

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ

Група АКП-22-1

**Василь Зварич**

**2026**

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Факультет автоматизації та енергетики  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Зварич Василь Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5.013:662.9  
(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення системи автоматизації технологічного

(назва роботи)

процесу горіння в котлі ТП-100

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

### Нормоконтроль

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

### Здобувач освітнього ступеня

АКП-22-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

В.В. Зварич

(ініціали та прізвище)

### Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.Я. Чигур

(ініціали та прізвище)

### Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

### Допущено до захисту

### Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри АКІТ**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Зварич Василь Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації технологічного процесу горіння в котлі ТП-100

керівник роботи Лагойда Андрій Іванович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Технологічна схема об'єкту, параметри проходження процесу, стандарти, каталоги, методичні вказівки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Аналіз технологічного процесу горіння палива в топці парового котла ТП-100 як об'єкта автоматичного контролю і керування.

2. Математичне дослідження керованого об'єкта. 3. Побудова системи автоматичного керування. 4. Розроблення SCADA-системи в середовищі Aveva InTouch. 5. Розробка технічної документації на САК. Загальні висновки. Перелік посилань на джерела.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-80.00.00.001;

Лист 2 - Експериментальне дослідження - БР.АКП-80.00.00.002;

Лист 3 - Аналіз і синтез одноконтурної АСК - БР.АКП-80.00.00.003;

Лист 4 - Аналіз і синтез каскадної АСК - БР.АКП-80.00.00.004;

Лист 5 - Загальний вигляд щита - БР.АКП-80.00.00.005;

Лист 6 - SCADA-система - БР.АКП-80.00.00.006.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу горіння палива в топці парового котла ТП-100 як об'єкта автоматичного контролю і керування		
2	Математичне дослідження керованого об'єкта		
3	Побудова системи автоматичного керування		
4	Розроблення SCADA-системи в середовищі Aveva InTouch		
5	Розробка технічної документації на САК		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

В.В. Зварич \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

А.І. Лагойда \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 70 сторінок друкованого тексту, 19 рисунків, 7 таблиць, 9 переліків посилань на джерела і 3 додатка.

Тема: Розроблення системи автоматизації технологічного процесу горіння в котлі ТП-100.

Об'єкт дослідження: процес згоряння вугільного пилу в топці котла.

Мета проекту: розробка автоматичної системи керування навантаження на турбіну зміною частоти обертів пилосживильників.

Методи дослідження: експериментальне дослідження об'єкта керування та аналіз перехідних характеристик.

Результати кваліфікаційної роботи: у роботі розглянуто наступні питання: аналіз технологічного процесу горіння в топці котла; проведення активного експерименту на основі якого обраховано параметри налаштування регуляторів. Проведено вибір технічних засобів автоматизації і розроблено функціональну схему автоматизації, схему щита керування. Проведено аналіз та синтез одноконтурної та каскадної системи керування. Розрахунки виконано в математичних пакетах Matlab і Mathcad, моделювання перехідних процесів в пакеті Matlab Simulink.

Ключові слова: одноконтурна система, каскадна система, налаштування регулятора, контролер, горіння, паровий котел.

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis contains: 70 pages of printed text, 19 figures, 7 tables, 9 reference lists, and 3 appendices.

Title: Development of an automation system for the combustion process in a TP-100 boiler.

Object of research: the process of coal dust combustion in the boiler furnace.

Objective of the project: development of an automatic control system for turbine load by varying the rotation speed of pulverizer feeders.

Research methods: experimental investigation of the control object and analysis of transient characteristics.

Results of the qualification work: the following issues are considered in the thesis: analysis of the technological combustion process in the boiler furnace; conducting an active experiment on the basis of which the controller tuning parameters were calculated. The selection of automation hardware was carried out, and a functional automation scheme as well as a control panel layout were developed. The analysis and synthesis of single-loop and cascade control systems were performed. Calculations were carried out using the mathematical packages Matlab and Mathcad, and simulation of transient processes was performed in Matlab Simulink.

Keywords: single-loop system, cascade system, controller tuning, controller, combustion, steam boiler.

## ЗМІСТ

	<b>ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>9</b>
	<b>ВСТУП.....</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ПАЛИВА В ТОПЦІ ПАРОВОГО КОТЛА ТП-100 ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>12</b>
	1.1 Роль парового котла в технологічному процесі та механізм протікання горіння.....	12
	1.2 Характеристика палива і продуктів згорання.....	13
	1.3 Будова і робота котельного агрегату ТП-100.....	15
	1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання.....	17
	1.4.1 Топкова камера.....	17
	1.4.2 Пальники.....	17
	1.4.3 Барабан котла.....	18
	1.4.4 Трубна система.....	18
	1.4.5 Пароперегрівач.....	18
	1.4.6 Повітропідігрівач.....	19
	1.4.7 Водяний економайзер.....	19
	1.5 Дослідження параметрів контролю та регулювання у котлі ТП-100.....	19
	1.5.1 Витрата палива.....	19
	1.5.2 Витрата повітря.....	20
	1.5.3 Регулювання тяги.....	20
	1.5.4 Контрольовані величини.....	21
	1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу....	21
	Висновки до розділу.....	22

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення системи автоматизації технологічного процесу горіння в котлі ТП-100	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Зварич В.В.						
Перевір.		Лагойда А.І.					6	70
Реценз.		Чигур Л.Я.				<b>АКП-22-1 ІФНТУНГ</b>		
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.						



5.3.2 Розробка загального вигляду щита.....	57
Висновки до розділу.....	58
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>60</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....</b>	<b>61</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	
<b>БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА</b>	

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ЗА - засоби автоматизації.

АРМ - автоматизоване робоче місце.

КВПіА - контрольно вимірні прилади і автоматизація.

АСК - автоматизована система керування.

ПЛК - програмований логічний контролер.

САК - система автоматичного керування.

ТЗА - технічні засоби автоматизації.

ТЕС - теплова електростанція.

ФСА - функціональні схеми автоматизації.

ЧП - частотний перетворювач.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Метою виконання цієї кваліфікаційної роботи є узагальнення, поглиблення та практичне закріплення теоретичних знань, а також формування професійних компетентностей у сфері проектування систем автоматизації технологічних процесів, орієнтованих на досягнення високих техніко-економічних показників. Завдання, що розв'язуються в межах кваліфікаційної роботи, безпосередньо пов'язані з актуальними проблемами створення та вдосконалення систем керування, а також із розробленням сучасних засобів збору, оброблення та візуалізації інформації для діючих і проєктованих промислових об'єктів.

У процесі проєктування враховуються сучасні науково-технічні досягнення, що забезпечує відповідність розроблених рішень актуальному рівню розвитку галузі.

Робота розроблена на котельному агрегаті Бурштинської ТЕС. Бурштинська ТЕС є одним з найбільших підприємств західного регіону.

Основним призначенням Бурштинської ТЕС являється надійне а також безперебійне постачання електричної енергії споживачам а також ефективно забезпечення тепловою енергією підключеного до нього житлового а також побутового секторів у місті Бурштин.

Метою кваліфікаційної роботи являється удосконалення системи автоматизації технологічного процесу горіння вугільного пилу в котлі ТП100.

Паровий котел - це установка для вироблення пари з тиском вище атмосферного за рахунок теплоти від спалювання палива.

Існуюча схема автоматизації забезпечує в основному стабілізацію матеріальних потоків та економічних режимів установки, в той час, як більшість технічних засобів автоматизації розташовані на місцевих щитах а також передбачають напівавтоматичні режими ведення процесу, при яких можливі промахи у керуванні через певні фактори, котрі відповідно знижує продуктивність установки. Отже актуальною є розробка автоматичної системи керування

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досліджуваним процесом на основі найсучаснішої мікропроцесорної техніки, а також найновітніших технологій представлення інформації оператору.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ПАЛИВА В ТОПЦІ ПАРОВОГО КОТЛА ТП-100 ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

## 1.1 Роль парового котла в технологічному процесі та механізм протікання горіння

Паровий котел - це установка, призначена для отримання водяної пари з визначеними параметрами кількості та якості. Котельний агрегат включає топку для спалювання палива, радіаційні й конвективні поверхні нагріву робочого середовища, допоміжне котельне обладнання, а також системи контролю й керування технологічним процесом. До його складу також входять тягодуттєві пристрої, що забезпечують подачу повітря в топку та відведення димових газів.

Призначені для електростанцій котлоагрегати мають велику потужність виробляють перегріту пару із температурою меншою за 600 °С, котра має тиск вищий за критичний. Котлоагрегати зазвичай характеризуються паропроодуктивністю та параметрами виробленої пари, температурою, тиском. Паропроодуктивність представляє собою масову кількість пари, котра виробляється парогенератором за певну одиницю часу. Одиницями вимірювання є: т/год, кг/год.

При спалюванні газу і мазуту, а також твердого пиловугільного палива використовуються, як правило, камерні топки. Топка обмежена фронтальною, задньою та бічними стінками. Уздовж стін топки розташовуються випарні поверхні нагріву (кип'ятильні труби) діаметром 0,5...0,8м, що приймають випромінювану теплоту від факела і продуктів згорання.

Горінням називається швидко протікаюче фізико-хімічне перетворення в результаті взаємодії компонентів палива з окислювачем, при якому виділяється енергія у вигляді теплоти і світла. В результаті цього складного процесу утворюються продукти горіння. Окислювачем служить кисень. Процес горіння характеризується високою температурою і великою швидкістю протікання хімічних реакцій. Для початку горіння потрібний енергетичний імпульс,

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найчастіше нагрівання палива. На відміну від твердих і рідких видів палива, які не можуть горіти без попереднього підігрівання до температури займання, газове паливо може горіти і холодним, якщо воно перемішане з повітрям в концентраційних межах займання. Таку пароповітряну суміш можна запалити іскрою, відкритим полум'ям або теплотою розжареної речовини.

## 1.2 Характеристика палива і продуктів згорання

Енергетичне паливо - це горючі речовини, які економічно доцільно використати для отримання теплової і електричної енергії.

Усі палива можуть бути розділені на природні і штучні. До природних відносяться органічні палива, що безпосередньо добуваються з надр землі. Такими паливами є торф, природний газ, вугілля, нафта, сланці.

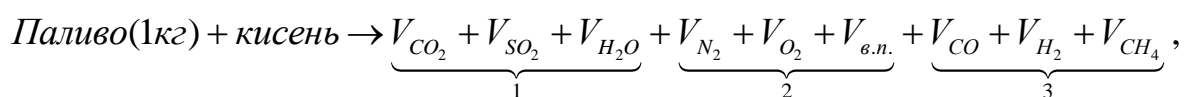
Як результат переробки природних видів палив на металургійних, нафтопереробних та газових підприємствах утворюються штучні види палива. Штучними видами паливами являється кокс, напівкокс, доменний, коксівний, генераторний газ, газ піролізу нафти, мазут.

Загальними технічними характеристиками палив є теплота згорання, вміст мінеральних домішок (зольність), вологовміст (вологість) і наявність сірки в паливі (сірчистість).

Котел ТП-100 розраховано на спалювання вугілля Львівсько-Волинського басейну.

Реакції горіння при високих температурах проходять з великою швидкістю, тому склад кінцевих продуктів згорання близький до рівноважного. У зонах, де виявилася нестача кисню, можуть залишитися продукти неповного окислення початкових горючих компонентів.

Склад продуктів згорання при спалюванні 1 кг твердого або рідкого палива або 1 м<sup>3</sup> газового палива можна записати в наступному виді:



					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $V_{CO_2}$ ,  $V_{SO_2}$  і інші складові - об'єми окремих газів в продуктах згорання,  $m^3/kg$  чи  $m^3/m^3$ .

Таблиця 1.1 - Значення показників якості вугілля Львівсько-Волинського басейну марки «Г», класу Р, відсів

Склад робочої маси палива, %	$W_i^r$	10,0
	$A^r$	27,0
	$S_p^r$	1,9
	$S_o^r$	0,9
	$C^r$	49,8
	$H^r$	3,3
	$N^r$	0,9
	$O^r$	6,2
Нижча теплота згорання	$Q_i^r$ , МДж/кг	19,47
Зольність сухої маси	$A^d$ , %	30,0
Волога гігроскопічна	$W_i^r$ , %	3,5
Приведені значення	$W_{np}^r$	0,51
	$A_{np}^r$	1,39
Вихід летючих	$V^{daf}$ , %	39,0
Коефіцієнт розмолотості	$K_{роз}$	1,35

Продукти згорання палива зручно розбити на три групи. Цифрою 1 в позначені продукти повного окислення горючих елементів палива. Вони складаються з трьохатомних сухих газів, які позначають зазвичай через  $V_{RO_2} = V_{CO_2} + V_{SO_2}$  і об'єму водяної пари  $V_{H_2O}$ . У складі трьохатомних сухих газів завжди  $V_{CO_2} \gg V_{SO_2}$  оскільки вміст сірки в паливах малий. Цифрою 2 позначені об'єми азоту і кисню, що є залишком сухого повітря після горіння палива, і

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

водяної пари. Тут  $V_{N_2} \gg V_{O_2}$  оскільки кисень значною мірою витрачений на окислення. Об'єм водяної пари включає вологу палива, що випарувалася, і вологість самого повітря. Цифрою 3 позначені продукти неповного окислення горючих елементів палива, при цьому  $V_{CO} > V_{H_2} > V_{CH_4}$ . Співвідношення між об'ємами  $V_{CO} : V_{H_2}$  в середньому складає 3:1. Наявність в продуктах неповного згорання об'єму  $V_{CH_4}$  свідчить про грубі відхилення режиму горіння від норми.

### 1.3 Будова і робота котельного агрегату ТП-100

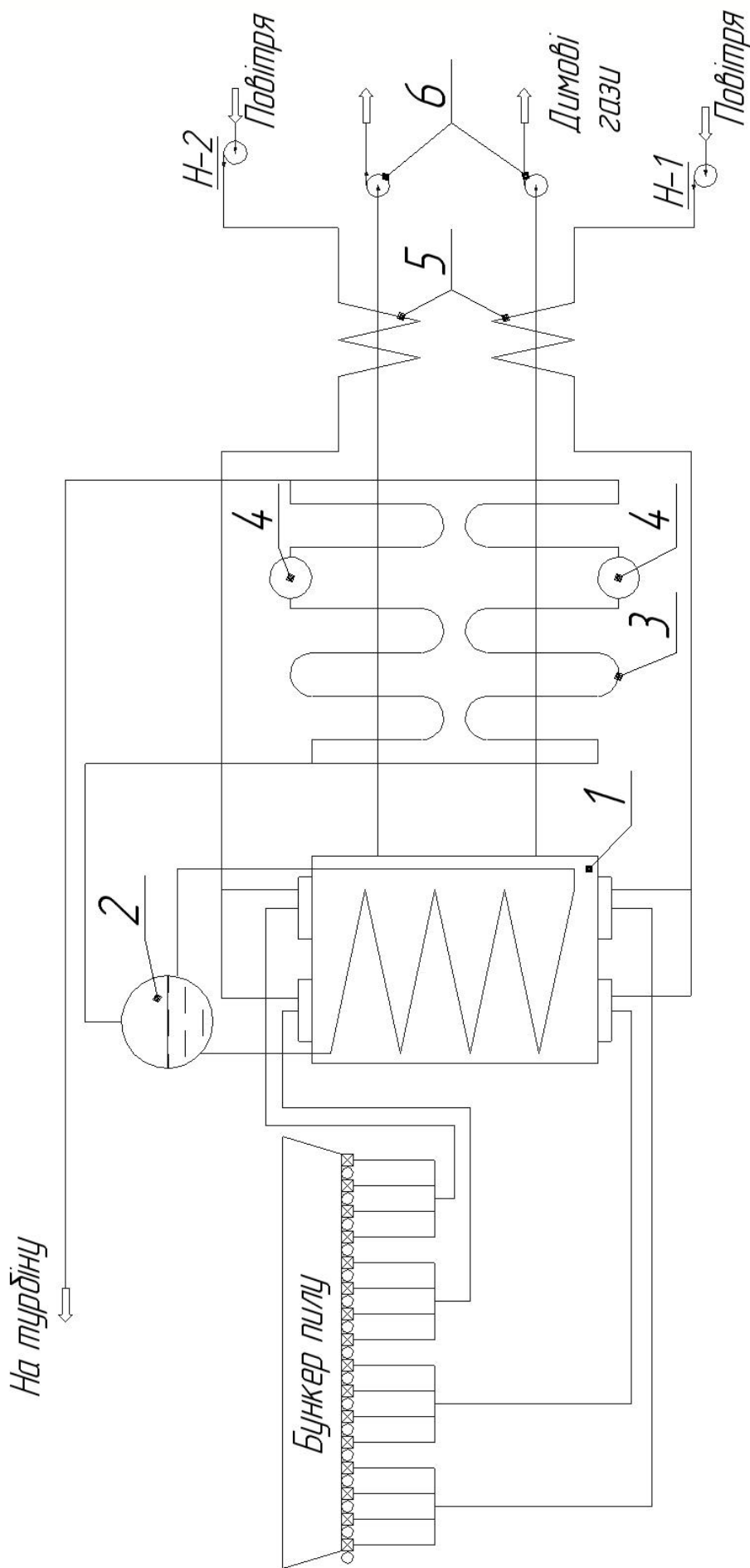
Котельний агрегат ТП-100 виробляє пару високого тиску в процесі спалювання вугільного пилу, мазуту чи природного газу та розрахований на довготривалу, економічну та надійну роботу при наступних параметрах:

- паропроодуктивність - 640 т/год;
- робочий тиск на виході - 13,72 МПа;
- температура первинної пари - 545 °С;
- робочий тиск в барабані - 15,2 МПа;
- тиск пари перед вторинним пароперегрівачем - 2,35 МПа;
- температура пари перед вторинним пароперегрівачем - 340 °С;
- тиск пари за вторинним пароперегрівачем - 2,19 МПа;
- температура пари за вторинним пароперегрівачем - 545 °С;
- температура живильної води - 235 °С;
- к. к. д котла - 90,2 %.

Схема котельної установки представлена на рисунку 1.1.

Пилоповітряна суміш подається в топку 1 через пиловугільні пальники. Барабан котла 2 винесений за межі газоходу. Вода з нього по опускним трубам поступає в нижні колектори екранів, що покривають усі стінки топки. У екранах відбувається часткове випаровування води. Далі пароводяна суміш поступає у барабан котла 2, де відбувається відділення пари. Пара з барабана котла подається в пароперегрівач 3 і потім йде до споживача. Димові гази з топки 1 подаються в пароперегрівач 3 і з нього в опускную шахту.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 - точка котла; 2 - барабан котла; 3 - пароперегрівач; 4 - економайзер; 5 - повітряпідгрівач;

6 - димотяги; Н-1; Н-2 - дугтьові вентилятори

Рисунок 1.1 - Принципова схема парового котла ТП-100

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У опускній шахті розташовані водяний економайзер 4, в якому підігрівається живильна вода до поступлення у барабан котла (на схемі не зображено), і повітряпідігрівач 5, де газ, що йдуть, віддають тепло повітрю. Гаряче повітря потім подається до пиловугільних пальників. Після котла димові газ, очищаються від легкої золи в золоуловлювачах і через димотяг 6 і димову трубу викидаються в атмосферу.

## **1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання**

### **1.4.1 Топкова камера**

Топкова камера має призматичну форму й поділена по всій глибині на дві частини двосвітним екраном. Її загальний об'єм становить 3770 м<sup>3</sup>. Стіни екрановані трубами розміром  $(60 \times 6) \cdot 10^{-3}$  м із кроком 0,64 м; із таких самих труб і з аналогічним кроком виконано і двосвітний екран. Стеля топкової камери виконана горизонтально та перекрита трубами стельового пароперегрівача. Необхідна жорсткість бокових, заднього і фронтального екранів забезпечується застосуванням спеціальних поясів жорсткості, які являють собою балки з опорами, що запобігають зміщенню труб екранів від початкового положення.

### **1.4.2 Пальники**

На поверхнях бокових стін топкової камери розміщено два ряди по дванадцять комбінованих пилогазових пальників таких типів: прямокутні та плоскофакельні. Горизонтальна відстань між ними становить 4,48 м, а до прилеглих стін камери — 2,4 м.

Пальник виконано у формі призми з розмірами  $(2170 \times 1340 \times 940) \cdot 10^{-3}$  м і виготовлено зі сталевих листа товщиною 0,08 м. У середині розташована труба діаметром 0,377 м, яка слугує для подачі пилоповітряної суміші.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.4.3 Барабан котла

Досліджуваний котлоагрегат має в своєму складі один зварний барабан із внутрішнім діаметром 1,8 м. З двох кінців барабану приварені штамповані днища з сталі 16 ГНМ. Стінка циліндричної частини барабана має товщину 0,092 м. Повна його довжина складає 2,27 м.

Барабан облаштований водовказівними колонками, по одному у кожному з відсіків. Рівень води у барабані середньому знаходиться на позначці 1,2 м нижче за геометричну вісь барабану. Верхня та нижня допустимі межі рівня розташовані на відстані 0,075 м від середнього значення. У барабані встановлено 72 циклони діаметром 0,35 м, змонтовані через підведення пароводяної суміші через отвір перерізом  $(70 \times 230) \cdot 10^{-3}$  м. Живильна вода подається в барабан за допомогою 16 труб діаметром  $(108 \times 10) \cdot 10^{-3}$  м.

### 1.4.4 Трубна система

Верхні камери заднього, фронтального та двохсвітнього екранів розташовані на стелі котла, а верхні камери бокових екранів знаходяться під вихідними вікнами топки на відмітці 2,75. Усі екрани складаються із 27 секцій.

### 1.4.5 Пароперегрівач

У котельному агрегаті передбачено первинний і вторинний пароперегрівачі. У первинному відбувається перегрів насиченої пари, що надходить із барабана котла і подається до споживача двома паропроводами діаметром  $(325 \times 45) \cdot 10^{-3}$  м. Вторинний пароперегрівач забезпечує перегрів пари, яка надходить із турбіни.

Елементами первинного пароперегрівача є: стельовий, «холодний» конвективний, настінний радіаційний, ширмовий і «гарячий» конвективний перегрівачі.

Елементами вторинного є: регулююча частина, «гаряча» конвективна частина та «холодна» конвективна частина перегрівачів.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### **1.4.6 Повітропідігрівач**

Повітропідігрівач котла розміщений в конвективних шахтах. Він ділиться на два ступені: нижню випускную регенеративну і верхню трубчасту одноходову. Діаметр перерізу для проходження газів становить  $36,8\text{ м}^2$ , а для повітря становить  $40,0\text{ м}^2$ .

#### **1.4.7 Водяний економайзер**

У даному котлі встановлено сталевий водяний економайзер некиплячого типу, розміщений у шахтах котла. У цих шахтах змонтовано чотири блоки економайзера, кожен з яких складається з 62 подвійних горизонтальних змійовиків діаметром  $(25 \times 3,5) \cdot 10^{-3}$  м. Поверхня економайзера розрахована на роботу в діапазоні температур газів  $391\text{--}399\text{ }^\circ\text{C}$ . Розрахунковий підігрів води  $235\div 268\text{ }^\circ\text{C}$ . Загальна поверхня нагріву становить  $4150,0\text{ м}^2$ .

### **1.5 Дослідження параметрів контролю та регулювання у котлі ТП-100**

Завдання автоматичного регулювання процесу горіння у барабанному паровому котлі полягає в підтримці витрати палива і повітря, що подаються на спалювання в топку котла, на такому значенні, при якому теплове навантаження топки відповідатиме тепловому навантаженню котла. Отже, завдання автоматичного регулювання процесу горіння зводиться до підтримки тиску пари за котлом на заданому (чи близькому до заданого) значенні; при цьому процес спалювання палива має бути максимально економічним.

#### **1.5.1 Витрата палива**

У кожен момент часу в топці котла повинна згорати така кількість палива, щоб виробляема кількість пари котельним агрегатом, відповідала відповідній кількості споживаної пари, тобто зовнішньому навантаженню котельного агрегату. Показником такої відповідності є тиск пари при виході з котла. Якщо при згоранні палива виділяється більше тепла, ніж це необхідно для виробництва споживаної

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кількості пари, то зайве тепло акумулюється в котлі, що призводить до росту тиску. Навпаки, якщо паливо подається в недостатній кількості, то потреба в парі покривається частково за рахунок тепла, закумуляованого в котельній воді, а тиск пари при цьому падає. Таким чином, подача палива повинна робитися так, щоб забезпечити постійний тиск пари при виході з котла.

### 1.5.2 Витрата повітря

Подача повітря в топку повинна забезпечити найбільш економічний режим горіння палива. Для цього вимагається підтримувати відповідність між кількістю і якістю палива, що подається, з одного боку, і кількістю повітря, необхідного для горіння, з іншою. Показником цієї відповідності є коефіцієнт надлишку повітря в топці, який контролюється за даними газового аналізу. Оптимальне значення надлишку повітря  $\alpha_T$  залежить від виду палива, способу його спалювання, конструкції паливного пристрою, навантаження котельного агрегату. У конкретних умовах оптимальне значення  $\alpha_T$  при різних навантаженнях визначається на підставі випробувань котельного агрегату. Значення  $\alpha_T$  можна оцінити за вмістом вільного кисню  $O_2$  в димових газах, що покидають паливну камеру. Вміст  $O_2$  визначають в поворотній камері газоходу за пароперегрівачем у %. Оптимальне значення  $O_2$  при номінальному навантаженні при спалюванні пилоподібного палива - 3-5 %. Значне збільшення надлишку повітря проти оптимального призводить до росту втрат тепла з газами, а надмірне зниження надлишку повітря збільшує втрати з неповнотою згорання.

### 1.5.3 Регулювання тяги

Регулювання тяги повинне забезпечувати повне видалення продуктів згорання. У статичних (рівноважних) режимах продуктивність димососів повинна в кожен момент часу відповідати продуктивності дуттєвих вентиляторів. Показником цієї відповідності служить розрідження в паливній камері. Допускати в топці котельного агрегату надмірний тиск не можна, це викликає вибивання газів

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і полум'я з топки. З іншого боку, при значному розрідженні в топці зростають присоси повітря, що знижують економічність роботи котла за рахунок втрат з газами і збільшення витрати електроенергії на роботу димотягів.

#### 1.5.4 Контрольовані величини

Для забезпечення захисту в котлоагрегаті контролюються: тиск в барабані котла і факел в топці. Значення параметрів регулювання і контролю відображені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Параметри контролю а також регулювання

Найменування параметра	Позиція на схемі	Вимірювані одиниці	Діапазони коливань
Тиск перед турбіною	1а	МПа	12,7-13,3
Розрідження в топці	4а	кгс/м <sup>2</sup>	2,0
Швидкість обертання пилживильників	1б	об/хв	від 500 до 1500
Вміст кисню в димових газах	2а,2б	%	4
Факел в топці	6а, 7а	-	-
Тиск в барабані котла	5а	14	МПа

#### 1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу

Наявна система автоматичного керування основана на засобах і локальних пристроях традиційної автоматики із можливістю ручного дистанційного управління наявних приводів насосів, а також регуляторів прямої дії і місцевого контролю більшості з технологічних параметрів. Це усе значно підвищує наявну зону обслуговування, а також трудоемність обслуговування апаратури і обладнання оператором чи іншим персоналом даної установки. Контроль за технологічним процесом відбувається з допомогою вторинних приладів, які розташовані на щитах у операторній, та які з'єднуються із давачами з допомогою пневмокабелів та компенсаційних провідників.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даній кваліфікаційній роботі для автоматизації установки використовується програмований логічний контролер Simatic S7-300, який здатен забезпечити вирішення великої кількості задач керування.

Програмування мікропроцесорного контролера Simatic S7-300 здійснюється за допомогою алгоритмів, які об'єднують функції для розв'язання певного набору задач і налаштовуються шляхом конфігурування. Simatic S7-300 може обслуговувати до восьми незалежних контурів з абсолютно різною задачею на кожному із задіяних контурів.

У кваліфікаційній роботі пропонується встановлення сучасних технічних засоби автоматизації, які можуть з'єднуватися із ПЛК Simatic S7-300. Такими засобами є перетворювачі типу «Метран», які здійснюють безперервне перетворення значення параметру.

### **Висновки до розділу**

В даному розділі розглянуто призначення котельного агрегату і суть процесу горіння, описано технологічну схему парового котла і порядок протікання процесу. Наведена характеристика палива і продуктів згорання, наводиться технічна характеристика технологічного обладнання котельного агрегату. А також описано параметри контролю і регулювання.

Запропоновано удосконалення системи автоматичного керування, за рахунок впровадження мікропроцесорного контролера Simatic S7-300, що приведе до зменшення витрат палива, зменшення навантаження на лопатки турбіни, зниження енергетичних затрат. Впровадження розроблюваної системи забезпечить коректну роботу не тільки самої апаратури, але і цілої установки.

Удосконалена система автоматичного керування на основі мікропроцесорної техніки дасть змогу забезпечити безперервний та якісний контроль і регулювання, дають можливість виключення не прогнозованих відхилень параметрів методом досягнення достатньо високої точності регулювання та швидкодії системи.

Отже, даний розділ дає представлення про протікання технологічного

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесу горіння, надає можливість розробнику опанувати керування технологічним процесом, як об'єктом автоматизації.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 МАТЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРОВАНОВОГО ОБ'ЄКТА

### 2.1 Обґрунтування об'єкта керування

В даному розділі роботи розглянемо як об'єкт керування паровий котел. Для вибору об'єкта автоматизації проаналізуємо процес горіння вугільного пилу в топці котла.

Режим роботи котла електростанції визначається навантаженням на турбіну. В кожен момент часу парогенератори повинні виробляти стільки пари, скільки її споживає турбіна. Виробіток пари котлом залежить від кількості тепла, яке виділилося в топці при згорянні палива. Таким чином, регулювання подачі палива повинно забезпечити підтримку тиску пари. Тиск пари у встановлених режимах повинен підтримуватися з відхиленням не більшим  $\pm 2\%$  від номінального.

Економічний режим горіння палива забезпечується при подачі в топку повітря. Надлишок повітря приводить до додаткових втрат тепла з димовими газами, а зменшення - до втрат з хімічним і механічним недопалом.

Для підтримки стійкого режиму горіння потрібно видаляти продукти згорання. Таким показником є розрідження в топці котла. Збільшення розрідження призводить до витягування повітря з топки, а надлишковий тиск призведе до попадання димових газів в приміщення котельні.

Паровий котел є складною динамічною ланкою з декількома взаємозалежними вхідними і вихідними величинами:

#### 1. Основні вхідні величини:

- витрата палива  $B_n$  ;
- продуктивність дутєвих вентиляторів (витрата повітря)  $Q_{нов}$  ;
- продуктивність пиложивильників  $Q_{пил}$  ;
- витрата живильної води  $B_{ж.в.}$  ;
- витрата води на упорскування  $B_{в.уп.}$  ;
- витрата води на продувку  $B_{в.п.}$  ;

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- витрата перегрітої пари  $B_{n.n.}$ .

2. Основні вихідні (регульовані) величини:

- тиск і температура перегрітої пари  $P_{n.n.}$ ,  $t_{n.n.}$ ;

- розрідження у верхній частині топки  $S_m$ ;

- коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$ ;

- рівень води в барабані  $H_o$ .

Особливість парового котла полягає у складності зв'язків тому, що вихідні регульовані величини одночасно є вхідними впливами (збуреннями) стосовно інших вихідних величин, а вхідні відносно вхідних. В даному дивломному проекті розглянемо два контури регулювання: основний (витрата палива  $B_n$  - тиск перегрітої пари  $P_{n.n.}$ ) та допоміжний (продуктивність пилосивильників  $Q_{пил}$  - витрата палива  $B_n$ ) структура яких наведена на рисунку 2.1.

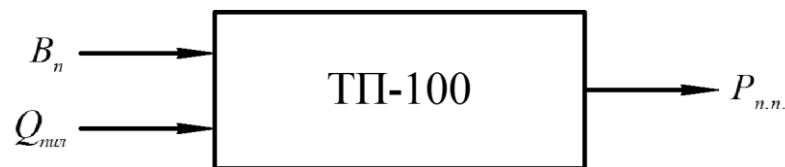


Рисунок 2.1 - Структурна схема управління котлом ТП-100

## 2.2 Основні характеристики якості і критерії оптимальності системи автоматизації

Оскільки метою системи автоматизації є підтримання тиску перегрітої пари для нормального протікання технологічного процесу. Дане регулювання проводиться витратою палива, яке подається в котел ТП-100.

Для підвищення ефективності процесу регулювання тиску та утримання параметрів у встановлених межах оберемо такі показники якості регулювання [4]:

- перерегулювання не повинне перевиувати 20%;

- максимальна похибка під час апроксимації експериментальних характеристик не повинна перевиувати 2,5%;

- наявне відхилення керованої величини від заданого значення повинне бути меншим за 5%;

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- запас стійкості за амплітудою повинен бути у межах 0,5-0,6;
- степінь затухання коливань повинна бути у межах 0,75-0,95%;
- запас стійкості по фазі повинен бути у межах 30°-60°.

### 2.3 Експериментальне дослідження динаміки керованого об'єкта

Оскільки математичний опис динаміки котла являється досить складним, і є таким, що вимагає досить значних затрат часу, тому є доцільним визначення динамічних властивості об'єкта експериментальним методом, а саме шляхом проведення активного експеримента. Застосуємо для цього метод аперіодичних вхідних впливів [4].

Зробимо припущення, що об'єкт дослідження являється лінійним у випадку малих змін вхідної величини. Динамічні характеристики об'єкта залишаються незмінними в часі, а його вихідна змінна не залежить від просторових координат об'єкта керування. Для використання цього методу необхідно, щоб випадкові процеси зміни всіх змінних величин об'єкта під час його експлуатації були стаціонарними, ергодичними та випадковими [4, 7].

Вибрани метод для експериментального визначення динамічних характеристик об'єкта керування включає у себе такі три основні етапи: підготовка та планування; проведення; обробка результатів [7].

#### 2.3.1 Підготовка та планування експерименту

Виходячи із вищесказаного вхідним параметром являться продуктивність пилососів, а вихідним відповідно сигнал із вторинного приладу [5].

Вхідний вплив здійснюватимемо за допомогою перемикачів задавача, та фіксування зміни сигналу вимірювального перетворювача.

З огляду на те, що під час проведення експерименту з аперіодичними впливами важливо забезпечити відсутність будь-яких збурень, необхідно ретельно дослідити та усунути можливі джерела їх виникнення.

В процесі планування експерименту вибираємо наявний вид досліджуваного

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

впливу, амплітуду, а також початкове значення вихідної змінної. В нашому випадку аперіодичному впливові відповідатиме стрибок продуктивності пиложивильників.

Амплітуда для вхідного впливу зазвичай вибирається у інтервалі  $(0,1-0,15)\Delta X_{\text{вхmax}}$  [8].

Експеримент вважається розпочатим після встановлення на об'єкті, який досліджується виробничого режиму, котрий характеризується постійністю вихідної змінної. Оскільки процес є інерційним тому зробимо витримку у  $(2,0-2,5 \text{ хв})$ .

Далі нанесемо збурення шляхом збільшення продуктивності пиложивильників на 10-15% та проведемо реєстрацію зміни вихідної величини. В цей же час записуємо зміну наявних збурюючих впливів. Вважатимемо дослідження закінченим коли вихідна величина в певний момент часу залишатиметься незмінною.

### 2.3.2 Обробка результатів експерименту

Отримані результати проведеного експерименту наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати експерименту

t, с	$Q_{\text{пл}}$ , %	$P_{\text{н.п.}}$ , МПа	$B_n$ , кг/с
0	15	12,7	177,78
20	15	12,7	178
40	15	12,826	178,132
60	15	12,977	178,204
80	15	13,113	178,253
100	15	13,191	178,281
120	15	13,238	178,292
140	15	13,264	178,319
160	15	13,279	178,319
180	15	13,287	178,326

t, с	$Q_{нул}$ , %	$P_{н.н.}$ , МПа	$B_n$ , кг/с
200	15	13,293	178,327
220	15	13,296	178,33
240	15	13,298	178,33
260	15	13,299	178,33
280	15	13,299	178,33
300	15	13,299	178,33
320	15	13,3	178,33
340	15	13,3	178,33
360	15	13,3	178,33
380	15	13,3	178,330
400	15	13,3	178,330

Користуючись даними таблиці 2.1 побудуємо перехідні характеристики за основним та допоміжним канали регулювання (рисунок 2.2, 2.3).

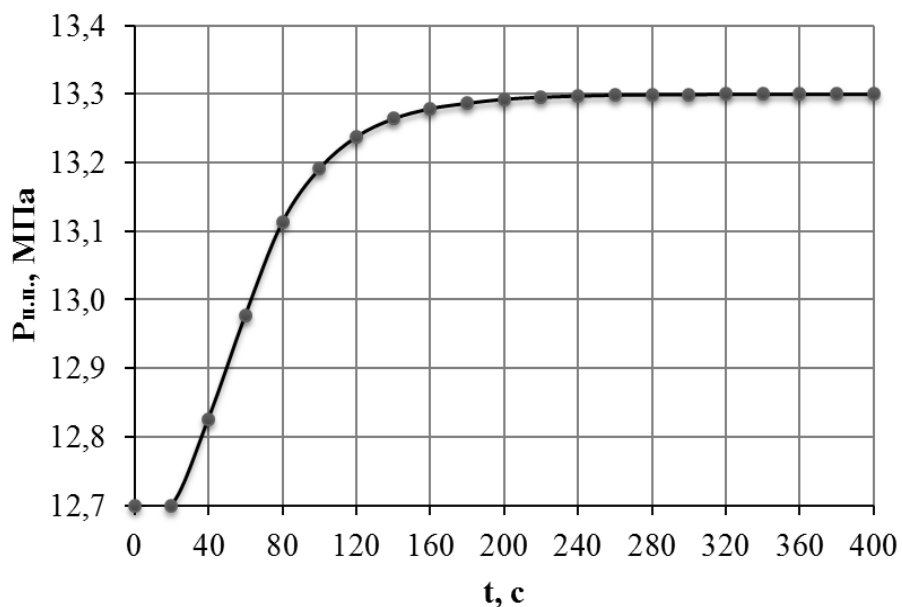


Рисунок 2.2 - Перехідна характеристика основного каналу

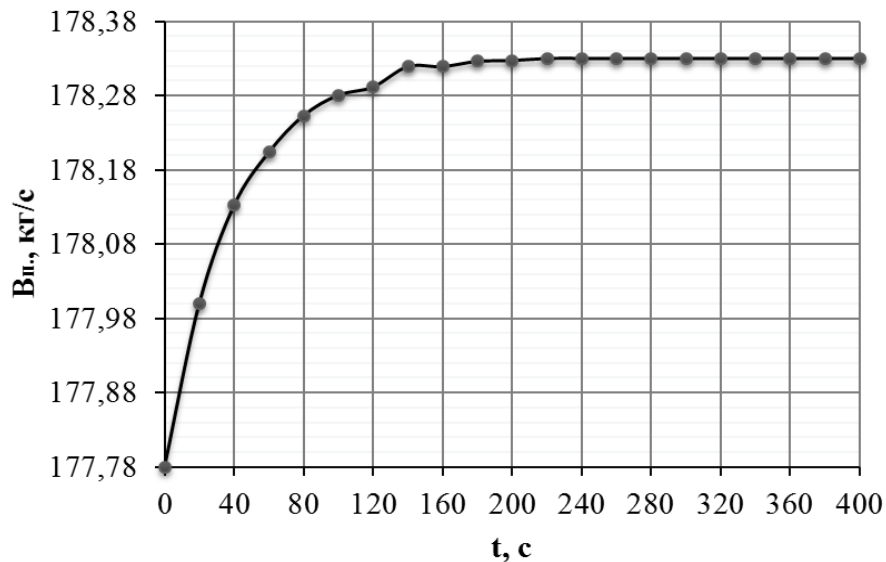


Рисунок 2.3 - Перехідна характеристика допоміжного каналу

Здійснимо перевід до безрозмірних величин за допомогою таких формул [4]:

$$X_{exi}^* = \frac{X_{exi} - X_{ex0}}{X_{ex\max} - X_{ex0}}, \quad (2.1)$$

$$Y_{vixi}^* = \frac{Y_{vixi} - Y_{vix0}}{Y_{vix\max} - Y_{vix0}},$$

де  $Y_{vixi}$  - біжучі значення вихідної величини в розмірних одиницях;

$X_{exi}$  - біжучі значення вхідної величини в розмірних одиницях;

$Y_{vix0}$  - значення вихідних величин в розмірних одиницях до моменту нанесення збурення на керований об'єкт (КО);

$X_{ex0}$  - значення вхідних величин в розмірних одиницях до моменту нанесення збурення на керований об'єкт (КО);

$X_{ex\max}$  - максимальне значення вхідної величини в розмірних одиницях;

$Y_{vix\max}$  - значення вихідної величини після закінчення перехідного процесу в розмірних одиницях.

Виконаємо розрахунок для параметрів основного каналу регулювання:

$$x_{ex} = 1;$$

$$y_{vix0} = \frac{12,7 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0;$$

$$y_{vix1} = \frac{12,7 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0;$$

$$y_{вих2} = \frac{12,826 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,21;$$

$$y_{вих3} = \frac{12,977 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,462;$$

$$y_{вих4} = \frac{13,113 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,688;$$

$$y_{вих5} = \frac{13,191 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,818;$$

$$y_{вих6} = \frac{13,238 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,896;$$

$$y_{вих7} = \frac{13,264 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,94;$$

$$y_{вих8} = \frac{13,279 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,965;$$

$$y_{вих9} = \frac{13,287 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,978;$$

$$y_{вих10} = \frac{13,293 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,988;$$

$$y_{вих11} = \frac{13,296 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,993;$$

$$y_{вих12} = \frac{13,298 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,996;$$

$$y_{вих13} = \frac{13,299 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,998;$$

$$y_{вих14} = \frac{13,299 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,999;$$

$$y_{вих15} = \frac{13,299 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 0,999;$$

$$y_{вих16} = \frac{13,3 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 1;$$

$$y_{вих17} = \frac{13,3 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 1;$$

$$y_{вих18} = \frac{13,3 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 1;$$

$$y_{вих19} = \frac{13,3 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 1;$$

$$y_{вих20} = \frac{13,3 - 12,7}{13,3 - 12,7} = 1.$$

Для зручності подальших досліджень зведемо отримані результати у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати експериментального дослідження у безрозмірних одиницях вимірювання

$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$	$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$
0	1	0	220	1	0,9930
20	1	0	240	1	0,996
40	1	0,210	260	1	0,9980
60	1	0,4620	280	1	0,999
80	1	0,6880	300	1	0,9990

$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$	$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$
100	1	0,8180	320	1	1
120	1	0,8960	340	1	1
140	1	0,940	360	1	1
160	1	0,9650	380	1	1
180	1	0,9780	400	1	1
200	1	0,988			

Користуючись наведеними даними у таблиці 2.2 здійснимо побудову перехідної характеристики у безрозмірних одиницях (рисунок 2.4).

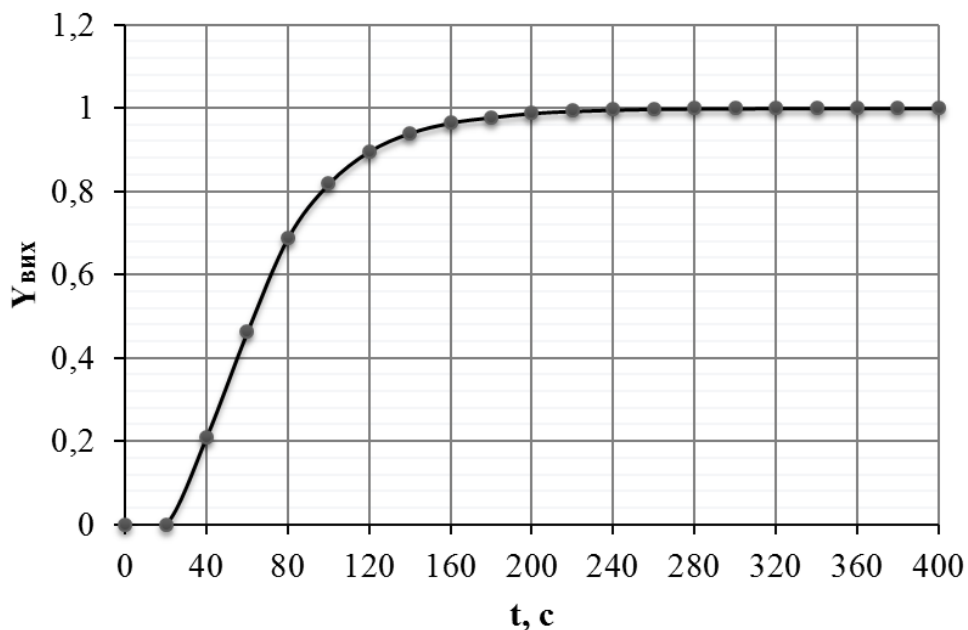


Рисунок 2.4 – Графік перехідної характеристики за основним каналом

За допомогою програмного продукту Арох проводимо апроксимацію. В результаті отримали таку передавальну функцію:

$$W(p) = \frac{-10.5360p + 1}{5414.925p^3 + 1077.6570p^2 + 61.2230p + 1} \quad (2.2)$$

Похибка апроксимації являється максимальною у точці  $t = 60c$  і є рівною 1,5% (додаток А1).

Аналогічним способом здійснимо апроксимацію перехідної характеристики допоміжного каналу регулювання.

Здійснимо перевід до безрозмірних величин:

$$x_{ex} = 1;$$

$$y_{вих0} = \frac{177,78 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0;$$

$$y_{вих1} = \frac{178 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0.4;$$

$$y_{вих2} = \frac{178,132 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0.64;$$

$$y_{вих3} = \frac{178,204 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0.77;$$

$$y_{вих4} = \frac{178,253 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0.86;$$

$$y_{вих5} = \frac{178,281 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0.91;$$

$$y_{вих6} = \frac{178,292 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0.93;$$

$$y_{вих7} = \frac{178,319 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0.98;$$

$$y_{вих8} = \frac{178,319 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0.98;$$

$$y_{вих9} = \frac{178,326 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0.993;$$

$$y_{вих10} = \frac{178,327 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 0.995;$$

$$y_{вих11} = \frac{178,33 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 1;$$

$$y_{вих12} = \frac{178,33 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 1;$$

$$y_{вих13} = \frac{178,33 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 1;$$

$$y_{вих14} = \frac{178,33 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 1;$$

$$y_{вих15} = \frac{178,33 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 1;$$

$$y_{вих16} = \frac{178,33 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 1;$$

$$y_{вих17} = \frac{178,33 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 1;$$

$$y_{вих18} = \frac{178,33 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 1;$$

$$y_{вих19} = \frac{178,33 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 1;$$

$$y_{вих20} = \frac{178,33 - 177,78}{178,33 - 177,78} = 1.$$

Отримані результати обрахунків зведемо у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати переводу до безрозмірних величин перехідної характеристики допоміжного каналу регулювання

$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$	$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$
0	1	0	220	1	1,0
20	1	0,40	240	1	1,0

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$	$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$
40	1	0,64	260	1	1,0
60	1	0,770	280	1	1,0
80	1	0,86	300	1	1,0
100	1	0,910	320	1	1,0
120	1	0,93	340	1	1,0
140	1	0,980	360	1	1,0
160	1	0,98	380	1	1,0
180	1	0,9930	400	1	1,0
200	1	0,995			

На основі отриманих результатів побудуємо перехідну характеристику в безрозмірних одиницях для каналу регулювання витрати теплоносія (див. рис. 2.5).

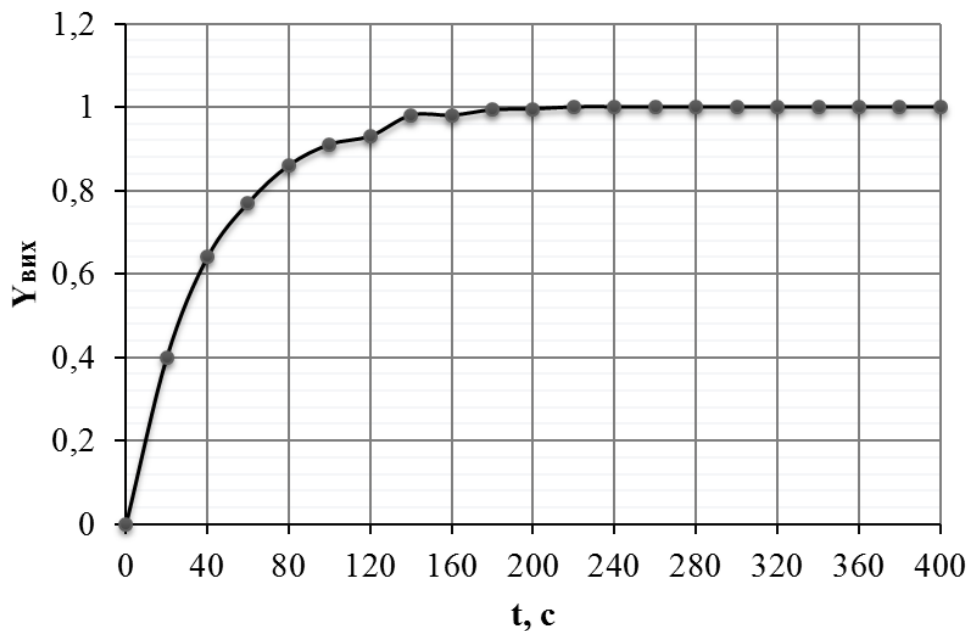


Рисунок 2.5 - Графік перехідної характеристики за допоміжним каналом

Використовуючи програму Аргох здійснимо апроксимацію отриманої перехідної характеристики допоміжного каналу та отримаємо таку функцію передачі:

$$W(p) = \frac{1,0}{39.8530p + 1}. \quad (2.3)$$

Максимальна похибка апроксимації є у точці  $t=120c$  і є рівною 2,0% (додаток А2).

### Висновки до розділу

Обґрунтовано вибір об'єкта керування та визначено його структурну схему з позицій автоматизації. Проведено апроксимацію результатів експериментальних досліджень, на основі яких встановлено передаточні функції об'єкта керування як для основного, так і для допоміжного каналів регулювання.

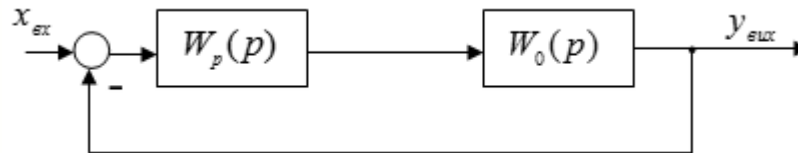
На основі математичних розрахунків можемо побачити, що похибка апроксимації у обох випадках не перевищує 2.5%, що повністю задовільняє поставлені умови.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 ПОБУДОВА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Підбір параметрів одноконтурної автоматичної системи

При використанні одноконтурної САК спрощена функціональна схема апарату буде мати вигляд, як на рисунку 3.1.



$W(p)$  - функція передачі об'єкта керування;  $W_p(p)$  - функція передачі регулятора

Рисунок 3.1 - Будова одноконтурної системи автоматичного керування

Варто зазначити, що досліджуваний об'єкт належить до самовирівнювальних і функціонує в режимі повного навантаження. Для досягнення заданих показників якості регулювання, забезпечення належних характеристик перехідного процесу та підвищення стійкості системи автоматичного керування доцільно застосувати регулятор із пропорційно-інтегральним (ПІ) законом керування.

Загальний вигляд передавальної функції даного регулятора наступний [4]:

$$W_p(p) = \frac{C_1 p + C_0}{p}. \quad (3.1)$$

Для наступних досліджень нам потрібно визначити невідомі параметри налаштування регулятора  $C_0$  та  $C_1$  ПІ-регулятора та знайти передавальну функцію замкненої системи.

Вираз передавальної функції розімкненої системи можна подати у наступній формі:

$$W_{роз}(p) = \frac{-10.536p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1} \cdot W_p(p); \quad (3.2)$$
$$W_{роз}(p) = \frac{-10.536p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1} \cdot \frac{C_1 p + C_0}{p} =$$
$$= \frac{(-10.536p + 1)(C_1 p + C_0)}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1}.$$

Функція передачі замкненої системи, структура якої наведена на рисунку 3.1,

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матиме такий вигляд:

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{роз}(p)}{1 + W_{роз}(p)}; \quad (3.3)$$

$$W_{зам}(p) = \frac{(-10.536p + 1)(C_1p + C_0)}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1} =$$

$$= \frac{(-10.536p + 1)(C_1p + C_0)}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1 + (-10.536p + 1)(C_1p + C_0)}.$$

Налаштування ПІ-регулятора на оптимальні параметри здійснюється через функцію Tune в MatLAB. Відповідно до даних додатку Б1 отримаємо:  $K_p = C_1 = 0.5607$ ,  $K_i = C_0 = 0.0132$ .

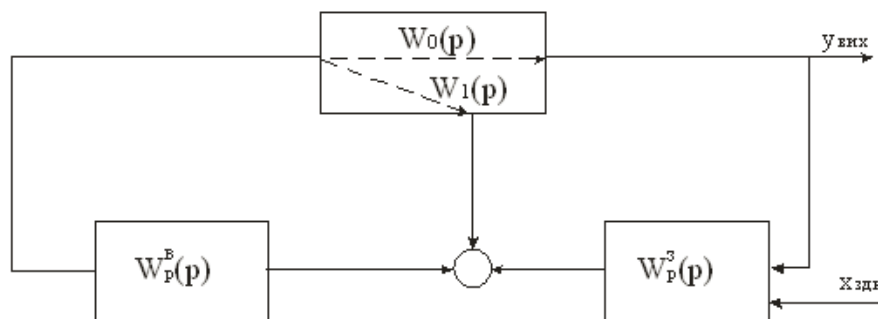
Після перетворень отримаємо:

$$W_{зам}(p) = \frac{-5.9075p^2 + 0.4216p + 0.0132}{5414.925p^3 + 1071.7495p^2 + 61.6446p + 1.0132}.$$

### 3.2 Визначення параметрів каскадної АСК

Для реалізації каскадної структури до базового контуру регулювання вводиться додатковий, швидкодіючий контур із малою інерційністю. У цій системі таким допоміжним контуром виступає контур керування витратою палива.

Алгоритмічна схема каскадної САК приведена на рисунку 3.2.



$W_0(p)$  - основний каналу;  $W_p^3(p)$  - зовнішній регулятор;  $W_1(p)$  - допоміжний канал;  $W_p^B(p)$  - внутрішній регулятор

Рисунок 3.2 - Алгоритмічна схема каскадної САК

Аналіз каскадної системи починаємо з головного регулятора, передавальна

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

функція якого задається наступним чином [4]:

$$W'_e(p) = \frac{W_p^e(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_p^e} W_0(p), \quad (3.4)$$

де  $W_0(p)$  - функція передачі основного каналу регулювання:

$$W_0(p) = \frac{-10.536p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1}.$$

$W_1(p)$  - функція передачі допоміжного каналу регулювання:

$$W_1(p) = \frac{1}{39.853p + 1}.$$

Робоча частота основного контура  $W_p'$  являється набагато меншою, ніж допоміжного  $W_p''$ . Якщо  $W = W_p'$  зрозумілою буде нерівність [4]:

$$\frac{1}{(W_p^e(j\omega))} \ll (W_1(j\omega)). \quad (3.5)$$

Дивлячись на (3.5) очевидним є, що  $W'_e = \frac{W_0(p)}{W_1(p)}$ . Здійснивши підстановку

значення  $W_0(p)$  та  $W_1(p)$ , одержимо:

$$\begin{aligned} W'_e(p) &= \frac{-10.536p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1} = \\ &= \frac{1}{39.853p + 1} = \\ &= \frac{-419.8912p^2 + 29.317p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1}. \end{aligned}$$

Пошук оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора здійснимо за допомогою функції Tune у програмі налаштування регулятора програмного продукту Matlab.

З додатку Б2 одержимо  $K_p = C_1 = 0,3883$ ,  $K_i = C_0 = 0,02416$ .

Функція передачі зовнішнього регулятора матиме такий вигляд:

$$W_p^z(p) = \frac{0,3883p + 0,02416}{p}. \quad (3.6)$$

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маючи попередні результати здійснимо розрахунок по допоміжному каналу регулювання [4]:

$$W_e''(p) = W_1(p) + W_0(p) \cdot W_p^3(p).$$

Підставивши одержжані значення отримаємо:

$$W''(p) = \frac{-10.536p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1} \cdot \frac{0.3883p + 0.02416}{p} + \frac{1}{39.853p + 1} = \frac{5414.925p^4 + 914.613p^3 + 62.4622p^2 + 2.0966p + 0.02416}{215801.006p^5 + 48362.7894p^4 + 3517.577p^3 + 101.076p^2 + p}.$$

Підбір оптимальних параметрів ПІ-регулятора здійснюємо аналогічним способом — із використанням інструмента Tune в середовищі MatLab, призначеного для налаштування регуляторів. Спираючись на результати наведені у додатку БЗ отримаємо таку функцію передачі для внутрішнього регулятора:

$$W_p^e(p) = \frac{79.63p + 2.781}{p}.$$

Еквівалентна передавальна функцію для каскадної САК у загальному має такий вигляд [4]:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{W_p^3(p)W_0(p)W_p^e(p)}{W_p^3(p)W_0(p)W_p^e(p) + W_1(p)W_p^e(p) + 1}. \quad (3.7)$$

Підставивши наявні передавальні функції  $W_p^3$ ,  $W_0$ ,  $W_1$ ,  $W_p^e$  та виконавши певні алгебраїчних перетворення одержимо:

$$W(p) = \frac{-12983.17p^4 - 354.75p^3 + 90.77p^2 + 4.97p + 0.0672}{215801p^6 + 479553.267p^5 + 91407.14p^4 + 7618.48p^3 + 341.66p^2 + 7.75p + 0.067}.$$

### 3.3 Дослідження стійкості одноконтурної САК

За критерієм Михайлова САК, яка у загальному вигляді описується рівнянням  $n$ -ого порядку, являється стійкою, коли годограф Михайлова послідовно проходить  $n$  квадрантів.

Характеристичний поліном для нашого випадку матиме такий вигляд:

$$F(p) = 5414.925p^3 + 1071.7495p^2 + 61.6446p + 1.0132.$$

Виконаємо прирівняння даного полінома до нуля:

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$5414.925p^3 + 1071,74950p^2 + 61,64460p + 1.0132 = 0.$$

Після заміни  $p = j\omega$  одержимо:

$$-5414.925j\omega^3 - 1071,74950\omega^2 + 61,64460j\omega + 1.0132 = 0.$$

Після виділення дійсної та уявної частин одержимо:

$$P(\omega) = -1071.7495\omega^2 + 1.0132;$$

$$Q(\omega) = -5414.925\omega^3 + 61.6446\omega.$$

Для побудови годографа Михайлова використаємо програмний пакет Mathcad (Додаток В1). Аналіз отриманої кривої показує, що вона послідовно проходить три квадранти, що повністю відповідає вимогам критерію Михайлова. Отже, система автоматичного керування є стійкою.

### 3.4 Дослідження стійкості каскадної САК

У нашого випадку характеристичний поліном матиме такий вигляд:

$$F(p) = 215801.00p^6 + 479553.2670p^5 + 91407.140p^4 + 7618.48p^3 + 341.660p^2 + 7.75p + 0.067.$$

Запишемо поліном у вигляді рівняння, прирівнявши його до нуля:

$$215801p^6 + 479553.2670p^5 + 91407.14p^4 + 7618.480p^3 + 341.66p^2 + 7.750p + 0.067 = 0.$$

Після заміни  $p = j\omega$  одержимо:

$$-215801\omega^6 + 479553.2670j\omega^5 + 91407.14\omega^4 - 7618.480j\omega^3 - 341.66\omega^2 + 7.750j\omega + 0.067 = 0.$$

Після виділення дійсної та уявної частин одержимо:

$$P(\omega) = -215801\omega^6 + 91407.14\omega^4 - 341.66\omega^2 + 0.067;$$

$$Q(\omega) = 479553.267\omega^5 - 7618.48\omega^3 + 7.75\omega.$$

За допомогою Mathcad (Додаток В2) побудуємо годографа Михайлова. Проаналізувавши годограф Михайлова бачимо, що він проходить шість квадрантів, що відповідно повністю задовольняє умови критерію Михайлова. Отже, система автоматичного керування стійка.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.5 Оцінка якісних показників системи

З метою належної оцінки якісних характеристик перехідного процесу здійснимо побудови обох систем керування за допомогою пакету Matlab та підпрограми Simulink (рис.3.3).

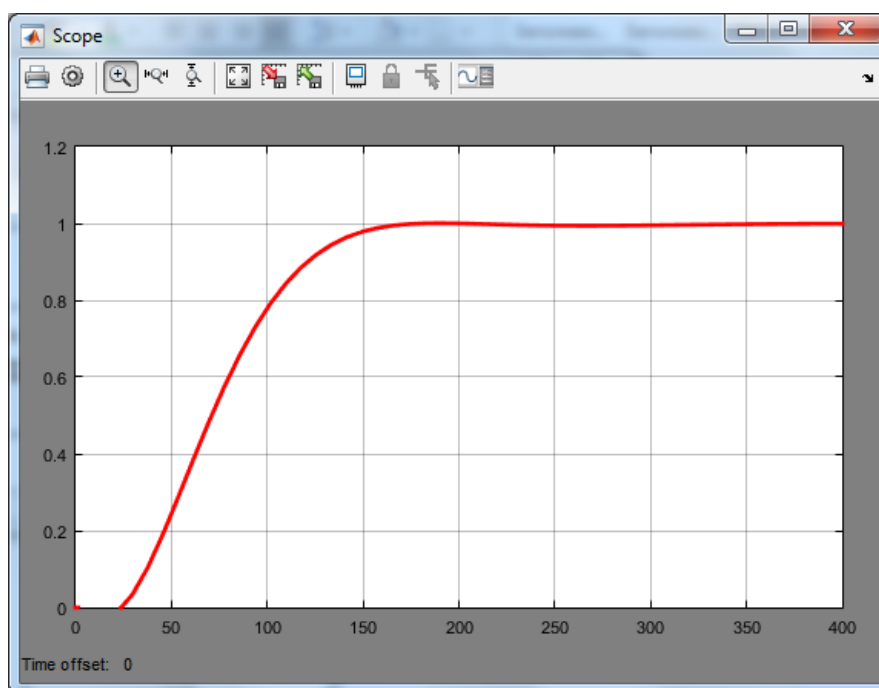
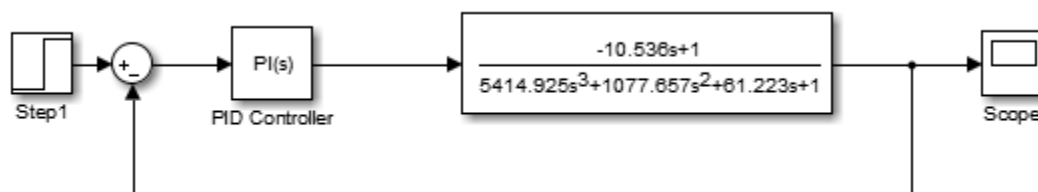


Рисунок 3.3 – Результат моделювання перехідної характеристики одноконтурної системи в Matlab

Відповідно до поставлених вище вимог до якості системи виділимо такі показники:

- тривалість перехідного процесу САК одноконтурної системи:

$$t_n = 160 \text{ c};$$

- перерегулювання одноконтурної САК:

$$\delta = \frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} \cdot 100\% = \frac{1,0 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 0\% .$$

Аналогічним чином побудуємо перехідну характеристику для каскадної САК. Відповідну побудову здійснимо в програмному продукті Matlab, а саме в

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

його компоненті Simulink (рис.3.4).

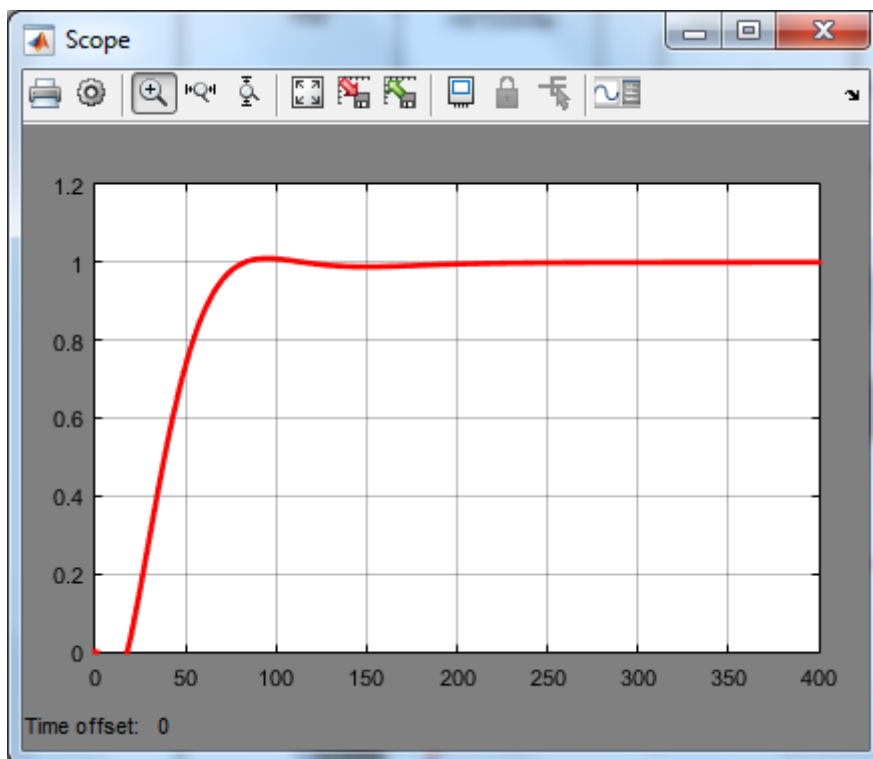
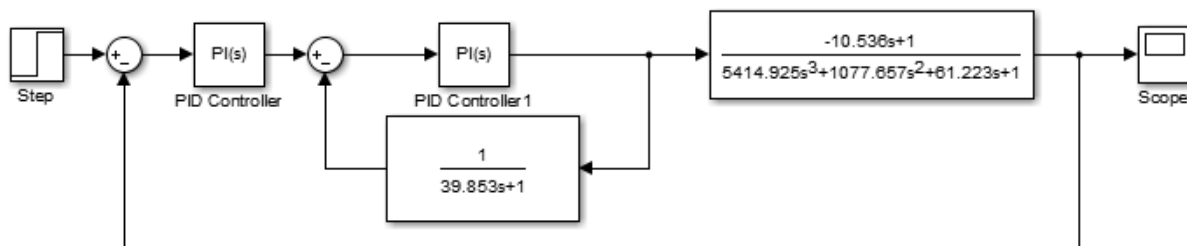


Рисунок 3.4 - Результат моделювання перехідної характеристики каскадної системи в Matlab

Відповідно до поставлених вище вимог до якості системи виділимо такі показники:

- тривалість перехідного процесу САК одноконтурної системи:

$$t_n = 80 \text{ с};$$

- перерегулювання каскадної САК:

$$\delta = 0\% .$$

### Висновки до розділу

Здійснено аналіз автоматичної системи керування та досліджено системи на стійкість.

Визначено за допомогою програмного продукту Matlab параметри

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

налаштування регуляторів для обидвох систем керування (одноконтурної та каскадної).

Здійснено за допомогою критерію Михайлова аналіз стійкості систем керування, який засвідчив їхню стійкість.

За допомогою програмного продукту Matlab проведено моделювання систем керування та визначені їхні показники якості.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4 РОЗРОБЛЕННЯ SCADA-СИСТЕМИ В СЕРЕДОВИЩІ AVEVA InTouch

У межах виконання кваліфікаційної роботи було розроблено SCADA-систему в середовищі AVEVA InTouch, призначену для візуалізації та керування технологічним процесом горіння, структурна схема якого наведена на рисунку. Об'єктом автоматизації виступає топковий агрегат, до складу якого входять система подачі вугільного пилу, повітряні тракти, а також система відведення димових газів.

Процес розроблення SCADA-системи розпочинався з формування інформаційної моделі об'єкта. Було визначено основні технологічні параметри, що підлягають контролю, зокрема тиск у барабані котла (позначений як Б-1), розрідження в топці, витрата палива (F), а також концентрація кисню у димових газах (1-O2 та 2-O2). Окрему увагу приділено контролю наявності полум'я, який реалізовано за допомогою сигналів від датчиків ПТ1 та ПТ2. Усі зазначені параметри були представлені у вигляді тегів у базі даних SCADA-системи з відповідними типами та діапазонами значень.

У середовищі WindowMaker було створено мнемосхему технологічного процесу, яка відтворює реальну структуру установки. Центральним елементом інтерфейсу є топка, в якій відбувається процес горіння вугільного пилу. Подача палива здійснюється через систему транспортування, позначену як «Вугільний пил», із відповідним виконавчим механізмом та елементом керування «Управління пиловими вічками». Над топкою розташовано барабан Б-1, від якого відводиться пара на турбіну, що також відображено на мнемосхемі у вигляді трубопроводу з напрямком руху середовища.

Подача повітря до топки реалізується за допомогою вентиляторів ПП1 та ПП2, які відображені на схемі як активні елементи з можливістю керування. Повітряні потоки позначені відповідними трубопроводами зі стрілками напрямку руху. Відведення димових газів здійснюється через димососи ДС1 та ДС2, які також включені до системи керування і відображаються на інтерфейсі. Для

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кожного з цих механізмів передбачено індикацію стану (увімкнено/вимкнено) та можливість дистанційного керування.

Для підвищення інформативності інтерфейсу реалізовано динамічні елементи. Зокрема, цифрові індикатори відображають значення тиску ( $P_b$ ,  $P_p$ ), витрати палива та концентрації кисню у реальному часі. Напрямки потоків повітря та димових газів показані за допомогою анімованих стрілок, що дозволяє оператору швидко оцінити поточний режим роботи системи. Стан наявності полум'я відображається за допомогою світлових індикаторів, що змінюють свій стан залежно від сигналів ПТ1 і ПТ2.

Обмін даними між SCADA-системою та контролером організовано із застосуванням стандартних протоколів промислової автоматизації. Кожен елемент мнемосхеми, включаючи вентилятори ПП1 і ПП2, димососи ДС1 і ДС2, а також датчики та вимірювальні прилади, прив'язаний до відповідних тегів, що забезпечує актуальність відображуваної інформації.

Керування технологічним процесом реалізовано безпосередньо через інтерфейс оператора. Передбачено можливість запуску та зупинки вентиляторів подачі повітря, керування димососами, а також регулювання подачі вугільного пилу. Логіка роботи системи враховує взаємозв'язки між елементами, зокрема залежність процесу горіння від подачі повітря та ефективності відведення димових газів.

З метою забезпечення безпечної експлуатації реалізовано систему сигналізації, яка реагує на відхилення параметрів від допустимих значень. Наприклад, при зниженні концентрації кисню або відсутності полум'я система формує попереджувальні сигнали. Додатково передбачено архівування основних параметрів, що дозволяє здійснювати аналіз роботи установки в динаміці.

Після завершення розроблення було проведено тестування SCADA-системи, у ході якого перевірено коректність відображення всіх елементів, включаючи топку, барабан Б-1, вентилятори ПП1 і ПП2, димососи ДС1 і ДС2, а також датчики ПТ1 і ПТ2. Результати тестування підтвердили працездатність системи та її

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

готовність до використання в умовах реального або змодельованого технологічного процесу.

Таким чином, розроблена SCADA-система в середовищі AVEVA InTouch забезпечує комплексне відображення процесу горіння з урахуванням усіх ключових елементів, представлених на мнемосхемі, та дозволяє ефективно здійснювати моніторинг і керування технологічним процесом.

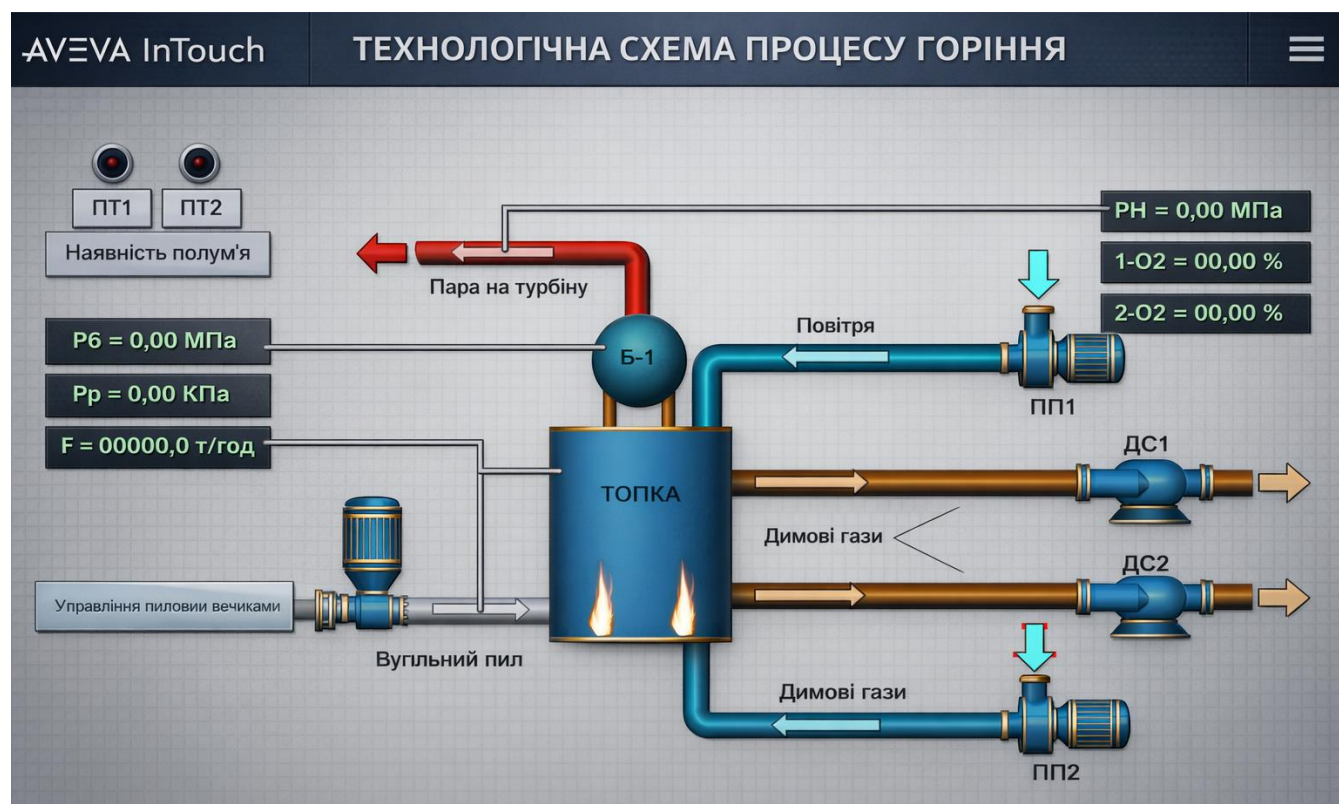


Рисунок 4.1 - SCADA-система

### Висновки до розділу

У результаті виконаної роботи розроблено SCADA-систему в середовищі AVEVA InTouch, яка забезпечує ефективний контроль і керування процесом горіння. Реалізовані функції візуалізації, сигналізації та архівування даних дозволяють підвищити надійність, безпеку та енергоефективність технологічного процесу.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

## 5 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК

### 5.1 Вимоги, які ставляться до проектування систем управління

У процесі експлуатації системи автоматизації мають забезпечити:

1. Актуальний контроль за станом обладнання.
2. Ефективний захист обладнання.
3. Ефективний захист системи керування.
4. Забезпечення надійності та економічності роботи.

Усі задіяні у проекті пристрої автоматизації постійно мають бути у експлуатації під час роботи обладнання.

Персонал установки має забезпечувати постійно і надійну роботу, а персонал котрий обслуговує обладнання має своєчасно та головне ефективно використовувати системи автоматичного керування у роботі.

Відповідальними за збереження у чистоті елементів системи керування несе безпосередньо персонал системи автоматичного керування.

Капітальний ремонт а також технічне обслуговування відбувається за графіком, котрий затвердженим головним інженером підприємства.

Шафні щити мають бути ефективно ущільненими а також мати постійне освітлення та розетки із напругою 12 В та 220 В. Усі пункти управління а також критично важливі точки повинні бути оснащені телефонним зв'язком. Усе обладнання повинно бути забезпечене коректними надписами та відповідне маркування.

Забороняється прокладати у одному кабелі вимірювальні та силові кола. Прокладання кабельних ліній має відповідати технічним вимогам протипожежної безпеки.

Сигналізації має забезпечуватись навіть у випадку повної втрати живлення.

За встановленим графіком перевіряється справність спрацювання системи автоматичного вмикання резерву.

Після монтажу або реконструкції введення в експлуатацію проводиться за

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вказівкою головного інженера. Здійснювати вимикати захисної системи заборонено. Захисне обладнання може бути виведене із роботи у таких випадках:

- у випадку роботи технологічного обладнання у перехідних режимах у яких потреба вимикань захистів визначається інструкцією;

- у випадку очевидної несправності захисту, із обов'язковим інформуванням головного інженера.

Здійснювати будь-які ремонтні чи налагоджувальні роботи заборонено у колах працюючого захисту.

Технологічний захист, котрий повинен працюють для вимкнення обладнання має оснащуватись безперервно працюючими пристроями.

## **5.2 Вибір технічних засобів автоматизації**

Здійснивши аналіз технологічного об'єкту, а також особливості його роботи, розглянувши вимоги до параметрів та наявний загальний рівень автоматизації даного виробництва проведемо вибір технічних засобів автоматизації.

Необхідний комплекс технічних засобів повинен включати у себе: засоби формування, а також передачі інформації, засоби отримання інформації про фактичний стан технологічного процесу, виконавчі механізми, засоби представлення інформації персоналу установки.

Дивлячись на те, що дане виробництва відноситься до класу пожежо- та вибухонебезпечних, то здійснимо вибір відповідно до даної специфіки конкретних технічних засобів автоматизації. Первинні перетворювачі, що встановлені по місцю, а також прилади у операторній обов'язково повинні бути виконані у іскробезпечному виконанні.

Враховуючи те, що на установці контролюється, а також регулюється цілий ряд однотипних параметрів, то у комплекс ТЗА повинні входити однакові автоматичні пристрої, що відповідно значно полегшує їхнє використання, а також налаштування та ремонт. Віддамо перевагу використанню серійних ТЗА.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 5.2.1 Вибір давачів тиску

Тиск на виході з котла не перевищують 13,5 МПа. Доцільно вибрати інтелектуальний давач тиску Метран 100 ДИ (рис. 5.1) з діапазоном вимірювання 6-16 МПа. Стійкі до природніх температур від -50 до +60°C. Клас точності 0,5. Прилад здатен працювати при вібрації від 5 до 25 Гц із амплітудою до 0,1 мм.



Рисунок 5.1 - Давач тиску Метран 100 ДИ

Для вимірювання тиску в барабані котла (14 МПа) вибираємо також інтелектуальний давач тиску Метран 100 ДИ з діапазоном вимірювання 6-16 МПа. Клас точності приладу - 0,5.

### 5.2.2 Вибір давачів вмісту кисню

Стаціонарний газоаналізатор кисню ЭКОН-ВТ (рис. 5.2) призначений для безперервного дистанційного беспробоотборного вимірювання вмісту кисню в газових середовищах технологічних установок, що працюють на різних видах вуглеводневого палива (природний газ, вугілля, мазут, сланці тощо.), А так само в різних інертних газових середовищах. Газоаналізатор включає в себе зонд-датчик, що встановлюється безпосередньо в зону вимірювання, блок електроніки, яка формує уніфікований сигнал пропорційний вмісту кисню в газах, з'єднувальний кабель, довжиною до 30 м.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 5.2 - Газоаналізатор кисню ЭКОН-ВТ

Газоаналізатор ЭКОН-ВТ є засобом вимірювання і призначений для використання як в якості самостійного приладу контролю, так і в якості первинного перетворювача в автоматизованих системах управління режимом роботи технологічних установок. Газоаналізатор ЭКОН-ВТ може бути інтегрований в будь-яку чинну і проектовану автоматизовану систему управління.

Таблиця 5.1 - Основні технічні характеристики

Назва параметра	Значення
Вміст кисню в аналізованій газовій суміші, % об.	0,1 ... 25,0
Температура контрольованого середовища, °С	600 ... 1400
Тиск контрольованого середовища, КПа	-3,9 ... +4,4
Швидкість контрольованого середовища, м/с	1.0 ... 15
Запиленість контрольованого середовища, г/м <sup>3</sup>	до 50
Температура навколишнього середовища, °С	5 ... 50
Відносна вологість навколишнього середовища, %	до 95 при t = 350С
<b>Межа основної похибки</b>	
від 0,1 до 2,5% O <sub>2</sub>	3,0% об
від 2,5 до 25% O <sub>2</sub>	0,1% об
Живлення 220В, 50Гц, споживана потужність Вт, не більше	50
<b>Уніфікований вихідний струмовий сигнал</b>	
0 -5 мА, опір навантаження, кОм	0 ... 2,5
4 -20 мА, опір навантаження, кОм	0 ... 0,62

### 5.2.3 Вибір давачів наявності полум'я

В якості давачів наявності полум'я використовуємо сканери полум'я фірми Fireye Insight (рис. 5.3). Сканер призначений для індикації наявності полум'я. Може використовувати ІК і(або) УФ давачі полум'я, в залежності від використовуваного палива. Робоча температура від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+65^{\circ}\text{C}$ . Вхідна потужність - 24В  $\pm 10-15\%$ , 0,35А. Аналоговий вихід - 4-20мА. Інтерфейс оператора - чотири кнопочки клавіші.



Рисунок 5.3 - Сканер полум'я Fireye Insight

Рекомендуються до встановлення у складних системах із зустрічним розташуванням пальників. Сканери цієї серії є інтегрованого типу, що включають в собі реле полум'я з незалежно регульованими порогами входу та виходу і цифровою обробкою сигналу.

Інтеграція сканера з підсилювачем в одному корпусі надає йому значних переваг при обробці та передачі сигналів. Вихідні сигнали сканера: "сухі" контакти реле полум'я та реле несправності, вихід 4-20мА. Крім того в розширеній моделі передбачений дистанційний зв'язок та функція автоматичного вибору уставок.

Виготовляється в стандартному та вибухобезпечному виконанні.

### 5.2.4 Вибір датчиків розрідження

Максимальне розрідження в топці котла  $2 \text{ кгс/м}^2$ . Вибираємо інтелектуальний давач тиску Метран 150. Клас точності приладу - 0,1. Розрахований на температуру навколишнього середовища від мінус  $40^{\circ}\text{C}$  до плюс

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

70 °С та вологості до 80%.

Датчик тиску Метран-150 (рис. 5.4) призначений для роботи у різноманітних системах забезпечує безперервне перетворення вимірюваних величин - тиску надлишкового, абсолютного, різниці тисків, гідростатичного тиску нейтральних а також агресивних середовищах в уніфікований вихідний струмовий сигнал дистанційної передачі і цифровий сигнал на базі HART-протоколу.



Рисунок 5.4 - Датчики тиску Метран-150

Датчик Метран-150 призначений для перетворення робочого тиску таких середовищ: рідини, пари, газу в уніфікований струмовий вихідний сигнал і цифровий сигнал на базі HART-протоколу.

Найменування та модель датчика, а також діапазони тиску, включно з максимальним і мінімальним верхніми значеннями, наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Класифікація датчиків Метран-150

Модель	Код діапазону вимірювання	Мінімальний діапазон вимірювання		Максимальний діапазон вимірювання	
		кПа	МПа	кПа	МПа
1	2	3	4	5	6
150CG	0	0,025	-	0,63	-
	1	0,250	-	6,30	-
	2	1,250	-	63,00	-
	3	5,000	-	250,00	-

1	2	3	4	5	6
	4	-	0,032	-	1,6
	5	-	0,200	-	10,0
150TG	1	3,200	-	160,00	-
	2	-	0,020	-	1,0
	3	-	0,120	-	6,0
	4	-	0,500	-	25,0
	5*	-	16,000	-	60,0

### 5.2.5 Вибір контролера

Контролер Siemens simatic s7-300 (рис. 5.5) має модульну конструкцію і дозволяє використати у своєму складі:

- CPU тобто модуль центрального процесора, який призначається для виконання створеної користувачем програми а також керування усіма вузлами мікропроцесорного контролера;

- PS тобто модуль блока живлення, котрий дозволяє здійснювати живлення мікропроцесорного контролера від мережі 120/230 В або за допомогою джерела постійного струму;

- SM (сигнальні модулі) призначаються для введення/виведення дискретних а також аналогових сигналів із абсолютно різними електричними а також тимчасовими параметрами;

- CP тобто комунікаційні процесори, які призначені для підключення мікропроцесорного контролера до таких мереж як PROFIBUS, PROFINET, CANopen, організації зв'язку за допомогою Internet чи PtP (point to point) інтерфейс;



- передбачене механічне кодування фронтальних з'єднувачів, що запобігає помилкам під час заміни модулів;
- застосування модульних і гнучких з'єднувачів SIMATIC TOP Connect, шаф управління, що істотно спрощують монтаж;
- єдина для усіх модулів глибина корпусу;
- усі кабелі розташовуються в монтажних каналах модулів і закриваються захисними дверцятами;
- можливе довільне розміщення модулів у монтажних стійках, при цьому центральні процесори, блоки живлення та інтерфейсні модулі повинні займати визначені (фіксовані) місця.

### 5.2.6 Вибір додаткових засобів автоматизації

Для регулювання швидкістю обертів пилживильників використовуються 12 частотних перетворювачів SINAMICS S120 (рис. 5.6). ЧП складається з двох основних складових: силового модуля PM240 та модуля управління CU240S DP. Ступінь захисту IP20. Допустима температура зовнішнього середовища від 0°C до +55°C. Діапазон номінальних потужностей від 0,12 до 4500 кВт при напрузі живлення 230/380В.



Рисунок 5.6 - Частотний перетворювач SINAMICS S120

Проектом передбачена заміна двигунів постійного струму ПБ-52 потужністю 2,4кВт на асинхронні двигуни підвищеної ефективності серії 1LE1 фірми Siemens (рис. 5.7).

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



Рисунок 5.7 - Двигун серії 1LE1 фірми Siemens

Основні технічні характеристики двигунів: 4-полючи, потужність - 3кВт,  $n=145$  об/хв,  $\cos\varphi=0.85$ ,  $I=6.2A$ , 230В. Двигун призначений для загального використання, має степінь захисту IP55, що узгоджується з вимогами ПУЕ для електрообладнання пожежонебезпечної зони класу П-1 і вибухонебезпечної зони класу 22.

### 5.3 Технічна реалізація системи автоматизації

#### 5.3.1 Розробка функціональної схеми

Функціональна схема використовується для визначення типу системи автоматизації технологічного процесу, аналізу її структури, а також забезпечення необхідними засобами автоматизації. На ній наводиться: технологічна схема та спрощене відображення агрегатів, технологічні прилади, технологічні засоби автоматизації та управління, які зображають умовними позначеннями згідно діючих стандартів. Дану схему виконують на одному аркуші, на котрому зображують засоби автоматизації та апаратуру усіх систем регулювання, сигналізації і контролю, котрі відносяться до заданої установки.

Схеми бувають спрощеними і розгорнутими. Усім задіяним приладам а також технічним засобам автоматизації, котрі представлені на ФСА, присвоюють відповідні позиційні позначення. Усі позиційні позначення здійснюються за

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою арабських цифр (номер функціональної групи та контуру) і букв українського алфавіту. Відповідні позначення присвоюються кожному із задіяних елементів у порядку абетки на основі деякої залежності відповідно до послідовності проходження сигналу тобто від пристроїв отримання інформації до певних задіяних пристроїв впливу на технологічний процес.

Запірну апаратуру показують тільки ту котра бере безпосередню участь у процесі контролю та керування. Функціональна схема котла ТП-100 зображена на листі графічної частини.

Вимірювання, контроль та регулювання тиску на виході з котла здійснюється в такому порядку: електричний сигнал від давача тиску Метран 100 ДИ (поз.1а) по кабелю поступає в промислову мережу Profibus DP, звідки подається на мікропроцесорний контролер SIMATIC S7. З клемних блочних затискачів регулююча дія повертається назад у ПМ звідки поступає на 12 частотних перетворювачів SINAMICS S120 (поз.1б), який формує сигнал управління на електродвигун 1LE1 (поз.1в), відповідно збільшуючи або зменшуючи оберти пилеживильників, тим самим збільшує або зменшує подачу вугільного пилу.

Вимірювання та контроль тиску в барабані котла здійснюється так: за допомогою давача тиску Метран 100 ДИ (поз.5а), значення тиску перетворюється у уніфікований електричний сигнал 4-20мА, котрий по кабелю поступає в мережу Profibus DP і на мікропроцесорний контролер SIMATIC S7, який на моніторі ПК відображає біжуче значення вимірюваного тиску.

Вимірювання, а також контроль та регулювання розрідження в топці котла здійснюється так: за допомогою давача тиску Метран 150 ДВ (поз.4а), значення тиску перетворюється у уніфікований електричний сигнал 4-20мА, котрий за допомогою кабелю поступає в мережу Profibus DP і на мікропроцесорний контролер SIMATIC S7. З контролера керуючий сигнал поступає на магнітний пускач димососів (поз. 4б, 4в).

Вимірювання, контроль та регулювання вмісту кисню в димових газах забезпечується за допомогою високотемпературних газоаналізаторів (поз.2а, 2б, 3а,

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3б) з котрих сигнал пропорційний вмісту кисню поступає в ПМ Profibus DP, звідки подається на канал контролер SIMATIC S7, що розміщений на щиті КВП і А. З контролера керуючий сигнал поступає на магнітний пускач насоса (поз. 2в, 3в).

Контроль наявності полум'я в топці забезпечується за допомогою сканера полум'я Insight (поз.6а, 7а) з якого сигнал поступає прямо на канал контролер SIMATIC S7, що встановлений на щиті КВПіА.

### 5.3.2 Розробка загального вигляду щита

Щити САК призначаються для встановлення засобів контролю а також управлінням.

Процес розроблення загального виду щита керування відбувається у такій послідовності [9]:

1) відбувається вибір стандартного щита та пульта керування виходячи із кількості задіяних приладів, категорії приміщення у якій встановлюється щит, електроапаратури і т.д.;

2) здійснюється розміщення приладів та апаратури на фасадних поверхнях і всередині щитів та пультів.

У розроблюваній установці застосовуються щити шафового типу, виконані субблочним методом, а також панельні щити. Усі вони мають такі характеристики [9]:

1) уся апаратура керування винесена на передню панель субблоку, тоді як допоміжні малогабаритні пристрої розміщені на його внутрішній поверхні. Підключення до електроживлення здійснюється через роз'єми, розташовані на задній панелі субблоку;

2) апаратура для керуванню насосами, а саме допоміжною апаратурою, розподілена на окремі блоки, що відповідно створює хороший мікроклімат для управління та ефективного спостереження у процесі проходження технологічного поцесу;

3) вибраний субблочний метод вирізняється малогабаритністю порівняно із

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливими іншими щитами. Передня частина панелі заповнена сигнальною апаратурою - світловими табло. Внутрішня поверхня субблоку заповнена реле часу та проміжними реле.

З метою розміщення показуючих, реєструючих, самопишущих вторинних приладів, використано панельний щит з розмірами 2200x600x60. Перетворювачі, а також сигналізатори розташовані поза межами щитів на штативах. На кресленні обов'язково наводиться таблиця надписів для табло та бірок.

Креслення щита керування представлено на листі графічної частини.

На фасадній панелі щита КВП і А розміщено:

- на висоті 950, 1250 та 1550 мм - частотний перетворювач Sinamics G120;
- на висоті 1900 мм - табло сигналізації та індикації.

Всередині щита розміщена електроапаратура: контролер Simatic S7-300 та блок безперебійного живлення APC.

На лівій боковій стінці розміщено:

- на висоті 1100-1900 мм - клемні блочні набори типу КБЗ-24 - ХТ1-ХТ6;
- на висоті 250 мм – вимикачі автоматичні SF1-SF-2.

На правій боковій стінці розміщено:

- на висоті 250-300 мм - панель із розташованими розетками (2 шт.) а також автоматичним вимикачем живлення;

- на висоті 1100 мм - клемна коробка для підключення вхідних уніфікованих сигналів типу - ХТ13;

- на висоті 1250-1500 мм - клемні блочні набори типу КБЗ-24 - ХТ7-ХТ12.

За допомогою застосування проводу із полівінілхлоридною ізоляцією (КМВ 3x0.75) здійснюється обв'язка електроапаратури.

### **Висновки до розділу**

В даному розділі розглянуто технічну організацію автоматичної системи регулювання процесом горіння в котлі ТП-100. Виконано вибір а також обґрунтування ТЗА, котрі необхідні для експлуатації розглянутого об'єкту

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування, виходячи із умов протікання технологічного процесу. Зроблено обґрунтування розміщення засобів автоматизації на щиті керування.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено систему автоматизації процесу горіння вугільного пилу в котлі ТП-100. Дана САК передбачатиме перехід на централізоване управління технологічним процесом, з використанням програмованого логічного контролера Simatic S7-300.

В кваліфікаційній роботі здійснений опис процесу, та відображено технічну характеристику задіяного технологічного обладнання: топкової камери, пальників, трубної системи. Виконано встановлення параметрів контролю а також регулювання з метою управління розробленим процесом. Побудовано динамічні характеристики за двома каналами регулювання. Досліджено регулятори одноконтурної і каскадної системи керування та встановлено оптимальні параметри регуляторів. На основі оцінки якості показників якості системи регулювання можна стверджувати, що характеристики якості каскадної системи кращі в порівнянні з одноконтурною. У роботі проаналізовано технічну організацію автоматизованої системи керування процесом горіння. Виконано підбір і обґрунтування технічних засобів автоматизації, необхідних для ефективної експлуатації об'єкта керування з урахуванням умов перебігу технологічного процесу.

Проект базується на реальному технологічному процесі та передбачає використання відповідного технологічного обладнання.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

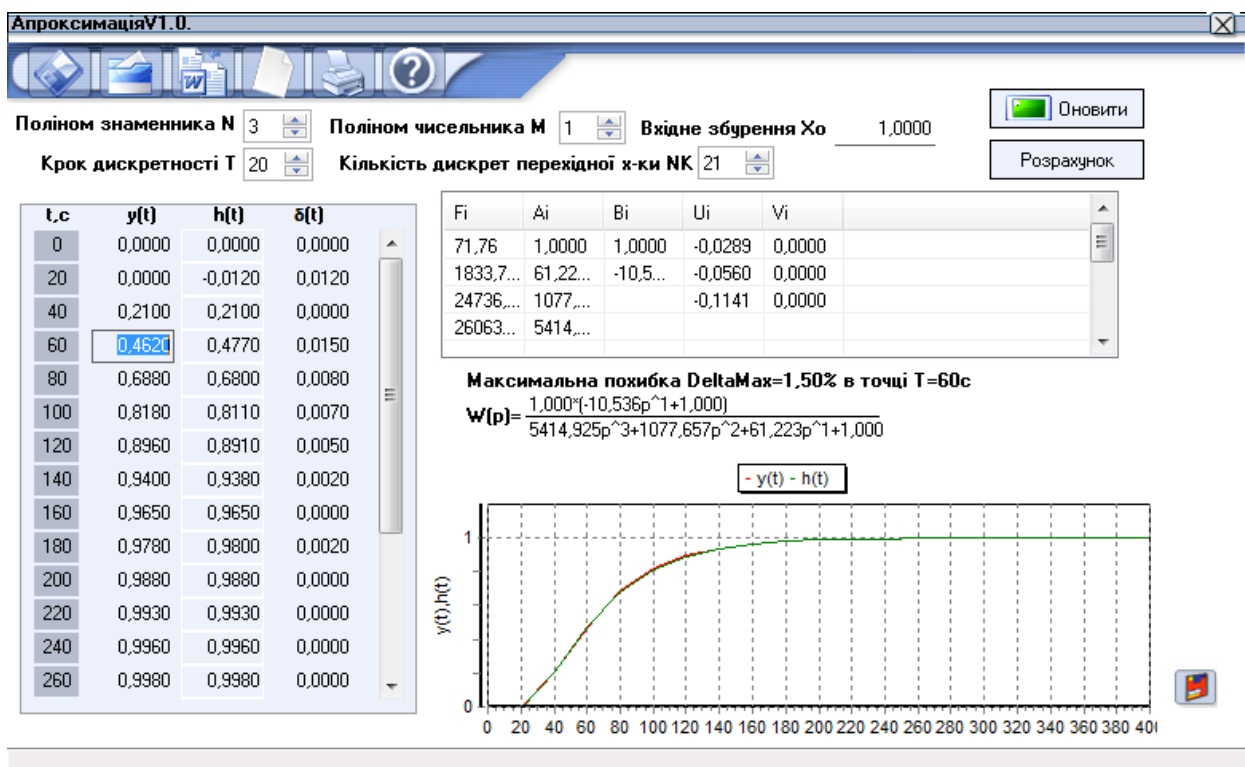
## ПЕРЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування. Лінійні системи. [Текст]: конспект лекцій / М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 159 с.
2. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування. Нелінійні системи [Текст] : лаб. практикум / М. І. Горбійчук, Л. Я. Чигур. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 84 с.
3. Чигур, Л. Я. Теорія автоматичного керування. Цифрові системи. [Текст] : лаборатор. практикум / Л. Я. Чигур, М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 80 с.
4. Семенцов Г. Н. Теорія автоматичного керування. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 1999. 610 с.
5. Семенцов, Г. Н. Теорія автоматичного керування [Текст] : методичні вказівки для виконання курсової роботи / Г. Н. Семенцов, Л. І. Фешанич, Г. Г. Зварич. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2019. – 20 с.
6. Лагойда, А. І. Комп'ютерно-інтегровані системи управління [Текст] : лаборатор. практикум. Ч. 1 / А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2025. – 307 с.
7. Лагойда, А. І. Комп'ютерно-інтегровані системи управління [Текст] : лаборатор. практикум Ч.2 / А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2025. – 111 с.
8. Борин, В. С. Автоматизація технологічних процесів та виробництв [Текст]: лабораторний практикум / В. С. Борин, Л. І. Фешанич, Г. Г. Зварич. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. – 38 с.
9. Дранчук М. М. Проектування систем автоматизації технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості. Івано-Франківськ: Факел, 2005. 448 с.

					БР.АКП-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

# Додаток А1



## Додаток А2

Апроксимація V1.0.
✕

Поліном знаменника N

Крок дискретності T

Поліном чисельника M

Кількість дискрет переходної x-ки НК

Вхідне збурення X<sub>0</sub>

t, c	y(t)	h(t)	δ(t)
0	0,0000	0,0000	0,0000
20	0,4000	0,3940	0,0060
40	0,6400	0,6330	0,0070
60	0,7700	0,7780	0,0080
80	0,8600	0,8650	0,0050
100	0,9100	0,9180	0,0080
120	0,9300	0,9500	0,0200
140	0,9800	0,9700	0,0100
160	0,9800	0,9810	0,0010
180	0,9930	0,9890	0,0040
200	0,9950	0,9930	0,0020
220	1,0000	0,9950	0,0050
240	1,0000	0,9970	0,0030
260	1,0000	0,9980	0,0020

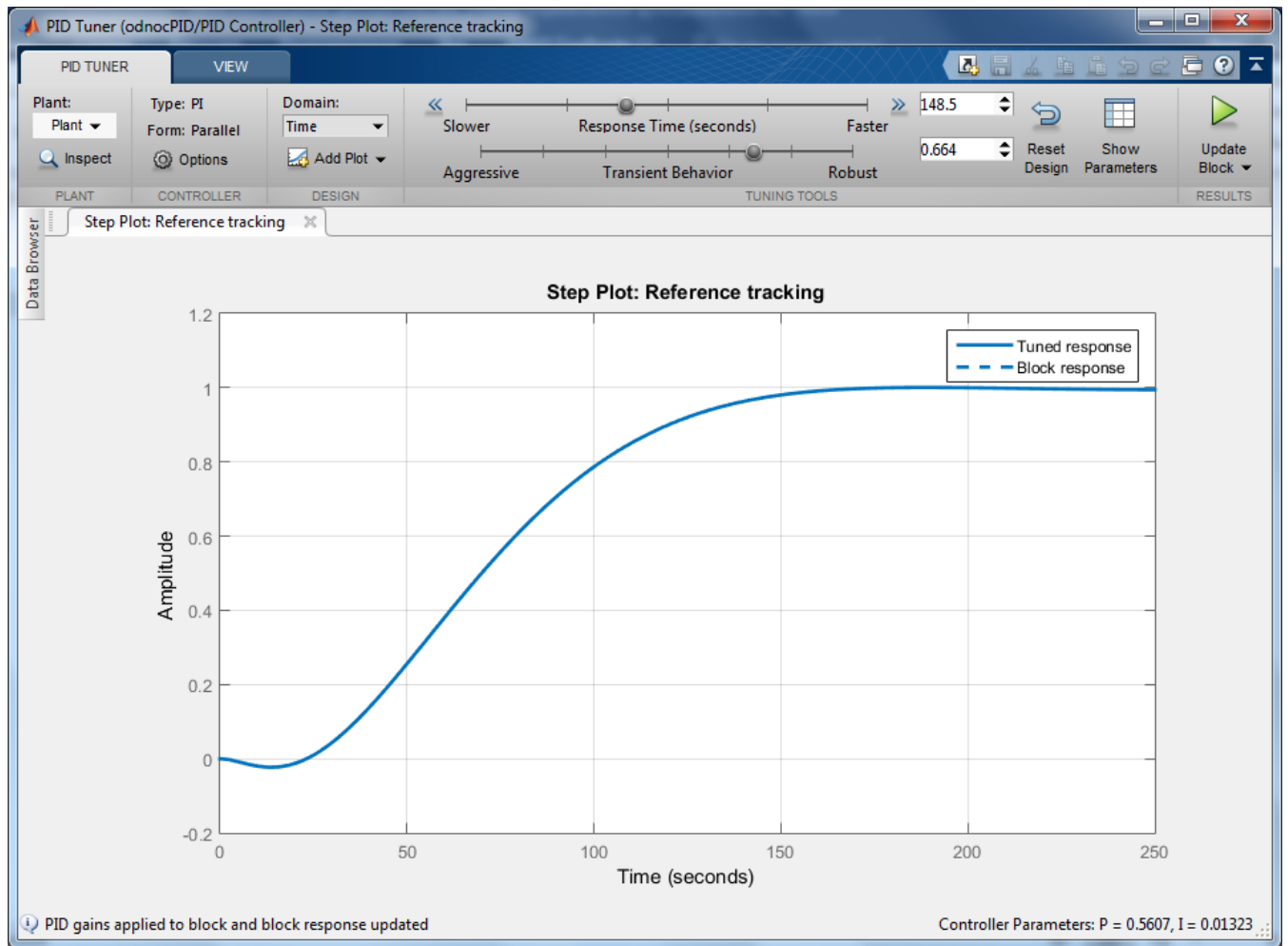
Fi	Ai	Bi	Ui	Vi
39,853...	1,0000	1,0000	-0,0251	0,0000
	39,85...			

**Максимальна похибка DeltaMax=2,00% в точці T=120c**

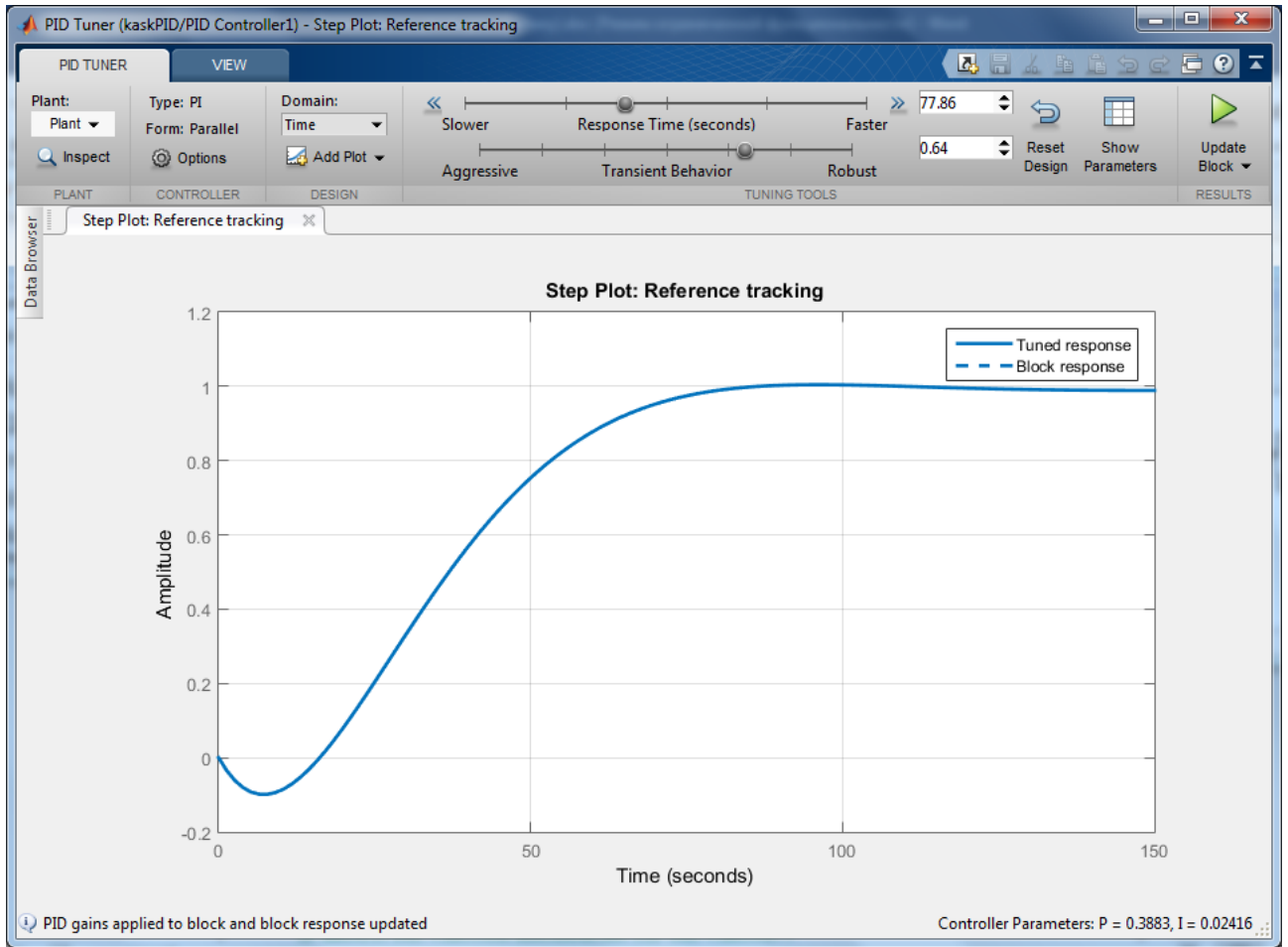
$W(p) = \frac{1}{39,853p^{1+1,000}}$

- y(t) - h(t)

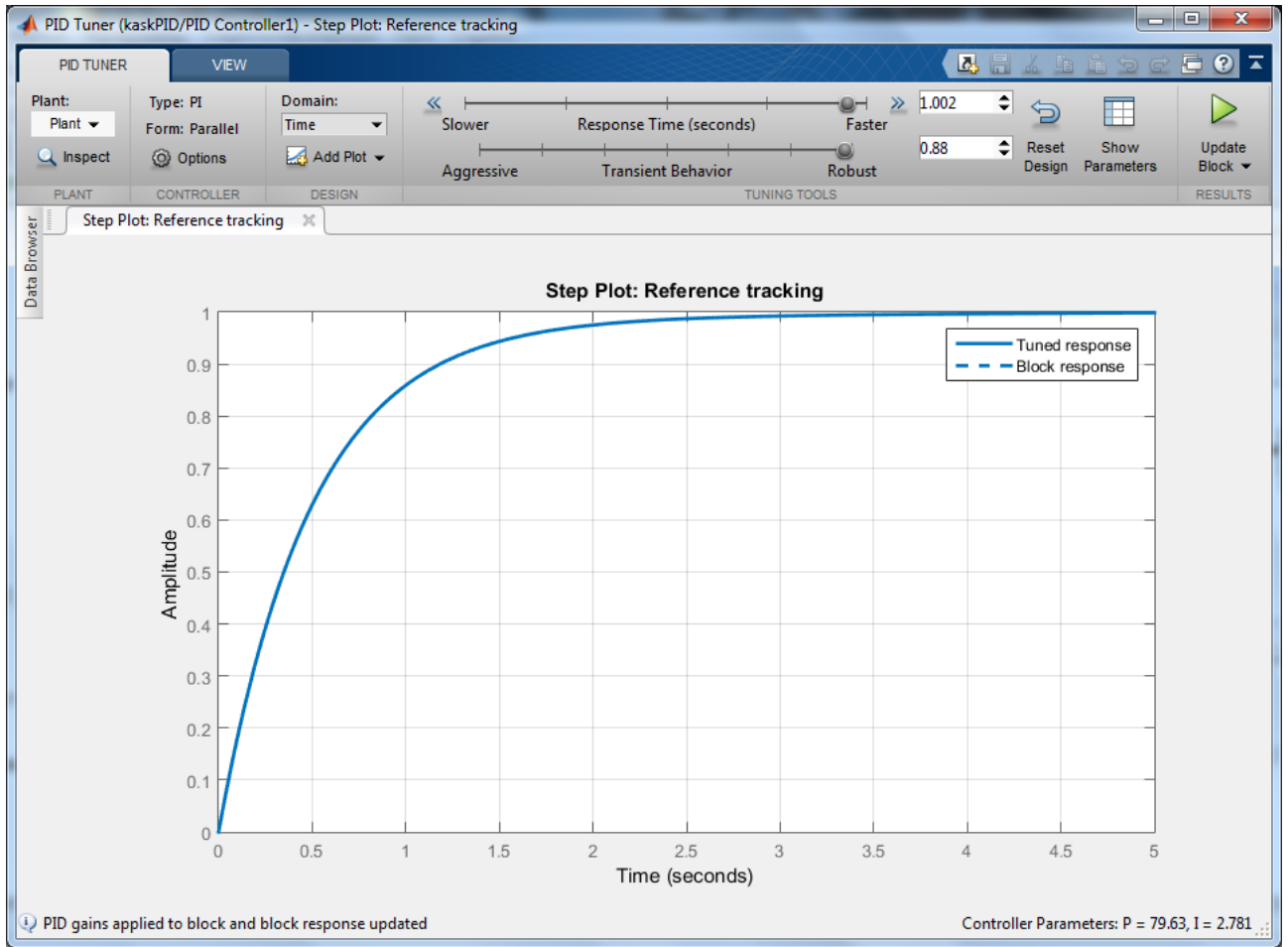
# Додаток Б1



## Додаток Б2



# Додаток Б3

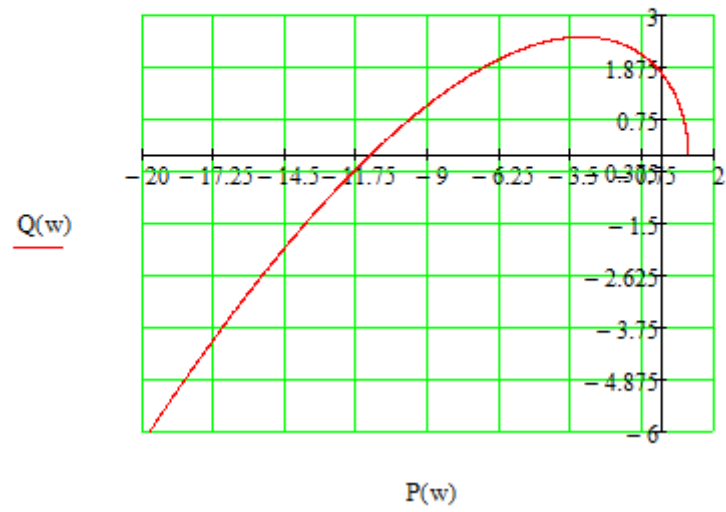


## Додаток В1

$$P(w) := -1071.7495 \cdot w^2 + 1.0132$$

$$Q(w) := -5414.925 \cdot w^3 + 61.6446 \cdot w$$

$$w := 0, 0.0001 \dots 30$$

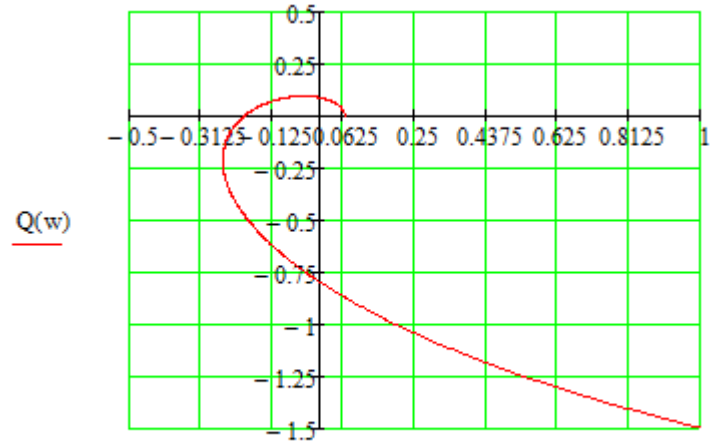


## Додаток В2

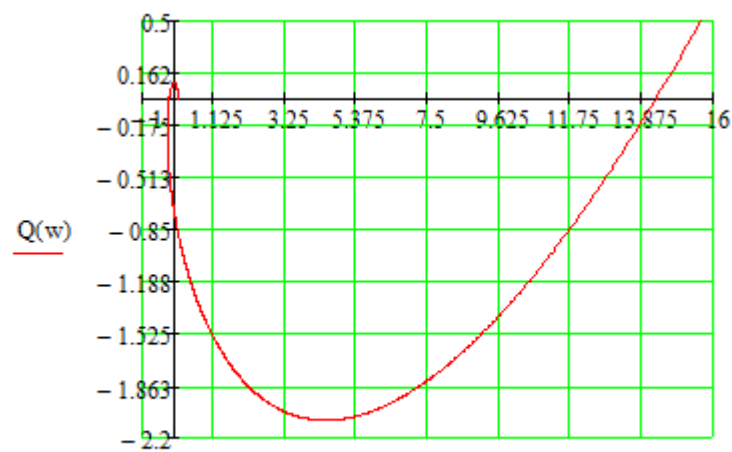
$$P(w) := -215801 \cdot w^6 + 91407.14 \cdot w^4 - 341.66 \cdot w^2 + 0.067$$

$$Q(w) := 479553.267w^5 - 7618.48 \cdot w^3 + 7.75 \cdot w$$

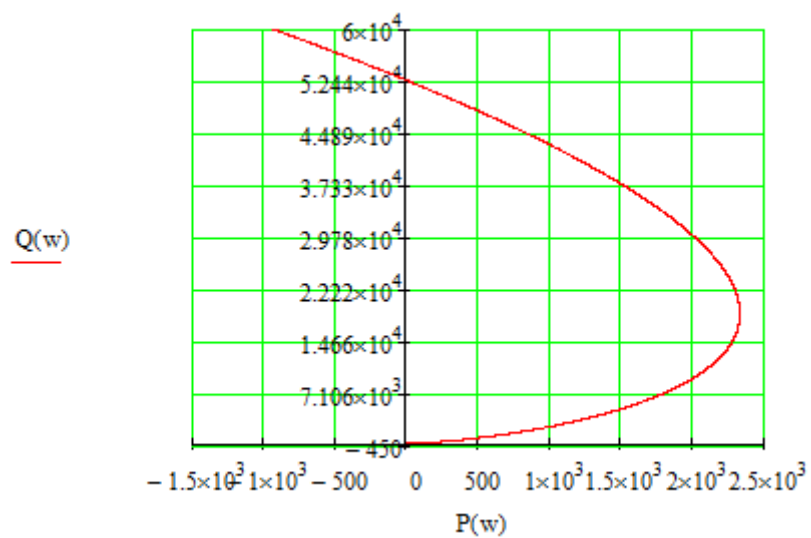
$$w := 0, 0.0001 \dots 30$$



P(w)



P(w)



## БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема кваліфікаційної роботи: «Розроблення системи автоматизації технологічного процесу горіння в котлі ТП-100».

Обсяг пояснювальної записки: 70 аркушів.

Перелік креслень графічної частини:

1. Функціональна схема автоматизації.
2. Експериментальне дослідження.
3. Аналіз і синтез одноконтурної АСК.
4. Аналіз і синтез каскадної АСК.
5. Загальний вигляд щита.
6. SCADA-система.

Дата закінчення проекту \_\_\_\_\_

Підпис студента-дипломника \_\_\_\_\_