСХ перетворення - лінійна або витяг квадратного кореня);
- гальванічне розділення входних ланцюгів, ланцюгів живлення, ланцюгів сигналізації;
- сигналізація досягнення вимірюваним параметром уставок двох рівнів (Двохпозиційне регулювання).
- виведення на ЖКІ – графічному індикаторі відображаються: типи первинних перетворювачів (типи і діапазони входних сигналів), діапазони вимірювання, типи уставок та їх значення, журнал аварійних спрацьовувань, архів вимірювань.
- збереження даних при відключенні живлення;
- програмування параметрів з лицьової панелі;
- знімання інформації по інтерфейсу RS-485 або за допомогою блоку перенесення даних БПД-4 (поставляється по окремому замовленню), дублювання роз'єму RS-485 на лицьовій панелі приладу;
- друк і перегляд графіків і параметрів на персональному комп'ютері (за окремою заявкою ПО включається в комплект поставки);

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики вторинного приладу МТМ-РС-160

№ з/п	Параметр	Значення
1	Напруга живлення	АС 220 В +10% -15%
2	Споживана потужність	не більше 25 В
3	Діапазон робочих температур	+5 ... +50 ° С
4	Роздільна здатність графіка відображення параметри:	МТМ РЕ-160-01, МТМ РЕ-160-02 1%
		МТМ РЕ-160-03 0,5%
5	Основна похибка цифрових показників:	МТМ РЕ-160-01 0,1%
		МТМ РЕ-160-02, МТМ РЕ-160-03 0,25%

Вибір первинних та вторинних приладів для вимірювання температури

Для вимірювання температури використовуємо датчики ТХАв/ТХКв-2088-01.

Датчики ТХА-в-2088-01,ТХК-в-2088-01є газоподібними і рідкими, хімічно не агресивні і агресивні середовища, що не взаємодіють з матеріалом термоелектродів і не руйнують матеріал захисної арматури.

Діапазони виміру ТХК: -40 ... +600 С, ТХА: -40 ... +1000 С

Захисна арматура без штуцера, матеріал – сталь 12Х18Н10Т О 10 мм. Матеріал головки - фенопласт або алюмінієвий сплав. Термоелектроди О 1,2 мм або 0,7 мм. Робочий спай ізольований або не ізольований. Умовний тиск вимірюваного середовища $P_y = 0,4$ МПа. Можливий один або два чутливих елемента. Для вимірювання температури разом з датчиками ТХАв/ТХКв-2088-01 доцільно використовувати вторинний прилад МТМ-РС-160 (табл.3.6)

Вибір виконавчих механізмів для дистанційного керування :

Виконавчий механізм (МЕО) (табл.3.7). Механізми виконавчі електричні однооборотні постійної швидкості призначені для переміщення регулюючих органів в системах автоматичного регулювання технологічними процесами у відповідності з командними сигналами автоматичних регулюючих і керуючих пристроїв.

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики виконавчого механізму (МЕО)

№з/п	Параметри		Значення
1	Живлення	напруга	220/380В допустиме відхилення від 15 до +10%
2		частота	50Гц допустиме відхилення від 2 до +2%;
3		споживана потужність	280Вт
4	Вбудовані датчики положення (в залежності від виконання):	індуктивні	1 або 2 датчика положення вихідного органу у вигляді зміни індуктивності;
5		реостатні	2 датчика положення вихідного органу у вигляді зміни активного опору;
6		струмовий	датчик з уніфікованим сигналом 0 – 5мА, 0 – 20мА, 4 - 20мА (механізми з струмовим датчиком комплектуються блоком живлення).
7	Режим роботи:	вид	короткочасний з частими пусками S4 за ДСТ 183;
8		частота включень	до 320 на годину;
9		тривалість включень -	до 25% при навантаженні на вихідному органі в межах від номінальної протидіє до 0.5 номінального значення супутньої;
10		Максимальна частота включень -	630 на годину при тривалості включень до 25%;
11		При реверсуванні інтервал часу між вимиканням і включенням на зворотний напрям -	не менше 50мс.

Також для дистанційного керування використовується пускач ПБР 3А (табл. 3.8, 3.9) забезпечує пуск і реверс (синхронного і асинхронного електродвигуна), захист трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором від перевантаження.

Електричне живлення – змінний трифазний струм з напругою 220/380,260/400 або 240/415В при відхиленні від – 15 до +10% і частотою 50 Гц або 60 Гц при відхиленні від – 1 до +1Гц. Несиметричність трифазної системи не більше 5%.

Таблиця 3.8 – Види вхідних сигналів, межі їх змінення, номери вхідних контактів ПБР 3А

Номер вхідних контактів	Вхідні сигнали	Значення		Споживчий або комутований струм вхідного ланцюга
		включення	відключення	

7-8	Середнє значення двохполовперіодного виміряного синусоїдального напруги	(24±6) В	0-8 В	Не більш 50мА
8-9				
7-10	Стан контактних або безконтактних ключів	0-3 V	(24±6)В (амплітудна напруга 50В)	
9-10				

Таблиці 3.9 – Технічні характеристики ПБР-3А

№з/п	Параметри		Значення
1	Вхідний опір пускача		750±100Ом
2	Максимальний комутуючий струм		3А
3	Динамічні характеристики пускача	швидкодія	Час запізнення вихідного струму при подачі і знятті керуючого сигналу – не більше 25мсек
		Різниця між тривалістю вх. і вих. сигналів	20мсек
4	Повна потужність		Не більше 5 Вт
5	Напруга джерела живлення		22-26В
6	Максимальний струм, споживаного навантаження		Не повинен бути більш ніж 100 мА
7	Середній термін служби пускача		10 років.

3.3 Вибір та обґрунтування промислового контролера та модулів введення-виведення

Доцільно використати промисловий логічний контролер M 340 Premium фірми Schneider Electric. Перевагами серії контролерів M 340 Premium є висока обчислювальна потужність, висока надійність, висока швидкість обробки двійкових інструкцій у нього поєднується зі здатністю оперативно виконувати цілочисельні обчислення та операції з плаваючою комою та широкий вибір мережних архітектур при відносно невеликій (у порівнянні з продуктами виробників-конкурентів відповідного класу) вартості.

На основі аналізу вимог до задач системи керування та кількості вхідних та вихідних сигналів системи автоматичного дозування доцільно обрати процесорний блок Modicon M 340, що встановлюється на шасі BMX XBP 0800 з блоком живлення BMX CPS 2000.

Модуль блока живлення BMX CPS 2000 забезпечує живлення всіх модулів, встановлених на ПЛК. Вибір блоку живлення здійснюється в

залежності від напруги живлення та потужності, що споживається модулями, встановленими на шасі.

Модуль BMX DDI 3202 K є модулем дискретних входів 24 В постійного струму з підключенням через 40-контактний роз'єм. Це модуль з позитивною логікою (сток): його 32 вхідних каналу приймають струм від датчиків.

Для реалізації функцій керування обертовою піччю доцільно використати модуль BMX DRA 1605, що є модулем дискретних релейних виходів 24 В постійного струму або 24 – 240 В змінного струму з підключенням через 20-контактну клемну колодку. Його 16 неізольованих релейних вихідних каналів можуть працювати на постійному або на змінному струмі.

Для введення аналогових сигналів від первинних перетворювачів в складі ПЛК доцільно використати аналоговий вхідний модуль BMX AMI 0410, який є 4-х каналним промисловим вимірювальним пристроєм високорівневих сигналів. Спільно з датчиками, модуль виконує функції контролю, вимірювання і безперервного контролю виробничого процесу. Налаштування діапазону зміни вхідного сигналу проводиться в процесі конфігурації модуля BMX AMI 0410 для кожного каналу. Діапазони зміни вхідного сигналу можуть бути наступними :

- + / -10 В;
- 0-10 В;
- 0-5 В / 0-20 мА;
- 1-5 В / 4-20 мА;
- + / - 5 В + / - 20 мА.

Модуль працює з входами по напрузі. До його складу входять 4 резистора, підключених до клемної колодки для забезпечення можливості обробки входів по току.

Для видачі керуючих аналогових сигналів до складу модульного ПЛК Modicon M340 необхідно включити модуль аналогових виходів BMX AMO 0210, що має 2 ізольованих аналогових виходи.

Налаштування діапазону зміни вхідного сигналу проводиться в процесі конфігурації модуля для кожного каналу:

- + / - 10 В;

- 0-20 мА;
- 4-20 мА.

Цифро-аналогове перетворення виконується для:

- цифрового значення довжиною 16 біт для діапазону + / -10 В;
- цифрового значення довжиною 15 біт для діапазонів 0-20 мА та 4-20 мА.

Процесорні модулі з сімейства ВМХ Р34 володіють винятковими робочими характеристиками, оптимальним розміром пам'яті і зменшеним вагою, що робить їх найбільш привабливим рішенням при автоматизації виробництва.

Високопродуктивний процесорний модуль ВМХ Р34 2020 призначений для керування станцією ПЛК в цілому, а саме:

- обслуговування дискретних модулів входів-виходів;
- обслуговування аналогових модулів входів-виходів;
- обслуговування лічильних модулів;
- обслуговування комунікації.

4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність системи

4.1 Комп'ютерне моделювання елементів системи автоматичного керування обертовою піччю для випалення вапняку

Для комп'ютерного моделювання розробленої системи автоматичного керування співвідношенням «газ – повітря» для обертової печі для випалення вапняку доцільно використати пакет Simulink, що входить до складу системи MATLAB.

Моделювання системи виконується на основі виконаних раніше розрахунків та отриманих передаточних функцій елементів системи. Модель системи автоматичного керування обертовою піччю наведена на рисунку 4.1.

Рисунок 4.1 – Модель САК обертової печі для випалювання вапняку

Визначення статичної моделі об'єкту керування в пакеті Simulink наведено на рисунку 4.1. Елемент Lookup Table (n-D) використовувався для моделювання статичної характеристики обертової печі за трьома каналами: витрати газу, витрати первинного повітря та подачі вапняку, визначеними на основі аналізу усталених режимів роботи обертової печі при трьох вхідних параметрах: подача вапняку, подача газу та подача первинного повітря.

В пакеті програм MATLAB спочатку були введені всі дані, які були отримані раніше на підприємстві. Всі масиви даних (подача вапняку, витрата газу та витрата первинного повітря) були об'єднані та приведені до форми змінних у MATLAB (рис.4.2).

Рисунок 4.2 – Перетворення масивів даних (D) отриманих на підприємстві до вигляду змінних.

Для створення нелінійної характеристики вибираємо блок Look Table (n-D) (рис. 4.3). За допомогою обраного блоку ми зможемо спостерігати залежність

температури відхідних газів від подачі вапняку, витрати газу та витрати первинного повітря.

На рис. 4.4 – 4.7 наведено статичні характеристики об'єкту за каналом «витрата газу – температура відхідних газів» при різних значеннях витрати газу (від 250 м³/год до 3000 м³/год) та певному фіксованому значенню витрати повітря, отримані на основі апроксимації експериментальних значень елементом Lookup Table (n-D) в пакеті Simulink.

Рисунок 4.3 – Створення нелінійної характеристики

Рисунок 4.4 – Статичні характеристики об'єкту керування за каналом «витрата газу – температура відхідних газів» при різних значеннях витрати газу та витраті повітря $Q_{\text{п}} = 3000 \text{ м}^3/\text{год}$

Рисунок 4.5 – Статичні характеристики об'єкту керування за каналом «витрата газу – температура відхідних газів» при різних значеннях витрати газу та витраті повітря $Q_{\text{п}} = 15000 \text{ м}^3/\text{год}$

Рисунок 4.6 – Статичні характеристики об'єкту керування за каналом «витрата газу – температура відхідних газів» при різних значеннях витрати газу та витраті повітря $Q_{\text{п}} = 22500 \text{ м}^3/\text{год}$

Рисунок 4.7 – Статичні характеристики об'єкту керування за каналом «витрата газу – температура відхідних газів» при різних значеннях витрати газу та витраті повітря $Q_{\text{п}} = 30000 \text{ м}^3/\text{год}$

Графік двовимірної статичної характеристики об'єкту керування за двома вхідними каналами (витрата вапняку та витрата газу) при фіксованій витраті повітря $Q_{\text{п}} = 15000 \text{ м}^3/\text{год}$ наведено на рис. 4.8.

Рисунок 4.8 – Двовимірна статична характеристика обертової печі

На рис. 4.9 наведено графік перехідного процесу в системі автоматичного керування співвідношенням «газ – повітря» при ступінчастій зміні витрати газу до $Q_{\text{г}} = 3000 \text{ м}^3/\text{год}$ при сталій подачі вапняку $Q_{\text{в}} = 24 \text{ т/год}$. Для аналізу впливу збурень на якість процесів керування в розробленій системі в момент часу $t = 1000 \text{ с}$ виконано моделювання збільшення витрати на 4 т до $Q_{\text{в}} = 28 \text{ т/год}$.

Рисунок 4.9 – Графік зміни температури відхідних газів

Аналіз наведених графіків показує правильність виконаних раніше розрахунків системи. САК співвідношенням «газ – повітря» забезпечує точне відпрацювання сигналу завдання підтримки заданої температури відхідних газів (800°C) з перерегулюванням $\sigma = 12 \%$ та тривалістю перехідного процесу $t_p = 600 \text{ с}$. Статична похибка в системі відсутня.

На рис. 4.10 наведено відповідний графік зміни положення регулюючого органу в часі. На рис. 4.11 наведено керуючі сигнали виконавчому механізму на відкриття (+1) та закриття регулюючого органу (-1).

Рисунок 4.10 – Графік зміни положення заслінки в процесі регулювання температури відхідних газів

Рисунок 4.11 – Графік зміни керуючих сигналів для виконавчого механізму на відкриття або закриття регулюючого органу

На рис. 4.12 – Наведено графік положення заслінки в залежності від подачі вапняку і повітря

Рисунок 4.12 – Зміна положення заслінки в залежності від подачі вапняку і повітря

На рис. 4.13 – Наведено графік формування імпульсів на відкриття або закриття регулюючого органу

Рисунок 4.13 – Формування імпульсів на відкриття або закриття регулюючого органу

На рис. 4.14 – наведено графік змінення співвідношення витрати газу до витрати повітря в процесі регулювання температури відхідних газів

Рисунок 4.14 – Графік змінення співвідношення «газ – повітря»

Таким чином було промодельовано систему автоматичного керування обертовою піччю для випалювання вапняку, на основі розробленого вище математичного забезпечення та створених структурних схем системи автоматичного керування в пакеті моделювання динамічних систем Simulink програми MATLAB. Для моделювання нелінійної трьохвимірної статичної характеристики об'єкта керування в пакеті Simulink використовувався елемент Lookup Table.

На основі результатів моделювання була підтверджена можливість і ефективність використання запропонованої модернізованої системи керування обертовою піччю з високоякісними показниками процесу керування, зокрема, невеликим часом регулювання, невеликим перерегулюванням на рівні 12% та відсутністю статичної похибки.

ВИСНОВОК

Кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованої системи керування обертовою піччю для випалювання вапняку.

Метою створення системи є підвищення техніко – економічних показників роботи обертової печі за рахунок оптимізації використання природного газу, розширення функціональних та інформаційних можливостей технологічного персоналу

Було розглянуто особливості технологічного процесу випалювання вапняку в умовах вогнетривко-вапнякового цеху, основні технічні характеристики обладнання цеху.

Виконано аналіз існуючої системи автоматизації процесу керування обертовою піччю для випалювання вапняку та виявлено її недоліки. Зокрема з'ясовано, що існуючі системи контролю і керування технологічними параметрами роботи печі не повністю задовольняють сучасні вимоги до систем автоматизації обертових печей для випалювання вапняку, зокрема не дозволяють вирішувати завдання стабілізації вологості матеріалу на виході печі та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів.

Забезпечення оптимального співвідношення витрати повітря до витрати газу забезпечує максимальну температуру факелу і, відповідно, найбільшу передачу теплової енергії матеріалу (вапняку). Важливість процесу стабілізації співвідношення «газ – повітря » полягає в тому, що воно дозволяє понизити витрату природного газу за рахунок його повного спалювання при поданні строго необхідної кількості повітря. Тобто реалізації системи автоматичного керування температурою відхідних газів шляхом керування витратою газу з одночасною стабілізацією співвідношення витрати повітря до витрати газу забезпечує оптимізацію технологічного процесу за критерієм мінімізації витрати енергоносіїв.

В роботі було розроблено математичне забезпечення системи автоматичного керування температурою відхідних газів. На основі реальних даних, отриманих на виробництві, сформована статична модель обертової печі як об'єкту керування температурою відхідних газів в залежності від витрати

вапняку, витрати газу та витрати повітря. Запропоновано структурну та функціональну схеми системи автоматичного керування обертовою піччю для випалювання вапняку, і розроблено алгоритм керування співвідношенням «газ – повітря».

Обґрунтовано структуру комплексу технічних засобів автоматизованої системи керування температурою відхідних газів та обрано відповідні технічні засоби для її реалізації, зокрема датчики, первинні перетворювачі, виконавчі механізми, промисловий контролер та модулі введення – виведення фірми Schneider Electric

Промодельовано систему автоматичного керування обертовою піччю для випалювання вапняку, була підтверджена можливість і ефективність використання пропонованої системи для керування обертовою піччю з високоякісними показниками процесу керування. Моделювання показало правильність виконаних розрахунків системи.

В розділі охорони праці виконано розрахунок захисного заземлення обладнання.

В економічній частині виконано економічне обґрунтування та підтверджено економічний ефект від впровадження розробленої автоматизованої системи керування обертовою піччю для випалювання вапняку.

Отже, розроблена автоматизована система керування обертовою піччю для випалювання вапняку відповідає всім сучасним вимогам до систем автоматизації, є економічно вигідною та може бути запропонованою для впровадження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Федосов Б.Т. Ідентифікація об'єкта управління. Побудова, оптимізація і дослідження моделей САР з використанням сучасних програмних засобів. М.: «Рудний», 2007
2. Глінков Г.М. Косирев А.И. Шевцов Е.К. Контроль та автоматизація металургійних процесів. М.: «Металургія», 1989.
3. Калганов В.Ю. Глінков Г.М. та ін. Основи теорії та елементи систем автоматизованого регулювання. М.: «Металургія», 1987.
4. Клімовецький М. Д. Копелович А. П. Автоматизоване регулювання і контроль в чорній металургії. Посібник – М.: «Металургія», 1967.
5. Тайц Н.Ю. Розенгарт Ю.Н. Методичні нагрівальні печі. М.: «Металургвидат», 1964.
6. І.Г. Маяковський Основи автоматизації виробництва. М.: «Вища школа», 1968. – 400 с.
7. Ю.В.Лопухін, Ю.І. Булатов, Г.Бок, М.Кнорр. Автоматизація основних металургійних процесів. М.: «Металургія», 1990. – 280 с.
8. А.М. Беленький, В.Ф. Бердишев, О.М. Блінов, В.Ю. Каганов Автоматичне керування металургійними процесами. М.: «Металургія», 1989. – 384 с.
9. В.Ю. Каганов, О.М. Блінов, Г.М. Глінков, В.А. Морозов Автоматизація металургійних печей. М.: «Металургія», 1975. – 376 с.
10. Д.В. Васильєв, В.Г. Чуїч. Системи автоматичного керування. М.: «Вища школа», 1967. – 419 с.
11. Каталог фірми Schneider Electric – Платформа автоматизації Modicon TSX Premium, 2004.
12. Н.П. Свинолобов, В.Л. Бровкін. Печі чорної металургії. Посібник. Д.: «Пороги», 2004. – 154 с.
13. Ю.Л. Папушин, В.С. Білецький. Основи автоматизації гірничого виробництва. Д.: «Східний видавничий дім», 2007. – 168 с.
14. Жидецький В. Ц., Джигарей В. С., Мельникова О. В. "Основи охорони праці". – Львів: Афіша, 1999. – 123 с.

15. Жидецький В. Ц., Джигарей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. "Практикум з охорони праці". – Львів: Афіша, 2000. – 248 с.

Додаток А

Охорона праці

А.1 Законодавча та нормативна база України про охорону праці

Одна з найважливіших державних задач – охорона життя та здоров'я громадян в процесі трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці.

Вже давно зрозуміло, що охорона праці відіграє важливу роль, як суспільний чинник, оскільки, якими б вимогами не були трудові здобутки, вони не можуть компенсувати людині втраченого здоров'я, а тим більше життя. Необхідно пам'ятати, що через нещасні випадки та аварії гинуть на виробництві не просто робітники та службовці, на підготовку яких держава витратила значні кошти, а перш за все люди-годувальники сімей, батьки та матері дітей.

Окрім соціального, охорона праці має, безперечно, важливе економічне значення - це і висока продуктивність праці, зниження витрат на оплату лікарняних, компенсацій за важкі та шкідливі умови праці тощо.

В ДСТУ 2293-93 “Охорона праці. Терміни та визначення” та інших стандартах даються визначення основних понять та термінів в галузі охорони праці.

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

В зв'язку з цим була створена система законодавчих і нормативних актів.

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, Закони України: “ Про охорону праці ”, “ Про охорону здоров'я”, “Про пожежну безпеку”, “ Про використання ядерної енергії та радіаційний захист”,

“Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”, а також Кодекс законів про працю України (КЗпП).

Основоположним законодавчим документом в галузі охорони праці є Закон України “Про охорону праці”.

Верховна Рада України 14 жовтня 1992 року прийняла Закон України “Про охорону праці”.

Цей Закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян про охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності.

Специфічною особливістю українського Закону, що регламентує правову основу охорони праці, є високий рівень прав і гарантій робітникам.

Державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП) – це правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов'язкових для виконання.

Вимоги щодо охорони праці регламентуються державними стандартами України з питань безпеки праці, будівельними та санітарними нормами і правилами, правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), нормами технічного проектування та іншими нормативними актами, виходячи із сфери їх дії.

Закони України:

“ Про охорону праці ” від 14.10.92р.

“ Про пожежну безпеку ” від 17.03.93р.

“Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення ” від 24.02.94р.

Державні нормативні акти про охорону праці (ДНАПОП).

0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

0.00-1.29-97 Правила захисту від статичної електрики.

0.00-4.03-98 Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємстві, в установах і організаціях.

0.00-4.12-99 Типове положення про навчання з питань охорони праці.

0.00-4.24-94 Положення про навчання неповнолітніх професіям, пов'язаних з важкими роботами і роботами з шкідливими або небезпечними умовами праці.

0.00-8.01-93 Перелік посад посадових осіб, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з охорони праці.

0.00-8.02-93 Перелік робіт з підвищеною небезпекою.

0.00-8.05-94 Єдина державна система показників обліку умов та безпеки праці.

Одним із головних документів, який забезпечує чітке виконання службових обов'язків працівниками, є Кодекс законів про працю України (КЗпП).

Кодекс законів про працю України трактує вимоги до трудової діяльності громадян в Україні і регулює трудові відносини всіх працівників, сприяючи зростанню продуктивності праці і поліпшенню її якості. Кодекс законів спрямований на охорону трудових прав працюючих.

Враховуючи міжнародний досвід був розроблений та набув чинності з 1 січня 2001 року Закон України “Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності”. Цей Закон гарантує право громадян на соціальний захист, яке проголошується Конституцією України (ст. 46), зокрема в разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності. Окрім того, він створює правове поле, фінансові й організаційні механізми для успішного розв'язання триєдиного завдання: запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням, відновлення здоров'я та працездатності потерпілих на виробництві, компенсації потерпілим матеріальних збитків внаслідок ушкодження здоров'я.

В системі законодавства щодо гігієни праці ключове місце займає Закон України “Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”. Складовою частиною права в галузі гігієни праці є постанови та положення (норми) затверджені Міністерством охорони здоров'я України

(наприклад “Положення про медичний огляд працівників певних категорій”, “Перелік важких робіт і робіт з шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх”), санітарні правила і норми (Сан ПіН) стосовно окремих факторів виробничого середовища, певних технологічних процесів і конкретних виробництв та інші нормативні документи.

В системі законодавства щодо охорони здоров’я та гігієни праці ключове місце займає Закон України “Про охорону здоров’я”. Він передбачає розробку та здійснення адміністрацією підприємств санітарних та протиепідемічних заходів; здійснення в необхідних випадках лабораторного контролю за дотриманням вимог санітарних норм стосовно рівнів шкідливих факторів виробничого середовища; формування органів та установ державної санепідеміологічної служби при надзвичайній події та ситуації, що становлять небезпеку для здоров’я населення; відшкодування в установленому порядку працівникам громадянам збитків, яких завдано їх здоров’ю в результаті порушення санітарного законодавства.

Закон України “Про пожежну безпеку” визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Забезпечення пожежної безпеки підприємств, установ та організацій покладається на їх власників і уповноважених ними осіб, якщо інше не передбачено відповідними договорами.

А.2 Перелік шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на обслуговуючий персонал

Умови праці – сукупність факторів виробничого середовища і трудового процесу, які впливають на здоров’я і працездатність людини в процесі її професійної діяльності.

Шкідливий виробничий фактор – виробничий фактор, вплив якого може привести до погіршення стану здоров’я, зниження працездатності працівника.

Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, дія якого за певних умов може привести до травми, або іншого раптового погіршення працівника.

На обслуговуючий персонал впливають такі шкідливі фактори:

- виробничий шум;
- шкідливі хімічні речовини;
- електричний струм.

1. Шум – будь-який небажаний звук, котрий заважає працювати.

Виробничим шумом називається шум на робочих місцях, на ділянках або на територіях підприємств, котрий виникає під час виробничого процесу.

Наслідком шкідливої дії виробничого шуму можуть бути професійні захворювання, підвищення загальної захворюваності, підвищення ступеня ризику травм та нещасних випадків, пов'язаних з порушенням сприйняття попереджувальних сигналів, порушення слухового контролю функціонування технологічного обладнання, зниження продуктивності праці.

За характером порушення фізіологічних функцій шум поділяється на такий, що заважає, подразнювальний, шкідливий, травмуючий.

Негативний вплив шуму на продуктивність праці та здоров'я людини загальновідомий. Під час роботи в шумних умовах продуктивність праці може знизитися до 60%, а кількість помилок, що трапляються при розрахунках, зростає більше ніж на 50%.

2. Шкідливі хімічні речовини. Під шкідливим розуміється речовина, яка при контакті з організмом людини викликає виробничі травми, професійні захворювання або відхилення у стані здоров'я. Класифікація шкідливих речовин і загальні вимоги безпеки введені ГОСТ 12.1.007-76.

Ступінь і характер викликаних речовиною порушень нормальної роботи організму залежить від шляху потрапляння в організм, дози, часу впливу, концентрації речовини, його розчинності, стану сприймаючої тканини й організму в цілому, атмосферного тиску, температури й інших характеристик навколишнього середовища.

Наслідком дії шкідливих речовин на організм можуть бути анатомічні пошкодження, постійні або тимчасові розлади й комбіновані наслідки. Багато сильно діючі шкідливі речовини викликають в організмі розлад нормальної фізіологічної діяльності без помітних анатомічних пошкоджень, впливів на роботу нервової і серцево-судинної систем, на загальний обмін речовин і т.п.

Шкідливі речовини потрапляють в організм через органи дихання, шлунково-кишковий тракт і через шкірний покрив. Найбільш ймовірно проникнення в організм речовин у вигляді газу, пари та пилу через органи дихання (близько 95% всіх отруєнь).

Виділення шкідливих речовин у повітряне середовище можливо при проведенні технологічних процесів і виконання робіт, пов'язаних із застосуванням, зберіганням, транспортуванням хімічно> речовин і матеріалів, їх здобиччю і виготовленням.

3. Електричний струм. Широке використання електроенергії у всіх галузях народного господарства зумовлює розширення кола осіб, котрі експлуатують електрообладнання. Тому проблема електробезпеки при експлуатації електрообладнання набуває особливого значення.

Проходячи через живі тканини, електричний струм чинить термічну, електролітичну і біологічну дію. Це приводить до різних порушень в організмі, викликаючи як місцеве ураження тканин і органів, так і загальне ураження організму.

Види ураження електричним струмом.

Слід виділити два види ураження електричним струмом: електричний удар і місцеві електричні травми, які різко відрізняються один від одного. Місцевими електричними травмами являються ураження тканин і органів електричним струмом: опіки, електричні знаки, електрометалізація шкіри, механічні ураження і електроофтальмія.

В електроустановках до 1000 В можливі опіки електричною дугою. В цьому випадку дуга виникає між струмопровідними частинами, а людина попадає в зону дії дуги.

Можливі опіки і без проходження електричного струму – при доторканні до сильно нагрітих частин електрообладнання, від розжарених частин металу, що розлітається і т.д.

Електричні знаки (мітка струму) виникають при доброму контакті із струмопровідними частинами.

Наслідки електричного знака при великих його розмірах можуть бути дуже серйозними. Електрознаки визиваються хімічною і механічною дією струму, виникають при тісному контакті тіла з електродом.

Електрометалізація шкіри – проникнення під поверхню шкіри частин металу внаслідок розбрискування і випарювання його під дією струму, наприклад при горінні дуги.

Електроофтальмія. До електричних травм слід віднести також ураження очей внаслідок дії ультрафіолетового випромінювання електричною дугою або опіків.

Механічні пошкодження (забиті місця, переломи і т.д.) також відносяться до електричних травм.

Електричний удар – наблюдається при дії малих струмів- звичайно до декількох сот міліампер і відповідно при невеликій напрузі – як правило, до 1000 В .

Струм в декілька десятків міліампер при тривалій дії (більше 20 с) приводить до зупинки серця. Але найбільш небезпечною є зупинка і фібриляція серця.

Фібриляція - безладне скорочення окремих волокон серцевих м'язів замість одночасного їх стискання і розслаблення.

Фібриляція – найбільш небезпечний наслідок протікання електричного струму через тіло.

Таким чином, спостерігається пряма залежність між струмом через людину і небезпекою ураження; при струмах більше 1А ця залежність змінює характер, але залишається прямою.

A.3 Заходи по зменшенню або виключенню небезпечних та шкідливих факторів

1. *Заходи по боротьбі зі шкідливими речовинами.* Основою проведення заходів по боротьбі з шкідливими речовинами є гігієнічне нормування.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони встановлено ГОСТ 12.1.005-88.

Зниження рівня впливу не працюючих шкідливих речовин *wt* його повне усунення досягає? шляхом проведення технологічних, санітарно-технічних, лікувально-профілактичних заходів *v* застосуванням засобів індивідуального захисту.

До технологічних заходів відносяться такі як впровадження безперервних технологій, автоматизація та механізація виробничих процесів, дистанційне керування, герметизація обладнання, заміна небезпечних технологічних процесів й операції менш небезпечними й безпечними.

Санітарно-технічні заходи: устаткування робочих місць місцевою витяжною вентиляцією або переносними місцевими відсмоктувачами, укриття обладнання суцільними пилонепроникними кожухами з ефективною аспірацією повітря й ін..

Коли технологічні, санітарно-технічні заходи не повністю виключають наявність шкідливих речовин у повітряному середовищі, відсутні методи й прилади для їх контролю, проводяться лікувально-профілактичні заходи: організація й проведення попередніх і періодичних медичних оглядів, дихальної гімнастики, лужних інгаляцій, забезпечення лікувально-профілактичним харчуванням і молоком та ін..

Особливу увагу в цих випадках повинне приділятися застосуванню засобів індивідуального захисту, насамперед для захисту органів дихання (фільтруючі і ізолюючі протигази, респіратори, захисні окуляри, спеціальний одяг).

2. *Боротьба з шумом* в джерелі його виникнення – створюються малошумні механічні передачі, розроблено способи зниження шуму в підшипникових вузлах, вентиляторів.

Зниження шуму звукопоглинанням та звукоізоляцією. Об'єкт, котрий випромінює шум, розташовується у кожусі, внутрішні стінки якого покриваються звукопоглинальним матеріалом.

Зниження шуму звукоізоляцією. Суть цього методу полягає в тому, що випромінювальний об'єкт або декілька найбільш шумних об'єктів розташовуються окремо, ізольованого від основного, менш шумного приміщення звукоізолювальною стіною або перегородкою. Звукоізоляційний ефект забезпечується також встановленням екранів та ковпаків.

Зниження шуму акустичною обробкою приміщення. Акустична обробка приміщення передбачає вкривання стелі та верхньої частини стін звукопоглинальним матеріалом. Внаслідок цього знижується інтенсивність відбитих звукових хвиль. Додатково до стелі можуть підвішуватись звукопоглинальні щити, конуси, куби, встановлюватись резонансні екрани, тобто штучні поглиначі. Акустична обробка дозволяє знизити шум на 8 дБА. Зниження шуму можна досягти лише шляхом знешумлення всього обладнання з високим рівнем шуму.

3. *Заходи по захисту від дії електричного струму*. Застосовувані в електроустановках захисні заходи умовно можна поділити на дві групи: ті, що забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи електроустановок (електрична ізоляція, блокування, розташування струмоведучих частин на недосяжній висоті, малі напруги, вирівнювання потенціалів, захисне розділення мереж), і ті що забезпечують безпеку при аварійному режимі роботи (захисне заземлення, захисне вимикання).

Електрозахисні засоби – це переносні засоби, призначені для захисту людей котрі працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля. За призначенням

електрозахисних засобів їх можна умовно поділити на ізолювальні, огорожувальні та допоміжні.

Ізолювальні – призначені для ізоляції людини від частин електрообладнання, котрі знаходяться під напругою, а також від землі. Ізолювальні засоби поділяються на основні і допоміжні.

Огороджувальні електрозахисні засоби призначені для тимчасового огороження струмоведучих частин обладнання. До них відносяться переносні огороження (ширми, бар'єри, щити, клітки), а також тимчасові переносні заземлення.

Для захисту від ураження електричним струмом, необхідно виконати наступні технічні та організаційні заходи:

- забезпечити захист струмопровідних елементів від випадкового торкання встановленням захисних щитків
- встановити захисне заземлення
- використовувати небезпечні напруги для живлення обладнання
- встановити електричний щит в легкодоступному місці
- проводити інструктаж по техніці безпеки для обслуговуючого персоналу
- систематично перевіряти технологічне обладнання
- перевіряти норми та допуски з електробезпеки
- влаштуванням металевих заземлених сіток на відкритих предметах;
- заземленням обладнання, що знаходиться всередині будівлі (споруди).

А.4 Розрахунок захисного заземлення

Вихідні дані:

Захищуваний об'єкт – обертова піч для випалювання вапняку.

Захищуваний об'єкт – стаціонарний.

Напруга мережі – 380 В.

Виконання мережі – з глухозаземленою нейтраллю.

Розміри вертикальних заземлювачів: довжина $l_{\text{в}} = 3\text{ м}$; діаметр труби $d = 0,04\text{ м}$.

Розміри горизонтального заземлювача: ширина стрічки $b_{\text{с}} = 0,04\text{ м}$.

Глибина закладання вертикальних заземлювачів $h_{\text{в}} = 0,8\text{ м}$;
горизонтальних $h_{\text{г}} = 0,8\text{ м}$.

Грунт – пісок $\rho_{\text{табл}} = 700\text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Кліматична зона – 3; $\frac{L_{\text{в}}}{l_{\text{в}}} = 2$

Розрахунок:

Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів, Ом*м

$$\rho_{\text{розр.в}} = \rho_{\text{табл}} \cdot \kappa_{\text{с.в.}}$$

де: $\kappa_{\text{с.в.}}$ – коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів

$$\rho_{\text{розр.в}} = 700 \cdot 1,56 = 1092\text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Визначається розрахунковий опір для горизонтальних заземлювачів, Ом*м

$$\rho_{\text{розр.г}} = \rho_{\text{табл}} \cdot \kappa_{\text{с.г.}} = 700 \cdot 1,56 = 1092\text{ Ом} \cdot \text{м}$$

де: $\kappa_{\text{с.г.}}$ – коефіцієнт сезонності для горизонтальних заземлювачів.

Визначається відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача

$$t = h_{\text{в}} + \frac{l_{\text{в}}}{2} = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3\text{ м}$$

де $h_{\text{в}}$ – глибина закладання вертикальних заземлювачів,

$l_{\text{в}}$ – довжина заземлювача

Визначається опір струму у вертикальному заземлювачі

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho_{\text{розр.в}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\epsilon}} \left(\ln \frac{2L_{\epsilon}}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + L_{\epsilon}}{4t - L_{\epsilon}} \right) = \frac{1092}{2 \cdot 3,14 \cdot 6} \left(\ln \frac{2 \cdot 6}{0,04} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 6}{4 \cdot 2,3 - 6} \right) = 187,79 \text{ Ом В}$$

изначається теоретична кількість вертикальних заземлювачів, де коефіцієнт використання $\eta_{\epsilon.в} = 1$

$$n_{m.в.} = \frac{R_{\epsilon}}{R_{\partial} \cdot \eta_{\epsilon.в.}} = \frac{187,79}{4 \cdot 1} = 46,7 \approx 47 \text{ шт.}$$

При розташуванні вертикальних заземлювачів за чотирикутним контуром при числі заземлювачів $n_{m.в.} = 47$ приймаємо $\eta_{\text{вер}} = 0,56$, $\eta_{\text{гор}} = 0,29$

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання.

$$n_{н.в.} = \frac{R_{\epsilon}}{R_{\partial} \cdot \eta_{\epsilon.в.}} = \frac{187,79}{4 \cdot 0,56} = 83,8 \approx 84 \text{ шт.}$$

Визначаємо відстань між вертикальними заземлювачами за відношенням $\frac{L_{\epsilon}}{l_{\epsilon}} = 2$

Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки

$$L_{3.с.} = 1,05 \cdot L_{\epsilon} \cdot (n_{н.в.} - 1) = 1,05 \cdot 6 \cdot (84 - 1) = 522,9 \text{ м}$$

Визначаємо опір струму в горизонтальному заземлювачі

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho_{\text{розр.г}}}{2\pi L_{3.с.}} \ln \frac{2L_{3.с.}^2}{h_3 \cdot b_c} = \frac{1092}{2 \cdot 3,14 \cdot 522,9} \ln \frac{2 \cdot 522,9^2}{0,8 \cdot 0,04} = 5,3 \text{ Ом}$$

Визначаємо теоретичний опір у горизонтальних та вертикальних заземлювачах:

$$R_{\text{розр.в.г.}} = \frac{R_{\epsilon} \cdot R_{\epsilon}}{R_{\epsilon} \cdot \eta_{\text{гор}} + R_{\epsilon} \cdot \eta_{\text{вер}} \cdot n_{н.в.}}, \text{ Ом}$$

$$R_{\text{розр.в.г.}} = \frac{187,79 \cdot 5,53}{187,79 \cdot 0,29 + 5,59 \cdot 0,56 \cdot 84} = 3,27 \text{ Ом}$$

$$3,27 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}$$

Рисунок А.1 – Схема заземлювача.

Рисунок А.2 – Схема розміщення заземлювачів в ґрунті:

$L_B=6\text{м}$ – відстань між заземлювачами.

Додаток Б

Очікувані техніко-економічні показники

Б.1 Характеристика виробу

Кожну проблему розвитку автоматизації управління виробництвом повинно вирішувати з позиції системного підходу, при якому вона розглядається як органічна частина системного цілого – створення науково – потенційного потенціалу, котрий забезпечує високий рівень задоволення потреб суспільства у автоматизації управління при найкращим використанні ресурсів суспільства. Такий підхід к здійсненню автоматизації управління передбачає забезпечення всебічне вивчення глобальної проблеми впровадженні обчислювальної техніки в управління виробництвом і досягнення цілей її розвитку з урахуванням політичного, економічного, соціального, психологічного, правового та інших аспектів.

Економічний ефект, отриманий у виробництві, – основне рішення соціальних проблем. Крім того, у теперішній час все більш зростають вимоги к прискоренню темпів розвитку нових технологій, систем машин, технічного переоснащення та реконструкцію підприємств. Це в свою чергу підвищує вимоги до накоплення, інтенсифікації його використання. Поліпшення речовинного складу фонду накоплення означає впровадження більш досконалих машин, устаткування, технологічних систем, автоматизованих систем управління організаційними, технологічними процесами і процесами проектування. Це дозволяє або обійтися меншою величиною фонду накоплення, або (при тому ж накопленні) у більшому розмірі збільшити виробництво та фонди галузей, які обслуговують потреби населення.

Отже, при виборі напрямків вкладення коштів в удосконалення технічної та організаційної бази виробництва і управління у першу чергу реалізація повинна віддаватися самим передовим досягненням науково – технічного прогресу. В іншому випадку «недостатня ефективність накоплення, низька якість будівництва і впровадженої техніки можуть явитися скритим

каналом витрат та потребувати у майбутньому нових великих витрат для заміщення передвчасних застарілих основних фондів».

Основним завданням технологічного процесу з виробництва вапна є отримання готової продукції стабільної якості (вміст $\text{CaO} + \text{MgO}$ - 90%) за умов максимального використання енергії згоряння палива. Автоматизація була виконана шляхом впровадження в діючу систему цифрового регулятора.

Використання даної конфігурації дозволяє замінити застарілу елементну базу системи управління, підвищити надійність системи, уніфікувати запасні частини та зменшити час по відновленню системи після відмови. Також впровадження сучасного контролера дозволить зменшити витрати палива, за рахунок гнучкої САК.

Таблиця Б.1.1. Технічні характеристики виробу

Показники, їх одиниці вимірювання	Позначення	Величина за вартостями	
		базовим	новим
Річний об'єм випуску, шт.	N_H	15	15
Нормативний строк служби, років	T_{cl}	10	10
Витрата газу, $\text{м}^3/\text{год}$	Q	147	140
Витрати електроенергії, кВт/год	M	28	26

Б.2 Витрати на виконання науково - дослідних та дослідно - конструкторських робіт

Витрати на проведення НДДКР являються складовою частиною капітальних вкладень, які передбачаються для виготовлення або модернізації виробів (систем). Вартість НДДКР визначається за окремими статтями витрат у вигляді кошторису (табл.Б.2.2). Трудомісткість робіт по кожній статті залежить від призначення, ступеня новизни, особливостей конструкції виробу.

Таблиця Б.2.1. Трудомісткість виконання НДДКР

Статті витрат та зміст робіт	Трудомісткість в людино-днях	Питома вага в загальному обсягу, %
1	2	3
Постановка задачі, збір інформації, формулювання технічного завдання	2	8

Аналіз діючої системи виявлення недоліків, розробка заходів по її модернізації	3,75	15
Розробка ескізного проекту та блок-схем	1,5	6
Розробка принципів електричних схем, виконання розрахунків	7,5	30
Розробка друкованих плат та монтажних схем	6,5	26
Складання специфікацій та розробка робочої документації	3,75	15
Всього витрат часу	25	100

На основі трудомісткості робіт розраховується плановий фонд заробітної плати для проведення наукових досліджень.

$$З_{нд} = T_{нд} \cdot Q_{нд} \cdot (1 + 0,01 \cdot H_d) \cdot (1 + 0,01 \cdot H_c)$$

де $Q_{нд}$ - середньоденний оклад конструктора, $O_{нд} = 150$ грн.;

H_d - процент додаткової зарплати (20%);

H_c - норматив відрахувань на соціальні заходи (37%).

$$З_{нд} = 25 \cdot 150 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) \cdot (1 + 0,01 \cdot 37) = 6165 \text{ грн.}$$

Таблиця Б.2.2. Кошторис витрат на виконання НДДКР

Найменування статей	Позначення	Величина, грн.
Заробітна плата науково-виробничого персоналу	$З_{нд}$	6165
Витрати на наукові відрядження	$B_{нд}$	700
Загальногосподарські витрати	$H_{ак}$	300
Всього	$K_{нд}$	7165

Б.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати (основні і допоміжні матеріали, покупні і комплектуючі вироби) розраховуються в залежності від застосування і норм витрат на один прилад з урахуванням додаткових витрат на транспортно-заготівельні операції. Результат зводимо в табл. Б.3.1.

Таблиця Б.3.1 – Матеріальні витрати

Найменування витрат	Позначення	Норма витрат	Вартість одиниці	Затрати на один виріб
1	2	3	4	5

1. Основні матеріали				
Стеклотекстоліт	Мо	1	1,50	1,50
Синтетичні матеріали		1	0,50	0,50
Кабельні матеріали		8	1,50	12
Всього				6,50
2. Покупні матеріали				
Цифровий регулятор	Мп	1	3000	3000
Задатчик температури		1	800	800
Датчики температури		2	100	200
Блок спряження		1	296	296
Всього				4296
3. Допоміжні матеріали				
припій	Мд	2	1,30	2,60
каніфоль		1	1,40	1,40
розчинник		4	0,80	3,20
Всього				7,20
4. Зворотні відходи				
Всього				103,43

Розрахуємо витрати на матеріали з урахуванням ТЗВ:

$$M_o = \sum_1^n M_{oi} \cdot K_{mз} = 6,50 \cdot 1,2 = 7,8 \text{ грн.},$$

де M_{oi} – витрати на матеріали по i -позиції;

$K_{тз}$ – коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат.

Витрати на покупні вироби розраховуються за формулою:

$$M_n = \sum_1^n M_{ni} \cdot K_{mз} = 4296 \cdot 1,2 = 5155,2 \text{ грн.}$$

Визначаємо витрати на допоміжні матеріали за формулою:

$$M_d = \sum_1^n M_{di} \cdot K_{mз} = 7,2 \cdot 1,2 = 8,64 \text{ грн.}$$

Величини зворотних відходів складають 2% матеріальних витрат

$$B_{зв} = (M_o + M_e + M_n) \cdot 2 \div 100 = 5171,64 \cdot 2 \div 100 = 103,43 \text{ грн.}$$

Витрати на паливо і енергію для технологічних цілей визначаються з урахуванням витрачання електроенергії для регулювання і випробовування приладу під навантаженням

$$T_{ел} = (M \div 1000) (T_{ісп} + T_{рег}) \cdot C_{ел} = 26000 \div 1000 \cdot (0,3 + 0,25) \cdot 1,66 = 13,8 \text{ г}$$

рн.,

де М – потужність системи, Вт;

$T_{рег}$, $T_{ісп}$ – норма часу для регулювання і випробовування приладу під навантаженням;

$C_{ел}$ – ціна 1кВт·год електроенергії.

Б.4 Заробітна плата основних робочих за виготовлення виробів

Розрахунки по заробітній платі на непрямих витратах проводяться за нормативами радіоелектронної промисловості.

Розрахунок заробітної плати по виготовленню виробу виконується з урахуванням трудомісткості робіт, годинних тарифних ставок, а також нормативів доплат до заробітної плати.

Витрати на основну заробітну плату за виконання даного виду робіт:

$$O_i = C_i \cdot T_i$$

де O_i - основна зарплата (оплата по тарифу) робітників конкретної стадії;

C_i - годинна тарифна ставка робочого конкретної стадії;

T_i - трудомісткість робіт конкретної стадії, годин.

Таблиця Б.4.1. Основна заробітна плата

Види робіт	Годинна тарифна ставка	Норма трудомісткості, годин	Оплата по тарифу, грн.
1. Заготівельні	10,0	3,5	35,0
2. Механообробні	11,0	6	66
3. Складальні	12,0	4	48
4. Регулювальні	13,0	1,5	19,5
Всього по виробу	-	-	168,5

Основна заробітна плата за виготовлення одного виробу по всіх стадіях виробництва:

$$Z_o = \sum_1^4 O_i ;$$

де O_i - основна зарплата за виконання даного виду робіт.

$$Z_o = 35 + 66 + 48 + 19,5 = 168,5 \text{ грн.}$$

Додаткова зарплата за виготовлення одного виробу:

$$Z_d = Z_o \cdot \frac{H_d}{100} ;$$

де H_d - норматив (у процентах) додаткової зарплати по даному підприємству за відпрацьований та невідпрацьований час. $H_d=20\%$.

$$Z_d = 168,5 \cdot \frac{20}{100} = 33,7 \text{ грн}$$

Відрахування у соціальні фонди:

$$O_c = (Z_o + Z_d) H_c / 100 ;$$

де H_c - норматив (у процентах) відрахування у соціальні фонди. $H_c=37\%$.

$$O_c = (168,5 + 33,7) \cdot \frac{37}{100} = 75 \text{ грн.}$$

Б.5 Визначення непрямих витрат

Витрати на підготовку і освоєння виробництва нових виробів розраховуються по нормативу (H_n) у відсотках від основної заробітної плати:

$$P_{no} = Z_o \cdot H_n \div 100 = 168,5 \cdot 3 \div 100 = 5 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію устаткування цеху розраховується по нормативу (H_{ye}) у відсотках від основної заробітної плати за виготовлення одного виробу:

$$P_y = Z_o \cdot H_{ye} \div 100 = 168,5 \cdot 12 \div 100 = 20 \text{ грн.}$$

Цехові витрати визначаються по нормативу $H_{ц}$ (у відсотках) від основної заробітної плати за один виріб:

$$P_{ц} = Z_o \cdot H_{ц} \div 100 = 168,5 \cdot 60 \div 100 = 101 \text{ грн.}$$

Цехова собівартість одного виробу

$$C_{\text{ц}} = M_o + M_n + M_{\text{в}} - O_{\text{в}} + T_{\text{ел}} + Z_o + Z_d + P_{\text{но}} + P_y + P_{\text{ц}} + O_c =$$

$$7,8 + 5155,2 + 8,64 - 103,43 + 13,8 + 168,5 + 33,7 + 5 + 20 + 101 + 75 = 5485 \text{ грн}$$

Загальнозаводські витрати в собівартості одного виробу визначаються по нормативу H_z у відсотках від основної заробітної плати:

$$P_z = Z_o \cdot H_z \div 100 = 168,5 \cdot 30 \div 100 = 51 \text{ грн.}$$

Виробнича собівартість одного виробу:

$$C_{\text{в}} = C_{\text{ц}} + P_z = 5485 + 51 = 5536 \text{ грн.}$$

Позавиробничі витрати на один виріб визначаються по нормативу $H_{\text{поз}}$

$$Z_n = C_{\text{в}} \cdot H_{\text{поз}} \div 100 = 5536 \cdot 6 \div 100 = 332 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виготовлення одного виробу:

$$C_n = C_{\text{в}} + Z_n = 5536 + 332 = 5868 \text{ грн.}$$

Б.6 Розробка калькуляції собівартості виробу

За результатами проведених розрахунків складаємо нормативну калькуляцію собівартості виготовлення модернізованого виробу і представимо в таблиці Б.6.1.

Таблиця Б.6.1 – Нормативна калькуляція собівартості виробу

Статті витрат	Позначення	Величина витрат
1.Сировина та основні матеріали	Мо	7,8
2.Покупні вироби	Мп	5155,2
3.Допоміжні матеріали	Мв	8,64
4.Зворотні відходи	Ов	103,43
5.Паливо і енергія для технологічних цілей	Те	13,8
6.Основна заробітна плата основних робітників	Зо	168,5
7.Додаткова заробітна плата	Зд	33,7
8.Відрахування в соціальні фонди	Ос	75
9.Затрати на підготовку і освоєння виробництва нових виробів	Рпо	5
10.Затрати на утримання і експлуатацію устаткування, транспортних засобів та дорогого оснащення	Ру	20
11.Цехові витрати	Рц	101
Всього цехова вартість	Сц	5485
12.Загальнозаводські витрати	Рз	51

Виробнича собівартість	Св	5536
13.Позавиробничі витрати	Зп	332
Всього повна собівартість	Сп	5868

За даними нормативної калькуляції виробу ми бачимо, що його повна собівартість складає 5868 грн.

Б.7 Визначення ціни системи

Проектна ціна нового модернізованого виробу (Π_n) визначається по договору із замовником або з урахуванням попиту на продукцію. При державному регулюванні ціну можна розрахувати за допомогою граничного рівня рентабельності ($P_n = 30\%$).

$$\Pi_n = C_n (1 + 0,01 \cdot P_n) = 5868 \cdot (1 + 0,01 \cdot 30) = 7628 \text{ грн.}$$

При цьому ціна модернізованого приладу повинна сприяти одержанню загального прибутку об'ємом не менше, ніж при реалізації базових виробів.

Балансова вартість системи визначається з урахуванням витрат на транспортування і підготовку до експлуатації.

$$K_{\text{тп}} = 1,1$$

$$B_{\text{ал}}^n = \Pi_n \cdot K_{\text{тп}} = 7628 \cdot 1,1 = 8391 \text{ грн.}$$

Б.8 Визначення економічної ефективності у виробника системи

Величина економічного ефекту при виготовленні системи моніторингу визначається за формулою:

$$E_{\text{виг}} = (\Pi_n - C_n) \cdot N - E_n \cdot K$$

де $N = 15$ – кількість систем, які виготовляються за рік;

$E_n = 0,25$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень;

K – капітальні вкладення.

$$K = K_{\text{нд}} + \Pi_n + K_{\text{суп}} = 7165 + 7628 + 1000 = 15793 \text{ грн.}$$

$K_{\text{суп}}$ – супутні капітальні вкладення;

$$K_{\text{суп}}^n = 1000 \text{ грн.}$$

Тоді отримаємо:

$$E_{\text{виг}} = (7628 - 5868) \cdot 15 - 0,25 \cdot 15793 = 22451,75 \text{ грн.}$$

Період окупності капітальних вкладень у виробника розраховується за формулою:

$$T_{\text{вир}} = \frac{K}{(C_H - C_{\Pi}) \cdot N};$$

$$T_{\text{вир}} = \frac{15793}{(7628 - 5868) \cdot 15} = 0,6 \text{ року.}$$

Б.9 Визначення витрат на експлуатацію виробу

Для визначення витрат у споживача виробу розробляється кошторис (табл.Б.7). Розрахунки виконуються для базового проектного варіантів.

Таблиця Б.9.1.Експлуатаційні витрати

Статті витрат	Позначення	Сума витрат за варіантами, грн	
		базовий	новий
1. Витрати газу	$З_{\text{газ}}$	5080320	4838400
2. Витрати електроенергії	$З_{\text{ел}}$	334656	310752
3. Амортизація	$З_{\text{ам}}$	0	2098
Всього витрат на експлуатацію	$З_{\text{ек}}$	5414976	5151250

Витрати за газ визначаються з урахуванням норм, що споживається системою ($Q^6 = 147$, $Q^H = 140 \text{ м}^3/\text{год}$) та річного фонду роботи ($\Phi_p = 7200$) в годинах (при роботі в три зміни):

$$З_{\text{газ}} = Q \cdot \Phi_p \cdot C_{\text{газ}}$$

$C_{\text{газ}}$ - ціна газу.

$$З_{\text{ел}}^6 = 147 \cdot 7200 \cdot 4,8 = 5080320 \text{ грн.},$$

$$З_{\text{ел}}^H = 140 \cdot 7200 \cdot 4,8 = 4838400 \text{ грн.}$$

Витрати за електроенергію визначаємо з урахуванням споживаємої системою потужності ($M_{\text{БАЗ}} = 28$) ($M_{\text{НОВ}} = 26$) в кіловатах та річного фонду роботи ($\Phi_p = 7200$) в годинах.

$$З_{\text{ел}} = M \cdot \Phi_p \cdot C_{\text{ел}},$$

де $C_{\text{ел}}$ – вартість кіловат – години енергії.

$$З_{ЕЛ}^{\bar{}} = 28 \cdot 7200 \cdot 1,66 = 334656 \text{ грн}$$

$$З_{ЕЛ}^{\text{H}} = 26 \cdot 7200 \cdot 1,66 = 310752 \text{ грн}$$

Витрати по амортизації виробу визначаються за нормою амортизації ($H_{\text{ам}}$) та додатковими капітальними вкладеннями в модернізацію (Бал):

$$З_{\text{ам}} = H_{\text{ам}} \cdot \frac{\text{Бал}}{100};$$

В балансову вартість (додаткові капітальні вкладення в модернізацію) включають ціну виробу, витрати на транспортування та підготовку до промислової експлуатації.

$$З_{\text{ам}}^{\text{H}} = 25 \cdot \frac{8391}{100} = 2098 \text{ грн.}$$

Б.10 Визначення економічної ефективності у сфері експлуатації виробу

При експлуатації виробу сукупний економічний ефект складають:

$$E_{\text{екс}} = (З_{\text{ек}}^{\bar{}} - З_{\text{ек}}^{\text{H}}) - E_{\text{H}} \cdot (B_{\text{ал}}^{\text{H}} - B_{\text{ал}}^{\bar{}})$$

де $З_{\text{ек}}^{\bar{}}$, $З_{\text{ек}}^{\text{H}}$ - величина експлуатаційних витрат в порівнюваних варіантах (із табл.8.7) відповідно базового і модернізованого виробів, грн.

$$E_{\text{екс}} = (5414976 - 5151250) - 0,25 \cdot 8391 = 261628 \text{ грн.}$$

Період окупності додаткових капітальних витрат при експлуатації виробу визначається як:

$$T_{\text{екс}} = \frac{B_{\text{ал}}^{\text{H}}}{(З_{\text{ек}}^{\bar{}} - З_{\text{ек}}^{\text{H}})};$$

де $B_{\text{ал}}^{\text{H}}$ - балансова вартість модернізованої системи, грн.

$$T_{\text{екс}} = \frac{8391}{5414976 - 5151250} = 0,1 \text{ років}$$

Б.11 Зведені техніко-економічні показники

Зведені техніко-економічні показники представлені в табл. Б.11.1

Таблиця Б.11.1 - Зведені ТЕП системи

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Величина по варіантах	
			базовий	новий
1.	Витрати на експлуатацію	грн.	5414976	5151250
2.	Собівартість приладу	грн.	—	5868
3.	Ціна приладу	грн.	—	7628
4.	Економічний ефект у виробника	грн.	—	22452
5.	Період окупності у виробника	років	—	0,6
6.	Економічний ефект у споживача	грн.	—	261628
7.	Період окупності у споживача	років	—	0,1

Висновок: під час розрахунків економічної ефективності системи, розробленої в ході виконання кваліфікаційної роботи, були визначені витрати на виконання НДДКР, матеріальні витрати на виготовлення виробу, заробітна плата основних робочих за виготовлення виробу, непрямі витрати, розроблена калькуляція собівартості виробу. Також була визначена ціна виробу, витрати на експлуатацію. Розрахунки показали, що введення виробу в існуючу систему призведе до значного економічного ефекту, а всі витрати на проведення модернізації окупаються менше ніж за один рік.