

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Кваліфікаційна робота

бакалавра

на тему: «Автоматизована система керування парогенератором
високого тиску»
“Automated system of control of high-pressure steam generator”

Виконав: студент 2 курсу, групи 2зАс
Спеціальності 174 – Автоматизація,
комп’ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

_____ Мірзоян М.С.

Керівник _____ к.т.н., доц. Єдинович М.Б.

Рецензент _____ д.т.н, проф. Литвиненко В.І

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Автоматизована система керування парогенератором
високого тиску».

“Automated system of control of high-pressure steam generator”

Виконав: студент 2 курсу, групи 2зАс
Спеціальності 174 – Автоматизація,
комп’ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

_____ Мірзоян М.С.

Керівник _____ к.т.н., доц. Єдинович М.Б.

Рецензент _____ д.т.н, проф. Литвиненко В.І

	Херсонський національний технічний університет
Факультет	Інженерії та транспорту
Кафедра	Автоматизації, робототехніки і мехатроніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень	бакалавр
Напрямок підготовки	174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри автоматизації

робототехніки і мехатроніки

Селіверстов І.А.

«__» _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ на дипломний проект (роботу) студенту

	<i>Автоматизована система керування</i>
1. Тема проекту:	<i>парогенератором високого тиску</i>
	<i>“Automated system of control of high-pressure steam generator”</i>
керівник проекту:	<i>Єдинович М.Б.</i>
	затверджені наказом вищого навчального закладу від « 27 » 01 2025 р. № 130-с
2. Строк подання студентом проекту	«10» червня 2025 р.
3. Вихідні дані до проекту:	<i>технічна характеристики котла ДКВР-20/13, продуктивність 28т/год, витрата газу 1470 м³/год, тиск в барабані 1.3МПа, температура пари 194⁰С.</i>
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки(перелік питань, які потрібно розробити)	
	<i>1. Провести аналіз об'єкту управління.</i>
	<i>2. Розробити АСР.</i>
	<i>3Провести моделювання АСР.</i>
5.Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)	
	<i>1. Функціональна схема автоматизації – 1 арк. А1</i>
	<i>2. Демонстраційний плакат «Моделювання САР парового котла»</i>
	<i>3. Демонстраційний плакат «Технологічна схема котла ДКВР-20/13»</i>
	<i>4. Демонстраційний плакат «Схема підключення доTelefast ABE» .</i>
	<i>5. Демонстраційний плакат «Модуль CPU 40-20 Modbus»</i>
	<i>6. Демонстраційний плакат «SCADA » 1 арк. А1</i>
6. Дата видачі завдання	« 28 » лютого 2025 р.
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН	

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз об'єкту управління. Постановка задачі.	15.03.25	
2	Розробка функціональної схеми автоматизації	02.04.25	
3	Розрахунок метрологічних характеристик і надійності АСР	28.04.25	
4	Побудова математичної моделі парогенератора	15.05.25	
5	Вибір керуючого мікроконтролера	25.05.25	
6	Оформлення ПЗ і креслень	02.06.25	
7	Завершення оформлення проекту	09.06.25	

Студент _____ Мірзоян М.С.

Керівник роботи _____ Єдинович М.Б.

Реферат

Дипломний проект на тему «Автоматизована система керування парогенератором високого тиску» містить: 72 сторінок пояснювальної записки, 5 таблиць, 17 рисунків. Графічна частина містить 6 аркушів формату А1.

У дипломному проекті виконаний аналітичний огляд технічних особливостей парогенератора високого тиску на прикладі казана типу ДКВР – 20/13. Сформульовано технічні вимоги до системи керування парогенератором високого тиску.

Розроблено функціональну схему багатоканальної автоматичної системи керування і регулювання у каналі пальне – тиск.

Перехідні функції розраховані і побудовані на ЕОМ з використанням інтегрованого пакету MATLAB і програми моделювання Prism. Розроблено функціональну електричну схему контролера в інтегрованому виконанні, силова частина якого має оптронну розв'язку, та інтерфейсною частиною, що функціонує з протоколом RS 232. Виконано схеми автоматизації.

РЕГУЛЯТОР, АНАЛОГО – ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ,
ПЕРЕДАТОЧНА ФУНКЦІЯ, ГАЛЬВАНІЧНА РОЗВ'ЯЗКА, МІКРО -
КОНТРОЛЕР, ІНТЕРФЕЙС.

					<i>ХНТУ 174.КРБ.25.005 РФ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Мірзоян М.С.</i>			<i>Реферат</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Єдинович М.Б.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Єдинович М.Б.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Селіверстов І.А.</i>					
						<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>
							<i>Аркушів</i>
							2
						<i>ХНТУ, зр. 23А(с)</i>	

Abstract

Graduation project “Automated system of control of high-pressure steam generator” contains: 72 pages, 5 tables, 17 drawings. Graphical part contains 6 sheets in A1 format.

In the Degree project the analytical survey of technical features of high-pressure steam generator based on example of ДКБП – 20/13 type boiler. The technical demands to the control system of high-pressure steam generator were formulated.

The functional scheme of multi-channel control and regulation system of high-pressure steam generator by gas-pressure channel were designed.

Transition function calculates and construct by computer with use the MATLAB integrated program package and Statistical Analyses program Prism. Basic electrical diagram of the integrated controller execution, power part of the have galvanic isolation and interface part, that operates with the RS232 protocol, were designed.

Automation schemes have been completed.

REGULATOR, ANALOG-DIGITAL CONVERTER, TRANSITION FUNCTION, GALVANIC ISOLATION, MICROCONTROLLER, INTERFACE.

					<i>ХНТУ 174.КРБ.25.005 РФ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Мірозян М.С.</i>			<i>Реферат</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Єдинович М.Б.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Єдинович М.Б.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Селіверстов І.А.</i>					
						<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>
							<i>Аркушів</i>
							2
						<i>ХНТУ, зр. 23А(с)</i>	

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Повна назва системи:

Автоматизована система керування парогенератором високого тиску.

2. ПРИЗНАЧЕННЯ І МЕТА ПОБУДОВИ СИСТЕМИ

2.1 Призначення системи:

АСУ призначена для підтримки заданого тиску у парогенераторі високого тиску.

2.2 Ціль побудови системи управління:

Ціль побудови системи в поліпшенні показників якості керування, економії палива та зменшення енерговитрат.

3. ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ

3.1 АСУ повинна задовольняти наступні вимоги:

- а). час регулювання $T_p \leq 30\text{с.}$;
- б). пере регулювання не більше 30% за технічними умовами;
- в). помилка в сталому режимі $< 5\%$;
- г). коливальність процесу не повинна перевищувати 3.

3.2 Контролер, що реалізує функції АСУ, повинен мати можливість зв'язку з контролерами рівня цеху по інтерфейсу RS232, можливістю гнучкого переналагодження (ре програмування), універсальністю (великим діапазоном виміру), системою звукового попередження про аварії.

3.3 Моделювання АСУ виконати з використанням системи моделювання MATLAB.

ЗМІСТ	Стор.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.	9
ВСТУП.	10
РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПАРОГЕНЕРАТОРА ВИСОКОГО ТИСКУ ДКВР – 20/13.	12
РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ БАРАБАННИМ ПАРОГЕНЕРАТОРОМ. ТЕПЛОВІ ЗАХИСТИ КОТЛІВ ДКВР – 20/13	
2.1 Дільниці регулювання барабанного парогенератора.	17
2.2 Регулювання процесу горіння та пароутворення.	19
2.3 Регулювання тиску перегрітого пару і теплового навантаження.	20
2.4 Спосіб і схеми регулювання.	22
2.5 Регулювання розрідження у топці.	24
2.6 Регулювання перегріву пару.	26
2.7 Регулювання температури первинного пару.	26
2.8 Регулювання температури вторинного пару.	27
2.9 Регулювання живлення парогенератора водою.	28
2.10 Регулювання водного режиму у парогенераторах.	29
2.11 Класифікація захистів.	31
2.12 Принципова схема теплових захистів котла ДКВР – 20/13.	33
2.13 Схеми захисту, що діють на зниження навантаження.	34
РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПАРОГЕНЕРАТОРА.	
3.1 Статичні характеристики парогенератора.	37
3.2 Нестационарні процеси у котлах.	40
3.3 Динамічні характеристики котла.	41
3.4 Теоретична математична модель котла.	41
3.5 Теоретична математична модель котла по каналам паливо – тиск.	43

3.6 Визначення математичної моделі за експериментальними даними і отримання налаштувань регулятора.	47
РОЗДІЛ 4. ВИБІР АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.	
4.1 Вибір керуючого мікро контролера.	55
4.2 Призначення та технічні характеристики основних модулів мікро контролера.	56
4.3 Основні характеристики SCADAсистеми теплопостачання.	60
4.4 Графічний інтерфейс з користувачем.	61
ВИСНОВОК.	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.	65
Додаток А.	67
Додаток Б.	68
Додаток В.	69
Додаток Г.	70
Додаток Д.	71
Додаток Е.	72

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП - аналого – цифровий перетворювач;

ЦАП – цифро – аналоговий перетворювач;

ЕОМ – електронно -обчислювальна машина;

СРП – система з розподіленими параметрами;

АЗК – автоматизована система керування.

ВСТУП

Науково – технічний прогрес, інтенсифікація виробництва, підвищення його технічного рівня та покращення умов праці у значній мірі визначається розвитком енергетики.

В промисловості використовується більше 50% усіх видів енергоресурсів, у тому числі до 65% виробленої електроенергії. Відповідно велику роль енергетики у промисловому виробництві сучасні промислові підприємства мають складні і різноманітні енергетичні системи, які складаються з комплексів установок та пристроїв, призначених для спалювання палива і виробництва, транспорту, розподілу та споживання електроенергії, теплоти, стисненого повітря, газу, кисню.

У теперішній час на паротурбінних електростанціях виробляється більше 80% електроенергії, в якості основних теплоносіїв у промисловості та у побуті використовується пар і підігріта паром або продуктами згоряння гаряча вода, яку отримують в котельних установках (котлах). Широке застосування пару для виробництва електроенергії, в технологічних процесах та у побуті визначається використанням у котлах більше 25% усього палива, яке добувається. Кількість котельних установок різного призначення, конструкцій та потужності складає більше 100 тисяч.

В залежності від призначення на промислових підприємствах застосовують автономні виробничі та опалювальні котельні на органічному паливі і котли, які використовують теплоту газів, що відходять і інші теплові відходи технологічних агрегатів, а також котельні установки промислових електростанцій.

Сучасна котельна установка немислима без системи автоматичного регулювання та керування. Система дистанційного та автоматичного керування здійснює дискретну дію на електрифіковані приводи механізмів та запірні – регулювальних органів. На сучасних котлах дистанційне керування досягає високого ступеня централізації.

Найбільш широко застосовується дистанційне керування для кожного електроприводу.

Система автоматичного регулювання є однією з найважливіших частин системи керування, так як вона створює основу для автоматизації процесів, що відбуваються у котельній установці і є найвищою ступінню системи керування. Автоматичне регулювання підвищує економічність та надійність роботи котельної установки, підвищує продуктивність і полегшує умови праці персоналу. Автоматичне регулювання виконує наступні основні функції: стабілізує та підтримує параметри на заданому рівні (наприклад: рівень води у барабані, температуру перегріву пари і т.п.); підтримує відповідність між залежними величинами (наприклад: співвідношення паливо – повітря в процесі горіння); змінює регульовану величину у часі по визначеному закону (наприклад: режим горіння під час розігріву агрегату); підтримує оптимальне значення регульованої величини, так званої функції оптимізації (наприклад: режим процесу горіння). Функції автоматичного регулювання виконують регулятори різних типів. Найбільш поширена електронна система регулювання.

Система автоматичного захисту та блокування застосовується для захисту від пошкоджень і попередження аварій. Пристрій захисту діє при глибоких порушеннях технологічного процесу або несправностях обладнання, що загрожують викликати аварійну ситуацію. При цьому автоматично здійснюється вимкнення окремих несправних елементів обладнання, зниження навантаження або зупинки агрегату. В якості технічних засобів захисту використовують звичайні контрольно – вимірювальні прилади, які мають контактну систему і працюють в комплекті з датчиками температури, тиску, витрати і т.д.

Ступінь оснащення розглянутими системами котельних установок визначається їхнім призначенням (виробничі та опалювальні котельні установки, котли електростанцій), потужністю та умовами роботи.

РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПАРОГЕНЕРАТОРА ВИСОКОГО ТИСКУ ДКВР – 20/13.

Система теплопостачання замкнута. Паливом для котла служить газ теплою згоряння $Q_n = 8485 \text{ кквл/м}^3$. Продуктивність котла у відповідності до розрахункових даних 28 т/год. Тиск пару 13 кг/см^2 . Максимальна кількість тепла, яке видає котельня у вигляді гарячої води складає 100%. Повернення конденсату 10%. Вихідна вода для живлення котлів – річкова освітлена або артезіанська. Котельний агрегат ДКВР – 20/13 Рис.1.1 комплектується одноходовим чавунним трубопровідним економайзером системи ВТН з трубами довжиною 3м.

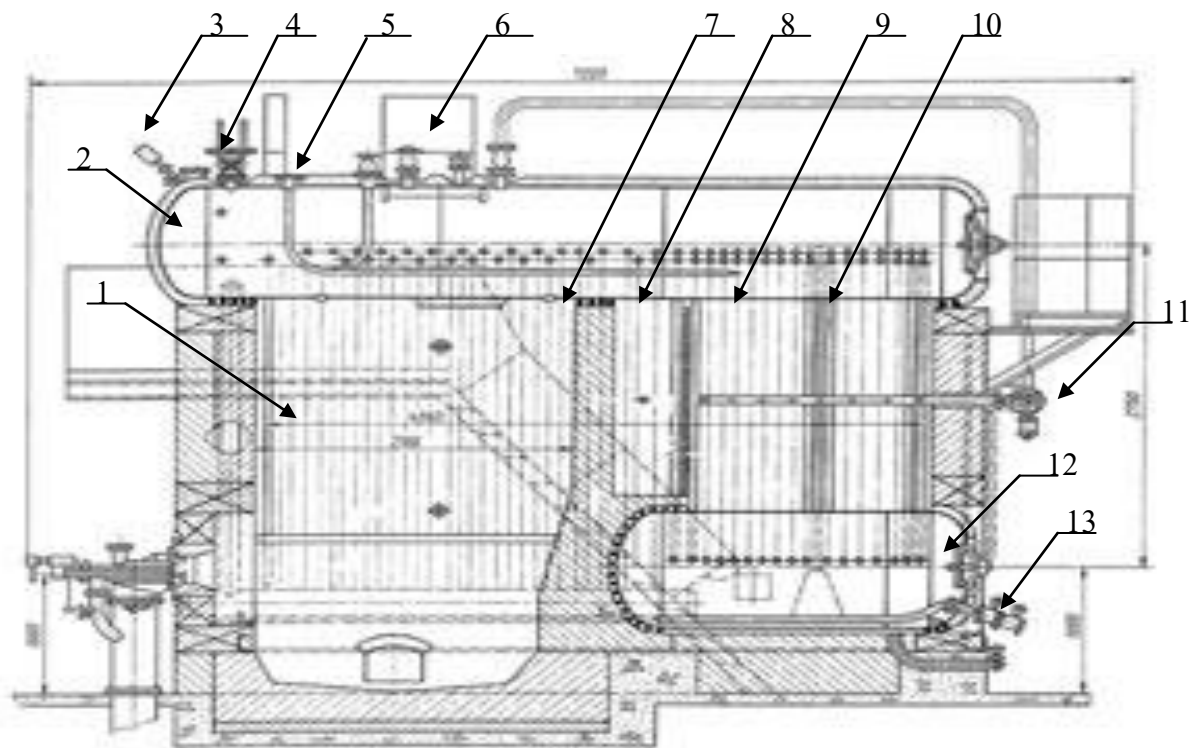


Рисунок 1.1 - Котел марки ДКВР.

1- екрані труби; 2- верхній барабан; 3- манометр; 4-запобіжні клапани; 5- труби живильної води; 6- сепаратор пара; 7-запобіжна пробка; 8- камера догорання; 9- перегородки; 10- конвекційні трубки; 11- обдувне обладнання; 12- нижній барабан; 13- продувний клапан.

Регулятор живлення встановлений до ВЕК, який не вимикається, як по газу так і по воді. Передбачена згінна лінія з автоматичним пристроєм для обмеження підвищення температури води після ВЕК вище 174°C . Рух газів в економайзері зверху вниз. Гази з економайзері направляються до димососу, встановленому у стінах котельної. Надувний вентилятор монтується під котлом. Забір повітря вентилятором здійснюється по металевому повітроводу. Нагнітальне повітря до горілочних пристроїв проходить у фундаменті котла. Котел обладнаний трьома газо мазутними горілками ГМГП (Рис.1.2).

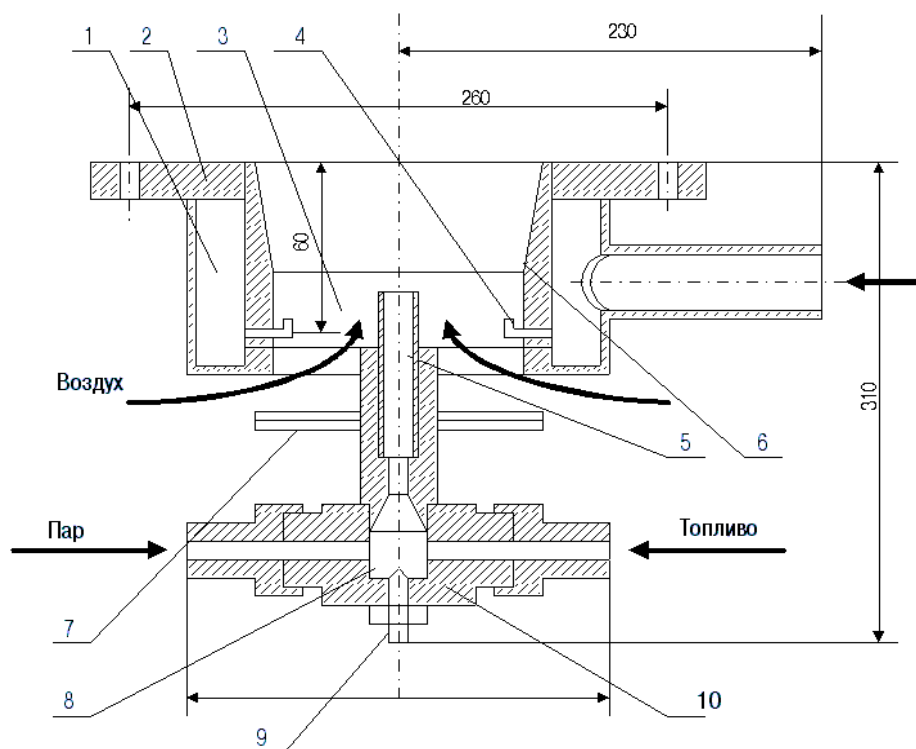


Рисунок 1.2 - Горілка газо мазутна ГМГП -120.

1 – газова частина; 2 – фланець; 3 – повітряна частина; 4 – газове сопло; 5 – ствол; 6 – дифузор; 7 – пелюсток; 8- рідинна форсунка; 9 – регулювальний гвинт; 10 – корпус.

Номінальна теплова потужність горілки ГМГП – 120 – 1,75 МВт. Вона призначена для спільного спалювання газу та мазуту. Розпилювання мазуту забезпечується водяним паром. Горілка забезпечена дифузором (6), який задає кут розкриття факелу і має роздільні газові (4) та мазутні (5) сопла.

Повітря подається у між соплове середовище. Завдяки втопленому положенню сопел на виході горілки створюється ежекційний ефект. Конструкція горілки забезпечує легке розпалювання печі при запуску установки (подача тільки газу), хороше змішування розпиленого палива з повітрям, підсос димових газів у корінь факела (ежекційний ефект). Подача повітря у між сопловий простір (між потоків газу та рідкого палива) створює умови дво стадійного спалювання палива.

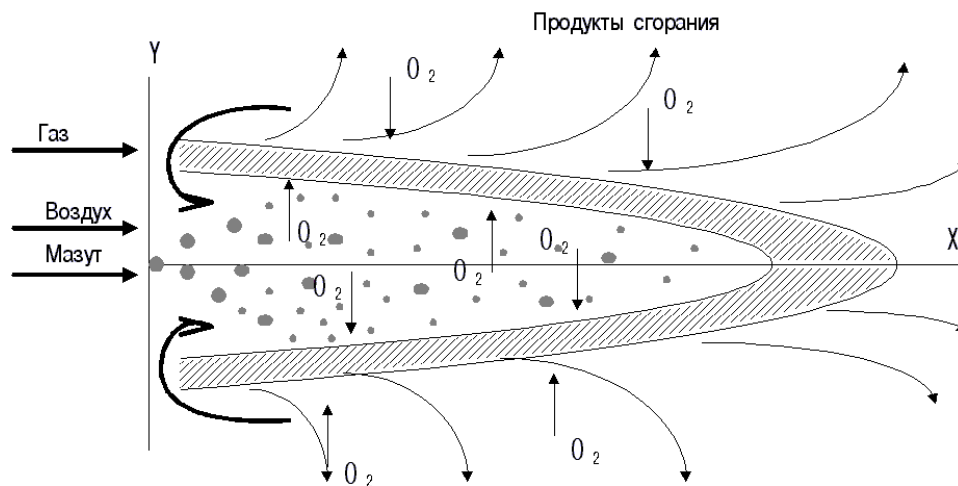


Рис. 2. Профіль пламени горелки ГМГП-120

Рисунок 1.3- Профіль полум'я горілки ГМГП – 120

На рис.1.3. показаний профіль полум'я форсунки ГМГП – 120 з дво фронтальним згорянням палива. Первинне повітря подається у між сопловий простір з коефіцієнтом надлишку повітря ≈ 1.0 і змішується з рідким паливом. Випаруване паливо та кисень надходять до внутрішнього фронту горіння, де відбувається не повне згоряння. Продукти хімічного недопалу практично повністю згорають у зовнішньому фронті полум'я. Кисень до зовнішнього фронту останнього надходить дифузією з повітря, що відсмоктується через амбразуру форсунки у топковий простір. Сумарний коефіцієнт надлишку повітря складає 1,10 – 1,15. Крім цього, за рахунок ежекційного ефекту у корінь факелу під смокчуються димові гази, які понижують вміст кисню у повітрі, який подається у між сопловий простір, що призводить до зниження температури

горіння на 50 – 70⁰С. Зниження температури горіння уповільнює швидкість хімічних реакцій та призводить до помітного подовження факелу полум'я.

Враховуючи, що у технологічній печі близько 80% тепла передається випромінюванням то випромінюваний тепловий потік залишається практично незмінним та зберігається тепловий баланс печі.

Котли ДКВР складаються з наступних основних частин: двох барабанів (верхній та нижній); екранних труб; екранних колекторів (камер).

Барабани котлів на тиск 13кгс/см² мають однаковий внутрішній діаметр (1000мм) при товщині стінок 13мм.

Для огляду барабанів та розташованих у них пристроях, а також для очистки труб шарошками на задніх днищах є лази; у котла ДКВР – 20 з довгим барабаном є лаз на передньому днищі верхнього барабана.

Для спостереження за рівнем води у верхньому барабані встановлені два водовказівних скла і сигналізатор рівня. У котлів з довгим барабаном водовказівні скельця приєднані до циліндричної частини барабана, а у котлів з коротким барабаном до переднього днища. З переднього днища верхнього барабана відведені імпульсні трубки до регулятора живлення. У водяному просторі верхнього барабана знаходиться труба живлення, у котлів ДКВР 20 – 13 з довгим барабаном – труба для безперервного продування; у паровому об'ємі – сепараційні пристрої. У нижньому барабані встановлені перфорована труба для періодичного продування, обладнання для прогріву барабана при розпалюванні та штуцер для спуску води.

Бокові екранні колектори розташовані під виступаючою частиною верхнього барабана, біля бокових стін обмурівки. Для створення циркуляційного контуру в екранах передній кінець кожного екранного колектора з'єднаний опускною вогнетривкою трубою з верхнім барабаном, а задній кінець – перепускною трубою з нижнім барабаном.

Вода поступає у бокові екрани одночасно з верхнього барабана по переднім опускним трубам, а з нижнього барабана по перепускним. Така схема живлення

бокових екранів підвищує надійність роботи при заниженому рівні води у верхньому барабані, збільшує кратність циркуляції.

Екрані труби парових котлів ДКВР виготовляють із сталі 51×2.5мм.

Крок бокових екранів у всіх котлів ДКВР 80мм, крок задніх та фронтних екранів 80 – 130мм.

Пучки кип'ятильних труб виконані з сталевих безшовних гнутих труб діаметром 51×2.5мм.

Циркуляція в кип'ятильних трубах відбувається за рахунок бурного випаровування води у передніх рядах труб, так, як вони знаходяться ближче до топки та омиваються більш гарячими газами ніж задні, унаслідок чого в задніх трубах, що знаходяться на виході газів з котла, вода йде не у верх, а до низу.

Таблиця 1.1 - Технологічні параметри

ПАРАМЕТР	Од. вимірювання	min	норма	max
Продуктивність	т/г	19.5	20.0	20.5
Температура перегрітого пару	°C	180	195	210
Тиск у барабані котла	МПа	1.2	1.3	1.4
Температура живильної води	°C	140	150	175
Склад О у газах, що відходять	%	1.33	1.40	1.47
Температура газів, що відходять	°C	180.5	190.0	199.5
Тиск газу перед горілками	МПа	0.0475	0.0500	0.0525
Розрідження у топці	мм.вод.ст.	4.75	5.00	5.25
Рівень в барабані відносно його	мм	-100	0	+100

РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ БАРАБАННИМ ПАРОГЕНЕРАТОРОМ.

2.1 Дільниці регулювання барабанного парогенератора.

Основними регульованими величинами парогенератора є витрата перегрітого пару F_{nn} , його тиск P_{nn} , та температура T_{nn} . При цьому витрата є прийнятною величиною, а його тиск та температура підтримуються в межах допустимих відхилень, що обумовлюється вимогами заданого режиму роботи турбіни або іншого користувача теплової енергії.

Задане значення температури перегріву пару може підтримуватися, наприклад, за допомогою зміни витрати охолоджуючої води $F_{впр}$ на паро охолоджувач. Тиск пару P_{nn} відхиляється від розрахункового значення у всіх випадках не балансу між кількістю спожитого пару F_{nn} та генерованого (вироблю вального) у екранних трубах F_6 і може регулюватися за допомогою змінювання тепловиділення у топці, головним чином зміною подачі палива. Крім підтримання необхідної витрати пару F_{nn} та заданих значень параметрів P_{nn} , T_{nn} необхідно підтримувати у межах допустимих відхилень слідкуючої величини:

- Рівень води у барабані L_6 – регулюється зміною подачі живильної води $F_{пв}$;
- Розрідження у верхній частині топки N_m – регулюється зміною продуктивності димо насосів, які відсмоктують димові гази з топки;
- Оптимальний надлишок повітря за пароперегрівачем a – регулюється зміною продуктивності духових вентиляторів, які нагнітають повітря у топку;
- Солевміст котлової води $NaCl$ – регулюється витратою води $F_{пр}$, яка випускається з барабана в сепаратор безперервного продування.

Перераховані регульовані величини змінюються у результаті перекислених впливів і під впливом зовнішніх та внутрішніх збурень, що носять закономірний або випадковий характер, такі, як коливання витрати пара, якості та витрати палива, температура живильної води, порушення щільності топки і т.п.д.

Парогенератор по каналу паливо – витрата або тиск пару є системою направленої дії, однак не усі його ділянки є ланками направленої дії, тобто вихідні регульовані величини одних ланок є одночасно вхідними по відношенню до інших. Наприклад (Мал.4.), витрата перегрітого пару F_{nn} є вихідною величиною по відношенню до витрати палива F_m , служить вхідною дією по відношенню до тиску та температури перегрітого пару, тиск перегрітого пару у барабані P_{nn} , є вихідною величиною по відношенню до витрати палива, є також одним з вихідних дій ланки регулювання рівня води в барабані L_6 .

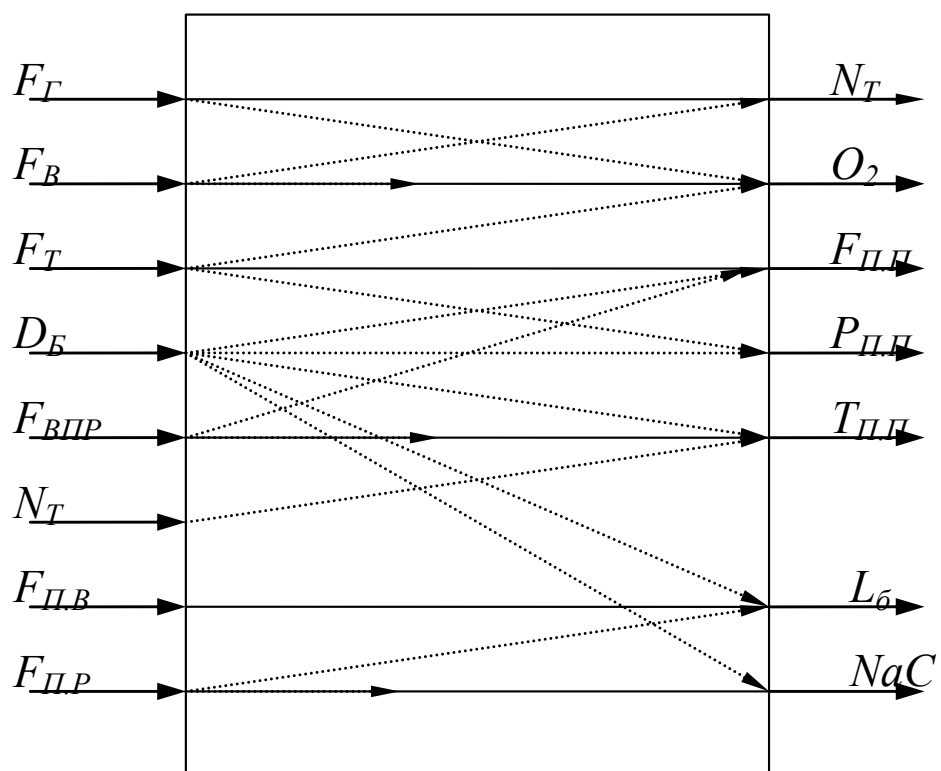


Рисунок 2.1. Схема взаємозв'язку між вихідними та вхідними величинами у барабанному парогенераторі.

Таким чином, парогенератор, який розглядається у якості об'єкта регулювання, представляє собою динамічну систему з декількома взаємозв'язаними вхідними і вихідними величинами. Однак явно виражена направленість ланок регулювання парогенератора по основним каналам регулюючих впливів, таких як витрата живильної води $F_{п.в}$ – рівень L_6 , витрата води на упорскування $F_{впр}$ – перегрів T_{nn} , витрата палива F_m – тиск P_{nn} та іншими,

дозволяє здійснити стабілізацію регульованих величин за допомогою незалежних одно контурних систем, зв'язаних лише через об'єкт регулювання. При цьому регулююча дія тої чи іншої ділянки (суцільні лінії на Рис.4.) служать основним способом стабілізації його регульованою величиною, а інші впливи (пунктирна лінія) є по відношенню до цієї ділянки внутрішніми або зовнішніми збуреннями.

Система автоматичного регулювання барабанного парогенератора включає в себе наступні самостійні системи регулювання: процесу горіння та пароутворення, температури перегріву пара, живлення, водного режиму.

2.2. Регулювання процесу горіння та пароутворення

Процеси горіння та пароутворення тісно пов'язані. Кількість спалюваного палива, а точніше, тепловиділення в топці у встановленому режимі повинно відповідати кількості пару, що виробляється.

Показником тепловиділення Q_T є теплове навантаження Q_q , яка характеризує кількість тепла, сприйнятого поверхнями нагріву за одиницю часу. З іншої сторони, кількість пару, що виробляється, повинно відповідати кількості пару спожитого турбіною. Якістю цієї відповідності є тиск пара перед турбіною, яке за умовою економічності і безпеки повинно підтримуватися з великою точністю.

Процес згоряння палива повинен здійснюватися з максимальною економічністю. Паливо, яке надходить у топку, повинно згорати за можливості повністю, а втрати тепла, що виділилося при його передачі поверхнями нагріву, повинні бути мінімальними.

В сучасних енергетичних парогенераторах здійснюється факельний спосіб спалювання палива. Якістю стійкості факела в топочній камері є постійність розрідження у її верхній частині. В цілому регулювання процесів горіння та пароутворення зводиться до підтримання поблизу заданих значень слідуючих величин:

- 1) тиск перегрітого пару P_m та теплового навантаження O_q ;
- 2) економічності процесу горіння, тобто надлишку повітря у топці, яке визначається вмістом O_2 за пароперегрівачем;
- 3) розрідженням у верхній частині топки N_m .

2.3. Регулювання тиску перегрітого пару та теплового навантаження.

Характеристика дільниці регулювання. Парогенератор, як об'єкт регулювання тиску і теплового навантаження може бути представлений у вигляді послідовно з'єднаних більш простих дільниць, розмежованих конструктивно: топкової камери; випарною або паро утворюючою частиною, що складається з поверхонь нагріву, які знаходяться в топковій камері; барабану та пароперегрівача.

Розглянемо динаміку випарної дільниці, у якому вода нагрівається до температури кипіння і відбувається процес пароутворення. Зміна тепловиділення Q_T призводить до зміни паропроодуктивності F_6 та тиску у барабані P_6 . Якщо приріст витрати палива та тепловиділення йде повністю на нагрів пароводяної суміші і металу паро утворюючої частини, то швидкість змінювання тиску в барабані P_6 буде прямо пропорційна теплу, витраченому на нагрів пароводяної суміші, або різниці між сприйнятим та кількістю тепла яке пішло з паром:

$$\frac{AdP_6}{dt} = Q'_T - F_6(i_n - i_{ns}) \quad (2.1)$$

де A – розмірний коефіцієнт, що характеризує теплову акумулюючу здатність пароводяної суміші та металу випарної частини; i_n – ентальпія насиченого пару на виході з барабана; i_{ns} – ентальпія живильної води.

Розділивши праву та ліву частини рівняння на $(i_n - i_{ns})$, отримаємо його другу форму запису, більш зручну для зіставлення експериментальних та розрахункових даних:

$$\frac{A}{(i_n - i_{ns})} \frac{dP_6}{dt} = \frac{Q'_T}{(i_n - i_{ns})} - F_6 \quad (2.2)$$

$$c_n \frac{dP_{\delta}}{dt} = O_q - F_{\delta} \quad (2.3)$$

де C_n – постійна, що характеризує масову акумулюючу здатність пароводяної суміші та металу випарної частини парогенератора, кг/(кгс/см²); O_q – $Q_T / i_n - i_{пв}$, кг/с – його теплове навантаження, яке характеризує тепло сприйняття випарних поверхонь за одиницю часу, виражена в одиницях витрати пару.

Величини C_n і O_q можуть бути визначені експериментально. Числове значення C_n може визначатися, наприклад, за експериментальною кривою перехідного процесу по тиску P_{δ} при нанесенні збурення витратою пару ΔF_{δ} (переміщенням регулюючих клапанів турбіни):

$$C_n = \frac{\Delta F_{\delta}}{dP_{\delta} / dt} \quad (2.4)$$

Значення ΔD_{δ} визначається як різниця парових навантажень парогенератора до та після нанесення збурення за показниками приладу, що вимірює витрату перегрітого пару ($F_{м} \approx F_{\delta}$). Значення dP_{δ}/dt – по тангенсу кута нахилання дотичної до кривої перехідного процесу P_{δ}/dt у точці перегину.

Що стосується теплового навантаження O_q , то у динамічному відношенні представляє інтерес не його числове значення, а його зміна або приріст ΔO_q , після нанесення внутрішнього або зовнішнього збурюючого впливу.

Безперервний спосіб непрямого змінювання приросту O_q або його відхилення від заданого значення ΔO_q оснований на використанні залежності (2.4), з якої випливає:

$$\Delta O_q = C_n \frac{dP_{\delta}}{dt} \pm F_{\delta} \quad (2.5)$$

Крім сигналу по теплу, відомі і інші способи непрямої оцінки тепловиділення у топці, наприклад, за показниками радіаційних пірометрів,

візованих на ядро факелу – по випромінюванню факела або по перепаду тисків на циркуляційному контурі барабанного парогенератора – тепло сприйняття топкових екранів.

2.4 Способи та схеми регулювання

Існуючі способи та схеми автоматичного регулювання теплового навантаження парогенератора і тиску пару в магістралі визначаються заданим режимом його роботи (базовим або регулюючим) та схемою під'єднання паропроводу перегрітого пару до споживача (турбіни).

Базовим режимом називають режим підтримання парового навантаження парогенератора на заданому рівні не залежно від зміни загального електричного та теплового навантаження ТЕЦ.

В регулюючому режимі парогенератор сприймає коливання теплових та електричних навантажень турбін, тобто він бере участь в регулюванні загального теплового та електричного навантаження.

Парогенератор може бути підключений тільки до однієї турбіни (блочний варіант роботи) або до загальної парової магістралі, яка об'єднує групу парогенераторів та турбін (варіант роботи з загальним паропроводом).

1. Регулювання енергоблоку «парогенератор – турбіна». Головним способом регулювання тиску пара у такій системі в регулюючому режимі є вплив на витрату палива, що подається в топку.

У базовому режимі вплив регулятора тиску повинно бути переключено на регулюючі клапани турбіни через електропривод синхронізатора турбіни.

2. Регулювання групи парогенераторів, які працюють на загальний привід. Підтримання постійного тиску пару в паропроводі у встановленому режимі забезпечується за рахунок подачі відповідної кількості палива в топку кожного парогенератора. Однак у перехідному режимі, який викликаний зміною загального парового навантаження, тиск пару у загальному паропроводі може регулюватися зміною подачі палива до кожного парогенератора або до частини з них.

Перший варіант – усі парогенератори працюють у регулюючому режимі. У цьому випадку відхилення тиску пару в загальному паропроводі P_m призведе до появи відповідного сигналу на вході регулятора тиску. Цей регулятор, який називається головним, паралельно керує дією регуляторів подачі палива усіх парогенераторів.

Частка участі кожного парогенератора у сумарному паровому навантаженні встановлюється за допомогою задатчиків ручного керування ЗРК.

Другий варіант – частина агрегатів переведена в базовий режим відключенням зв'язків їх регуляторів подачі палива з головним регулятором. Тиск пару в загальному паропроводі регулюють парогенератори, зв'язки яких з головним регулятором не порушені. Таке рішення доцільне при великому числі паралельно працюючих парогенераторів, коли немає необхідності тримати усі агрегати у регулюючому режимі.

Переваги першого варіанта – рівномірне розподілення збурень із сторони споживача пару між агрегатами.

Переваги другого варіанта – простота схеми і стабільність парового навантаження агрегатів з відключеними від головного регуляторами подачі палива.

Третій варіант – регулювання тиску пара групою парогенераторів за допомогою головного регулятора і стабілізацією подачі палива окремих агрегатів (схема завдання – паливо). Відмінність цього варіанта полягає в тому, що до регуляторів палива підводяться додаткові сигнали по витраті палива. Це дозволяє значно зменшити запізнення у подачі палива при самовільних змінах його витрати та покращити якість перехідних процесів по тиску пара. Завдання з витрати палива регуляторам, у залежності від тиску пару в загальному паропроводі, встановлюється головним регулятором, а частка участі окремих агрегатів в сумарному паровому навантаженні встановлюється за допомогою ручних за датчиків ЗРК.

Четвертий варіант – регулювання тиску пара із стабілізацією теплового навантаження (схема завдання – тепло). Порівняння кривих перехідного процесу

парогенераторів за тиском перегрітого пару і теплового навантаження при збуренні паливом показує, що дільниця по теплу має суттєво меншу затримку ($\tau=25\text{с}$ проти $\tau=1\text{хв.}$) та більшою швидкістю змінювання тиску

dP_{ϕ}/dt , тобто є менш інерційним. Теплове навантаження кожного агрегату може бути оцінене за витратою пару і швидкості змінення тиску в барабані, тобто за допомогою сигналу по теплу, згідно з формулою:

$$\Delta O_q = C_n \frac{dP_{\phi}}{dt} \pm \Delta F_{mn} \quad (2.6)$$

Мала інерційність і доступний спосіб вимірювання сигналу по теплу дозволяє використовувати його в АСР стабілізації подачі палива.

На відміну від схеми з головним регулятором парове навантаження кожного з парогенераторів у встановленому режимі стабілізується за допомогою регуляторів подачі палива, які виконують роль регуляторів парового навантаження. При цьому зміна загального парового навантаження з боку турбіни компенсується відповідною зміною завдання за рахунок дії коригувального регулятора тиску, а топкові збурення.

2.5.Регулювання розрідження у топці.

Характеристика дільниці регулювання. Наявність не великого за величиною (до 2 – 3 мм вод.ст.) постійного розрідження N_m у верхній частині топки необхідно за умовою нормального топкового режиму. Воно перешкоджає вибуванню газів з топки, свідчить про стійкість факелу і є непрямым показником матеріального балансу між повітрям, що нагнітається в топку та газами, що відводяться. Об'єкт регулювання по розрідженню представляє собою топкову камеру з включеними до неї послідовно газоходами від поворотної камери до всмоктуваних патрубків димососів. Вхідним регулюючим впливом цієї дільниці служить витрата відповідних димових газів, що визначається продуктивністю димососів. До зовнішніх впливів необхідно віднести зміну витрати повітря в

залежності від теплового навантаження агрегата, до внутрішніх – порушення газового режиму.

Дільниця, що розглядається, не має запізнень, має малу інерційність та значним самовирівнюванням. Особливістю дільниці є коливання регульованої величини близько середнього значення N_m з амплітудою 30 – 50 Па (3 -5 мм вод. ст.) і частотою до кількох Герц. Такі коливання (пульсації), які залежать від великої кількості факторів, зокрема від пульсацій витрати палива та повітря, ускладнюють роботу регулюючих приладів, особливо котрі мають релейні підсилювальні елементи, викликають їхнє занадто часте спрацьовування. Для згладжування пульсацій перед первинними вимірювальними приладами встановлюються спеціальні демпфуючі пристрої: дросельні шайби, імпульсні труби підвищеного діаметру або балони (ємності). Для цього може бути використаний електричний демпфер, який є в електричних схемах вимірювальних блоків регулюючих приладів.

Способи та схеми регулювання. Регулювання розрідження зазвичай здійснюється за допомогою зміни кількості газів, що відводяться димососами. При цьому їхню продуктивність можна регулювати:

- поворотними багато дросельними заслінками;
- напрямними апаратами;
- зміною числа обертів робочого колеса димососа за допомогою гідромумфт або за допомогою зміни швидкості обертання первинного двигуна.

Необхідне значення регульованої величини встановлюється за допомогою ручного за датчика ЗРК регулятора розрідження.

Для попередження частого виникнення такого небалансу та збільшення швидкодії регулятора розрідження рекомендується у ПП – регулятор , додатковий вплив від регулятора повітря через пристрій динамічного зв'язку.

В якості пристрою динамічного зв'язку, зокрема, може бути використана РС – ланцюг, вхідний сигнал якого надходить до входу регулятора розрідження лише у момент увімкнення регулятора повітря. Пристрій динамічного зв'язку

має спрямованість дії, тобто провідним регулятором може бути лише регулятор розрідження.

2.6.Регулювання перегріву пара.

Температура перегріву пару на виході парогенератора відноситься до найважливіших параметрів, що визначають економічність роботи парової турбіни та енергоблоку в цілому. У відповідності з вимогами ПТЕ допустимі тривалі відхилення температури перегріву пару від номінального значення, наприклад, для параметрів пара $P_{\text{пн}}=9,8$ Мпа (100 кгс/с^2) і $T_{\text{пн}}=540$ °С, складає в бік збільшення $+5$ °С, а в бік зменшення – 10 °С. Температура перегріву пару для барабанних парогенераторів залежить від тепло сприйняття та парового навантаження. При постійності парового навантаження тепло сприйняття перегрівачів визначається топковим режимом і може змінюватися в залежності від забруднення поверхонь нагріву, надлишку повітря, зміни складу палива і т.п.д. Зміна парового навантаження призводить до перерозподілу тепло сприйняття конвекційною та радіаційною частинами перегрівача і зміною температури пару на виході.

2.7.Регулювання температури первинного пару.

Характеристики дільниці регулювання. Для барабанних парогенераторів найбільш розповсюджений спосіб регулювання температури пару на виході (первинного пару) за допомогою паро охолоджувачів. Конструктивно дільниця регулювання перегріву утворює частину поверхні нагріву пароперегрівача, включаючи труби які обігріваються і ні, від місця вводу охолоджуючого агенту до вихідного колектору, в якому необхідно підтримувати задану температуру $T_{\text{пн}}$. До збурюючих впливів відносяться ентальпія на вході у дільницю $i_{\text{вх}}$, витрата спожитого пару $F_{\text{пн}}$ та кількість тепла, сприйняте від топкових газів, $Q'_{\text{т}}$. Вихідною величиною дільниці є ентальпія на виході з пароперігрівача i_0 . Регулюючим впливом є витрата охолоджуючого агенту $F_{\text{впр}}$.

2.8. Регулювання температури вторинного пару.

Способи та схеми регулювання:

1) Регулювання за допомогою паро – парового теплообмінника (ППТО).

Конструкційно ПУТО представляє собою винесений із газоходів парогенератора корпус, виконаний із труб великого діаметра (300 – 400мм), в середині якого проходять змійовики труб малого діаметра, укріплені в трубних дошках. В середині змійовиків проходить частково перегрітий (до 450 – 520 °С) первинний або гріючий пар $F_{гп}$; у середині труби великого діаметра зустрічно проходить вторинний пар $F_{вп}$ з температураю 320 – 350 °С.

Регулювання температури вторинного пару проводиться шляхом зміни його витрати через ППТО за допомогою трьох ходового клапана та обвідного паропроводу. В якості резервного засобу регулювання на випадок надмірного підвищення $T_{вп}$ передбачається аварійне впорскування.

2) Регулювання за допомогою газопарового теплообмінника (ГППТО).

Теплообмінник сконструйований по принципу труба в трубі і представляє собою розміщену в газоході котла систему змійовиків із труб діаметром 16 X 3мм. По трубкам малого діаметра рухається первинний або гріючий пар; на зустріч йому по трубкам великого діаметра проходить вторинний пар. Зовні труби великого діаметра обігрівуються топковими газами, що вимагає їх надійного охолодження.

Способи регулювання за допомогою теплообмінників економічно не обґрунтовані, однак їхній недолік полягає у появі суттєвих зв'язків між системами регулювання первинного та вторинного пару.

3) Регулювання перепуском частини пара в обхід конвективної поверхні нагріву вторинного пароперегрівача (паровий бай пас).

При такому способі регулювання температура вторинного пара практично не залежить від температури первинного. В той же час діапазон регулювання може бути збережений у достатньо широких межах. ПП – регулятор температури діє від двох сигналів – по відхиленню температури на виході з вторинного пароперегрівача (основного) та додаткового (зникаючого) з виходу

диференціатора по зміні температури у паропроводі (сигнал на виході датчика 6) після змішування холодного та частково перегрітого пара в проміжній точці тракту.

На випадок надмірного підвищення $T_{\text{вп}}$ передбачається додаткове впорскування, що керується автоматичним регулятором. Задане значення $T_{\text{вп}}$ основного регулятора встановлюється меншим ніж у регулятора, з тим, щоб клапан аварійного впорскування у нормальному режимі роботи був закритий.

2.9. Регулювання живлення парогенераторів водою.

Характеристика ділянки регулювання. У встановленому режимі роботи парогенератора кількість води, яка надходить до барабана повинна відповідати кількості пару, що виробляється. Показником цієї відповідності слугує рівень води в барабані L_6 . Середнє значення рівня повинно бути незмінним при постійному навантаженні; межі його змінювання у перехідних режимах суворо обмежені умовами безаварійної роботи парогенератора і турбіни. Зниження рівня нижче місця приєднання опускних труб циркуляційного контуру може призвести до порушення живлення і охолодження підйомних труб, порушенню їх міцності в місцях стикування з корпусом барабана, а у найбільш тяжкому випадку – до перепалу.

Прийнято, що максимально допустиме відхилення води у барабані складає ± 40 мм вод.ст. від середнього значення. Зниження рівня нижче видимої частини водомірного скла, яке встановлене на барабані парогенератора, рахується як «втрата води», а перевищення його видимої частини – «пере живлення». Відстань між цими критичними відмітками ≈ 630 мм. Втрата та пере живлення призводять до аварій.

Зміна рівня під дією небалансу між витратою пара і води описується рівнянням:

$$F(\rho_B - \rho_{\text{п}}) \frac{dL_6}{dT} = F_{\text{пв}} - F_{\text{пп}} \quad (2.7)$$

де, F – площа дзеркала випаровування, м^2 ; $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{в}}$ – густина води та насиченого пару, $\text{кг}/\text{м}^3$, $F_{\text{пп}}$ і $F_{\text{пв}}$ – витрата пару та води, $\text{кг}/\text{с}$.

Прийнявши $F(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{п}}) 1/F_{\text{пв}}^0 = 1/\kappa_i$ та $(F_{\text{пв}} - F_{\text{пп}})/F_{\text{пв}}^0 = X$ і перейшовши до безмірних величин, після інтегрування (2.9) отримаємо:

$$y(t) = \kappa_i \int_0^1 x(t) dt \quad (2.8)$$

тобто за динамічними властивостями канал небаланс витрати води і пару в барабані є інтегруючою ланкою.

З рівняння (2.7) можна визначити час проходження Δt від мінімального $L_{\sigma}^{\min}$ до $L_{\sigma}^{\max}$ допустимого значення при ступінчатому збуренні небалансом:

$$\Delta t = \frac{F(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{п}})(L_{\sigma}^{\max} - L_{\sigma}^{\min})}{F_{\text{пв}} - F_{\text{пп}}} \quad (2.9)$$

Виходячи з вимог до регулювання рівня води у барабані, автоматичний регулятор повинен забезпечувати постійність середнього рівня незалежно від навантаження парогенератора та інших збурюючих впливів. У перехідних режимах зміна рівня може відбуватися досить швидко, тому регулятор живлення для забезпечення малих відхилень рівня повинен підтримувати постійність витрати живильної води та пару, тобто бути також регулятором співвідношення.

2.10 Регулювання водного режиму у парогенераторах.

Хімічний склад води, що циркулює у барабанних парогенераторах, істотно впливає на тривалість їхньої без зупинної або без ремонтної кампанії. До основних показників якості котлової води відноситься загальний вміст солі (концентрація NaCl , $\text{мг}/\text{кг}$) і надлишок концентрації фосфатів (вміст іонів PO_4^{3-} , $\text{мг}/\text{кг}$).

Підвищення загального вмісту солі може призвести до зносу солей котлової води до пароперегрівача та турбіни.

Підтримання загального вмісту солей котлової води в межах норми здійснюється за допомогою періодичної та без перервної продувки з барабана до спеціальних розширювачів.

Періодична продувка слугує для видалення шламу у нижніх колекторах, виконується 1 – 2 рази за зміну і, як правило, не автоматизується.

Без перервна продувка слугує для видалення надлишку солей NaCl і SiO_2 , які накопичуються у котловій воді в процесі пароутворення. Величина без перервної продувки коливається в межах 0,5 – 2 % максимальної продуктивності парогенератора. Оскільки втрати тепла з продувкою лише частково повертаються до теплової схеми станції з конденсатом пару із розширювачів безперервної продувки, підтримання вмісту солей котлової води з великим запасом по відношенню до допустимого за рахунок збільшення витрати води на продувку не економічно.

За своїми динамічними властивостями ця ділянка регулювання типовий для теплових об'єктів. Крива перехідного процесу по вмісту солей при нанесенні збурень витратою пара або кількістю води, що продувається, близька до кривих типових теплових інерційних об'єктів. Час запізнення τ визначається в основному інерційністю вимірювальних пристроїв і складає 1 – 3 хв, постійна часу $T = 10$ год. 40 хв в залежності від типу парогенератора.

Теплові захисти котлів типу ДКВР -20/13.

Захист призначений для попередження аварій, її розвитку або найшвидшої ліквідації її наслідків у випадку відхилень параметрів роботи котлоагрегату до небезпечних значень.

Схема захисту забезпечує:

а) автоматичне виконання необхідних операцій, що забезпечують перевід котлоагрегату на понижене навантаження, розпалювальний режим або повну зупинку;

б) подачу звукового та світлового сигналу при виконанні вказаних у пункті а) операцій;

в) фіксацію за допомогою вказівних реле (блінкерів);

г) повний або частковий ввід захистів за допомогою автоматичних вимикачів живлення або контактних накладок;

д) селективність спрацювання захисту у зв'язку з переходом з газоподібного палива на мазут і навпаки.

2.11 Класифікація захистів

За характером виробничих операцій захисти поділяються наступним чином:

- а) діючі на зупинку котла;
- б) діючі на зниження навантаження або перевід котла на розпалювальний режим;
- в) виконуючі окремі локальні операції.

Захисти, що діють на зупинку котла.

Зупинка котла захистами відбувається:

Зниження рівня води в барабані до 160 мм нижче нормального.

Пере живленні котла водою до II ступеня, тобто при підвищенні рівня до 240 мм вище нормального.

Падінні тиску газу перед котлом до 0,05 кгс/см².

Підвищенні тиску газу перед котлом до 1,2 кгс/см².

Падіння тиску мазуту перед котлом до 7 кгс/см².

Закриття відсікача газу 100%.

Закриття відсікача мазуту 100%.

Відключення двох димососів або двох надувних вентиляторів.

Зниження температури перегрітого пару за котлом до 485⁰С.

Дистанційне відключення котла кнопкою.

Зупинка котла виконується за допомогою автоматичного виконання наступних операцій:

- відключення 100% пристроїв, що подають паливо: закриття відсікача мазуту 100%, при роботі на мазуті, або закриття швидкодіючого відсікача газу 100% при роботі на газу;

- при спільному спалюванні не залежно від положення перемикача палива «мазут» або «газ» відключається відсікач мазуту і відсікач газу 100%;
- закриття головної парової засувки (ГПЗ);
- відкривання вентеля продувки пароперегрівача в атмосферу;
- закриття засувки на підводі живильної води до котла (лобова) при роботі захистів з пере живленню та зниженню рівня;
- накладання заборони на регулятор теплового навантаження у бік «прибавити»;
- закриття основної засувки на лінії мазуту.

Захисти, що діють на зниження навантаження.

До цих захистів відносяться:

- підвищення тиску свіжого пару за котлом до 104 атм.;
- підвищення температури свіжого пару за котлом до 560⁰С;
- відключення одного з двох працюючих димососів;
- відключення одного з двох працюючих вентиляторів.

При роботі захисту на зниження навантаження котла виконуються наступні операції:

- 1) закриваються вентилі перед мазутними форсунками №1 і №3;
- 2) видається заборона на КДК мазуту та КДК газу у бік «більше»;
- 3) при спільному спалюванні та положенні перемикача палива «мазут» закриваються тільки вентелі на мазутні форсунки №1 і №3 при положенні перемикача паливо «газ» - тільки заборона на КПК газу у бік «більше».

Захисти, що виконують окремі локальні операції.

До захистів місцевого характеру, які не зв'язані з зупинкою котла або зниженням його навантаження, відносяться наступні:

- захист з пере живлення котла водою +100мм, при цьому відкриваються вентилі аварійного зливу №1 та №2, закриття вентелів при досягненні рівня + 50мм;

- захист при підвищенні тиску пару у паро збірній камері до 106 кгс/см² та 118 кгс/см² в барабані котла (ІЗП -1 та ІЗП-2).

2.12. Принципова схема теплових захистів котла ДКВР – 20/13.

Схема теплових захистів котла виконана на базі реле (типу РП-23, РУ-21, реле часу типу ЕВ-134). В якості приладів, що подають імпульси на спрацювання захистів, використовуються електронні прилади, що показують типу КПД та КПП, а також контактні манометри типу ЕКМ.

Захист живиться постійною напругою 220В через автоматичний вимикач АП-50 від шин ЦТЩ. Соленоїди клапанів від сікачів газу та мазуту 100% отримують живлення 220В постійного струму від відповідних шин через автоматичні вимикачі.

Робота захисту повної зупинки.

Захист при зниженні рівня води у барабані отримує імпульс від контактів 1V та 2V двох приладів КПД.

При зниженні рівня до 160мм контакти 1V та 2V замикаються, струм від клеми надходить до блінкеру 5Б, далі через накладку 5Н на реле РПК і через контакти РПК на перемикач палива. При роботі на мазуті вмикається вихідне реле захисту РП – 3 або РП – 22 при роботі на газу. Зупинка котла при роботі на мазуті відбувається: РП – 3 своїми контактами вмикає ланцюг живлення соленоїда відсікача мазуту 100%, соленоїд утримує шток, який заважає закриванню відсікача. Відсікач закривається та вивільняє важіль кінцевого вимикача, який розташований на відсікачу.

Кінцевий вимикач своїми н.з. контактами відключає живлення котушки соленоїда відсікача, а н.р. контактами через перемикач палива і блінкер 8Б вмикає реле РП – 7, РП – 7 своїми контактами закриває ГПЗ та відкриває засувку продувки до атмосфери, РПК закриває засувку підводу живильної води до котла (лобову).

При роботі котла на газі після замкнення контактів 2V, 1V приладів КПД через блінкер 5Б та накладку вмикається реле РПК, яке своїм н.о. контактом, через

перемикач палива, вмикає реле 22РП. Реле 22РП своїми н.о. контактами відключає відсікач БК – 100. При закриванні БК – 100 кінцевий вимикач, через перемикач палива та блінкер 12Б, вмикає реле РП – 9 та н.о. контактами закриває ГПЗ, відкриває вентель продувки пароперегрівача, РПК закриває засувку підводу живильної води до котла.

Захист при пере живленні II ступеня рацює наступним чином: імпульс на роботу захисту від пере живлення I ступеня надходить від контактів рівнеміра 1V. Працює реле 19РП та відкривається аварійний злив №1 і №2. При подальшому пере живленні працює II ступінь. Замикаються контакти 2V та через н.о. контакти 19ПП, котушку блінкера 4Б, накладку 4Н вмикає РПК. РПК своїми контактами через ПТ дає імпульс на реле РП – 3 (при роботі на мазуті) або 22РП (при роботі на газу).

Дія така ж, як при пускі.

Усі інші захисти на зупинку котла діють аналогічно, крім закриття лобової засувки. При падінні тиску газу, імпульс від двох ЕКМ надходить на котушку блінкера 11Б, через накладку 11Н та ключ ПТ вмикає 22РП.

При зниженні температури пару імпульс від двох увімкнених контактів 1Т, 2Т двох приладів КПП чере котушку блінкера 6Б, ключ ПТ вмикає реле РП – 3 або 22РП.

При відключенні двох надувних вентиляторів імпульс через н.о. контакти 2РПА та реле РП – 3 або 22РП.

При відключенні двох димососів, відключаються два надувних вентилятора, і імпульс іде аналогічно як при відключенні двох надувних вентиляторів.

Кнопка зупинки котла діє через котушку блінкера 3Б, накладку 3Н, ключ ПТ вмикає РП – 3 або 22РП.

2.13. Схеми захисту, що діють на зниження навантаження.

Захист з підвищення тиску свіжого пару за котлом до 104 атм отримує імпульс від контакту 1КМ електроконтактного манометра та через котушку блінкера 1Б,

накладку 1Н, ключ ПТ вмикає реле 3РП (при роботі на мазуті) або 4РП (при роботі на газу).

Захист при відключенні одного димососу або надувного вентилятора діє через котушки клінкерів 10Б, 9Б відповідно, а далі як захист з підвищення тиску свіжого пару за котлом.

Захист з підвищення температури пару за котлом до 560°C отримує імпульс від послідовно включених контактів 1Т та 2Т двох приладів КПП. Імпульс надходить через блінкер 2Б, накладку 2Н, ключ ПТ, вмикається реле 4РП при роботі на газу.

При цьому н.о. контактом 3РП закриває мазутні вентиля горілок №1 та №3 при роботі на мазуті, реле 3РП своїми н.з. контактами дає заборону у бік 4РП на КДУ газу.

При пере живлені котлів до I допустимого рівня н.о. контакт рівнеміра 1V вмикає реле 19РП. Н.о. контакти реле 19РП через накладку 3Н замикає ланцюг котушок закриття пускачів аварійного зливу №1 та №2, вентиля відкриваються.

При зниженні рівня контакти розмикаються, відключають реле 19РП та контакти IV рівнеміра при досягненні рівня +50мм, замикають ланцюг обмоток пускачів аварійного зливу №1 та №2 і вони відкриваються.

Після зниження тиску газу замикається контакт 1КМ та 2КМ двох ЕКМів, через котушку блінкера 11Б, накладку 11Н, вмикає 22РП, яке закриває клапан – відсікач газу КК – 100. зупинка котла при цьому не відбувається, так як ланцюг реле РП – 9 від БК – 100 розірвана перемикачем палива.

Котел ДКВР – 20/13 оснащений двома імпульсними запобіжними пристроями (ІЗП) – контрольним, який відкриває вихід пару до атмосфери з парозбірної камери, та робочим, який відкриває вихід пару до атмосфери з барабана котла.

Працює ІЗП наступним чином: при підвищенні тиску (до $106,5 \text{ кгс/см}^2$ у паро збірній камері або до $119,5 \text{ кгс/см}^2$ у барабані) замикаються н.о. контакт ЕКМ та включається реле 9РП, яке блокує саме себе та вмикає соленоїд відкриття ІЗП.

					ХНТУ 174.КРБ.25.005ПЗ	
						35

Після зниження тиску вмикається н.з. контакт ЕКМ, вмикається 10РП, яке відключає своїми н.з. контактами 9РП і вмикає н.о. контактами соленоїд закриття ІЗП. Одночасно заводиться реле часу 2РВ, яке через 2 -5 сек. Вмикає реле 11РП, яке повертає схему до початкового стану.

РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПАРОГЕНЕРАТОРА

У процесі експлуатації котла його продуктивність може змінюватися в межах, що визначають режими роботи споживачів. Можуть змінюватися також температура живильної води та повітряний режим топки. Кожному режиму котла відповідають певні значення параметрів теплоносіїв по водо - парному та газовому трактах, теплових втратах та ККД.

В короткочасні періоди переходу роботи котла від одного режиму до іншого зміна кількості теплоти, а також запізнення у системі його регулювання викликають порушення матеріального та енергетичного балансу котла і зміну параметрів, які характеризують його роботу. Порушення стаціонарного режиму роботи котла у перехідні періоди може викликатися внутрішніми (для котла) збуреннями, а саме зменшенням відносно тепловиділення в топці і зміною її повітряного режиму та режиму подачі води, зовнішніми збуреннями – зміною вживання пару і температури живильної води.

Залежності параметрів від часу, що характеризують роботу котла у перехідний період, називається його динамічними характеристиками.

3.1. Статичні характеристики парогенератора.

Залежність параметрів від навантаження. Продуктивність котла може змінюватися в широких межах від 50 до 100% номінальної. Короткочасно можливі і більш низькі навантаження. Для барабанних котлів при тривалій роботі зниження навантаження нижче 20 – 30% номінальної може лімітуватися умовами циркуляції.

Стійкий процес горіння твердого палива у шарі мазуту і газу можливий при будь – якому навантаженні. Збільшення навантаження і відповідно тепловиділення у топці при незмінних характеристиках палива, повітряному режимі топки і температури живильної води знижує частку теплоти, що передається екранам в топці, та збільшує частку теплоти, що сприймається конвективним пароперегрівачем, економайзером та повітропідігрівачем. Питоме теплове навантаження екранів значно зростає. У результаті збільшення

температурного напору і швидкості газів в конвективних поверхнях нагріву підвищується температура перегрітого пару, температура підігріву води у економайзері та повітря в повітропідігрівачі. Підвищується температура продуктів горіння, які відводяться, і як наслідок цього зростають втрати з газами, які відводяться. Із зростанням навантаження опір парового, газового і повітряного тракту зростає, приблизно, пропорційно квадрату збільшення навантаження.

Залежність параметрів від повітряного режиму топки. Зміна повітряного режиму топки, яке характеризується значенням α , також впливає на розподілення теплоти, що передається продуктами згорання екранам та конвективним поверхням нагріву.

Збільшення α при незмінних навантаженні, характеристики палива і температури живильної води дещо підвищує тепловиділення у топці, яке необхідно для збереження необхідного навантаження, а також зниження теоретичної температури горіння палива, внаслідок чого зменшується питоме тепло сприйняття екранів у топці.

Підвищення температури продуктів згорання в конвективних поверхнях нагріву і збільшення їх об'єму та швидкості у газоходах, призводять до збільшення температури перегріву пара у конвективно му пароперегрівачі, підвищують температуру підігріву води в економайзері та повітря в повітрепідігрівачі. Втрати від хімічного та механічного недопалу при практично задіяних значеннях $\alpha > 1,1$ залишаються незмінними та складають не більше 1%. Втрати з газами, що відводяться, зростають в основному за рахунок збільшення їхнього об'єму. Збільшення об'єму і температури газів, що відводяться, призводить до підвищенню втрати теплоти та зниженню ККД брутто котла.

Залежність параметрів від температури живильної води. Суттєво впливає на роботу котла температура живильної води, яка може змінюватися в процесі експлуатації в залежності від режиму роботи турбін. Зменшення температури живильної води при заданому навантаженні незмінних інших умовах

визначає необхідність збільшення тепловиділення у топці, тобто витрата палива, і внаслідок чого перерозподіл передачі теплоти поверхням нагріву котла. Температура перегріву пара у конвективному пароперегрівачі зростає за рахунок підвищення температури продуктів згорання та їхньої швидкості, збільшується температура підігріву води та повітря. Підвищується температура газів, що відводяться та їхній об'єм. Відповідно зростають втрати з газами, що відводяться.

Залежність параметрів від характеристик палива. У процесі тривалої експлуатації можуть змінюватися характеристики твердого палива і відповідно режим роботи котла. При підвищенні зольності палива знижуються його теплота згорання, об'єми продуктів згорання і повітря, яке витрачається на горіння палива. При незмінній витраті палива тепловиділення в топці зменшиться. Тепло сприйняття радіаційних поверхонь нагріву та температура на виході з топки знижуються. Частка теплоти, що передається випромінюванням, збільшується, а зменшення об'єму продуктів згорання і їхньої температури викликає зменшення конвективного тепло сприйняття.

Зменшення загального тепло сприйняття поверхонь нагріву призводить до зниження продуктивності котла, і для підтримання її на попередньому рівні необхідно збільшити витрату палива. Збільшення витрати палива при підвищенні його зольності підвищує випромінювання факелу і може підсилити шлакування топки. Практично ККД котла знижується.

При підвищенні вологості палива теоретична температура згорання знижується та при постійному витраті палива це викликає помітне зменшення температури продуктів згорання по всіх газоходах. Однак об'єм газів збільшується, тому втрати теплоти з газами, що відводяться, зростають, ККД та продуктивність котла знижуються. При відновленні продуктивності за рахунок збільшення витрати палива втрати теплоти з газами, що відводяться, зростають, ККД та продуктивність котла знижуються.

Залежність параметрів від спільного змінювання низки умов його роботи. При одночасному змінюванні низки умов роботи проти номінальних,

					ХНТУ 174.КРБ.25.005ПЗ	39

режим котла піддається різним впливам, які можуть додаватись і взаємокомпенсуватись.

При одночасному збільшенні продуктивності і вологості палива, температура пару швидко зростає. При зниженні навантаження і підвищенні вологості палива температура перегрітого пару може підвищитися або знизитися в залежності від ступеня відхилення цих параметрів від їхнього номінального значення. Коефіцієнт корисної дії котла може зберегти своє значення, підвищитися або знизитися також в залежності від відносного змінювання параметрів.

Статичні характеристики зазвичай визначають шляхом проведення серійних теплових випробувань котлів при різних режимах роботи.

3.2. Нестационарні процеси у котлах.

Як відмічалось вище, у період переходу від одного режиму до другого акумульована в металі і робочих поверхнях теплота та запізнення регулювання викликають короткочасне порушення матеріального та енергетичного балансів котла і відповідно відбувається зміна параметрів, що характеризують його роботу.

Зміна тепловиділення в топці і порушення енергетичного балансу в перехідний період призводять до зміни тепло сприйняття усіх поверхонь нагріву котла. При збільшенні тепловиділення в топці підвищується паропроductивність котла. Температура перегріву пара може збільшитися або зменшитися в залежності від співвідношення конвективних та випромінювальних поверхонь нагріву пароперегрівача. При конвективному пароперегрівачі збільшення навантаження на 10% підвищує температуру пара на 5 – 10°C.

Середовищем та металом сприймається кількість теплоти, яка визначається за формулою:

$$Q = \sum (G_m c_m + G_{cp} c_{cp}) \Theta + \sum (G_m c_m + G_{cp} c_{cp}) \Theta_0,$$

де G_m і G_{cp} – маса металу та середовища до збурення і після нього, кг; c_m і c_{cp} – теплоємність металу та середовища до збурення та після, кДж/(кг К); Θ і Θ_0 – температури металу до збурення і після, К.

Кількість теплоти та маси речовини котла називається акумулюючою ємністю. Вплив акумулюючої ємності проявляється по різному. При підвищенні тиску частина теплоти витрачається на нагрів середовища і металу до нової температури насичення. При зниженні тиску відбивається віддача акумульованої теплоти, яка йде на пароутворення, причому пара, яка виділяється з теплоти, іде на приріст паропроодуктивності котла в даний момент.

3.3. Динамічні характеристики котла.

Динамічною характеристикою котла називають залежність змінювання у часі параметрів, що характеризують його роботу при нанесенні збурень той чи іншій вхідній величині. Динамічні характеристики можуть бути отримані експериментальним або аналітичним шляхом.

Аналітичні методи визначення динамічних характеристик об'єктивно ґрунтовані на складанні їх диференціальних рівнянь, які базуються на використанні фізичних законів збереження маси, енергії і кількості руху. Наступним етапом є лінеаризація рівняння, тобто перехід до лінійної математичної моделі об'єкта. Лінеаризацію зазвичай проводять розкладанням нелінійних залежностей у ряд Тейлора у наближенні вихідного стаціонарного режиму з збереженням тільки лінійної частини розкладання і наступним відніманням рівняння статички. Отримана таким чином лінійна модель об'єкта справедлива при малих відхиленнях від початкового стаціонарного режиму. Розв'язання рівнянь при ступінчатому або імпульсному змінюванні вхідних величин дозволяє отримати перехідні функції – криві розгону або імпульсні часові характеристики об'єкта. Рішення часто приводять до області зображень Лапласа або Фур'є. У цьому випадку отримують передаточні функції або амплітудно-фазові характеристики. Для виявлення динамічної характеристики котла аналітичним шляхом необхідна побудова його математичної моделі.

3.4. Теоретична математична модель котла.

Для виконання теплових розрахунків на ЕОМ в процесі розробки його конструкції, а також визначення динамічних характеристик його роботи

необхідно складання математичної моделі котла. Задача з побудови математичної моделі котла у загальному випадку зводиться до визначення операторів системи, що визначають зміну вихідних величин при довільному змінюванні вхідного впливу. Згодом будують модель у вигляді сукупності окремих ділянок, які з'єднуються у відповідності з структурною схемою котла. Елементи котла є об'єктами з зосередженими параметрами, передаточні функції яких визначаються на основі диференціальних рівнянь.

Об'єкти з зосередженими параметрами. При складанні диференціальних рівнянь об'єктів з зосередженими параметрами зазвичай виходять з рівнянь матеріального та теплового балансу. Згідно матеріальному балансу маси речовини в замкнутому об'ємі у одиницю часу дорівнює алгебраїчній сумі вхідних та вихідних матеріальних потоків:

$$\sum_{i=1}^{i=k} D_i - \sum_{j=1}^{j=r} D_j = \frac{dG}{d\tau},$$

Де D_i ($i = 1, 2, \dots, k$) – масова витрата вхідного i -го потоку; D_j ($j = 1, 2, \dots, r$) – масова витрата вихідного j -го потоку; G – маса речовини у розглянутому об'ємі; τ – час.

Аналогічно зміна ентальпії будь – якої речовини в одиницю часу:

$$\sum_{i=1}^{i=k} Q_i - \sum_{j=1}^{j=r} Q_j = \frac{dH}{d\tau},$$

Де Q_i ($i = 1, 2, \dots, k$) i -й вхідний потік теплоти; Q_j ($j = 1, 2, \dots, r$) – j -й вихідний потік теплоти; H – ентальпія речовини.

Дільниці з розподіленими параметрами. До таких дільниць відносяться поверхні нагріву з однофазним та двофазним середовищем.

При аналітичному дослідженні зазвичай потік середовища приймається одномірним та з постійними фізичними параметрами по перерізу труби. Зміною кінетичної та потенціальної енергії середовища можна знехтувати, оскільки ці

величини малі порівняно із зміною теплоти. Тоді основні рівняння для робочого середовища будуть такими:

Рівняння енергії

$$F\rho\varpi\frac{dh}{dy} + F\rho\frac{dh}{d\tau} = q_2;$$

Рівняння суцільності

$$\frac{d\rho\varpi}{dy} + \frac{d\rho}{d\tau} = 0;$$

Рівняння руху

$$\frac{dp}{dy} + \varpi\rho\frac{d\varpi}{dy} + \rho\frac{d\varpi}{d\tau} + \frac{\xi\varpi^2}{d\tau}\rho + k\rho g = 0;$$

Рівняння стану

$$h = f_i(T, p); \quad \rho = f_p(T, p),$$

Де F – площа поперечного перерізу потоку середовища; ρ – густина середовища; ϖ – швидкість середовища; h – ентальпія середовища; q_2 – тепловий потік через внутрішню поверхню одиниці довжини дільниці; τ – час; p – тиск середовища; g – прискорення вільного падіння; ξ – коефіцієнт тертя; k – коефіцієнт нахилу труби; d_2 – внутрішній діаметр труби.

Передаточні функції отримують шляхом розв'язання наведених рівнянь в області зображень Лапласа після переходу до відхилень змінних та лінеаризації рівнянь. При розв'язанні рівнянь зазвичай приймають наступні спрощення: тепловий потік постійний по довжині труб; зміна витрати і тиску середовища відбувається одночасно по всій довжині труб; коефіцієнт тепловіддачі $\mathbf{a}_2$ приймають середнім по довжині і залежним від витрати середовища: $\mathbf{a}_2 = f(G)$; теплоємність середовища приймають постійною і рівною середній по довжині труб.

3.5. Теоретична математична модель котла по каналам паливо – тиск.

Аналітичне визначення статичних і динамічних характеристик складних систем з розподіленими параметрами, тобто складання диференціальних рівнянь, зв'язане з великим об'ємом розрахункових та дослідних робіт. Одним з методів

спрощення розрахунків складається у представленні складного об'єкта з розподіленими параметрами у вигляді послідовного і паралельного з'єднання ділень з зосередженими параметрами, які відрізняються єдністю конструкції або фізичними і технологічними процесами, що протікають в них, та відносно простого математичного опису. Розглянемо процес зміни тиску перегрітого пару в трубопроводі на виході парогенератора.

Як складна динамічна система парогенератор може бути розбитий на ряд більш простих ділень.

Перша ділянка W_1 – транспортування пиловидного палива.

Динамічні властивості цієї ділянки дозволяють наближено вважати його ланкою транспортного запізнювання з передаточною функцією $W_1 = e^{-pt}$, в якій величина τ залежить від швидкості руху пило повітряної суміші та довжини пило проводу (на сучасних парогенераторах $\tau = 0.5 \div 2.5$ с).

Наступна ділянка W_2 – топкова камера. Тут відбувається подача палива в топку, його часткове займання та згорання (повне або часткове).

Процес тепловиділення наближено може бути описаний рівнянням інерційної ланки першого порядку з передаточною функцією:

$$W_2 = \kappa_2 / (1 + T_2 p),$$

Де величина T_2 коливається від декількох секунд до декількох десятків секунд в залежності від типу парогенератора, виду палива та від інших факторів. Теплова енергія, що виділяється в результаті згорання палива, сприймається випромінювальними та конвективними поверхнями нагріву парогенератора. Наступна ділянка W_3 – процес теплопередачі. Його динаміка наближено може бути описана рівнянням інерційної ланки першого (або більш високого) порядку з передаточною функцією:

$$W_3 = \kappa_3 / (1 + T_3 p).$$

Наступна ділянка W_4 утворює барабан , опускні труби $D_{оп}$ циркуляційного контуру, екранні поверхні (підйомні труби – $D_{під}$), де відбувається процес пароутворення.

Фізична суть процесу, який відбувається в цій ділянці, полягає в тому, що змінювання тепла Q'_T призводить до зміни двох регулюючих величин – паропроодуктивності F_6 і тиску пару в барабані P_6 , які одночасно впливають на паропроодуктивність підйомних труб $F_{\text{під}}$, тобто є і вихідними величинами. Таким чином, ділянка, яка розглядається, не є ланкою направленої дії, але, оскільки він включений послідовно з попередніми направленими ланками – пилопроводами і топкою, направленість парогенератора як системи в цілому зберігається. Це означає, що зміна F_6 та P_6 не дадуть зворотної дії на кількість палива F_T , що підводиться до топки, і на Q_T і Q'_T .

Якщо припустити, що Q'_T зміниться стрибком, а витрата пару F_6 буде підтримуватися постійною, наприклад, за допомогою регулюючих клапанів турбіни або іншого споживача пару, то крива перехідного процесу з тиску пару в барабані P_6 , що нас цікавить, буде мати форму наближену до експоненти. Передаточна функція по каналу W_4 наближено може бути представлена у вигляді інерційної ланки першого порядку:

$$W_4 = \kappa_4 / 1 + T_4 p.$$

Наступна ділянка W_5 складають пароперегрівач і приєднаний до нього трубопровід перегрітого пару, в якому відбувається змінювання тиску, який нас цікавить. Ділянка, яку розглядаємо, має три виходи з боку парогенератора: F_6 , P_6 , Q''_T . Динаміка цієї ділянки по каналу $P_6 \rightarrow P_{\text{пп}}$ ($p_1 \rightarrow p$) визначена аналітично:

$$\Delta p(t) + T \frac{\Delta p(t)}{dt} = \kappa_{p_1} \Delta p_1(i). \quad (1)$$

Його рішення у тимчасовій області $\Delta p = f(t)$ є експонентою:

$$\Delta p(t) = \kappa_{p_1} \Delta p_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right).$$

Для визначення динамічних характеристик ділянки, яка розглядається, у вигляді передаточної функції або амплітудно – фазової характеристики застосуємо до (1) (при нульових початкових умовах і впливі, що викликає збурення, Δp_1 у вигляді ступінчастої функції) перетворення Лапласа – Карсона.

Попередньо позначимо вихідну величину дільниці Δp через $y = \Delta p/p_0$, вхідну через $x = \Delta p_1/p_0$, а їхні зображення через $Y(p)$ та $X(p)$, тоді:

$$Y(p)(1 + Tp) = \kappa_{p_1} \chi_1(p),$$

Де $p = d/dt$ – оператор Лапласа.

З рівняння зв'язку між зображеннями вихідної та вхідної величин можна отримати передаточну функцію дільниці по каналу впливу $p_1 \rightarrow p$ ($x_1 \rightarrow y$):

$$W(p) = \frac{\kappa_{p_1}}{1 + Tp}$$

І його амплітудно – фазову характеристику:

$$W(i\omega) = \frac{\kappa_{p_1}}{1 + i\omega T}.$$

Результуючу розрахункову передаточну функцію парогенератора по каналу $B_T - Q'_T - P_6 - P_{\text{шт}}$ можна визначити перемноженням передаточних функцій послідовно включених ланок W_1, W_2, W_3, W_4, W_5 . Розглянутий вище спосіб складання передаточної функції складного об'єкта в спосіб з'єднання простих ланок, передаточні функції яких відомі або легко визначаються, називається структурним моделюванням. Складання диференціальних рівнянь і структурне моделювання передбачає вживання розрахункових методів визначення динамічних властивостей складних об'єктів.

При опису динамічних властивостей за допомогою спрощених математичних моделей широке розповсюдження отримали наступні з'єднання простих ланок:

а) інерційної ланки першого порядку, послідовно з'єданого із запізнюювальною ланкою,

$$W(p) = \frac{\kappa e^{-p\tau}}{1 + Tp};$$

б) інтегруючої ланки, послідовно з'єданого з запізнюювальною ланкою,

$$W(p) = \frac{\kappa_H e^{-p\tau}}{p}.$$

При заміні складних об'єктів з'єднаннями простих ланок їх динамічні властивості можуть бути описані невеликим числом параметрів. Таким чином, передаточна функція котла по каналу паливо – тиск набуде вигляду:

$$W_K = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 \cdot W_4 \cdot W_5,$$

Використовуючи функції `tf` і `series` програмного пакету MATLAB отримаємо результуючу передаточну функцію, яка складена аналітичним шляхом:

$$W_k = \frac{0.9856}{19.66s^4 + 44.14s^3 + 34.41s^2 + 10.6s + 1}$$

3.6. Визначення математичної моделі за експериментальними даними та отримання налаштувань регулятора.

Для побудови моделі за експериментальними даними був проведений експеримент, результати якого зведені до таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Значення точок кривої розгону, отримані експериментально

Час t,с	Величина P _k , кПа	Час t,с	Величина P _k , кПа	Час t,с	Величина P _k , кПа
0	3,95	15	8,4	30	12,0
1	4,05	16	8,8	31	12,1
2	4,1	17	9	32	12,2
3	4,2	18	9,3	33	12,4
4	4,6	19	9,6	34	12,5
5	5	20	9,9	35	12,6
6	5,3	21	10,1	36	12,65
7	5,6	22	10,4	37	12,65
8	5,9	23	10,7	38	12,7
9	6,37	24	10,9	39	12,7
10	6,7	25	11,0	40	12,7
11	7	26	11,3	41	12,7
12	7,3	27	11,5	42	12,7

13	7,7	28	11,65	43	12,7
14	8,05	29	11,8	44	12,7

$P_{k,kPa}$

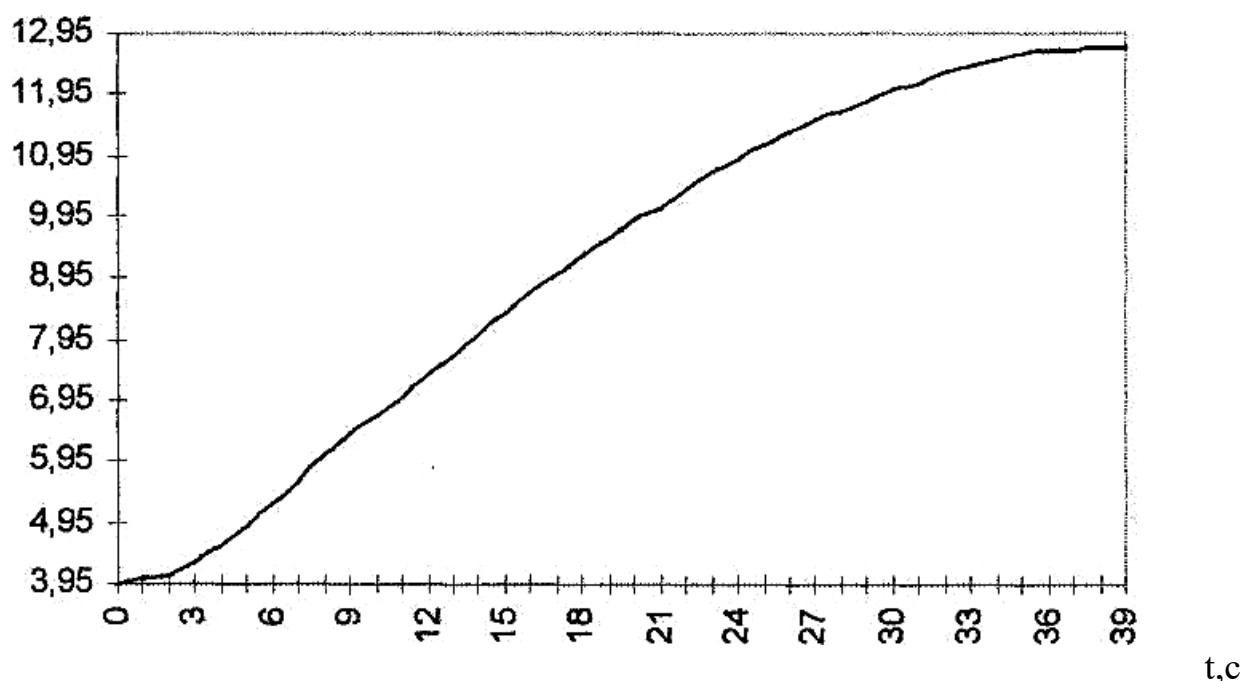


Рисунок 3.1 - Графік кривої розгону по каналу зовнішнього збурення.

Апроксимація перехідних процесів.

Апроксимація кривої перехідного процесу об'єкта по основному каналу.

Визначення передаточної функції об'єкта по основному каналу проводимо за кривою розгону, отриманою за даними таблиці проекту.

Значення точок кривої приведені в таблиці 3.1, а графік – на Рис. 3.1.

Так як об'єкт, що досліджується, як видно з графіка перехідного процесу, має властивість самовирівнювання, - розрахунки передаточної функції будемо проводити в програмі Prism. Перед введенням точок кривої перехідного процесу до програми, функції необхідно привести до безрозмірного вигляду. Це легко зробити у програмі ідентифікації об'єктів керування, використовуючи команду «нормувати». Значення нормованої кривої приведені в таблиці 3.2, графік нормованої кривої – на рис. 3.2.

Таблиця 3.2 - Значення нормованої кривої

Час t,с	значення функції	Час t,с	значення функції	Час t,с	значення функції	Час t,с	значення функції
0	0	12	0,5293	24	0,904	36	0,9847
1	0	13	0,5763	25	0,9173	37	0,9867
2	0,0017	14	0,624	26	0,931	38	0,9883
3	0,0167	15	0,6687	27	0,9393	39	0,992
4	0,0467	16	0,709	28	0,947	40	0,994
5	0,0933	17	0,7457	29	0,9533	41	0,996
6	0,1433	18	0,7787	30	0,9597	42	0,9963
7	0,2083	19	0,808	31	0,9653	43	0,9967
8	0,277	20	0,8297	32	0,9707	44	0,9977
9	0,346	21	0,8517	33	0,976	45	1,000
10	0,411	22	0,8723	34	0,98		
11	0,4713	23	0,889	35	0,983		

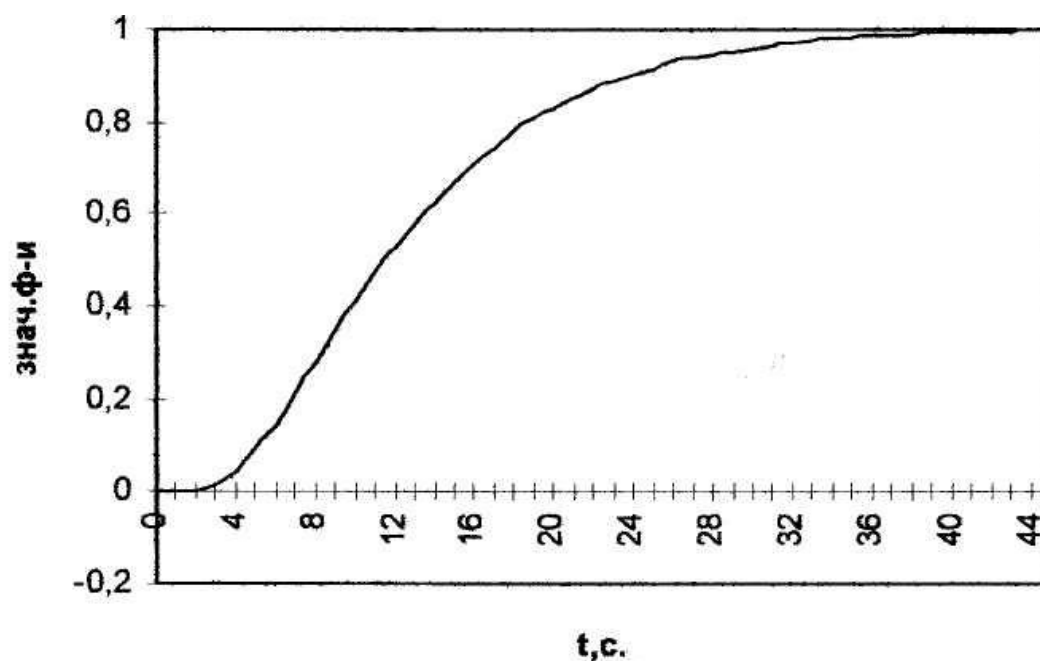


Рисунок 3.2 - Графік нормованої кривої по основному каналу.

Після розрахунків передаточної функції в Linreg отримаємо:

$$W_{ок} = \frac{1}{1 + 13,1S + 59,6S^2}$$

Коефіцієнт передачі об'єкта по основному каналу складає:

$$K_{\text{вк}} = (X_{\text{max}} - X_0)/w, \text{ де}$$

X_{max} – максимальне значення вихідної величини, t_{k_k} ;

X_0 – початкове значення вихідної величини, t_{k_k} ;

W – величина зовнішнього збурення, $w = 10\%$.

$$K_{\text{вк}} = (12,05 - 2,05)/10 = 1,0$$

Перевірка апроксимації перехідних процесів.

Перевірку апроксимації перехідних процесів проводимо з метою визначення точності апроксимації, шляхом отримання перехідного процесу «зворотнім шляхом». В ідеальному випадку – обидві криві повинні співпасти.

Передаточна функція об'єкта по основному каналу рівняється:

$$W_{\text{ок}} = \frac{1}{13,1S + 59,6S^2}$$

Для визначення перехідного процесу скористаємось програмою Аргос – перебування рівняння реакції системи на ступінчаті збурення методом Карсона – Хевисайда. Після введення в програму коефіцієнтів передаточної функції, отримаємо наступний математичний вираз реакції системи на одиничний ступінчатий вплив $y(t)$:

$$y(t) = 1 + 1,89 \cdot \cos(4,15 - 0,07 \cdot t) \cdot \exp(-0,11 \cdot t).$$

Оформлюємо таблицю 3.3, в якій:

Таблиця 3.3 – Результати апроксимації

Част,с	$X_{\text{норм}}(t)$	$Y(t)$	Абсолютна похибка, А	різниця квадратів	СКО
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007
1	0,000	0,0078	-0,0078	0,000	
2	0,0017	0,011	0,006	0,000	
3	0,0167	0,027	0,014	0,0005	
4	0,0467	0,059	-0,0123	0,001	
5	0,0933	0,101	-0,0077	0,002	
6	0,1433	0,165	-0,0217	0,006	
7	0,2083	0,233	-0,0247	0,01	
8	0,277	0,2988	-0,0218	0,012	

9	0,346	0,3517	-0,0057	0,004	
10	0,411	0,4039	0,01	0,005	
11	0,4713	0,4548	0,019	0,01	
12	0,5293	0,5038	0,02	0,02	
13	0,5763	0,574	0,002	0,003	
14	0,624	0,619	0,005	0,006	
15	0,6687	0,666	0,002	0,004	
16	0,709	0,7117	-0,002	0,004	
17	0,7457	0,745	0,0007	0,001	
18	0,7787	0,7756	0,003	0,004	
19	0,808	0,8036	0,005	0,007	
20	0,8297	0,8289	0,0006	0,001	
21	0,8517	0,8519	-0,0002	0,0001	
22	0,8723	0,8725	-0,0002	0,0001	
23	0,889	0,887	0,002	0,003	
24	0,904	0,911	-0,007	0,01	
25	0,9173	0,920	-0,003	0,005	
26	0,931	0,934	-0,003	0,005	
27	0,9393	0,935	0,004	0,008	
28	0,947	0,9463	0,001	0,001	
29	0,9533	0,9562	-0,002	0,005	
30	0,9597	0,9648	-0,005	0,01	
31	0,9653	0,9723	-0,007	0,01	
32	0,9707	0,9787	-0,008	0,01	
33	0,976	0,9841	-0,008	0,01	
34	0,98	0,9887	-0,008	0,01	
35	0,983	0,9926	-0,009	0,008	
36	0,9847	0,9958	-0,011	0,02	
37	0,9867	0,9985	-0,012	0,01	
38	0,9883	1,0006	-0,012	0,009	
39	0,992	1,0023	-0,01	0,01	
40	0,994	1,0037	-0,009	0,01	
41	0,996	1,0047	-0,008	0,009	
42	0,9963	1,0054	-0,009	0,01	
43	0,9967	1,006	-0,009	0,01	
44	0,9977	1,0063	-0,002	0,01	
45	1,000	1,0065	-0,0065	0,01	
сума				0,3327	

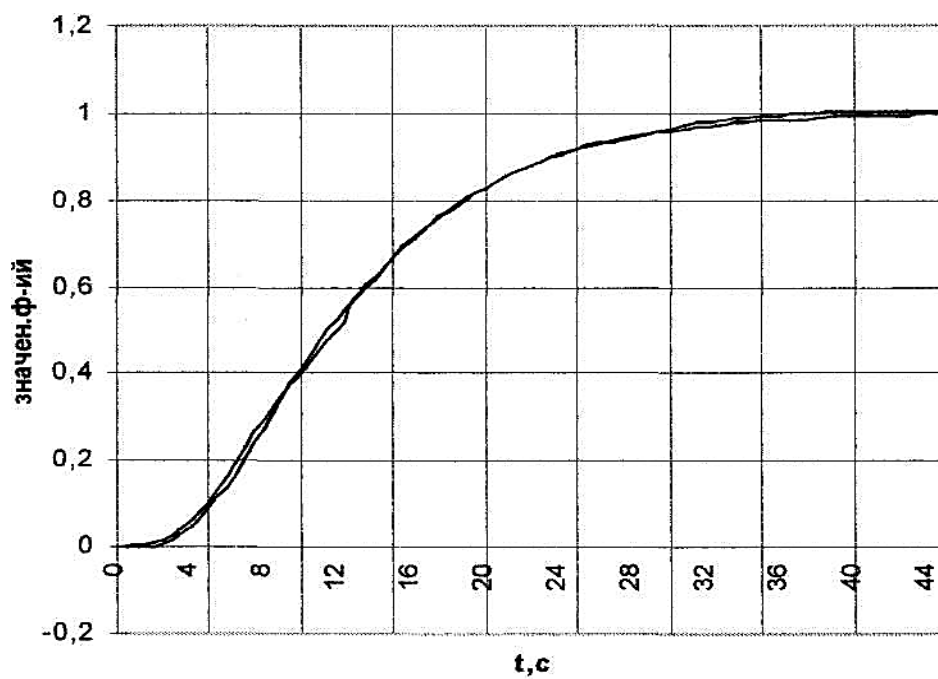


Рисунок 3.3. Перевірка апроксимації перехідного процесу по основному каналу.

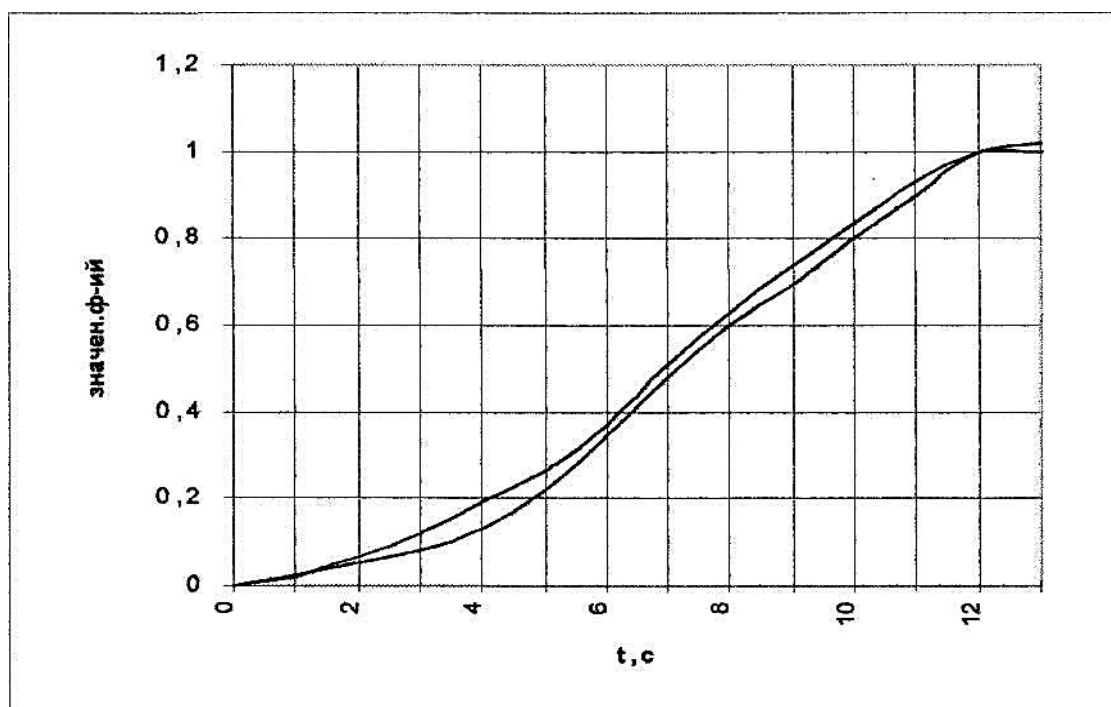


Рисунок 3.4. Розрахунки оптимальних налаштувань регулятора одноконтурної АСР.

Для розрахунку налаштувань регулятора одно контурної АСР вводимо до основної програми Linreg передаточну функцію об'єкта по основному каналу:

$$W_{ок}(S) = \frac{1}{1 + 13,1S + 59,6S^2}$$

Розрахунок проводимо для ІІІ- регулятора, отримуємо наступні налаштування регулятора: $K_p - 3,15$; $T_i = 12,6$.

На Рис. 3.5 зображена крива перехідних процесів для одно контурної АСР при отриманих налаштуваннях регулятора при керуючому впливі

Налаштування регулятора розраховані для ступеня затухання 0,9. Зменшення ступеня затухання призводить до збільшення величини пере регулювання в перехідному процесі при керуючому впливі.

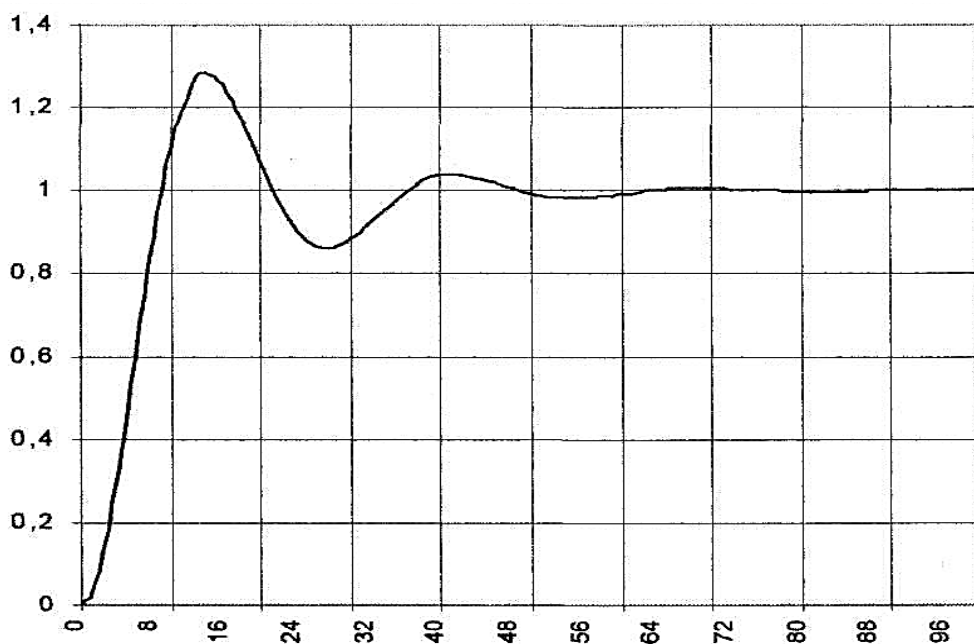


Рисунок 3.5. Крива перехідного процесу для одноконтурної АСР при керуючому впливі.

Моделювання перехідних процесів.

Для моделювання перехідних процесів одно контурних АСР по збуренню та керуванню, а також каскадної АСР по збуренню, керуванню і комбінованій

системі з компенсатором та без нього скористаємось програмою SIMULINK програмного пакету MATLAB.

Схема одно контурної АСР по керуючому впливу представлена на Рис. 3.6:

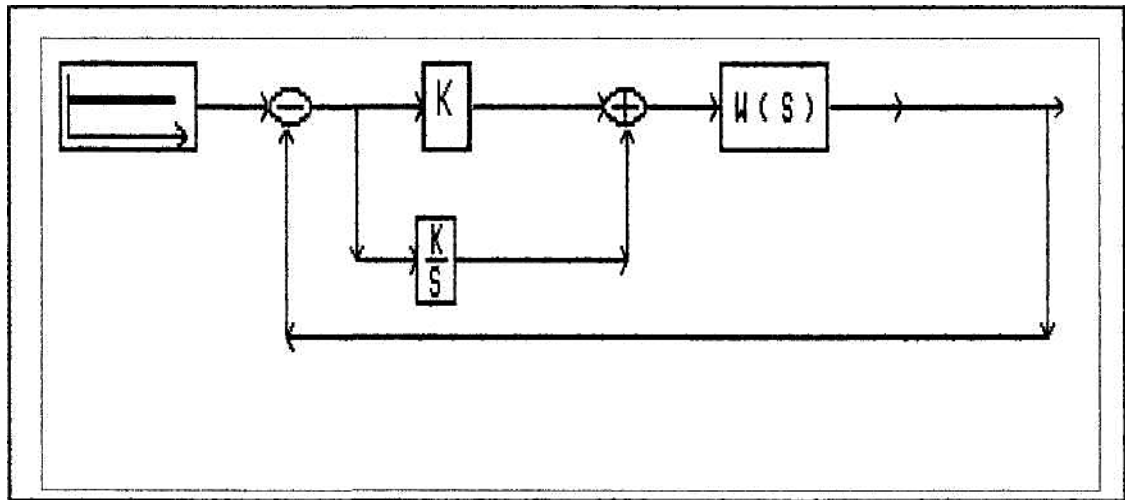


Рисунок 3.6 - Схема одно контурної АСР основного каналу по керуванню.

На Рис. 3.7 зображено графік відклику системи на одиничний стрибок.

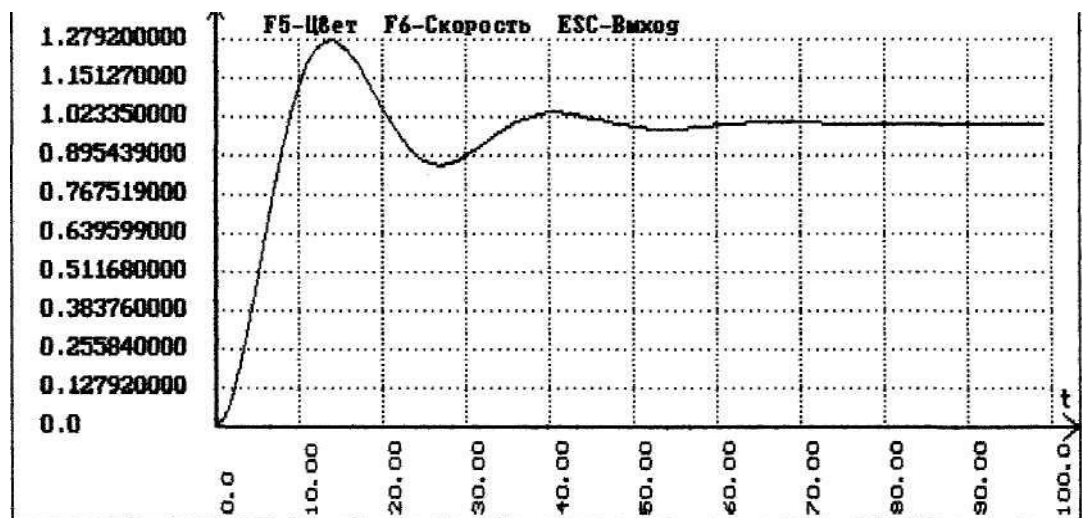


Рисунок 3.7. Графік відгуку одно контурної АСР по основному каналу на керуючий вплив.

РОЗДІЛ 4. ВИБІР АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.

4.1. Вибір керуючого мікро контролера.

Для автоматизації роботи котла обираємо програмований контролер Modicon M340.

Modicon M340 – контролер модульного типу. Модулі кріпляться на шасі, яке виконує механічну та електричну функції. M340 може включати від 1-го до 4-х шасі з різною кількістю місць (від 4-х до 12-ти) для встановлення модулів, об'єднаних між собою BusX шиною загальною довжиною до 30 м. Фізична структура M340 показана на мал. 12.

Основою конструкції M340 є шасі (Рис.4.1). Шасі використовується як монтажна рама, на якій розміщуються й закріплюються окремі модулі контролера. Всередині шасі проходить загальна шина BusX, по якій відбувається живлення модулів, установлених в шасі, і обмін сигналами та даними між окремими модулями контролера.

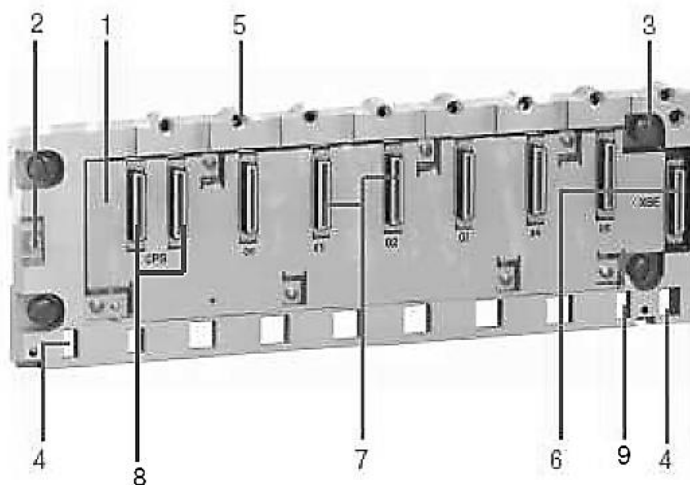


Рисунок 4.1. Шасі Modicon M340

1 – металева рама; 2 – клемма заземлення; 3 – отвори для кріплення шасі; 4 – кріплення для заземлення екранів кабелів; 5 – різьбові отвори під гвинт кожного модуля; 6 – рознім для модуля розширення (маркований як XBE); 7 – розніми для процесорного модуля, модулів вводу/виводу, комунікаційних модулів та модулів спеціального призначення; 8 – розніми для модуля живлення (маркований як CPS); 9 – отвори для установочних штирів модулів.

За кількістю посадочних місць шасі можуть бути на 4 (BMX XBP 0400), 6 (BMX XBP 0600), 8 (BMX XBP 0800) та 12 (BMX XBP 1200) позиціях. При необхідності побудови системи з декількома шасі (Рис.4.1) в різних *XBE* кожного шасі вставляється модуль розширення *XBE 1000* (Рис.4.1), які з'єднуються між собою кабелем *BusX* різної довжини.

4.2 Призначення та технічні характеристики основних модулів мікро контролера

Процесорний модуль завжди повинен міститися у шасі з номером 0. У кінцевих модулях розширення встановлюють термінатори шини *TSX TLY EX* типу А та В: для першого модуля – у вхідний роз'єм, для останнього – у вихідний (Рис.4.2).

Модуль живлення підбирається за типом живлення та споживаної потужності і вставляється в кожне шасі в рознімі з маркуванням *CPS* (Рис.4.1).

Всі модулі шасі, включаючи процесорний, живляться по внутрішній шині від модуля живлення *BMX CPS**** (Рис.4.2).

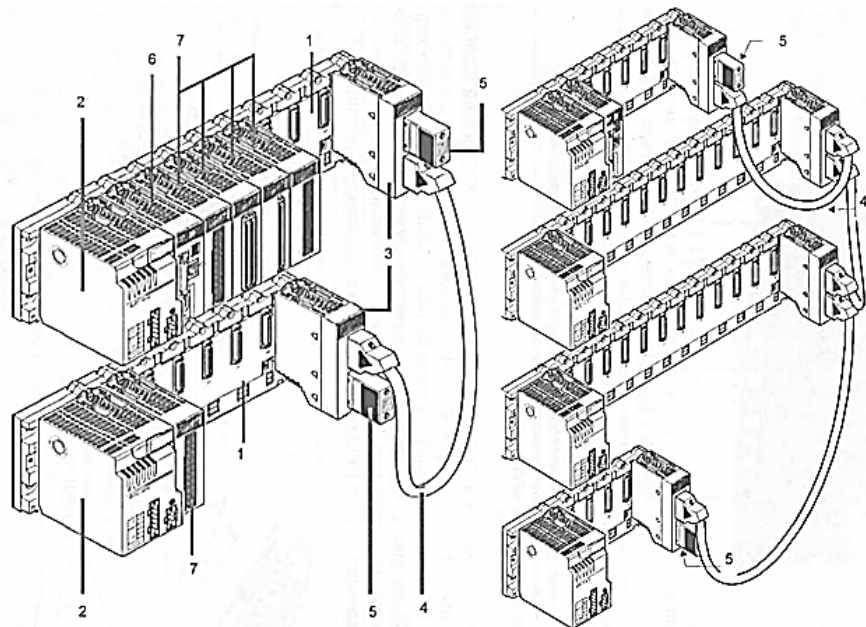


Рисунок 4.2. Фізична структура Modicon M340:

1 – шасі, на яких кріпляться модулі; 2 – модуль живлення, який обов'язково повинен бути присутнім у кожному шасі; 3 – модуль розширення *XBE 1000* для систем, побудованих на базі декількох шасі; 4 – кабелі розширення *BusX*, що з'єднують модулі розширення на суміжних шасі; 5 – резистори-термінатори в

кінцевих модулях розширення архітектури М340; 6 – процесорний модуль, який обов’язково розміщується в посадочному місці з номером 00 в 0-му шасі; 7 – інші модулі вводу/виводу та спеціального призначення, які розміщуються у будь-якому посадочному місці (окрім PS та ХВЕ).

Процесорні модулі

Процесорні модулі (CPU) М340 відрізняються між собою функціональними можливостями, швидкістю обробки інструкцій, кількістю підтримуваних входів/виходів, спеціальних каналів, обсягом доступної оперативної пам’яті та вбудованими в модуль CPU комунікаціями.

Таблиця 4.1 – Загальні характеристики процесорних модулів

Характеристика		BMX P34 1000	BMX P34 2000	BMX P34 2010	BMX P34 2020	BMX P34 2030
Максималь на кількість	шасі	2	4			
	дискретних	512	1024			
	аналогових	128	256			
	лічильних каналів	20	36			
Обсяг RAM	загальний розмір	2048	4096 Кб			
	для програм, констант,	1792	3584			
	для даних	128 Кб	256 Кб			
Максималь на кількість	внутрішні біти %Mi	16250	32464			
	внутрішні слова %MWi	32464				
	нелокалізовані	128 Кб	256 Кб			
Вбудовані комунікаці ї	Послідовний RS-	+	+	+	+	-
	Ethernet TCP/IP	-	-	-	+	+
	CANOpen	-	-	+	-	+

У кожному процесорному модулі М340 є вбудований USB-інтерфейс (Рис.4.3, поз. 3), який призначений для підключення терміналу програмування (комп’ютер зі встановленим UNITY PRO), а також для з’єднання зі SCADA/HMI і операторськими панелями. Для підключення до USB можна використати спеціальний екранований кабель або стандартний USB кабель із рознімом типу mini B. Довжина кабелю не перевищує 5 м.

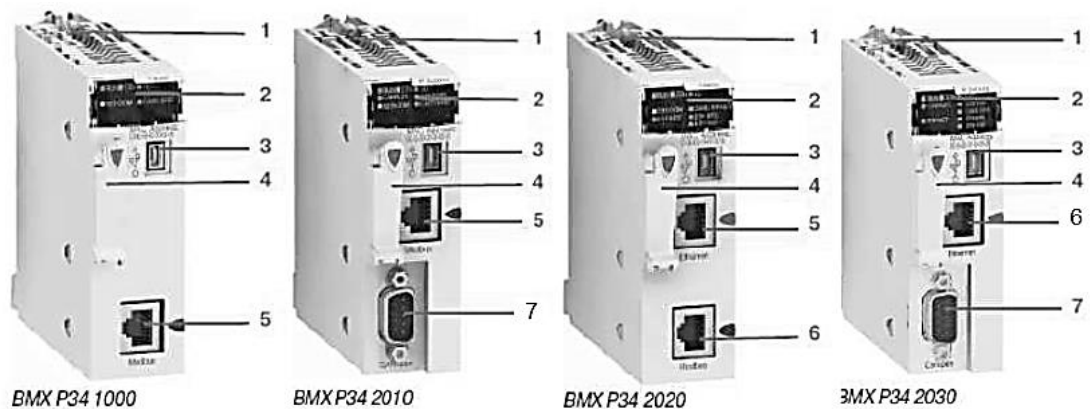


Рисунок 4.3 – Процесорні модулі Modicon M340

1 – гвинт для закріплення модуля на шасі; 2 – блок індикації; 3 – рознім USB *mini B* для підключення терміналу програмування або засобів SCADA; 4 – відсік для карти пам'яті; 5 – рознім RJ45 для підключення кабелю до інтерфейсів RS-485 та RS-232C (маркування чорним кольором); 6 – рознім для підключення кабелю Ethernet 10BASE-T/100BASE-TX (маркування зеленим кольором); 7 – 9-контактний SUB-D рознім для CANOpen.

Процесорний модуль BMX P34 2000 вміщує один вбудований комунікаційний канал: послідовний Modbus Serial RS-232/RS-485. Крім функцій обміну з іншими пристроями системи, канал Modbus RTU (Serial) надає доступ до ПЛК з терміналу програмування UNITY PRO.

Конфігурування процесорного модуля включає налаштування операційного режиму ПЛК (Operating Mode), а також виділення пам'яті під локалізовані дані (%M, %MW, %KW). Для модуля BMX P34 2000 доступні такі настройки операційного режиму (Рис.4.4):

- Run/Stop Input: при активації даної опції, ПЛК буде перебувати в RUN, якщо значення дискретного входу, адреса якого вказана в полі напроти опції, буде дорівнювати "1", в іншому випадку ПЛК буде в STOP;
- Memory Protect: при активації опції, запис програми користувача в оперативну пам'ять або на карту пам'яті можливий, коли значення дискретного входу, адреса якого вказана в полі напроти опції, буде дорівнювати "1";
- Automatic start in Run: за активації опції, ПЛК після вмикання живлення

автоматично переводиться в режим RUN;

- Initialize %MWi on cold start: при активації опції змінні %MW будуть обнулюватися при холодному старті ПЛК.

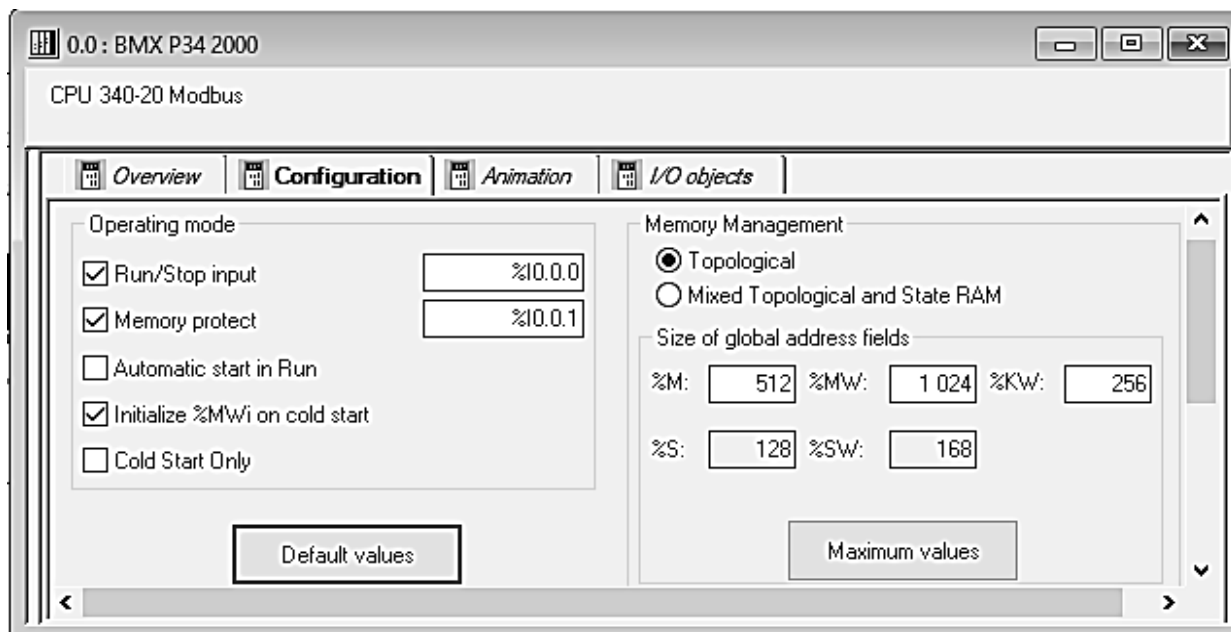


Рисунок 4.4 – Вікно конфігурування процесорного модуля BMX P34 2000.

Модулі дискретних входів/виходів

Модулі дискретних входів/виходів BMX P34 2000 відрізняються за:

- типом каналів (вхідні, вихідні, мішані);
- кількістю каналів;
- типом вхідних та вихідних каналів;
- способом підключення.

Їх можна вставляти у будь-яке посадочне місце шасі, окрім місця для живлення (PS) та місця, на якому передбачається встановлення процесорного модуля. Дозволяється гаряча заміна модулів при включеному живленні.

Всі дискретні входи та виходи ізольовані від внутрішньої шини.

Модулі можуть мати входи/виходи постійного струму (DC) на 24 VDC та 48 VDC з позитивною (sink) або негативною (source) логікою підключення або змінного струму (AC) на 100-240 VAC. Доступні модулі дискретних виходів із транзисторними або релейними виходами.

Модулі аналогових входів/виходів можна вставляти у будь-яке посадочне

місце шасі, окрім місця для живлення (PS) та місця 00 на процесорному шасі (зарезервовано для процесорного модуля). Дозволяється гаряча заміна модулів при включеному живленні.

Модулі аналогових входів виконують функції:

- сканування входних каналів різного діапазону за допомогою безконтактного мультиплексування;
- аналогово-цифрове перетворення;
- фільтрацію сигналів;
- діагностику модуля: тестування ланок перетворення, тест наявності клемної колодки;

Модулі аналогових виходів виконують функції:

- цифро-аналогове перетворення;
- захист каналів модулів від перевантаження;
- діагностику модуля: тест перетворення, тест виходу за межі, тест наявності клемної колодки.

Всі модулі аналогових входів/виходів мають убудований дисплейний блок, який призначений для діагностики роботи модуля.

Підключення дискретних датчиків та пускачів виконавчих механізмів до модуля показане на схемі ХНТУ 174.КРБ.25.005.А4

4.3 Основні характеристики SCADAсистеми теплопостачання.

Розробка ПЗ супервізорного рівня велась в середовищі ZENON.Легкий у використанні і водночас потужний програмний пакет для створення систем автоматизації, що випускається світовим піонером HMI/Scada-рішень, компанією COPA-DATA. Він використовується по усьому світу в сфері візуалізації процесів, машинних операцій і управління виробництвом. zenon пропонує просте об'єктно-орієнтоване проектування, повну сумісність і об'єднання в єдину систему обладнань починаючи від одиничних терміналів і закінчуючи диспетчерськими пунктами керування, рівень безпеки відповідний до міжнародних стандартів. Його відкритість дозволяє реалізувати швидко й

ефективне з'єднання з будь-якими апаратними й програмними засобами (напр. ERP програми). Ідеально працює на промислових ПК і обладнаннях з Windows CE. До послуг розроблювача найсучасніші програмні інтерфейси, такі як VSTA і VBA. Реалізація зв'язку між локальним та супервізорним рівнем на практиці реалізується за допомогою протоколів серії OPC.

ПЗ супервізорного рівня надає можливість отримувати інформацію про хід ТП та здійснювати оперативне управління. Також є можливість генерації звітів подій, тривог, баз даних та архівів.

ПЗ верхнього рівня використовує інформацію про ТП з контролера, що надходить від датчиків. Обмін інформацією між робочою станцією, де розташоване програмне забезпечення верхнього рівня, та інформацією контролера відбувається через канал інтерфейсного зв'язку.

На кожному екрані є кнопки, призначені для переходу між екранами. Усі параметри відображаються у вигляді динамічного тексту. Для зміни певних величин передбачено кнопки, при натисканні яких випадає вікно, у яке необхідно ввести необхідне значення, яке потім посиляється у певний канал.

SCADA теплопостачання підприємства виконує наступні функції:

- Обробка даних польового рівня;
- Динамічне керування (увімкнення/вимкнення) обробкою даних;
- Трансляція апаратних значень польового рівня, що надходять з локальної мережі, у фізичні значення точок контролю;
- Контроль достовірного значення точок контролю;
- Аналіз рівня тривоги точок контролю;
- Обчислення і аналіз значення точок контролю за заданими алгоритмами керування;
- Реєстрація;
- Динамічне керування (увімкнення/вимкнення) реєстрацією;
- Безперервна реєстрація послідовності подій усіх точок контролю;
- Безперервна реєстрація тенденцій зміни середніх значень аналогових даних в широких часових діапазонах;

- Реєстрація безперервних або запланованих ситуацій для наступного аналізу з використанням нерівномірної шкали часу;
- Реєстрація історії протікання технологічного процесу та довгострокове зберігання її у архіві.

4.4 Графічний інтерфейс з користувачем.

Оперативне представлення процесу на деталізованих малюнках, які дозволяють, наглядати і втручатися в протікаючі процеси в реальному часі. Малюнки розміщуються на пультах і панелях, які представленні у вигляді стандартних вікон Windows. Керування вікнами пультів і панелей (відкривання, закривання, робота з меню, ввід тексту, переміщення і т.п.) здійснюється з використанням стандартного інтерфейсу Windows рис.4.6.

Пульт – графічна віконна форма, яка включається функціональною клавішею з алфавітно – цифрової клавіатури або графічною клавішею з іншого пульта або панелі.

Панель – графічна віконна форма, яка належить за технологічною або будь – якою іншою ознакою пульта і включається тільки графічною клавішею з пульта або іншої панелі.

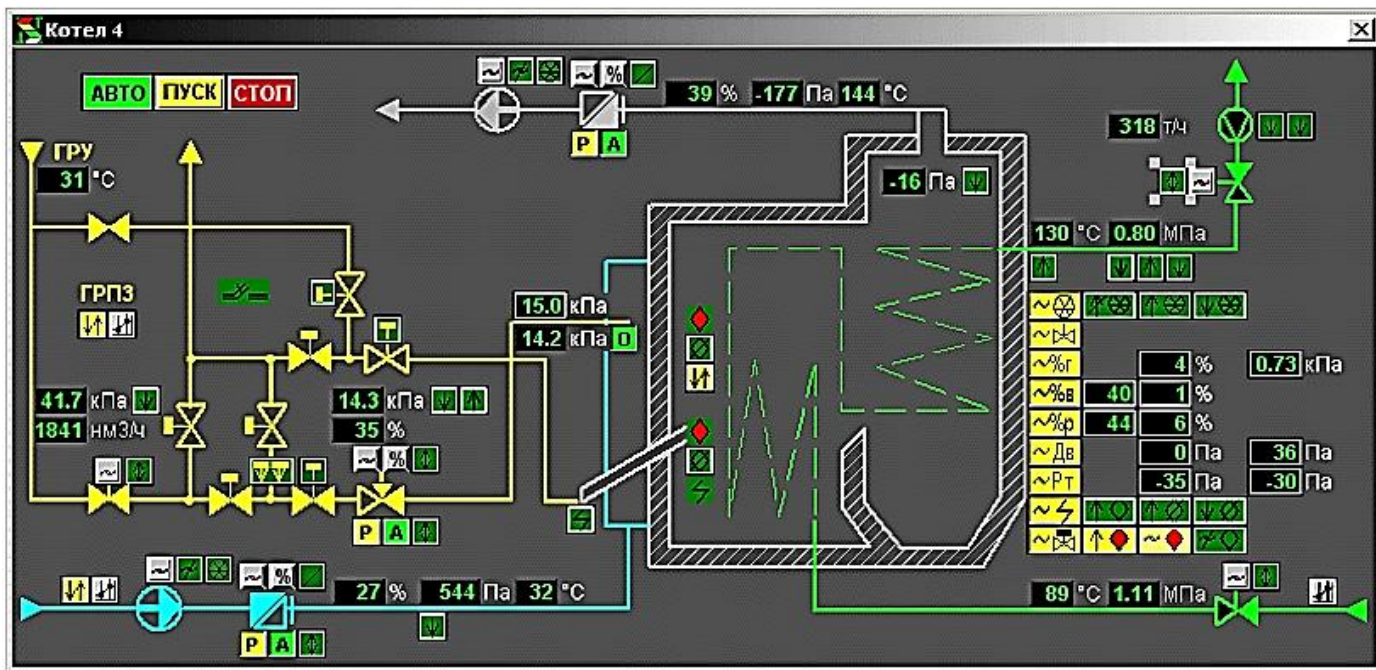


Рисунок 4.5 - Мнемонічна схема роботи парового котла.

Представлення тенденцій зміни середніх значень аналогових даних на панелях у вигляді гістограм та графіків.

Представлення на панелях списків подій і поточний стан точок контролю.

Сигналізація про відхилення від нормального протікання процесу.

Друк даних системи і графічних форм, відображається на пультах і панелях.

Підтримка існуючих і проектування нових графічних панелей під час експлуатації системи.

ВИСНОВКИ

В дипломному проекті виконаний аналітичний огляд технічних особливостей парогенератора високого тиску на прикладі котла типу ДКВР – 20/13. Сформульовані технічні умови до системи керування, отримані аналітичні та експериментальні моделі парогенератора. Отримані налаштування ПІ регулятора, що гарантують задану якість перехідного процесу:

$$K_n=3,15;$$

$$T_i=12,6 \text{ с.}$$

Розроблена функціональна схема багатоканальної автоматичної системи керування та регулювання в каналі паливо – тиск.

Перехідні функції розраховані і побудовані на ЕОМ з використанням інтегрованого пакету МАТНАВ та програми моделювання Prism. Розроблена функціональна електрична схема контролера в інтегрованому виконанні, силова частина якого оснащена оптронною розв'язкою, та інтерфейс на частина, яка функціонує з протоколом RS232. Виконанні схеми автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Апаратні засоби IBM PC. Енциклопедія. М.Гук. Пітер Ком, 1999.
2. Мікропроцесорна техніка. Підручник. Ю.І.Якименко, Т.О.Терещенко. Політехнік.2003.
3. ДНАОП 0.00-1.08-94 "Правила будови та безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів", 1994.
4. ДНАОП 0.00-1.11-90 "Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води", 1990.
5. Аналіз стану котельного господарства України з метою модернізації, продовження ресурсу чи заміни котлів малої і середньої потужності. І.Я. Сігал, Е.П. Домбровська, А.В. Смухіна та ін. /Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – №6. – С.76–79.
6. "Промислові котли: автоматизація та ефективність" Олександр Михайлович Лисенко, "Видавничий дім "Інтерпрес", Харків, 2015, 250с.
7. Industrial Automation Technologies. Ш.Дей, Сунит_Кумар_Сен. CRC Press. 2020.
8. Промислові засоби автоматизації. Частина1. А.К.Бабіченко, В.І.Тошинський, В.С.Михайлов. ХПІ.2003.
9. Теорія автоматичного керування. Підручник. К. Либідь, 1997.544с.
10. Теорія топкових процесів. Д.М.Хзмяян. Енергоатом. 1990.
11. Цифрова обробка сигналів: Опит використання персональних ЕОМ. А.А.Іванько, В.І.Гордієнко. Техніка,1991.
12. "Основи автоматизації технологічних процесів" під редакцією І.М. Данькевича, НТУ "ХПІ" (Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"), Харків.

13. "Автоматизація та модернізація промислових котлів" Василь Петрович Ігнатов, НТУУ "КПІ", Київ, 2009.

14. "Автоматизація технологічних процесів і виробництв" В.П. Ігнатова, Видавництво "Вісник НТУУ "КПІ"", Київ.

15. Теплотехніка Б.Х. Драганов, А.А. Долінський, А.В. Міщенко, Є.М. Письменний; За ред. Б.Х.Драганова. – К.: ТОВ «Астра Пол», 2005.

16. Паровий котел стаціонарний типу ДКВР – 20/13. Технічний опис. Інструкція з експлуатації. Монастирищенський завод котельного обладнання.

17. : <http://mmzavod.com.ua>.

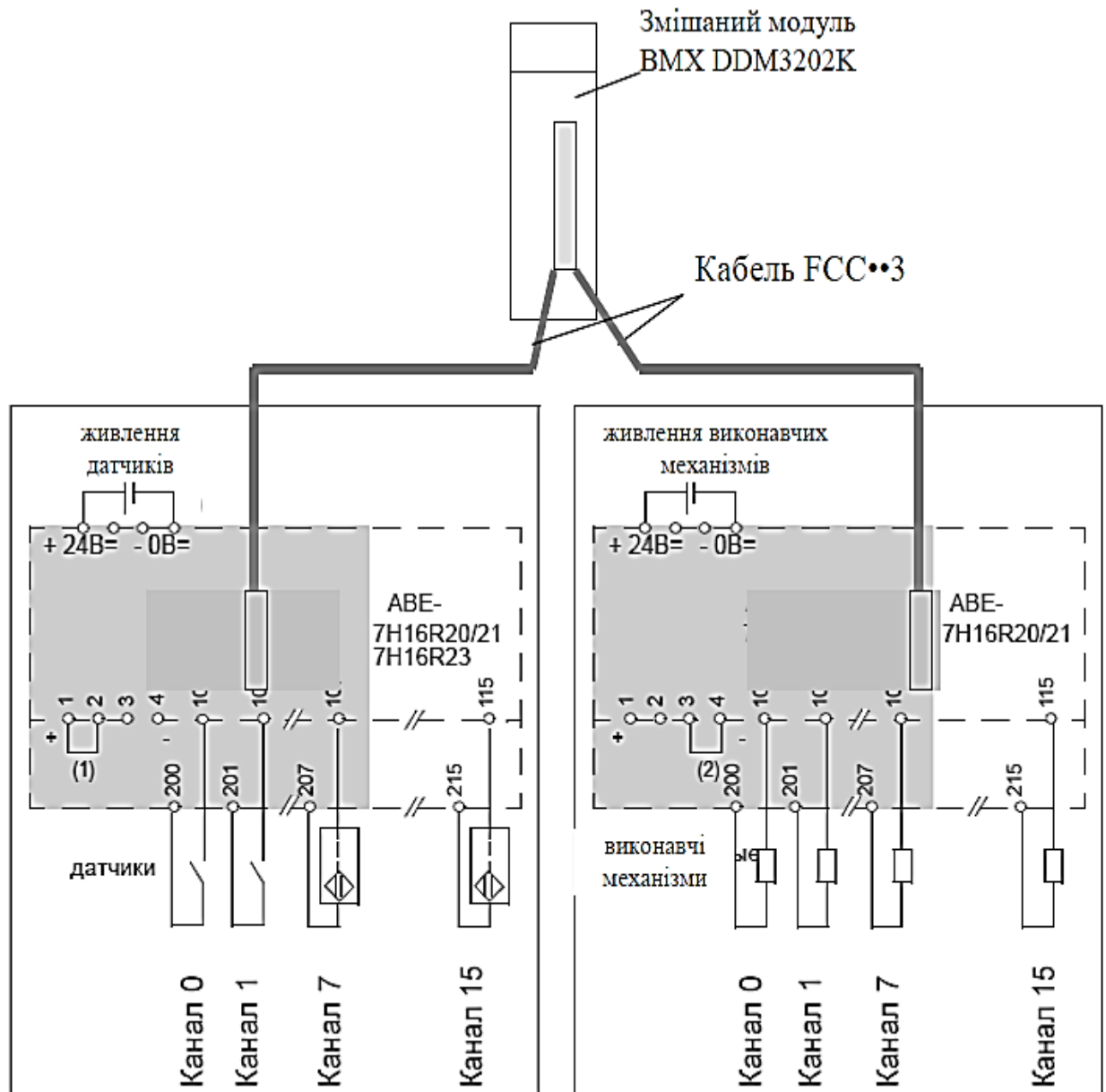
18. Будова та принцип роботи парового котла типу ДКВР – 20/13. Монастирищенський завод котельного обладнання.

19. Промисловий контролер автоматизації Modicon M340. Опис. Технічна документація. Modicon Schneider Electric.

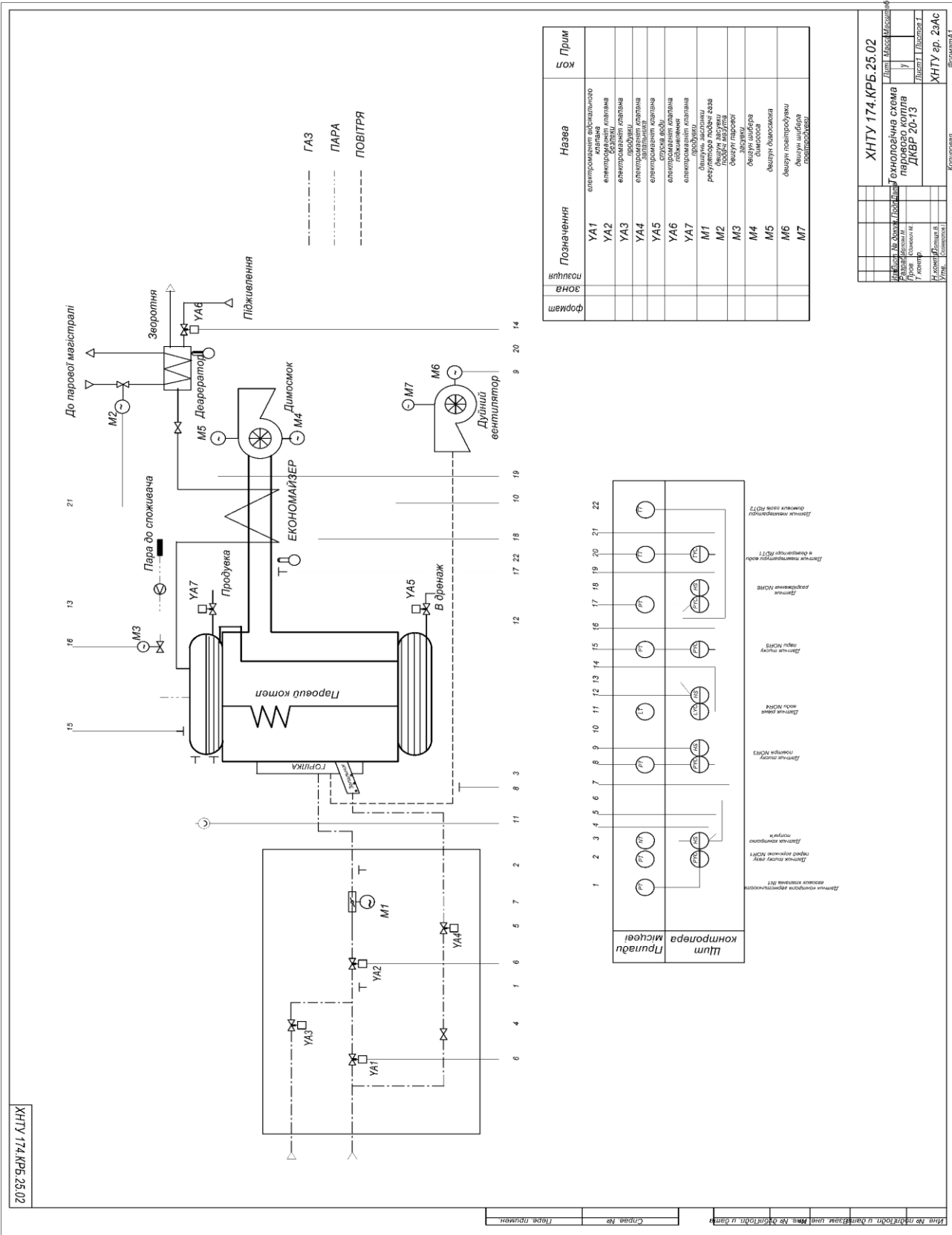
20. Керування технічними процесами та технологічними системами. М. Волков, А. Постіляков. ЛітРес.2012.

Додаток А.

Схема підключення датчиків та виконавчих механізмів до Telefast ABE 7H16R21 на прикладі з модулем BMX DDM3202K

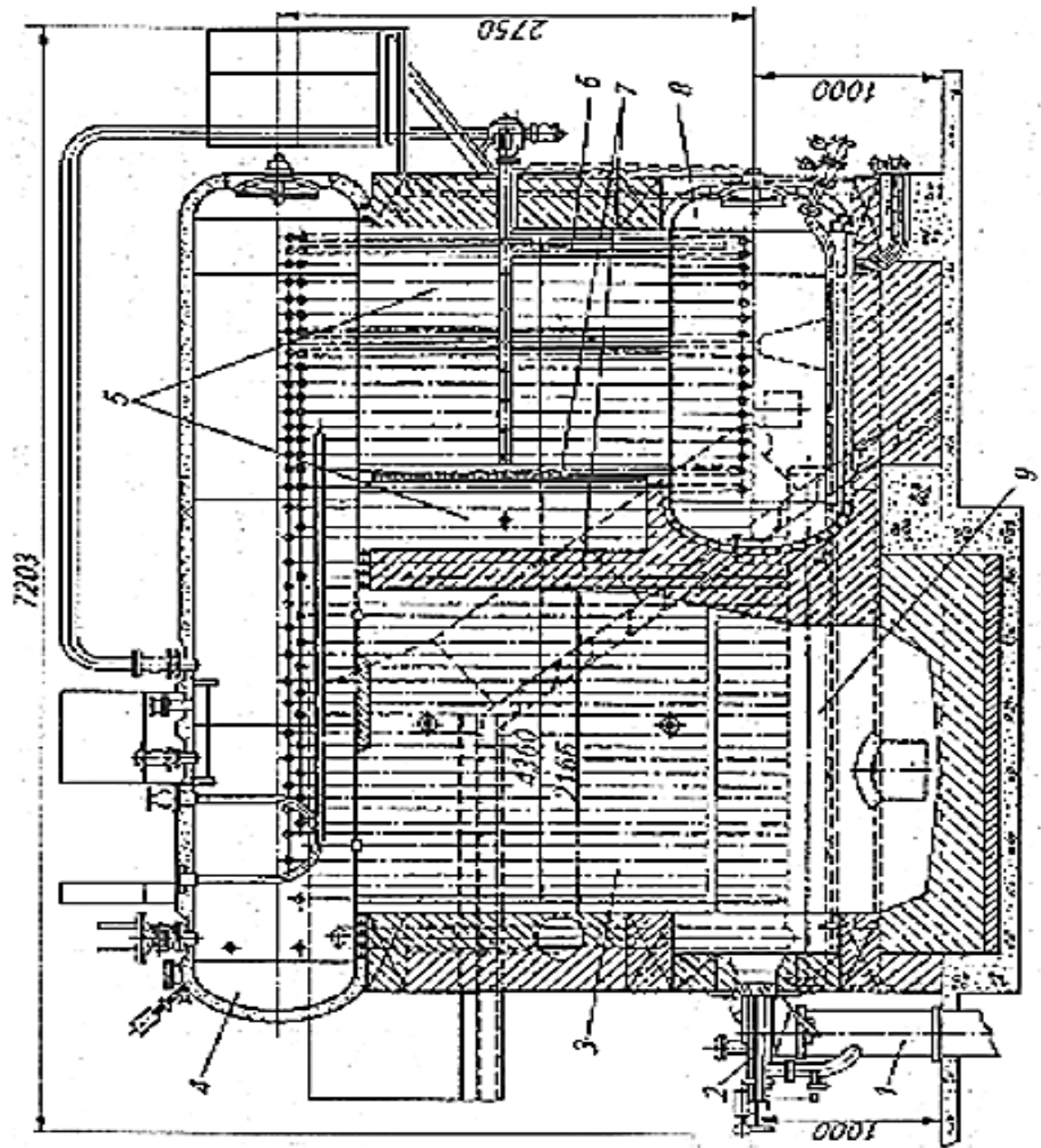


Додаток Б.
Схема автоматизації



Додаток В.

Технологічна схема парового котла ДКВР 20-13



Додаток Г.

Розрахунок САР парового котла

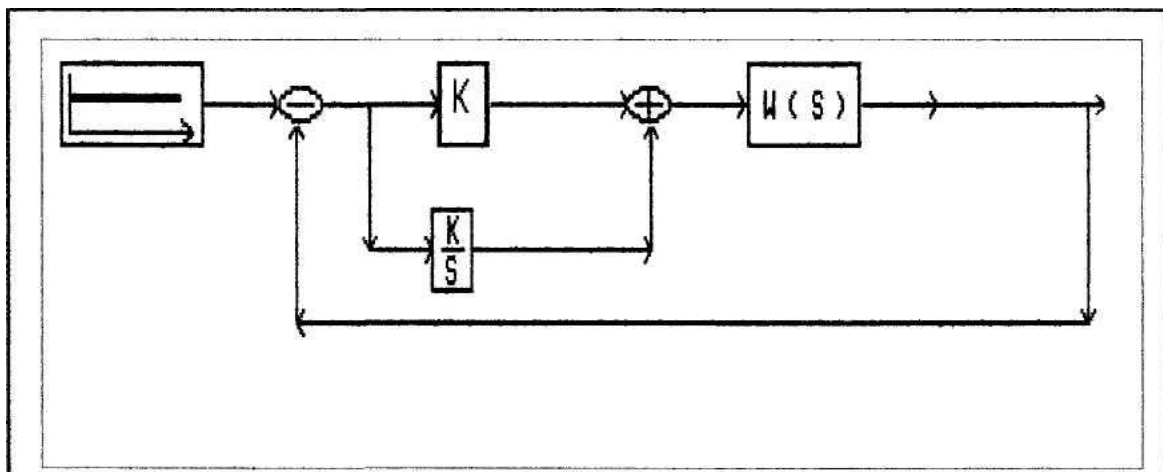
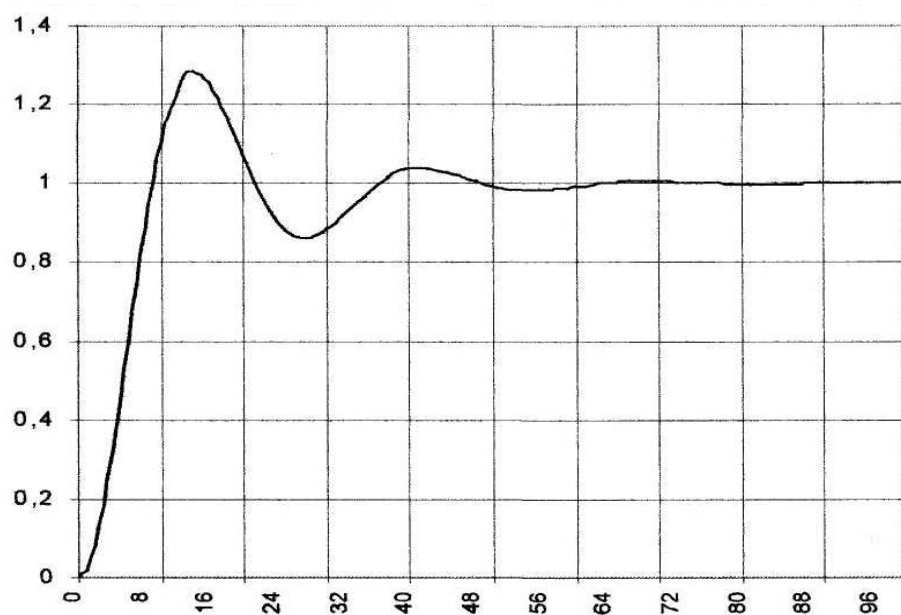


Схема одно контурної АСР основного каналу.



Крива перехідного процесу для одноконтурної АСР.

$$W_{OK}(S) = \frac{1}{1 + 13,1S + 59,6S^2}$$

Передаточна функція

Додаток Д.
Модуль CPU340-20 MODBUS



Додаток Е.

Екран SCADA котла ДКВР.

