

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Теплоенергетичний факультет
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

«На правах рукопису»
УДК 681.5.015.8

«До захисту допущено»
в.о. Завідувача кафедри
_____ / В.А.Волощук/
“ _____ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності
(спеціалізації)

***151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”
 (“Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва”)***

на тему: Автоматизація контактного водонагрівача КВН-2.9

Виконав: студент _____ П _____ курсу, групи зТА-81мп

Чумак Владислав Станіславович

(прізвище ім’я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. Бунке Олександр Сергійович

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент доцент, к.т.н. Бунке Олександр Сергійович

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”

Факультет

Теплоенергетичний

Кафедра

Автоматизації теплоенергетичних процесів

Рівень вищої освіти – другий(магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність
(спеціалізація)

151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”
 (“Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси та
виробництва”)

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. Завідувача кафедри

_____ /В.А.Волощук/
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ “ _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Чумак Владислав Станіславович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Автоматизація контактного водонагрівача КВН-2.9

1. Тема дисертації

науковий керівник дисертації _____ доцент, к.т.н. Бунке Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 4 » листопада 2019 року № 3812-с
«10» грудня 2019 р.

2. Термін подання студентом дисертації _____

Контактний водонагрівач КВН-2.9

3. Об’єкт дослідження _____

4. Предмет дослідження _____

Методи оптимізації та надійності контактного водонагрівача КВН-2.9

5. Перелік завдань, які потрібно розробити _____

Дослідження методів поточної ідентифікації статичних моделей об'єкту;
програмно-технічні рішення з реалізацією алгоритмів поточної ідентифікації та оцінки стану обладнання;
розробка програмного забезпечення локально рівня системи автоматизації;
розробка програмного забезпечення супервізорного рівня.

6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
Схема автоматизації функціональна; комп'ютерна презентація

7. Дата видачі завдання " 04 " вересня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<i>Вивчення та аналіз об'єкту автоматизації</i>	28.10.2019	
2	<i>Аналітичний огляд проблематики роботи</i>	02.11.2019	
3	<i>Опис технологічного об'єкту, його технічних характеристик та системи управління</i>	04.11.2019	
4	<i>Розробка функціональної схеми автоматизації та замовної специфікації до неї</i>	08.11.2019	
5	<i>Розробка програмного забезпечення локального рівня</i>	12.11.2019	
6	<i>Розробка програмного забезпечення супервізорного рівня</i>	18.11.2019	
7	<i>Дослідження методів поточної ідентифікації статичних моделей об'єкту</i>	20.11.2019	
8	<i>Розробка веб-додатку для моніторингу стану пароводяного тракту котла</i>	22.11.2019	
9	<i>Розробка стартап-проекту</i>	02.12.2019	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	06.12.2019	
11	<i>Попередній захист магістерської дисертації</i>	10.12.2019	
12	<i>Захист</i>	19.12.2019	

Студент

Чумак В.С.

(підпис)

Науковий керівник дисертації

Бунке О.С.

(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТОУ	7
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління	7
1.2 ТОУ як об'єкт автоматизації.....	10
1.3 Огляд і аналіз сучасних АСУ ТОУ.....	13
1.4 Опис функціональної структури ТОУ	19
1.5 Опис вимог до реалізації функцій АСУ ТОУ	21
1.6 Вибір програмної і апаратної платформи АСУ ТОУ	22
2 ПРОЕКТУВАННЯ АСУ ТОУ	24
2.1 Структура ПТК ЗА.....	24
2.2 Виконавча апаратура	26
2.3 Технологічний контроль	26
2.4 Технологічна сигналізація.....	28
2.5 Технологічний захист та блокування.....	29
2.6 Рішення з контролерної автоматизації	30
2.7 Рішення із супервізорної автоматизації.....	31
3 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ АТК	32
3.1 Розрахунок вимірювальних каналів АТК.....	32
3.2 Розрахунок надійності функціонування АСУ.....	34
3.3. Розрахунок надійності інформаційної та керуючої функцій для контуру регулювання температури прямої води.....	36
3.4. Розрахунок надійності інформаційної та керуючої функцій для контуру регулювання витрати повітря	37
3.5. Розрахунок надійності інформаційної та керуючої функції для контуру регулювання розрідження.....	38
3.6. Розрахунок надійності сигналізації.....	39
3.7 Ідентифікація ТОУ та моделювання САР	41
3.8 Аналіз чутливості АСР.....	58

3.9 ОПИС ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЛОКАЛЬНОГО РІВНЯ ПТКЗА	64
3.10 ОПИС ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ СУПЕРВІЗОРНОГО РІВНЯ ПТКЗА	67
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	71
5 СТАРТАП ПРОЕКТ	83
ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	93

ВСТУП

Технологічний процес в промисловості нерозривно зв'язаний з її автоматизацією технологічних процесів. Автоматизація ефективно застосовується на сучасному етапі розвитку людства з метою досягнення зростання показників ресурсозбереження, поліпшення екології навколишнього середовища якості та надійності продукції.

Управління технологічними процесами відіграє фундаментальну роль:

- підвищує ефективність виробництва (зменшення витрат енергії, зменшення забруднень сировини, підвищується якість продукції);
- підвищує безпеку виробництва;
- підвищує надійність;
- звільняє персонал від одноманітної праці.

В роботі розглядається автоматизація контактного водонагрівача КВН-2,9, проведено ідентифікацію об'єкту і промодельовано розроблену систему автоматичного регулювання. Також представляється структурна схема програмно-технічного комплексу засобів автоматизації, функціональна схема, стартап проект. Прийнято рішення контролерної та супервізорної автоматизації. Проведено розрахунок вимірювальних каналів, виконавчих каналів і надійності функціонування АСУ. Отриманий об'єкт змодельовано і проаналізовано його функціональність за допомогою певного набору пакетів програм.

Для забезпечення всього вищезазначеного система автоматичного регулювання контактного водонагрівача КВН-2,9 базується на використанні програмованих логічних контролерів (ПЛК), що дають можливість програмно реалізувати необхідні закони регулювання та слугують підвищенню якості регулювання та надійності системи. У відповідності до технічного завдання в якості основного регулюючого пристрою був обраний контролер Siemens S7-1500, бо його функціональні можливості повністю задовольняють вимогам до системи керування. Також цей контролер зручний у використанні та обслуговуванні.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТОУ

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Контактні водонагрівачі (КВН) є апаратами контактного типу, де продукти згорання контактують безпосередньо з водою, що нагрівається. Основне застосування КВН – використання їх у якості генераторів тепла для автономних мереж опалювання і гарячого водопостачання. У цій якості КВН є хорошою альтернативою традиційним водогрійним котлам.

В порівнянні з котлами, КВН мають ряд незаперечних переваг. Це перш за все – економічність, компактність і надійність. При контактному способі нагрівання води не використовується система нагрівальних труб, що значно скорочує габарити і металоємність установки. З іншого боку, контактний спосіб дозволяє без ускладнення конструкції досягти глибокого охолодження димових газів і навіть нижчої температури, ніж точка роси вологи, що входить до їх складу. Останнє важливо, оскільки різко підвищує ККД установки. Пояснюється це тим, що при горінні, водень палива взаємодіючи з киснем утворює водяну пару. Прихована теплота паротворення цієї кількості пари складає приблизно 12% від $Q_{рн}$ – нижчої теплотворної спроможності палива. Звичайні опалювальні котли повністю втрачають це тепло, а також тепло паротворення тієї вологи, що поступає в котел з повітрям.

Сумарний приріст ККД контактних водонагрівачів у порівнянні із звичайними водогрійними котлами складається з наступних складових:

- зниження тепловтрат у навколишнє середовище (за рахунок конструкції і зменшення габаритів установки) – 0,5%;
- зменшення втрат тепла, що визначаються зниженням температури димових газів і зменшенням їх кількості – 3,5%;
- зменшення втрат тепла, що визначаються частковою конденсацією вологи димових газів – 4%.

Надійність КВН пояснюється як простотою його конструкції, так і тією обставиною, що вода в апараті нагрівається при атмосферному тиску.

Є і ряд інших переваг:

- природна деаерація в КВН води, що нагрівається;
- в контактних водонагрівачах відсутні теплообмінні поверхні, на яких можливе утворення накипу, що дозволяє експлуатувати такі апарати без попередньої хімічної обробки живильної води;
- можливість самоочищення робочих поверхонь від відкладення накипу;
- стабільно високий ККД у всьому діапазоні робочих навантажень;
- поповнення неминучих втрат води в системі установки за рахунок зконденсованої вологи;
- низька інертність (як наслідок низької металоємності), що дозволяє в лічені хвилини вивести КВН з холодного стану на номінальну теплопродуктивність, а також більш оперативно реагувати на коливання навантаження в тепломережі.

Перелічені переваги дозволяють знизити загальну вартість котельні виконаної на базі КВН (у порівнянні з котлами), істотно збільшивши при цьому надійність, безпечність і економічність її експлуатації.

Паливо для контактного водонагрівача КВН-2.9 це природний газ. По трубопроводам в топку подається газ і повітря (за допомогою вентилятора). Газ згоряє в топочній камері та надходить в контактну камеру, де віддавши свою теплоту, через димосос викидається в атмосферу з температурою не більше 60°C. Тим часом холодна вода (50 °C) розбивається на струї і подається назустріч потоку продуктів згоряння в контактній камері. При цьому вода нагрівається до 78 °C. Далі вона поступає на надтопочний диск, де ще нагрівається за рахунок тепла стінок топочної камери. Таким чином на виході ми отримуємо воду з температурою 85 °C. Для процесу горіння димососом створюється необхідне розрідження і забезпечується повне видалення продуктів згорання.

Контактний водонагрівач КВН-2,9, як об'єкт автоматизації, має технічні характеристики, які представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Основні технічні характеристики котла КВН-2,9

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Номінальна потужність котла	Гкал/год	2,5
	МВт	2,9
Температура прямої води	°С	85
Температура зворотньої води	°С	50
Витрата води через водонагрівач	м ³ / год	72
Витрата природного газу	м ³ / год	300
Витрата повітря	м ³ / год	4350
Тиск газу в трубопроводі	кПа	30
Тиск повітря в трубопроводі	кПа	3
Тиск прямої води в трубопроводі	кПа	150
Тиск зворотньої води в трубопроводі	кПа	100
Вакуум в димососі	Па	20

1.2 ТОУ як об'єкт автоматизації

Технологічним об'єктом управління є контактний водонагрівач КВН 2,9 теплопродуктивністю до 2,9 МВт. Контактний водонагрівач призначений для нагрівання води, яка використовується для гарячого водопостачання і опалювання. Вода, що йде до споживача, називається прямою, а що повертає назад від споживача – зворотною. Нагрів води відбувається за рахунок тепла, що виділяється при спалюванні палива. Вода в КВН надходить з температурою 50°C і нагрівається до температури 85°C.

Вхідні продукти – вода, повітря, газ. Готовий продукт – гаряча вода. Використовується природній газ. Газовим паливом є суміш горючих і негорючих газів (кисень, метан, бутан, пропан, етан, водень, окис вуглецю, азот, вуглекислий газ). Основним елементом газової суміші є метан. Теплота згорання: $Q=8500-9500$ ккал/м³. Готовим продуктом є вода з температурою 85°C, витратою 72 м³/год. Ця вода використовується для гарячого водопостачання і опалювання.

До пальника підводяться газ і повітря. Повітря подається вентилятором. Горюча суміш, яка утворюється в пальнику, спалахує і віддає тепло в топкову камеру. В результаті процесу горіння утворюються газоподібні продукти – димові гази. Їх відсмоктує димосос і викидає в атмосферу. Спалювання здійснюється факельним способом. При спалюванні газу необхідно забезпечити: хороше попереднє перемішування газу з повітрям, ведення процесу з малими надлишками повітря, розділення потоку суміші на окремі струмені.. Для процесу горіння димососом створюється необхідне розрідження і забезпечується повне видалення продуктів згорання. Якщо досягти співвідношення витрати повітря відповідно до подачі палива, процес спалювання здійснюватиметься з максимальною економічністю.

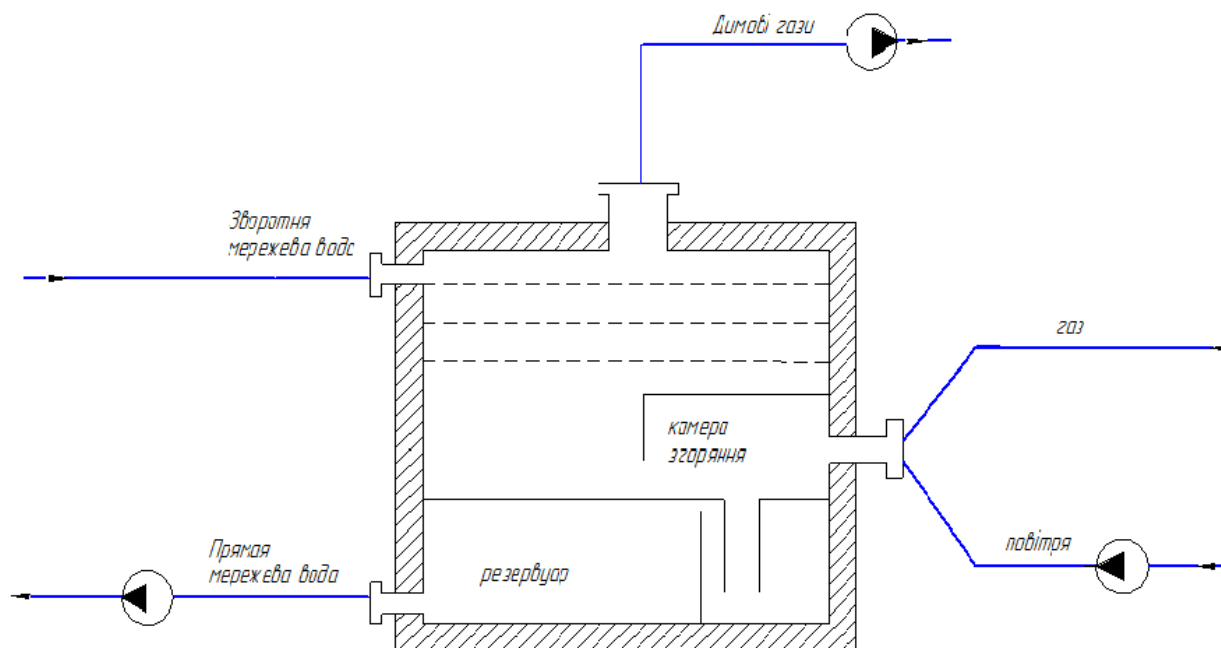


Рисунок 1.1 Схема контактного водонагрівача КВН 2,9

Контактний водонагрівач КВН 2,9 являє собою теплообмінний пристрій з примусовою циркуляцією води, обладнаний окремим димососом, вентилятором і насосом подачі води. Габаритні розміри: ширина – 2,3 м, довжина – 1,73 м, висота - 2,826 м. Маса металевої частини – 1,8 т.

Показником ефективності роботи КВН є температура прямої води. На неї діють такі збурення:

- витрата води через котел;
- витрата палива;
- витрата повітря;
- розрідження;
- температура зворотної води.

Економічно доцільним буде використання в якості регулюючого впливу зміну подачі палива. Крім того на регулятор палива подається сигнал від датчика температури прямої води і від датчика температури зворотної води. Таким чином, подача палива змінюється в залежності від температури прямої і зворотної води. Повітря повинно подаватися в такій кількості, щоб забезпечити повне спалювання палива. Якщо повітря недостатньо, то крім неповноти спалювання, тобто економічних втрат, буде забруднення атмосфери. Якщо повітря буде

надлишок, то будуть втрати тепла разом із димовими газами. Таким чином, регулятор повітря буде змінювати подачу повітря в залежності від витрати палива.

Для процесу горіння в топці має бути створено розрідження, якщо воно буде недостатнім, то можливо згасання факелу. Якщо занадто велике, то відрив факелу від пальника. Розрідження в проекті регулюється зміною положення заслінки димососа.

Отже в АСУ ТП контактного водонагрівача КВН 2,9 мають бути реалізовані наступні контури автоматичного регулювання:

1. Регулювання температури прямої води
2. Регулювання розрідження в камері згорання котла.
3. Регулювання витрати повітря.

По даним контурам система автоматизації, повинна забезпечувати якісний і точний контроль та управління, технологічну і виробничу сигналізацію, візуалізацію процесу .

Для нормальної безаварійної роботи котлоагрегату в процесі експлуатації існують певні вимоги до ведення технологічного процесу і вибору параметрів, які характеризують стан об'єкта управління.

Параметри, зміна яких в деяких межах може призвести до аварійного стану обладнання, необхідно контролювати і сигналізувати в системах візуалізації технологічних параметрів в мікропроцесорних контролерах.

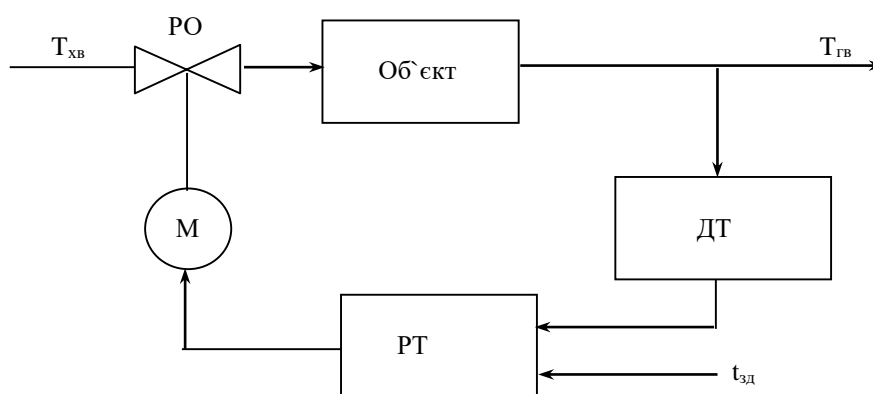
Система управління повинна функціонувати повністю як в автоматичному, так і в частково в ручному режимі.

1.3. Огляд і аналіз сучасних АСУ ТОВ

1.3.1. АСР регулювання температури прямої води

1. Одноконтурна АСР.

Температура води на виході КВН в заданих межах підтримується регулятором РТ, який змінює подачу палива в топку. Датчик температури води встановлюється на трубопроводі на виході води з КВН. На рис. 2.1. представлена структурна схема одноконтурної АСР, де М – виконавчий механізм, РТ-регулятор температури, РО – регулюючий орган, ДТ – датчик



температури.

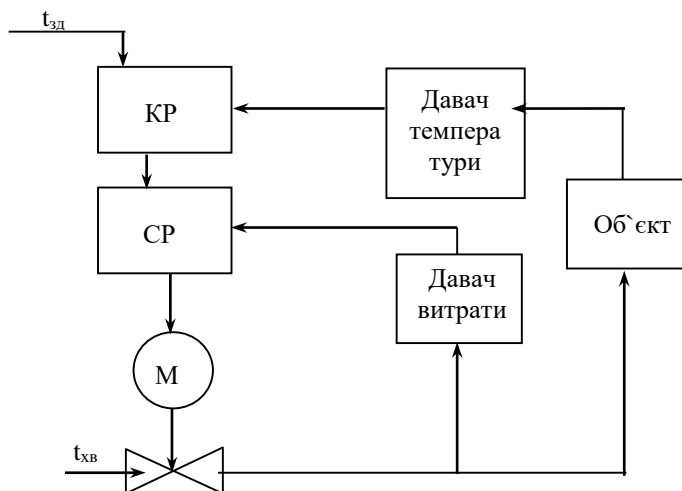
Рис. 2.1. Структурна схема одноконтурної АСР

Ця схема використовується, якщо КВН працює в базовому режимі. Схема має недостатньо гарні показники якості регулювання: велике динамічне відхилення регульованої величини, великий час регулювання, але відрізняється своєю простотою. Якщо система працює при змінному режимі, то невідома температура зворотної води, яка поступає у КВН з мережі, тому що вона повинна підтримуватися на заданому рівні. Тому вводиться друга схема регулювання.

2. Каскадна АСР.

Регулятор СР стабілізує теплопродуктивність КВН по температурі прямої мережевої води. Сигнал від датчика температури розташованого на виході з КВН порівнюється з сигналом завдання та при наявності

неузгодження регулятор КР привносить корекцію, сигнал якої іде на стабілізуючий регулятор і являє собою завдання по витраті палива. На рис. 2.2. представлена структурна схема каскадної АСР, де СР – стабілізуючий



регулятор, КР – корегуючий регулятор, М – виконавчий механізм.

Рис. 2.2. Структурна схема каскадної АСР

3. АСР з компенсацією по збуренню

Ця система регулювання дозволяє реагувати на збурення, які виникають через температуру зворотної мережевої води до того, як вони подіють на об'єкт. Структурна схема АСР з компенсацією по збуренню представлена на рис. 2.3., де К – компенсатор, РТ – регулятор температури, ДТ1, ДТ2 – датчики температури, U – збурення по зміні температури зворотної мережевої води.

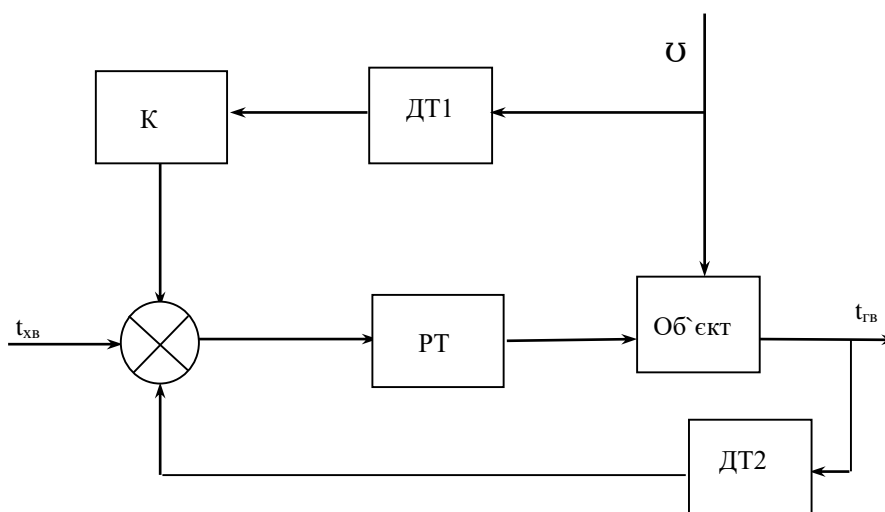


Рис. 2.3. Структурна схема АСР с компенсацією по збуренню

При роботі КВН регулятор РТ отримує імпульс від датчика ДТ2, який показує температуру прямої води, яка подається в теплову мережу. Регулювання температури прямої мережної води регулятором реалізується шляхом дії на регулюючий орган трубопроводу газу. Сигнал від датчика ДТ1, який вимірює температуру води, що поступає в КВН з теплової мережі, йде через компенсатор К на регулятор.

Проаналізувавши різні методи регулювання температури прямої води було обрано, в якості структури АСР прямої мережевої води контактного водонагрівача, структуру АСР температури прямої води з корекцією по температурі зворотної води за рахунок зміни витрати газу. Дана схема підходить в тих випадках, коли є можливість з'ясувати яке збурення подіє на об'єкт. Температура зворотної води має найбільший вплив серед всіх збурень, тому саме її за рахунок зворотнього зв'язку компенсує САР. Регулятор сприймає зміну температури зворотної води і відпрацьовує збурення. Таким чином, витрата палива змінюється в залежності від температури прямої та зворотної води. В промисловості широко використовується САР з компенсацією по збуренню. САР з такою структурою дозволяє підвищити якість регулювання за рахунок того, що проміжний параметр вимірюється, а не обчислюється.

1.3.2. АСР регулювання розрідження в камері згорання

1. АСР з направляючим апаратом

Порівнюється завдання зі значенням розрідження в топці і при виникненні розбалансу виробляє управляючий сигнал (імпульс) «більше» або «менше», який надходить на вхід виконавчого механізму направляючого апарату димососу і змінюючи ступінь його відкриття, відповідно, збільшує або зменшує тягу. Процес регулювання триває до тих пір, поки різниця між завданням і фактичним значенням розрідження в топці не стане рівною нулю.

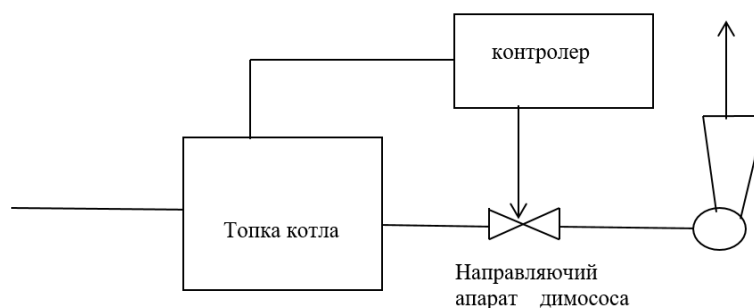


Рис.2.4. Структурна схема АСР з направляючим апаратом

2. АСР з частотним перетворювачем

Вхідним сигналом, що надходить на контролер, який впливає на частотний перетворювач димососа є розрідження в топці. Якщо значення розрідження змінюється, то контролер по сигналу, що надходить від датчика розрідження, запускає димосос, який викачує димові гази з топки. Цей процес триває до тих пір, доки не встановиться задане значення розрідження.

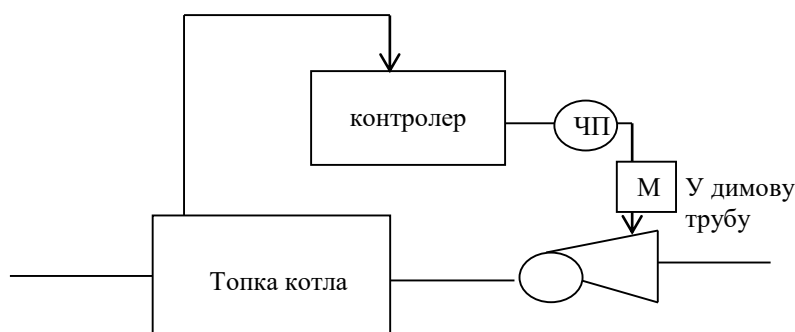


Рис. 2.5. Структурна схема АСР з частотним перетворювачем

При необхідності зміни температури змінюється кількість газу, що згорає, і відповідно розрідження. У випадку з направляючим апаратом тяга змінюється заслонкою. Тоді як в схемі з частотним перетворювачем, ЧП змінює частоту обертів двигуна димососу, тим самим змінюючи тягу димососів і відповідно розрідження в топці. В даному випадку не має потреби в ЧП, достатньо вентилятора з незмінною швидкістю, змінювати тягу положенням заслонки, тим більше що схема з ЧП дорожча. Тому з вище

розглянутих структурних схем було обрано одноконтурну схему на базі програмованого логічного контролера з направляючим апаратом.

1.3.3. АСР регулювання витрати повітря

1. АСР співвідношення «повітря - газ»

Для економічного згорання палива в топці котлоагрегату, подається повітря. Кількість повітря, яка необхідна для повного згорання, і кількість палива зв'язані між собою прямою, пропорційною залежністю. На рис. 2.6. зображена структурна схема регулювання співвідношення паливо/повітря з контролером витрати повітря та палива.

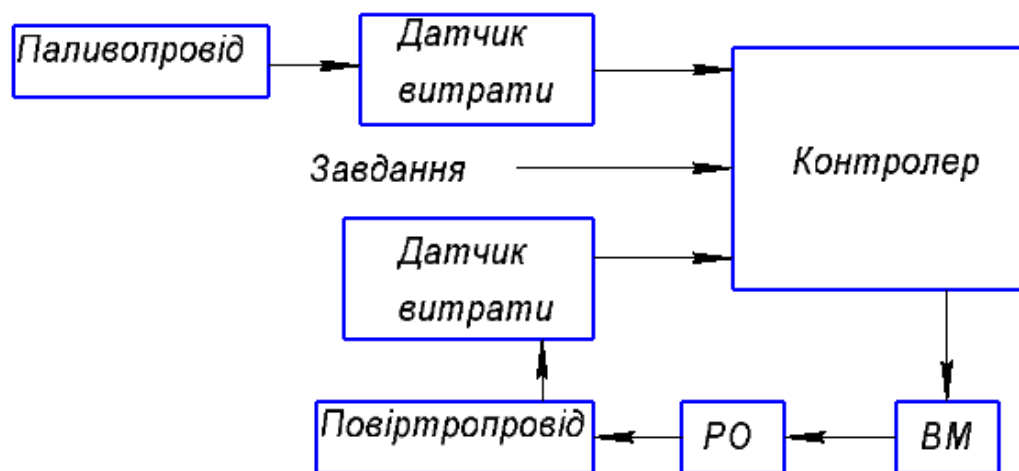


Рис.2.6. Регулювання співвідношення «повітря - газ»

2. АСР співвідношення «теплота-повітря»

На одиницю витрати за різним складом палива необхідна різна кількість повітря. На одиницю теплоти, що виділяється при згорянні різних видів палива, потрібна така ж його кількість. Тому, якщо оцінювати тепловиділення в топці по кількості теплоти на виході і змінювати подачу повітря відповідно до змін цієї кількості, то загалом, можна досягти оптимального надлишку повітря.

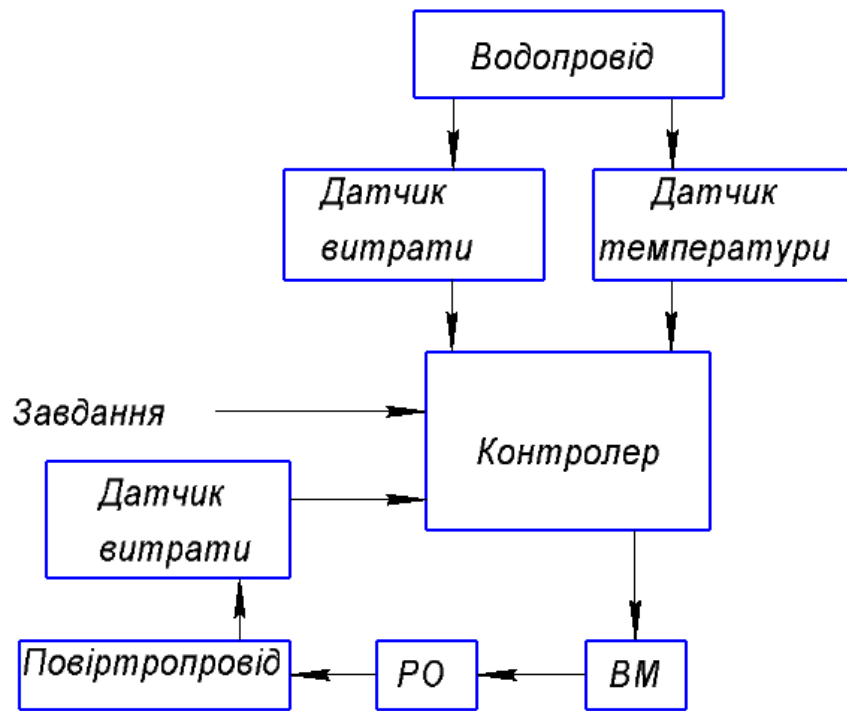


Рис 2.7. Регулювання співвідношення «теплота - повітря»

В ході роботи буде використовуватись перший тип регулювання, так як в нас подається незмінний тип палива і не має необхідності вимірювати кількість теплоти на виході. Дана схема є більш простою в реалізації і потребує меншу кількість датчиків.

1.4 Опис функціональної структури ТОУ

Функціональна структура – це перелік функцій, які реалізує АСУТП і перелік вимог до реалізації цих функцій.

Виділяють такі функції АСУТП:

- інформаційні;
- керуючі;
- захисні;
- допоміжні.

Інформаційні функції – це перелік вимірювальних каналів і вимог до них. Інформаційні функції є базовими. Без інформаційних функцій немає АСУТП. Існують АСУ, що виконують тільки інформаційні функції, такі АСУ називають інформаційними системами. У багатьох випадках створення інформаційними системи є першим кроком до створення повноцінної АСУ.

Керуючі функції – це перелік виконавчих каналів і різних технічних засобів (контролери, модулі вводу – виводу тощо). Керуючі функції реалізують неперервне регулювання і програмно-логічне керування. Неперервне регулювання підрозділяється на:

- стабілізацію;
- відслідковування;
- програмне регулювання.

Важливим поняттям у неперервному регулюванні є режимні параметри: температура, тиск, витрата, вологість тощо. Неперервне регулювання завжди є регулюванням конкретного режимного параметру (технологічного параметру) стабілізація режимного параметру – це підтримання контролерами сформованих супервізорним рівнем або введених уставок режимного параметру. Суттєвим є те, що період зміни уставок значно перевищує тривалість перехідного процесу. Це стандартний і найбільш вживаний вид регулювання. Відслідковування – це стабілізація режимного параметру за

умови, що темп зміни уставки співпадає з темпом зміни перехідного процесу. Для нормально запроєктованої АСУТП режим слідкування є нештатною ситуацією. У випадку, коли темп зміни уставки більш швидкісний ніж перехідний процес, є сенс відмовитись від регулювання взагалі. Програмне регулювання – це відслідковування, при якому темп зміни уставки не такий швидкий, як перехідний процес.

Захисні функції АСУТП – це коригуючі функції, які забезпечують безпечні функції опанування об'єктом в екстремальних умовах. Як правило, захисні функції зводяться до попереджень (технологічних) і аварійних сигналізацій і включення або відключення тих чи інших механізмів. Особливістю захисних функцій є значна вимога до надійності їх реалізації.

В розробленій АСУ інформаційну функцію виконують сигнали, які надходять на входи контролера та модулів від давачів:

- температури прямої та зворотної мережевої води (поз. 1б, 1а);
- витрати газу та повітря (поз. 2а, 2б);
- тиски в газо- та повітропроводах (поз. 7а, 8а);
- розрідження в топці (поз. 3а);
- рівень води в КВН (поз. 13а);
- тиски в трубопроводі прямої та зворотної води (поз.9а, 10а);
- витрата води (поз. 14а).

До керуючої функції відносяться регулювання кількості подачі палива в топку за допомогою зміни положення 2-х ходового регулюючого клапана електроприводом Danfoss AME658 та подачі повітря в необхідній кількості для повного згорання палива за допомогою зміни положення відкриття повітряної заслінки електроприводом Belimo GM24A-SR.

Захисна функція розробленої АСР :

- виключення робочого насосу при досягненні води верхнього рівня;
- закриття клапана подачі газу та повітряної заслінки при зникненні живлення в мережі;

- зупинка КВН при підвищенні тиску у газопроводі
- зупинка КВН при виході з ладу насоса чи вентилятора.

1.5 Опис вимог до реалізації функцій АСУ ТОВ

Програмно-технічний комплекс повинен створюватися як придатна до ремонту і відновлювана система, розрахована на тривале функціонування. Періодичність і тривалість зупинок ПТК повинні регламентуватися графіком ремонтів енергоустаткування.

Повинні бути використані наступні основні способи підвищення надійності ПТК:

- 1) висока надійність комплектуючих елементів, блоків, модулів, пристроїв передачі інформації, які повинні поставлятися від провідних фірм виробників в області автоматизації;
- 2) наявність апаратної, інформаційної, функціональної та алгоритмічної надмірності;
- 3) -розробка надійно працюючих програмних засобів;
- 4) -розвинена система діагностики технічних і програмних засобів;
- 5) -захист від видачі неправдивих команд і помилкової інформації;
- 6) зберігання найбільш важливої інформації і програм в енергонезалежному пристрої;
- 7) організація захисту баз даних та програмного забезпечення від несанкціонованого втручання;
- 8) гальванічна розв'язка каналів, модулів, шин зв'язку.

Для підвищення надійності технічних засобів на стадії розробки і виготовлення повинні бути прийняті наступні заходи:

- 1 - Повинні використовуватися тільки високоякісні елементи в промисловому виконанні і повинен проводитися по можливості 100%-ний контроль всіх елементів.
- 2 - Технічні засоби повинні бути орієнтовані на тривалі (до 48 год) граничні експлуатаційні умови, тобто на вплив максимально допустимої температури навколишнього повітря, максимально допустимої вологості, вібрації тощо.
- 3 - Технічні засоби повинні мати високу пожежозахисненість від різних зовнішніх впливів;

1.6 Вибір програмної і апаратної платформи АСУ ТОВ

АСУТП є дворівневою. Нижній рівень – це неперервне регулювання (регулювання температури, тиску, витрати тощо) і програмно-логічне управління різними механізмами (конвеєри, рольганги, технологічні захисти тощо). Елементною базою нижнього рівня є PLC (Programmable Logical Controller) – ПЛК (Програмований Логічний Контролер). В даному випадку нижній рівень забезпечується контролером Siemens S7-1500.

Верхній рівень АСУТП – це супервізорний рівень, або SCADA, або HMI, або HMI/SCADA. Супервізорне керування полягає у реалізації технологічних карт, тобто в ідентифікації ситуації на об'єкті і видачі завдань для контурів регулювання в контролерах. Елементною базою верхнього рівня є персональні комп'ютери і HMI/SCADA системи – промислове програмне забезпечення, яке виконує наступні функції:

- Збирання даних від контролерів;
- Видача установок для регулятора контролера;
- Архівування даних з контролерів;

- Візуалізація даних мнемосхем (mimics);
- Фіксація і відображення алярмів (аварійних ситуацій);
- Побудова трендів (реального часу та історичних);
- Реалізація систем звітності.

2 ПРОЕКТУВАННЯ АСУ ТОУ

2.1 Структура ПТК ЗА

Представимо на рис.2.1. структурну схему ПТК ЗА.

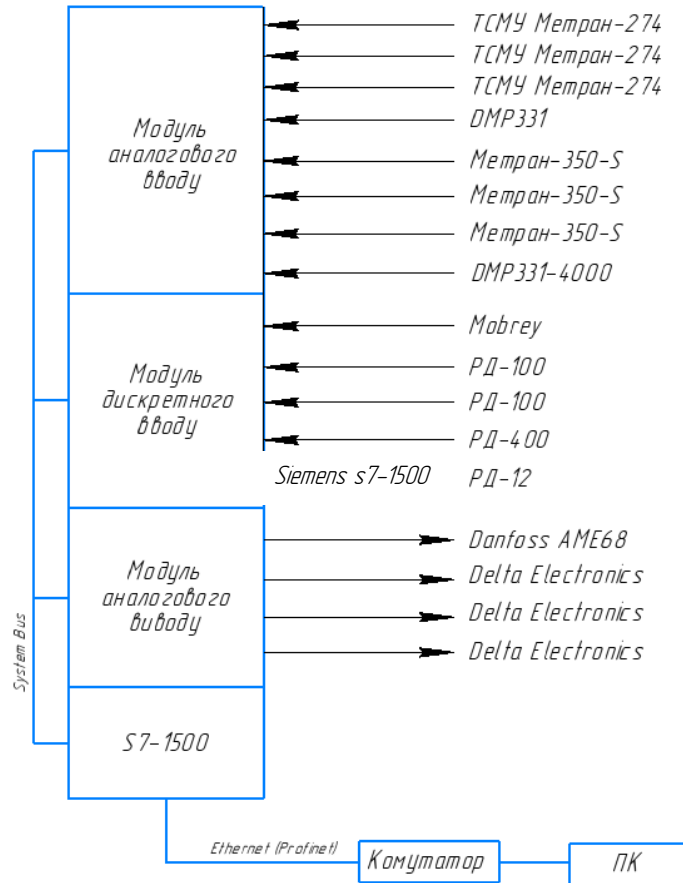


Рис.2.1 Схема структурна програмно-технічного комплексу засобів автоматизації

На рисунку представлена схема програмно – технічного комплексу засобів автоматизації, який включає в себе ПК, ПЛК та ТОУ, з'єднані між собою польовими шинами. Нижній рівень АСУ являє собою контролери з вимірювальною та виконавчою апаратурою, а верхій – супервізорний.

Елементною базою нижнього рівня є ПЛК Siemens S7-1500. В даній схемі контролер регулює температуру прямої води КВН. Контролер використовує аналогові входи (4-20мА), на які поступають сигнали від вимірювальної апаратури: термометрів опору Метран ТСМУ274 (температура

прямої та зворотної води). Також використовуються аналогові виходи (0...10В)

для керування виконавчим механізмом Danfoss AME658. Контролер обмінюється даними через польову шину ModBus/Ethernet.

SCADA-система повинна реалізовувати наступні функції: обмін даними з контролерами, архівування даних, візуалізація технологічного процесу у вигляді мнемосхем, ведення історичних алармів і алармі реального часу, побудова історичних трендів і трендів реального часу, обчислення і видача уставок в контури регулювання.

2.2 Виконавча апаратура

В спроектованій АСУ використовуються як аналогові, так і дискретні входи та виходи контролера. До одного з аналогових виходів підключений електропривід Danfoss AME 658 (поз.1г), який застосовується для управління двоходовим клапаном Danfoss серії VFM2. Даний електропривід управляє ступенем відкриття клапана в газопроводі, по якому подається природний газ. Для регулювання витрати повітря та вакууму в димососі використовуються електроприводи Velimo GM24ASR (поз. 2в і 3б) які керують поворотними заслінками. Управляючий сигнал, який йде на дані електроприводи від контролера – 0...10 В. Індикація положення виконавчого механізму здійснюється за допомогою зворотного вихідного сигналу 2...10 В .

Основні функції виконавчого механізму:

- автоматичне, дистанційне переміщення робочого органу;
- позиціонування робочого органу в будь-якому проміжному положенні;
- ручне переміщення робочого органу арматури;
- формування інформаційного сигналу про кінцеві і проміжні положення робочого органу арматури і динаміці його переміщення.

2.3 Технологічний контроль

Засоби вимірювання тиску

Для вимірювання тиску природного газу та розрідження в топці застосовуються тензорезисторні датчики надлишкового тиску типу DMP-331, які можна застосовувати для вимірювання середовища. Цей датчик забезпечує неперервне перетворення значення вимірювального параметру в уніфікований аналоговий струмовий вихідний сигнал (4...20) мА. На газопроводі встановлений датчик моделі DMP 331-110.6000 (поз. 7а) з верхньою межею вимірювання 60 кПа, а в верхній частині топки КВН встановлений датчик

моделі DMP 331-112.1м (поз. 3а) з діапазоном вимірювання -100...0 Па. Клас точності датчиків 0,5. Датчики підключенні до аналогових входів контролера.

На трубопроводі прямої та зворотної води, а також повітропроводі встановлені реле тиску типу Метран РД. Так на трубопроводі прямої та зворотної води встановленні датчики моделі РД-400 (поз. 10а) та РД-100 (поз.9а), в яких замикається реле при пониженні тиску до 140кПа(для прямої води) і 90кПа (для зворотної), сигналізуючи при цьому про витік води або аварію в системі. На повітропроводі встановлений датчик моделі РД-12 (поз.8а), який спрацьовує при підвищенні тиску повітря до 4 кПа, сигналізуючи про небажаний режим для горіння факелу . Датчики підключені до дискретних входів контролера.

Засоби вимірювання витрати

На трубопроводі прямої води, повітропроводі та газопроводі встановлено витратоміри типу Метран-350-SFA (поз.14а, 2б, 2а) на базі зонда Annubar. Перевагою таких датчиків є низькі втрати тиску, широкий діапазон вимірювань і простота монтажу. Межі вимірювання 0...100 м³/год (трубопровід прямої води) 0...600 м³/год (газопровід) 0...6000 м³/год (повітропровід). Метран-350 складається з сенсору та давача перепаду тисків 3051CD, який формує на виході сигнал (4...20) мА. Клас точності приладу становить 1.

Засоби вимірювання температури

Вимірювання температури здійснюється на газопроводі (поз.15а), на трубопроводі прямої (поз.1б) та зворотної (поз.1а) мережевої води. Вимірювання здійснюються термоперетворювачем ТСМУ Метран-274 з уніфікованим вихідним сигналом (4...20)мА. Чутливий елемент первинного перетворювача та вбудований у голівку датчика вимірювальний перетворювач перетворюють значення температури в уніфікований струмовий вихідний сигнал (4...20) мА, який надходить до аналогових входів контролера. Діапазон

вимірювань температури повітря перед повітропідігрівником складає (0...100) °С.

Клас точності усіх вищевказаних приладів є 0,25.

Засоби вимірювання рівня

В резервуарі встановлено горизонтальне магнітне реле рівня Mobrey (поз.13а). Так при підвищенні рівня до 800 мм реле замикається сигналізуючи при цьому про аварійну ситуацію, оскільки може відбутись перелив і загасання факелу. Датчик підключений до дискретних входів контролера.

2.4 Технологічна сигналізація

У розробленій АСР передбачена технологічна сигналізація двох типів:

1. Попереджувальна, котра дає сигнал, якщо регульований параметр відрізняється від номінального значення або виходить за межі номінального допустимого діапазону.
2. Аварійна, яка спрацьовує якщо регульований параметр досягає аварійного значення. Вона спрацьовує одночасно з автоматичним захистом.

Сигналізація виконана світлозвуковою. Звуковий сигнал призначений для привертання уваги оперативного персоналу, а світлова – для вказування, який параметр відхилився від норми і як саме це відбулося.

Технологічна сигналізація застосовується для оповіщення обслуговуючого персоналу у наступних випадках:

- при виході значення фізичної величини за межі, які визначають надійність роботи устаткування;
- при виході значення фізичної величини за межі, які визначають безпечність роботи устаткування (аварійна сигналізація);
- випередження спрацьовування технологічного захисту;
- при відмові окремих елементів устаткування;
- при втраті напруги у системі живлення.

Вторинні прилади, які реєструють усі ці параметри, приєднані до модулів виводу контролера. Далі, згідно з програмою, перевіряються відхилення значень цих параметрів, і, в разі наявності таких, через модулі виводу контролера сигнал надходить до пристроїв, що сигналізують.

Основні параметри, їх номінальні значення та межі, при виході за які спрацьовує технологічна сигналізація представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Характеристика технологічної сигналізації

№ з/п	Назва параметра	Од.вим.	Номінал	Верхня межа	Нижня межа
1	Температура прямої води	°С	85	90	75
2	Витрата повітря	м ³ /год	4350	4500	4200
3	Тиск газу перед пальниками	кПа	30	40	25
4	Тиск повітря перед пальниками	кПа	3	4	2
5	Рівень води в резервуарі	мм	600	800	300
6	Тиск розрідження	Па	20	30	10

2.5 Технологічний захист та блокування

Автоматичні захисти призначені для запобігання аварії обладнання у випадку відхилення параметрів за допустимі границі або при відмові окремих елементів устаткування. Захист вступає в дію у тому випадку, коли можливості автоматичного або дистанційного керування по запобіганню відхилень параметрів за встановлені межі вичерпано, а оператор не в змозі вчасно на це реагувати.

Котел автоматично зупиняється від наступних сигналів:

- вихід з ладу або зупин дугтьового вентилятору від захистів вентилятору;
- вихід з ладу або зупинка насосу димососу від захистів димососу;
- вихід з ладу або зупинка насосу подачі води;
- перевищення тиску у газопроводі вище 40 кПа
- зниження витрати води через котел до значення 65м³/год

- перевищення рівня в резервуарі вище 800 мм.

При спрацюванні автоматичного захисту керуючий сигнал від контролера надходить через реле до запірних засувок та відсічних клапанів, що перекривають надходження палива до пальників. Відсічні клапани спрацьовують миттєво.

2.6 Рішення з контролерної автоматизації

Система автоматизації контактного водонагрівача побудована на базі програмованого логічного контролера Siemens S7-1500, в основі якого лежить CPU 1511 та додатково має два модулі аналогового вводу 6ES7531-7KF00-0AB0, один модуль аналогового виводу 6ES7532-5HF00-0AB0, модуль дискретного вводу сигналів 6ES7521-1BL10-0AA0 та модуль дискретного виводу 6ES7522-1BF00-0AB0 для забезпечення потрібного функціонування системи.

До модулів аналогового вводу 6ES7531-7KF00-0AB0 підключено датчики які вимірюють всі необхідні технологічні параметри, і мають уніфікований вихід по струму величиною 4-20 мА. До модулів аналогового виводу 6ES7532-5HF00-0AB0 підключені частотні перетворювачі та електродвигуни з аналоговим управлінням. До модулю дискретного вводу 6ES7521-1BL10-0AA0 підключені реле тиску та датчик рівня.

Усі модулі вводу-виводу обмінюються інформацією з контролером за допомогою послідовного інтерфейсу зв'язку RS-485.

Для обміну даними контролера з верхнім рівнем системи автоматизації використовується вбудований інтерфейс зв'язку Ethernet.

2.7 Рішення із супервізорної автоматизації

Основою супервізорного рівня системи автоматизації є SCADA-система. SCADA-система в даній роботі реалізує відображення мнемосхеми технологічного процесу та значень технологічних параметрів, виконує архівацію всіх технологічних параметрів, реєстрацію спрацювання технологічної сигналізації, відображає у вигляді графіків технологічні параметри із архіву і параметри в реальному часі, обмін даними з контролером.

Створення даної системи виконується за допомогою системи програмування TIA Portal V14.

Для відладки SCADA-системи можна скористатись режимом симуляції.

SCADA-система в даній роботі реалізовує такі функції:

–обмін даними з нижнім рівнем ПТКЗА;

–наглядне відображення роботи технологічного об'єкту у вікні мнемосхеми із значеннями технологічних параметрів та можливістю ручного керування об'єктом;

–відображення трендів та фіксування тривог у відповідних вікнах, що забезпечують відслідковування та сповіщення про недопустимі значення технологічних параметрів.

Перераховані функції забезпечують повноцінне функціонування SCADA-програми в рамках верхнього рівня ПТКЗА, оскільки забезпечують повне інформаційне забезпечення оператора про стан технологічного процесу та реалізують відповідні можливості дистанційної взаємодії оператора з технологічним об'єктом.

3 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ АТК

3.1 Розрахунок вимірювальних каналів АТК

На інформаційний канал встановлено наступні похибки вимірювання:

- 1) для вимірювального каналу з виходом на контролер $\Delta_{\max} = 1.5^{\circ}\text{C}$;

Структурна схема вимірювального каналу АСР

У складі АСР контактного водонагрівача розглянемо вимірювальний канал (ВК) з виходом на АЦП контролера.

Розрахунок відносної та абсолютної похибки вимірювальних каналів АСР

Для кожного елементу вимірювальних каналів визначимо класи точності та діапазони вимірювання і занесемо ці дані до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Вимірювальний канал	Елемент	Клас точності	Діапазон вимірювання
ВК з виходом на контролер	Термометр опору ТСМУ 274	0.25	0-100°C
	Siemens S7-1500	0.25	0-100°C

Розраховуємо абсолютну похибку кожного з елементів, які входять до вимірювальний каналів, за формулою:

$$\Delta = \varepsilon_{\text{кл}} \frac{(X_{\max} - X_{\min})}{100\%}, \quad (3.1)$$

де $\varepsilon_{\text{кл}}$ – клас точності елементу; X_{\max} – максимальна вимірювана величина; X_{\min} – мінімальна вимірювана величина.

Розраховані за формулою (3.1) значення наведені нижче.

Давач каналу регулювання – термометр опору ТСМУ:

$$\Delta_1 = \frac{\varepsilon_{01} \cdot (X_{\max} - X_{\min})}{100} = 0,25 \cdot (100-0)/100 = 0,25^{\circ}\text{C}$$

Програмований логічний контролер Siemens S7-1500:

$$\Delta_2 = \frac{\varepsilon_{02} \cdot (X_{\max} - X_{\min})}{100} = 0,25 \cdot (100-0)/100 = 0,25^\circ\text{C}$$

Розраховуємо абсолютну та відносну похибку кожного вимірювального каналу, за формулами:

$$\Delta_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2}, \quad (3.2)$$

де Δ_k – абсолютна похибка ВК; Δ_i – абсолютна похибка i -го елементу ВК;

n – кількість елементів ВК. Для розрахунку відносної похибки вимірювального каналу використовується формула 3.3.

$$\eta_k = \frac{\Delta_k}{X}, \quad (3.3)$$

де η_k – відносна похибка ВК; Δ_k – абсолютна похибка ВК; X – діапазон каналу

Канал регулювання:

$$\Delta_{con} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{0,25^2 + 0,25^2} = 0,354^\circ\text{C}$$

$$\eta_{con} = \frac{\Delta_{con}}{X} * 100\% = \frac{0,354}{100} * 100\% = 0,354\%$$

Р

о

Таблиця 3.2

з р а х о в н и й к а н а л	Значення параметру, °С	Абсолютна похибка Δ_k , °С	Відносна похибка η_k , %
ВК з виходом на вимірювальний блок регулятора	100	0,35	0,35

Висновок: враховуючи те, що максимальна абсолютна похибка для вимірювального каналу лежать у межах: $\Delta_{pez} = 0,35^\circ\text{C} < \Delta_{max} = 1,5^\circ\text{C}$ то можна стверджувати, що отримана точність вимірювання по вимірювальному каналу задовольняє вимогам щодо точності вимірювання. Таким чином комплектація ВК задовільна.

з

а

3.2 Розрахунок надійності функціонування АСУ

Розрахунок надійності реалізації функцій ПТКЗА

Розрахунок надійності АСР полягає в розрахунку надійності реалізації інформаційної, керуючої та захисної функції. Задачею розрахунку є порівняння розрахованого показника надійності із заданим. Якщо розрахований показник надійності менший від заданого, треба зарезервувати найменш надійні елементи АСР.

Показником надійності інформаційної функції являється середнє напрацювання на відмову $T_{\text{сер}}$, або ймовірність безвідмовної роботи P_6 . Така умова являється достатньо жорсткою, так як при відмові інформаційної функції інформація безповоротно втрачається та при відновленні працездатності функції не може бути відновлена.

Більш жорсткі вимоги пред'являються до керуючої функції, тому її надійність характеризується $T_{\text{сер}}$, середнім часом відновлення T_v та ймовірністю безвідмовної роботи за час τ з урахуванням відновлення відмовляючої функції $P_c(\tau)$.

Вимоги до захисної функції більш жорсткі ніж до інформаційної та керуючої. При цьому працездатність захисної функції повинна бути забезпечена в момент аварії, а в проміжках між аваріями її відмови не впливають на працездатність АСР в цілому. Захисна функція характеризується $T_{\text{сер}}$, коефіцієнтом готовності $K_{\text{гот}}$, або ймовірністю безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі $P_{\text{оч}}$.

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов, середній час напрацювання на відмову та ймовірність безвідмовної роботи для кожної функції АСР за формулами (7.1), (7.2) та (7.3).

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (3.4)$$

де n – кількість елементів у структурній схемі надійності; λ_i – інтенсивність відмов для i -го елемента схеми; λ – загальна інтенсивність відмов.

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (3.5)$$

де $T_{\text{сер}}$ – середнє напрацювання на відмову для схеми; λ – загальна інтенсивність відмов.

$$P(\tau) = e^{-\lambda \cdot \tau}, \quad (3.6)$$

де P_6 – ймовірність безвідмовної роботи за час τ ; λ – загальна інтенсивність відмов. Задаємо $\tau=720$ год.

Для керуючої функції вірогідність відновлення роботоздатності:

$$P_6(\tau) = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_B}} \quad (3.7)$$

де $T_B=2$ год – час відновлення роботи функції, $T_{\text{доп}} 4$ год – допустимий час функціонування об'єкту при невиконанні керуючої функції.

Вірогідність безвідмовної роботи протягом одного місяця з урахуванням відновлення функції, що відмовляє:

$$P_c(\tau) = P_6(\tau) + (1 - P_6(\tau)) \times P_6(\tau) \quad (3.8)$$

Для захисної функції:

Коефіцієнт готовності:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{сп}}}{T_{\text{сп}} + T_6} \quad (3.9)$$

Вірогідність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі:

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{гот}} \times P_6(\tau) \quad (3.10)$$

Кожний елемент структурної схеми надійності характеризується інтенсивністю відмов $\lambda, 1/\text{год}$ або середнім часом напрацювання на відмову

$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}, \text{год}$. Ці значення наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Середній час напрацювання на відмову елементів ПТКЗА

Елемент	$T_{\text{сер}}, \text{год}$	$\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$
ТСМУ Метран 274	70000	14.29
Метран-350-SFA	87600	11.42

DMP331	87600	11.42
CPU 1511-1 PN 6ES7511-1AK01-0AB0	1000000	1
АЦП 6ES7531-7KF00-0AB0	1000000	1
ЦАП 6ES7532-5HF00-0AB0	1000000	1
ЦДП 6ES7521-1BH00-0AB0	1000000	1
Димосос Дб	150000	6.7
Дугтєвий вентилятор ВД-6	150000	6.7
Виконавчий механізм Auma SQEx	90000	11.1
Частотний перетворювач Danfoss VLT	130000	7.7
РО	30000	33.3
ПК	35000	28.57
ДКМ	87500	11.43
Сигнальне обладнання	40000	25
Мережевий комутатор	35000	28.57

3.3. Розрахунок надійності інформаційної та керуючої функцій для контуру регулювання температури прямої води

Структурні схеми інформаційної та керуючої функцій для контуру регулювання температури прямої води на рис. 3.1.

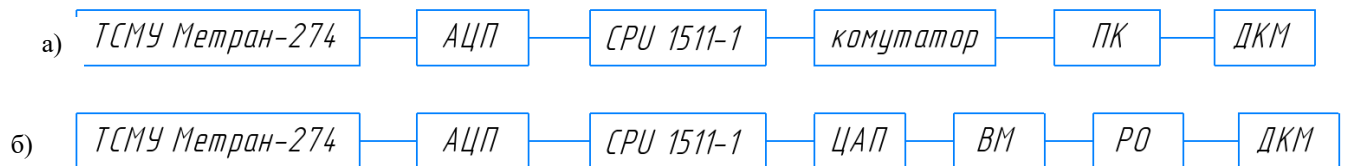


Рис. 0.1 Структурні схеми функцій: а) інформаційної з використанням робочої станції; б) керуючої

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов для інформаційної функції.

$$\lambda = \frac{(14.29 + 1 + 1 + 28.57 + 28.57 + 11.43)}{6} \cdot 10^{-6} = 14.14 \cdot 10^{-6}$$

Розрахуємо середнє напрацювання на відмову для інформаційної функції.

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{(14.29 + 1 + 1 + 28.57 + 28.57 + 11.43) \cdot 10^{-6}} = 11756.9 \text{ год}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи протягом 1 місяця.

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{11756.9}} = 0.94$$

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов для керуючої функції.

$$\lambda = \frac{(14.29 + 1 + 1 + 1 + 11.1 + 33.3 + 11.43)}{7} \cdot 10^{-6} = 10.87 \cdot 10^{-6}$$

Розрахуємо середнє напрацювання на відмову для керуючої функції.

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{(14.29 + 1 + 1 + 1 + 11.1 + 33.3 + 11.43) \cdot 10^{-6}} = 13676.1 \text{ год}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи протягом 1 місяця.

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{13676.1}} = 0.947$$

Розрахуємо ймовірність відновлення працездатності, задавши середній час встановлення працездатності $T_B = 2$ год та допустимий час функціонування об'єкту при невиконанні керуючої функції $T_{\text{доп}} = 6$ год :

$$P_B = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_B}} = 1 - e^{-6/2} = 0.9502$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи з урахуванням відновлення відмовної функції:

$$P_{\text{від}}(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau))P_B = 0.947 + (1 - 0.947) \cdot 0.9502 = 0.997$$

3.4. Розрахунок надійності інформаційної та керуючої функцій для контуру регулювання витрати повітря

Структурні схеми інформаційної та керуючої функцій для контуру регулювання витрати повітря на рис. 3.2.

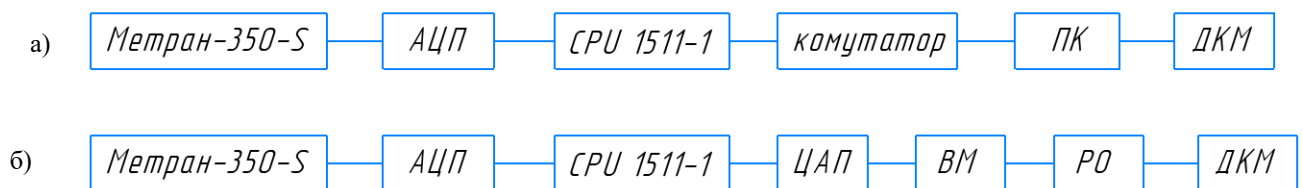


Рис. 0.2 Структурні схеми функцій: а) інформаційної з використанням робочої станції; б) керуючої

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов для інформаційної функції.

$$\lambda = \frac{(11.42 + 1 + 1 + 28.57 + 28.57 + 11.43)}{6} \cdot 10^{-6} = 13.6 \cdot 10^{-6}$$

Розрахуємо середнє напрацювання на відмову для інформаційної функції.

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{(11.42 + 1 + 1 + 28.57 + 28.57 + 11.43) \cdot 10^{-6}} = 12196.6 \text{ год}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи протягом 1 місяця.

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{12196.6}} = 0.941$$

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов для керуючої функції.

$$\lambda = \frac{(11.42 + 1 + 1 + 1 + 7.7 + 6.7 + 11.43)}{7} \cdot 10^{-6} = 5.75 \cdot 10^{-6}$$

Розрахуємо середнє напрацювання на відмову для керуючої функції.

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{(11.42 + 1 + 1 + 1 + 7.7 + 6.7 + 11.43) \cdot 10^{-6}} = 24844.7 \text{ год}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи протягом 1 місяця.

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{24844.7}} = 0.97$$

Розрахуємо ймовірність відновлення працездатності, задавши середній час встановлення працездатності $T_{\text{в}} = 2$ год та допустимий час функціонування об'єкту при невиконанні керуючої функції $T_{\text{доп}} = 6$ год :

$$P_{\text{в}} = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_{\text{в}}}} = 1 - e^{-6/2} = 0,9502$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи з урахуванням відновлення відмовної функції:

$$P_{\text{від}}(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau))P_{\text{в}} = 0,97 + (1 - 0,97) \cdot 0,9502 = 0,998$$

3.5. Розрахунок надійності інформаційної та керуючої функції для контуру регулювання розрідження

Структурні схеми інформаційної та керуючої функції для контуру регулювання розрідження наведені на рис. 3.3.

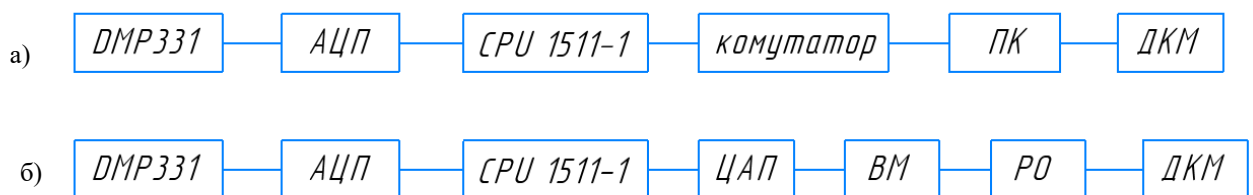


Рис. 0.3 Структурні схеми функцій: а) інформаційної з використанням робочої станції; б) керуючої

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов для інформаційної функції.

$$\lambda = \frac{(11.42 + 1 + 1 + 28.57 + 28.57 + 11.43)}{6} \cdot 10^{-6} = 13.6 \cdot 10^{-6}$$

Розрахуємо середнє напрацювання на відмову для інформаційної функції.

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{(11.42 + 1 + 1 + 28.57 + 28.57 + 11.43) \cdot 10^{-6}} = 12196.6 \text{ год}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи протягом 1 місяця.

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{12196.6}} = 0.941$$

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов для керуючої функції.

$$\lambda = \frac{(11.42 + 1 + 1 + 1 + 7.7 + 6.7 + 11.43)}{7} \cdot 10^{-6} = 5.75 \cdot 10^{-6}$$

Розрахуємо середнє напрацювання на відмову для керуючої функції.

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{(11.42 + 1 + 1 + 1 + 7.7 + 6.7 + 11.43) \cdot 10^{-6}} = 24844.7 \text{ год}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи протягом 1 місяця.

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{24844.7}} = 0.97$$

Розрахуємо ймовірність відновлення працездатності, задавши середній час встановлення працездатності $T_{\text{в}} = 2$ год та допустимий час функціонування об'єкту при невиконанні керуючої функції $T_{\text{доп}} = 6$ год :

$$P_{\text{в}} = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_{\text{в}}}} = 1 - e^{-6/2} = 0,9502$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи з урахуванням відновлення відмовної функції:

$$P_{\text{від}}(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau))P_{\text{в}} = 0,97 + (1 - 0,97) \cdot 0,9502 = 0,998$$

3.6. Розрахунок надійності сигналізації

Структурні схеми функції сигналізації наведені на рис. 3.4.

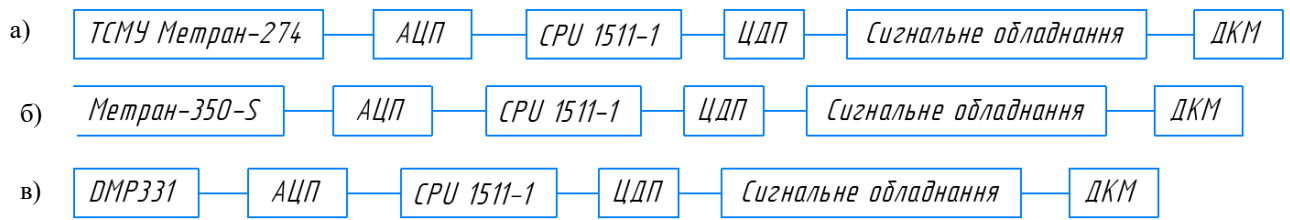


Рис. 0.4 Структурні схеми сигналізації для: а) контуру регулювання температури прямої води; б) контуру регулювання витрати повітря; в) контуру регулювання розрідження

Розрахуємо середнє напрацювання на відмову, ймовірність безвідмовної роботи протягом 1 місяця, коефіцієнт готовності та ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі для функції сигналізації контуру регулювання температури прямої води.

$$\lambda = \frac{(14.29 + 1 + 1 + 1 + 25 + 11.43)}{6} \cdot 10^{-6} = 8.95 \cdot 10^{-6}$$

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{(14.29 + 1 + 1 + 1 + 25 + 11.43) \cdot 10^{-6}} = 18615 \text{ год}$$

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{18615}} = 0.96$$

$$P_B = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_B}} = 1 - e^{-6/2} = 0.9502$$

$$P_{\text{від}}(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau))P_B = 0.96 + (1 - 0.96) \cdot 0.9502 = 0.998$$

$$K_{\text{гот}} = \frac{18615}{18615 + 2} = 0.9999$$

$$P_{\text{оч}}(\tau) = 0.9999 \cdot 0.96 = 0.959$$

Розрахуємо середнє напрацювання на відмову, ймовірність безвідмовної роботи протягом 1 місяця, коефіцієнт готовності та ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі для функції сигналізації контуру регулювання витрати повітря.

$$\lambda = \frac{(11.42 + 1 + 1 + 1 + 25 + 11.43)}{6} \cdot 10^{-6} = 8.475 \cdot 10^{-6}$$

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{(11.42 + 1 + 1 + 1 + 25 + 11.43) \cdot 10^{-6}} = 19665.7 \text{ год}$$

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{19665.7}} = 0.9634$$

$$P_B = 1 - e^{-\frac{T_{доп}}{T_B}} = 1 - e^{-6/2} = 0,9502$$

$$P_{від}(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau))P_B = 0,9634 + (1 - 0,9634) * 0,9502 = 0,998$$

$$K_{гот} = \frac{19665.7}{19665.7 + 2} = 0.9999$$

$$P_{оч}(\tau) = 0,9999 * 0,9634 = 0.963$$

Розрахуємо середнє напрацювання на відмову, ймовірність безвідмовної роботи протягом 1 місяця, коефіцієнт готовності та ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі для функції сигналізації для контуру регулювання розрідження.

$$\lambda = \frac{(11.42 + 1 + 1 + 1 + 25 + 11.43)}{6} \cdot 10^{-6} = 8.475 \cdot 10^{-6}$$

$$T_{сер} = \frac{1}{(11.42 + 1 + 1 + 1 + 25 + 11.43) * 10^{-6}} = 19665.7 \text{ год}$$

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{19665.7}} = 0.9634$$

$$P_B = 1 - e^{-\frac{T_{доп}}{T_B}} = 1 - e^{-6/2} = 0,9502$$

$$P_{від}(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau))P_B = 0,9634 + (1 - 0,9634) * 0,9502 = 0,998$$

$$K_{гот} = \frac{19665.7}{19665.7 + 2} = 0.9999$$

$$P_{оч}(\tau) = 0,9999 * 0,9634 = 0.963$$

Оскільки $K_{гот} = 0.9999 > K_{гот.зад.} = 0.998$, а також $T_{сер}$ по кожній функції більше, ніж задане 2000 год., то можна сказати, що показники надійності, розраховані вище, задовольняють вимогам, більш того, має місце значний запас надійності реалізації функцій.

3.7 Ідентифікація ТОУ та моделювання САР

З літературних джерел відомо, що передаточна функція об'єкта керування (далі ОК) має наступний вигляд:

$$W_{об} = \frac{0,5}{280 \cdot p + 1} e^{-50 \cdot p}$$

Модель об'єкта управління в середовищі Simlink має вигляд, показаний на рис.3.5:

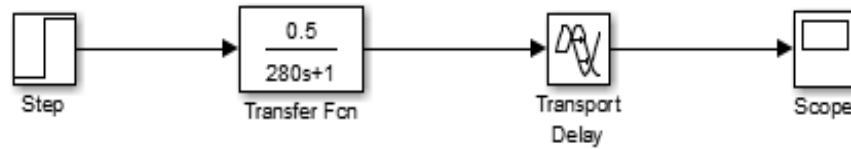


Рис.3.5 Модель об'єкта управління

Отримаємо перехідну характеристику змодельованого об'єкта в середовищі Matlab Simulink системи (рис.3.6).

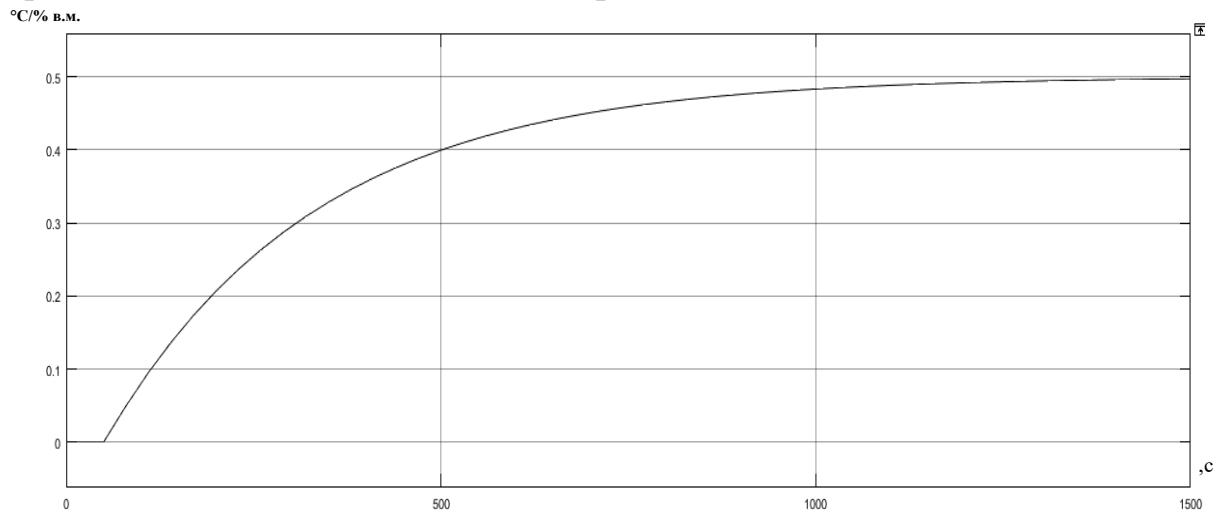


Рис 3.6 Перехідна характеристика об'єкта

Розрахунок регулятора

Передаточна функція об'єкта управління:

$$W_{об}(s) = \frac{0,5 \cdot e^{-50p}}{(280 \cdot p + 1)}$$

Передаточна функція збурення:

$$W_{\text{об}}(s) = \frac{0,3e^{-20p}}{(250p+1)}$$

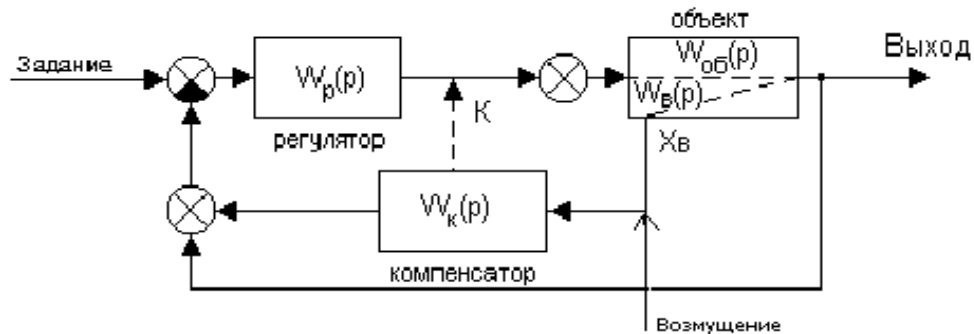


Рис 3.7 Система з компенсацією по збуренню

Компенсатором є реальна диференціююча ланка з передаточною функцією: $W_K(p) = \frac{K_D \cdot T_D \cdot p}{T_D \cdot p + 1}$.

Виконаємо розрахунок ПІ- регулятора. Знайдемо параметри регулятора з використанням методу РАФХ. Метод РАФХ забезпечує високу точність отриманих параметрів регулятора одноконтурних АСР з типовими законами регулювання. Виберемо перехідний процес з $\psi=0,9 \Rightarrow m=0,365$. Для побудови кривої заданого ступеня коливальності використаємо формули для ПІ- регулятора:

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

де $K_{II} = \frac{K_P}{T_{II}}$, $A_{об}(m, \omega) = \sqrt{P_{об}^2(m, \omega) + Q_{об}^2(m, \omega)}$

```
w=0:0.0001:0.03;
m=0.365;
s=w.*(j-m);
Wo=(0.5*exp(-50*s))./((280*s+1));
Re=real(Wo);
Im=imag(Wo);
Kp=-(m*Im+Re)./(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
```

```

plot(Kp,Ki);
xlabel('Kp');
ylabel('Ki=Kp/Ti');
grid on;

```

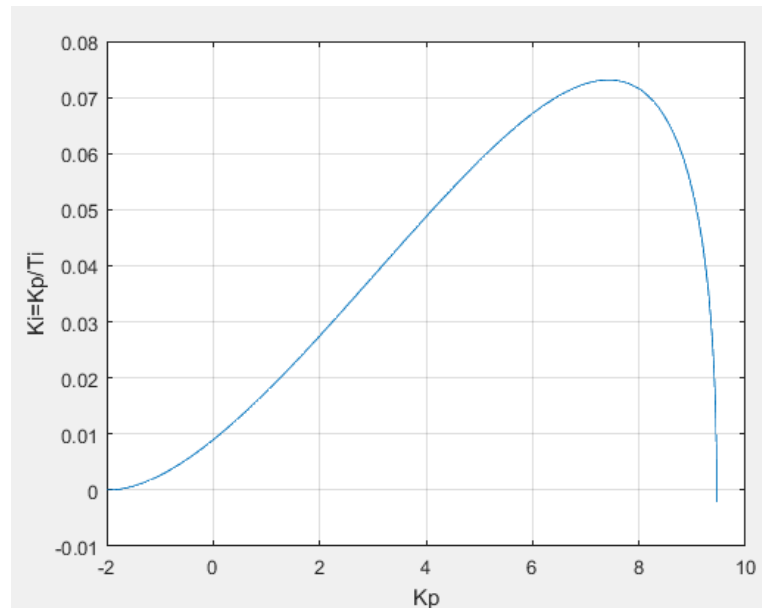


Рис.3.8 Крива заданого ступеня коливальності

Беремо точку на осі K_p при $K_i = 0,9$ і знаходимо настройки ПІ-регулятора

$$K_p = 8.4;$$

$$K_u = 0.0678;$$

$$T_u = 124.$$

Виконаємо розрахунок ПІ- регулятора. Знайдемо параметри регулятора з використанням інженерного методу для процесу з 20% перерегулюванням.

Так як у нас об'єкт с саморегулюванням, використаємо формули:

$$K_{II} = \frac{0.7 \cdot T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}} = \frac{0.7 \cdot 280}{0.5 \cdot 50} = 7.8,$$

$$T_{и} = 0.7 \cdot T_{об} = 0.7 \cdot 280 = 196.$$

Змодельюємо замкнуту систему зі знайденими настройками регуляторів

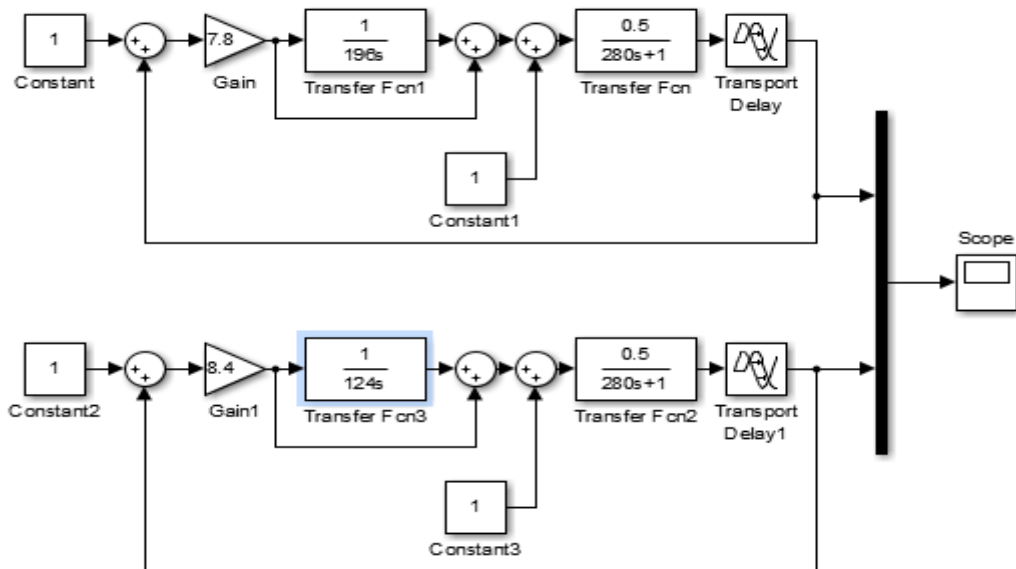
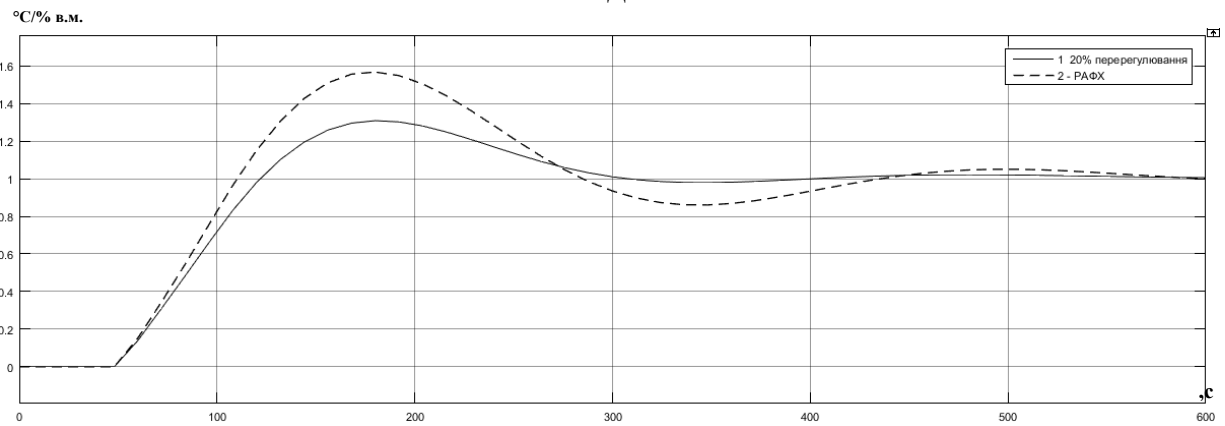
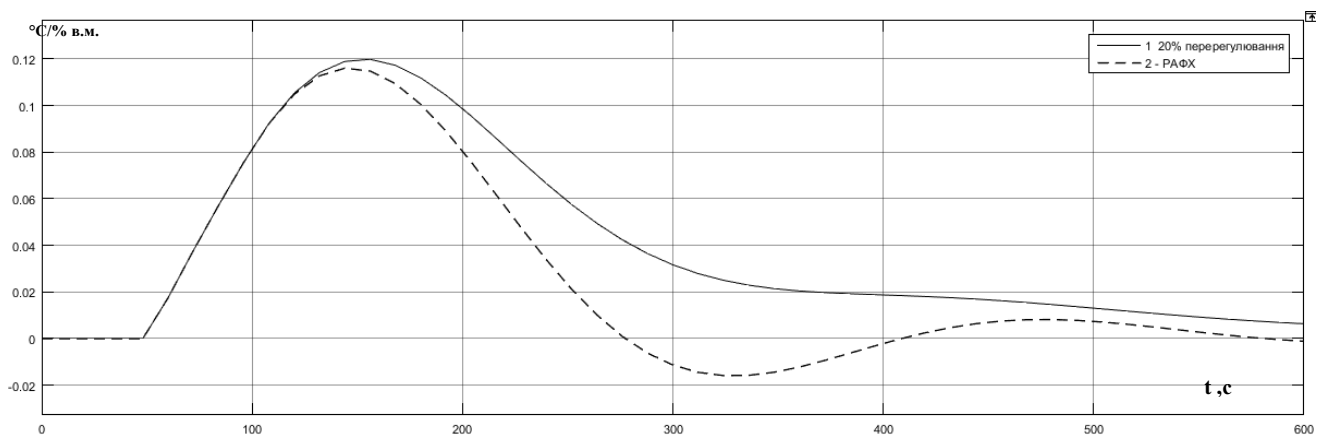


Рис 3.9 Модель в Matlab

Рис 3.10 Перехідний процес по каналу «завдання-вихід»
(1-метод РАФХ, 2-інженерний метод)Рис 3.11 Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»
(2-метод РАФХ, 1-інженерний метод)

Визначимо прямі показники якості роботи системи :

Таблиця 3.4

Показник якості	Інженерний метод «Завдання-вихід»	Інженерний метод «Збурення-вихід»	Метод РАФХ «Завдання-вихід»	Метод РАФХ «Збурення-вихід»
Статична похибка	0	0	0	0
Динамічне відхилення	0,307	0,12	0,57	0,116
Час регулювання	289	620	520	520
Степінь затухання	0,93	1	0,92	0,91
Перерегулювання, %	30,7	-	57	-

Очевидно, що по всім прямим показникам якості система з налаштуваннями регулятора отримана інженерним методом дала кращі перехідні характеристики, ніж метод РАФХ. По «завдання-вихід» інженерний метод показав менше динамічна відхилення, менший час регулювання та вищий ступінь затухання, по «збурення-вихід» показники по інженерному методу та методу РАФХ майже не відрізняються, час регулювання у РАФХ менший, але ступінь затухання у вищий у інженерного методу. Пріоритетним показником якості, по якому визначаємо кращий з методів є динамічне відхилення, де інженерний метод показав значно кращі результати Тому приймемо налаштування отримані інженерним методом як основні $K=7,8$ $T=196$.

Розрахунок компенсатора

Знайдемо резонансну частоту замкненої системи, для чого побудуємо її АЧХ:

$$W_{3C}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_{OB}(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{OB}(p)}$$

Текст програми:

```

w=0:0.0001:0.06;
p=i*w;
Wo=0.5*exp(-50.*p)/((280.*p+1));
Wp=7.8*(1+1./(196*p));
W=(Wp.*Wo)/(1+Wo.*Wp);
Re=real(W);
Im=imag(W);
A2=(Re.^2+Im.^2);
plot(w,A2);
xlabel('w');
ylabel('A(w)');
grid on;

```

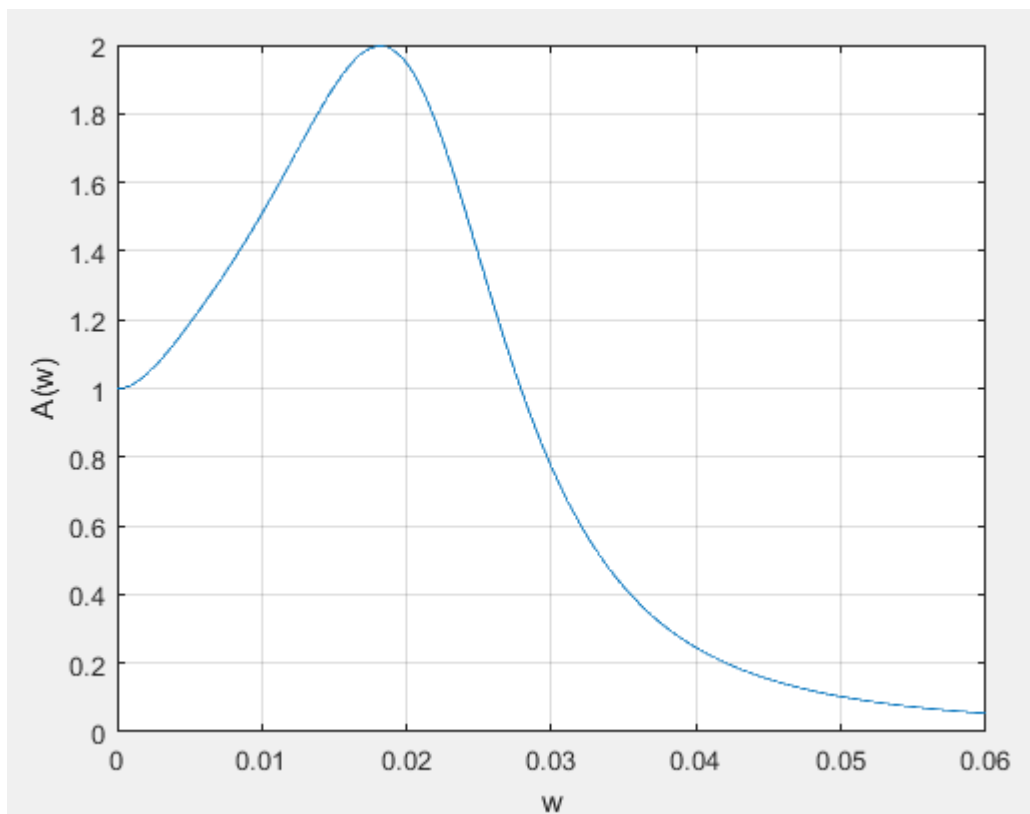


Рис 3.12 АЧХ замкненої системи

Резонансна частота ЗС $\omega_{рез} = 0,0182$

Побудуємо годограф ідеального компенсатора і визначимо точку на ньому при $\omega_{рез}$:

$$W_K(p) = \frac{W_B(p)}{W_P(p) \cdot W_{OB}(p)}, \text{ где } W_B(s) = \frac{0,3e^{-20p}}{(250p+1)}.$$

Текст програми:

```
w=0:0.0001:0.04;
p=i*w;
Wo=0.5*exp(-50*p)/((280.*p+1));
Wp=7.8*(1+1./(196*p));
Wz=0.3*exp(-20*p)/((250*p+1));
W=(Wz)/(Wo.*Wp);
Re=real(W);
Im=imag(W);
pp=i*0.0182;
Wop=0.5*exp(-50*pp)/((280*pp+1));
Wpp=7.8*(1+1./(196*pp));
Wzp=0.3*exp(-20*pp)/((250*pp+1));
Wwp=(Wzp)/(Wop.*Wpp);
Rep=real(Wwp);
Imp=imag(Wwp);
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im, '-k');
hold on;
plot(Rep,Imp,'rp');
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid on
```

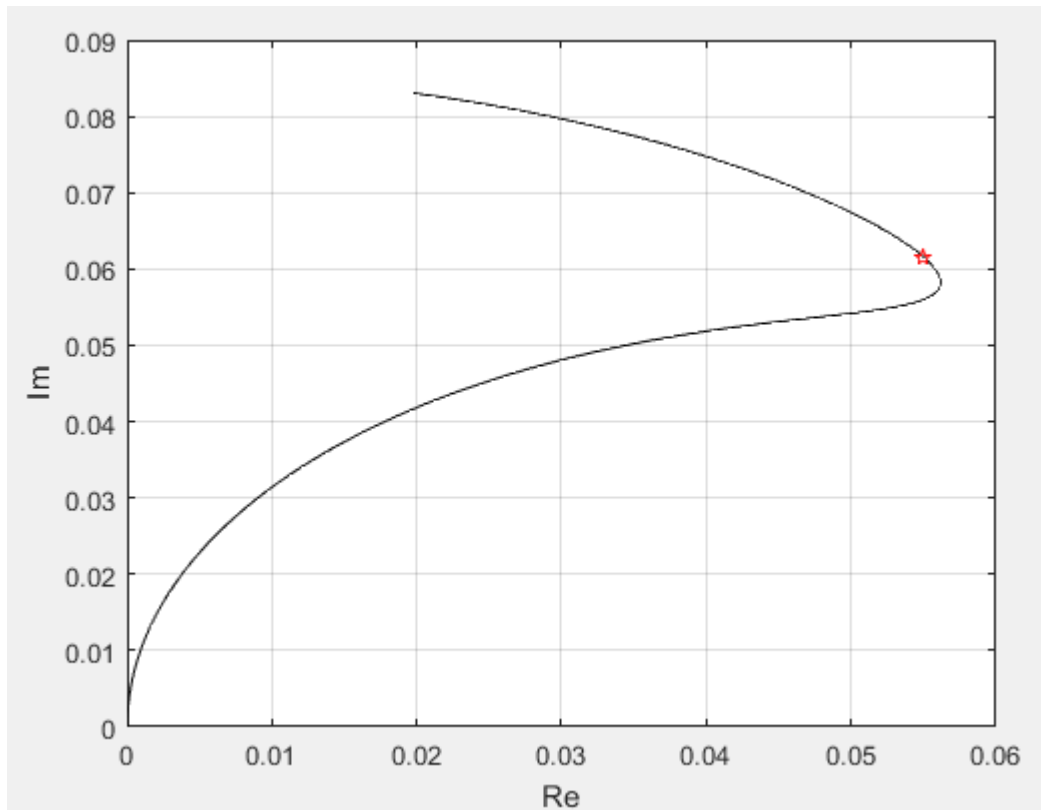


Рис 3.13 Годограф ідеального компенсатора

$$W_k(p) = \frac{\frac{0.3 \cdot e^{-20p}}{250p+1}}{7.8\left(1 + \frac{1}{196p}\right) \frac{0.5 \cdot e^{-50p}}{280p+1}} = \frac{16464p^2 + 58.8p}{191100p^2 + 1171p + 3.9} e^{30p}$$

Так як фізично неможливо реалізувати ланку з додатнім транспортним запізненням, то приймемо:

$$W_k(p) = \frac{16464p^2 + 58.8p}{191100p^2 + 1171p + 3.9}$$

Побудуємо перехідні характеристики САУ з ідеальним компенсатором по каналу «збурення-вихід»:

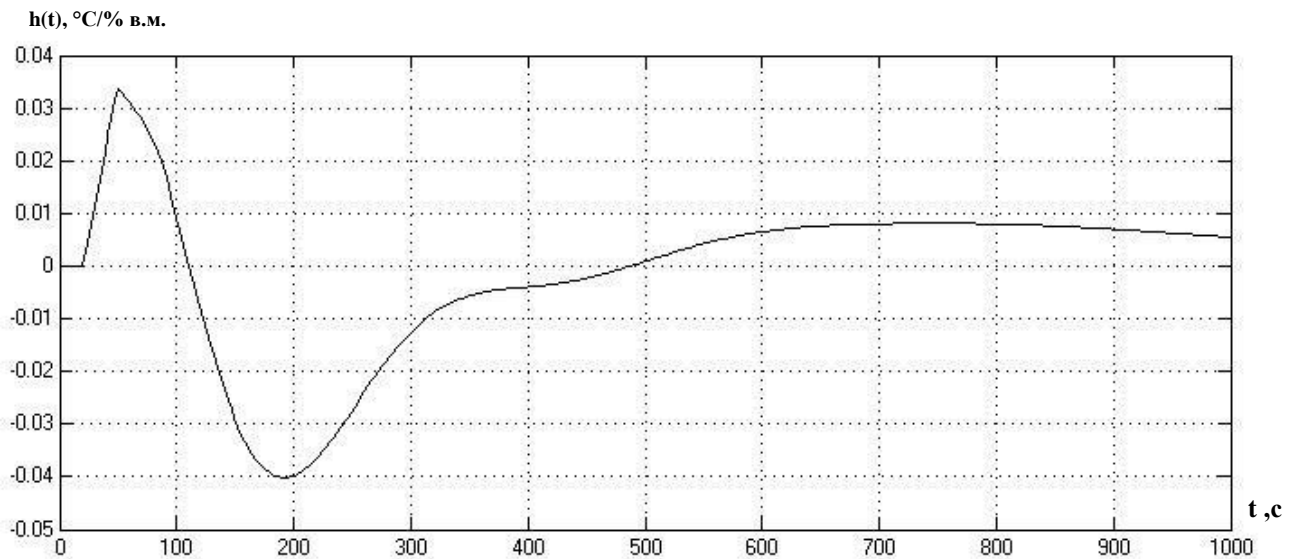


Рис.3.14 Перехідний процес з ідеальним компенсатором по каналу «збурення-вихід»

Апроксимація компенсатора РД ланки 1-го порядку:

```
w=0:0.0001:0.04;
p=i*w;
Wo=0.5*exp(-50*p)/((280*p+1));
Wp=7.8*(1+1./(196*p));
Wz=0.3*exp(-20*p)/((250*p+1));
W=(Wz)/(Wo.*Wp);
Re=real(W);
Im=imag(W);
pp=i*0.0182;
Wop=0.5*exp(-50*pp)/((280*pp+1));
Wpp=7.8*(1+1./(196*pp));
Wzp=0.3*exp(-20*pp)/((250*pp+1));
Wwp=(Wzp)/(Wop.*Wpp);
Rep=real(Wwp);
Imp=imag(Wwp);
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im, '-k');
hold on;
```

```

plot(Rep,Imp,'rp');
R=0.124/2;
x=0:0.0001:(R*2);
y=sqrt((R).^2-(x-R).^2);
T1=R; T2=0;
plot(x,y,'r--',Re,Im,Rep,Imp,'k*',T1,T2,'k*');
plot(x,y,'r--',Re,Im,Rep,Imp,'rp');
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid on;%

```

Тепер побудуємо годограф РД ланки(компенсатора) як півколо, яке проходить через точку годографа и початок координат :

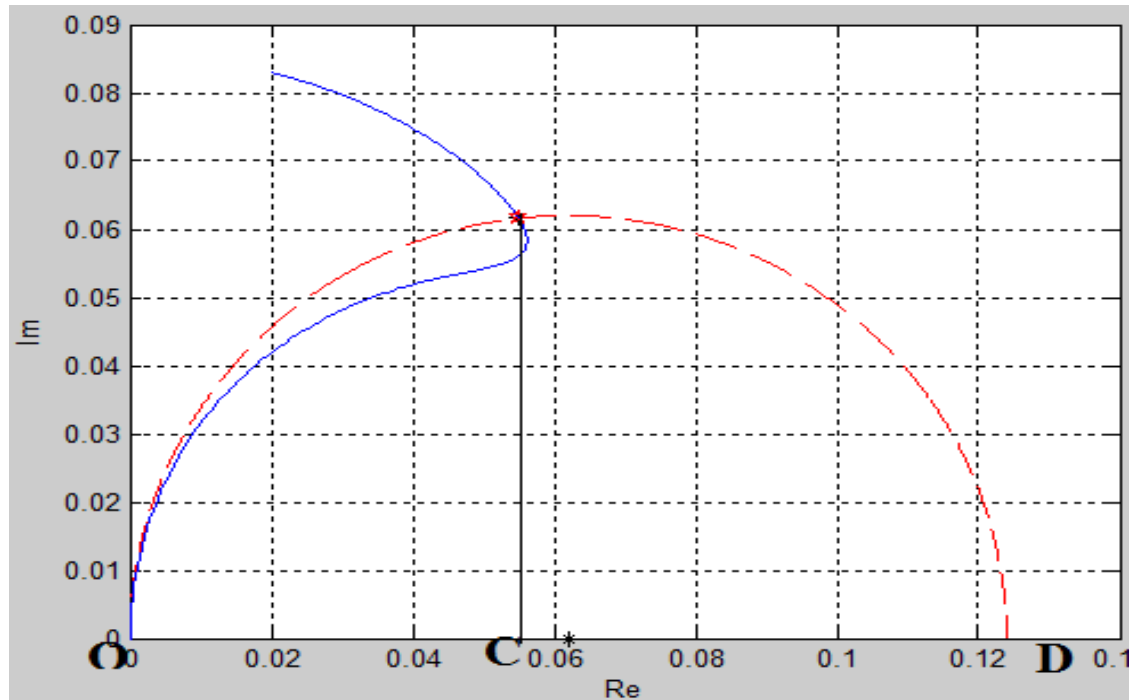


Рис.3.15 Годограф РДЗ.

$$T = \frac{1}{\omega_{рез}} \sqrt{\frac{|OC|}{|OD|}}$$

$$|OC| = 0.055$$

$$|OD| = 0.124$$

$$T = \frac{1}{0,0182} \sqrt{\frac{|0.055|}{|0.124|}} = 36;$$

$$K = |OD| = 0.124$$

Отримали передаточну функцію РД-ланки:

$$W_k(p) = 0.124 \frac{36p}{36p+1}$$

Дослідимо розраховану комбіновану систему з компенсатором:

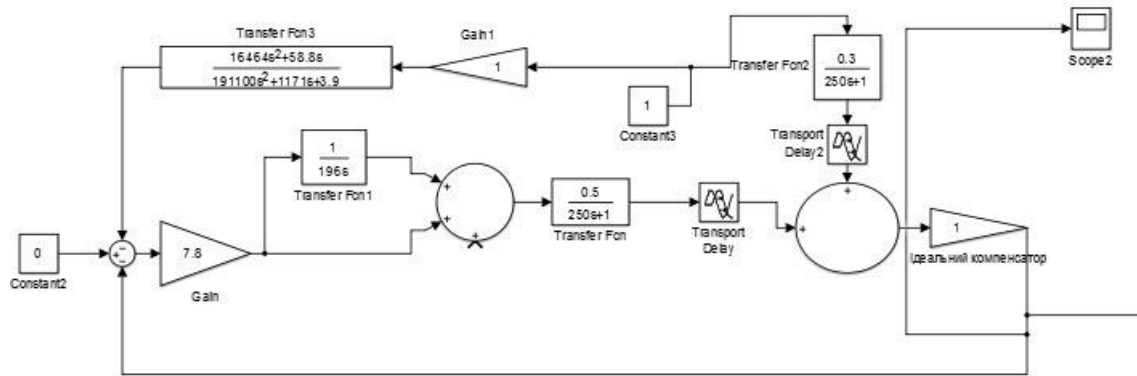


Рис.3.16 Модель системи з ідеальним компенсатором

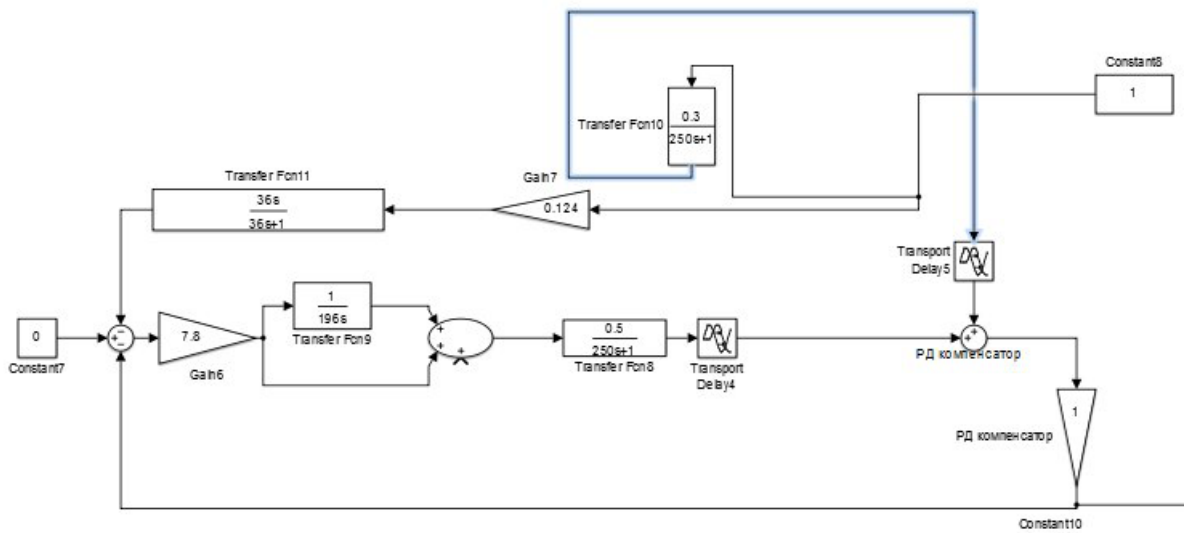


Рис.3.17 Модель системи з рд компенсатором

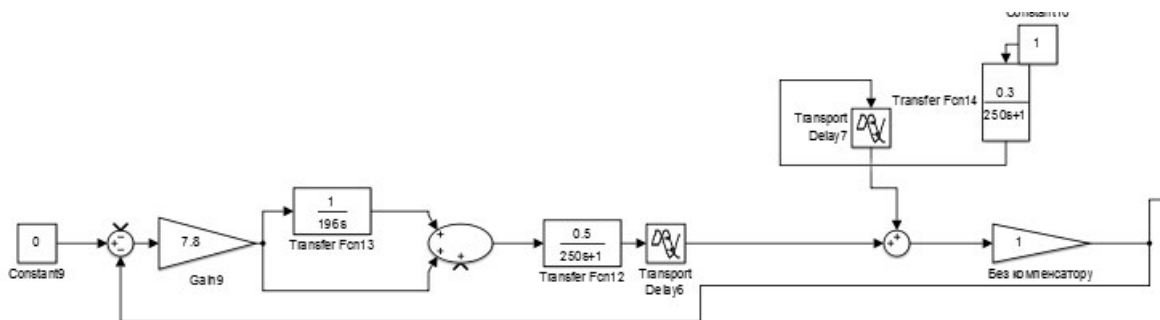


Рис.3.18 Модель системи без компенсатора

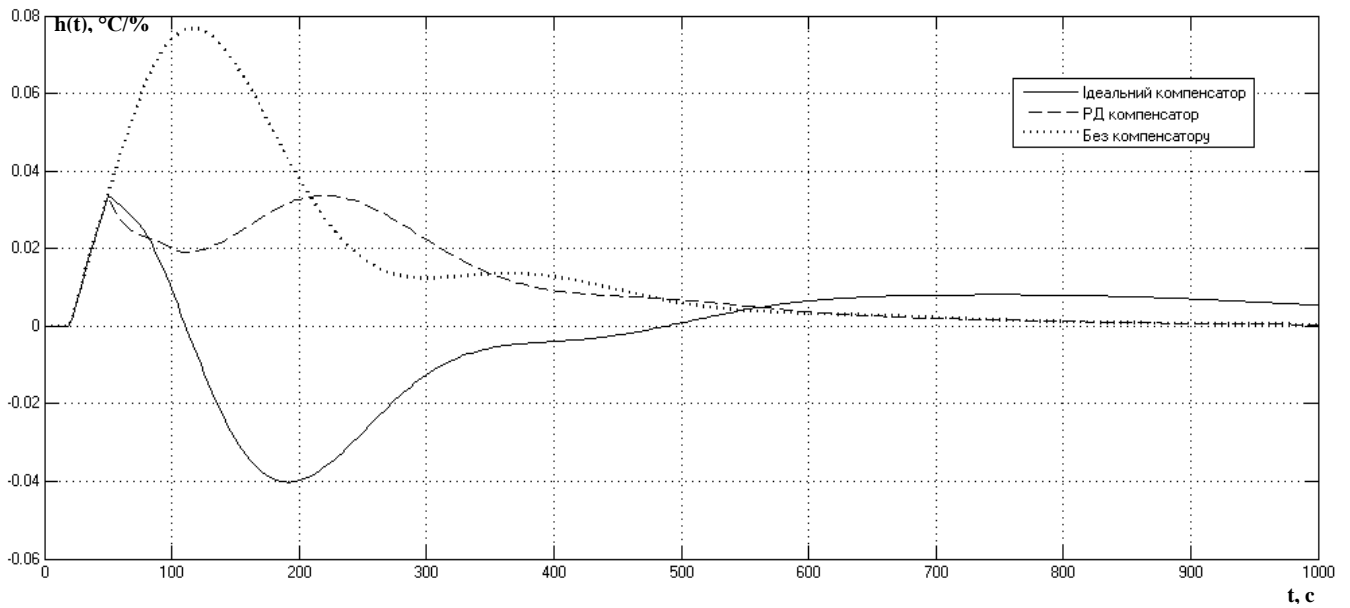


Рис.3.19 Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»

Таблиця 3.5

Показник якості	З ідеальним компенсатором	З РД компенсатором	Без компенсатора
Статична похибка	0	0	0
Динамічне відхилення	0,033	0,033	0,058
Час регулювання	802,5	703,1	854
Степінь затухання	1	1	1
Перерегулювання,%	125	-	-

Розрахунок розрідження

З літературних джерел відомо, що передаточна функція об'єкта керування (далі ОК) має наступний вигляд:

$$W_{об} = \frac{4.2e^{-20p}}{220p + 1}$$

Отримаємо перехідну характеристику змодельованого об'єкта в середовищі Matlab Simulink системи (рис.3.20).

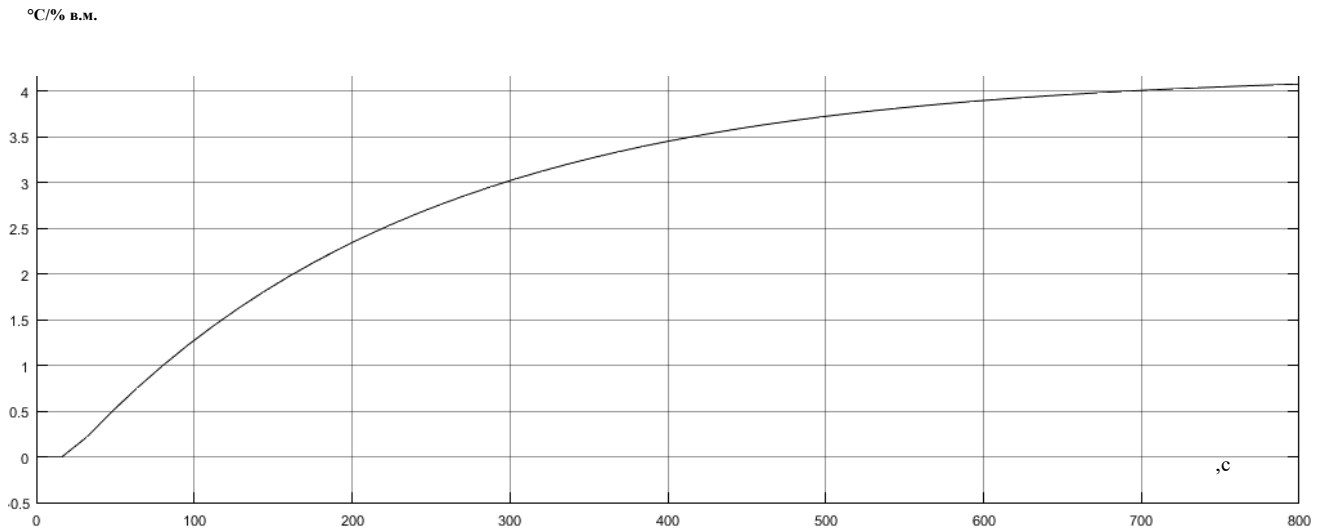


Рис 3.20 Перехідна характеристика об'єкта

Розрахунок регулятора

Передаточна функція об'єкта управління:

$$W_{об} = \frac{4.2e^{-20p}}{220p + 1}$$

Виконаємо розрахунок ПІ- регулятора. Знайдемо параметри регулятора з використанням методу РАФХ. Метод РАФХ забезпечує високу точність отриманих параметрів регулятора одноконтурних АСР з типовими законами регулювання. Виберемо перехідний процес з $\psi=0,9 \Rightarrow m=0,365$. Для побудови кривої заданого ступеня коливальності використаємо формули для ПІ- регулятора:

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

$$\text{де } K_{II} = \frac{K_P}{T_{II}}, \quad A_{об}(m, \omega) = \sqrt{P_{об}^2(m, \omega) + Q_{об}^2(m, \omega)}$$

w=0:0.0001:0.065;

m=0.365;

s=w.*(j-m);

Wo=(4.2*exp(-20*s))./((220*s+1));

```

Re=real(Wo);
Im=imag(Wo);
Kp=-(m*Im+Re)./(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki);
xlabel('Kp');
ylabel('Ki=Kp/Ti');
grid on;

```

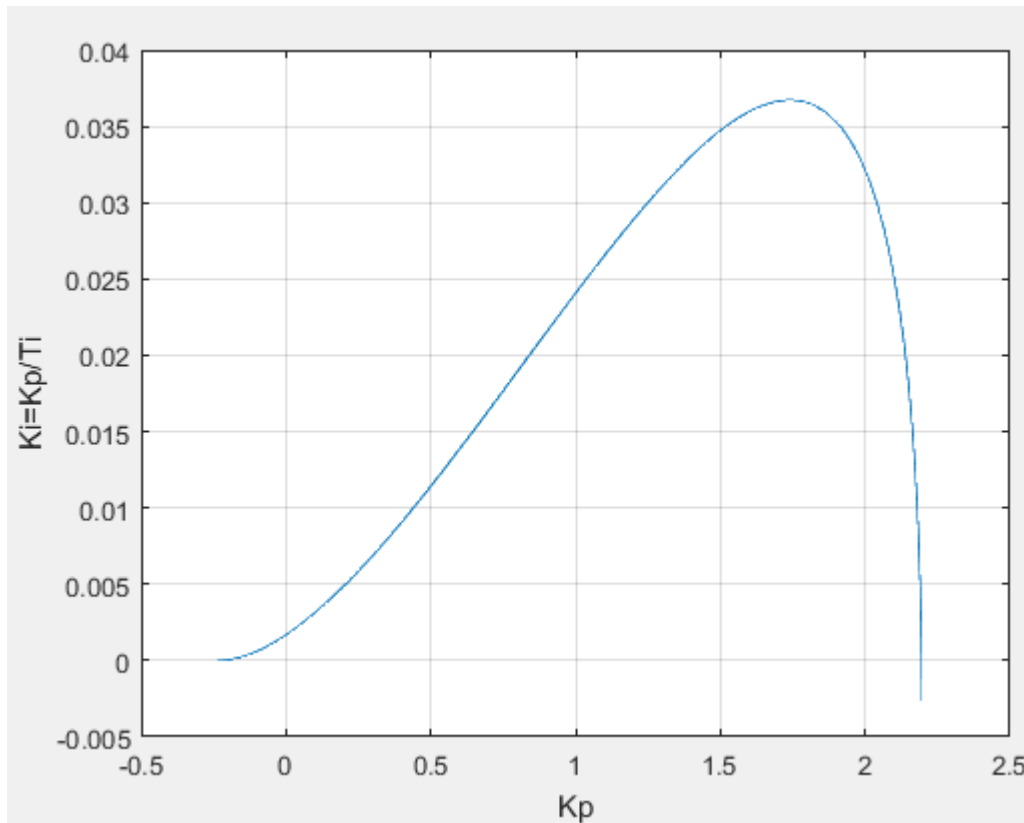


Рис.3.21 Крива заданого ступеня коливальності

Беремо точку на осі K_p при $K_i = 0,9$ і знаходимо настройки ПІ-регулятора

$$K_p = 1.92$$

$$K_u = 0.035$$

$$T_u = 54.85.$$

Виконаємо розрахунок ПІ- регулятора. Знайдемо параметри регулятора з використанням інженерного методу для процесу з 20% перерегулюванням.

Так як у нас об'єкт с саморегулюванням, використаємо формули:

$$K_P = 1,83$$

$$T_i = 0,7 * T_{об} = 0,7 * 220 = 154.$$

Змодельовано замкнуту систему зі знайденими настройками регуляторів

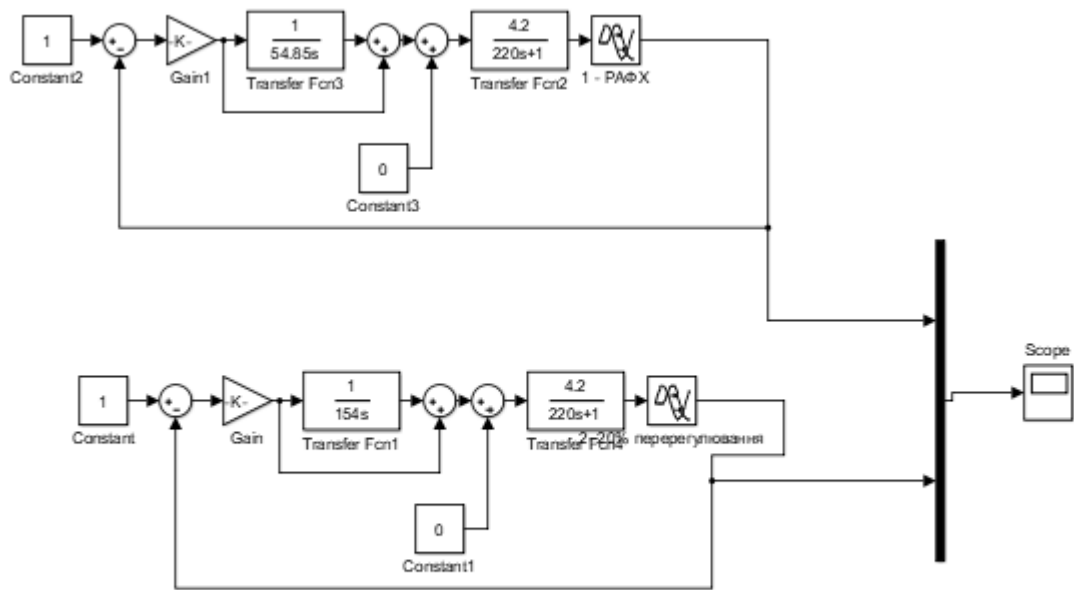


Рис 3.22 Модель в Matlab

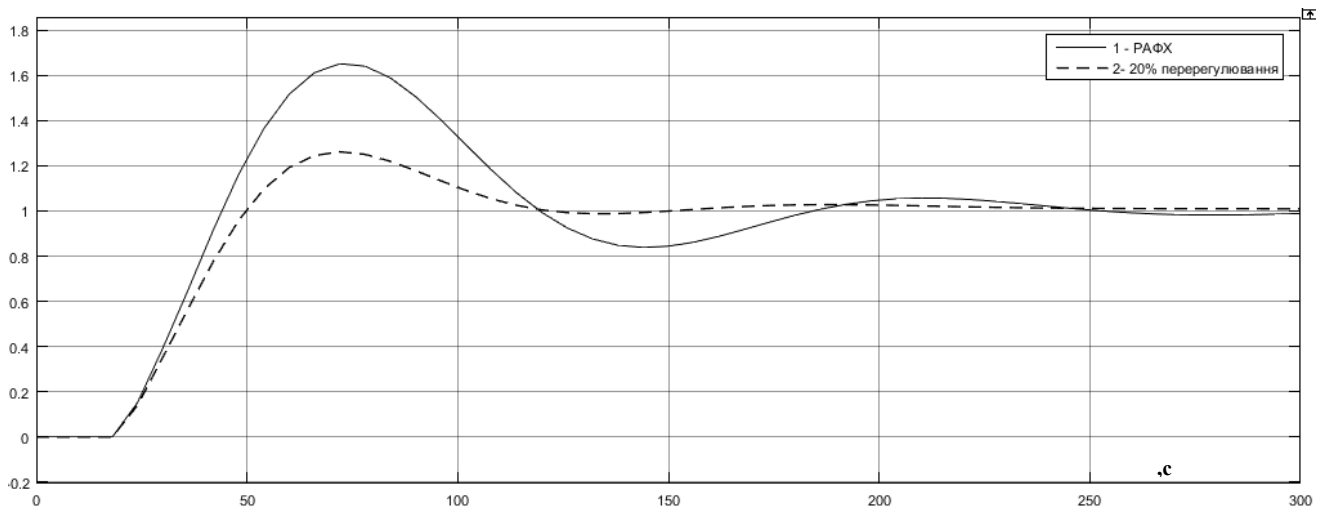


Рис 3.23 Перехідний процес по каналу «завдання-вихід»
(1-метод РАФХ, 2-інженерний метод)

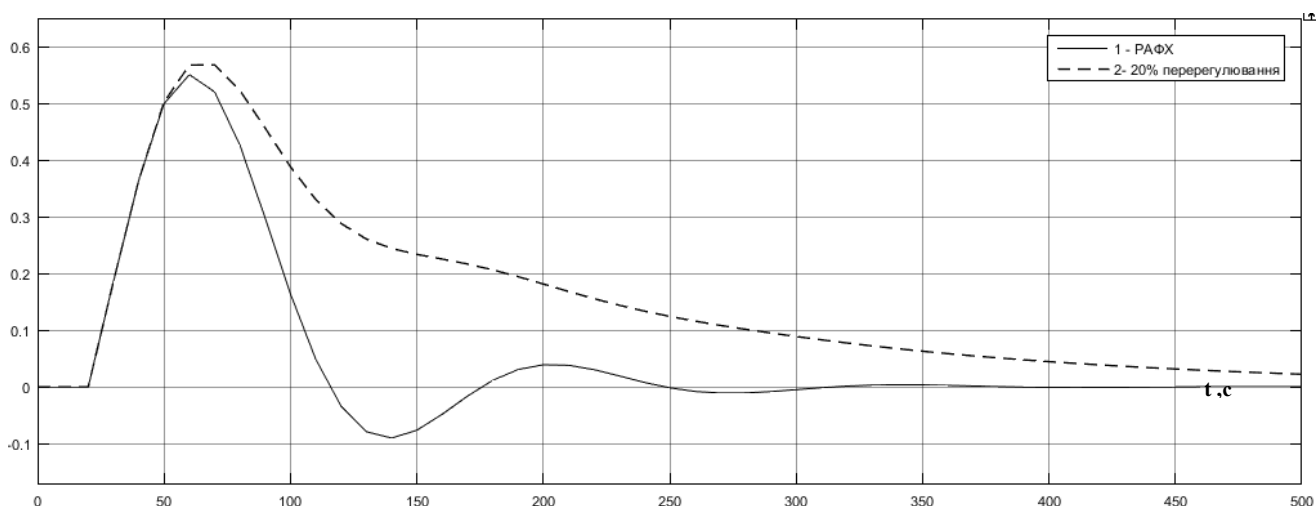


Рис 3.24 Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»
(1-метод РАФХ, 2-інженерний метод)

Визначимо прямі показники якості роботи системи :

Таблиця 3.6

Показник якості	Інженерний метод «Завдання-вихід»	Інженерний метод «Збурення-вихід»	Метод РАФХ «Завдання-вихід»	Метод РАФХ «Збурення-вихід»
Статична похибка	0	0	0	0
Динамічне відхилення	0,24	0,57	0,62	0,55
Час регулювання	123	220	176	423
Степінь затухання	0,95	1	0,84	0,79
Перерегулювання, %	24	62	62	-

Очевидно, що по всім прямим показникам якості система з налаштуваннями регулятора отримана інженерним методом дала кращі перехідні характеристики, ніж метод РАФХ. По «завдання-вихід» інженерний метод показав менше динамічна відхилення, менший час регулювання та вищий ступінь затухання, по «збурення-вихід» показники по інженерному методу та методу РАФХ майже не відрізняються, час регулювання у РАФХ

менший, але степiнь затухання у вищій у iнженерного методу. Прiоритетним показником якостi, по якому визначаемо кращий з методiв є динамiчне вiдхилення, де iнженерний метод показав значно кращi результати Тому приймемо налаштування отриманi iнженерним методом як основнi $K=7,8$ $T=196$.

3.8 Аналіз чутливості АСР

Під грубiстю одноконтурної САР розуміють малу чуттєвiсть критерію функціонування до варіацій параметрiв розiмкненої САР.

Для дослідження системи були зняті перехідні характеристики: при змінному $K_{об}$; при змінному $T_{об}$; при змінному τ_o - всi при оптимальних параметрах налагоджування. Варіації параметрiв проводились в дiапазоні 20%.

Дослідження будемо проводити по каналу збурення збоку РО – вихід, так як оптимальні параметри регулятора розраховувались саме для цього каналу. Отримані перехідні процеси приведені нижче на рисунках:

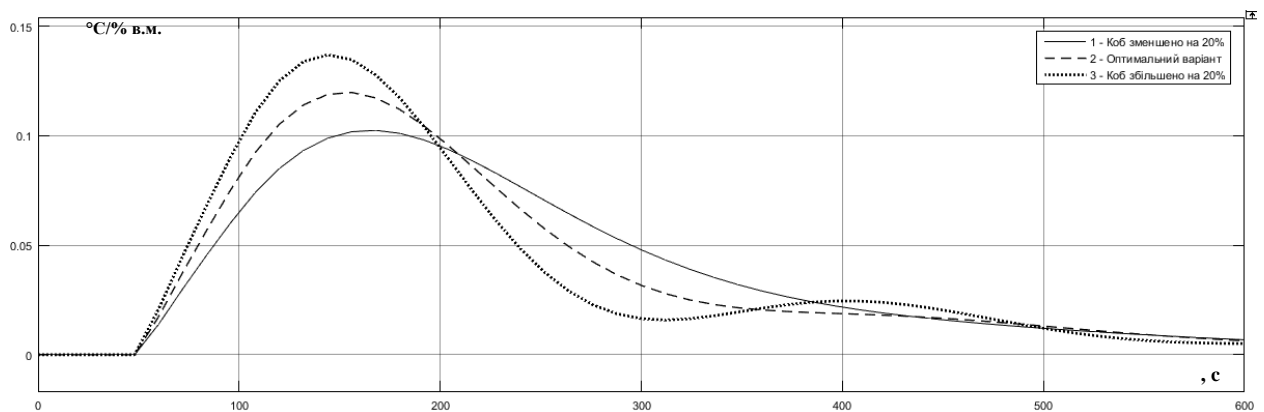


Рисунок 3.25 Перехідні процеси у замкненій АСР при оптимальних параметрах настроювання регулятора, але при різних значеннях $K_{об}$

($T_{об}$ та τ_o сталі). $K3=0,4$; $K2=0,5$; $K1=0,6$.

Зобразимо перехідний процес у замкненій САР при зміні параметру $T_{об}$

°C/% в.м.

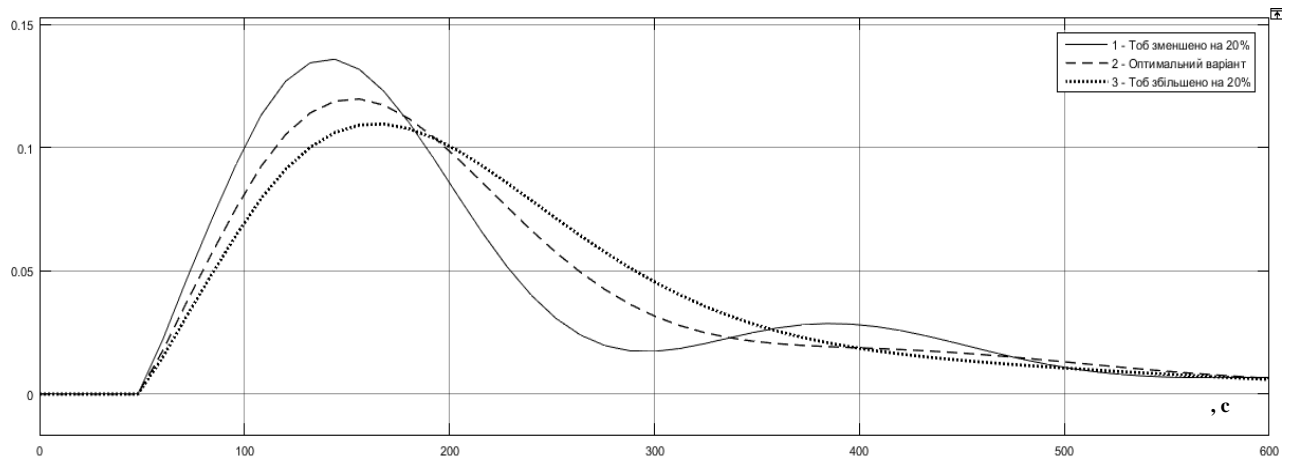


Рисунок 3.26 Перехідні процеси у замкненій АСР при оптимальних параметрах настроювання регулятора, але при різних значеннях $T_{об}$

$$T_1=222, T_2=280, T_3=332$$

Зобразимо перехідний процес у замкненій САР при зміні параметру τ_o

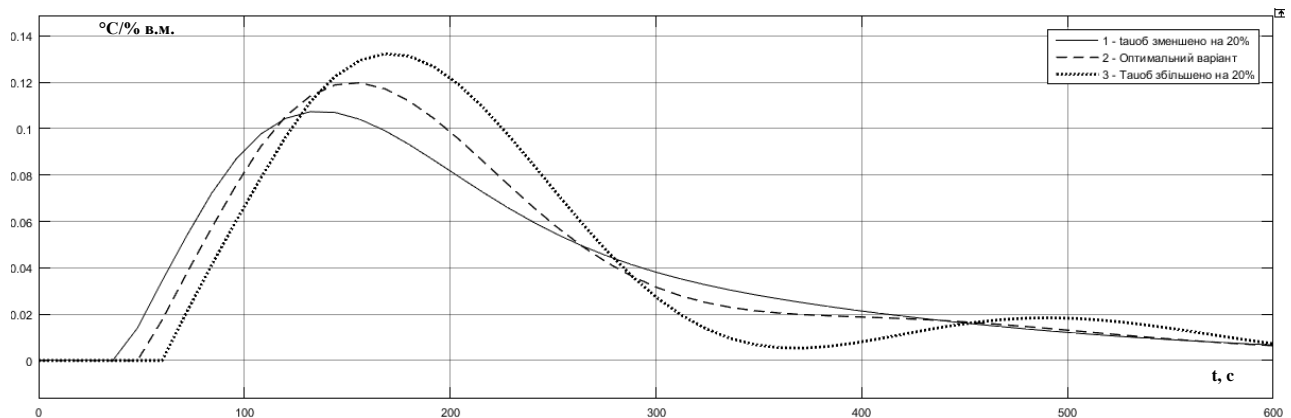


Рисунок 3.27 Перехідні процеси у замкненій АСР при оптимальних параметрах настроювання регулятора, але при різних значеннях τ_o

$$\tau_1 = 60; \tau_2 = 50; \tau_3 = 40$$

Коефіцієнти, які відповідають цим процесам приведені у таблиці 3.7:

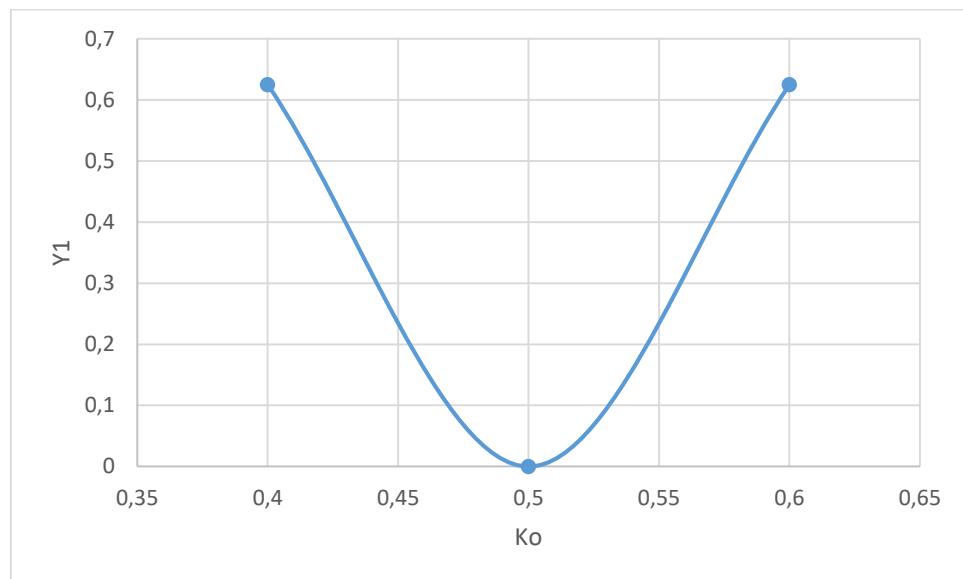
Таблиця 3.7

$k_{об}$	$T_{об}, c$	τ_o, c	Y_1	t_p, c
0,4	280	50	0,105	635
0,5	280	50	0,12	620

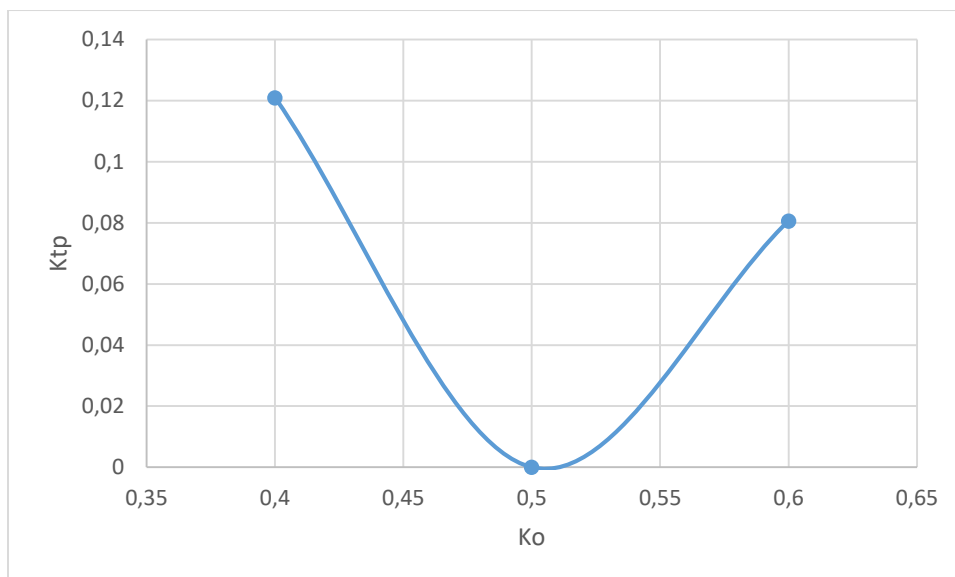
0,6	280	50	0,135	610
0,5	222	50	0,131	622
0,5	280	50	0,12	620
0,5	332	50	0,11	610
0,5	280	40	0,109	623
0,5	280	50	0,12	620
0,5	280	60	0,135	630

За отриманими даними можна побудувати функції чутливості, які зображені на рисунку 3.28. нижче:

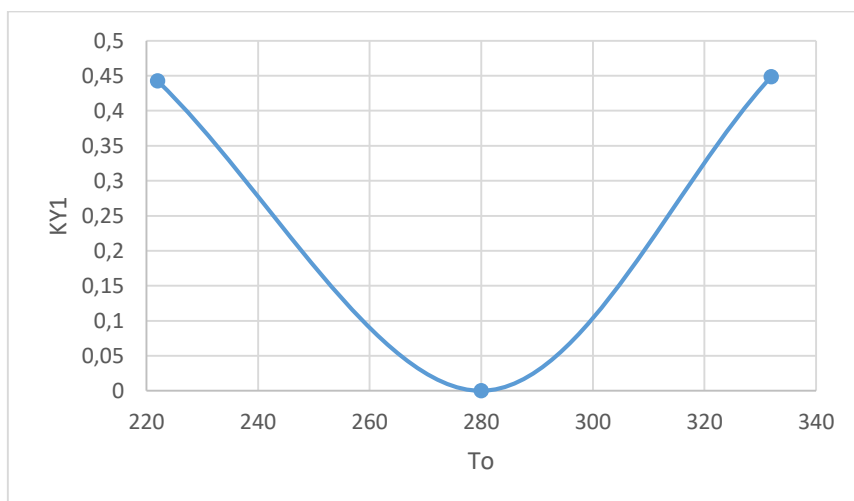
а)



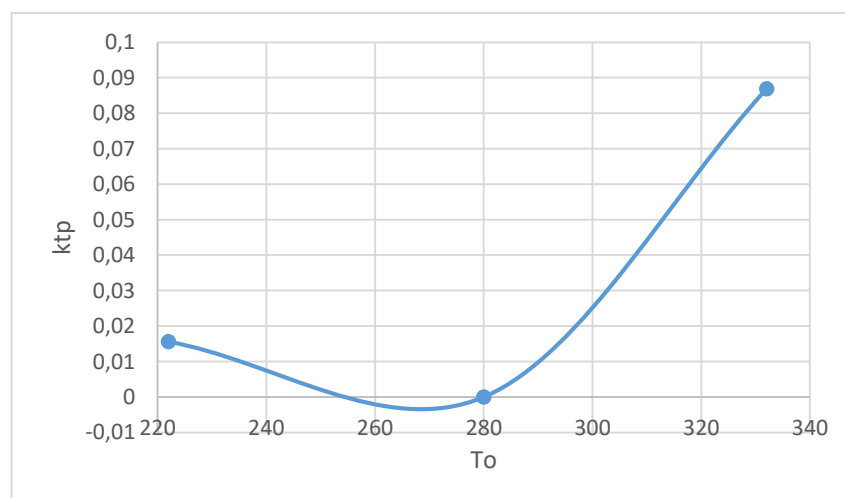
б)



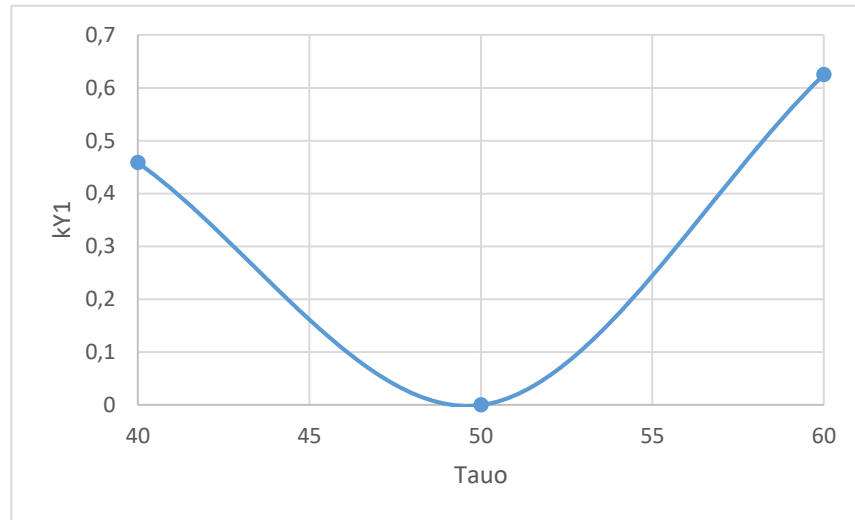
B)



Г)



д)



е)

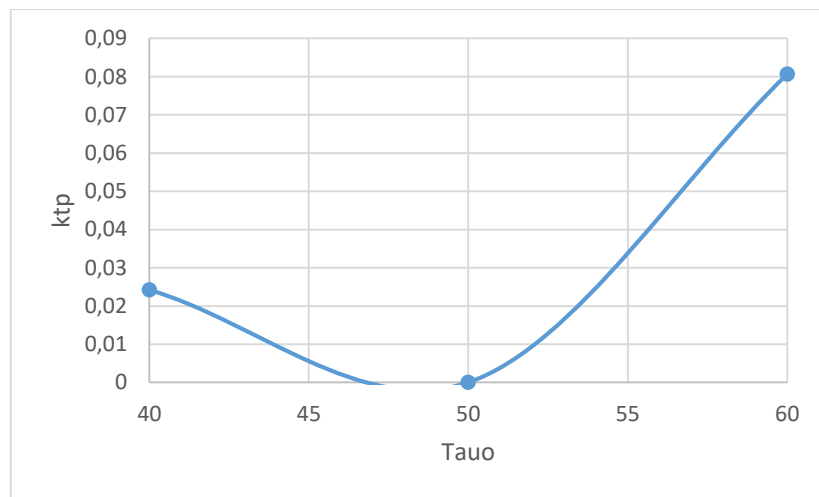


Рисунок 3.28 Функції чутливості, що будувались для критеріїв якості динамічного викиду та тривалості регулювання:

- а),б) при змінному коефіцієнті пропорційності об'єкту;
- в),г) при змінній сталій часу об'єкту;
- д),е) при змінному запізненні в об'єкті.

Розрахуємо далі відносні коефіцієнти чутливості за наступною формулою:

$$k_z = \frac{\left| \frac{R - R^{opt}}{R^{opt}} \right|}{\left| \frac{Z - Z^{opt}}{Z^{opt}} \right|}$$

де k_z - відносний коефіцієнт чутливості для змінного параметра Z ; Z - поточне значення параметра; Z^{opt} - оптимальне значення параметру; R, R^{opt} - відповідно поточне значення критерію якості та значення при оптимальних параметрах.

По Коб:

Коб	Тоб	tau	Y1	tp	kY1	Ktp
0,4	280	50	0,105	635	0,625	0,121
0,5	280	50	0,12	620	0	0
0,6	280	50	0,135	610	0,625	0,0806
0,5	222	50	0,131	622	0,4425	0,0156
0,5	280	50	0,12	620	0	0
0,5	332	50	0,11	610	0,4487	0,0868
0,5	280	40	0,109	623	0,4583	0,0242
0,5	280	50	0,12	620	0	0
0,5	280	60	0,135	630	0,625	0,0806

Висновок: за отриманими в цьому розділі даними можна зробити наступні висновки:

1. По параметру τ система не є нечутливою, оскільки, коефіцієнт чутливості близький до одиниці. За параметрами Коб, Тоб система є малочутливою, але при цьому всі прямі показники якості залишаються в заданих діапазонах і з цієї точки зору систему можна вважати такою, що не потребує додаткової адаптації.

2. Розраховані за інженерними методиками параметри регулятора $K_p=7,8$ $T_p=196$ задовольнили висунутим вимогам до якості перехідних процесів;

3. В якості компенсатора була обрана РД ланка із-передаточною функцією $W_k(p) = 0.124 \frac{36p}{36p+1}$. Саме при ній були отримані перехідні процеси з найкращими прямими показниками якості.

3.9 Опис програмно-технічних рішень локального рівня ПТКЗА

3.9.1. Порядок програмування контролера та обмін даними з верхнім рівнем автоматизації

Основою нижнього рівня системи автоматизації є контролер Siemens S7-1500. Для програмування контролера використовується система програмування TIA Portal V14.

Програмування контролера здійснюється наступними етапами:

1. Запуск TIA Portal та створення нового проекту

Необхідно відкрити програму TIA Portal V14 та обрати пункт меню «Create new project». Після вибору назви проекту та місця його розташування необхідно додати конфігурацію пристрою. Для цього необхідно обрати пункт меню «Configure a device», потім «Add new device». Із запропонованих варіантів обрати потрібний контролер, додати до нього необхідні модулі вводу/виводу та відконфігурувати адреси їх входів та виходів.

2. Реалізація необхідних функцій із використанням стандартних засобів та бібліотек.

3. Завантаження та відладка програми

Для відладки програми без контролера можна скористуватись вбудованим симулятором. Для цього на панелі інструментів необхідно обрати пункт «Start simulation». Для завантаження програми до контролера необхідно обрати пункт «Download to device» на панелі інструментів, знайти необхідний контролер та завантажити на нього програму.

3.9.2. Порядок реалізації функції нижнього рівня системи автоматизації

3.9.2.1. Реалізація регулювання температури прямої води

- значення температури води на виході з котла вимірюється датчиком температури ТСМУ Метран-274 з уніфікованим струмовим сигналом 4...20 мА.
- струмовий сигнал передається на вхід модуля аналогового вводу 6ES7531-7KF00-0AB0;
- модуль АЦП передає значення сигналу на CPU 1511;
- в контролері реалізована схема регулювання температури прямої води з корекцією по температурі зворотної води за рахунок зміни витрати газу. Регулятор сприймає зміну температури зворотної води і відпрацьовує збурення;
- з контролера сигнал надходить до виконавчого механізму і обертає вихідний вал в необхідну сторону, змінюючи цим самим положення регулюючого органу, що впливає на подачу палива.

3.9.2.2. Реалізація регулювання витрати повітря

- значення витрати повітря вимірюється витратоміром Метран-350-S з уніфікованим струмовим сигналом 4...20 мА;
- струмовий сигнал передається на вхід модуля аналогового вводу 6ES7531-7KF00-0AB0;
- модуль АЦП передає значення сигналу на CPU 1511;
- за цим сигналом за допомогою алгоритму регулювання визначається величина необхідного сигналу керування. З контролера сформований сигнал надходить до виконавчого механізму і обертає вихідний вал в необхідну сторону, змінюючи цим самим положення регулюючого органу, що впливає на витрату повітря.

3.9.3. Реалізація регулювання розрідження

- розрідження в топці від перетворювача DMP331-110 за сигналом 4...20мА надходить на вхід модуля аналогового вводу 6ES7531-7KF00-0AB0;
- модуль АЦП передає значення сигналу на CPU 1511;
- в контролері реалізована одноконтурна схема керування, регулятор – ПІ-регулятор;
- контролер по системній шині передає значення на модуль ЦАП 6ES7532-5HF00-0AB0;
- сформований сигнал надходить до виконавчого механізму і обертає вихідний вал в необхідну сторону, змінюючи цим самим положення регулюючого органу, що впливає на тиск розрідження.

3.9.2.3. Порядок реалізації ручного керування процесом

Реалізація ручного керування процесом здійснюється з використанням НМІ-панелі CP 310T HLC F, де присутнє вікно перемикачів між ручним та автоматичним режимами з можливістю задавати керуюче значення для виконавчого механізму.

3.10 Опис програмно-технічних рішень супервізорного рівня ПТКЗА

3.10.1. Порядок створення SCADA-програми, взаємодія з нижнім рівнем автоматизації

Основою супервізорного рівня системи автоматизації є SCADA-система. SCADA-система в даній роботі реалізує відображення мнемосхеми технологічного процесу та значень технологічних параметрів, виконує архівацію всіх технологічних параметрів, реєстрацію спрацювання технологічної сигналізації, відображає у вигляді графіків технологічні параметри із архіву і параметри в реальному часі, обмін даними з контролером.

Створення даної системи виконується за допомогою системи програмування TIA Portal V14.

Для створення SCADA-системи необхідно створити новий проект, додати до проекту робочу станцію та налаштувати її зв'язок з контролером.

Після цього необхідно реалізувати весь необхідний функціонал даної системи.

Для відладки SCADA-системи можна скористатись режимом симуляції.

3.10.2. Реалізація функцій верхнього рівня ПТКЗА

SCADA-система в даній роботі реалізовує такі функції:

–обмін даними з нижнім рівнем ПТКЗА;

–наглядне відображення роботи технологічного об'єкту у вікні мнемосхеми із значеннями технологічних параметрів та можливістю ручного керування об'єктом;

–відображення трендів та фіксування тривог у відповідних вікнах, що забезпечують відслідковування та сповіщення про недопустимі значення технологічних параметрів.

Перераховані функції забезпечують повноцінне функціонування SCADA-програми в рамках верхнього рівня ПТКЗА, оскільки забезпечують повне інформаційне забезпечення оператора про стан технологічного процесу та реалізують відповідні можливості дистанційної взаємодії оператора з технологічним об'єктом.

3.10.3. Реалізація ручного керування технологічним процесом за допомогою SCADA-програми

В SCADA-системі ручне керування технологічним процесом виконується в окремому вікні, де перехід між автоматичним та ручним режимом виконується за допомогою кнопок Автоматичний/Ручний.

Ручне керування технологічним процесом реалізовано у якості зміни завдання регульованих параметрів та можливістю задавати керуюче значення для виконавчого механізму.

3.10.3. Опис ПЗ супервізорного рівня ПТКЗА

Програмне забезпечення супервізорного рівня представлено у вигляді SCADA-програми. Вона включає в себе наступні вікна: Мнемо (рис. 3.29), Manual (рис. 3.30), Alarms (рис. 3.31), Trends (рис. 3.32). На кожному з вікон присутні кнопки для переходу на інші вікна.

У вікні мнемосхеми знаходяться показники с датчиків, положення ВМ, є можливість вказання завдання температури прямої води, витрати повітря и тиску розрідження. Також присутнє вікно алармів для своєчасної проінформованості щодо алармів (при кліку на це вікно відбувається перехід на вікно алармів для повної інформації).

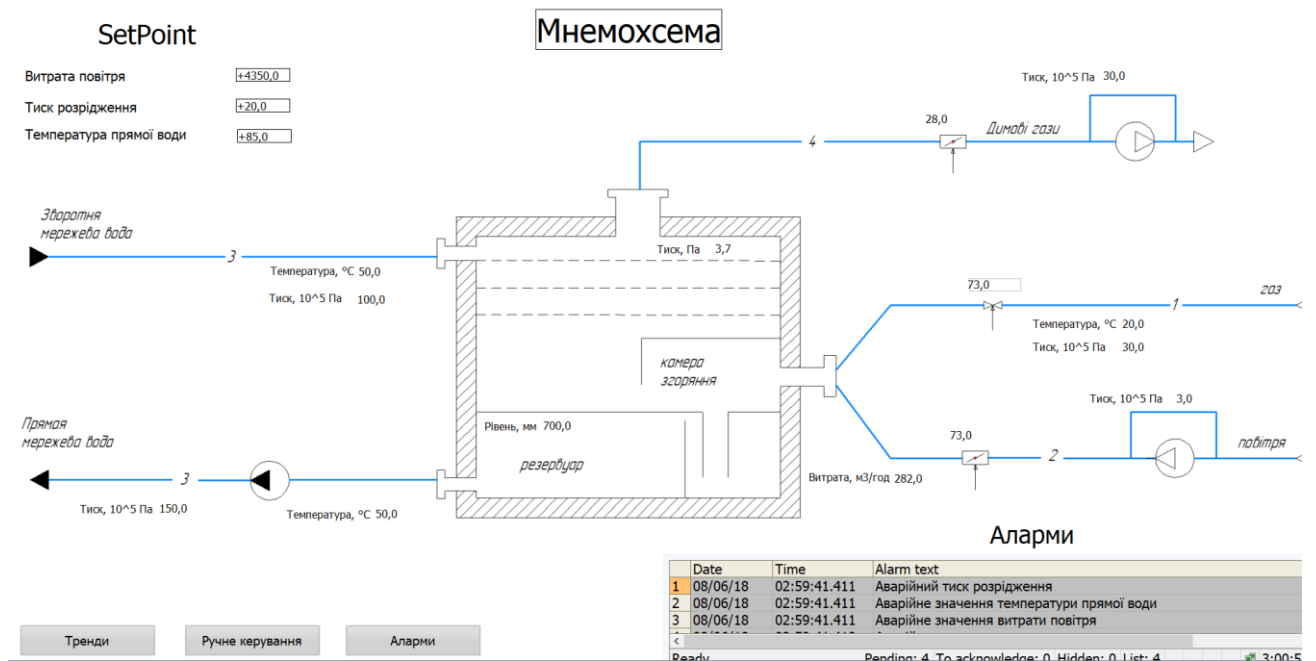


Рис. 3.29 Вікно мнемохсеми

У вікні ручного керування є можливість увімкнення ручного керування положенням ВМ. Також виводиться поточне значення положення ВМ і значення параметру.



Рис. 3.30 Вікно ручного керування

У вікні алармів виводиться інформація як про поточні тривоги, так і про історичні тривоги, де можна квітувати аларми.

	Date	Time	Alarm text
1	08/06/18	03:05:33.509	Аварійне значення витрати повітря
2	08/06/18	02:59:41.410	Аварійне значення тиску газу
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			

Ready Pending: 2 To acknowledge: 1 Hidden: 0 List: 2 3:06:35 AM

Мнемосхема Тренди Ручне керування

Рис. 3.31 Вікно алармів

У вікні трендів знаходяться графіки зміни значень параметрів.

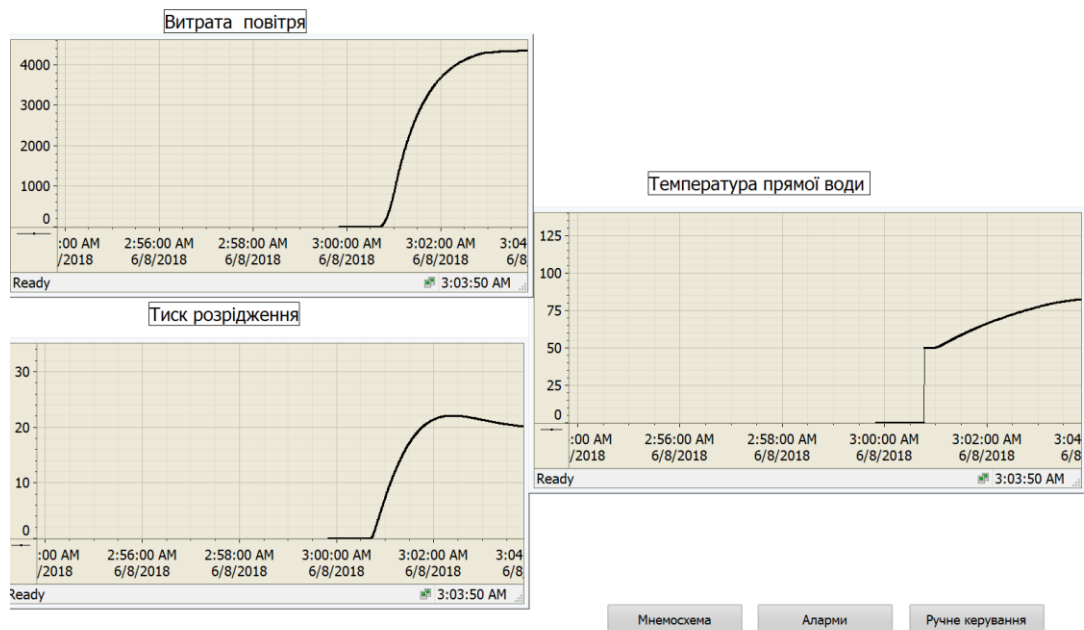


Рис. 3.32 Вікно трендів

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою роботи є створення комплексної системи автоматизації виробництва, серед задач якої є також поліпшення умови праці робітників.

АСУТП контактного водонагрівача містить наступні прилади: перетворювачі температури з уніфікованим вихідним сигналом, датчики тиску з уніфікованим сигналом, датчик розрідження, датчики втрати, програмований логічний контролер Siemens s7-1500, модулі вводу-виводу, виконавчі механізми, датчики рівня.

У даному розділі дипломного проекту запропоновані технічні рішення та організаційні заходи щодо безпечної експлуатації засобів автоматизації (програмно-логічних контролерів, датчиків, виконавчих пристроїв та засобів людино-машинного інтерфейсу), технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії, а також визначені основні заходи з безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуацій

4.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації

4.1.1 Засоби автоматизації, що розміщені на робочих місцях

Планування виробничих приміщень повністю задовольняє вимогам.

Виробничі приміщення з постійним перебуванням персоналу мають висоту від полу до низу виступаючих конструкцій 3,2 м, в місцях з непостійним перебуванням персоналу – 2,2 м.

До кожного з механізмів, а також до арматури та датчиків забезпечується безпечний безперешкодний доступ для обслуговування завдяки улаштуванню площадок и сходинок. Сходи обладнано поручнями висотою 1,2 м, із суцільним обшиванням поруччя від полу 200 мм. Настил на робочих площадках і сходинок виготовлений з рифленої листової сталі із направленим рельєфом. Кут нахилу сходинок становить 30° . При довжині площадки більш 5 м сходи мають не менш 2 сходинок. Ширина сходинок складає 1 м, максимальна висота між ступенями 200 мм, ширина ступені становить 150 мм.

Ширина вільного проходу площадки для обслуговування арматури і КВПіА становить 1,5 м, в інших площадок не менш 800 мм. Вільна висота над прохідними площадками і сход не менш 2-х м. Для виключення падіння робочих із площадки при підйомі із сходин на площадки передбачені двері із клямкою, які відкриваються всередину площадки. На площадках розвішені таблички із вказаним максимальним навантаженням на них.

Прокладку силових та контрольних кабелів здійснено в сітчастих та тонкостінних металевих коробах, що розташовані на стінах, або вмуровані у підлогу. Також стенд обладнаний відсічними клапанами, що забезпечують своєчасне припинення подачі пари при неприпустимому відхиленні тиску пари від заданого. При виконанні робіт на трубопроводах, що працюють під тиском, попередньо вони відключаються і скидається тиск до атмосферного. Для безпечної продувки імпульсних ліній наявні спеціальні продувні пристрої. Заміна давачів проводиться тільки після вимкнення жаровні і зниження температури в чанах до 20°C.

4.1.2 Щитове приміщення та засоби автоматизації, розміщені у ньому

Експлуатація та контроль обладнання здійснюється з щита керування, та операторського комп'ютера, де є можливість керувати всім технологічним обладнанням.

Приміщення, де розташований щит керування, знаходиться у відгородженому від цеху приміщенні. Загальна площа приміщення становить 35 м². У ньому знаходиться щити з приладами для виміру параметрів і контролю технологічних процесів, а також контролер. Для передачі сигналів від давачів використовується струмовий сигнал (4-20) мА. У приміщенні також розташовані пристрої сигналізації і зв'язку (світлове табло, індикатори, телефон). Зручне раціональне розташування щитів і пульта 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 1200x700 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).

Так як характер праці оператора монотонний, стомлюючий, 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 з використанням психологічного впливу кольору, музики, засобів технічної естетики (акваріум, квіти, картини).

Стіни приміщення пофарбовані в неяскравий, малоконтрасний ясно-сірий колір, що не розсіює уваги оператора. Підлога в приміщенні рівна, неслизька, не теплопровідна (паркет).

4.1.3 Електробезпека

Живлення приладів, контролерів, органів оперативного керування здійснюється від чотирьохпровідної мережі змінного струму напругою 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю, частотою 50 Гц через пакетний вимикач.

Для захисту від ураження електричним струмом при експлуатації машин повинні застосовуватися такі заходи безпеки:

- струмовідні частини виробничого обладнання, які є джерелами небезпеки, повинні бути надійно ізольовані, огорожені або розташовані в недоступних для людей місцях;
- струмовідні частини електрообладнання повинні бути розміщені всередині корпусів (шаф, блоків) з дверима, що замикаються або закриті захисними кожухами при розташуванні в доступних для людей місцях;

- металеві частини виробничого обладнання, які внаслідок пошкодження ізоляції можуть опинитися під напругою небезпечної величини, повинні бути заземлені (занулені) згідно ПУЕ .

Проведемо розрахунок на вимикаючу здатність автомату максимального струмового захисту при аварійному режимі роботи електрообладнання.

Проведемо розрахунок на вимикаючу здатність автомату максимального струмового захисту, який проводиться на:

Визначимо величину струму короткого замикання $i_{кз}$.

$$i_{кз} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(R_{\phi}+R_0)^2+(X_{\phi}+X_0)^2+Zt/3}}, \quad (4.1)$$

де R_{ϕ} , R_0 - активні опори відповідно фазного та нульового проводів.

X_{ϕ} , X_0 , - індуктивні опори відповідно фази, нульового проводу; U_{ϕ} - фазна напруга.

де $R_{\phi=2}$ Ом, $R_0 = 2$ Ом, $Zt/3=0,16$ Ом еквівалентний опір трансформатору

Для мережі малої довжини застосовується формула:

$$i_{кз} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_0 + Zt/3} = \frac{220}{2+2+0,16/3} = \frac{220}{4,053} = 54,3(A)$$

Визначаємо кратність струму короткого замикання до номінального струму спрацювання автомату максимального струмового захисту, який складає 30А і має час спрацювання $t_{спрац.} < 0,1$ с.

$$K = \frac{i_{кз.}}{i_{ном.спрац}} = \frac{54,3}{30} = 1,8, \quad (4.2)$$

Для надійного спрацювання автомату струмового захисту $K < 1,4$. Умова виконується.

Проведемо розрахунок на максимальну величину напруги на корпусі U_{max} :

$$U_{max} = I_{кз} \cdot R_0 = 54,3 \cdot 2 = 108,6 (В)$$

Згідно ГОСТ 12.1.038-88 $U_{доп} = 500$ В при часі спрацювання автомату $< 0,1$ сек. Таким чином дані умови виконуються.

Технічні заходи та засоби, що забезпечують електробезпеку повністю задовольняють поставленим вимогам.

4.1.3.1 Електрозахисні засоби

Передбачено використання переносних та індивідуальних електрозахисних засобів для захисту робочих в електроустаткуванні від дії електричного струму електричної дуги або електромагнітного поля.

Перелік засобів захисту, що використовуються, регламентується.

Для захисту обслуговуючого персоналу використовуються колективні (попереджуючі плакати та написи), індивідуальні (рукавички, окуляри, боти, штанги та кліщі), ізолюючі (спецодяг, спец.взуття), огорожуючі (переносні екрани, огорожі) та охороняючі (каска, пояс, рукавички) засоби захисту.

4.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат робочої зони

Параметри мікроклімату, що нормуються: температура повітря (t , °C), відносна вологість повітря (W , %), швидкість переміщення повітря (V , м/с), потужність теплових випромінювань (W/m^2).

Оптимальні (допустимі) параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія виконання робіт – I-б (оператор), II-а (механік)) наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Параметри мікроклімату

Період року	Оптимальні		
	t , °C	W , %	V , м/с
Теплий	22-24	40-60	0,2
Холодний	21-23	40-60	0,1

Для створення комфортних умов роботи у літній період проектом передбачене кондиціонування повітря. Кондиціонери монтуються у фрамугу вікон, що відкривається.

У комфортної роботи у холодний час року передбачена система водяного

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично - допустимими концентраціями (ГДК), мг/м³ [24].

В операторському приміщенні повітряне середовище робочої зони в своєму складі отрут та фіброгенних речовин не має, оскільки приміщення ізольоване від цеху. Тому регламентується лише вміст пилу. Для приміщення щитової вміст пилу не перевищує 2 мг/м³.

Дані по максимальному вмісту пилу у повітрі вказані у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 Максимальна концентрація речовин

Визначає на речовина	Кількість проб	ГДК, мг/м ³	Максимальна концентрація, мг/м ³	Середня із усіх проб, мг/м ³
пил	2	4	8,2	7,5

Задля зменшення вмісту пилу в цеху проводять регулярне вакуумне прибирання, що дає змогу зібрати пил в будь-якому місці приміщення, навіть у важкодоступних місцях.

4.2.3 Виробничий шум

Відповідно до [25] нормуються допустимі рівні звукового тиску L, дБ, залежно від частоти, характеру робіт і характеру шуму, або допустимі рівні звуку L_A, дБа, залежно від характеру робіт і характеру шуму.

В даному дипломному проекті в приміщенні щитової нема шуму вище за межі, вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах зі середньгеометричними частотами, Гц								Рівні шуму і еквівалентні рівні шуму, дБА
	1,5	3	25	50	00	000	000	000	
Операторська	6	3	4	8	3	0	7	5	54 / 65
Цех	07	5	7	2	8	5	3	1	69 / 80

Для створення комфортних умов праці оперативного персоналу проектом передбачається також шумозахист приміщення пульта оперативного керування приміщення: подвійний вітраж, що виконує роль тамбура входу, стіни приміщення устелені плиткою, підвісна стеля виконана з шумопоглинаючих плит.

4.2.4 Виробничі вібрації

Відповідно до [27] нормуються допустимі величини віброшвидкості, м/с, віброприскорення, м/с² або логарифмічні рівні віброшвидкості, дБ, залежно від частоти коливань, їх виду, напрямку і часу дії протягом зміни.

В приміщенні операторської вібрації не перевищують меж, вказаних в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Допустимі вібрації

Частота, Гц	Амплітуда, мм	Віброшвидкість, м/с	Віброприскорення, м/с ²	Логарифмічні рівні віброшвидкості
8-15	0,05-0,03	0,25-0,20	13-27	99-93
15-25	0,03-0,009	0,28-0,17	27-32	≤92

Для виміру вібрацій використовують шумовібровимірювальний комплект ИШВ-1, що реєструє амплітуди вібрацій від 0,005 мм до 1,5 мм. Заходи, що проводяться з метою не допустити вібрації: контроль за експлуатацією, монтажем, ремонтом устаткування, виконання правил технічної експлуатації машин, упроваджуються нові технології і засоби автоматизації на базі СВТ.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях (НС) регламентується планом локалізації та ліквідації аварійних ситуацій(ПЛАС). Основними складовими ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу при надзвичайних ситуаціях, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки

4.3.1 Основні вимоги щодо організації ефективної роботи оповіщення персоналу в разі виникнення надзвичайних ситуацій

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях необхідне встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення про виникнення НС та організація дій персоналу під час евакуації здійснюється наступним чином:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усіх виробничих приміщеннях, в яких постійно або тимчасово перебуває виробничий персонал;
- трансляцією повідомлень про необхідність евакуації, про шляхи евакуації та напрямок руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки персоналу;
- трансляцією повідомлень, спрямованих на запобігання паніки й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;

Як правило, СО вмикається автоматично після появи сигналу про виникнення НС, який формується системою сигналізації. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО необхідно передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2002 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

У разі виникнення НС, оповіщення виробничого здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів, якими обладнуються всі виробничі приміщення. СО повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС, не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС.

Пульти управління СО повинні бути розміщені у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності), яке повинне відповідати вимогам пунктів ДБН В.2.5-56 2014 .

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими. Світлові оповіщувачі повинні працювати у наступних приміщеннях:

- у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;
- у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Можливе використання евакуаційних світлових покажчиків, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС та (або) при аварійному припиненні живлення робочого освітлення.

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин. При виході з ладу одного з оповіщувачів не повинні виходити з ладу оповіщувачів, які входять до складу однієї ланки.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з ПУЕ від двох незалежних джерел енергії: основного – від мережі змінного струму, резервного – від акумуляторних батарей тощо.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервне та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинне бути автоматичним. Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин. Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у режимі "Тривога" повинна бути не менше 15 хвилин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

4.3.2 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

У разі виникнення надзвичайної ситуації (НС) працівник, який її помітив, повинен:

- негайно повідомити про це засобами зв'язку органи ДСНС та Державну пожежну охорону, вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення НС, наявність людей, а також своє прізвище;

- повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;

- організувати оповіщення людей про НС;

- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;

- вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення НС, повинні :

- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС та підрозділи Державної пожежної охорони;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації наслідків НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації наслідків НС;
- організувати зустріч підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації НС.

Після прибуття на пожежу підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

4.3.3 Пожежна безпека

Джерелами загоряння в приміщенні можуть бути: коротке замикання, перевантаження електромереж, захламленість приміщення, несправність освітлювальних приладів, діяльність оператора. [28]

Тому для запобігання пожежі прийняті міри:

- застосовуються плавкі запобіжники, електромагнітні розщиплювачі для захисту від короткого замикання і струмів тривалих перевантажень; мережа з напругою 220 В виконана проводами у вінілпластових трубах, прокладена в підлозі і стінах;
- освітлювальні установки піддаються постійному нагляду: регулярному очищенню освітлювальних приладів, своєчасній заміні перегорілих ламп, поточному і профілактичному ремонту;
- проводиться контроль за справністю електропроводки;

Влаштування приміщень автоматичними установками пожежогасіння здійснюється у відповідності з ДБН В.2.5-56-2014.В якості вогнегасного засобу застосовується розпилена вода. Установкою автоматичного водяного

пожежогасіння захищаються кабельні приміщення, маслогосподарства турбоагрегатів. На розподільчій мережі АПГ кабельних приміщень встановлюються зрошувачі ДВ-10; для гасіння трансформаторів і маслогосподарства застосовані зрошувачі ОПДР-15 Автоматичний пуск системи пожежогасіння виконується:

- для кабельних приміщень від датчиків пожежної сигналізації типу ДИП-2 з пультами ППС-3;
- для блочного трансформатора і трансформаторів в.п. від релейного захисту трансформаторів;

Управління всіма системами пожежогасіння здійснюється від панелей пожежогасіння, які встановлені в приміщенні ЦЩУ та кнопками управління засувками пожежогасіння на місцях.

Технологічними рішеннями передбачається тунельну піч обладнати системою автоматичного газового (CO_2) пожежогасіння, яка складатиметься, в свою чергу з:

- системи датчиків рівня температури у відповідних зонах печі;
- системи сопел, розміщених у відповідних зонах;
- системою клапанів та трубопроводів, що з'єднують відповідні зони з газом під тиском.

Загалом в робочих приміщеннях дотримано усіх вимог з пожежної безпеки згідно з НАПБА.01.001 – 2004 “Правила пожежної безпеки в Україні”, а також НАПБ В: 1.034-2005 «Правила пожежної безпеки на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України»

5 Стартап проект

5.1 Опис ідеї проекту

Головна ідея проекту полягає в наданні замовнику комплексного рішення з модернізації автоматизованої системи гарячого водопостачання і опалення, а саме заміні водогрійного котла на контактний водонагрівач.

В порівнянні з котлами, КВН мають ряд незаперечних переваг. Це перш за все – економічність, компактність і надійність. При контактному способі нагрівання води не використовується система нагрівальних труб, що значно скорочує габарити і металоємність установки. З іншого боку, контактний спосіб дозволяє без ускладнення конструкції досягти глибокого охолодження димових газів. При цьому відбувається часткова конденсація водяної пари, що утворилися при окисленні водню палива, і виділяється значна кількість тепла. Внаслідок цього коефіцієнт корисної дії (ККД) контактних водонагрівачів, розрахований по нижчій теплотворній здатності палива, може перевищити 100%.

Надійність КВН пояснюється як простотою його конструкції, так і тією обставиною, що вода в апараті нагрівається при атмосферному тиску.

Є і ряд інших переваг:

- в контактних водонагрівачах відсутні теплообмінні поверхні, на яких можливе утворення накипу, що дозволяє експлуатувати такі апарати без попередньої хімічної обробки живильної води;
- можливість самоочищення робочих поверхонь від відкладення накипу;
- стабільно високий ККД у всьому діапазоні робочих навантажень;
- поповнення неминучих втрат води в системі установки за рахунок зконденсованої вологи, що дозволяє відмовитися від її підживлення;
- низька інертність (як наслідок низької металоємності), що дозволяє в лічені хвилини вивести КВН з холодного стану на номінальну теплопродуктивність, а також більш оперативно реагувати на коливання навантаження в тепломережі, дозволяє дуже точно узгоджувати

продуктивність апарату з реальним теплоспоживанням і забезпечити за рахунок цього додаткову економію палива;

- низька концентрація шкідливих викидів в димових газах і мала питома витрата палива на КВН дозволяє істотно поліпшити екологічні показники.

Перелічені переваги дозволяють знизити загальну вартість котельні виконаної на базі КВН (у порівнянні з котлами), істотно збільшивши при цьому надійність, безпечність і економічність її експлуатації.

Встановлення промислового контролеру та налаштування регуляторів технологічного процесу дозволить зекономити на персоналі та покращити якість і збільшити продуктивність технологічного процесу. Впровадження сучасної системи диспетчеризації дозволить зекономити на персоналі, підвищити ефективність роботи технологічного процесу внаслідок оптимізації на основі аналітики архівних даних.

Враховуючи дуже вузький напрямок теми проекту, дуже важливим є визначення кола конкурентів або конкурентних проектів. Перед порівнянням запропонованого проекту з конкурентами необхідно виділити перелік основних техніко-економічних властивостей та характеристик проекту:

1. Комплексний підхід до вирішення задачі замовника
2. Повна або часткова автоматизація (використання промислових контролерів, налаштування цифрових регуляторів, автоматичних захистів, блокувань, сигналізацій тощо)
3. Повна або часткова диспетчеризація (відображення технологічного процесу та параметрів на мнемосхемах, ведення архіву даних про технологічний процес, ведення журналу подій, відображення даних у зручній формі графіків, таблиць або діаграм, можливість розмежування прав користувачів операторської станції тощо)
4. Використання найсучаснішого промислового контролер, що дає можливість зменшити час пусконаладжувальних робіт, розробити цифрового двійника існуючого об'єкту керування перед

запуском реального проекту для демонстрації роботи, можливість використання високорівневих мов програмування для вирішення унікальних задач замовника тощо

5. Розробка проектної документації та керівництва користувача системою для замовника
6. Гарантійне та післягарантійне обслуговування системи на вимогу замовника.

Враховуючи тему проекту та основні техніко-економічні властивості було знайдено одну компанію, що може конкурувати з даним проектом, а саме ТМ «ЛОТА»

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Даний проект інтегрує декілька технологічних рішень різного рівня цифровізації, які потребують різного роду компетенцій від виконавця. Проект поєднує в собі використання механічного обладнання, електротехнічного обладнання та програмного забезпечення.

Основні технології, що використовуються в проекті описано у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Підвищення ККД	Використання контактного водонагрівача	наявна	доступна
Автоматизація технологічного процесу	Налаштування цифрових регуляторів та алгоритмів керування технологічним процесом	Наявна	Потребує кваліфікованого спеціаліста для програмування контролера
Диспетчеризація системи	Налаштування SCADA-системи	Наявна	Потребує кваліфікованого спеціаліста для програмування

			системи диспетчеризації
--	--	--	-------------------------

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

5.3.1 Огляд ринку

Потенційними замовниками проекту є заводи та власні підприємства з автономними тепловими мережами в Україні та за її межами. За останні 5 років кількість підприємств, що перейшли від централізованого теплопостачання до створення локальних опалювальних систем сильно зростала. З цього можна зробити висновок про зріст даного сегменту ринку принаймні в Україні. Більш детально аналіз ринку наведено в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
Кількість головних гравців	6
Загальний обсяг продаж (грн/рік)	25 000 000
Динаміка ринку	Зростає
Наявність обмежень для входу	Можливим обмеженням є вимоги деяких замовників щодо представлення детального опису вже виконаних аналогічних проектів та надання рекомендацій від інших замовників проекти яких було виконано. Другим можливим обмеженням є вимоги деяких замовників про надання фінансової звітності та вимоги про доведення можливості компанії виконавця виконати заявлений обсяг робіт. Третім можливим обмеженням є вимоги деяких замовників щодо умов

	оплати виконаних проектів які передбачають оплату проекту (часткову або повну) вже після виконання проекту, що потребує від виконавця мати запас коштів для виконання проекту попередньо за власний рахунок.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
Середня норма рентабельності по ринку	Не менше 60%

З огляду на отримані дані можна зробити висновок що даний ринок є достатньо привабливим для входу та наявні обмеження для входу не є значними та такими що унеможливають вхід на ринок. Більшість обмежень може буде подолана при наявності достатніх інвестицій на початкових етапах проекту, а інша частина буде несуттєвою після того, як проект вже займе своє місце на ринку.

5.3.3 SWOT аналіз

Для розробки альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок виконується SWOT аналіз ((матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)) (таблиця 7.5). Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор

загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 5.3 SWOT аналіз

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Комплексний підхід до вирішення конкретної проблеми • Використання сучасного обладнання • Збільшення енергоефективності • Збільшення продуктивності технологічного процесу • Зменшення витрат на обслуговуючий персонал • Зменшення кількості та часу простоїв • Можливість масштабування проекту 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Неможливість повністю виключити людський фактор • Залежність роботи системи від інших надсистем (електроживлення, подача пари тощо)
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Інтеграція системи в глобальну локальну мережу підприємства • Аналітика даних про систему та подальша оптимізація технологічних процесів • Масштабування системи для розширення виробництва 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Кібер-атаки • Вимкнення електроживлення • Вихід з ладу обладнання • Втручання некваліфікованого персоналу в роботу системи

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок про обрання стратегії конкурентної поведінки проекту на ринку. Враховуючи вузький напрямок вирішуваної проблеми, найбільш очевидним є обрання стратегії заняття конкурентної ніші. При такій стратегії головне завдання для компанії – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

Таким чином, головним вектором ринкової поведінки мають бути позиціонування компанії як першокласного експерта в галузі модернізації та побудови автоматизованих енергоефективних автономних систем опалення з використанням контактних водонагрівачів з подальшим розвитком сфер діяльності та перехід до більш впливових ринкових стратегій.

5.4 Розробка маркетингової програми стартап-проекту

5.4.1 Визначення меж встановлення ціни.

Враховуючи вузьку специфіку проекту та неможливість чіткого підрахунку вартості реалізації проекту в кожному окремому випадку через занадто велику кількість факторів, що впливають на розрахунок певного проекту, Верхні та нижні межі встановлених цін будуть коливатися в залежності від індивідуальних потреб замовника, конкурентних пропозицій саме для цього замовника в даний час та мінімальної рентабельності, обговореної керівниками компанії в залежності від зовнішніх та внутрішніх факторів, які можуть впливати на компанію на момент обрання верхніх та нижніх меж цін.

5.4.2 Формування системи збуту

Враховуючи вузьку галузеву специфіку проекту, основним вектором зусиль при побудові системи збуту має стати вплив на осіб, що приймають рішення на підприємствах (власники підприємств, директори, головні інженери тощо). Для досягнення цілей по впливу на цих осіб найбільш ефективними каналами є участь у галузевих публічних заходах, створення високоякісного спеціалізованого галузевого контенту та розповсюдження його в різних

формах (спеціалізовані форуми, виставки, конференції, соціальні мережі, сайти). Найголовнішим завданням системи збуту є змусити гравців ринку знати про даний проект як унікальний, та високоякісний та зарекомендувати компанію як найліпшого експерта в даній галузі. Подальшими завданнями буде розповсюдження сфер впливу з основної на другорядні галузі промисловості.

5.5 Висновки

Виходячи з проведеного аналізу очевидно є можливість комерціалізації проекту. Факти підтверджують сталий розвиток ринку в приведеній галузі, високу рентабельність проекту та збільшення попиту на запропоновані в проекті рішення. Враховуючи вузьку галузеву специфіку проекту та несуттєву конкуренцію саме в даній вузькій галузі та зростання попиту на рішення, запропоновані в проекті проект є перспективним для інвестування.

ВИСНОВКИ

Магістерська дисертація на тему автоматизація контактного водонагрівача присвячений удосконаленню якості та надійності системи автоматичного регулювання.

Об'єкт має 3 контури регулювання: регулювання температури прямої води, регулювання витрати повітря, регулювання розрідження в топці котла. Детально було розглянуто контур регулювання температури прямої води, для нього було обрано АСР з компенсацією по збуренню. Для інших двох контурів було обрано одноконтурну систему автоматичного регулювання.

В якості програмно-технічного комплексу засобів автоматизації було обрано комплекс засобів на базі Siemens S7-1500 тому що його функціональні можливості повністю задовольняють вимогам до системи керування КВН. Також цей ПЛК зручний у використанні та обслуговуванні.

На базі даного комплексу розроблено систему автоматизації та розраховано її економічну ефективність. Дана система дозволяє зменшити витрату палива (газу) на 0,4%. Розрахунок економічної ефективності системи показав, що даний проект окупиться за 2,43 року. Таким чином, введення АСР економічно вигідно.

За результатами розрахунку надійності реалізації функцій АСР:

1) для інформаційної функції маємо $T_{cp}=20000>1000$ годин, $P(\tau)=0,96$;

2) для керуючої функції маємо $T_{cp}=33316,854>1000$ годин, $P(\tau)=0,917$, $P_c(\tau)=0,9985$;

Показники надійності задовольняють вимогам. Більш того, має місце запас надійності реалізації функції.

В роботі був проведений розрахунок похибки вимірювального каналу: Максимальна абсолютні похибка для вимірювального каналу по температурі прямої води становить $\Delta_{pez} = 0.35^{\circ}C$, тобто лежать у межах: $< \Delta_{max} = 1.5^{\circ}C$. Отже

можна стверджувати, що отримана точність вимірювання по вимірювальному каналу задовольняє вимогам щодо точності вимірювання. .

Також був проведений розрахунок і аналіз динаміки АСР. Розраховані за інженерними методиками параметри регулятора $K_p=7,8$ $T_p=196$ задовольнили висунутим вимогам до якості перехідних процесів . В якості компенсатора була обрана РД ланка із передаточною функцією $W_k(p)=0.124\frac{36p}{36p+1}$. Саме при ній були отримані перехідні процеси з найкращими прямими показниками якості.

Для розрахованої нами системи був проведений розрахунок на грубість. По параметру τ система не є нечутливою ,оскільки, коефіцієнт чутливості близький до одиниці . За параметрами $K_{об}$, $T_{об}$ система є малочутливою , але при цьому всі прямі показники якості залишаються в заданих діапазонах і з цієї точки зору систему можна вважати такою, що не потребує додаткової адаптації .

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 296 с., ил.
2. Баган Т. Г., Кисельов Ю. Є., Бунь В. П. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування систем автоматизації». – Київ: НТУУ «КПІ», 2002.
3. Батюк С.Г. Довідковий посібник з комплексного інженерного розрахунку промислових САР в курсовому і дипломному проектуванні./ Електронний архів АС лабораторії ПТКЗА.
4. Батюк С.Г. Збірник функціональних і структурних схем типових промислових САР./ Електронний архів АС лабораторії ПТКЗА.
5. Батюк С.Г., Поміновський С., Трихліб Ю. Довідковий посібник до виконання проектної частини атестаційної роботи бакалавра./ Електронний архів АС лабораторії ПТКЗА.
6. Каталог продукції “Phoenix Contact”
7. Каталог продукції “Метран”
9. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 541 с., ил.
10. Елизаров Д.П. Теплоэнергетические установки электростанций: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 264 с.
11. Автоматизированное проектирование систем управления / Под ред. М. Джамшиди и др.; Пер. с англ. В.Г. Дунаева и А.Н. Косилова – М.: Машиностроение, 1989. – 344 с.
12. Гостев В.И., Стеклов В.К., Скляренко С.Н. Оптимальные системы управления с цифровыми регуляторами: Справочник. – К.: КИРЦ «Сенс», 1995. – 484 с.
13. Закон України “Про охорону праці”
14. Правила будови і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів. Держнагляд охорони праці

15. ГОСТ 12.2.003-91.ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
16. ГОСТ 12.2.032-78.ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
17. ГОСТ 12.2.033-84.ССБТ. . Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
18. Державний реєстр міжгалузевих і галузевих нормативних актів про охорону праці. Друга редакція.
19. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
20. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Держнагляд охорони праці.
21. ГОСТ 12.1.030-81.ССБТ.Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Изменения,1987.
22. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
23. ГОСТ 12.1.005-88.ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
24. СНИП II-4-79/85. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования.
25. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму ультразвуку та інфразвуку.
26. ДСН 3.3.6.039-99. Санітарні норми виробничих вібрацій.
27. Методические указания к разработке вопросов пожарной безопасности в дипломных проектах. – К.: КПИ, 1990.
28. ОНТИ 24-86. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной опасности.
29. СНИП 2.01.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.