

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

Кваліфікаційна робота

бакалавра

на тему: «Модернізація котла БМ35»

"Modernization of the BM35 boiler"

Виконав: студент 2 курсу, групи 2Ас

Спеціальності 151 – Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

_____Кравець А.О

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: «Модернізація котла БМ35»
"Modernization of the BM35 boiler"

Виконав: студент 2 курсу, групи 2Ас
Спеціальності 151 – Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

_____Кравець А.О
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 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри автоматизації, робототехніки
мехатроніки

Дмитрієв Д.О.

«__» _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Кравець Андрій Олександрович

1. Тема проекту: *Модернізація котла БМ35*
Modernization of the BM35 boiler

керівник проекту: *Єдинович М.Б.*

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 15 » 01 2024 р. № 21-с

2. Строк подання студентом проекту «10» червня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту: *технічні характеристики котла БМ-35, рівень води в барабані 15 мм, витрата газу 4000 м³/год, тиск в барабані 4МПа, розрідження -100Па, температура перегрітого пари 500 °С*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Провести аналіз об'єкту управління.

2. Розробити АСР.

3 Провести моделювання АСР.

4. Розробити програмне забезпечення для супервізорного рівнів програмно-технічного комплексу засобів автоматизації.

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

1. Функціональна схема автоматизації – 1 арк. А1

2. Демонстраційний плакат «структурні схеми АСР»

3. Демонстраційний плакат «моделювання аср котла БМ-35»

4. Демонстраційний плакат SCADA – 1 арк. А1

6. Дата видачі завдання « 28 » лютого 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз об'єкту управління. Постановка задачі.	15.03.24	
2	Розробка функціональної схеми автоматизації	01.04.24	
3	Розрахунок метрологічних характеристик і надійності АСР	30.04.24	
4	Синтез АСР рівня котлоагрегата	05.06.24	
5	Розробка програмного забезпечення	05.06.24	
6	Оформлення ПЗ і креслень	09.06.24	
7	Завершення оформлення проекту	10.06.24	

Студент _____Кравець А.О.

Керівник роботи _____Єдинович М.Б.

[illegible]

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ВР		
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб.		Кравець А.О.			Відомість об'єму роботи		
Перевір.		Єдинович М. Б.					
Н. Контр.		Єдинович М. Б.			ХНТУ, зр. 2А(с)		
Затверд.		Дмитрієв Д.О.					
					Літ.	Лист	Аркцишіб
							1

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить: 65 сторінок, 18 рисунків, 7 таблиць 21 літературних джерела, 4 додатки. Графічна частина – 4 аркуші формату А1.

Метою даного проекту є модернізація системи автоматичного управління котлом БМ-35 з впровадженням автоматизованих систем управління та комп'ютерно-інтегрованих технологій, що дало змогу :

- підвищити продуктивність;
- підвищення надійності протікання виробничого процесу;
- покращити техніко-економічні показники;

В роботі передбачено використання сучасних і точних засобів автоматизації. Система виконана на базі мікропроцесорного контролера TSX Micro. На контролері реалізовано процес регулювання по всім необхідним параметрам котлоагрегата.

В проекті було проведено синтез АСР рівня води котлоагрегата. Розраховані налаштування ПІ-регулятора. Отримана передавальна функція компенсатора. Змодельовані перехідні процеси у середовищі Simulink супервізорного рівня ПТКЗА за допомогою SCADA Trace Mode.

КОТЕЛ БМ-35, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПІ-РЕГУЛЯТОР, SCADA.

					<i>ХНТУ 151.КРБ.24.005 Рф</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Кравець А.О.</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>Дмитрієв Д.О.</i>			<i>ХНТУ, зр. 2А(с)</i>		
					<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Аркушів</i>
						1	2

ABSTRACT

The bachelor's qualification work contains: 65 pages, 18 figures, 7 tables, 21 literary sources, 4 applications. Graphic part – 4 sheet of A1 format.

The purpose of this project is to modernize the BM-35 boiler control system with the introduction of automated control systems and computer-integrated technologies, which made it possible to:

- increase productivity;
- increasing the reliability of the production process;
- improve technical and economic indicators;

The work provides for the use of modern and accurate automation tools. The system is based on the TSX Micro microprocessor controller. The controller implements a process of adjustment for all the necessary parameters of the boiler unit.

In the project, the synthesis of automatic control water level of the boiler unit was carried out. The settings of the PI regulator are calculated. The transfer function of the compensator is obtained. Simulated transients in the Simulink environment
Developed software for the supervisory level of using SCADA Trace Mode.

BM-35 BOILER, AUTOMATED CONTROL SYSTEM, COMPUTER-
INTEGRATED TECHNOLOGIES, PI-CONTROLLER,

					<i>ХНТУ 151.КРБ.24.005 РФ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Кравець А.О.</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>Дмитрієв Д.О.</i>				<i>ХНТУ, зр. 2А(с)</i>		
					<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Аркушів</i>
						1	2

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Повне найменування роботи

Модернізація котла БМ-35

2 ПРИЗНАЧЕННЯ І МЕТА СТВОРЕННЯ РОЗРОБКИ

2.1 Призначення розробки

Модернізація системи автоматичного управління котлоагрегата БМ-35.

2.2 Мета створення розробки

Підвищення продуктивності, надійності та техніко-економічних показників котлоагрегата БМ-35

3 ОСНОВНІ ЕТАПИ РОБОТИ

3.1 Добір, вивчення та узагальнення науково-технічної документації.

3.2 Вибір напрямку дослідження.

3.3 Обґрунтування прийнятого напрямку дослідження.

3.4 Теоретичний пошук, виконання розрахунків і досліджень принципових питань.

3.5 Розроблення документації.

3.6 Складання висновків за результатами досліджень.

3.7 Підготовлення комплексу звітної документації.

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	Лист 6
Ізм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБЛЕННЯ НАСИЧЕНОЇ Й ПЕРЕГРІТОЇ ПАРИ	12
1.1 Загальні характеристики котлів малої і середньої потужності.	12
1.2 Паровий котел як об'єкт управління	14
1.3. Загальні характеристики парового котла БМ-35	17
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	23
2.1 Формування вимог до програмно-технічного комплексу засобів автоматизації	23
2.2 Опис інформаційного забезпечення ПТКЗА	25
2.3 Вибір контролера та розробка структури ПТКЗА	28
2.4 Опис функцій системи автоматизації	32
2.5 Формування вимог до SCADA - системи	37
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	40
3.1 АСР температури перегріва пари з вводом похідної з проміжної точки	40
3.2 Розрахунок параметрів регулятора і моделювання АСР	32
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУПЕРВІЗОРНОГО РІВНЯ ПТКЗА	53
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58
ДОДАТОК А Функціональна схема автоматизації	60
ДОДАТОК Б Структурні схеми АСР	61
ДОДАТОК В Моделювання АСР котла БМ-35	62
ДОДАТОК Г SCADA котельної	63

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСР – автоматичні системи регулювання;

АСУТП - Автоматизовані системи управління технологічними процесами;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПТКЗА - програмно-технічні комплекси засобів автоматизації;

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			8

ВСТУП

Котел – це пристрій, призначений для одержання пари із тиском вище атмосферного або гарячої води за рахунок тепла, що виділяється при спалюванні палива.

Перетворення живильної води у пару відбувається в поверхнях нагріву котла. До поверхонь нагріву котла відносяться випарні, пароперегрівні та економайзерні поверхні. Випарні поверхні нагріву розташовуються у топці котла або безпосередньо за нею. У них вода нагрівається до температури насичення й утворюється пароводяна суміш. Пароперегрівники призначені для отримання перегрітої пари.

Вони розташовуються за топковою камерою.

Економайзерні поверхні нагріву призначені для попереднього підігріву живильної води теплотою продуктів згорання, що відходять з котла. Теплообмінні поверхні котла конструктивно можуть розділятися на окремі секції або «пакети».

До основних елементів котла відносяться також барабани, повітропідігрівники, пальникові пристрої, пристрої для регулювання температури перегріву пари. Барабани котлів призначені для відділення насиченої пари від води, видалення з неї надмірної вологи, а також як пристрій, в якому акумулюється кількість води, необхідної для надійної роботи котла. Повітропідігрівники котла – це поверхні нагріву, в яких відбувається попередній підігрів повітря, що надходить в топку, й необхідного для спалювання палива. Пальникові пристрої – це пристрої для спалювання палива у топці котла. Пальникові пристрої сучасних котлів у першу чергу забезпечують найефективніше згорання палива як хімічного процесу й зниження кількості шкідливих речовин, що утворюються у процесі горіння та викидаються в атмосферу. До пристроїв регулювання температури перегріву пари відносяться теплообмінники різних типів та впорскувальні пароохолоджувачі.

Для забезпечення роботи сучасні котли оснащені допоміжним устаткуванням, до якого відносяться дуттьові вентилятори, димососи,

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			9

золоуловлююче устаткування, устаткування з підготовки палива і т.п. Сукупність котла та допоміжного устаткування називається *котельною установкою*.

Котли класифікують за призначенням, паровидатністю, параметрами пари, типом топкового пристрою, способом організації взаємного руху продуктів згорання й робочого середовища, способом організації руху робочого середовища у поверхнях нагріву та видом спалюваного органічного палива.

За призначенням котли поділяються на парові, що виробляють водяну пару необхідних параметрів, водогрійні, котли-утилізатори і енерготехнологічні котли. Вони призначаються для енергетичних, виробничих, опалювально-виробничих і опалювальних котельних установок.

За паровидатністю котли поділяються на котли малої потужності, котли середньої потужності, енергетичні котли і котли великої паропродуктивності енергоблоків ТЕС.

За параметрами пари парові котли поділяються на такі, що працюють на низькому (0,88 МПа), середньому (1,36, 2,36 і 3,9 МПа), високому (9,8 й 13,8 МПа), критичному (16 МПа), надкритичному (24 МПа) тиску. Досягнення сучасної науки й техніки в області отримання нових конструкційних матеріалів та сталей дозволили створити нові типи парових котлів, що працюють на супернадкритичному тиску (до 30 й більше МПа).

Парові котли малої паровидатності (до 20 т/год) випускаються на низький та середній тиск пари. Вони отримали значне розповсюдження й широко використовуються для технологічних і господарських потреб, входять до складу стаціонарних й пересувних котельно-опалювальних установок.

Котли середньої паровидатності (до 100 т/год) – це, як правило, котли середнього тиску з помірною температурою перегрітої пари (425–450°C) – широко використовуються як джерело технологічної пари на промислових підприємствах.

Енергетичні парові котли випускаються на середній й високий тиск пари і мають паровидатність від 100 до 640 т/год. Ці котли встановлюються на

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			10

невеликих теплоелектроцентралях й промислових підприємствах і призначаються для вироблення електроенергії, отримання водяної пари або гарячої води для технологічних потреб та опалювання.

Котли типу БМ-35 застосовуються на промислових підприємствах і в комунальному господарстві для забезпечення технологічних процесів, а також опалювання промислових та комунальних об'єктів, зокрема на цукрових заводах які мають власну ТЕЦ., що постачає електроенергію та пару на виробничі потреби.

До складу ТЕЦ Смілянського цукрового заводу, наприклад, входить:

- чотири парових котли БМ-35/39 продуктивністю по 35т/год. Паливо – природній газ. ККД котлів 0,89, одночасно працює 3 котли, один завжди перебуває у резерві;
- два турбоагрегати Р-6-34/0.5-1 потужністю генератора по 6МВт, один з яких є резервним;
- дві редукційно-охолоджуючі установки (РОУ);
- відділення хімводоочистки (ХВО);
- деаераційно-живильної установки (ДЖУ).

РОЗДІЛ 1 Технологія вироблення насиченої й перегрітої пари

1.1 Загальні характеристики котлів малої і середньої потужності.

Парові котли малої та середньої продуктивності призначені для вироблення насиченої й перегрітої пари тиском до 3,9 МПа та температурою до 450°C. [1]. Вони масово застосовуються на промислових підприємствах і в комунальному господарстві для забезпечення технологічних процесів, а також опалювання промислових та комунальних об'єктів [2].

Конструкції парових котлів малої і середньої продуктивності вдосконалювались за рахунок впровадження ефективних поверхонь нагріву, сучасних топкових та пальникових пристроїв, застосування нових технологій виготовлення поверхонь нагріву, деталей та елементів котлів [3]. Новий напрям розвитку конструкцій котлів малої і середньої продуктивності дав можливість спалювання відходів сільськогосподарського та промислового виробництва, що відбулося в оснащенні таких котлів спеціальними топковими пристроями.

Конструктивно такі котли випускаються як водотрубні, так і жаротрубні з димогарними трубами. Водотрубні котли у свою чергу випускаються декількох модифікацій: барабанні з природною циркуляцією, сепараційні (безбарабанні) з багаторазовою примусовою циркуляцією і прямоточні котли. У котлах з природною циркуляцією вода циркулює за рахунок різниць її густини; для забезпечення примусової циркуляції використовуються циркуляційні насоси, а рух середовища у прямоточних котлах здійснюється за рахунок напору, що розвивається живильним насосом. Розвиток типів водотрубних котлів поданий на рисунку 1.1.

Відмінною рисою водотрубних барабанних котлів є наявність одного або декількох барабанів із фіксованою межею поділу між парою й водою.

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			12

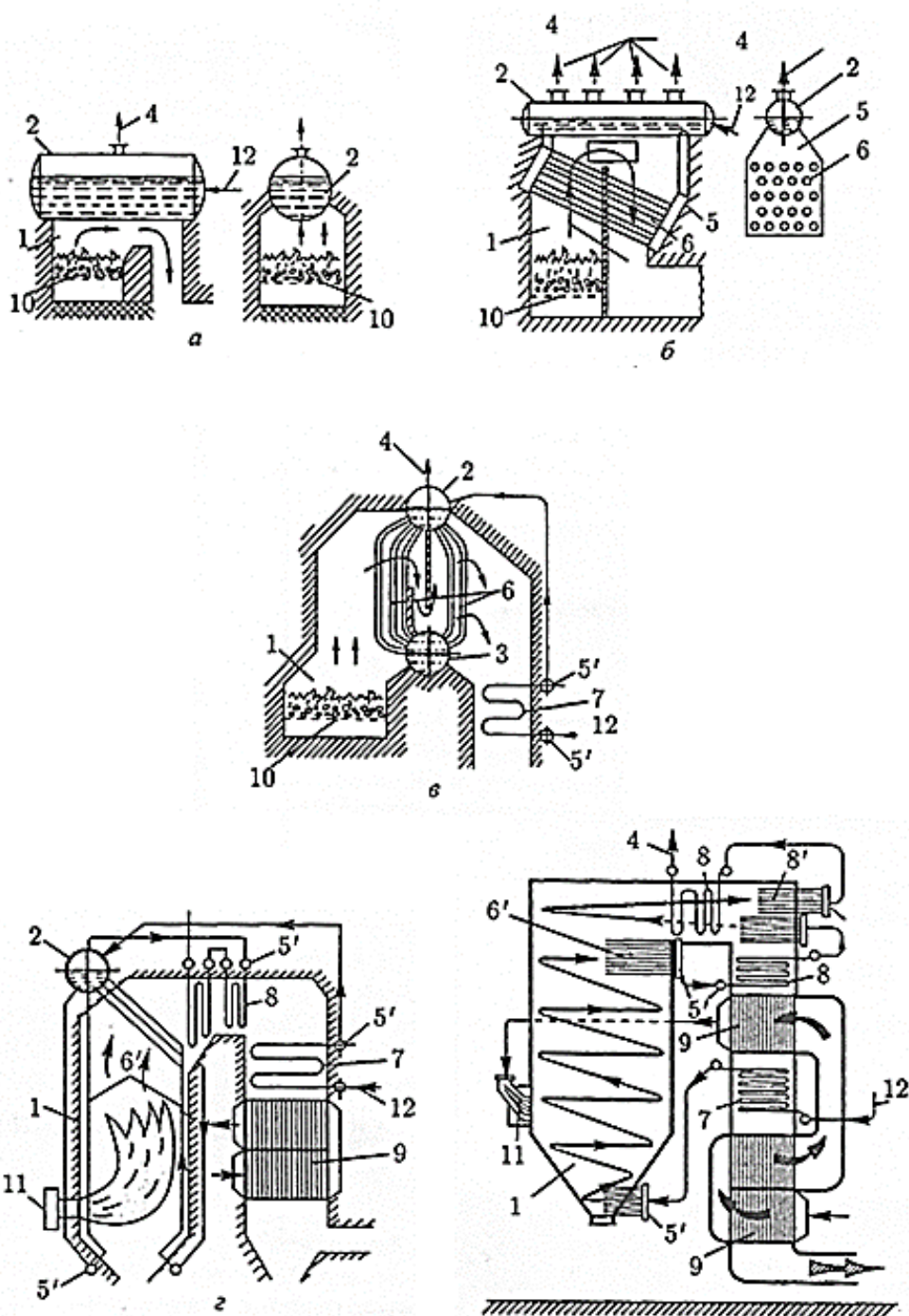


Рисунок 1.1 – Розвиток типів водотрубних котлів: а – циліндричний; б – камерний горизонтально-водотрубний; в – двобарабанний вертикально-водотрубний; г – одnobарабанний факельний вертикально-водотрубний; д – прямооточний; 1 – топка; 2 – барабан-сепаратор; 3 – нижній барабан; 4 – вихід пари; 5 – роздавальна водяна камера; 5' – колектор; 6 – труби котельних пучків; 6' – труби насти́нних екранів; 7 – економайзер; 8 – пароперегрівник; 9 – повітропідігрівник; 10 – колосникова решітка; 11 – пальник; 12 – вхід води в котел.

Важливим кроком у розвитку конструкцій парових котлів виявився винахід прямоточних котлів (рис. 2.1, д). Прямоточний рух робочого середовища у парових котлах запропонований у кінці XIX століття російськими інженерами, у тому числі Д.І. Артемьевим, який у 1893 році створив судновий прямоточний котел.

Прямоточні котли не мають барабана, у них вода, а потім пароводяна суміш й пара (звані разом робочим середовищем) послідовно проходять всі поверхні нагріву котла. На відміну від барабанного типу, прямоточні котли можуть працювати і при надкритичному тиску робочого середовища.

За типом тяги у газоповітряному тракті парові котли розрізняють на котли з врівноваженою тягою та наддувом. У котлах з врівноваженою тягою рух продуктів згорання газоповітряним трактом примусовий і здійснюється за рахунок спільної роботи димососа та дуттьового вентилятора. У котлах із наддувом опір газового тракту в основному долається роботою компресора.

Котли малої і середньої продуктивності можуть спалювати всю гаму видів органічного палива, включаючи природний газ, вугілля і відходи різного походження. При роботі на твердому паливі такі котли оснащуються шаровими топками різних конструкцій (для малих продуктивностей) та камерними топками. Характерними представниками котлів цієї групи є газомазутні котли типу Е (ДЕ) паропроодуктивністю 1–25 т/год, котли твердопаливні типу Е (КЕ) паропроодуктивністю 2,5–25 т/год і котли типу ДКВР паропроодуктивністю від 2,5 до 20 т/год, які знайшли найбільше застосування. Вони призначені для вироблення насиченої або перегрітої пари, що використовується для технологічних потреб промислових підприємств, в системах опалювання, вентиляції та гарячого водопостачання.

1.2. Паровий котел як об'єкт управління

Паровий котел як об'єкт керування являє собою складну динамічну систему з декількома взаємопов'язаними вхідними і вихідними величинами рис. 1.2.

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			14

Проте явно виражена спрямованість контурів регулювання за основними каналами регулюючих дій, таких як витрата живильної води $F_{ж.в}$ – рівень H_6 , витрата води на охолодження $F_{впо}$ – перегрів $t_{п.п}$, витрата палива $F_{п}$ – тиск $p_{п.п}$ та ін. дозволяє здійснювати стабілізацію регульованих величин за допомогою незалежних одно контурних систем, пов’язаних лише через об’єкт керування [4]. При цьому регулююча дія певного контуру виступає основним способом стабілізації регульованої величини, а інші дії рахуються за відношенням до цього контуру внутрішніми або зовнішніми збуреннями [5].

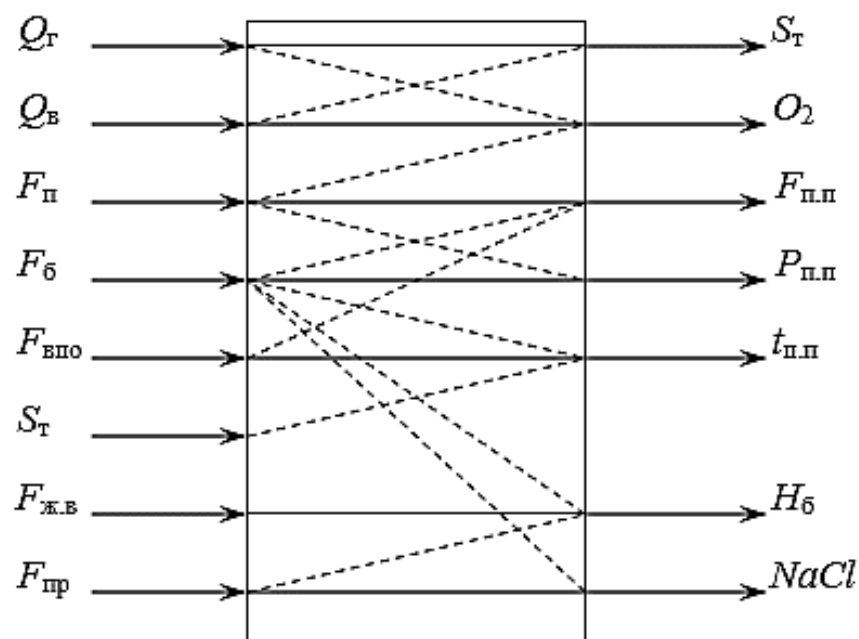


Рисунок 1.2 - Параметрична схема котлоагрегата

На рис. 1.3 представлена схема парового котла. Керований процес пароутворення відбувається в підйомних трубах циркуляційного контуру 2, які живляться водою із опускаючих труб 3 і екрануючих камерну топку 1, в якій спалюється паливо F_T . для підтримки процесу горіння із заданим коефіцієнтом надлишку α в топку подається повітря Q_B вентилятором В, попередньо нагріте у повітропідігрівачі 9.

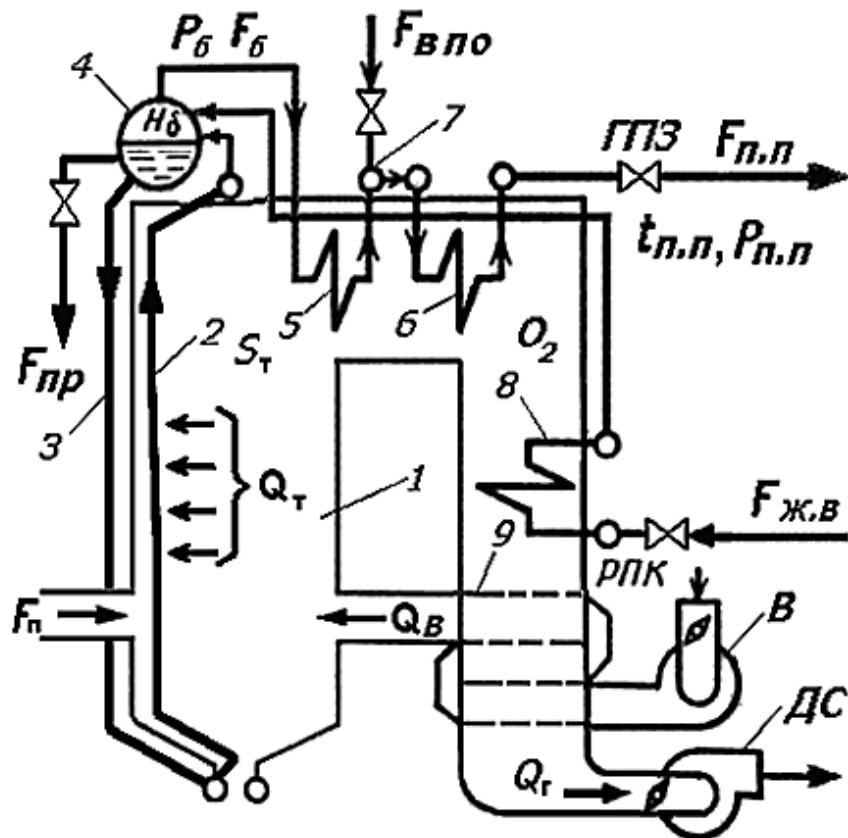


Рисунок 1.3 – Схема парового котла

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 – Топка котла; | 6 – Друга ступінь пароперегрівача; |
| 2 – Підйомні труби; | 7 – Пароохолоджувач; |
| 3 – Опускні труби; | 8 – Економізер; |
| 4 – Барабан котла; | 9 – Підігрівач повітря; |
| 5 – Перша ступінь пароперегрівача; | |
| В – Вентилятор; | ДС – Димосос; |

Димові гази Q_r , які утворюються в результаті процесу горіння, виводяться із топки димососом ДС. Вони проходять через поверхні нагріву економайзера 8, повітропідігрівача 9 і виходять в атмосферу через димову трубу. Насичена пара із барабану 4 поступає в пароперегрівач 5, 6, де перегрівається до потрібної температури за рахунок радіації факела і конвективного підігріву топковими газами. Основні регульовані величини котла – витрата перегрітої пари $F_{п.п}$, тиск $p_{п.п}$ і температура $t_{п.п}$. При цьому витрата пари може змінюватись в широкому

діапазоні, а тиск і температура підтримуються в порівняно вузьких межах допустимих відхилень, що обумовлюється потребами заданого режиму роботи турбіни або іншого споживача теплоти. Температура перегріву пари може підтримуватись в заданих межах, наприклад, зміною витрати охолоджуючої води $F_{в.по}$ на паро охолоджувач 7. тиск пари відхиляється від заданого значення у всіх випадках небалансу між кількостями споживаної пари $F_{п.п}$ і пари, яка виробляється в екранних трубах F_6 . Небаланс усувається шляхом регулювання тепловиділення в топці, головним чином, зміною подачі палива. Крім названих, потрібно підтримувати в межах допустимих відхилень наступні величини: рівень води в барабані H_6 (регулюється зміною подачі живильної води $F_{ж.в}$); розрідження у верхній частині топки S_T (регулюється зміною продуктивності димососів, які відсмоктують димові гази з топки); оптимальний надлишок повітря за пароперегрівачем α (регулюється зміною продуктивності надувних вентиляторів, які нагнітають повітря в топку); вміст солі в котловій воді в перерахунку на NaCl (регулюється зміною витрати води $F_{пр}$, яка випускається з барабану в сепаратор періодичної продувки).

Система автоматичного регулювання барабанного парового котла в цілому складається із окремих замкнених систем:

- 1) живлення котловою водою;
- 2) тиску перегрітої пари $p_{п.п}$ і теплового навантаження F_q ;
- 3) надлишку повітря в топці, економічності процесу горіння;
- 4) розрідження у верхній частині топки S_T ;
- 5) температури перегрітої пари;

1.3. Загальні характеристики парового котла БМ-35

Даний паровий котел має наступні технічні характеристики [6] :

- номінальна паропроductивність - 35 т / год;
- робочий тиск в барабані котла - 44 кгс/см²;
- робочий тиск на виході з пароперегрівача - 40 кгс/см²;

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			17

- температура перегрітої пари - 440оС;
- температура живильної води - 150оС;
- температура відхідних газів - 170оС;
- температура гарячого повітря - 200оС;

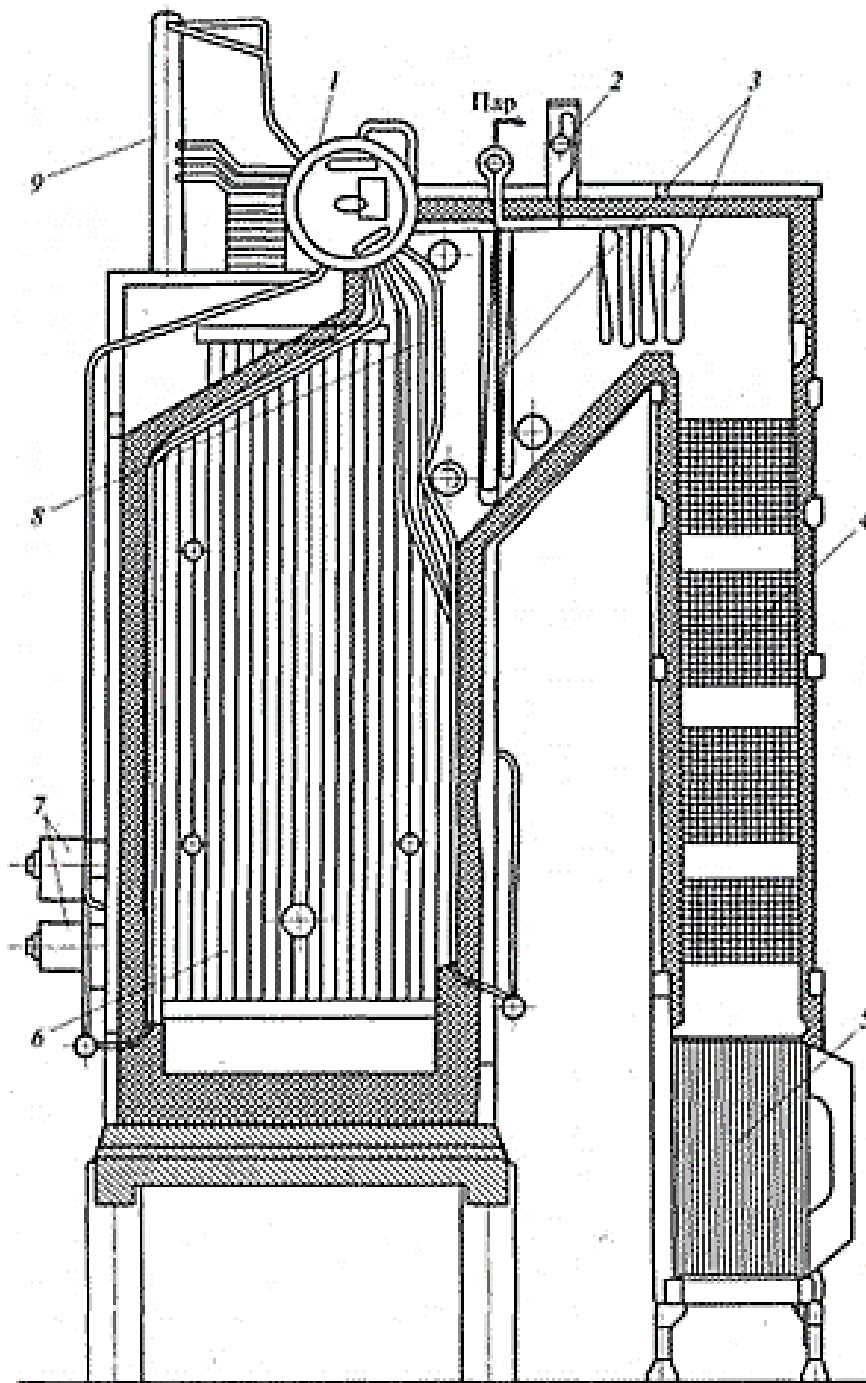


Рисунок 1.4 – Паровий котел БМ-35

1-барабан; 2-регулятор перегріву пари; 3-пароперегрівачі; 4-водяний економайзер; 5-повітропідігрівник; 6-камерна топка; 7-пальника; 8-фестон; 9-виносний циклон.

Камерна топка опалювального котла 6 екранована трубами Ø60 х 3 мм, опускні труби Ø83 х 4 мм розташовані поза топки. На фронтальній стіні опалювального котла встановлені чотири газові пальники 7 дифузійного типу. Сумішоутворення газу з завихрення потоку повітря здійснюється в амбразурі пальника і закінчується в топці. Горизонтальний під топки не екранований і виконаний з вогнетривкої цегли, покладеного на шар теплоізоляційного матеріалу. Задній екран на виході з топки опалювального котла утворює трьохрядовий Фестон 8. У горизонтальному газоході котла встановлений пароперегрівач 3, а в опускній шахті - водяний економайзер 4, що складається з чотирьох пакетів, і повітропідігрівник 5.

Пароперегрівач 3 опалювального котла складається з двох ступенів і виконаний з труб Ø38х4 мм. Розташування труб коридорне. Насичена пара з барабана опалювального котла 1 по стельовим трубах надходить у першу по ходу пара щабель пароперегрівача і рухається в ній протivotочно по відношенню до потоку димових газів. Далі пара поступає в колектор, де розташований регулятор 2 перегріву пари - пароохолоджувача поверхневого типу, в який поступає охолоджуюча живильна вода з живильним магістралі. З регулятора перегріву пара поступає в другу по ходу пара ступінь пароперегрівача, де вхідні змійовики включені протivotочно, а вихідні - прямоточно по відношенню до напрямку руху продуктів горіння. Над вихідним колектором пароперегрівача розташована головна парова засувка.

Водяний економайзер 4 опалювального котла киплячого типу виконаний із сталевих труб Ø32 х 3 мм, розташованих у шаховому порядку. Відведення пароводяної суміші з верхнього колектора останнього по ходу води пакета здійснюється за чотирма трубопроводах, підведеними до барабана. У горизонтальному і вертикальному напрямках змійовики пакетів економайзера дистанційовані спеціальними планками і підвісками, виготовленими з жаротривкої сталі. У період розпалювання і зупину котла економайзер може бути включений в лінію рециркуляції води, що забезпечує надійне його охолодження в ці періоди.

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			19

Повітронагрівача 5 опалювального котла сталевий трубчастий двоходовий по повітрю, складається з шести секцій, в яких використовують труби Ø40 x 1,5 мм. Верхня трубна дошка повітропідігрівника з'єднана з газоходом лінзовим компенсатором, що забезпечує його щільність з повітряної і газової сторін при різних термічних розширеннях труб і кожуха. Підігрів повітря в повітряному нагрівачу досягає 200 ... 250 ° С.

Обмурівка парового опалювального котла БМ-35 полегшеного типу закріплена на каркасі котла і виконана у два шари: перший, звернений усередину газоходу, викладений з шамотної цегли, другий - з ізоляційної керамзитовою плитки. Ущільнення обмуровки здійснюється за допомогою металевої обшивки.

Випарна система опалювального котла виконана за схемою двоступінчастого випаровування, в якій випарні контури першого ступеня випаровування включені безпосередньо в барабан. Поділ пароводяної суміші, що надходить із першої ступені випаровування, здійснюється в циклонах, встановлених в барабані опалювального котла [7]. Для очищення пара від вологи в барабані котла встановлені жалюзійних сепараторів і за ними дірчасту розподільний щит. Пара з виносних циклонів 9 другої ступені випару подається в паровий простір барабана опалювального котла під жалюзійні сепаратори і змішується з основним потоком пари. Живильна вода подається через розподільні жалюзі під рівень води в барабані. Живлення водою другого ступеня випаровування кожного виносного циклону здійснюється з торців барабана по двох трубах. Безперервна продувка котла здійснюється з виносних циклонів. Опалювальний котел має вісім контурів природної циркуляції: фронтальний, задній, два основних бічних екрану, розташованих у середній частині бічних стін, і чотири екрани, розташованих з обох боків основних екранів. Основні бічні екрани включені в виносні циклони другого ступеня випаровування. Всі інші контури циркуляції включені в барабан - перший ступінь випаровування. Діаметри трубопроводів:

- Води на котел – 100мм;
- Подачі газу з ГРП – 200мм;

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			20

- Подачі газу на запальники – 10мм;
- Пари від котла – 200мм;
- Періодичної продувки барабана – 80мм;

Режими роботи котла БМ-35 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Режимна карта котла БМ-35/39

Найменування		Значення величини				
Пара	Паропродуктивність за пароміром	т/год	18	27	31	35,4
	Паропродуктивність з поправкою	т/год	17,8	26,7	30,9	35,3
	Тиск пари в барабані котла	кгс/см ²	38	38	38	38
	Тиск перегрітої пари	кгс/см ²	36,5	36,5	36	36
	Температура перегрітої пари	°С	435	435	435	435
Живильна вода	Тиск води перед економайзером	кгс/см ²	60	60	60	60
	Температура води до економайзера	°С	103	103	103	103
	Температура води за економайзером	°С	213	223	228	232
	Втрата живильної води	т/год	18,7	28,0	32,4	37,0
Паливо	Кількість пальників в роботі, шт.	шт	4	4	4	4
	Тиск газу до регулюючого клапану	кгс/см ²	0,25	0,25	0,25	0,25
	Тиск газу на пальниках	мм.рт.ст	0,4	0,9	0,13	0,19
	Витрата палива розрахункова	нм ³ /год	1713	2530	2911	3320

Продовження таблиці 1.1

Повітря	Тиск повітря за вентилятором	Кпа	0,5	0,77	1	1,35
	Тиск повітря за повітропідігрівником	Кпа	0,45	0,67	0,9	1,2
	Тиск повітря на пальниках	Кпа	0,1	0,2	0,3	0,4
	Температура гарячого повітря	°С	120	125	130	135
Димові гази	Розрідження в топці	кгс/см ²	2,5	2,5	2,5	2,5
	Розрідження перед димососом	кгс/см ²	30	37	42	50
	Температура відхид. газів за котлом	°С	495	510	520	525
	Температура відхидних газів	°С	148	154	156,5	160
	Коеф.надлишку повітря в відхид.газах, α	α	1,77	1,60	1,54	1,52
	Вміст в димов.газах перед димосос., CO ₂	%	6,3	7	7,3	7,4
	Вміст в димов.газах перед димосос., O ₂	%	9,7	8,5	7,9	7,8
	Вміст в димов.газах перед димосос., CO	ppm	33	39	43	48
Димові гази	Вміст в димов.газах перед димосос., NO _x	ppm	58	67	72	76
	Вміст шкідливих речовин, CO, при ($\alpha=1$)	мг/м ³	78,23	83,20	88,08	97,12

Продовження таблиці 1.1

	Вміст шкідливих речовин, NO _x , при ($\alpha=1$)	мг/м ³	225,8 2	234,7 6	242,2 3	249,2 3
	Питомі викиди шкідл.речовин CO	г/Гкал	85,33	89,90	94,80	104,3 8
	Питомі викиди шкідл.речовинNO _x	г/Гкал	246,3 2	253,6 7	260,7 0	267,8 7
	Питомі викиди шкідл.речовин CO	кг/1000м з	0,61	0,65	0,69	0,76
	Питомі викиди шкідл.речовинNO _x	кг/1000м з	1,77	1,85	1,90	1,96
Техніко- економічні показники	Втрати тепла з відхидними газами	%	8,32	7,98	7,86	7,98
	Втрати тепла з хімічним недопалом	%	0,02	0,02	0,02	0,02
	Втрати тепла в навколишнє середовище	%	2,12	1,42	1,22	1,07
	К.К.Д. котла бруто	%	89,53	90,58	90,90	90,93
	Питома витрата умов.палива на 1 Гкал	кг.ум.п/ Гкал	159,5 5	157,7 0	157,1 5	157,1 0

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Формування вимог до програмно-технічного комплексу засобів автоматизації

При розробці програмно-технічного комплексу засобів автоматизації (ПТКЗА) визначаються основні цілі проектування:

- забезпечення зменшення чисельності обслуговуючого персоналу;
- зміна характеру та полегшення праці обслуговуючого персоналу;
- підвищення точності параметрів;
- підвищення безпеки праці та надійності роботи обладнання;
- підвищення економічності.

Даний ПТКЗА розроблюється як заміна для існуючої АСР. Метою розробки даного комплексу є:

1. забезпечувати стійке і надійне управління технологічним процесом у всьому діапазоні навантажень;
2. забезпечувати в районі робочої точки задану якість процесів управління (час перехідного процесу, перерегулювання і коливання) ;
3. забезпечувати в сталому режимі задану точність регулювання технологічного параметра. Бажано забезпечити нульову статичну помилку регулювання;
4. забезпечити відображення інформації про хід технологічного процесу на робочій станції оператора;
5. забезпечити керування регулюючим органом в ручному та автоматичному режимах;
6. ведення бази даних та звіту подій і тривог;
7. забезпечити функції сигналізації та технологічного захисту;
8. підвищення ресурсу роботи всіх технологічних агрегатів;
9. надання можливості обміну інформацією з верхнім рівнем АСУ ТП;

Основними вимогами до програмно-технічного комплексу засобів автоматизації, що розроблюється, є:

1. використання стандартних апаратних модулів ПЛК відомих фірм-виробників з добре налагодженою системою сервісного обслуговування
2. використання стандартних інтерфейсів передачі інформації на базі відкритих протоколів обміну даними
3. використання спеціалізованих пакетів SCADA провідних виробників таких систем, які підтримують протоколи, що використовуються в даній системі

2.2 Опис інформаційного забезпечення ПТКЗА

Для реалізації функції локального управління необхідно контролювати наступні аналогові параметри (Табл.2.1).

Таблиця 2.1 Аналогові входи

Аналогові входи	
1)Рівень води в барабані котла	
2)Витрата пари від котла	
3)Витрата живильної води	
4)Тиск пари в барабані	
5)Витрата газу	
6)Тиск газу	
7) Тиск повітря після підігрівача повітря	
8) Розрідження в топці котла	
9) Температура перегрітої пари	
10) Температура води після економайзера	
11) Температура вихідних газів	
12)Температура повітря до підігрівача	

Продовження таблиці 2.1

13)Температура повітря після підігрівача
14)Тиск пари після пароперегрівача
15)Рівень в барабані котла (Захист)
16)Концентрація солі в котловій воді
17)Положення РО подачі води на котел
18)Положення РО подачі газу на котел
19)Частота обертів двигуна вентилятора
20)Частота обертів двигуна димососа
21)Положення РО подачі води на охолоджувач
22)Положення РО періодичної продувки барабана

У табл. 2.2 наведено перелік дискретних входів контролера, у табл. 2.3 наведено перелік дискретних виходів:

Таблиця 2.2 Дискретні входи

Дискретні входи	
1)Тиск повітря нижче 0,75 кПа	7)Полум'я пальника №2
2)Тиск газу нижче 5 кПа	8)Кнопка запальника №2
3)Тиск газу вище 35 кПа	9)Полум'я пальника №3
4)Розрідження нижче -10 Па	10)Кнопка запальника №3
5)Полум'я пальника №1	11)Полум'я пальника №4
6)Кнопка запальника №1	12)Кнопка запальника №4

Таблиця 2.3 Дискретні виходи

Дискретні виходи
1)Рівень води в барабані "менше"
2)Рівень води в барабані "більше"
3)Витрата газу "менше"
4)Витрата газу "більше"

Продовження таблиці 2.3

5)Тиск повітря "менше"
6)Тиск повітря "більше"
7)Розрідження "менше"
8)Розрідження "більше"
9)Температура пари "менше"
10)Температура пари "більше"
11)Трансформатор запальника №1
12)Клапан подачі газу на запальник №1
13)Трансформатор запальника №2
14)Клапан подачі газу на запальник №2
15)Трансформатор запальника №3
16)Клапан подачі газу на запальник №3
18)Клапан подачі газу на запальник №4
19)Сирена
20)Відсікач
21)Полум'я пальника №1
22)Полум'я пальника №2
23)Полум'я пальника №3
24)Полум'я пальника №4
25) Рівень в барабані низький
26) Рівень в барабані високий
27) Тиск в барабані низький
28) Тиск в барабані високий
29) Тиск перегр. пари низький
30) Тиск перегр. пари високий
31)Температура пара низька
32) Температура пара висока

З переліку вхідних і вихідних сигналів видно, що контролер для управління котлом повинен мати наступну кількість входів\виходів:

- 22 аналогових входи
- 12 дискретних входів
- 34 дискретних виходів

2.3 Вибір контролера та розробка структури ПТКЗА

При розробці проекту автоматизації в першу чергу необхідно визначити, де будуть розміщені пункти керування, операторські приміщення, який повинен бути взаємозв'язок між ними, тобто необхідно вирішити питання вибору структури управління [8].

Оскільки управління реалізується на основі ПЛК, який бажано розташовувати неподалік від ОУ, його доцільно розташувати на щиті. Засоби операторського управління (SCADA) розташовуються у спеціальному приміщенні. Зв'язок із між контролерами і SCADA забезпечується промисловими мережами.

Контролер (ПЛК) повинен мати достатньо велику швидкодію та надійність. Застосування ПЛК дозволяє реалізовувати складні алгоритми логічно-програмного регулювання і аналогового управління. Дані процесу засобами цифрового зв'язку ПЛК передає на рівень операторського управління. ОУ, датчики, виконавчі пристрої, контролери, цифрові мережі і SCADA утворюють АСУ ТП управління енергетичним господарством підприємства.

АСУ ТП має забезпечувати ряд вимог:

- виконання інформаційних та керуючих функцій в ході технологічного процесу;
- управління відповідно до технологічного регламенту;

- Враховуючи різну складність задач керування, які необхідно розв'язати на ПЛК, при виборі контролера треба керуватися наступними критеріями:

- Для автоматизації котла БМ-35 потрібен контролер, який як мінімум повинен мати 22 аналогових входи, 12 дискретних входів, 34 дискретних виходи

У таблиці 2.4 наведені характеристики ПЛК провідних виробників, представлених на українському ринку:.

Таблиця 2.4 – Порівняльні характеристики контролерів

Фірма виробник	Процесорний модуль					Додаткові модулі						Інтерфейси та протоколи	ПЗ	Ціна, грн
	Назва	AI	DI	AO	DO	Назва	AI	DI	AO	DO	Кі- сть			
Siemens	SIMATIC S7-300 (CPU 313C-2DP)	0	16	0	16	SM 331	8	0	0	0	3	RS 485, PROFIBUS	Simatic Step7 WinCC v.5	35000
						SM 322	0	0	0	8	1			
Schneider Electric	TWIDO TWD LMDA 20DTK	0	12	0	8	TWD AMI 8HT	8	0	0	0	3	RS232, RS485, Ethernet, ModBus	Twido Suite v2.01	27000
						TWD DDI 16DT	16	0	0	0	1			
						TWD DDO 16TK	0	0	0	16	2			
						OBEH MY-16	0	0	0	16	0			
Schneider Electric	TSX Micro 3721	0	0	0	0	Tsx AEZ 802	8	0	0	0	3	RS232, RS485, Ethernet, ModBus	UnityPro	25000
						Tsx DMZ 28DR	0	16	0	12	3			
						Tsx DMZ 08T2	0	0	0	8	2			

Оскільки система автоматизації котлоагрегату потребує використання потужного, надійного, якісного контролера з досить великою кількістю входів-

виходів, а також прийнятною ціною політикою, доцільним буде застосувати програмно логічний контролер TSX Micro 3721 з модулями розширення. TSX Micro 3721 призначений для керування об'єктами, для роботи з якими достатньо кілька сотень дискретних входів-виходів та до 40 аналогових входів-виходів у різних галузях промисловості (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Контролер TSX Micro 3721

Компактний і модульний TSX Micro має невеликий час робочого циклу і велику ємкість пам'яті. Він має широкий діапазон модулів входів-виходів, забезпечує високу швидкість роботи лічильників, високу точність реалізації задач позиціонування, високу точність вимірювання аналогових сигналів, має широкі комунікаційні можливості. Тому, враховуючи, що даний контролер задовольняє всім поставленим вимогам, обираємо саме цей МПК.

Принцип його роботи базується на поступовому проходженні сигналу через вхідні ПЗО, обробці його програмою та видачі регулюючих дій на вихідні ПЗО та виконавчі механізми. Обмін інформації з робочою станцією оператора

здійснюється за допомогою протоколу Modbus, інтерфейс RS-232, що також є перевагою цієї платформи. Базовим LCADA конфігуратором для такої системи є досить простий у використанні, і одночасно досить універсальний пакет UnityPRO. Даний пакет підтримує усі 5 мов стандарту IEC 61131-3.

Розглянемо структуру ПТКЗА. До її складу входять: датчики, виконавчі механізми, комп'ютер, контролер, який включає в себе модулі аналогового вводу та виводу, дискретного вводу та виводу процесорний модуль. На цій структурі зображено також всі сигнали, які передаються [10], рис.2.2.

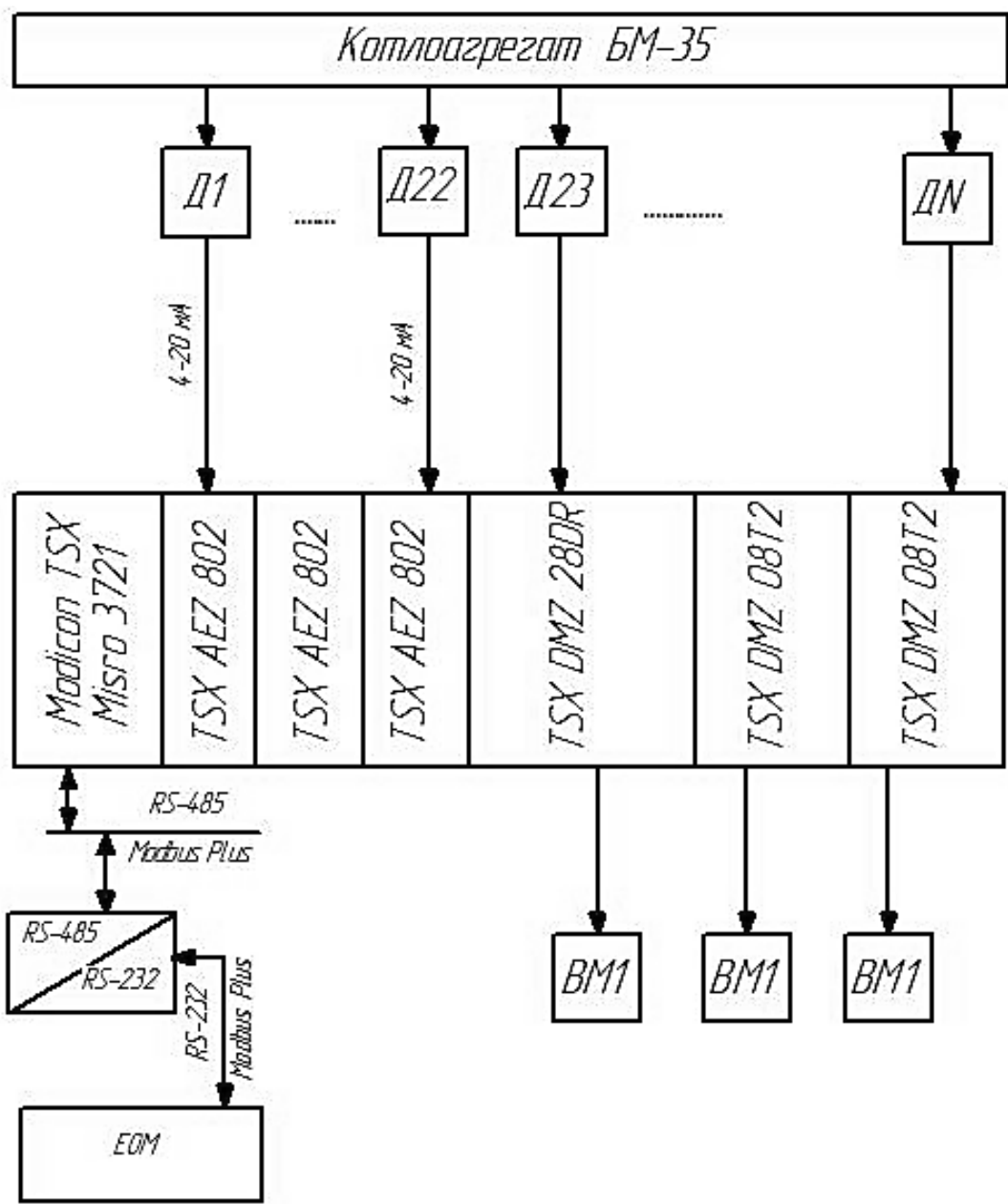


Рисунок 2.2 - Структурна схема ПТКЗА

2.4 Опис функцій системи автоматизації

Розроблена в даному проекті система автоматизації повинна забезпечити в автоматичному режимі контроль і сигналізацію основних параметрів технологічного процесу в межах технологічного процесу, а також автоматично чи в ручному режимі їх регулювання та управління. Функціональна схема автоматизації представлена на кресленні *ХНТУ 151.КРБ.24.005 А2*

Відповідно до ФСА в АСУ котла БМ-35 входять такі основні контури:

1. Регулятор живлення котла (рис. 2.3).

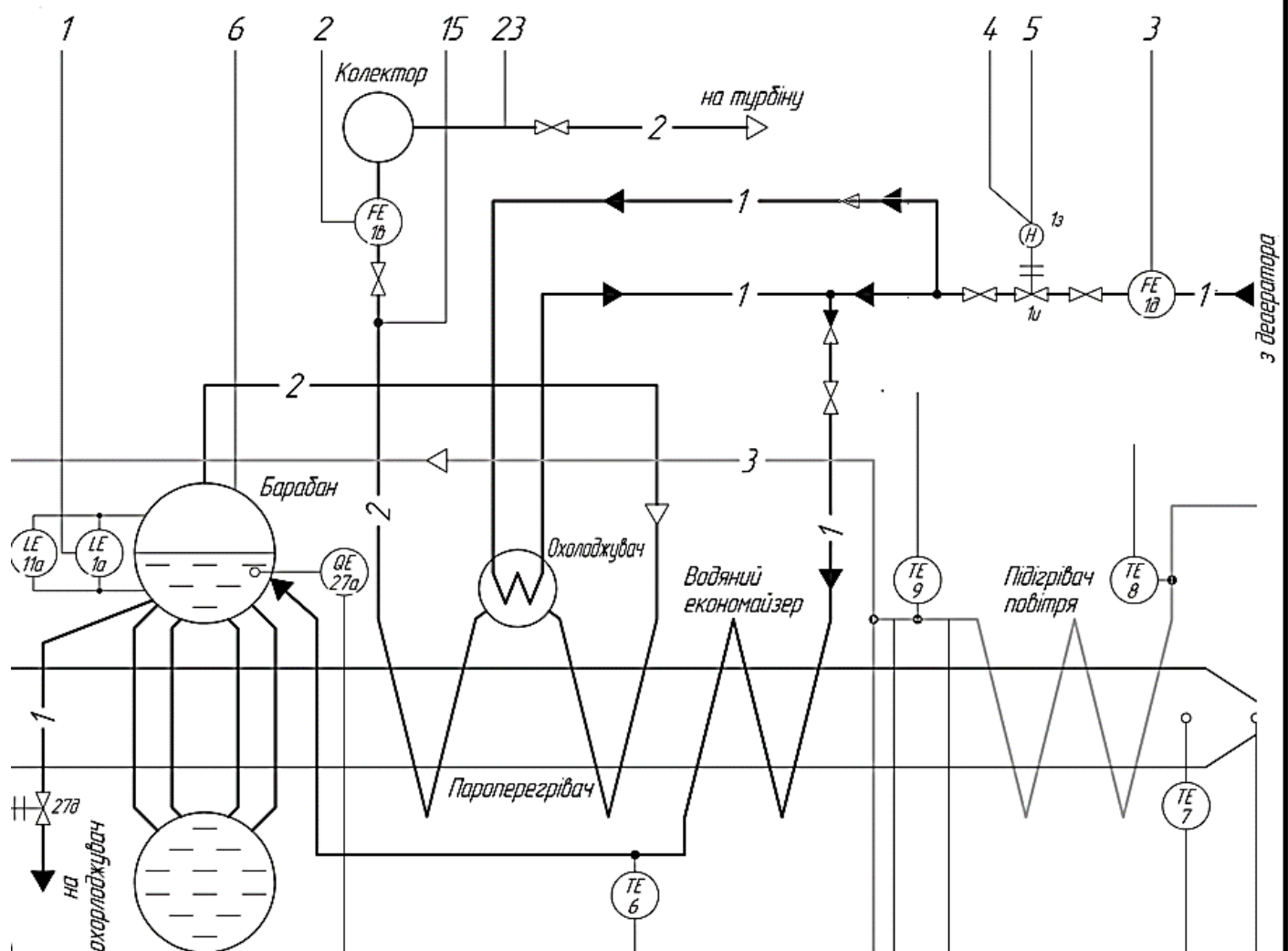


Рисунок 2.3 – Регулювання живлення котла

Працює за трьома імпульсами: рівень в барабані, витрата пари, витрата живильної води. Рівень в барабані котла вимірюється датчиком перепаду тиску МЕТРАН 100ДД 1420, поз.1б діапазон вимірювання 6,3 кПа, вихідний сигнал якого 4..20 мА подається на модуль аналогових входів контролера TSX Micro.

Вимір витрат пари від котла та води на живлення котла для корекції здійснюється за допомогою витратомірів змінного перепаду тиску, який складається з звужуючого пристрою, діафрагми (поз. 1в, 1д) та дифманометра МЕТРАН 100 ДД 1420 (поз. 1г, 1е), які мають вихідний сигнал 4..20 мА. Вихідний сигнал контролера подається на реверсивний безконтактний пускач ПБР-3 (поз.1ж). Виконавчий механізм МЭО-100/25-0,25-380В-У (поз.1з) змінює витрату живильної води на котел.

Підключення датчиків та засобів управління показано на фрагменті ФСА (рис. 2.4).

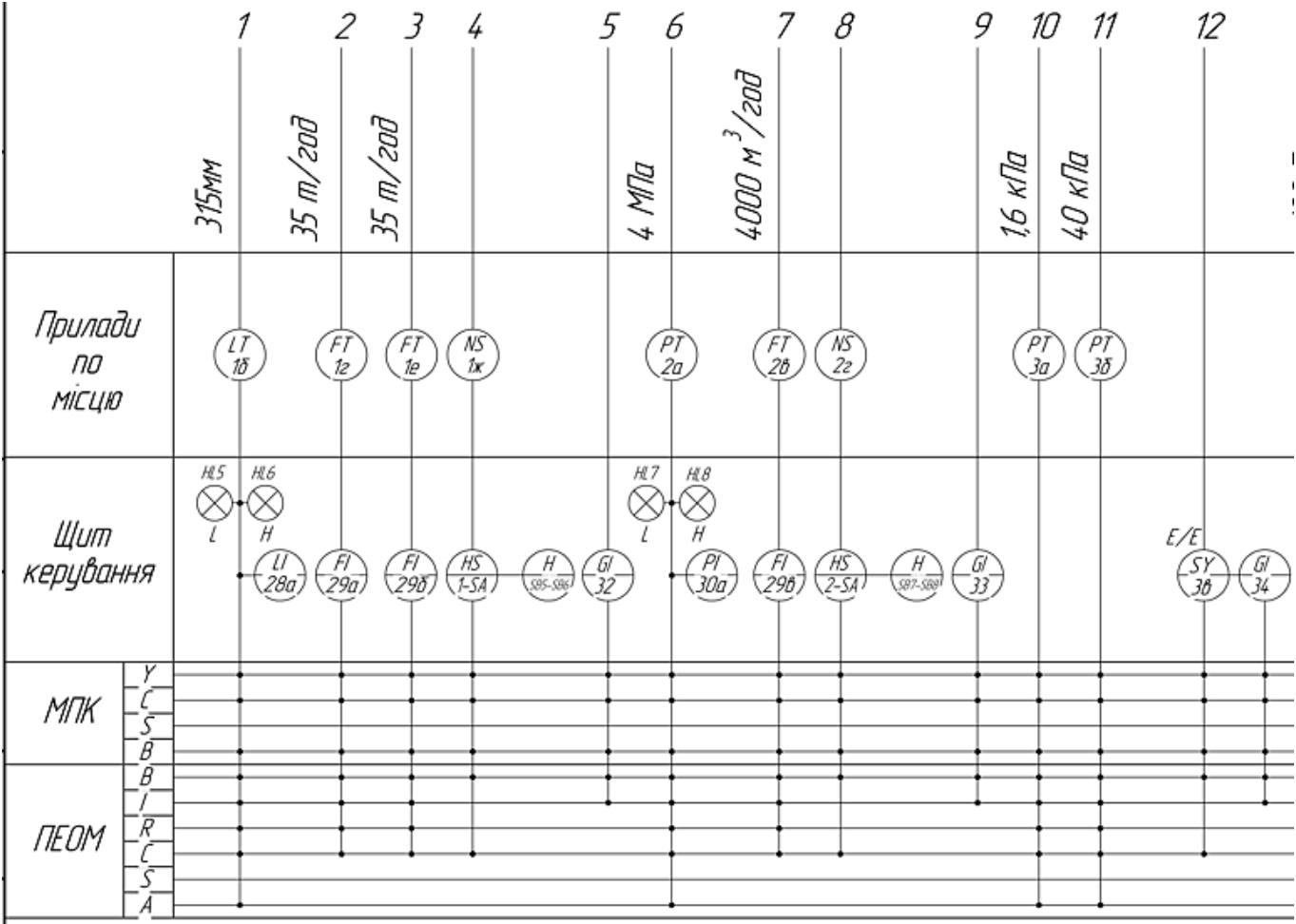


Рисунок 2.4 – Фрагмент ФСА

2. Регулятор теплового навантаження котла, який працює по тиску пари та корекцією по витраті газу на котел (рис. 2.5).

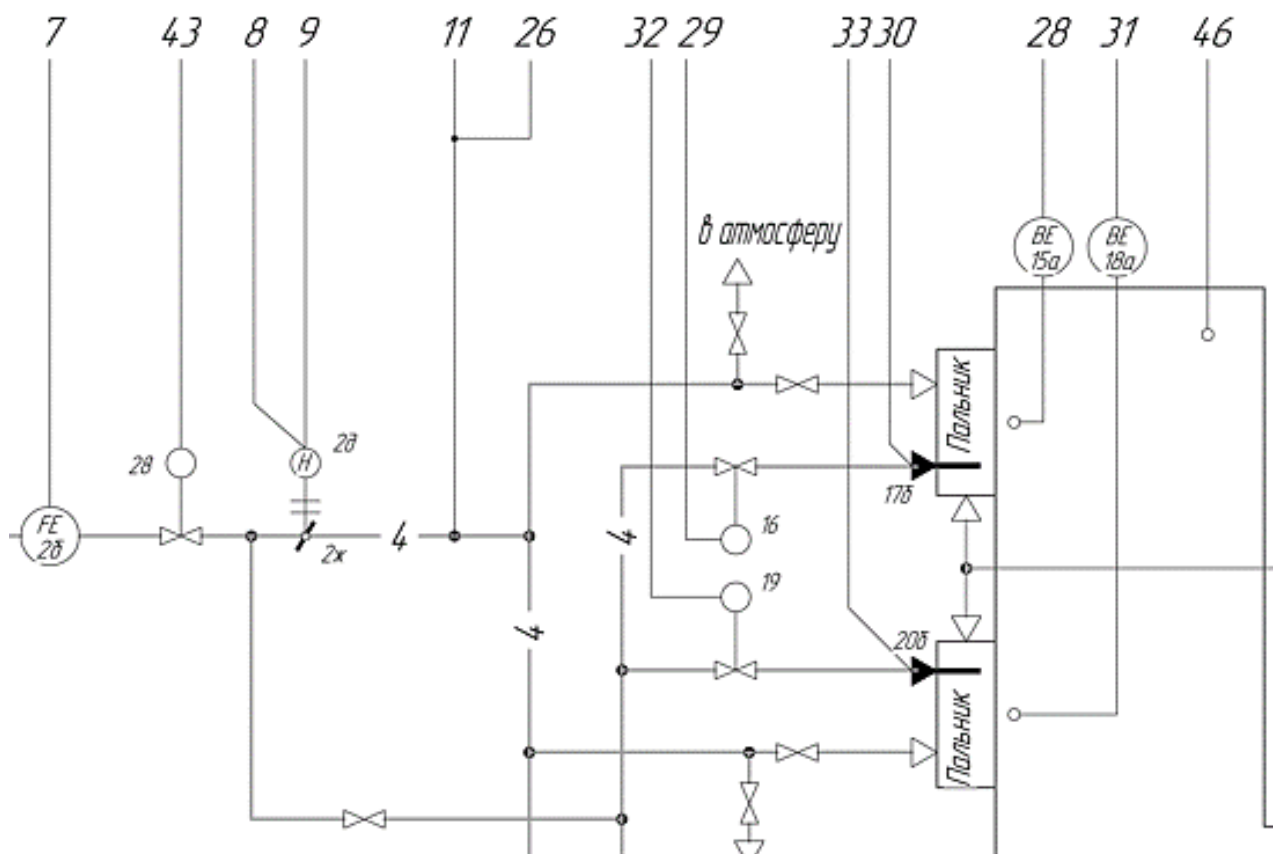


Рисунок 2.5 – Регулювання теплового навантаження котла

Тиск пари вимірюється перетворювачем тиску ПДИ-И, верхня межа виміру якого 6 МПа, а вихідний сигнал 4..20 мА подається на контролер. Витрата газу вимірюється витратоміром змінного перепаду тиску: діафрагма (поз.2б) та дифманометр МЕТРАН 100ДД 1420 (поз.2в). Виконавчий механізм МЭО-100/25-0,25-380В-У (поз.2д) змінює подачу газу на котел, імпульсний сигнал на нього з контролера надходить безконтактний реверсивний пускач ПБР-3 (поз.2г) [11].

3. Регулятор співвідношення газ/повітря працює по тиску газу та тиску повітря на пальники рис. 2.4, 2.5, 2.6. Тиск газу вимірюється перетворювачем тиску ПДИ-И (поз.3б, рис.2.4, 2.5), діапазон вимірювання 60 кПа, тиск повітря, відповідно ПДИ-И (поз.3а, рис.2.4, 2.6) 2 кПа, вихідні сигнали яких 4..20 мА подаються на контролер, імпульсний вихідний сигнал якого подається на частотний перетворювач Hitachi L300 (поз.3в). Частотний перетворювач змінює

частоту обертання двигуна М1 вентилятора і відповідно тиск повітря на пальники [12].

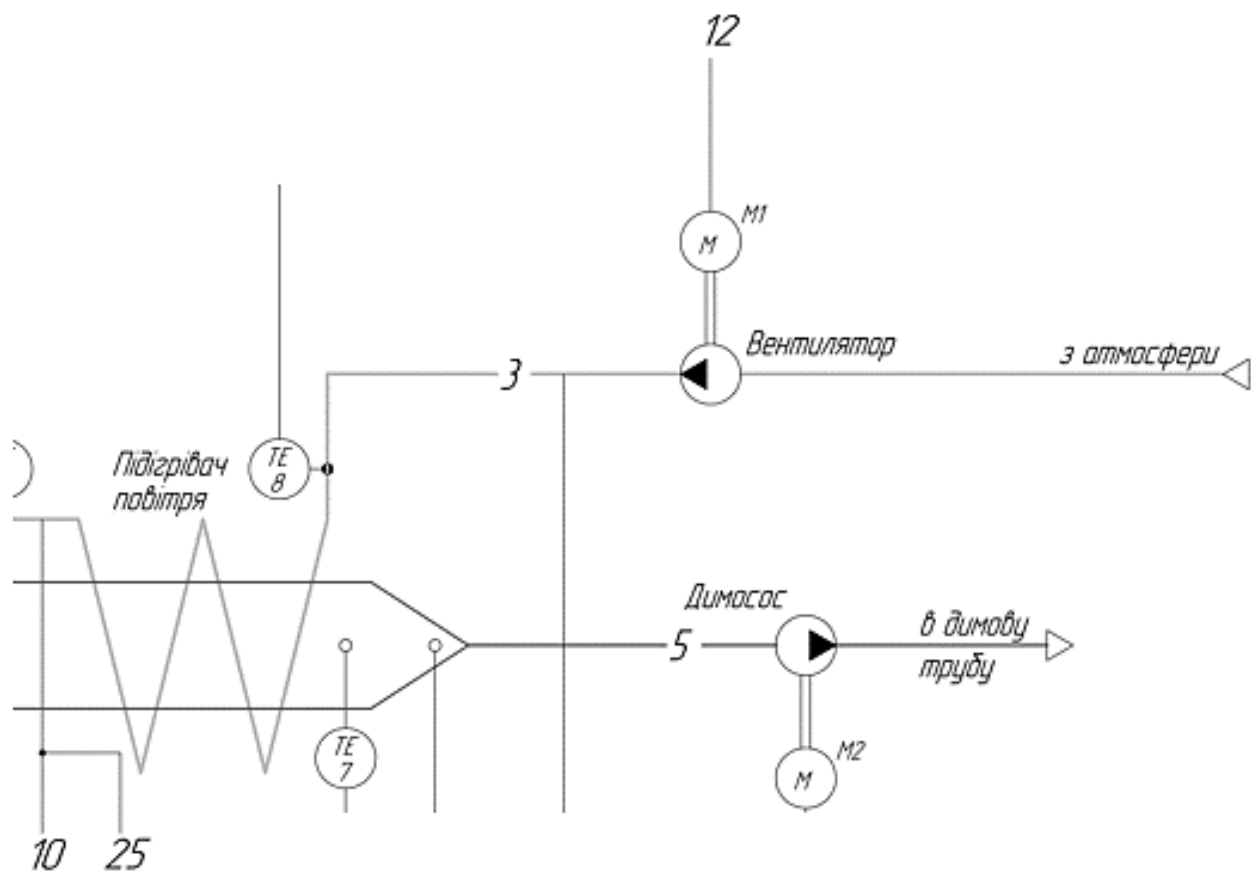


Рисунок 2.6 – Регулювання співвідношення газ/повітря

4. *Регулятор розрідження.* Розрідження вимірюється тягонапороміром Метран 100 ДИВ-1310 (поз.4а) діапазон виміру якого складає $\pm 0,2$ кПА. Вихідний сигнал тягонапороміра 4..20 мА подається на контролер. Імпульсний вихідний сигнал контролера подається на частотний перетворювач Hitachi J300 (поз.4б). Частотний перетворювач змінює частоту обертання двигуна димососа і відповідно розрідження в топочній камері.

5. *Регулятор температури пари.* Температура пари вимірюється термопарою ТХА (поз.5а) і подається на аналоговий вхідний модуль контролера. Імпульсний вихідний сигнал контролера через безконтактний реверсивний пускач ПБР-3 (поз.5б) подається на виконавчий механізм

МЭО-100/25-0,25-380В-У (поз.5в).

Технологічна сигналізація передбачена по таким параметрам:

- Рівень в барабані котла нижче -150 мм
- Рівень в барабані котла вище +150 мм
- Тиск в барабані нижче 2 МПа
- Тиск в барабані вище 3,5 МПа
- Тиск повітря нижче 1 кПа
- Тиск газу нижче 15 кПа
- Тиск газу вище 25 кПа
- Розрідження в топці нижче -50 Па
- Температура пари нижче 400 °С
- Температура пари вище 470 °С
- Температура вихідних газів нижче 170 °С
- Вміст солі в котловій воді вище 15 мСм/м³

Для сигналізації рівня в барабані котла використано датчик перепаду тиску Метран 100 ДД 1420 (поз.6б) з вихідним сигналом 4..20 мА.

Сигналізація тиску пари здійснюється аналогічно сигналізації рівня, але датчиком являється перетворювач тиску ПДИ-И (поз.7а).

Датчиком для сигналізації температури пари є термopа ТХА-У (поз. 5а).

Для сигналізації температури вихідних газів використана аналогічна схема, але датчиком в цьому випадку є термометр опору ТСП-У (поз. 7).

При виході будь-якого з цих параметрів за допустимі межі засвічується відповідне лампа на дисплейній мнемосхемі та спрацьовує звуковий сигнал.

Системою автоматизації передбачене напівавтоматичне розпалювання. З цією метою на кожен з пальників встановлено високовольтний трансформатор типу ОС33-730 (17а, 20а, 23а, 26а) та запальний пристрій типу ЗП1 (17б, 20б, 23б, 26б).

Контроль наявності полум'я здійснюється за допомогою перетворювача наявності полум'я типу ИНД1 (15б, 18б, 21б, 24б) та контрольного електрода,

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			36

встановленого на пальнику таким чином, щоб він міг контролювати як полум'я запальника, так і основного полум'я. Від перетворювача дискретний сигнал поступає на модуль дискретних входів контролера.

2.5 Формування вимог до SCADA – системи

Супервізорний рівень ПТКЗА включає в себе, перш за все, одну чи декілька станцій управління, що являють собою автоматизовані робочі місця (АРМ) диспетчера чи оператора. Тут же розміщується як правило і сервер БД. Як робочі станції як правило використовуються РС сумісні комп'ютери різних конфігурацій. [15]. Станції управління призначені для відображення ходу ТП і оперативного управління процесом. Також до функцій SCADA-системи належить ведення архівів, баз даних, звітів подій і тривог і передача інформації на рівень АСУТП. Загалом SCADA-система реалізує так званий людинно-машинний інтерфейс (HMI/MMI)

Ці задачі вирішуються за допомогою спеціальних SCADA-пакетів.

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.

Для того щоб SCADA-програма мала змогу зчитувати інформацію з контролера та записувати інформацію необхідно попередньо запрограмувати функціональні блоки в контролері, тобто дати кожному параметру кожного блока свій власний ідентифікатор. Для цього в програмі користувача контролера кожному функціональному блоку привласнюється номер, тип блока, базова адреса параметрів та модифікатор кількості входів [16].

В редакторі представлення даних розробляється графічна частина проекту системи управління. Вона складається з графічних баз операторських станцій. Операторський інтерфейс повинен включати сам вигляд ТП з наглядними значеннями параметрів, щит оператора та тривог [17].

На кожному екрані є кнопки, призначені для переходу між екранами. Усі параметри відображуються у вигляді динамічного тексту або як показання приладу. Для відображення відповідних об'єктів усі графічні елементи необхідно зв'язати з відповідними каналами. Для зміни певних величин передбачено кнопки, при натисканні яких випадає вікно, у яке необхідно ввести необхідне значення, яке потім посилається у певний канал [18].

В якості SCADA-системи оберемо систему Trace Mode 6. SCADA система Trace Mode - призначена для розробки крупних розподілених АСУТП широкого призначення.

Основні функції:

- 0.001 с - мінімальний цикл системи;
- Відкритий формат драйвера для зв'язку з будь-яким УСО.
- Відкритість для програмування (Visual Basic, Visual C++ і т.д.);
- Розробка розподіленої АСУТП як єдиного проекту;
- Засоби наскрізного програмування АСУТП верхнього (АРМ) і нижнього (ПЛК) рівня;
- Встроєні бібліотека з понад 150 алгоритмів обробки даних і управління в т.ч. фільтрація, PID, PDD, нечітке, адаптивне, позиційне регулювання, ШИМ, управління (клапан, задвижка, привід і т.д.), статистичні функції і довільні алгоритми;
- Автоматичне гаряче резервування;
- Підтримка єдиного мереженого часу;
- Засоби програмування контролерів і АРМ на основі міжнародного стандарту ІЕС 61131-3;
- Понад 200 типів форм графічного відображення інформації в т.ч. тренди, мультиплікація на основі растрових і векторних зображень, ActiveX;

- Перегляд архівної інформації в реальному часі в т.ч. у вигляді трендів і таблиць;
- Мережа на основі Netbios, NetBEUI, IPX/SPX, TCP/IP;
- обмін з незалежними програмами з використанням OPC client/server, DDE/NetDDE client/server, SQL/ODBC, DCOM;
- Автоматичне резервування архівів і автовідновлення після збою;
- Моніторинг и управління через Internet;
- Повністю русифікована;

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1. АСР температури перегріва пари з вводом похідної з проміжної точки

З огляду на велику інерційність АСР котлоагрегатів виконують за каскадною схемою [19]. Якість регулювання можна поліпшити введенням додаткового контуру стабілізації допоміжної змінної. Розглянемо структуру каскадної АСР яка зображена на рис. 3.1

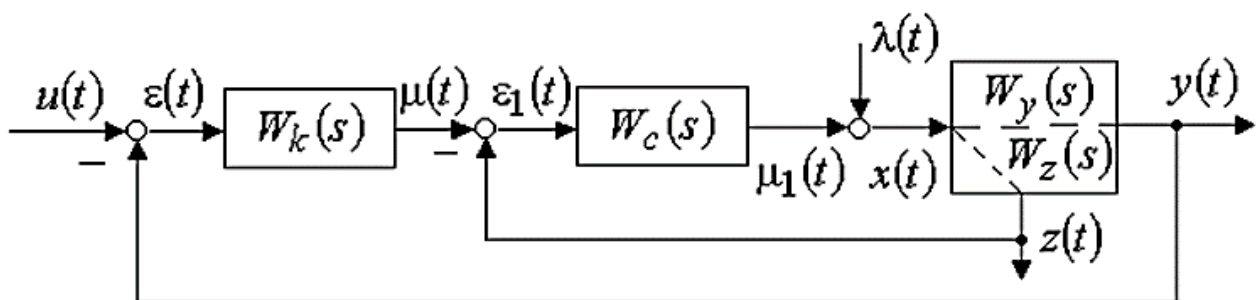


Рисунок 3.1 – Структурна схема каскадної АСР

Тут $W_y(s)$, $W_z(s)$ – передавальні функції об'єкта по основні $y(t)$ і додатковій $z(t)$ змінним;

У системі діють два регулятори – основний регулятор $W_K(s)$, служить для стабілізації основної регульованої величини $y(t)$ та $W_C(s)$ – допоміжний регулятор, служить для регулювання допоміжної величини $z(t)$. При цьому основний регулятор впливає на зміну завдання допоміжному регулятору.

Розрахунок каскадної АСР передбачає визначення налаштувань основного і допоміжного регуляторів. Розрахунок налаштувань регуляторів здійснюють зведенням багатоконтурної АСР до одноконтурної шляхом введення певних допущень [19].

Щоб розрахувати каскадну систему потрібно знати $W_y(s)$, $W_z(s)$.

Тоді якщо

$$T_Y, \tau_Y \gg T_Z, \tau_Z$$

де T_Y, τ_Y – стала часу і затримка основного контура,

T_Z, τ_Z – стала часу і затримка допоміжного контура.

внутрішній контур буде швидкодіючим, отже розрахунок починаємо з головного регулятора. Ми вважаємо всю частину схеми еквівалентним об'єктом і отримуємо звичайну одноконтурну систему.

$$W_{\text{об}}^K(s) = \frac{W_Y(s)}{W_Z(s)}$$

Тепер по $W_{\text{об}}^K(s)$ знаходимо налаштування $W_K(s)$ головного регулятора.

Вони знаходяться будь-яким методами наприклад РАФХ, МАЧХ, інженерними [19].

Тепер нам потрібно перейти до розрахунку $W_C(s)$ допоміжного регулятора.

Головний регулятор у нас уже розрахований, нам потрібно знайти еквівалентний об'єкт для допоміжного регулятора

$$W_{\text{об}}^C(s) = W_Z(s)(1 + W_K(s)W_Y(s))$$

Для цього еквівалентного об'єкту розраховуємо налаштування регулятору і проводимо перевірку каскадної системи з отриманими налаштуваннями головного та допоміжного регуляторів моделюванням.

Якщо $T_Y, \tau_Y \geq T_Z, \tau_Z$ тоді починаємо розрахунок з допоміжного регулятора.

В даній ситуації внутрішній контур потрібно зробити швидкодіючим для цього обирають П-регулятор не зважаючи на статичну помилку.

Розраховують $W_C(s)$ по $W_Z(s)$ будь-яким способом. Далі знаходять еквівалентний об'єкт для розрахунку налаштувань $W_K(s)$ головного регулятора:

$$W_{\text{об}}^K(s) = \frac{W_C(s)W_Y(s)}{1 + W_C(s)W_Z(s)}$$

Для еквівалентного об'єкту розраховуємо налаштування головного регулятора і проводимо перевірку каскадної системи з отриманими налаштуваннями головного та допоміжного регуляторів моделюванням.

Також для АСР парогенератора використовують схему регулювання перегріву пари з введенням похідної з проміжної точки. Регулятор перегріву отримує основний сигнал по відхиленню температури перегрітої пари на виході і додатковий- пропорційний похідній від температури пари в проміжній точці безпосередньо за пароохолоджувачем [19], рис. 3.2, 3.3.

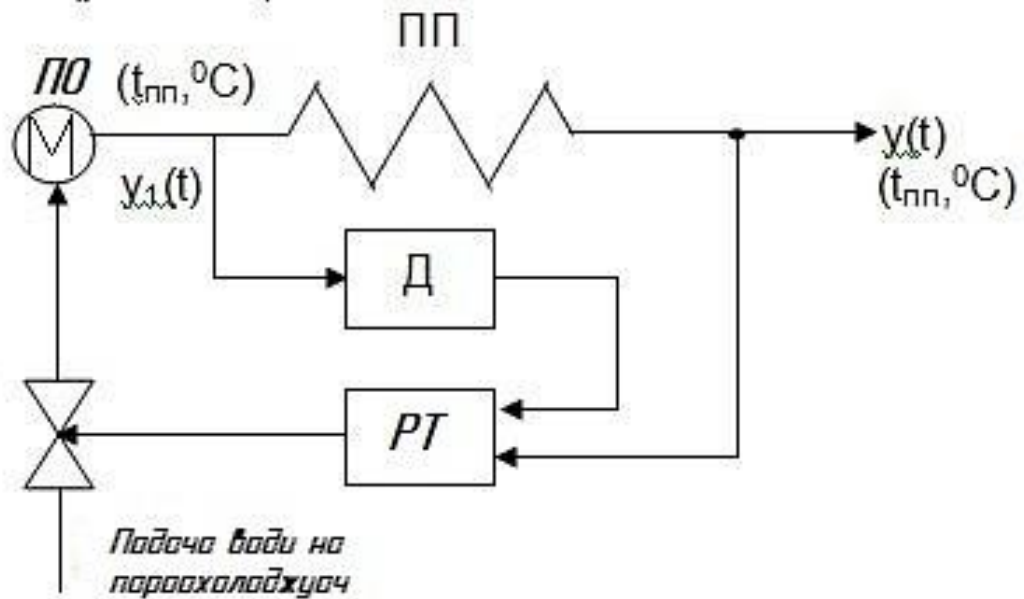


Рисунок 3.2 – Регулювання температури перегрітої пари з введенням похідної проміжної точки

ПО-пароохолоджувач Д-диференціатор РТ-регулятор тем-ри

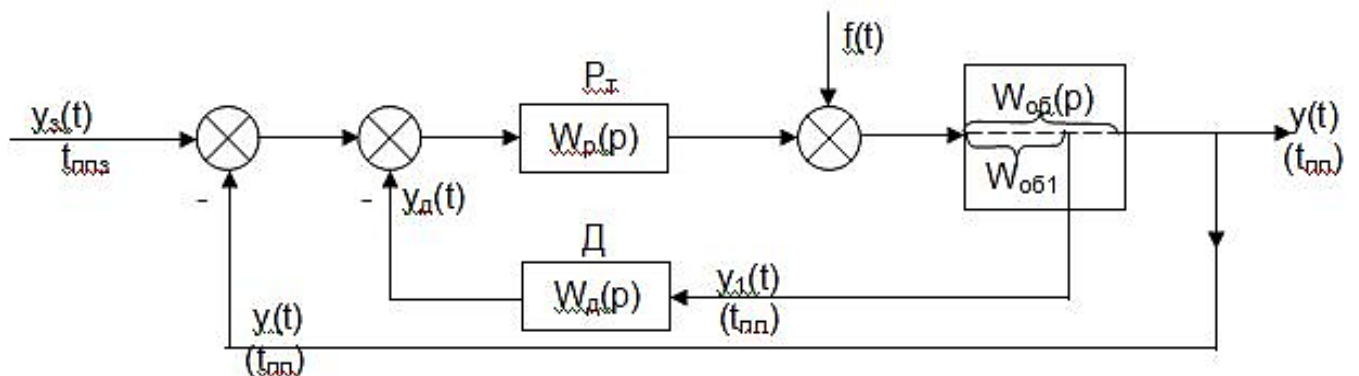


Рисунок 3.3 – Структура АСР з додатковим сигналом з проміжної точки

Відповідно до методики [19] перетворюємо її у каскадну систему, рис. 3.4.

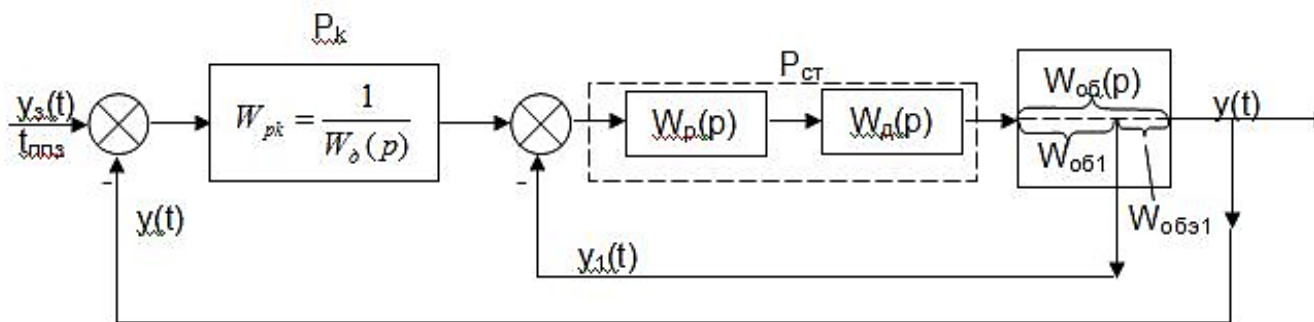


Рисунок 3.4 – Перетворення в каскадну систему

Особливістю її є те, що коригувальний регулятор повинен бути ПІ - регулятором, в якому роль коефіцієнта передачі грає $1/K_o$, а T_u – стала часу диференціатора T_d .

$$W_{pk}(p) = \frac{1}{W_o(p)} = \frac{1}{K_o \frac{T_o p}{T_o p + 1}} = \frac{1}{K_o} \cdot \frac{T_o p + 1}{T_o p}; \quad W_{p_{III}}(p) = K_p \frac{T_u p + 1}{T_u p}; \quad K_p = \frac{1}{K_o}; \quad T_u = T_o$$

Далі, вважаючи, що внутрішній контур значно менш інерційний в порівнянні з зовнішнім, розраховують настройку коригуючого ПІ - регулятора за передавальною функцією еквівалентного об'єкта

$$W_{obz1}(p) = \frac{W_{ob}(p)}{W_{ob1}(p)}$$

3.2 Розрахунок параметрів регулятора і моделювання АСР

За знайденими налаштуваннями коригуючого ПІ-регулятора знаходять значення налаштування параметрів диференціатора:

$$K_o = \frac{1}{K_p}; \quad T_o = T_u.$$

Вихідну структурну схему (рис. 3.4) перетворюють до вигляду, зручного для розрахунку налаштувань регулятора (рис. 3.5).

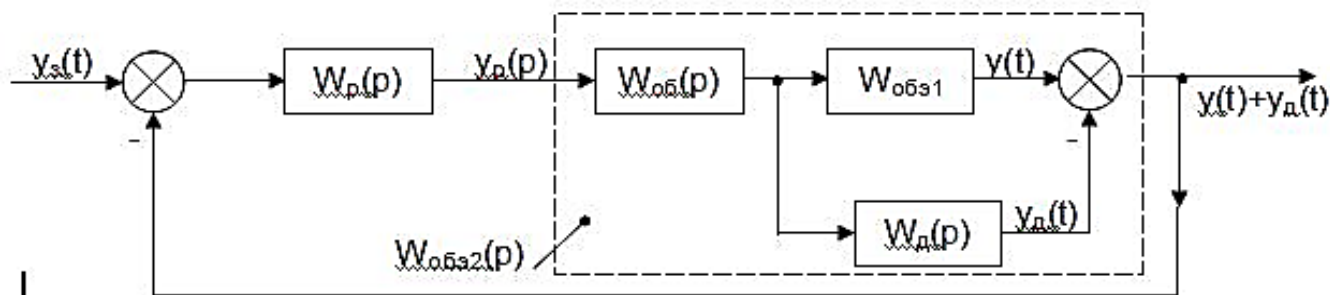


Рисунок 3.5 - Перетворення вихідної структури для розрахунку головного регулятора.

Тоді еквівалентний об'єкт, характеристики якого повинні бути використані для розрахунку налаштувань регулятора, описується передавальною функцією

$$W_{об2}(p) = W_{об}(p) + W_{об1}(p)W_d(p)$$

Передавальна функція для типового об'єкта управління [19]:

$$W_{об}(s) = \frac{0,08}{68s+1} e^{-23s}$$

Випереджуючий контур: $W_{он}(s) = \frac{0,1}{55s+1} e^{-10s}$

За допомогою Matlab [20] у середовищі Simulink [21] отримаємо перехідні характеристики, рис. 3.6 – 3.8.

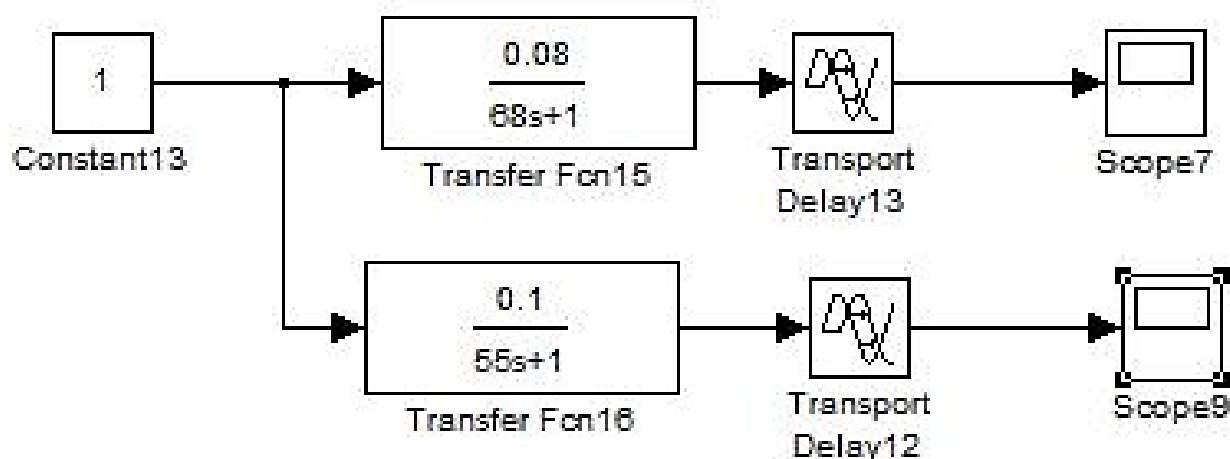


Рисунок 3.6 - Структурна схема отримання перехідних характеристик об'єкта управління та випереджуючого контуру

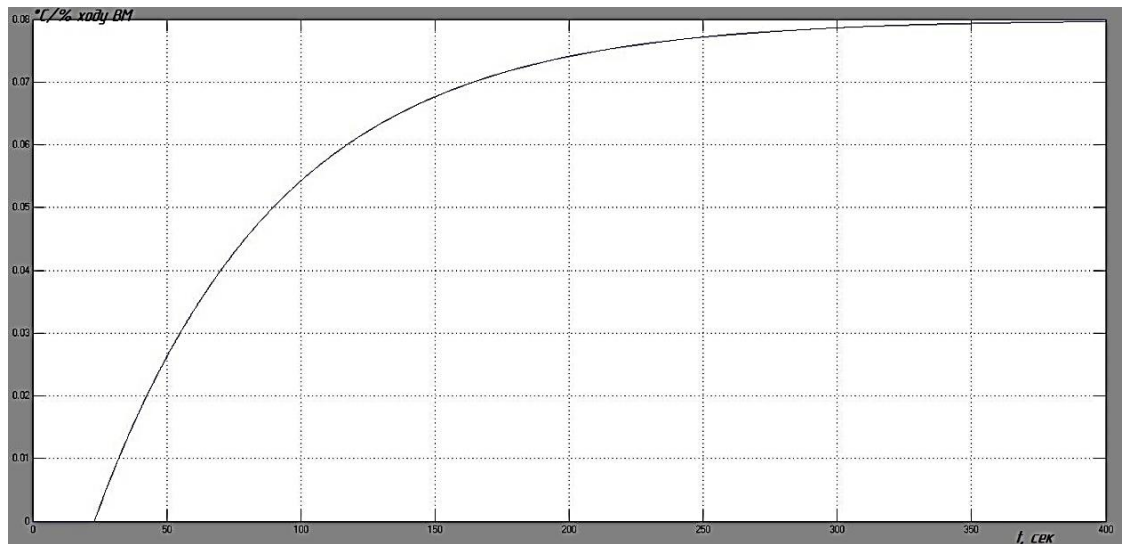


Рисунок 3.7- Перехідна характеристика об'єкта управління

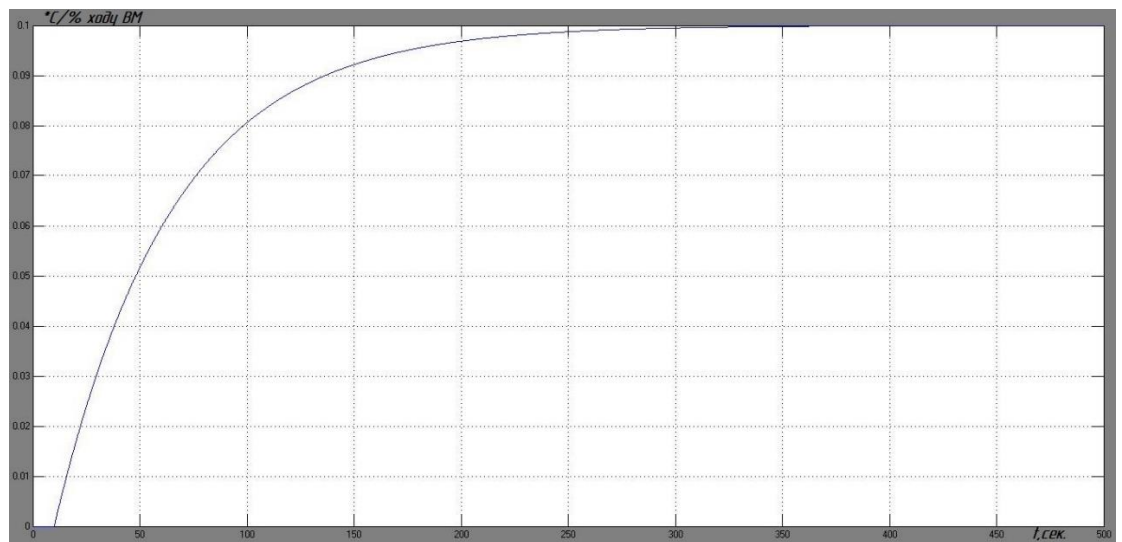


Рисунок 3.8- Перехідна характеристика випереджуючого контуру

Оскільки, $T_{об} \approx T_{он}$, $\tau_{об} \approx \tau_{он}$ (одного порядку) то відповідно до [19] спочатку розраховується внутрішній регулятор, а потім – зовнішній.

З використанням методу РАФХ для П- регулятора отримаємо $K_p = 46.34$.

Розрахуємо налаштування П-регулятора за допомогою інженерного методу на процес з 20% перерегулюванням

$$\text{Для П регулятора: } k_p = \frac{0,7}{k_{об} \cdot \frac{\tau_{об}}{T_{об}}} = \frac{0,7 \cdot 10}{0,1 \cdot 55} = 38.5$$

Промодельуємо замкнуту систему за допомогою Simulink для П-регулятора рис. 3.9, 3.10.

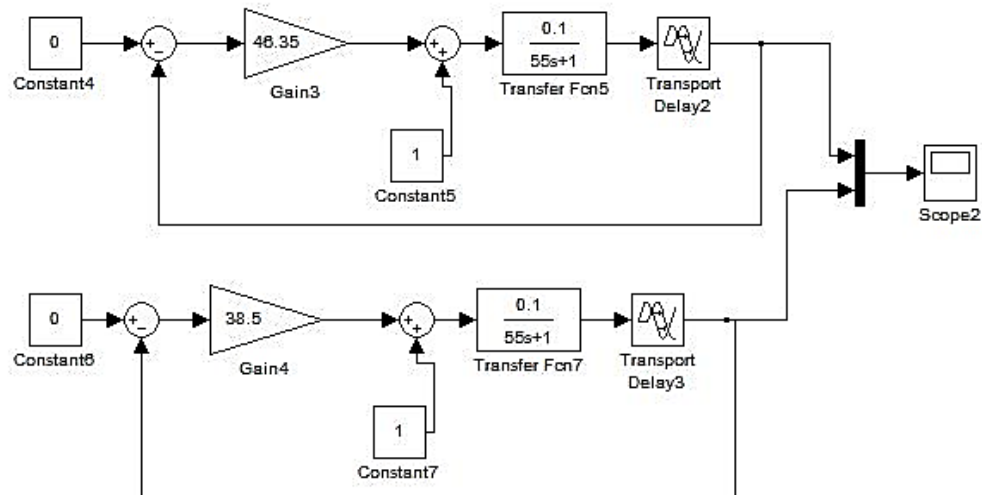


Рисунок 3.9- Структурна схема

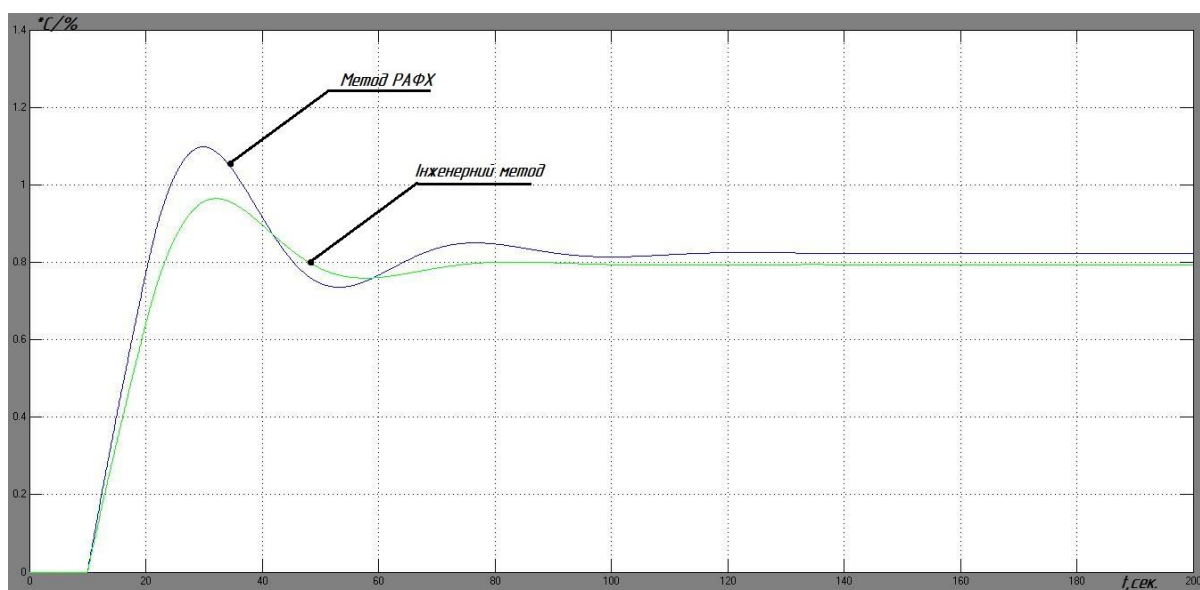


Рисунок. 3.10- Перехідні процеси по каналу «завдання -вихід»
Розрахуємо показники якості для цих перехідних процесів. Для зручності зведемо всі показники якості до однієї таблиці:

Таблиця 3.1 – Показники якості перехідних процесів

	«завдання-вихід»		«збурення-вихід»	
	РАФХ	інженерний	РАФХ	інженерний
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0,117	0,223	0,0177	0,0222
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,275	0,128	0,06	0,036
Ступінь затухання $\psi, \%$	90,1	100	97	100
Час регулювання $t_{рег}, сек$	90	65	85	65
Перерегулювання, $\sigma \%$	33,4	18,4	10,1	2,7

По результатам перехідних процесів були зроблені розрахунки показників якості, які показали, що П-регулятор з налаштуваннями $k_p = 38.5$, розрахований за допомогою інженерних методик кращий незважаючи на трошки більшу статичну похибку, оскільки час перехідного процесу та динамічна похибка менші.

Розраховуємо параметри налаштувань для головного регулятора каскадного регулятора. Знайдемо передавальну функцію еквівалентного об'єкта:

$$W_{OB}^{EKB}(s) = \frac{W_{BC}(s)W_{OB}(s)}{1 + W_{BC}(s)W_{OB1}(s)}$$

де $W_{BC}(s)$ - передавальна функція допоміжного регулятора

Передавальна функція еквівалентного об'єкта для коригуючого ПІ-регулятора буде має вигляд:

$$W_{OB}^{Экв} = \frac{K_p \frac{0.08e^{-23p}}{68p+1}}{1 + K_p \frac{0.1e^{-10p}}{(55p+1)}} = \frac{38.5 * \frac{0.08e^{-23p}}{68p+1}}{1 + 38.5 \frac{0.1e^{-10p}}{(55p+1)}} = \frac{(169,4p^2 + 3.08)e^{-23s}}{3740p^2 + 123p + 261pe^{-10s} + 3.85e^{-10s} + 1}$$

Для ПІ-регулятора знаходимо налаштування ПІ-регулятора $K_p = 0.5$
 $K_i = 0,0543$ $T_i = 9.2$

Промодельємо каскадну систему за допомогою Simulink, підставивши у модель параметри об'єкта і коефіцієнти регулятора (рис. 3.11 – 3.13):

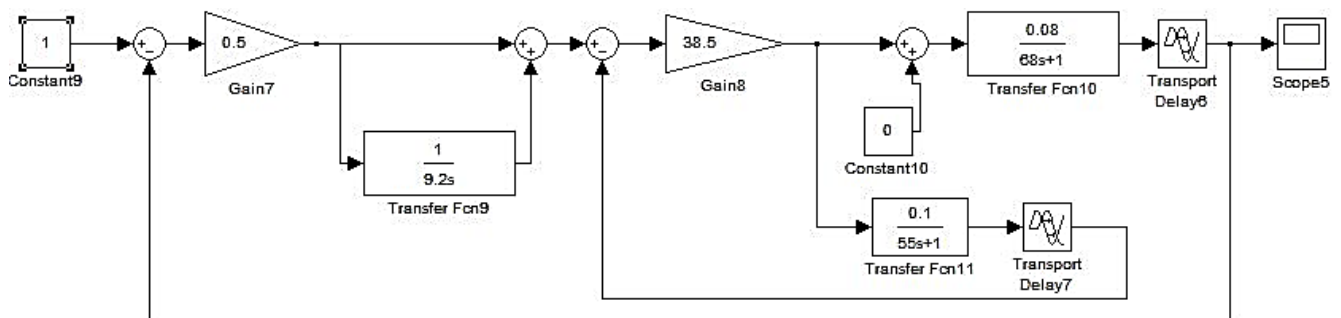


Рисунок 3.11 – Структурна схема каскадної АСР температури

Отримуємо наступні перехідні процеси по каналу «завдання-вихід» та «збурення-вихід» каскадного регулятора.

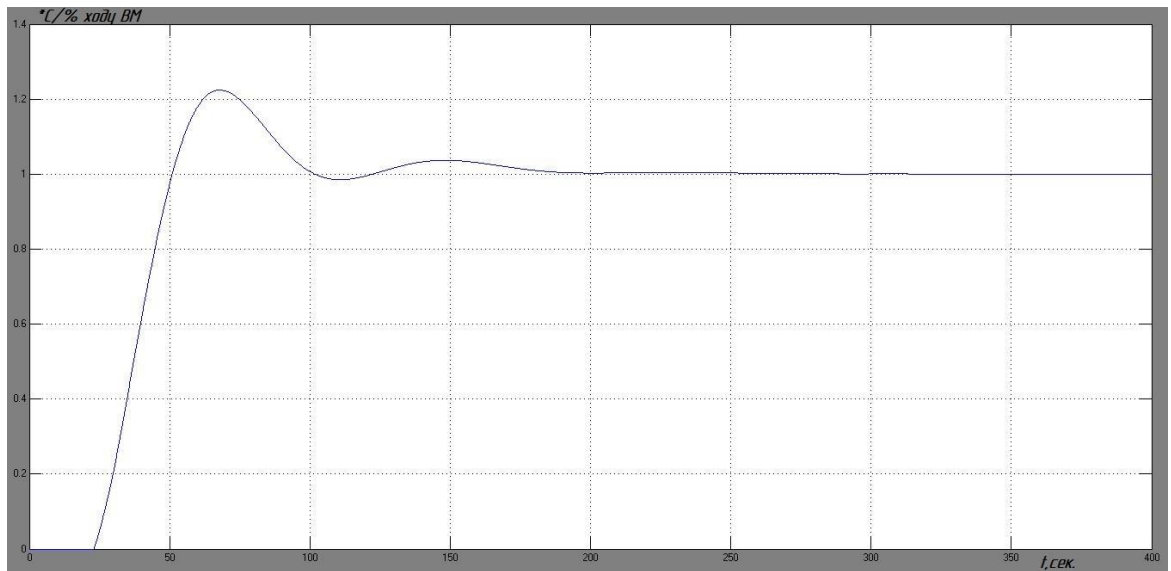


Рисунок 3.12 – Перехідний процес по каналу «завдання-вихід»

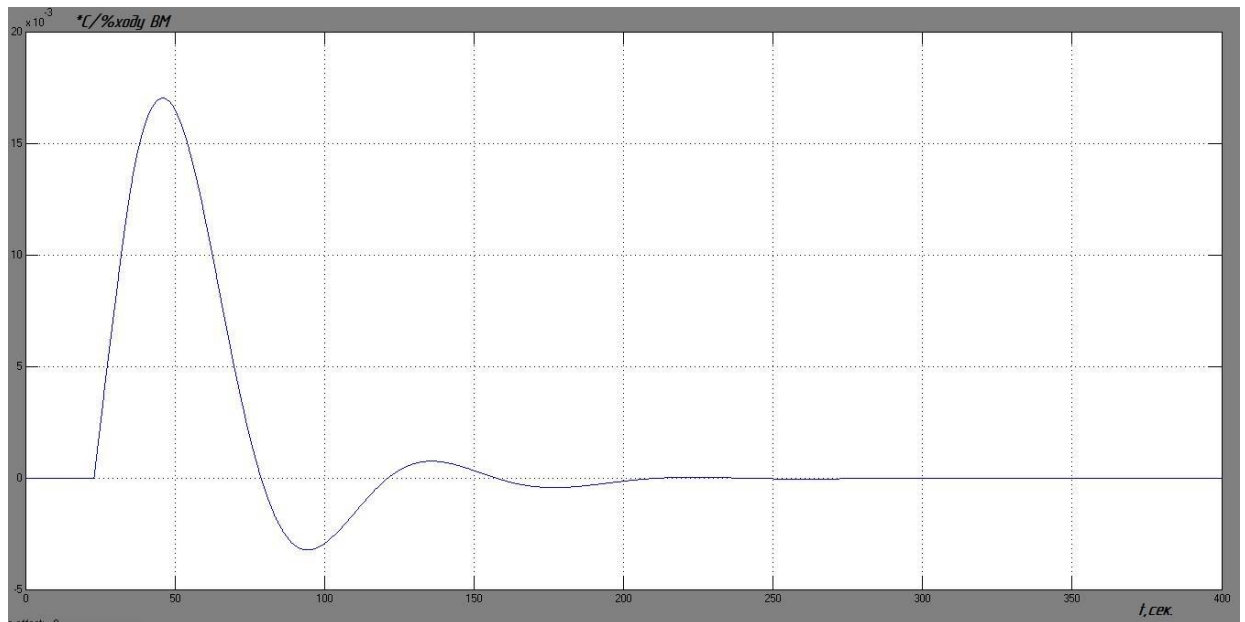


Рис. 3.13. Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»

Тепер розрахуємо АСР регулювання перегріву температури пари з сигналом із проміжної точки. Спочатку розраховуємо налаштування головного регулятора для еквівалентної передавальної функції об'єкта:

$$W_{об}^{Экв}(p) = \frac{W_{об}}{W_{оп}} = \frac{0,08e^{-23p}}{68p+1} \frac{55p+1}{0,1e^{-10p}} = \frac{(4,4p+0,08)e^{-13p}}{6,8p+0,1}$$

Налаштування ПІ-регулятора розраховуються за допомогою метода РАФХ:

$$K_p = 0,5; K_i = 0,1219; T_i = 4,10.$$

Звідси знаходимо налаштування диференціатора:

$$K_d = \frac{1}{K_p} = \frac{1}{0,5} = 2, T_I = T_d = 4.1$$

Передавальна функція диференціатора матиме наступні настройки:

$$W_d = \frac{K_d T_d p}{T_d p + 1} = 2 \frac{4.1 p}{4.1 p + 1}$$

Проведемо моделювання АСР перегріва пари з сигналом з проміжної точки та складаємо структурну схему для моделювання перехідних процесів (рис. 3.14).

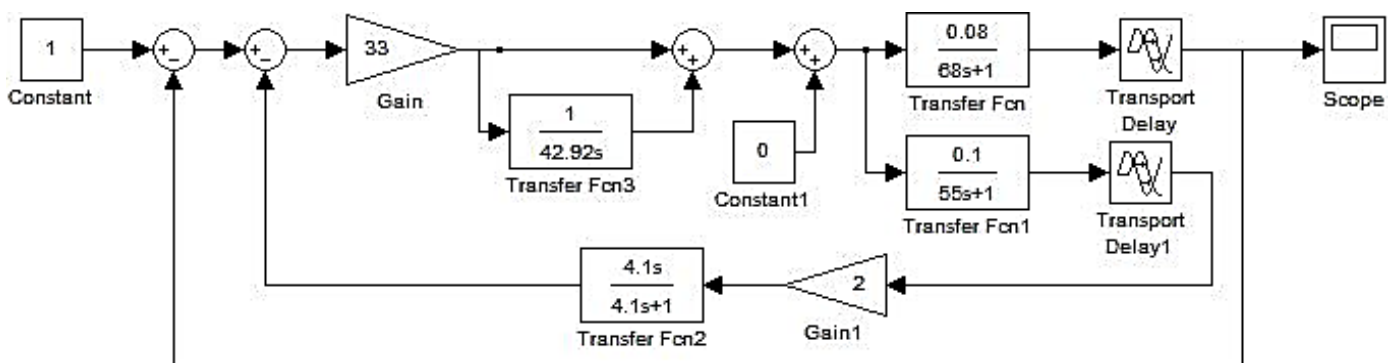
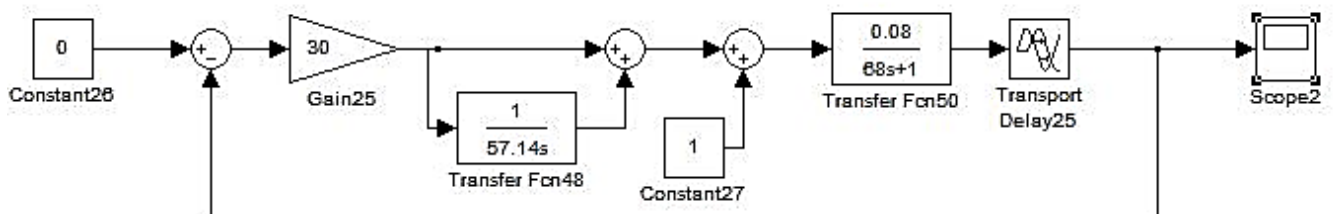


Рисунок 3.14 – Структурна схема моделювання перехідних процесів в АСР з вводом проміжної точки

Аналогічно проведемо розрахунки для одноконтурної системи. Налаштування ПІ-регулятора: $K_p = 30$; $K_I = 0,52$; $T_I = 57.14$

Складаємо структурну схему для моделювання перехідних процесів:



Результати моделювання одноконтурної, каскадної і АСР з проміжною точкою наведені на рисунках 3.15, 3.6.

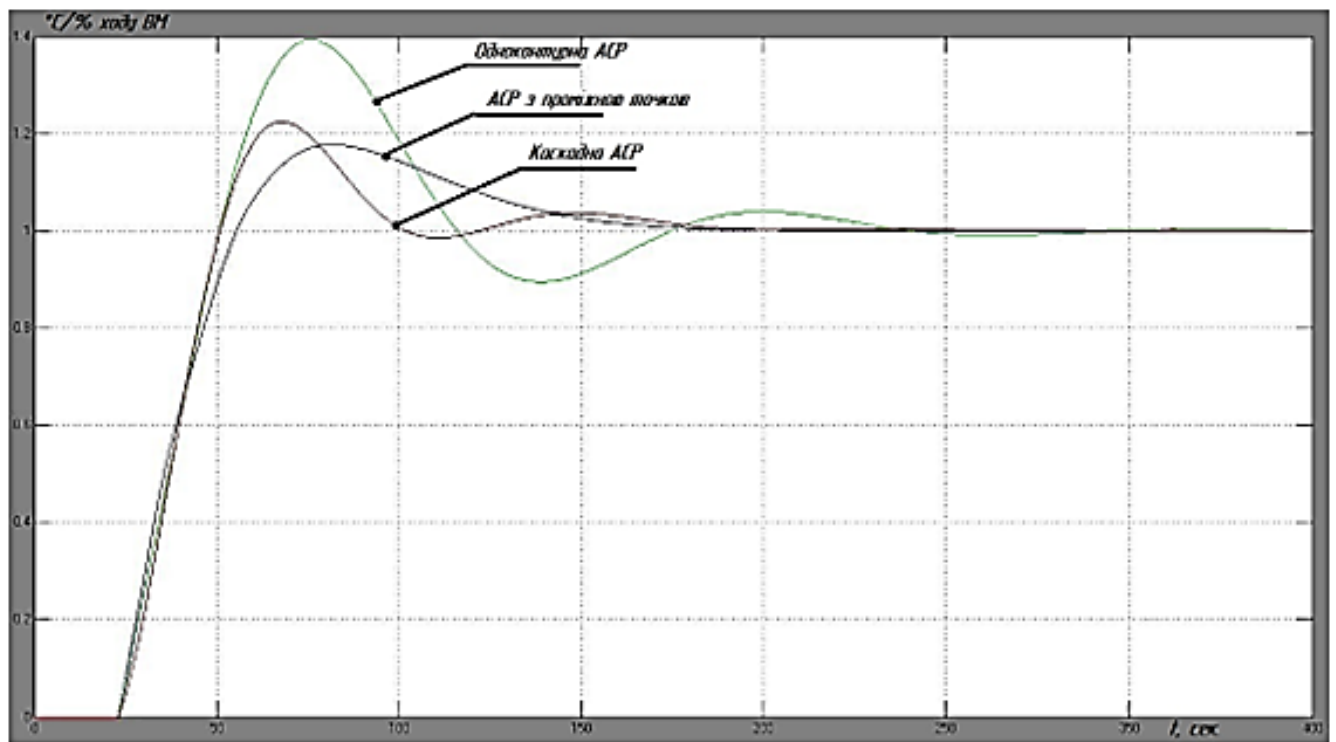


Рисунок 3.15 - Перехідний процес по каналу «завдання-вихід»

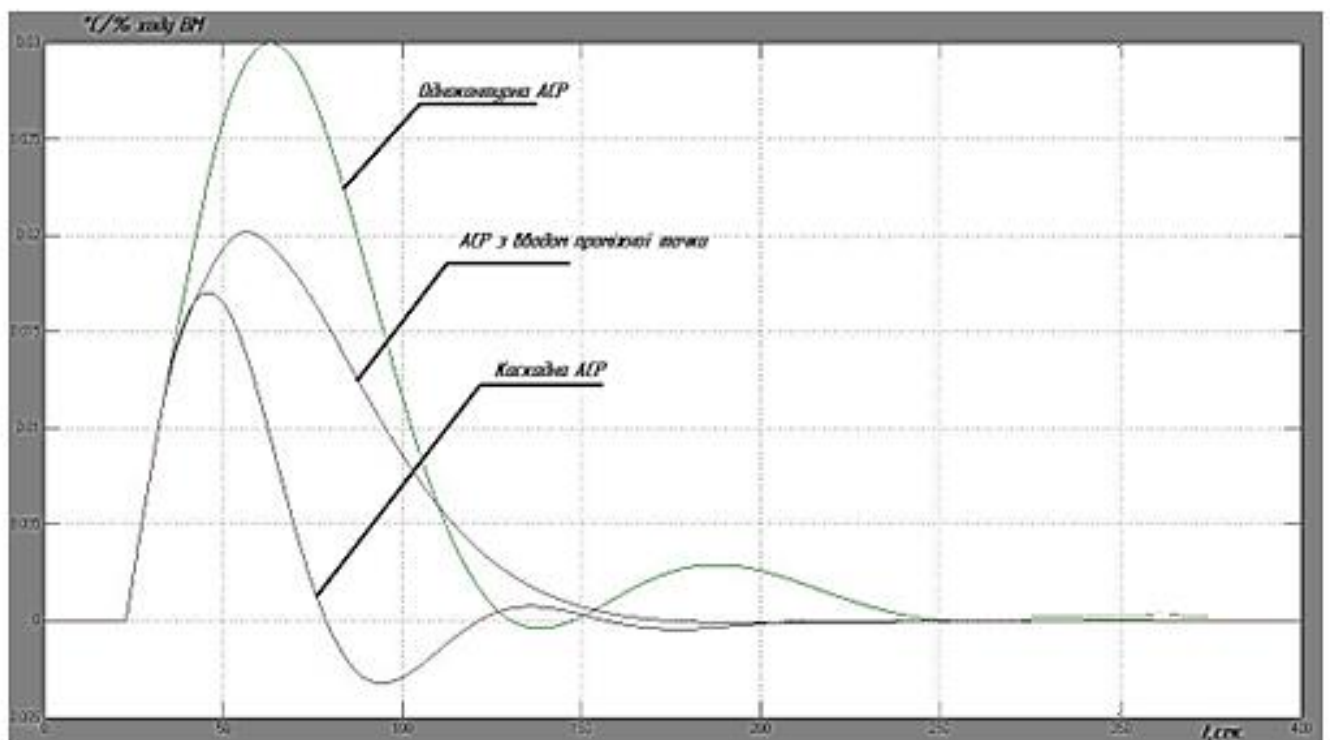


Рисунок 3.16 - Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»

Для зручності зведемо всі показники якості до таблиці 3.2. та 3.3.

Таблиця 3.2.– Показники якості перехідних процесів за завданням

«Завдання-вихід»	Одноконтурна АСР	Каскадна АСР	АСР з вводом проміжної точки
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,395	0,224	0,18
Ступінь затухання $\psi, \%$	89,87	82,14	100
Час регулювання $t_{рег}, сек$	223	170	155
Перерегулювання $\sigma, \%$	39,5	22,4	18

Таблиця 3.3. – Показники якості перехідних процесів за збуренням

«Збурення-вихід»	Одноконтурна АСР	Каскадна АСР	АСР з вводом проміжної точки
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,03	0,017	0,202
Ступінь затухання $\psi, \%$	100	80,88	100
Час регулювання $t_{рег}, сек$	233	150	157
Перерегулювання $\sigma, \%$	9,78	19,17	0

З приведених показників якості видно, що найкращою з системою регулювання по каналу «завдання-вихід» є АСР з вводом проміжної точки вона має найменший час регулювання, динамічну похибку, найбільшу степінь затухання. По каналу «збурення-вихід» АСР з введенням проміжної точки трошки поступається каскадній. Автоматичне регулювання перегріву пари повинно забезпечити підтримання температури перегрітої пари в заданих межах незалежно від навантаження котельного агрегату. Для забезпечення надійної та

економічної роботи котла і турбіни відхилення температури перегріву від номінального значення на котлах середнього та високого тисків не повинна перевищувати 10*С. "Автоматизація та модернізація промислових котлів" [14].

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			52

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУПЕРВІЗОРНОГО РІВНЯ ПТКЗА

Розробка ПЗ супервізорного рівня велась в середовищі Trace Mode 6.0. 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.

Для того щоб SCADA-програма мала змогу зчитувати інформацію з контролера та записувати інформацію необхідно попередньо запрограмувати функціональні блоки в контролері, тобто дати кожному параметру кожного блока свій власний ідентифікатор. Для цього в програмі користувача контролера кожному функціональному блоку привласнюється номер, тип блока, базова адреса параметрів та модифікатор кількості входів.

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.

Головний екран представляє собою мнемосхему. На ній показано усі параметри ходу ТП.

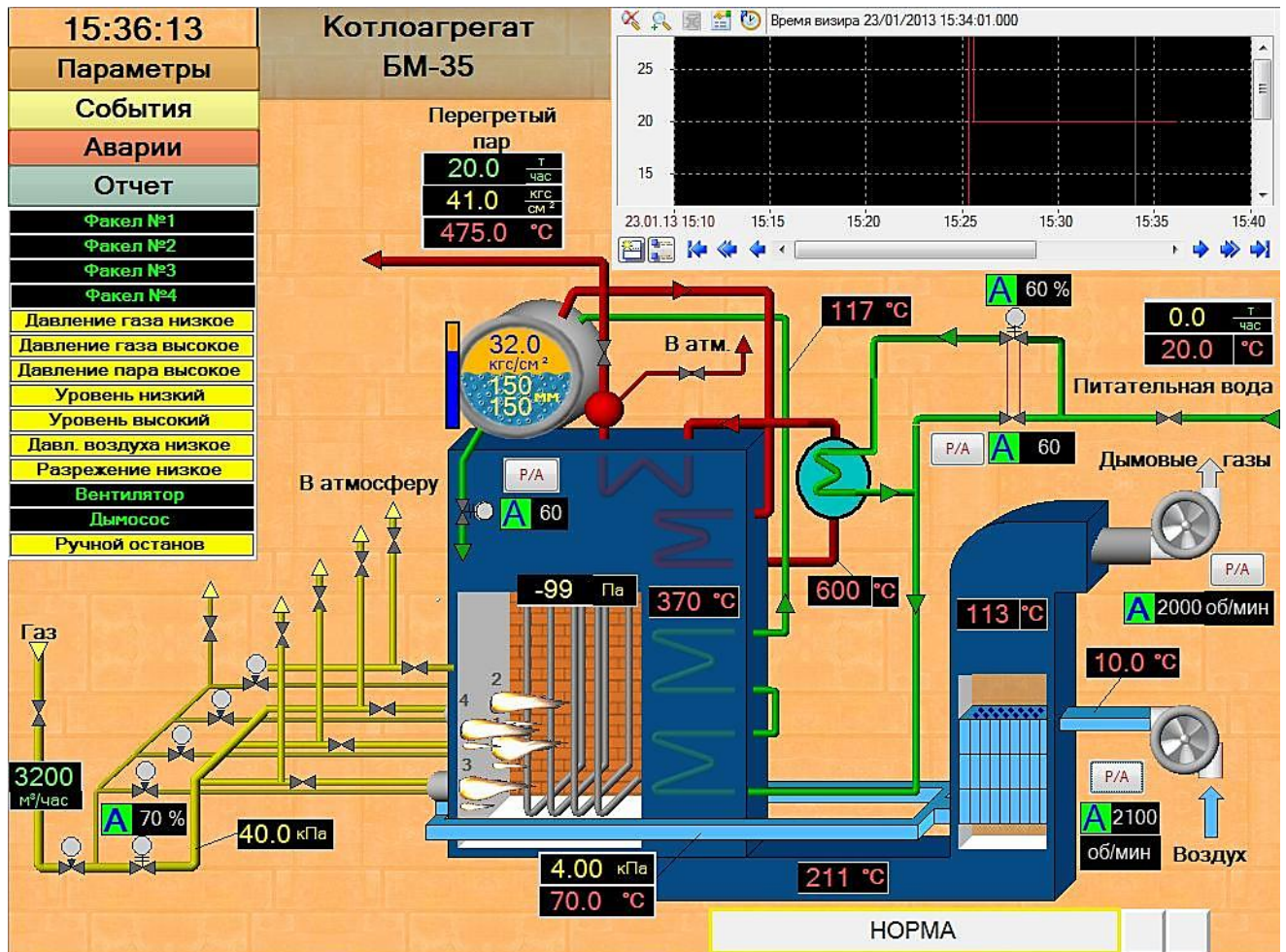


Рисунок 4.1 - Мнемосхема котлоагрегата БМ-35

З головного екрану можна потратити в наступні вікна:

- Параметри(зведені у таблицю)
- Події
- Аварії
- Звіт

У вікні параметрів можна побачити інформацію про хід ТП у зручному вигляді

На дисплеї Аварії відображаються і реєструються всі аварійні ситуації

Мнемосхема		Котел БМ-35. Журнал аварий			Параметры
					Журнал событий
					Квитированные Неактуальные
Имя	Время возникновения	Время исчезновения	Время квитирования	Статус	
☒ Вентилятор защ	19.11.2012 16:20:41.450	19.11.2012 16:20:48.050	...	норма	
☒ Давление в барабане ВbC защ	21.11.2012 10:30:35.000	21.11.2012 10:33:56.000	...	норма	
☒ Давление воздуха НИЗ защ	19.11.2012 16:19:51.350	19.11.2012 16:20:00.150	...	норма	
☒ Давление газа ВbC защ	19.11.2012 16:20:12.250	19.11.2012 16:20:18.300	...	норма	
☒ Давление газа НИЗ защ	19.11.2012 16:20:05.100	19.11.2012 16:20:12.250	...	норма	
☒ Дымосос защ	19.11.2012 16:20:48.050	19.11.2012 16:20:55.200	...	норма	
☒ Кнопка СТОП защ	19.11.2012 16:21:07.350	19.11.2012 16:21:13.400	...	норма	
☒ Разрежение НИЗ защ	19.11.2012 16:20:19.400	19.11.2012 16:20:25.500	...	норма	
☒ Уровень ВbC защ	19.11.2012 16:20:34.300	19.11.2012 16:20:39.250	...	норма	
☒ Уровень НИЗ защ	19.11.2012 16:20:27.150	19.11.2012 16:20:32.100	...	норма	
☒ Факел №1 защ	20.11.2012 13:29:32.000	20.11.2012 13:29:40.000	...	норма	
☒ Факел №2 защ	19.11.2012 16:21:34.350	19.11.2012 16:21:37.100	...	норма	
☒ Факел №3 защ	19.11.2012 16:21:23.300	19.11.2012 16:21:27.200	...	норма	

Рисунок 4.4 - Дисплей аварий

Також можна переглядати різноманітні тренди, які будуть показувати зміну параметра протягом певного часу.

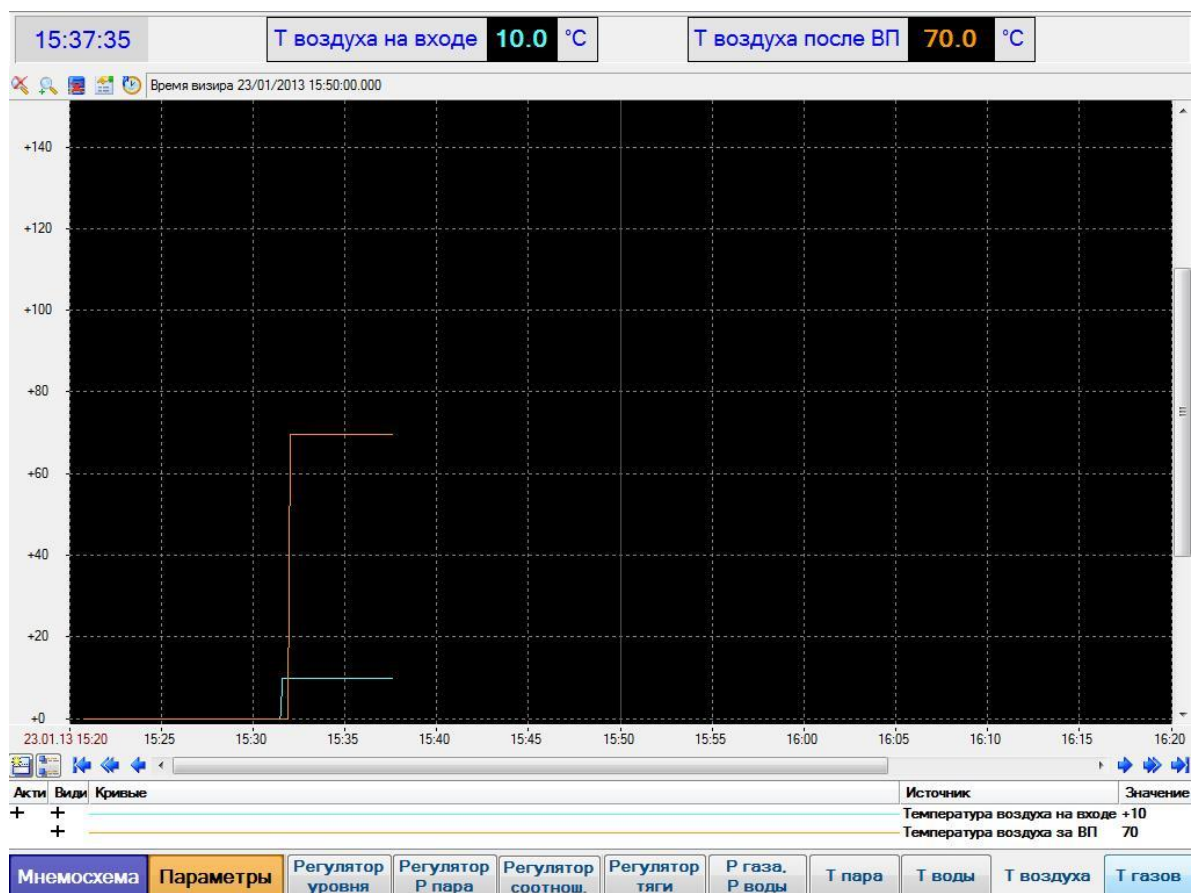


Рис. 4.5. Тренди

ВИСНОВКИ

В дипломному проекті розроблено систему автоматизації котлоагрегату БМ-35 ТЕЦ Смілянського цукрового заводу. В ході роботи було проведене дослідження об'єкту управління, сформовані вимоги до системи автоматизації. Проведено синтез АСР температури перегріву пари з вводом похідної з проміжної точки, що дасть змогу точно регулювати температуру перегрітої пари на виході з котлоагрегата. Перехідні процеси, які змодельовані у середовищі Simulink показують ,що час регулювання та динамічна похибка є найменшими в порівнянні з каскадною та одноконтурною системами. Було розроблене програмне також супервізорного рівня ПТКЗА за допомогою SCADA Trace Mode.

					ХНТУ 151.КРБ.24.005 ПЗ	
		№	І			57

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДНАОП 0.00-1.08-94 "Правила будови та безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів", 1994.
2. ДНАОП 0.00-1.11-90 "Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води", 1990.
3. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. – Кн. 3: Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики. Вольчин І.А., Дунаєвська Н.І., Чернявський М.В. та ін., Київ. 2013, 400с.
4. "Automation of boilers in industrial plants", John Smith, Industrial Press, New York, 2018, 200с.
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. "Modernization of industrial boilers: Theory and Practice" Emily Johnson, Springer, Berlin, 2015, 250
8. "Process Automation Handbook: A Guide to Theory and Practice" by Jonathan Love, Springer, 2007, 248с.
9. "Instrumentation and Control Systems" by William Bolton, 2004, Newnes (імпринт Elsevier), 304с
10. "Industrial Instrumentation and Control Systems" by Prasad Y. R. CRC Press, Бока-Ратон, Флорида, США, 2004, 211с.
11. "Boiler Control Systems Engineering" by Jerry Gilman, McGraw-Hill Education, Нью-Йорк, 2005 243с
12. "Practical Boiler Control and Instrumentation for Engineers and Technicians" by Tony Bryk, Wiley, Нью-Йорк, 2004 253с.

13. "Основи автоматизації технологічних процесів" під редакцією І.М. Данькевича, НТУ "ХП" (Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"), Харків, 223с.

14. "Автоматизація та модернізація промислових котлів" Василь Петрович Ігнатов, НТУУ "КП", Київ, 2009, 300с.

15. "Industrial Boilers: Automation and Modernization Techniques" David Brown, Wiley, London, 2019, 300с.

16. "Автоматизація технологічних процесів і виробництв" В.П. Ігнатова, Видавництво "Вісник НТУУ 'КП'", Київ, 284с.

17. Теплотехніка Б.Х. Драганов, А.А. Долінський, А.В. Міщенко, Є.М. Письменний; За ред. Б.Х.Драганова. – К.: ТОВ «Астра Пол», 2005. – 503 с.

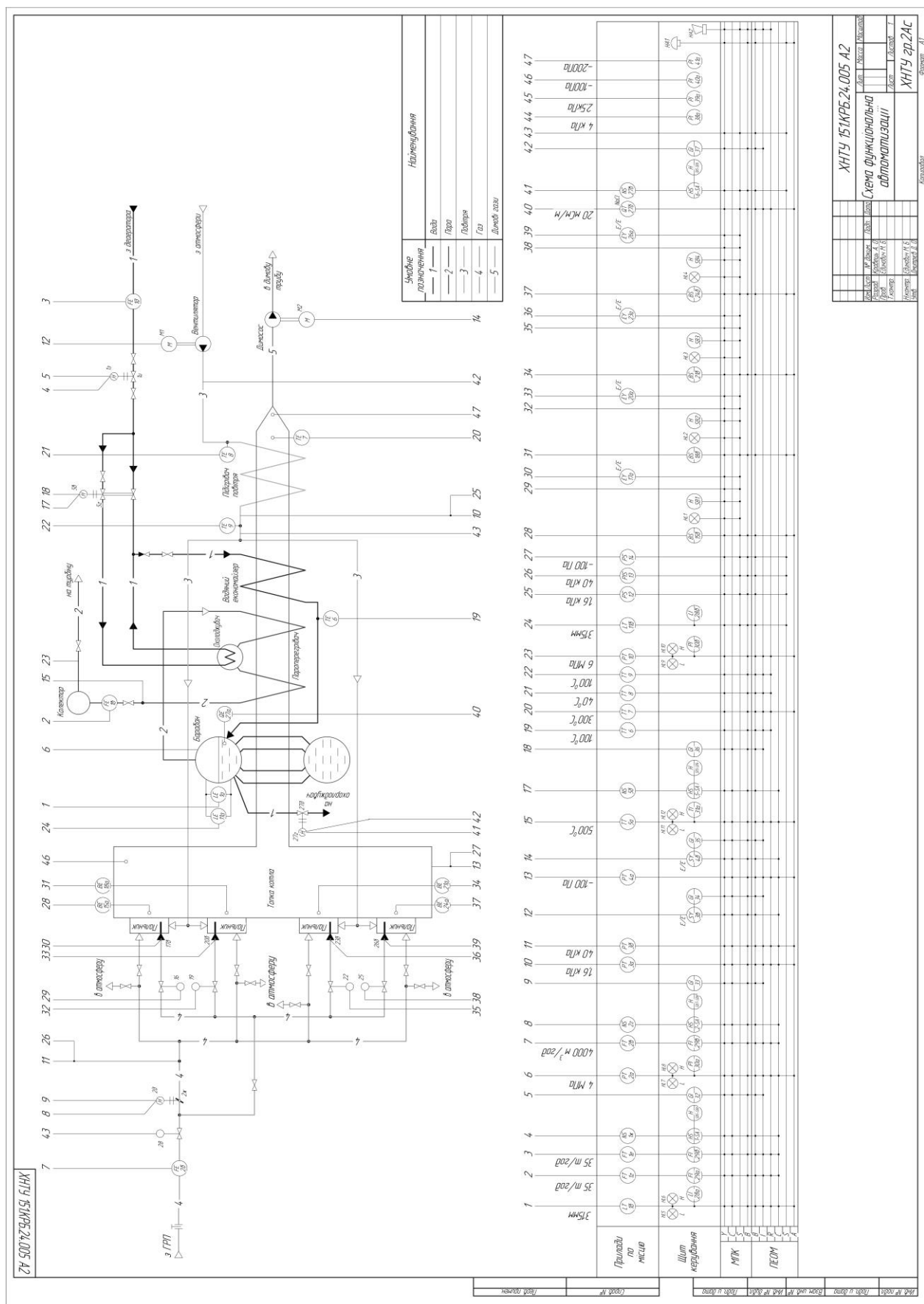
18. Борисов М.А. Реабілітація ТЕС. Забезпечення сталої роботи об'єднаної енергосистеми України /Энергетика и электрификация. – 2004. – № 3. – С. 2–3.

19. Стефани Е. П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. – М. «Энергия», 1972.

20. Matlab URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
(01.06.2024)

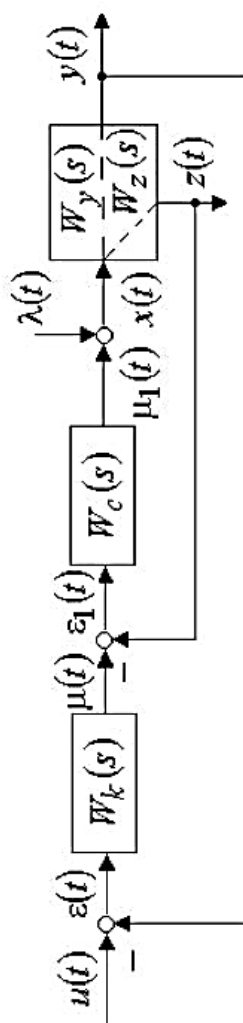
21. Simulink URL: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>
(01.06.2024)

Функціональна схема автоматизації

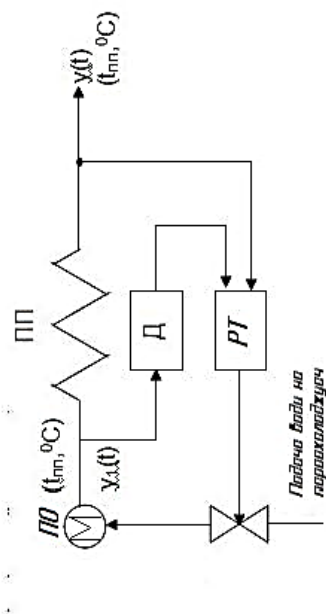


Структурні схеми АСР

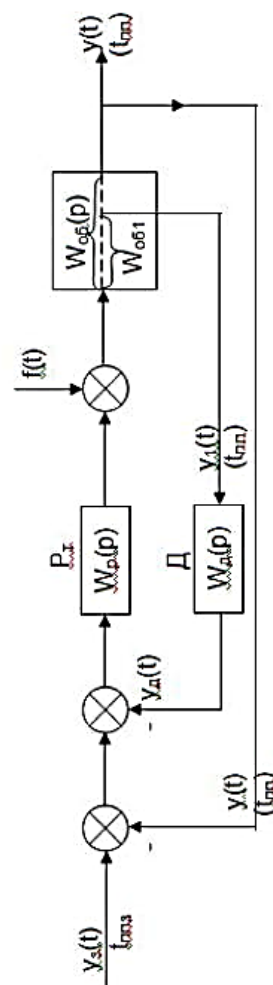
СТРУКТУРНІ СХЕМИ АСР



КАСКАДНА АСР



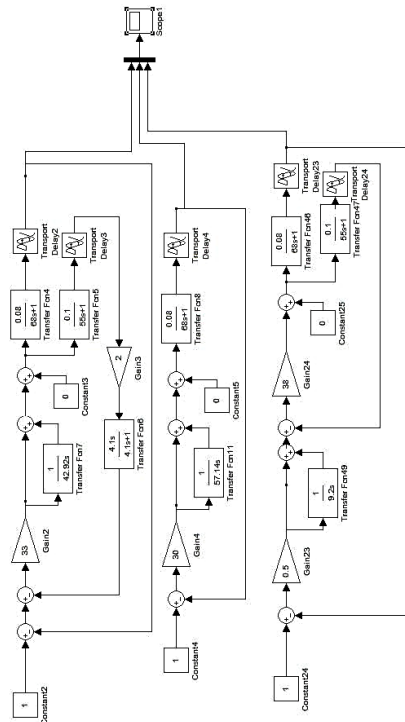
ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АСПР З ДОДАТКОВИМ СИГНАЛОМ З ПРОМІЖНОЇ ТОЧКИ



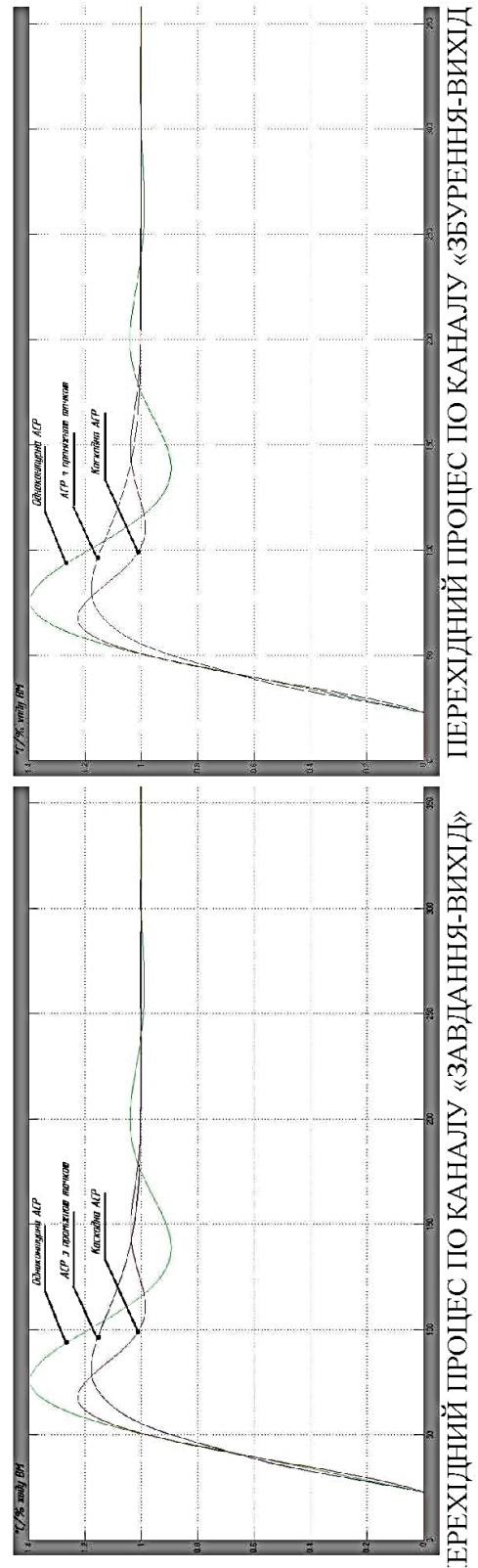
СТРУКТУРНА СХЕМА АСР З ДОДАТКОВИМ СИГНАЛОМ З ПРОМІЖНОЇ ТОЧКИ

Моделювання АСР котла БМ-35

МОДЕЛЮВАННЯ АСР КОТЛА БМ-35



СТРУКТУРНА СХЕМА ДЛЯ ПОРІВНЯННЯ АСР



63

ТРЕНДИ