НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Теплоенергетичний

Автоматизації теплоенергетичних процесів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____Володимир ВОЛОЩУК
«___»_____20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Автоматизоване управління технологічними процесами»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизація системи керування тунельної печі випалу цегли»

Виконав:
студент IV курсу, групи ТА-71
Білека Яромир Олександрович _____

Керівник:
старший викладач кафедри АТЕП
Любицький Сергій Вікторович _____

Консультант з «Охорона праці»:
доцент, к. т. н.
Каштанов Сергій Федорович

_____

Рецензент:

_____

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Теплоенергетичний

Автоматизації теплоенергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та компютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Автоматизоване управління технологічними процесами»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«___»_____20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Білеці Яромиру Олександровичу

1. Тема проекту « Автоматизація системи керування тунельної печі випалу цегли », керівник проекту Любицький Сергій Вікторович, старший викладач кафедри АТЕП, затверджені наказом по університету від «___»_____ 20__ р. №_____

2. Термін подання студентом проєкту _____

3. Зміст пояснювальної записки: 1.Характеристики технологічного об’єкту керування, 2.Структура та функції створюваної САУ, 3.Обгрунтування прийнятої системи управління, 4.Обгрунтування засобів автоматизації, 5.Моделювання та синтез САУ, 6.Програмування ПЛК та СКАДИ системи, 7.Економіко-організаційна частина, 8.Охорона праці

4. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов’язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): 1.Схема автоматизації функціональна АСК тунельної печі, 2. Специфікація обладнання АСК тунельної печі, 3. Принципова електрична схема АСК тунельної печі, 4. Креслення загального виду щита автоматизації 5. Схема з'єднань та підключень зовнішніх проводок, 6. Монтажна схема щита, 7. Відомість дипломного проєкту, 8.Презентація на захист дипломного проєкту

5. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С. Ф.		

6. Дата видачі завдання 16 травня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Затвердження теми роботи		
2	Вивчення та аналіз задачі		
3	Розробка функціональної схеми		
4	Розробка ПЕС та схеми заг. виду щита		
5	Розробка схем зовн. Проводок та монтажн. схеми щита		
6	Реалізація програмної частини проекту		
7	Оформлення ПЗ		
8	Предзахист		
9	Захист		

Студент Білека Яромир Олександрович

Керівник Любицький Сергій Вікторович

АННОТАЦІЯ

На протязі проходження практики, мною розроблялась система автоматизації тунельної печі випалу цегли. У цій роботі розглянуті основні параметри тунельної печі, принцип її роботи та розбір процесу випалювання. Були розглянуті характеристики системи та наведен опис основних контурів регулювання. Наведено номінальні та допустимі похибки основних параметрів регулювання.

Дана робота містить принципову та функціональні схему автоматизації тунельної печі. Описані процеси, що протікають під час, проходження перетворення необробленої цегли, до випаленої. Также було описано, які параметри впливають на якість кінцевої продукції.

ANNOTATION

During the internship, I developed a system for automating the tunnel kiln firing bricks. This paper considers the main parameters of the tunnel kiln, the principle of its operation and analysis of the firing process. The characteristics of the system were considered and a description of the main control circuits was given. Nominal and permissible errors of the main control parameters are given.

This work contains the basic and functional scheme of tunnel kiln automation. Describes the processes that take place during the transformation of untreated brick to fired. It was also described what parameters affect the quality of the final product.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизація системи керування тунельної печі випалу цегли»

Київ – 2021 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 8
ВСТУП 9
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ 10
1.1 Загальний опис технологічного об'єкту 10
1.2 Технологічних характеристики ТОУ 14
СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІЇ СТВОРЮВАНОЇ САУ 16
ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ 18
3.1 Розгляд існуючих систем управління об'єктом 18
3.2 Обґрунтування прийнятої системи керування 19
ОБРГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ 21
4.1 Технологічний контроль 21
4.2 Автоматичне регулювання та управління 23
4.3 Технологічна сигналізація 24
4.4 Технологічний захист та блокування 26
4.5 Живлення приладів та засобів автоматизації 26
4.6 Щити і пульти 26
4.7 Розрахунок похибок ВК ти надійності функціонування 27
МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИНТЕЗ САУ 34
5.1 Побудова моделі об'єкта 34
5.2 Розрахунок налаштувань регулятору 35
5.3 Дослідження системи на грубість 44
ПРОГРАМУВАННЯ ПЛК ТА СКАДИ СИСТЕМИ 50
6.1 Програмування SCADA-системи 50
6.2 Програмування ПЛК 56
ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА 58
7.1 Кошторис створеної автоматичної системи керування 58

7.2 Розрахунок економічної ефективності АСР 60
ОХОРОНА ПРАЦІ 62
8.1. Технічні рішення та заходи з безпечної експлуатації обладнання 63
8.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії 68
8.3. Пожежна безпека та профілактика 73
СПИСОК ВИКОРОСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТОУ – технологічний об’єкт управління

АСУ - автоматизована система управління

SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition

ПЛК – програмований логічний контролер

АСУ – автоматизована система керування

АСР – автоматизована система регулювання

САУ – система автоматичного управління

РАФХ – розширена амплітудно-фазова характеристика

ВСТУП

Цегла – виріб у формі паралелепіпеду, що пройшов термічну обробку й може складатися з різних мінеральних матеріалів. На сьогодні, виробництво цегли є одним з найактуальніших і найбільш пріоритетних напрямків в будівельній індустрії. Даний виріб використовується майже в усіх будівництвах. На стан 2018 року в Україні, з цегли будують 48% всіх стін, а вітчизняна продукція становить 96% всієї ємності ринку. Цегельні промисловості розміщені по всій країні, однак найбільша їх концентрація знаходяться на Київщині та Донецькому басейні. Запоріжжя та Ірпінь можуть похвастатись найбільшими заводами з виробництва глиняної цегли, а Херсонщина, Дніпропетровськ і Кривий Ріг – найбільшими силікатними заводами. Для виготовлення цього будівельного матеріалу може використовуватися багато різних методів та технологій, у вигляді печей.

В рамках випалу цегли найпопулярнішим з видів печей є тунельна піч. Самі тунельні печі були винайдені давно, з тих часів, коли людство навчилося правильно обпалювати глину. Але в сучасному вигляді, такі механізовані установки з'явилися відносно недавно. На стан 2019 року тунельні печі складають приблизно 87 відсотків всієї промисловості випалу цегли. На то є багато вагомих причин, одна з них - вони дозволяють широко використовувати засоби механізації та автоматизації. Також у зв’язку з специфікою принципу роботи тунельної печі, процес випалу цегли можна, так мовити, пустити на конвеєрне виробництво, що дозволяє їй бути однією з найефективніших печей у відношенні кількість продукції на час. Однак процес випалу проходить без контролю стану цегли, через відсутність самих датчиків її контролю. Через те, процес протікання випалювання цегли регулюється контролем температури теплоносію.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

1.1 Загальний опис технологічного об'єкту

Тунельна піч призначена для обробки будматеріалу з глини під дією високих температур, що називається випалюванням. Воно необхідне для того, щоб надати виробу особливу міцність і підвищену стійкість до різних механічних чи хімічних впливів. Це завершальний етап виробництва цегельних блоків. Технологія випалу включає 3 етапи: на першому етапі цеглу нагрівають до температури 120 градусів Цельсію, з метою випарювання з неї води. Потім, для вигоряння домішок органічного походження і остаточного виведення рідини, його прогрівають ще до 600 градусів Цельсію. На наступному етапі температура випалу цегли може вже складати від 920 до 980 градусів Цельсію. При цьому починається усадка глини, набувається міцність. В умовах постійної максимальної температури цегляний блок деякий час гартується і нудиться. На завершальному етапі отриманий будівельний матеріал з глини охолоджують. Якщо під час термічної обробки не було порушення технології, колір блоку буде оранжево-червоний, а структура однорідною. Для отримання глазурованого цегли буде потрібно повторний випал.

Одним з найпоширеніших підходів промислового випалювання є використання самої механізованої тунельної печі. Така піч являє собою прямий тунель, з прокладеними всередині неї рейковим шляхом, по якому рухається, відповідно до заданого режиму, склад з вагонетками. Рух вагонеток здійснюється за допомогою штовхачів, які бувають гвинтові або гідравлічні. Вагонетки мають металевий каркас, що відрізняється особливою жорсткістю, на якому розміщується вогнетривка футеровка. На цю футеровку складаються цеглини, призначені для випалу. Даний тунель може бути різного розміру в залежності від продуктивності печі і обсягу випалюваної продукції. Довжина такої печі може складати від 5 до 150 метрів. А висота печі від рейок до зводу

можлива в межах 2,7 метрів. Піч для випалу цегли обладнана вхідною та вихідною кишенями, які знаходяться, відповідно, на початку і в кінці конструкції. При викочуванні або закочуванні вагонеток обидві камери закриваються на затвори, забезпечуючи, тим самим, повну герметичність печі. Під час подачі вагонетки в піч, заслінки автоматично піднімаються, а коли за допомогою штовхачів вагонетка викочується з тунелю, то спрацьовує механізм опускання заслінок.

Крім цього, в стінках тунельної печі є певні отвори, через які, періодично, засипається пісок, який потрапляє в спеціальний піщаний затвор. Цей затвор розташований вздовж всієї печі і не дозволяє потрапити продуктам горіння з робочої частини в простір під вагонеткою. Відповідно до підходу випалювання цегли, конструкція печі умовно розділена на три зони: - підготовча зона прогріву; - основна зона випалу; - завершальна зона охолодження.

У стінах тунелю, розташованих в зоні випалу, є спеціальні пальники, в яких спалюється паливо. Для безперебійного функціонування тунельних печей використовується, найчастіше, природний газ. Але також в якості палива в деяких випадках, в печах може застосовуватися вугілля. За одну ітерацію, в тунельній печі може бути зроблено випал більше ніж 70 тисяч цеглин. Температура випалу цегли, як правило, варіюється в діапазоні від 920 до 980 градусів Цельсію. Тривалість випалу будівельного виробу може складати від 24 до 48 годин і залежить від виду цегли.

Перед потраплянням до печі, цегла укладається прямокутною “вежею” так, щоб цеглини можна було випалювати з усіх сторін. При цьому, не обов’язково забезпечувати повний доступ полум’я до самої цегли. Для того щоб уникнути небажаної деформації при випалюванні виробів, їх укладають на вагонетки висотою не більше одного метра. Під час процесу випалу вагонетки через певні проміжки часу, безперервно, один за одним, переміщаються в тунельної печі. Протягом цього часу відбувається рівномірне прогрівання цегли за рахунок нагрітого повітря, потім виконується

безпосередній випал виробів, а в завершальній стадії здійснюється поступове охолодження випаленої продукції, що знаходиться в вагонетках. Садка цегли на вагонетки, як правило, проводиться вручну. Вагонетки пересуваються на відстані, рівному довжині окремої вагонетки. На останньому етапі, готова цеглу подається на садку за допомогою механізованого візки, після чого проходить контроль якості. Повітря в печі надходить по рециркуляційні каналах, так званим повітроводам, які розташовані уздовж тунельної печі, а також нагрівається і охолоджується за допомогою вентиляторів і димососів. Такі повітроводи в повній мірі забезпечують подачу прогрітого повітря в зону прогріву і зону випалу тунельної печі. А за допомогою вентиляторів холодне повітря потрапляє в зону охолодження. Надлишки повітря і продукти горіння відсмоктуються за допомогою димососів в сушильні камери. Іноді піч випалу цегли спеціально блокуються з тунельним сушив, що дозволяє зробити процес випалу і сушіння будівельного матеріалу ще швидше і ефективніше. В цьому випадку вагонетки потрапляють з сушила відразу в тунель печі.

Принцип роботи системи:

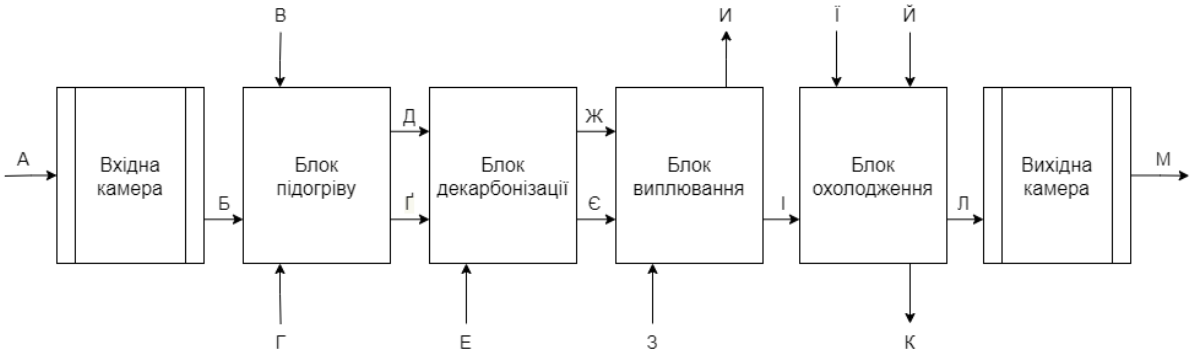

Рисунок 1.1 - Принципова схема тунельної печі випалювання цегли

Де А, Б, Ґ, Є, І, Л, М - вагонетка з кладкою цегли; В – повітря; Г, Е, З – газ; Д, Ж, И, К – суміш повітря й диму; Ї – гаряче повітря; Й – тепле повітря.

Заготовлена необроблена цегла постачається у вхідну камеру, після чого, камера зачиняється на затвор, тим самим забезпечуючи герметичність. Після цього відчиняється внутрішній затвор, й вагонетка з цеглою потрапляє до блоку підігріву. В блоці підігріву, температура становить приблизно 120 градусів Цельсію, для випару води та інших рідин. Також на початку даного блоку проходить висмоктування суміші димових відходів та спаленого повітря, тим самим забезпечуючи відвід зайвих продуктів згорання, та циркуляцію повітря по майже всій тунельній печі. Після проходження першого етапу підготовки, вагонетка з цеглою потрапляє до блоку декарбонізації. В ньому цегла вже підігрівається до 600 градусів Цельсію, для остаточного випаровування з цегли рідини та підготовки до самого випалювання. Однак для простоти, блок підігріву й блок декарбонізації можуть об’єднувати в один блок, поділений на кілька секцій. В обох випадках процес теплообміну цегли протікає при контакті з теплоносієм з блоку випалу. Наступним етапом виготовлення готової цегли є, власне, саме випалювання. В даному блоці температура випалу варіюється в залежності від типу цегли, але зазвичай вона знаходиться в діапазоні від 920 до 980 градусів Цельсію. Даний етап є найбільшим за тривалістю й може складати третю чи навіть половину часу всього процесу випалу. Далі вже повністю випалена, але все ще гаряча цегла подається до блоку охолодження, наприкінці якого подається холодне

повітря що завдяки циркуляційному режиму печі, буде рухатися до її початку, й зустрічаючись з гарячою цеглою, буде забирати її тепло. Також для ефективного використання ресурсів, на початку даного блоку, стоїть частковий відвід вже гарячого повітря для його подальшого використання в сушарці. Після чого вже отримується сам продукт, випалена й охолоджена цегла, готова для подальшого транспортування.

На якість цегли безпосередньо впливає температурний режим, в особливості на стадії підігріву. Причини, що можуть призвести до порушення нормального перебігу технічного процесу, можуть бути некоректно працююче обладнання чи неправильна садка сировини.

З точки зору пожежної безпеки, основну загрозу несе лише газ, витік якого може призвести до вибуху.

1.2 Технологічних характеристики ТОУ

Основні технологічні характеристики тунельної печі випалу цегли можна переглянути в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технологічні параметрів

Параметр	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Середовище
Температура на першій секції зони випалу	°C	990	Димові гази

Продовження таблиці 1.1

Температура на другій секції зони випалу	°С	990	Димові гази
Температура на третій секції зони випалу	°С	990	Димові гази
Температура на четвертій секції зони випалу	°С	990	Димові гази
Температура на п’ятій секції зони випалу	°С	990	Димові гази
Температура на шостій секції зони випалу	°С	990	Димові гази
Температура на початку зони охолодження	°С	890	Гаряче повітря
Тиск розрідження на початку блоку підігріву	кПа	10	Димові гази
Витрата газу	$м^3$/год	750	Природній газ

РОЗДІЛ 2

СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІЇ СТВОРЮВАНОЇ САУ

Головною задачею автоматизації тунельної печі випалу цегли є забезпечення якісного протікання процесу випалу, шляхом регулювання технологічних параметрів процесу, для плавного прогрівання садок з цеглою. Система регулювання також має бути оптимізована для підвищення якості та на економічності.

Система автоматичного управління тунельної печі випалу цегли має складатися з двох рівнів, де нижній рівень - виконання рішення, тобто засоби автоматизації: контролери, датчики, регулюючі органи, виконавчі механізми й т.д. Верхнім рівнем має виступати SCADA система, що відповідає за моніторинг, архівування й відображення тривог чи виключних ситуацій, відображення поточного стану системи й т.д.

Автоматична система управління має в собі реалізовувати наступні функції:

1. Інформаційні: вимір поточних технологічних параметрів, що відображають стан процесу, а також взаємозв'язок між обчислювальними засобами.
2. Захисні: сигналізація про небезпечні для технологічного процесу значення параметрів: перевищення та не достаток температури на секціях випалу, завеликий чи малий тиск розрідження у печі, перевищення тиску у трубі подачі природнього газу й т.д.
3. Керуючі: забезпечення постійного керування температурного режиму в зоні випалу та циркуляції повітря по всій печі, для охолодження цегли та окиснення природнього газу.

Щодо допустимих абсолютних похибок по вимірювальних каналах, то на рахунок вимірювального каналу температури $\Delta_T^{max} = \pm 20°C$, по тиску $\Delta_P^{max} = \pm 0{,}1 кПа$.

Щодо вимог, то найбільш жорсткі вимоги відносяться до захисної функції. До того ж дана функція має залишатись працездатною навіть в момент аварії. Захисну функцію можна охарактеризувати середнім напрацювання на відмову $T_{сер}$ та коефіцієнтом готовності $K_{гот}$ чи ймовірністю безвідмовної роботи $P(\tau)$.

Менш жорсткі вимоги застосовуються до керуючої функції, через це її надійність можна охарактеризувати середнім напрацюванням на відмову $T_{сер}$, часом відновлення, середнім $T_в$ й також ймовірністю безвідмовної роботи $P(\tau)$.

В свою чергу, щодо інформаційної функції, то показником надійності є середнє напрацювання на відмову $T_{сер}$, або ймовірність безвідмовної роботи. Дана умова є досить жорсткою, адже при відмові інформаційною функції, інформація втрачається й не може бути повернена навіть після відновлення функції.

Тож рівень надійності автоматичної системи управління має характеризуватися й відповідати наступним вимогам:

- $K_{гот} > 0.998$ для захисної функції;
- $T_в < 4$ год. для керуючої функції;
- $T_{сер} > 1000$ год. для всіх функцій.

Щодо показників якості САР по каналу збурення-вихід, то:

- Час регулювання < 500 с;
- Похибка, статична = 0;
- Похибка, динамічна < 0.45;
- Показник затухання > 0.9
- Перегулювання < 7%.

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

3.1 Розгляд існуючих систем управління об’єктом

При автоматизації тунельної печі випалу цегли головною метою виступає керування температурою шляхом зміни витрати природнього газу. Також для правильного керування циркуляції повітря в печі використовують вентилятор, що регулює тиск розрідження на початку тунельної печі.

Щодо регулювання температурою, то існують два варіанти реалізації:

1. Регулювання максимальної температури в зоні випалу, беручи до уваги розташування пальників.
2.

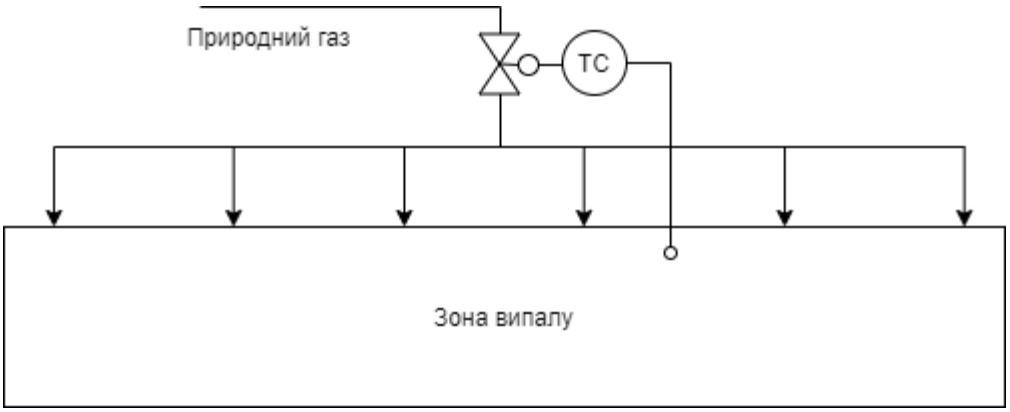

Рисунок 3.1 - Регулювання за максимальною температурою

3. Регулювання температури для кожного пальника чи групи пальників окремо.

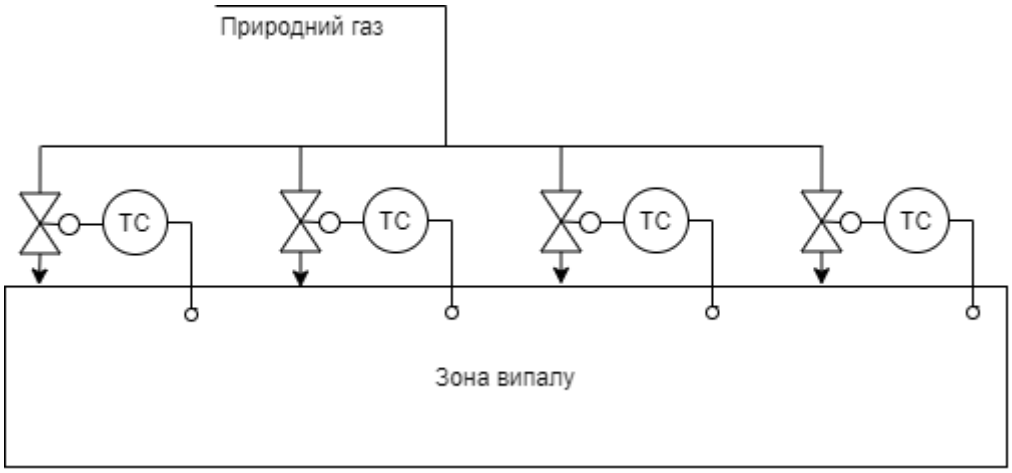

Рисунок 3.2 - Регулювання окремої температури

Перший варіант має просту й зрозумілу реалізацію, однак регулювання температурного режиму за однією точкою контролю не може забезпечити стабільний режим в печі, що призводить до зниження якості продукції й збільшення витрат ресурсів. Отож для підвищення якості контролю температурного режиму, використовують другий варіант, де витрата газу регулюється на кожному пальник. Таким чином регулювання температури проходить на кожній секції зони випалу окремо. Даний спосіб є більш складним, однак його впровадження дозволяє знизити енергозатрати та підвищити якість продукту.

Хоча більшість тунельних печей реалізовані за першим варіантом, на сьогодні, підприємства все частіше замовляють печі саме з другою архітектуру, через її економічні переваги на дистанції.

3.2 Обґрунтування прийнятої системи керування

Головними параметрами системи автоматичного управління є її якість та точність, що прямо залежать від датчиків, регулюючих органів, точок контролю, типу і налаштувань регулятору.

Найбільш вдалим та ефективним рішенням буде регулювання окремо кожної з температур шляхом контролю витрати природнього газу на кожному з пальників. На кожній секції зони випалу має розмічатись по одному датчику

температури та по одному пальнику, що контролюється контролером, який в свою чергу для кожного такого пальнику має по регулятору. На регулятор, в свою чергу подається поточне значення температури в секції.

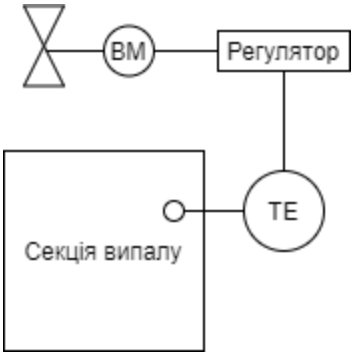

Рисунок 3.3 - Схематичне зображення регулювання за окремою точкою

Однією з переваг даного підходу є його модульність, тобто не зважуючи з скількох секцій складається зона випалу, для кожної з них може бути застосовано одне рішення. При чому для кожної з секцій може бути налаштовано окремі параметри.

РОЗДІЛ 4
ОБРГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Технологічний контроль

1. Температура у першій секції зони випалу

   Діапазон робочої температури становить до 1000 °С. Параметр вимірюється за допомогою термопари ДПРN 125-0514.500.1 (поз. 1а). Діапазон вимірювання (-40; 1250) °С; клас точності складає 1.

2. Температура у другій секції зони випалу

   Діапазон робочої температури становить до 1000 °С. Параметр вимірюється за допомогою термопари ДПРN 125-0514.500.1 (поз. 3а). Діапазон вимірювання (-40; 1250) °С; клас точності складає 1.

3. Температура у третій секції зони випалу

   Діапазон робочої температури становить до 1000 °С. Параметр вимірюється за допомогою термопари ДПРN 125-0514.500.1 (поз. 5а). Діапазон вимірювання (-40; 1250) °С; клас точності складає 1.

4. Температура у четвертій секції зони випалу

   Діапазон робочої температури становить до 1000 °С. Параметр вимірюється за допомогою термопари ДПРN 125-0514.500.1 (поз. 7а). Діапазон вимірювання (-40; 1250) °С; клас точності складає 1.

5. Температура у п’ятій секції зони випалу

   Діапазон робочої температури становить до 1000 °С. Параметр вимірюється за допомогою термопари ДПРN 125-0514.500.1 (поз. 9а). Діапазон вимірювання (-40; 1250) °С; клас точності складає 1.

6. Температура у шостій секції зони випалу

   Діапазон робочої температури становить до 1000 °С. Параметр вимірюється за допомогою термопари ДПРN 125-0514.500.1 (поз. 11а). Діапазон вимірювання (-40; 1250) °С; клас точності складає 1.

7. Температура на початку зони охолодження

   Діапазон робочої температури становить до 980 °С. Параметр вимірюється за допомогою термопари ДПРN 125-0514.500.1 (поз. 13а). Діапазон вимірювання (-40; 1250) °С; клас точності складає 1.

8. Тиск розрідження на початку тунельної печі

   Діапазон робочого тиску становить (9; 12) кПа. Вимірювання здійснюється за допомогою датчику тиску PR 35 3 HTC. Клас точності становить 0.25, а вихідний сигнал (4-20) мА. Прилад спеціально розроблено для експлуатації в важких умовах, в тому числі – великих температур.

9. Витрата газу у газопроводі

   Діапазон робочої витрати становить до 750 $м^3$/год. Вимірювання здійснюється за допомогою ротометру МЕТА 215-200Х-Г-Фт-1.6-100-1.0-А. Вихідний сигнал (4-20) мА. Клас точності 1.

10. Тиск у газопроводі

    Діапазон робочого тиску становить до 0.75 МПа. Вимірювання здійснюється за допомогою датчику тиску ПД100-ДИ0.1. Вихідний сигнал (4-20) мА. Клас точності 1.

4.2 Автоматичне регулювання та управління

Тунельна піч випалу цегли має два типи контуру температури: температури на секціях зони випалу, з першої по шосту, та температури на початку блоку охолодження.

За допомогою ПІД-закону регулювання система має забезпечувати постійну номінальну температуру, регулюючи за відхиленням й подаючи на виконавчі механізми відповідних органів уніфікований сигнал (4-20) мА, тим самим змінюючи швидкість обертання двигунів або зміни витрати газу пальників.

Для регулювання температури на секціях зони випалу використовується пальники P91A, що являють собою комплексне рішення термообробки саме для печей, в тому числі, тунельних (2а, 4а, 6а, 8а, 10а, 12а).

Виконавчим механізм для регулювання температури на початку зони охолодження є вентилятор LEO 4.0, змінюючи його потужність, регулюється швидкість відсмоктування гарячого повітря до сушарки. Керування двигуном вентилятору відбувається частотним перетворювачем VLT MicroDrive M1, з уніфікованим сигналом регулювання (4-20) мА.

Для реалізації даної задачі було підібрано модульний контролер від Phoenix Contact – AXC 1050, пристрій Axiocontrol для безпосереднього управління пристроями вводу/виводу Axioline. Даний контролер може бути розширено завдяки модулям, що живляться й комутують по локальній шині від самого контролеру. Для програмування даного контролеру використовується інжинірингових інструмент PC Worx/PC Worx EXPRESS, для написання коду на мовах стандатртизованиї МЕК61131-3.

Для задовільнення потреб також потрібні два модулі аналогових входів AXL P EX AI8 HART 1F, з 8 контактами кржен; два модулі аналогових виходів AXL F AO8 XC 1F, з 8 контаками кожен; один модуль дискретних виходів AXL SE DO16, з 16 контаками.

4.3 Технологічна сигналізація

Для оповіщення оператору про нештабну ситуацію, необхідна технологічна сигналізація, обов'язкова частина системи автоматизації, що реагує на небезпечні події. Система автоматичного управління тунельної печі має забезпечити наступні сигналізації:

1. Вихід значення температри за межі допустимих значення для першої секції випалу

   У випадку, коли температура на першій секції випалу виходить за межі допустимих значень (980; 1000) °С, то на щиті управління почне блимати відповідна лампа, а SCACDA-система сповістить про це оператора.

2. Вихід значення температри за межі допустимих значення для другої секції випалу

   У випадку, коли температура на другій секції випалу виходить за межі допустимих значень (980; 1000) °С, то на щиті управління почне блимати відповідна лампа, а SCACDA-система сповістить про це оператора.

3. Вихід значення температри за межі допустимих значення для третьої секції випалу

   У випадку, коли температура на третій секції випалу виходить за межі допустимих значень (980; 1000) °С, то на щиті управління почне блимати відповідна лампа, а SCACDA-система сповістить про це оператора.

4. Вихід значення температри за межі допустимих значення для четвертой секції випалу

   У випадку, коли температура на четвертій секції випалу виходить за межі допустимих значень (980; 1000) °С, то на щиті управління почне

блимати відповідна лампа, а SCACDA-система сповістить про це оператора.

5. Вихід значення температри за межі допустимих значення для п’ятої секції випалу

   У випадку, коли температура на п’ятій секції випалу виходить за межі допустимих значень (980; 1000) °C, то на щиті управління почне блимати відповідна лампа, а SCACDA-система сповістить про це оператора.

6. Вихід значення температри за межі допустимих значення для шостої секції випалу

   У випадку, коли температура на шостій секції випалу виходить за межі допустимих значень (980; 1000) °C, то на щиті управління почне блимати відповідна лампа, а SCACDA-система сповістить про це оператора.

7. Вихід значення температри за межі допустимих значення на початку зони охолодження

   У випадку, коли температура на початку секції охолодження, виходить за межі допустимих значень (980; 1000) °C, то на щиті управління почне блимати відповідна лампа, а SCACDA-система сповістить про це оператора.

8. Вихід значення тиску розрідження за межі допустимих значення на початку зони підогріву

   У випадку, коли тиск на початку зони підогріву виходить за межі допустимих значень (10; 12) кПа, то на щиті управління почне блимати відповідна лампа, а SCACDA-система сповістить про це оператора.

9. Перевищення допустимого значення тиску в газопроводі

   У випадку, коли тиск у газопроводі перевищую допустиме значення, то на щиті управління почне блимати відповідна лампа, а SCACDA-система сповістить про це оператора.

4.4 Технологічний захист та блокування

У разі спрацювання будь якої сигналізації, у системи буде відповідний час на її ліквідацію й подальший вихід на звичайний режим. Якщо за виділений час сигналізація не пригнічена чи система не вийшла на робочий режим, контролер почне виконання аварійної реакції: перекриття подачі газу до пальників й т.д. В той час SCADA оповістить оператора про статус даної процедури.

4.5 Живлення приладів та засобів автоматизації

Дана система використовує декілька видів живлення, а саме: трьох-фазне живлення змінного струму, живлення постійного струму та одно-фазне живлення.

Для силових ланцюгів встановлено автоматичний вимикач ВА47-29 3Р С 25 А IEK. Живлення трьох-фазним струмом відбувається у частотних перетворювачів VLT MicroDrive M1, кожен з яких захищено трьох-полюсними автоматичними вимикачами.

Блоки живлення, встановлені на щиті автоматизації, живляться одно-фазним струмом й захищені однополюсним автоматичним вимикачем ETIMAT 6 1P C 10A ETI.

4.6 Щити і пульти

Для щиту автоматизації було підібрано ЩМП-4-0 36 УХЛ3 800х650х250 IP31.

В щиті розміщено наступні засоби автоматизації:

1. Контролер Phoenix Contact AXC 1050

2. Два модулі розширення аналогових входів AXL P EX IS AI8 HART 1F
3. Два модулі розширення аналогових виходів AXL F AO8 XC 1F
4. Один модуль розширення дискретних виходів AXL F DO16 1H
5. Один вимикач автоматичний ВА-47-29 3Р С 25А IEK
6. Один вимикач автоматичний ETIMAT 6 1P C 10A ETI
7. Дев'ять вимикачів автоматичних ETIMAT 6 3p B
8. Блок живлення OWEN БП60
9. Блок живлення OWEN БП15
10. 90 клемних колодок MTU-6
11. 30 клемних колодок КВС 35-150

Всі пристрої монтуються на DIN-рейку 35мм.

4.7 Розрахунок похибок ВК ти надійності функціонування

Точність регулювання, в замкнених системах, визначається тільки похибкою задавача, через багатократні розрахунки регулятора. Через те, до вимірювального каналу регулятора не застосовуються пильні вимоги щодо точності. У той час як, похибка по інформаційним вимірювальним каналам має бути мінімізована.

На рис. 4.7.1 наведена структурна схема каналів вимірювання

Рисунок 4.1 - Схема вимірювальних каналів

Нижче наведено датчики й інших елементів з їх технічними характеристиками, що використовуються у вимірювальних каналах.

Таблиця 4.1 - Характеристики елементів вимірювальних каналів

Елемент ВК	Тип	Клас точності	Діапазон
Термопара	ДТПN 125-0514	0.2	(-40: 1250) °С
Ротометр	МЕТА-215-200Х	1	(100; 1000) м^3/год
Датчик тиску	PR 35 3 HTC	0.25	(0; 300) кПа
Датчик тиску	ПД1000-ДИ0.1	1	(0.66; 1.67) мПа
Модуль вводу	AXL F AO8 XC 1F	1	4…20 мА

Розрахунок абсолютної похибки виконується за допомогою наступної формули:

$$\Delta = \varepsilon_{кл} \frac{X_{max} - X_{min}}{100}$$

Де $\varepsilon_{кл}$ – клас точності; X_{max} – максимальна похибка; X_{min}– мінімальна похибка.

ДТПN 125-0514: $\Delta дтпn = \frac{0.2(1250+40)}{100} = 2.58$ °С

МЕТА-215-200Х: $\Delta мет = \frac{(1000-100)}{100} = 9$ м3/год

PR 35 3 HTC: $\Delta pr = 0.25\frac{300}{100} = 0.75$ кПа

ПД1000-ДИ0.1: $\Delta pr = \frac{(1.67-0.66)}{100} = 0.01$ МПа

Похибка модуля вводу для датчиків:

ДТПN 125-0514: $\Delta дтпn = \frac{0.1(1250+40)}{100} = 1.259$ °С

МЕТА-215-200Х: $\Delta мет = \frac{0.1(1000-100)}{100} = 0.9$ м3/год

PR 35 3 HTC: $\Delta pr = 0.1\frac{300}{100} = 0.3$ кПа

ПД1000-ДИ0.1: $\Delta pr = \frac{0.1\,(1.67-0.66)}{100}1000 = 1.01$ кПа

Розрахунок абсолютних та відносних похибок за температурою, тиском та витратою газу:

$$\Delta\text{вкТ} = \sqrt{2.58^2 + 1.259^2} = 4.456\ °\text{C}$$

$$\Delta\text{вк}P1 = \sqrt{0.75^2 + 0.3^2} = 0.8\ \text{кПа}$$

$$\Delta\text{вк}P2 = \sqrt{10^2 + 1.01^2} = 10.05\ \text{кПа}$$

$$\Delta\text{вк}Q\text{г} = \sqrt{9^2 + 0.9^2} = 9.045\ \text{м3/год}$$

Де ΔвкТ – абсолютна похибка за температурою; Δвк$P1$ – абсолютна похибка за тиском в печі; Δвк$P2$ – абсолютна похибка за тиском в газопроводі; ΔвкQг – абсолютна похибка за витратою газу.

Розрахунок максимальних відносних похибок:

$$\eta_T = \frac{4.456}{1000} = 0.004;$$

$$\eta_{P1} = \frac{0.8}{10} = 0.08;$$

$$\eta_{Q\text{г}} = \frac{9.045}{750} = 0.012;$$

$$\eta_{P2} = \frac{10.05}{750} = 0.0134;$$

Де η_T – відносна похибка за температурою; η_{P1} – відносна похибка за тиском в печі; η_{P2} – відносна похибка за тиском в газопроводі; $\eta_{Q\text{г}}$ – відносна похибка за витратою газу.

Дана точність вимірювання задовольняє всім потребам, оскільки абсолютні похибки всіх вимірювальних каналів менші за допустимі. З чого можна зробити висновок, що комплектація всіх засобів автоматизації пригідне для отримання значень ТП і є задовільною.

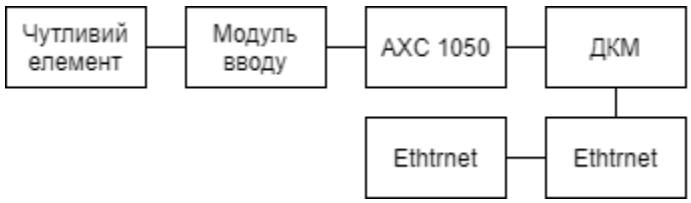

Рисунок 4.2 - Структура інформаційної функції

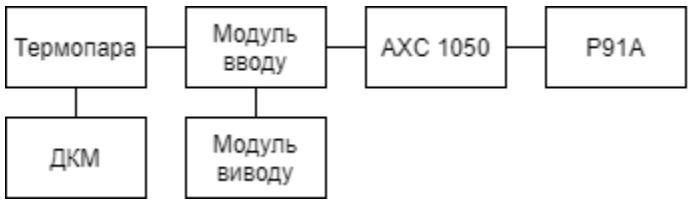

Рисунок 4.3 - Структура керуючої функції

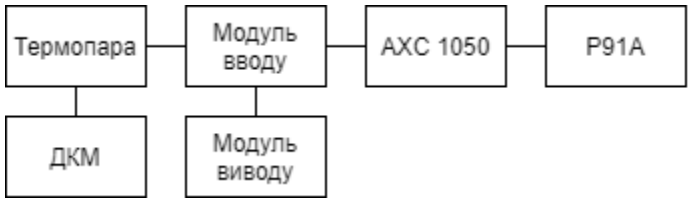

Рисунок 4.4 - Структура захисної функції

Таблиця 4.2 - Характеристики надійності

Елемент	$\lambda * 10^6$, 1/год	$T_{сер}$, год
ДТПN 125-0514.500.1 Комутатор Ethernet кабель PR 35 3 HTC ПД1000-ДИ0.1	5	200000
АХС 1050	3.33	300000
AXL P EX IS AI8 HART 1F AXL F AO8 XC 1F AXL F DO16 1H	6.66	150000
ДКМ	1	1000000
META-215-200X VLT MicroDrive M1	10	100000
P91A GR24-SR	8.33	120000

Використовуючи дані з таблиці 4.2, для кожної з функцій зробимо розрахунок середнього часу напрацювання, інтенсивності відмов та

ймовірності безвідмовної роботи, а для захисної функції ще окремо розраховується коефіцієнт готовності.

Для розрахунку загальної інтенсивності відмов використовується наступна формула:

$$\lambda = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$$

Для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за час τ використовується наступна формула:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau}$$

Для розрахунку середнього напрацювання на відмову використовується наступна формула:

$$\mathrm{T_{сер}} = \frac{1}{\lambda}$$

Для розрахунку коефіцієнту готовності використовується наступна формула:

$$\mathrm{K_{гот}} = \frac{\mathrm{T_{сер}}}{\mathrm{T_{сер}} + \mathrm{T_{в}}}$$

Візьмемо за τ = 720 год; час відновлення працездатності $\mathrm{T_{в}}$ = 4 год; допустимий час функціонування відмовляючої функції $\mathrm{T_{доп}}$ = 12 год.

Розрахунок даних інформаційної функції:

Для температури та тиску:

$\lambda = 26 * 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$;

$\mathrm{T_{сер}} = 38461$ год;

$P(\tau) = 0.982$.

Для витрати:

$\lambda = 31 * 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$;

$T_{сер} = 32268$ год;

$P(\tau) = 0.978.$

Розрахунок даних керуючої функції:

$\lambda = 37.66 * 10^{-6} \frac{1}{год}$;

$T_{сер} = 29708$ год;

$P(\tau) = 0.976$; $P_в(\tau) = 0.95$

Беручи до уваги $T_в$, розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи:

$P_в(\tau) = 0.976 + (1 - 0.976) * 0.95 = 0.9988.$

Розрахунок даних захисної функції:

$\lambda = 37.66 * 10^{-6} \frac{1}{год}$;

$T_{сер} = 29708$ год;

$P(\tau) = 0.976$;

$P_в(\tau) = 0.95$;

$K_{гот} = 0.99$;

$P_{оч}(\tau) = 0.976.$

Таблиця 4.3 - Характеристики надійності функцій АСУ

Функція	$\lambda * 10^6$, 1/год	$T_{сер}$, год	$K_{гот}$	P(τ)
Регулююча	37.66	29708		0.976
Інформаційна (температура та тиск)	26	38461		0.982
Інформаційна (витрата)	31	32268		0.978
Захисна	37.66	29708	0.9999	0.976

Звертаючись до вимог наведених в другому розділі, можна зробити висновок, що дані відповідають всім вимогам. З чого випливає, що даний набір засобів автоматизації можна пускати в експлуатацію.

РОЗДІЛ 5

МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИНТЕЗ САУ

5.1 Побудова моделі об’єкта

Існує декілька методів для пошуку моделі об’єкта, а саме:

- Аналітичний
- Експериментальний
- Комбінований

Аналітичний метод використовує фізичні закони для знаходження моделі. Експериментальний метод ґрунтується на зафіксований даних, які використовуються інженерними формулами. Комбінований метод поєднує в собі два попередніх.

Відомо, що тунельна піч апроксимується аперіодичною ланкою першого порядку з транспортним запізненням. Використовуючи літературні джерела, візьмемо коефіцієнти передаточної функції для нашого об’єкту: K = 2.33, T = 275, τ = 40.

Отже передаточна функція набуває наступний вигляд:

$$W_{об} = \frac{K}{Ts+1}e^{-\tau s} = \frac{2.33}{275s+1}e^{-40s}$$

Тепер маючи перехідну характеристику, її можна реалізувати в спеціалізованому середовищі розробки, такому як Matlab Simulink. Побудуємо схему(рис5.1) з нашою перехідною характеристикою та виведемо відповідний графік(рис5.2) перехідного процесу.

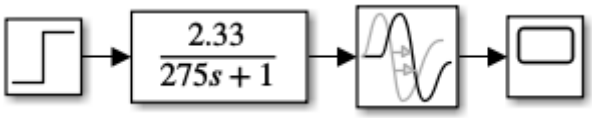

Рисунок 5.1 - схема симуляції перехідної характеристики

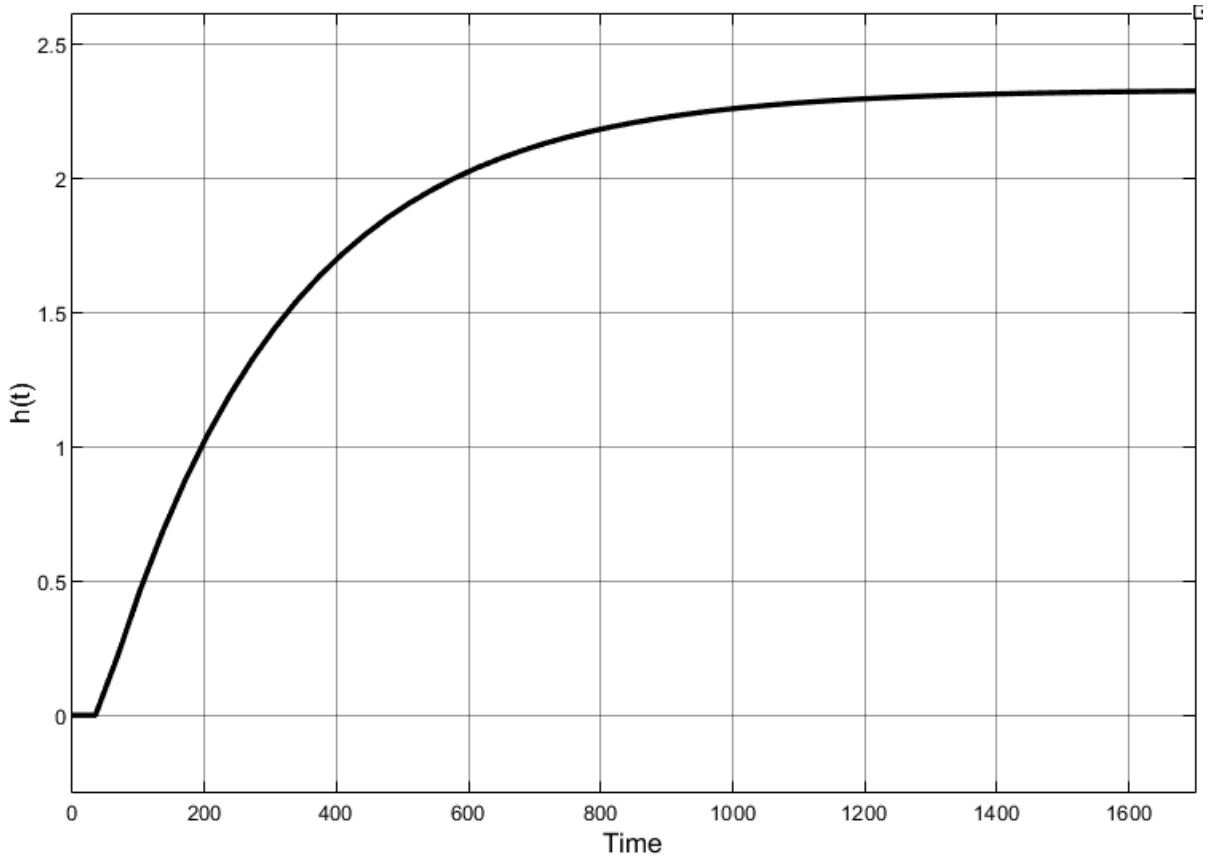

Рисунок 5.2 - Графік перехідної характеристики тунельної печі

5.2 Розрахунок налаштувань регулятору

Для роботи з нашою системою в якості регулятору візьмемо регулятор ПІ-регулятор. Для розрахунку параметрів ПІ-регулятору використаємо два методи: інженерний та РАФХ.

5.2.1 РАФХ

Для побудови кривої заданої степені коливальності скористуємось формулами для ПІ-регулятора:

$$\begin{cases} K_P = -\dfrac{mQ_{об}(m,\omega) + P_{об}(m,\omega)}{A_{об}^2(m,\omega)} \\ K_и = -\omega(m^2+1)\dfrac{Q_{об}(m,\omega)}{A_{об}^2(m,\omega)} \end{cases}$$

де $K_И = \dfrac{K_P}{T_И}$, $A_{об}(m,w) = \sqrt{P_{об}^2(m,w) + Q_{об}^2(m,w)}$

$$W_{об} = \frac{2.33}{275s+1} e^{-40s};$$

Будуємо криву заданої степені коливальності за допомогою наступного коду:

```
m=0.366;
w=0:0.0001:0.035;
W=(2.33.*exp(-40*(-m*w+1j*w)))./(275*(-m*w+1j*w)+1);
Re=real(W);
Im=imag(W);
Kp=-(m*Im+Re)./(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki,'-k');
ylabel('Kp/Tu');
xlabel('Kp');
grid;
```

На кривій, що зображена на рисунку 5.3, вибираємо параметри налаштувань регулятора.

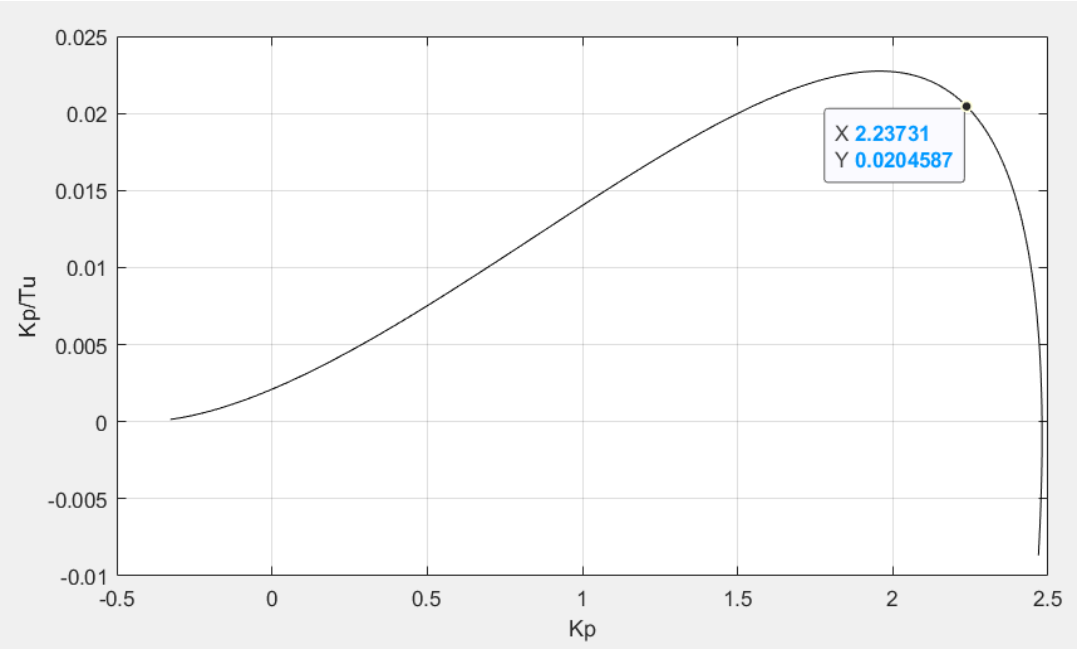

Рисунок 5.3 - Крива заданої степені коливальності

Так як регулятор ПІ, то визначимо налаштування як $K_и$=0.9*max(Ки)

$K_р$=2.237, $K_и$=0.0205, $T_и$=109.122

Текст М-файлу побудови РАФХ і АФХ системи з ПІ-регулятором (рис. 5.4):

```
m=0.366;
w=0.1:0.001:3;
p=1j*w;
W=(2.33.*exp(-40*(-m*w+1j*w)))./(275*(-m*w+1j*w)+1);
Wr=2.237.*(1+1./(109.122.*p));
W=W.*Wr;
Re=real(W);
Im=imag(W);
p=w*(1j-m);
W1=(2.237+(2.237./(109.122.*p))).*(2.33.*exp(-40*p))./(275.*p+1);
Re1=real(W1);
Im1=imag(W1);
plot(Re,Im,Re1,Im1);
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid on;
```

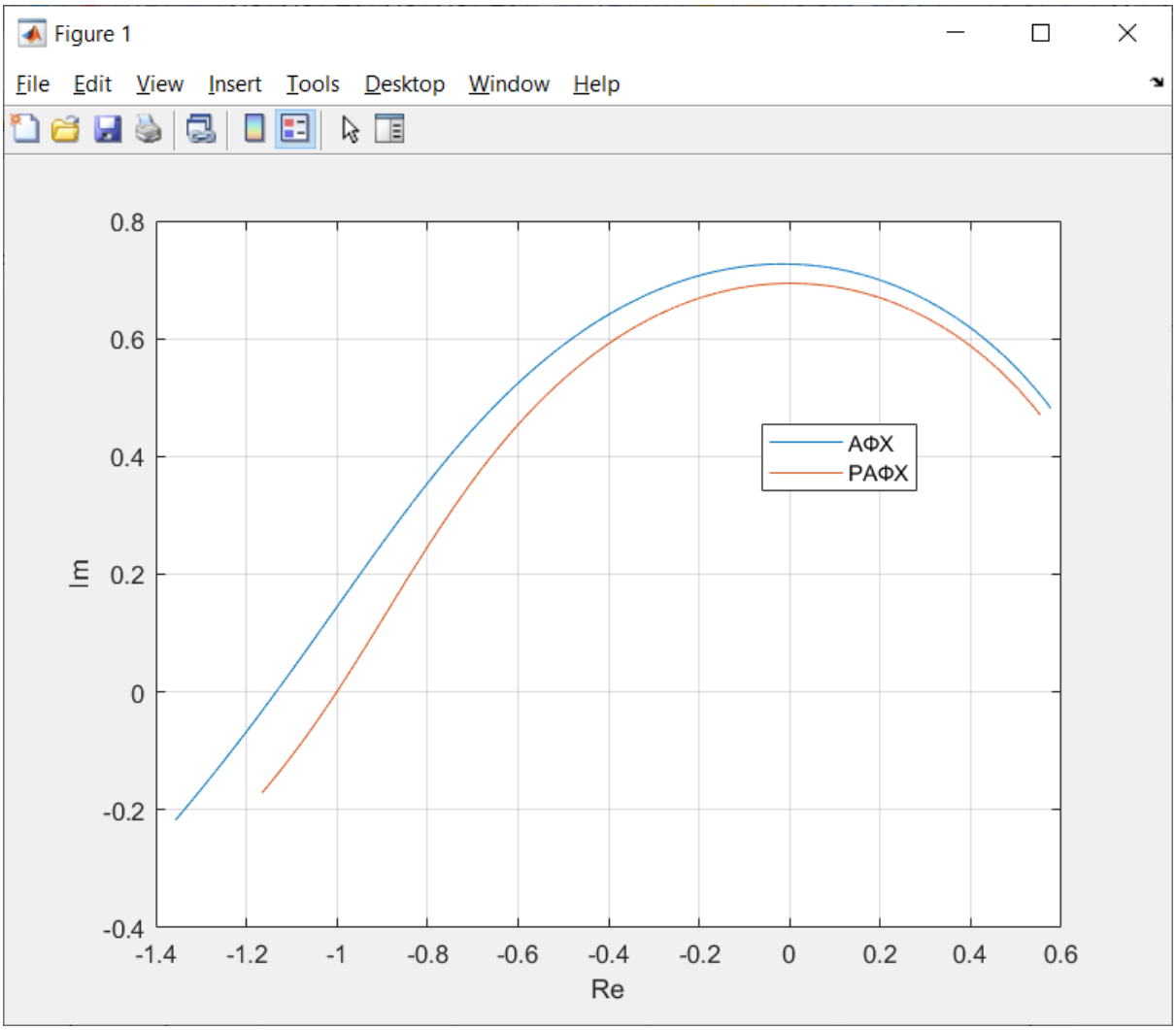

Рисунок 5.4 - АФХ і РАФХ РС об’єкта з ПІ-регулятором.

Видно, що РАФХ розімкнутої системи проходить через точку (-1;j0). Це значить, що отримана система повинна мати кореневий показник коливальності m, рівний заданому: m=m*=0.366.

5.2.2 Інженерний метод

Для інженерного методу використаємо метод з частковою компенсацією:

$$К_п = \frac{1}{К}\left(0.739\frac{Т}{\tau}\left(1+\frac{\tau}{Т}\right)^2 - 1\right)$$

$$Т_н = \tau\frac{6.36 \cdot К \cdot К_п}{\frac{Т}{\tau}\left(1+\frac{\tau}{Т}\right)^3}$$

Підставляючи параметри свого об’єкту отримуємо наступний результат: $К_п = 2.4318$; $Т_н = 139.5$.

Маючи параметри налаштування ПІ-регулятору, що були виведені за інженерним методом можна, наступним шагом стає розробка схеми(рис. 5.5) завдання-вихід для замкненої. Графік роботи даної схеми можна переглянути на рис. 5.6.

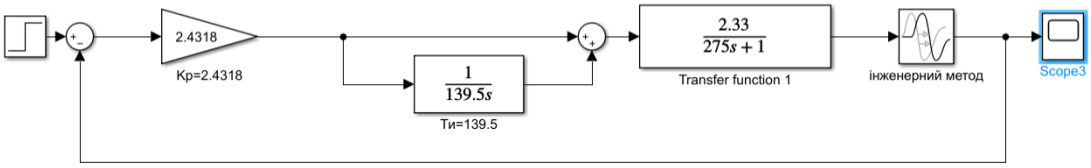

Рисунок 5.5 - Схема для перехідної характеристики за завданням-виходом

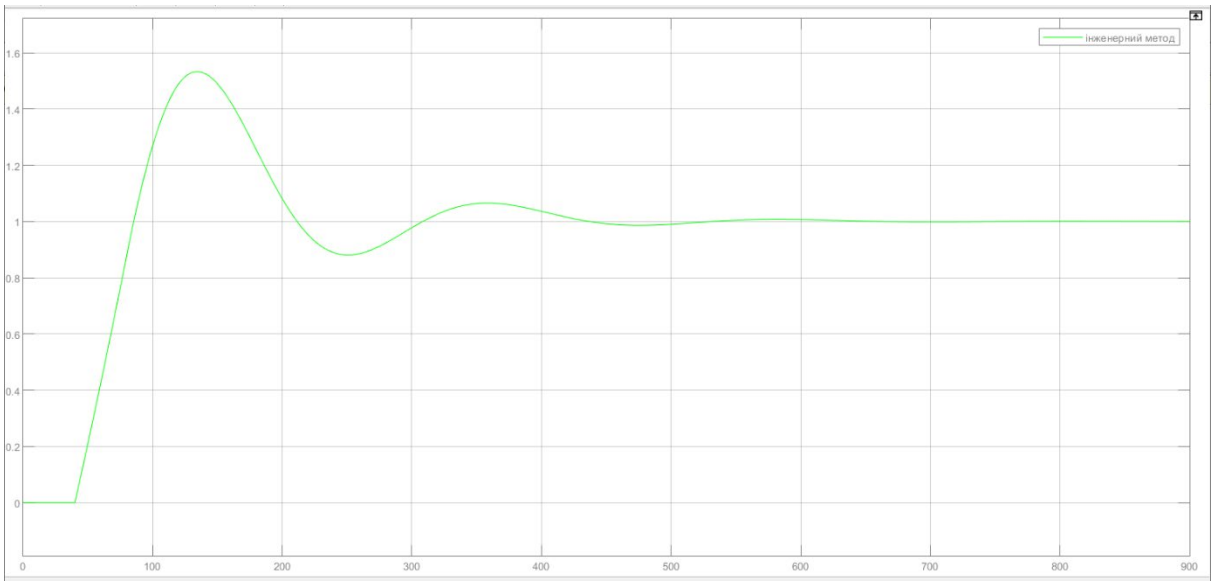

Рисунок 5.6 - Графік перехідної характеристики за завданням-виходом

Далі побудуємо схему(рис. 5.7) для каналу збурення-вихід. Результат схеми можна переглянути на рис. 5.8.

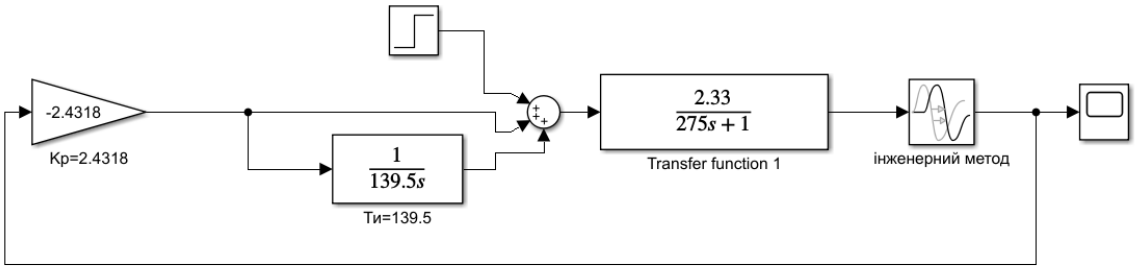

Рисунок 5.7 - Схема для перехідної характеристики за збуренням-виходом

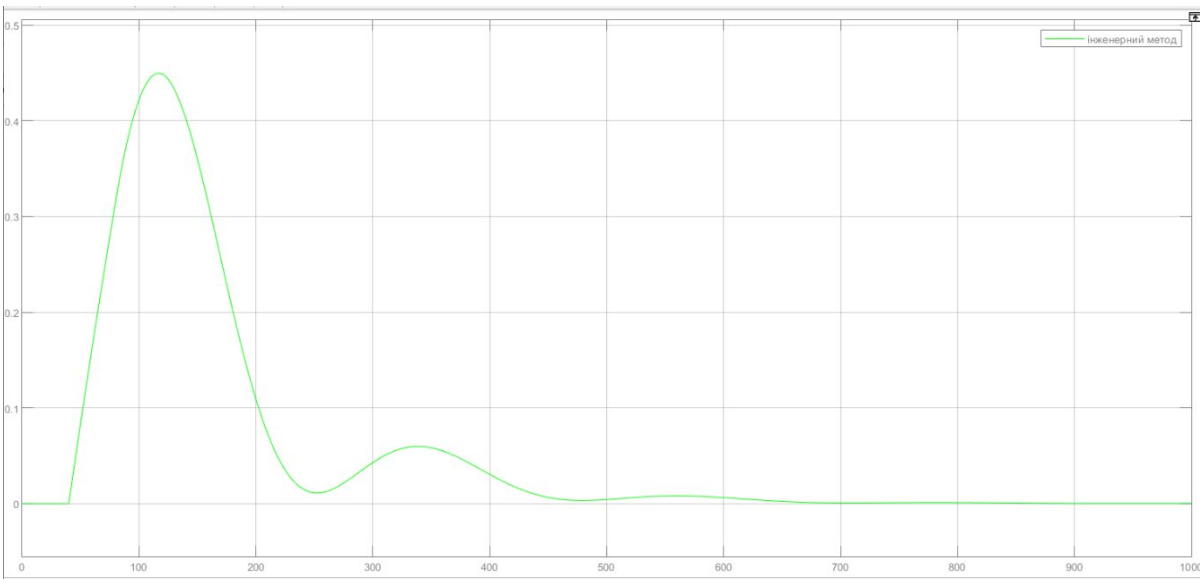

Рисунок 5.8 - Графік перехідної характеристики за завданням-виходом

5.2.3 Розрахунок якості регулювання та вибір оптимальних параметрів

Щоб вибрати оптимальніший варіант, побудуємо схему(рис. 5.9) для каналу завдання-вихід, на котрій порівняємо налаштування, вирахувані з інженерного та РАФХ методів для ПІ-регулятора й виведем на графіки(рис. 5.10) результати їх роботи.

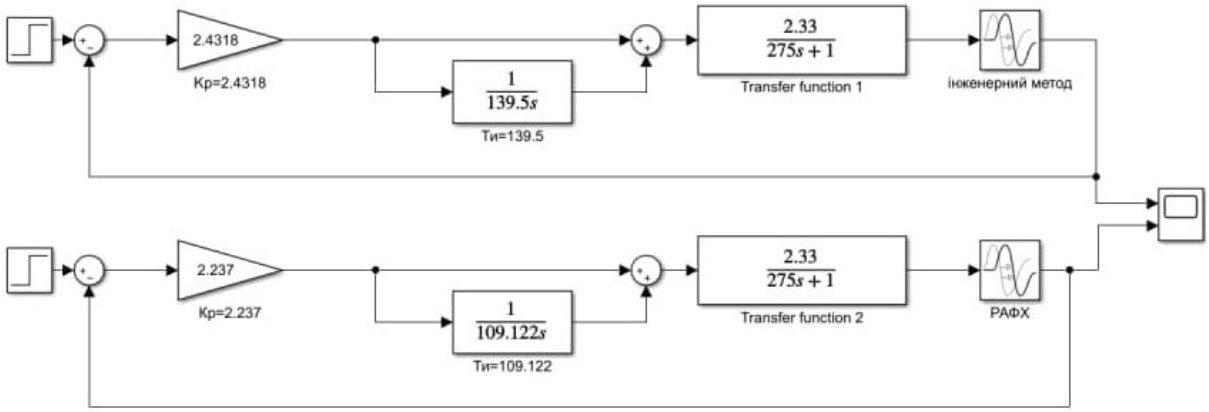

Рисунок 5.9 - Схеми для ПХ за каналом завдання-вихід

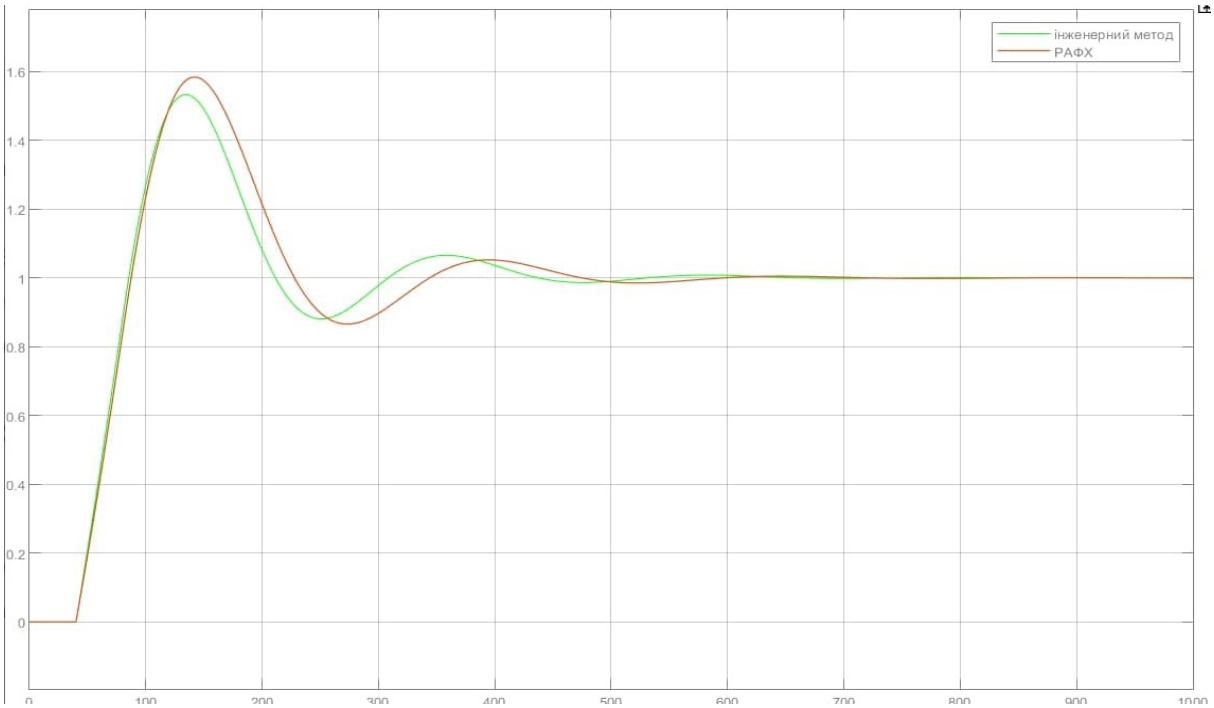

Рисунок 5.10 - Результат роботи для ПХ за каналом завдання-вихід

Для розрахунку прямих показників якості обох систем за каналом завдання-вихід використаємо наступні формули:

- $y_\infty - y_{зад}$ - статична похибка;
- $y_1 - y_\infty$ - динамічна похибка;
- $\frac{y_1 - y_\infty}{y_\infty} \cdot 100\%$ - перерегулювання;
- $\frac{y_1 - y_3}{y_1}$ – показник затухання.

Таблиця 5.1 - Показники якості регулювання за каналом завдання-вихід

Показник	РАФХ	Інженерний метод
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0.584	0.533
Час регулювання, с	407.226	386.708
Перерегулювання, %	58.4	53.3
Показник затухання	0.336	0,305

Далі побудуємо схему для обох налаштувань за каналом збурення-вихід:

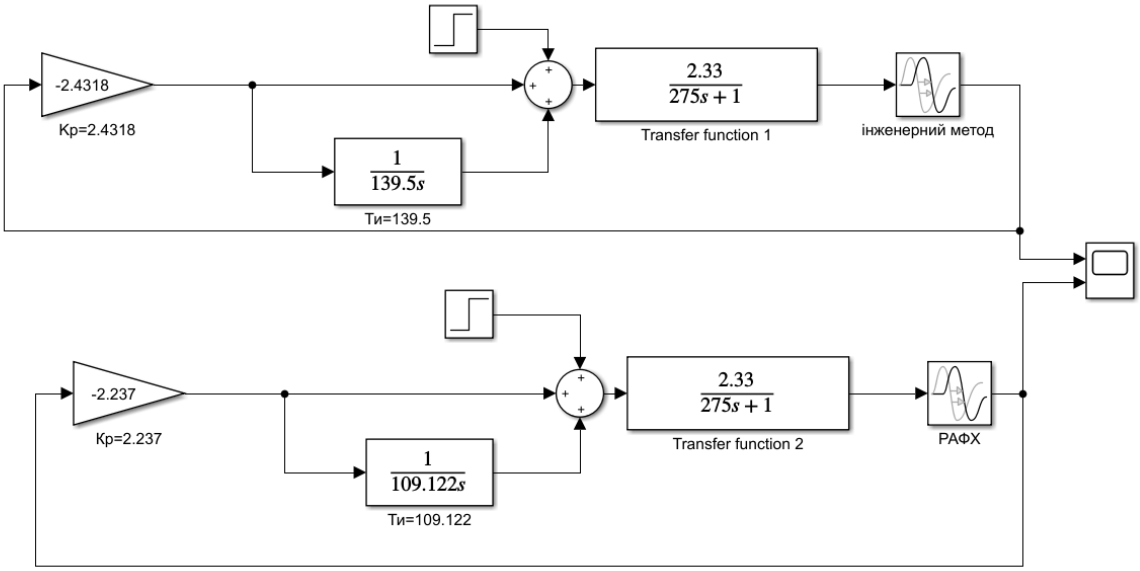

Рисунок 5.11 - Схеми для ПХ за каналом збурення-вихід

Графіки роботи даної схеми:

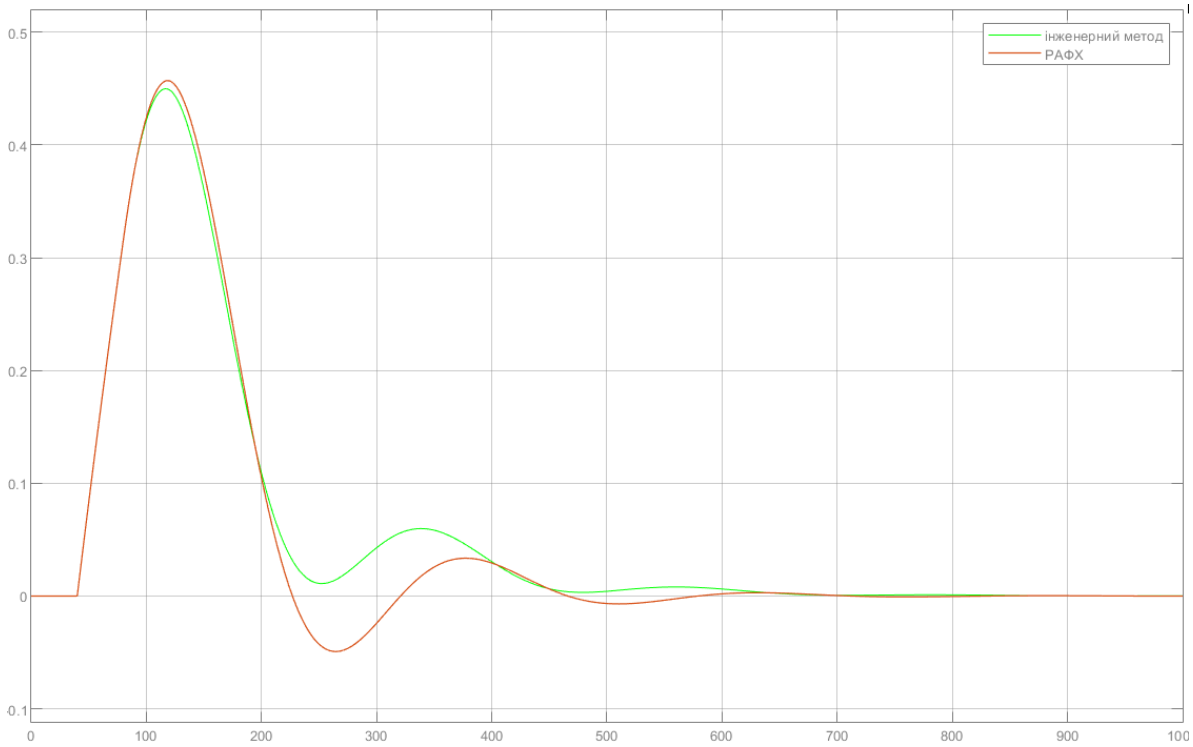

Рисунок 5.12 - Результат роботи для ПХ за каналом збурення-вихід

Для розрахунку прямих показників якості обох систем за каналом збурення-вихід використаємо наступні формули:

- $y_\infty - y_{зад}$ - статична похибка;
- $y_1 - y_\infty$ - динамічна похибка;
- $\frac{y_2}{y_1} \cdot 100\%$ - перерегулювання;
- $\frac{y_1 - y_3}{y_1}$ – показник затухання.

Таблиця 5.2 - Показники якості регулювання за каналом збурення-вихід

Показник	РАФХ	Інженерний метод
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0.46	0.45
Час регулювання, с	211.472	369.061
Перерегулювання, %	7.3	13.23
Показник затухання	0.99	0,98

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що найкращі показники якості має інженерний метод. Того ж за налаштування для нашого ПІ-регулятору далі візьмемо їх конфігурацію з інженерного методу.

5.3 Дослідження системи на грубість

З часом, об'єкт можу змінювати значення своїх характеристик. Через те виникає потреба дослідити систему керування на її грубість. Для цього проведемо дослідження за каналом збурення-вихід з варіаційними значеннями нашого ПІ-регулятора. Значення варуються в межах ±10%. Результати такого змінення системи наступні:

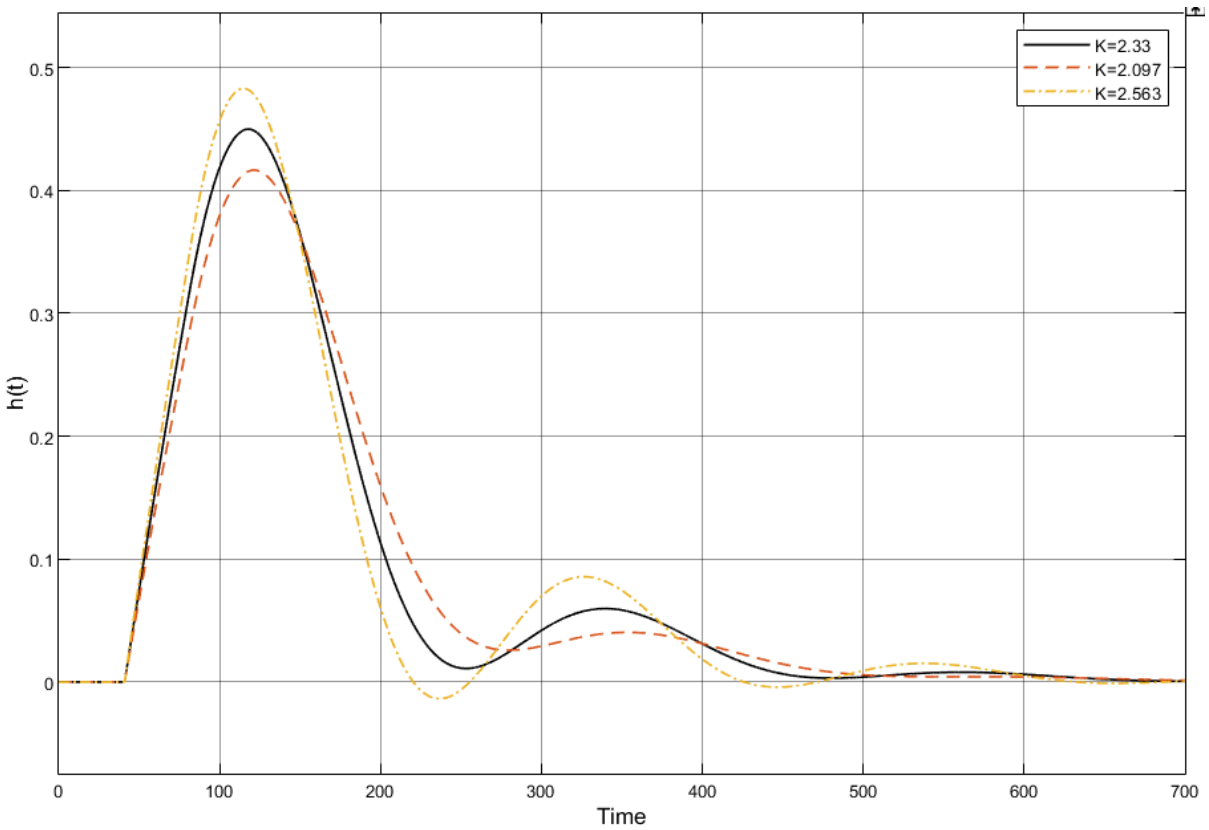

Рисунок 5.13 - Перехідна характеристика за зміною *K* об'єкту

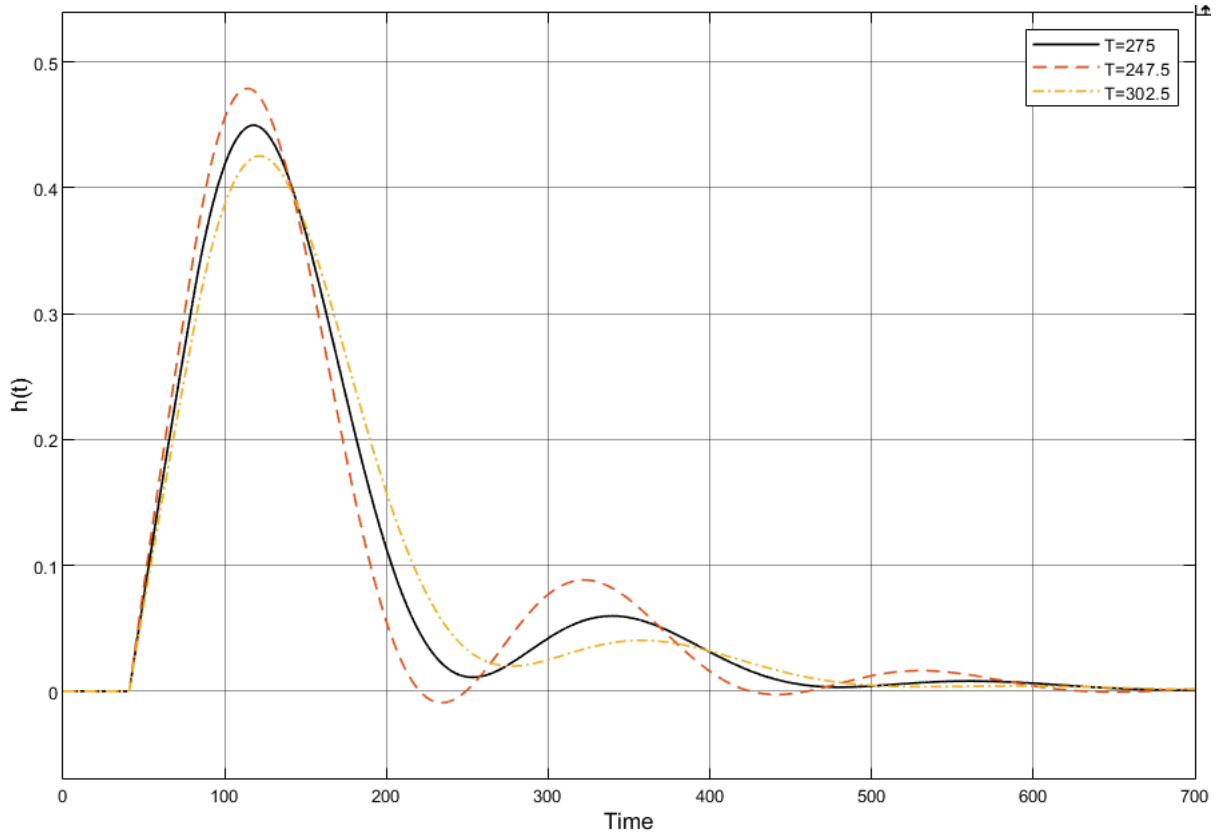

Рисунок 5.14 - Перехідна характеристика за зміною *T* об’єкту

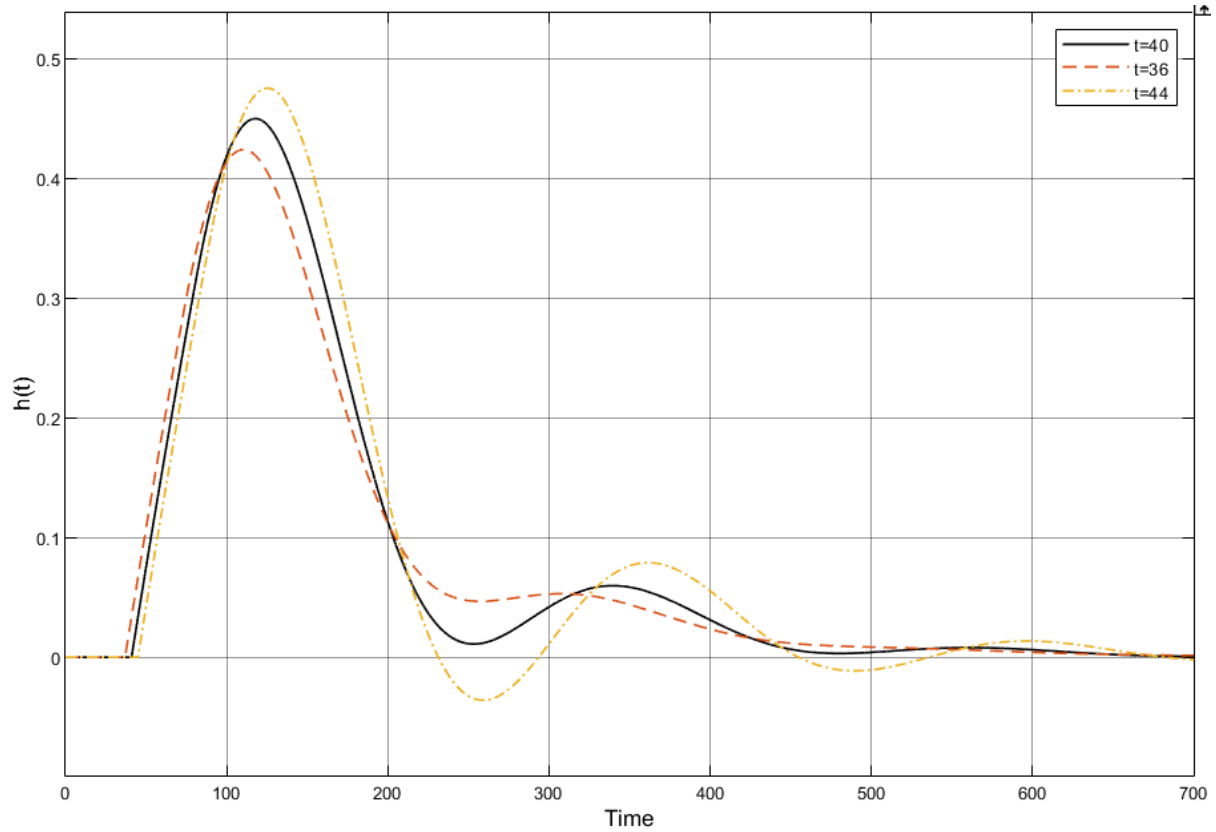

Рисунок 5.15 - Перехідна характеристика за зміною *τ* об’єкту

Далі розрахуємо показники якості(динамічна похибка, перерегулювання, час регулювання) для різних варіацій:

Таблиця 5.3 - Показники якості для дослідження на грубість

Параметр	*K*	*T*	*τ*	Динамічне відхилення	Час регулювання, с	Перерегулювання, %
Початкові	2.33	275	40	0.45	369	13.23
K	2.097	275	40	0.5836	241.2	9.714
	2.563	275	40	0.5171	372	17.742
T	2.33	247.5	40	0.521	369.6	18.447
	2.33	302.5	40	0.5746	239.8	9.471
τ	2.33	275	36	0.576	242.6	12.497
	2.33	275	44	0.525	406	16.61

За наступною формулою розрахуємо відносні коефіцієнти чутливості:

$$k_z = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|}$$

1. Для динамічної похибки за зміною *K*:

$$k_{k\Delta\text{дин.1}} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{0.5836 - 0.45}{0.45}\right|}{\left|\frac{2.097 - 2.33}{2.33}\right|} = 2.97$$

$$k_{k\Delta\text{дин.2}} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{0.5171 - 0.45}{0.45}\right|}{\left|\frac{2.563 - 2.33}{2.33}\right|} = 1.49$$

2. Для динамічної похибки за зміною T:

$$k_{T\Delta\text{дин.1}} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{0,521 - 0.45}{0.45}\right|}{\left|\frac{247,5 - 275}{275}\right|} = 1.58$$

$$k_{T\Delta\text{дин.2}} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{0,5746 - 0.45}{0.45}\right|}{\left|\frac{302,5 - 275}{275}\right|} = 2,77$$

3. Для динамічної похибки за зміною τ:

$$k_{\tau\Delta\text{дин.1}} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{0,576 - 0.45}{0.45}\right|}{\left|\frac{36 - 40}{40}\right|} = 2.8$$

$$k_{\tau\Delta\text{дин.2}} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{0,525 - 0.45}{0.45}\right|}{\left|\frac{44 - 40}{40}\right|} = 1.67$$

4. Для часу регулювання за зміною К:

$$k_{k\Delta\text{час1}} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{241,2 - 369}{369}\right|}{\left|\frac{2.097 - 2.33}{2.33}\right|} = 3,46$$

$$k_{k\Delta\text{час2}} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{372 - 369}{369}\right|}{\left|\frac{2.563 - 2.33}{2.33}\right|} = 0,08$$

5. Для часу регулювання за зміною Т:

$$k_{T\Delta\text{час}1} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{369{,}6 - 369}{369}\right|}{\left|\frac{247{,}5 - 275}{275}\right|} = 0{,}02$$

$$k_{T\Delta\text{час}2} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{239{,}8 - 369}{369}\right|}{\left|\frac{302{,}5 - 275}{275}\right|} = 3{,}5$$

6. Для часу регулювання за зміною *τ:*

$$k_{\tau\Delta\text{час}1} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{242{,}6 - 369}{369}\right|}{\left|\frac{36 - 40}{40}\right|} = 3{,}43$$

$$k_{\tau\Delta\text{час}2} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{406 - 369}{369}\right|}{\left|\frac{44 - 40}{40}\right|} = 1$$

7. Для перерегулювання за зміною К:

$$k_{k\Delta\text{пере}.1} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{9{,}714 - 13{,}23}{13{,}23}\right|}{\left|\frac{2.097 - 2.33}{2.33}\right|} = 2{,}66$$

$$k_{k\Delta\text{пере}.2} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{17{,}742 - 13{,}23}{13{,}23}\right|}{\left|\frac{2.563 - 2.33}{2.33}\right|} = 3{,}41$$

8. Для перерегулювання за зміною Т:

$$k_{T\Delta\text{пере}1} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{18{,}447 - 13{,}23}{13{,}23}\right|}{\left|\frac{247{,}5 - 275}{275}\right|} = 3{,}94$$

$$k_{T\Delta\text{пере}2} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{9{,}471 - 13{,}23}{13{,}23}\right|}{\left|\frac{302{,}5 - 275}{275}\right|} = 2{,}84$$

9. Для перерегулювання за зміною τ:

$$k_{\tau\Delta\text{пере}1} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{12{,}497 - 13{,}23}{13{,}23}\right|}{\left|\frac{36 - 40}{40}\right|} = 0{,}55$$

$$k_{\tau\Delta\text{пере}1} = \frac{\left|\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}\right|}{\left|\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}\right|} = \frac{\left|\frac{16{,}61 - 13{,}23}{13{,}23}\right|}{\left|\frac{44 - 40}{40}\right|} = 2{,}55$$

Тож основуючись на розрахунках, можемо зробити висновок, що система не є грубо.

РОЗДІЛ 6

ПРОГРАМУВАННЯ ПЛК ТА СКАДИ СИСТЕМИ

6.1 Програмування SCADA-системи

SCADA-система – супервізорний засіб автоматизації верхнього рівня. Вона являє собою систему контролю на базі комп'ютерних технологій, й дозволяє проводити моніторинг й взаємодію з реальними об'єктами управління. В нашому випадку, SCADA-система має забезпечувати наступні функції:

- Візуалізацію протікання процесів
- Взаємозв'язок з нижнім рівнем автоматизації
- Відображення трендів
- Моніторинг алармів

Для даного проекту в якості SCADA-системи була обрана середа розробки AVEVA InTouch HMI. Даний інструмент розробки являється одним з найпопулярніших на ринку, через легкість й простоту реалізації SCADA-системи. Її функціональність покриває всі потреби до системи моніторингу, архівування, алармування й т.д.

Створимо необхідні теги, для взаємозв’язку з об’єктом управління:

Tagname	Tag Type
coolSection_currentTemperature	I/O Real
coolSection_inFanValue	I/O Real
coolSection_outFanValue	I/O Real
gas_consumption	I/O Real
gas_preassure	I/O Real
heatSection_fanValue	I/O Real
heatSection_peassure	I/O Real
section1_burnerValue	I/O Real
section1_currentTemperature	I/O Real
section1_setpointTemperature	I/O Real
section2_burnerValue	I/O Real
section2_currentTemperature	I/O Real
section2_setpointTemperature	I/O Real
section3_burnerValue	I/O Real
section3_currentTemperature	I/O Real
section3_setpointTemperature	I/O Real
section4_burnerValue	I/O Real
section4_currentTemperature	I/O Real
section4_setpointTemperature	I/O Real
section5_burnerValue	I/O Real
section5_currentTemperature	I/O Real
section5_setpointTemperature	I/O Real
section6_burnerValue	I/O Real
section6_currentTemperature	I/O Real
section6_setpointTemperature	I/O Real

Рисунок 6.1 - Перелічення тегів для роботи з об’єктом керування

Дані теги дозволять забезпечують весь необхідний взаємозв’язок з системою керування тунельної печі випалу цегли, тобто дозволяють проводити моніторинг технічних процесів в печі й задавати установки щодо підконтрольних величин. Також, однією з переваг AVEVA InTouch являється можливість конфігурування тегу й його моніторингу та армування, тобто налаштування специфіки тегу проводиться на місці, під час його створення, що дозволяє тримати логіку роботи з тегами в одному місці.

Наступним кроком буде розробка самого інтерфейсу системи. Інтерфейс має реалізовувати наступний функціонал, котрим можна розбити на окремі “вікна” взаємодії оператору:

- Захист від несанкціонованого втручання
- Візуалізацію протікання технічних процесів
- Відображення трендів
- Моніторинг алармів
- Задання установок для технічних параметрів

Реалізуємо головне меню, в кортом має бути можливість доступу до всього функціоналу. Також розробимо захист від несанкціонованого втручання зайвих осіб, тобто додаймо аунтифікацію:

Рисунок 6.2 - Меню SCADA-системи

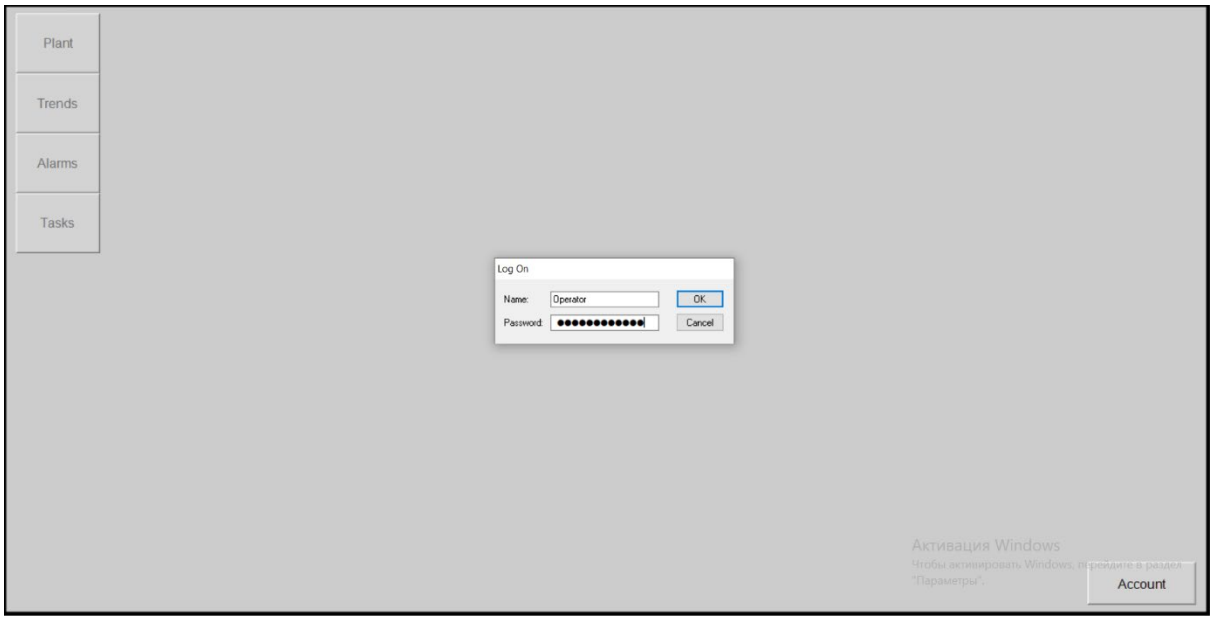

Рисунок 6.3 - Авторизація оператору в систему

Реалізація візуалізації тунельної печі й протікання в ній технологічних процесів виглядає наступним чином:

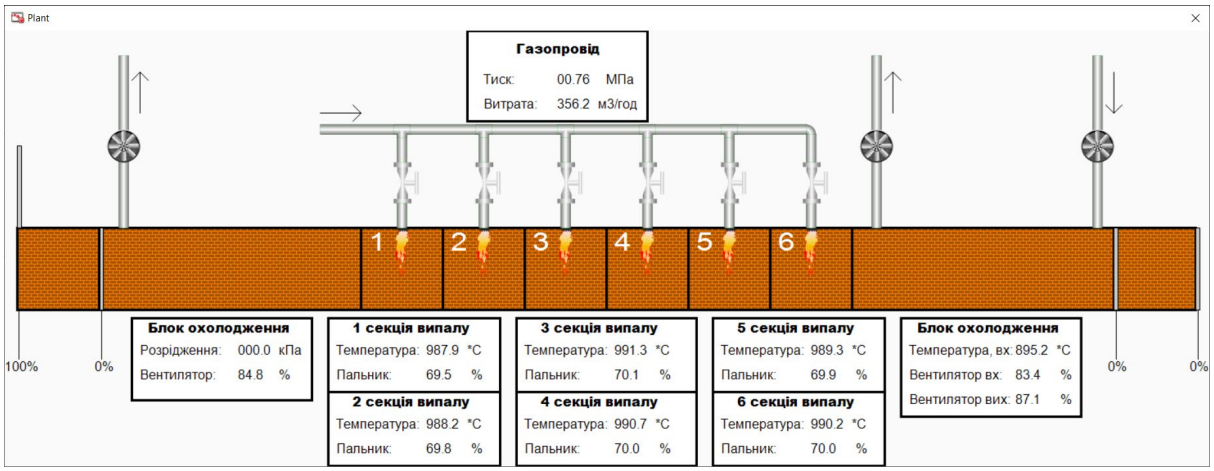

Рисунок 6.4 - Візуалізація об’єкту та його технічних параметрів

Також необхідно реалізувати реакцію на наявність алармованої ситуації, наприклад небезпечної температури. Реакцією на алармовану ситуацію буде зміна кольору відповідного параметру й блимання червоним кнопки вікна аламів, що має забезпечити своєчасне інформування оператору:

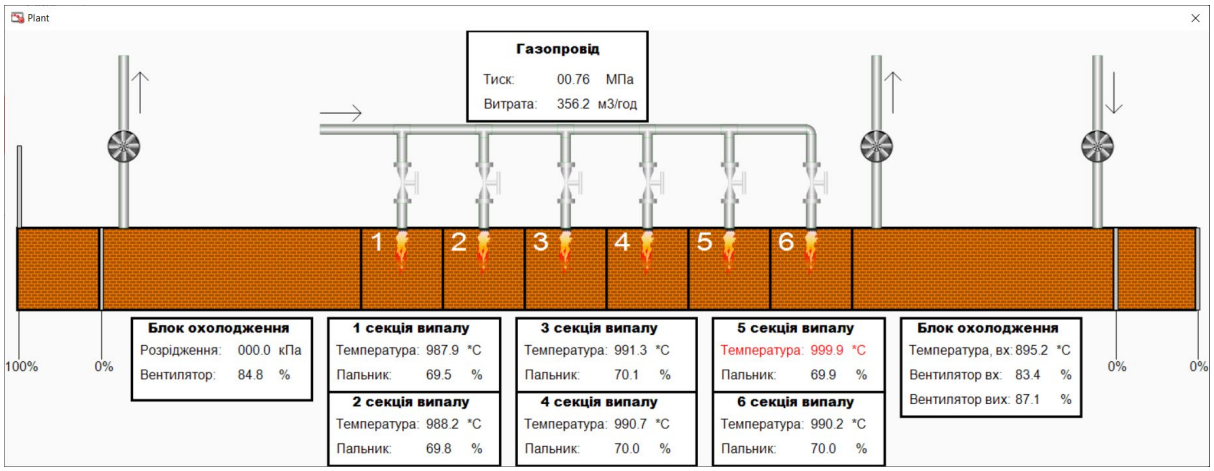

Рисунок 6.5 - Реакція системи на вікні візуалізації на аламовану ситуацію

Рисунок 6.6 - Реакція меню на алармовану ситуацію

Реалізація вікна алармування системи буде мати наступний вигляд:

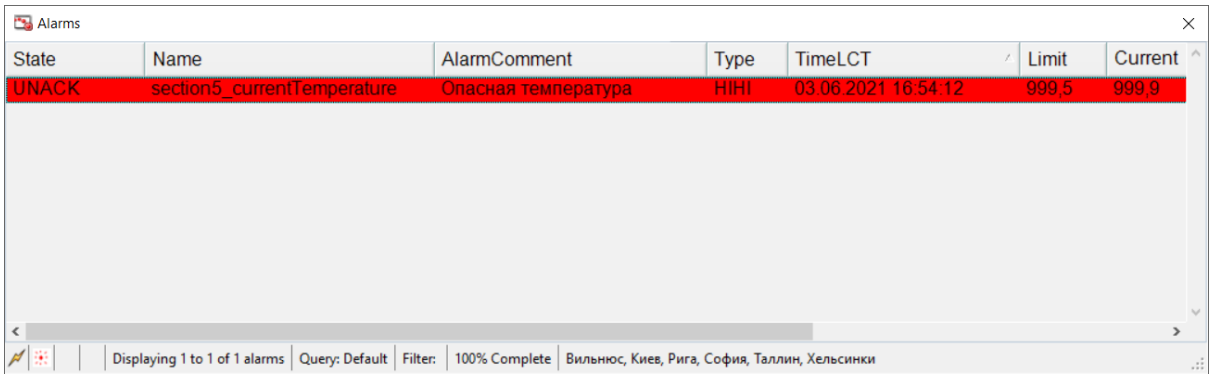

Рисунок 6.7 - Вікно алармування

Наступним кроком буде реалізація трендів температури та витрати. Для температури реалізуємо можливість вибору відоброжаємої температури:

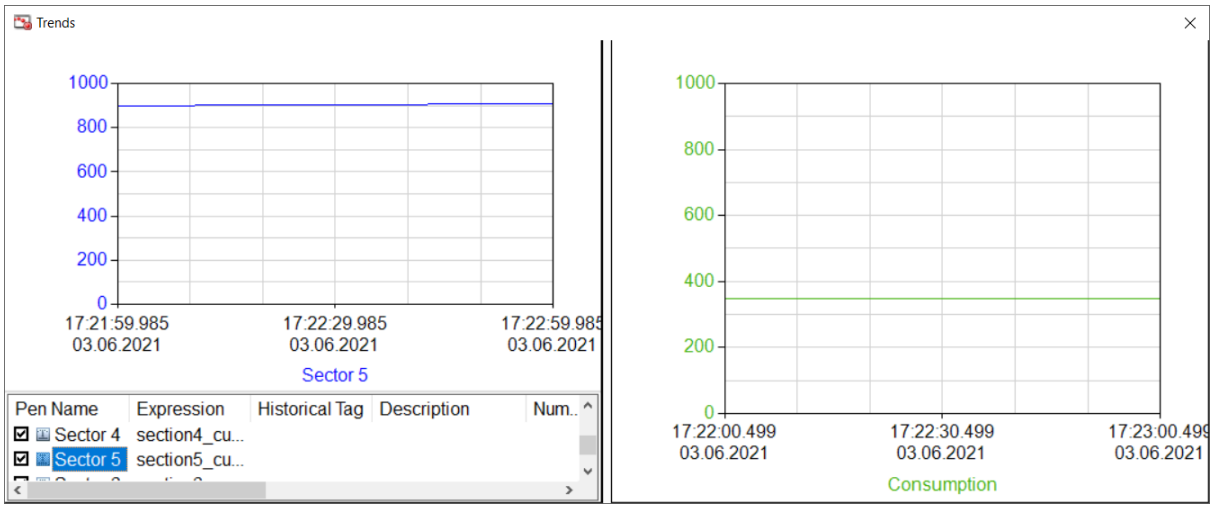

Рисунок 6.8 - Тренди системи

Реалізація вікна задавання установок має наступний вигляд:

Рисунок 6.9 - Вікно задавання установок

6.2 Програмування ПЛК

Виконавцем логіки контролю й регулювання є власне сам ПЛК. В нашому випадку в якості ПЛЗ було обрано AXC1050. Даний контролем може бути запрограмован на мовах, що відповідають стандарту МЕК-61131, на інженерному інструменті PC WORX. В рамках даної задача було використано мову FBD для реалізації логіки управління температурою на секції випалу.

Робота пальника має регулюватись ПІ-регулятором, який можна реалізувати використовуючи стандартний ПІД-регулятор PC WORX, але з нулем на вході до Td параметру. Також, оскілки у нас на об'єкті використовується технічна сигналізація, то необхідно реалізувати логіку визначення некоректного температурного режиму й у разі його виявлення генерувати відповідний сигнал:

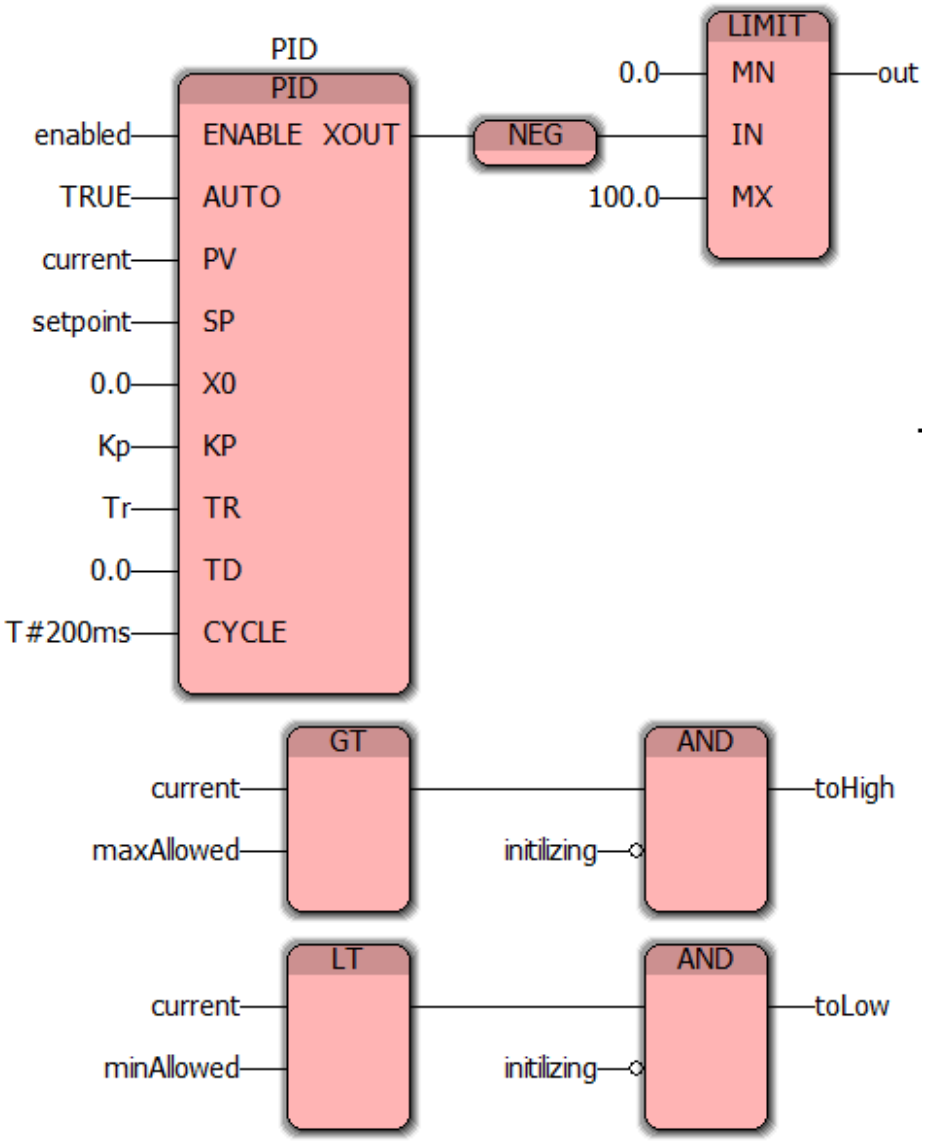

Рисунок 6.10 - Код реалізації регулювання роботи пальника

Для реалізації цього функціонального блоку було використано наступні змінні:

PID	PID	VAR	ПІ-регулятор
enabled	BOOL	VAR_INP...	Вкл./Викл.
current	REAL	VAR_INP...	Поточна температура
setpoint	REAL	VAR_INP...	Установка температури
Kp	REAL	VAR_INP...	Кр регулятору
Tr	REAL	VAR_INP...	Тг регулятору
out	REAL	VAR_OU...	Вихідна установка регулятору, %
maxAllowed	REAL	VAR_INP...	Максимальне допустиме значення
minAllowed	REAL	VAR_INP...	Мінімальне допустиме значення
toHigh	REAL	VAR_OU...	Сигнал сповіщення зависокої температури
toLow	REAL	VAR_OU...	Сигнал сповіщення занизької температури
initilizing	BOOL	VAR_INP...	Система ініціалізується

Рисунок 6.11 - Перелік змінних

Пояснення: даний блок має регулювати роботою пальника, шляхом ПІ-закону, порівнюючи поточне значення й установку температури. Також даний блок порівнює поточне значення температури та максимально й мінімально допустимі. У разі виходу за допустимі межі блок генерує сигнал про відповідне порушення теплового режиму. Однак при запуску систему, температура відповідно не буде входити до діапазону допустимих значень. Через те блок не буде сигналізувати про небезпечну температуру, доки система не буде проініціалізована.

РОЗДІЛ 7

ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

7.1 Кошторис створеної автоматичної системи керування

Таблиця 7.1 – Кошторис

№ п/п	Найменування	Од. вим.	К-сть	Вартість одиниці, грн			Загальна вартість, грн		
				Об-лад.	Монтаж робіт		Об-лад.	Монтаж робіт	
					Всього	З/П		Всього	З/П
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Контролер Phoenix Contact AXC 1050	шт.	1	16931,21	1693,12	50,79	16931,21	1693,12	1693,12
2	Модуль AXL P EX IS AI8 HART 1F	шт.	2	7640,63	764,06	22,92	15281,26	1528,13	1528,13
3	Модуль AXL F AO8 XC 1F	шт.	2	7933,30	793,33	23,80	15866,59	1586,66	1586,66
4	Модуль AXL SE DO16	шт.	1	8849,93	884,99	26,55	8849,93	884,99	884,99
5	Блок живлення БП60	шт.	1	1614,00	161,40	4,84	1614,00	161,40	161,40
6	Блок живлення БП15	шт.	1	1074,00	107,40	3,22	1074,00	107,40	107,40
7	Автоматичний вимикач ВА47-29 2Р С 25А ІЕК	шт.	1	1112,80	111,28	3,34	1112,80	111,28	111,28
8	Автоматичний вимикач ETIMAT 6 1P C 10A ETI	шт.	1	1191,00	119,10	3,57	1191,00	119,10	119,10
9	Автоматичний вимикач ETIMAT 6 3p B 20A	шт.	9	1485,00	148,50	4,46	13365,00	1336,50	1336,50
10	Кабель ВВГ 5х2.5	м.	70	47,02	4,70	0,14	3291,40	329,14	329,14
11	Кабель ВВГ 4х2.5	м.	60	37,00	3,70	0,11	2220,00	222,00	222,00
12	Кабель ВВГ 2х2.5	м.	30	18,50	1,85	0,06	555,00	55,50	55,50
13	Кабель КВВГ 4х0.75	м.	70	40,20	4,02	0,12	2814,00	281,40	281,40
14	Кабель КВВГ 2х0.75	м.	160	28,80	2,88	0,09	4608,00	460,80	460,80

Продовження таблиці 7.1

15	Шафа ЩМП-3-0 36 УХЛ3 650x500x220 IP31	шт.	1	1772,47	177,25	5,32	1772,47	177,25	177,25
16	Термопара ДТПN 125-0514.500.1	шт.	7	8271,32	827,13	24,81	57899,24	5789,92	5789,92
17	Датчик тиску PR 35 3 HTC	шт.	1	6721,64	672,16	20,16	6721,64	672,16	672,16
18	Ротометр МЕТА 215-200Х-Г-Фт-1.6-100-1.0-А	шт.	1	10624,81	1062,48	31,87	10624,81	1062,48	1062,48
19	Датчик тиску ПД100-ДИ0.1	шт.	1	5107,20	510,72	15,32	5107,20	510,72	510,72
20	Лампа світлодіодна PBO-LS22-24R	шт.	9	57,25	5,73	0,17	515,25	51,53	51,53
21	Частотний перетворювач VLT MicroDrive M1	шт.	3	7237,50	723,75	21,71	21712,50	2171,25	2171,25
22	Пальник газу P91A	шт.	6	25275,00	2527,50	75,83	151650,00	15165,00	15165,00
23	Електропривод GR24A-SR	шт.	4	14700,00	1470,00	44,10	58800,00	5880,00	5880,00
24	DIN-рейка TS-35-0,8	шт.	4	24,00	2,40	0,07	96,00	9,60	9,60
25	Клема слабкотокова MTU-6	шт.	81	46,80	4,68	0,14	3790,80	379,08	379,08
26	Клема силова КВС 35-150	шт.	40	133,47	13,35	0,40	5338,80	533,88	533,88
27	Вентилятор LEO 4.0	шт.	3	15862,1	1586,21	47,59	47586,30	4758,63	4758,63

Загальна вартість обладнання - 460389,21 грн

Комплектація обладнання - 4603,892 грн

Заготівельно-складські витрати - 5524,671 грн

Тара пакування - 9207,784 грн

Планові накопичення - 3683,114 грн

Непередбачені витрати - 46038,92 грн

Загальна вартість кошторису - 529447,59 грн

7.2 Розрахунок економічної ефективності АСР

Для розрахунку економічної ефективності розраховуються наступні показники:

Річний економічний ефект:

$$Е_ф = ΔU - Е_н \cdot ΔК_{авт}, \text{ грн/рік}$$

Де $Е_н = 0.15$ – коефіцієнт ефективності, що є нормативною величиною;

$ΔU$ – економія експлуатаційних витрат по управлінню об'єктом при наявності САР, грн/рік;

$ΔК_{вт}$ - одноразові капіталовкладення на створення АСР, грн.

Термін окупності:

$$Т_{ок} = \frac{ΔК_{авт}}{ΔU}, \text{ рік}$$

Для створення АСР потрібно зробити одноразові витрати у розмірі 529447,59 грн.

$$ΔК_{авт} = 529447.59 \text{ грн}$$

АСР буде вважатись економічно ефективною за умови $Т_{ок} < Т_{ок*}$

Задаємо:

$$Ток* = 4 \text{ роки}$$

Економія витрат $ΔU$ розраховується за формулою:

$$ΔU = Е_к - ΔВ_{авт}$$

Де $ΔВ_{авт}$ - додаткові витрати на обслуговування системи;

$Е_к$ - економія від введення автоматизації.

$Е_к$ досягається за рахунок точнішого регулювання, зниження ймовірності аварії. Використання АСР зменшує витрату газу на 1 %.

$$Е_к = 8\ 680\ 000 \text{ грн/рік.}$$

Величину $\Delta В_{авт}$ можна розрахувати за формулою:

$$\Delta В_{авт} = В_е + В_а + В_р + В_з$$

Де $В_е$ - додаткові витрати на електроенергію, грн/рік;

$В_а$ - амортизаційні відчислення, грн/рік;

$В_р$ - витрати на ремонт та обслуговування системи, грн/рік;

$В_з$ - витрати на заробітну платню, грн/рік.

$$В_а = 0.12\Delta Кавт$$

$$В_р = 0.15\Delta Кавт$$

$$В_з = n*Т*ЗП$$

де n – кількість робітників (n = 1 чол.);

Т - час роботи в місяцях (Т = 1 місяців);

ЗП – заробітна плата робітника (ЗП = 8300 грн/міс.).

$$В_е = С_е*N*Т$$

де Се – тариф на електроенергію (Се = 0,99 грн/кВт*год);

N – сумарна потужність приладів (N = 50,5 кВт*год);

Т – час роботи системи за рік (Т = 7500 год/рік).

Таким чином:

$$В_а = 64533.71 \text{ грн/рік}$$

$$В_р = 79417,19 \text{ грн/рік}$$

$$В_е = 374962.50 \text{ грн/рік}$$

$$В_з = 8300 \text{ грн/рік}$$

$$\Delta В_{авт} = 374962.50 \text{ грн/рік}$$

$$\Delta U = 5\ 152\ 786.60 \text{ грн/рік}$$

$$Е_ф = 5073368.86 \text{ грн/рік}$$

$$Т_{ок} = 1.03 \text{ року} = 13.65 \text{ місяців}$$

Тобто $Т_{ок} < Т_{ок*}$ (1.03 < 4.0). З чого можна зробити висновок, що введення АСР тунельної печі випалу цегли є економічно вигідним.

РОЗДІЛ 8

ОХОРОНА ПРАЦІ

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

Питання охорони праці враховуються при організації усіх виробничих процесів. Правова основа охорони праці базується на Конституції України, Законі України “Про охорону праці”. Закон України “Про охорону праці” визначає основні положення по реалізації конституційного права громадян на охорону їхньої трудової діяльності; регулює, при долі відповідних державних органів, відносини між власником підприємства, установи і організації, уповноваженим їм органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці і виробничого середовища; встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Обов’язок по виконанню усіх правил та заходів щодо охорони праці на підприємствах, в установах і організаціях покладено на адміністрацію. За станом охорони праці, виконанням законів про працю та правил по охороні праці встановлений державний нагляд на суспільний контроль. Тема дипломного проекту - “АСР тунельної печі випалу цегли”. Ця система призначена для випалу цегли.

Номінальні параметри температур:

1. Температура в нагрівальній зоні (150…650) °С.
2. Температура в зоні випалу (970…990) °С.
3. Температура в зоні охолодження (890…120) °С.

АСР тунельної печі випалу цегли виконана на базі контролера АХС 1050 фірми Phoenix Contact. Вона містить в собі наступні елементи: термопари ДТПN-125, перетворювач тиску PR 35 3 HTC, ротометр МЕТА 215, датчик тиску ПД100. Виконавча частина складається з частотних перетворювачів

VLT MicroDrive M1, пальників газу P91A, вентиляторів гарячого дуття LEO 4.0 та електроприводів GR24A-SR.

Технічні засоби системи автоматизації розміщуються:

1. На технологічному обладнанні та біля нього – засоби відбору та отримання технологічної інформації, нормуючі перетворювачі (давачі, первинні перетворювачі), виконавчі механізми, місцеві органи керування;
2. В приміщенні операторського пункту комплексу – засоби відображення інформації та оперативного керування, засоби мікропроцесорної та обчислювальної техніки.

Приймаючи до уваги тему дипломного проекту, у дипломі запропоновані технічні рішення та заходи з безпечної експлуатації засобів автоматизації тунельної печі випалу цегли, а також визначені основні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії і пожежної безпеки.

8.1. Технічні рішення та заходи з безпечної експлуатації обладнання

8.1.1. Загальні вимоги безпеки до технологічного обладнання

Робоче місце оператора пульта керування знаходиться у відгородженому від об’єкта приміщенні загальною площею 30 м^2. У ньому знаходяться щити та пульти для контролю і спостереження за технологічним процесом. Для передачі сигналів від давачів використовується електрична система, що вимагає суворого дотримання правил експлуатації і повинна бути завжди в справному стані. У приміщенні також розташовані пристрої сигналізації і зв'язку (світлове табло, індикатори, телефон). Зручне раціональне розташування щитів і пультів дозволяє оператору виключити зайві рухи. Планування робочого місця звільняє працюючу людину від стомлюючих трудових рухів і забезпечує зручну робочу позу. Розміри робочої поверхні столу складають 1000х700 мм. Робоче місце виконане з урахуванням

вимог технічної естетики, ергономіки, антропометричних даних тіла людини (зріст, розміри, форма тіла, сила і напруга руху рук і ніг, зору, слуху).

При роботі стоячи, оптимальна робоча зона 700х1100 мм. Так як характер праці оператора монотонний, стомлюючий, він керує величезними потоками електричної енергії, то найменші помилки в його діях можуть призвести до важких аварій, пожеж, нещасних випадків. Тому передбачене чергування періодів роботи з періодами відпочинку, при якому досягається найбільша ефективність діяльності людини і гарний стан її здоров'я. Робота проводиться за графіком. Тривалість однієї зміни 8 годин. Тривалість робочого часу в нічний час скорочена на 1 годину. Оптимальний режим праці і відпочинку досягається паузами в роботі і перервами (для прийому їжі, усунення монотонності і малорухомості, зняття нервово-психічних перевантажень). Для цього передбачена спеціальна кімната відпочинку.

Особлива увага звернена на розташування кнопок, органів керування, перемикачів. Вони розташовані на визначеній висоті від підлоги так, щоб оператор знаходився в момент виконання операції переключення в зручній для роботи позі. Зусилля, необхідні для включення або відключення вручну, незначні.

Стіни приміщення пофарбовані в неяскравий, малоконтрасний ясно-сірий колір, що не розсіює уваги оператора. Підлога в приміщенні рівна, неслизька. Висота приміщення - 4 м.

Сходи та майданчики обслуговування обгороджені перилами висотою не менше 1 м з бортовим елементом по низу перил не менше 0,15 м. Відстань від рівня майданчика до верхнього перекриття – не менше 2 м. Сходи виконані з листової просіченої сталі товщиною 5 мм. Елементи обладнання, арматура і прилади, розміщені в місцях, зручних для обслуговування.

Висновок: вимоги безпеки до технологічного обладнання відповідають поставленим нормам.

8.1.2. Засоби автоматизації, що дозволяють контролювати параметри устаткування і запобігати можливості аварійної ситуації

Для контролю за параметрами встановлено термопари, що монтуються в трубопроводи, датчик тиску, монтується біля трубопроводу і вимірює тиск трубопроводу, витратомір, що монтуються в трубопроводи. Засувки і вентилі, для відкривання яких потрібно велике зусилля, забезпечені обвідними лініями і механічними чи електричними приводами. Частини виробничого устаткування, що рухаються, до яких можливий доступ персоналу, мають механічні огородження – захисні сітки. Усі гарячі частини устаткування, трубопроводи, дотик до яких може викликати опік, мають теплову ізоляцію. Матеріал ізоляції підібраний так, щоб температура її поверхні не перевищувала 45 °С при температурі навколишнього повітря 25 °С.

Для забезпечення безпечної і зручної експлуатації засобів автоматизації передбачаються наступні рішення:

1. Передбачені безпечні, зручні по конструкції і розмірам проходи й обладнання для ведення робіт -робочі площадки (ширина вільного проходу площадок, рахуючи від виступаючих частин, що використовуються для обслуговування апаратури, контрольно-вимірювальних приладів, - 1 м);
2. Виконавчі механізми розміщені на газо- і повітропроводах, де виключений випадковий доступ людини і захищені захисною сіткою, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання;
3. Аварійні органи керування (кнопки і вимикачі) – червоного кольору, відрізняються від інших формою, мимовільне відключення їх неможливе.

При монтажі щита передбачається спеціальний прохід між стіною і відкритими дверми відстанню не менш 1 м, щоб дати можливість його експлуатації.

8.1.3. Електробезпека

Проектування електроустановок здійснюється відповідно до будівництва і монтажу з дотриманням вимог.

У проекті застосовується 4-ьох провідна 3-х фазна електромережа з глухозаземленою нейтраллю з робочою напругою 380 В та 2-ох провідна 1-но фазна електромережа з глухозаземленою нейтраллю з робочою напругою 220 В.

Фактори підвищенної електронебезпеки в робочих приміщеннях це підвищена температура повітря – більша за 35 °С, вологість більше 75%, струмопровідна підлога, струмопровідний пил, а також можливість одночасного контакту персоналу з корпусами споживачів та металоконструкціями будівель, що мають контакт із землею. Таким чином це приміщення відноситься до категорії приміщень з підвищеною небезпекою електротравматизму.

Для захисту від статичної електрики всі металеві підземні конструкції на уведеннях у будинки переварюються між собою і приєднуються до контуру заземлення. Естакади трубопроводів заземлюються через кожні 250 м і на кінцях.

Прийняте в проекті електротехнічне устаткування: апаратура, кабелі і проводи, розподільні пристрої усіх видів і напруги по своїх номінальних параметрах задовольняє умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перевантаженнях.

8.1.3.1. Технічні рішення із запобігання електротравм при нормальних режимах роботи електроустановок

1. Забезпечено недоступність струмоведучих частин (застосована схована проводка, кабель прокладений у спеціальних жолобах);

2. Розподільні шафи, пускові пристрої і клемні коробки закритого типу (розміщаються в спеціальних кожухах) – для забезпечення неприступності неізольованих струмоведучих частин;
3. Пускова апаратура електродвигунів, витяжних вентиляторів установлена поза приміщенням об’єкту;
4. Напруга освітлювальної мережі в відділенні приймається 220 В із заземленою нейтраллю;
5. У приміщеннях, у які можливе проникнення горючого газу та парів вибухонебезпечних речовин, застосовується освітлювальна арматура у вибухозахищеному виконанні;
6. Забезпечено ізолювання струмоведучих частин з використанням поліхлорвінілової й іншої ізоляції, опір якої не нижче 1 кОм/В, передбачені постійний контроль і профілактика ізоляції;
7. В електроустановках забезпечена орієнтація за рахунок застосування знаків і міток. Усі струмоведучі частини обгороджені і вивішені плакати (“Стій! Напруга!”, “Не влізай, вб’є!”, “Не вмикати – працюють люди!”). Установлено блокування, що знімають напругу при знятті огороджень.

8.1.3.2. Технічні рішення із запобігання електротравм при переході напруги на нормально неструмоведучі частини устаткування

В процесі експлуатації людина може доторкнутися до металевих частин щитів приладів, контролерів, пульта керування, що опинився при пробої ізоляції під напругою. Тому для запобігання электротравм при переході напруги на нормально неструмоведучі частини обладнання застосовується занулення. Занулення застосоване згідно – чотирьохпровідна трифазна мережа з глухо заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ. У якості занулюючих провідників використовують нульові захисні провідники, металеві труби електропроводки, металеві конструкції для прокладки кабелю, щитів з надійним з'єднанням на всіх елементах захисних нульових провідників. Контроль занулення здійснюється 1 раз у 5 років.

Обслуговуючий персонал забезпечується ізолюючими захисними засобами: гумові рукавички, килимами, інструмент з ізольованими ручками, покажчиками напруги, переносними заземленнями.

Висновок: вимоги щодо електробезпеки дотримуються та відповідають поставленим нормам.

8.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Робоче відділення, щит управління спроектовані з урахуванням санітарних норм: розміри приміщень, що проектуються визначені виходячи з розміщуваного в них устаткування, а також з урахуванням нормативних показників площі на одного працюючого, санітарно-гігієнічних умов та техніки безпеки.

8.2.1. Мікроклімат робочої зони

Параметри мікроклімату, що нормуються:

1. Температура повітря (t, °C);
2. Потужність теплових випромінювань (Вт/м2);
3. Відносна вологість повітря (W, %);
4. Швидкість переміщення повітря (м/с).

Оптимальні (допустимі) параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) наведені в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Оптимальні			Допустимі		
		t, °C	W, %	V m/c	t, °C	W, %	V m/c
Холодний	I-б	21-23	40-60	< 0.1	20-24	75	< 0.2
	II-а	18-20	40-60	< 0.2	17-23	75	< 0.3
Теплий	I-б	22-24	40-60	< 0.2	20-24	60	0.1-0.3
	II-а	21-23	40-60	< 0.3	18-27	65	0.2-0.4

Для захисту робітників від впливу шкідливих речовин і для забезпечення чистоти повітря робочої зони застосовують такі заходи, як:

1. Застосування засобів індивідуального захисту;
2. Застосування пиловловлювачів;
3. Герметизація обладнання.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. У робочому цеху:
    - система відводу конвертерних газів;
- встановлення вентиляції.
2. У приміщенні щитової:
    - природна вентиляція (витяжні зонти, шафи);
    - встановлення кондиціонерів.

8.2.2. Виробничий шум та вібрація

Шум нормується за граничними спектрами, тобто встановлюється допустимий рівень звуку (в дБА). Допустимий на робочому місці шум - 60 дБА. Нормування за допустимим рівнем звуку здійснюється в залежності від характеру роду робіт (таблиця 8.2).

Таблиця 8.2 – Нормування за допустимим рівнем звуку

Характер виконання робіт	Норма, дБА	Факт, дБА
Обслуговування трубопроводів	80	87-98
Обслуговування вентиляторів	85	86-91
Обслуговування теплообмінника	80	До 85

Рівень шуму теплоенергетичного обладнання перевищує допустимі норми. Для зниження шкідливого впливу шуму передбачаються наступні заходи: автоматизація, організація щитових приміщень, застосування шумопоглинаючої ізоляції обладнання, особливе розташування обладнання.

Вентилятори розташовані ззовні головного корпусу.

В газових та повітряних коробах з підвищеною швидкістю середовища встановлені фіксуючі направляючі пристрої. В коробах головних запобіжних клапанів встановлені шумопоглиначі.

Усі електроприводи встановлені на спеціальних фундаментах з вібропоглинаючих матеріалів.

Рівень вібрації устаткування на робочих місцях також не повинен перевищувати допустимі значення, що наведені у таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 - Санітарних норм спектральних показників вібраційного навантаження на оператора

Середньогеометричні частоти октавних полос, Гц	Нормативні значення у напрямках			
	Віброприскорення		Віброшвидкості	
	м/с^2	дБА	10^{-2}	дБА
8	1.4	123	2.8	115
16	1.4	123	1.4	109
31.5	2.7	129	1.4	109
63	5.4	135	1.4	109
125	10.7	141	1.4	109
250	21.3	147	1.4	109
500	42.5	153	1.4	109
1000	85.0	159	1.4	109

Вібрація нормується за середньоквадратичними значеннями віброшвидкості в м/с, її логарифмічним рівнем в дБА в октавних смугах частот в залежності від виду вібрації, частоти, напрямку дії та часу впливу.

З метою зниження вібрації здійснені наступні заходи:

1. Все обладнання встановлено на фундаменти з вібропоглинаючих матеріалів;
2. У фундаменті встановлені деформаціонні шви для зниження загальної вібрації;
3. Між вентиляторами та повітроводами встановлено еластичні вставки для запобігання передачі вібрації від агрегату на повітровід;
4. В трубопроводах застосовано компенсатори;
5. Застосовано віброізолюючі прокладки під електроприводи, вентилятори для зниження вібрації на шляху поширення.

Це забезпечується конструкцією устаткування, до якої пред’являються відповідні вимоги, а також застосуванням спеціальних пристроїв для зниження шуму (шумоглушники та звукоізоляція джерел шуму). Приміщення

постійного перебування експлуатаційного персоналу, наприклад, блочного щита керування, лабораторій, адміністративні, мають звукоізоляційні обгороджуючі конструкції, які поглинають вплив шуму. У приміщеннях, де обслуговуючий персонал перебуває періодично (обхідники, ремонтники), передбачаються спеціальні шумозахисні кабіни або індивідуальні засоби захисту.

8.2.3. Виробниче освітлення

Одним з найважливіших параметрів виробничої обстановки є освітлення. Раціональне освітлення забезпечує достатні умови для здійснення працюючими своїх функціональних обов'язків. Висока якість освітлення досягається постійністю освітленості в часі, раціональністю напрямку світлового потоку без наявності різких тіней.

Виконаємо розрахунок загального рівномірного освітлення робочої зони оператора, яка розташована в окремому приміщенні будівлі.

У зв'язку з тим, що стіни і стеля приміщення лабораторії мають великий коефіцієнт віддзеркалення, приймаємо метод розрахунку за коефіцієнтом використання світлового потоку.

Для освітлення приймаємо люмінесцентні лампи ЛД. Вибираємо систему загального рівномірного освітлення. Застосовуємо люмінесцентні лампи ЛД-80. У зв'язку з тим, що стіни і стеля світлі, розрахунок освітлення проводимо за коефіцієнтом використання світлового потоку.

Визначити загальне число світильників:

$$N = \frac{E_H \cdot S \cdot K \cdot Z}{n \cdot \eta_л \cdot F_л}$$

$E_н$ = 300 лк – нормована освітленість;

$S = a \cdot b = 10 * 3 = 30$ м□– площа підлоги освітлюваного приміщення;

K = 1.15 – коефіцієнт запасу;

n = 6 – число ламп в світильнику;

$F_Л$ = 4 лм – світловий потік однієї лампи;

Z = 1.1 – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

$\eta_л$ – коефіцієнт використання світлового потоку.

Розраховуємо індекс приміщення:

$$h_с = h - h_р = 4 - 0.7 = 3.3$$

$$i = \frac{S}{h_c(a+b)} = \frac{30}{3.3(10+3)} = 0.7$$

h_c – висота підвісу світильника над робочою поверхнею

Коефіцієнти відбиття:

$p_{сл}$ = 70 – коефіцієнт відбиття стелі

$p_{сн}$ = 50 – коефіцієнт відбиття стіни

$p_п$ = 10 – коефіцієнт відбиття підлоги

За індексом приміщення і коефіцієнтами відбиття визначається $\eta_л$ = 27 %.

$$N = \frac{300 \cdot 30 \cdot 1.15 \cdot 1.1}{6 \cdot 27 \cdot 4} = 18$$

Число світильників в ряду N = 18 / 2= 9.

8.3. Пожежна безпека та профілактика

Небезпека виникнення пожежі в відділенні пов’язана з наявністю великої кількості горючих речовин (пальне, масло, системне змащування), розгалуженого кабельного господарства з великими струменевими навантаженнями, високих температур теплоносіїв та вихідних газів, поверхні тепломеханічного устаткування і т. ін.

На об’єкті передбачається комплекс заходів, що передбачають як профілактику, так і спеціальні системи для знаходження і гасіння пожежі. Протипожежна профілактика забезпечується дотриманням норм і правил пожежної безпеки.

Виходячи з пожежонебезпечних властивостей речовин, застосовуваних у приміщенні, визначається категорія виробництва по пожежній безпеці і клас приміщень по ПУЕ. Згідно з приведеними даними приміщення промислового об'єкта відносяться до відповідних категорій.

Таблиця 8.4 - Категорії приміщень і клас приміщень по ПУЕ

Приміщення	Категорія приміщень	Тип ступінь вогнетривкості	Клас зон по ПУЕ-86
ГРП	А	11	В-1
Приймально-зливний пристрій	В	11	П-IIа
ЗРУ	В	11	П-IIа

Джерелами загоряння в приміщенні можуть бути: коротке замикання, перевантаження електромереж, захламленість приміщення, несправність освітлювальних приладів, діяльність оператора.

Тому для запобігання пожежі прийняті міри:

1. Застосовуються плавкі запобіжники, електромагнітні розщіплювачі для захисту від короткого замикання і струмів тривалих перевантажень; мережа з напругою 220 В виконана проводами у вініпластових трубах, прокладена в підлозі і стінах;
2. Освітлювальні установки піддаються постійному нагляду: регулярному очищенню освітлювальних приладів, своєчасній заміні перегорілих ламп, поточному і профілактичному ремонту;
3. Проводиться контроль за справністю електропроводки;
4. Виконавчі пристрої виконані у вибухозахищеному виконанні.

Пожежний інвентар і інструменти, а також вогнегасники розміщуються на спеціальних пожежних щитах. Щити встановлюють на території об'єкта. В приміщенні АСУТП передбачена наявність наступних первинних засобів пожежогасіння:

1. Вуглекислотний вогнегасник типу ОУ-3 – 3 шт.;
2. Вуглекислотний вогнегасник ОУ-5 – 3 шт.;
3. Ящик з піском місткістю 0,5 м3 – 1шт.

Електрична пожежна сигналізація складається зі сповіщувачів, встановлених у приміщенні і підключених до прийомної станції з живленням

від мережі змінного струму 220 В. У випадку виникнення пожежі за допомогою світлових і звукових сигналів ведеться повідомлення обслуговуючого персоналу і пожежної команди. Сповіщувачі є автоматичними комбінованими (димові і теплові).

СПИСОК ВИКОРОСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Голінко І. М. Процес випалювання кераміки як об’єкт автоматизації//-К. АТЕП, 2008.
2. Грувич Р.М., Наумов М.М. Механізація виробництва цегли. –М.: Стройздат, 1970. -223с.
3. Мороз І.І. Автоматизація виробництва будівельної кераміки. –К.: Горстройзад, 1961. -98с.
4. Семенюк І.М. Тунельні печі для випалу будівельної кераміки. –К.: Вид. Акад. архітектури, 1952. -55с.