

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

Теплоенергетичний

Автоматизації теплоенергетичних процесів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Автоматизоване управління
технологічними процесами»**

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

на тему: «Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТО-81

Резніченко Дмитро Ігорович _____

Керівник:

Викладач,

Логвінська Карина Аркадіївна _____

Консультант з Охорони Праці:

Професор, д.т.н.,

Глива А.В. _____

Рецензент:

Провідний науковий співробітник

Інституту загальної енергетики

Національної академії наук України, к.т.н.

Тесленко І.О. _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент Резніченко Д.І.

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Теплоенергетичний
Автоматизації теплоенергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Автоматизоване управління технологічними процесами»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт
студенту е ні енко мит
го ови

1. Тема проєкту «Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем», керівник проєкту Логвінська К.І., викладач, затверджені наказом по університету від «08» червня 2022 р. № 965-с

2. Термін подання студентом проєкту «15» червня 2022 р.

3. Вихідні дані до проєкту:

Літературні джерела. Витрата живильної води: 3950 т/год. Робочий тиск перегрітої пари: 10 МПа. Температура перегрітої пари: 510 °С.

4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ. Опис АСУТП котельних систем. 2. Інженерний розрахунок САР рівня у барабані парового котла. Інженерний розрахунок РВК САР рівня у барабані парового котла.3. Імітаційне структурне моделювання САР рівня у барабані парового котла. Завдання до віртуальних лабораторних робіт на полігоні імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем. Техніка безпеки. Результати та висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Схема автоматизації функціональна, графічні ілюстрації до розрахункової частини, схема структурна ПТК.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З питань охорони праці	професор, д.т.н. В.А. Глива		
З нормоконтролю	ст. викладач О.В.Некрашевич		

7. Дата видачі завдання «02» травня 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	<i>Пояснювальна записка. Вступ. Розділ 1.</i>	<i>12.05.2022</i>	
	<i>Аркуш 1. Схема структурна ПТК.</i>	<i>17.05.2022</i>	
	<i>Аркуш 2. Функціональна схема автоматизації. Замовна специфікація засобів вимірювання.</i>	<i>22.05.2022</i>	
	<i>Пояснювальна записка. Розділ 2. Проєктування АСУ ТОВ.</i>	<i>25.05.2022</i>	
	<i>Аркуш 3. Схема принципова електрична.</i>	<i>29.05.2022</i>	
	<i>Розрахунок і моделювання САР.</i>	<i>03.06.2022</i>	
	<i>Підпис керівника дипломного проєкту.</i>	<i>13.06.2022</i>	
	<i>Нормоконтроль</i>	<i>14.06.2022</i>	
	<i>Попередній захист дипломного проєкту</i>	<i>17.06.2022</i>	
	<i>Захист</i>	<i>20.06.2022</i>	

Студент

Резніченко Д.І.

Керівник

Логвінська К.А.

АНОТАЦІЯ

Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем призначений для: 1) використання в навчальному процесі кафедри АТЕП (наскрізна віртуальна комплексна лабораторна робота з дисциплін ІВС (2 курс), АСУ (3 курс), СТА (4 курс)); 2) використання в якості програмно-технічного симулятора при проектуванні, модернізації і тиражуванні АСУТП котельних систем.

Програмно-модельним інструментарієм розробки полігону імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем є: 1) альбом моделей «Моделювання елементів і структур промислових САР в СКМ Matlab Simulink» для імітаційного та функціонального моделювання САР котельних систем; 2) програмно-технічний SIL-симулятор АТК на платформі Matlab Simulink – CoDeSys – WebStudio для імітаційного структурного моделювання АТК котельних систем.

Задачами розробки є: 1) Опис АТК котельних систем; 2) виконати інженерний розрахунок САР рівня у барабані парового барабанового котла; 3) виконати функціональне моделювання САР рівня у барабані парового барабанового котла в СКМ Matlab Simulink; 4) виконати структурне моделювання САР рівня у барабані парового барабанового котла в програмно-технічному SIL-симуляторі на платформі СКМ Matlab Simulink/CoDeSys/ WebStudio.

Склад полігону імітаційного SIL-моделювання котельних систем: 1) посібник «Порядок роботи з полігоном імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем» з результатами розрахунків, імітаційного, функціонального і структурного моделювання САР рівня у барабані парового барабанового котла; 2) файл проекту функціонального моделювання САР рівня у барабані парового барабанового в СКМ Matlab Simulink; 3) сконфігурований програмно-технічний SIL-симулятор – папка проекту WebStudio з структурним моделюванням HMI/SCADA-функціональності САР рівня у барабані котла.

ANNOTATION

Landfill simulation SIL-modeling ATC boiler systems is designed for: 1) use in the educational process of the Department of ATEP (end-to-end virtual complex laboratory work in the disciplines of IVS (2nd year), ACS (3rd year), STA (4th year)); 2) use as a software and hardware simulator in the design, modernization and replication of control systems of boiler systems.

The software and model tools for the development of the simulation SIL-modeling range of ATC boiler systems are: 1) album of models "Modeling of elements and structures of industrial ATS in SCM Matlab Simulink" for simulation and functional modeling of ATS of boiler systems; 2) software and hardware SIL-simulator ATC on the platform Matlab Simulink - CoDeSys - WebStudio for simulation structural modeling of ATC boiler systems.

The objectives of the development are: 1) Description of ATC boiler systems; 2) perform engineering calculation of the SAR level in the drum of the steam drum boiler; 3) perform functional modeling of the SAR level in the drum of the steam drum boiler in SCM Matlab Simulink; 4) perform structural modeling of the SAR level in the drum of the steam drum boiler in the software and hardware SIL-simulator on the SCM platform Matlab Simulink / CoDeSys / WebStudio.

The composition of the simulation landfill SIL-modeling of boiler systems: 1) manual "Procedure for working with the simulation SIL-modeling range of ATC boiler systems" with the results of calculations, simulation, functional and structural modeling of SAR level in the drum of the steam drum boiler; 2) project file of functional simulation of SAR level in the drum drum in SCM Matlab Simulink; 3) configured software and hardware SIL-simulator - WebStudio project folder with structural modeling of HMI / SCADA-functionality of the SAR level in the boiler drum.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування;
АТК – автоматизований технологічний комплекс;
АФЧХ – амплітудо-фазо-частотна характеристика;
ВЕК ВН – водогрійний електродний котел високої напруги;
ВК – вимірювальний канал;
ВМ – виконавчий механізм;
ІМ – імітаційне моделювання;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
НП – нормуючий перетворювач;
ПЛК – програмований логічний контролер;
ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації;
РО – регульований орган;
РС – робоче середовище;
САР – система автоматичного регулювання;
ТОК – технологічний об'єкт керування;
ТОУ – технологічний об'єкт управління;
ТПО – термоперетворювач опору;
ФБ – функціональний блок;
ЦП – центральний процесор.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

D – діапазон вимірювань приладу;

D_y – внутрішній діаметр;

P_n – умовний тиск;

$K_{об}$ – коефіцієнт підсилення об'єкта;

$T_{об}$ – стала часу об'єкта;

$t_{рег}$ – час регулювання;

$W_{нав}$ – функція передачі контуру керування електричним навантаженням;

$W_{темп}$ – функція передачі контуру регулювання температури;

δ – відносна зведена похибка приладу;

Δ – абсолютна похибка приладу;

$\Delta_{дин}$ – динамічна похибка;

$\Delta_{ст}$ – статична похибка;

σ – перерегулювання;

Ψ – ступінь затухання;

$T_{ср}$ – час напрацювання на відмову;

P_B – вірогідність безвідмовної роботи;

P_B – вірогідність відновлення роботи;

P_C – вірогідність безвідмовної роботи з урахуванням відновлення;

T_B – час відновлення;

$T_{доп}$ – допустимий час роботи системи;

$K_{ГОТ}$ – коефіцієнт готовності;

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Полігон імітаційного SIL-моделювання
АТК котельних систем»**

Київ – 2022 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1. ОПИС АСУТП ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ.....	14
1.1. Опис і аналіз ТОУ	14
1.2. Перелік і опис технологічних параметрів АСУТП котельних систем	18
1.3. Перелік і опис функцій АСУТП котельних систем	20
1.4. Опис схеми функціональної автоматизації котельних систем	26
1.5. Опис схеми структурної ПТК АСУТП котельних систем	37
1.6 Перелік і аналіз джерел економічної ефективності АТК котельних систем	39
2. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК ОДНОКОНТУРНОЇ ТРИІМПУЛЬСНОЇ САР РІВНЯ У БАРАБАНІ ПАРОВОГО БАРАБАНОВОГО КОТЛА	41
2.1 Інженерний розрахунок ВК одноконтурної триімпульсної САР рівня у барабані парового котла	41
2.1.1. Перелік ВК ІВС АСУТП котельних систем	41
2.1.2. Опис схем структурних ВК САР рівня у барабані котла	42
2.1.3. Опис схем функціональних ВК САР рівня у барабані котла	42
2.1.4. Опис схем принципових електричних ВК САР рівня у барабані котла	44
2.1.5. Опис схем монтажу технічних засобів ВК САР рівня у барабані котла	45
2.1.6. Опис схем структурних надійності ВК САР рівня у барабані котла	46

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							4
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

2.1.7. Метрологічні розрахунки ВК САР рівня у барабані парового котла	46
2.1.8. Розрахунки надійності ВК САР рівня у барабані парового котла	47
2.1.9. Імітаційне функціональне моделювання фільтрації даних вимірювання в САР рівня у барабані парового котла в СКМ Matlab Simulink	48
2.1.10. Перелік функцій первинної обробки даних в ПЛК	50
2.1.11. Реалізація функцій первинної обробки даних в ПЛК	51
2.1.12. Висновки про роботоздатність ВК САР рівня у барабані парового котла	53
2.2. Інженерний розрахунок РВК САР рівня у барабані парового котла	53
2.2.1. Перелік САР в АТК котельних систем	53
2.2.2. Опис схеми структурної САР рівня у барабані парового барабанового котла	57
2.2.3. Опис схеми функціональної САР рівня у барабані парового барабанового котла	58
2.2.4. Опис схеми структурної регулювального каналу САР рівня у барабані барабанового парового котла	58
2.2.5. Опис схеми структурної виконавчого каналу рівня у барабані барабанового парового котла	59
2.2.6. Опис схеми структурної ПТЗ САР рівня у барабані барабанового парового котла	60
2.2.7. Опис схеми структурної надійності реалізації управляючої функції САР рівня у барабані барабанового парового котла	62

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							5
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

2.2.8. Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР рівня у барабані парового котла	62
2.2.9. Розрахунок регуляторів САР рівня пароводяної суміші у барабані парового котла	63
2.2.10. Імітаційне функціональне моделювання САР рівня у барабані котла в СКМ Matlab Simulink	64
2.2.11. Аналіз чутливості САР рівня у барабіна котла до параметричних збурень	67
2.2.12. Висновки про роботоздатність САР рівня у барабані котла	69
3. ІМІТАЦІЙНЕ СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САР РІВНЯ У БАРАБАНИ ПАРОВОГО БАРАБАНОВОГО КОТЛА	70
3.1. Схема структурна полігону імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем	70
3.2. Функціональне моделювання універсального ОУ в СКМ Matlab Simulink	70
3.3 Реалізація контролерної функціональності універсальної САР в софтПЛК CoDeSys	71
3.4. Реалізація супервізорної функціональності САР рівня у барабані котла в HMI/SCADA-системі WebStudio. HMI-Standard функціональність	72
3.5. Реалізація супервізорної функціональності САР рівня у барабані котла в HMI/SCADA-системі WebStudio. MES-Lite функціональність.	74
3.6. Структурне моделювання АТК в програмно-технічному SIL-симуляторі	76
4. ЗАВДАННЯ ДО ВІРТУАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ НА ПОЛІГОНІ ІМІТАЦІЙНОГО SIL-МОДЕЛЮВАННЯ АТК ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ	79
4.1. Перелік завдань до віртуальної лабораторної роботи з дисципліни ІВС на полігоні імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем	79
4.2. Перелік завдань до віртуальної лабораторної роботи з дисципліни АСУ на полігоні імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем.	80

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							6
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

4.3. Перелік завдань до віртуальної лабораторної роботи з дисципліни СТА на полігоні імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем.	81
5. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ПОЛІГОНОМ ІМІТАЦІЙНОГО SIL-МОДЕЛЮВАННЯ АТК КОТЕЛЬНИХ СИСТЕМ	81
5.1 Охорона праці	81
5.2 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи.	82
5.3 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи	83
5.4 Ергономічні та гігієнічні вимоги і правила безпеки під час експлуатації електронно-обчислювальних машин.....	85
5.5 Вимоги щодо організації робочих місць користувачів ЕОМ	86
5.6 Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам	88
5.7 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно–обчислювальних машин.....	89
5.8 Виробничий шум.....	90
5.9 Пожежна безпека та профілактика	91
РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ	94

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							7
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем призначений для: 1) використання в навчальному процесі кафедри АТЕП (наскрізна віртуальна комплексна лабораторна робота з дисциплін ІВС (2 курс), АСУ (3 курс), СТА (4 курс)); 2) використання в якості програмно-технічного симулятора при проектуванні, модернізації і тиражуванні АСУТП котельних систем.

Програмно-модельним інструментарієм розробки полігону імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем є: 1) альбом моделей «Моделювання елементів і структур промислових САР в СКМ Matlab Simulink» для імітаційного та функціонального моделювання САР котельних систем; 2) програмно-технічний SIL-симулятор АТК на платформі Matlab Simulink – CoDeSys – WebStudio для імітаційного структурного моделювання АТК котельних систем.

Задачами розробки є: 1) Опис АТК котельних систем; 2) виконати інженерний розрахунок САР рівня у барабані парового барабанового котла; 3) виконати функціональне моделювання САР рівня у барабані парового барабанового котла в СКМ Matlab Simulink; 4) виконати структурне моделювання САР рівня у барабані парового барабанового котла в програмно-технічному SIL-симуляторі на платформі СКМ Matlab Simulink/CoDeSys/WebStudio.

Склад полігону імітаційного SIL-моделювання котельних систем: 1) посібник «Порядок роботи з полігоном імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем» з результатами розрахунків, імітаційного, функціонального і структурного моделювання САР рівня у барабані парового барабанового котла; 2) файл проекту функціонального моделювання САР рівня у барабані парового барабанового в СКМ Matlab Simulink; 3) сконфігурований програмно-технічний

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							8
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

SIL-симулятор – папка проекту WebStudio з структурним моделюванням HMI/SCADA-функціональності САР рівня у барабані котла.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							9
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

1.1. Опис і аналіз котельних систем

Котельні системи – це котли, що використовуються у промисловості і енергетиці. У промисловості використовуються водогрійні котли. Водогрійні котли слугують для нагрівання води до відповідної температури, яка задається споживачами гарячого водопостачання. В енергетиці використовуються парові котли. У паровому котлі вода випаровується і утворена пара додатково перегрівається у пароперегрівачі. Перегріта пара прямує на турбіну. Ротор турбіни обертається за рахунок обертання лопаток турбіни під тиском пари. Спільною ознакою котлів є наявність топки. У топці згорає паливо, виділена теплота згорання передається воді. Енергетичні парові котли використовуються у ролі парогенератору на ТЕС та ТЕЦ. Промислові парові котли використовуються для генерації насиченої пари для використання у промислових процесах на підприємствах, наприклад дуже широко використовуються на цукрових заводах.

Парові котли поділяються на барабанові енергетичні котли та прямоточні котли. Барабанові котли у своєму складі мають барабан у якому і відбувається пароутворення. А у прямоточних котлах вода що проходить через трубопровід котла повністю перегрівається у пару і не повертається у робочий котел, саме тому він називається “прямоточним”. У той час як у барабанових котлах вода з барабану проходить декілька циклів циркуляції. Прямоточні котли зазвичай більш прості у налагодженні і використовуються більш широко ніж барабанові. Також прямоточний котел може використовуватись як допоміжна (резервна) установка у випадку коли основне обладнання у вигляді наприклад барабанового енергетичного котла ТЕЦ чи ТЕС завантажений. Якщо розглядати водогрійні котли, то їх задача полягає у нагріванні води до певної температури якої потребує система споживача. Найчастіше водогрійні котли використовуються як нагрівальні установки для підігріву води і подальшої подачі у систему ЦО або промислових споживачів гарячої води.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							10
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

Енергетичний барабановий котел – це підвид промислових котлів що застосовується для генерації потоку насиченої та перенасиченої пари. Такі котли дуже широко використовуються у енергетиці так як є досить ефективними та потужними. Частіше усього барабановий енергетичний котел є невід’ємною частиною енергоблоку електростанції. Також досить широко використовується на цукровому виробництві для генерації неперервного потоку пари заданої температури. Автоматизація барабанного котла включає у себе регулювання рівня у барабані, рівень є важливим аспектом у продуктивності і надійності котла. До складу енергоблоку входить котел (парогенератор), турбіна (турбогенератор), електрогенератор. Вироблена і перегріта котлом пара тисне на лопатки турбіни, в наслідок чого обертається ротор турбіни, механічно з’даний з ним ротор енергогенератора.

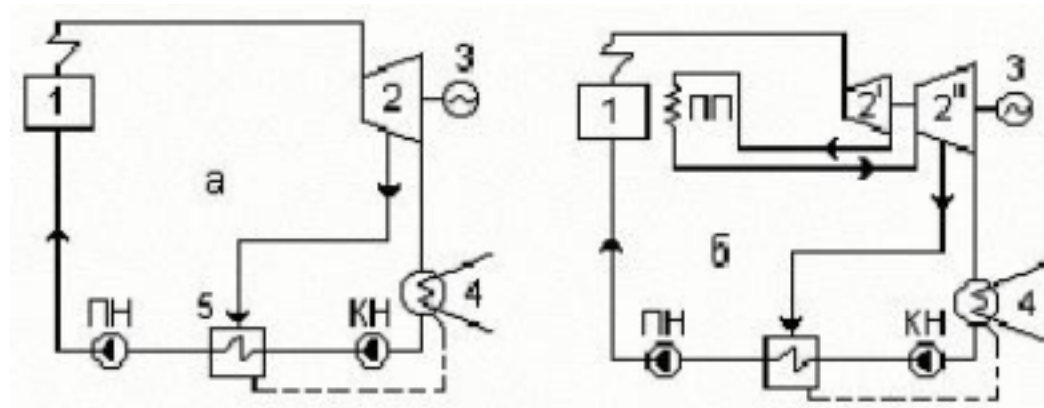


Рис. 1.1 Схема паротурбінної устави

а) – без проміжного вторинного паропідігрівання.

б) – з проміжним вторинним паропідігріванням.

1 – котел.

2 – турбіна.

3 – електрогенератор.

4 – конденсатор.

5 – підігрівач води.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		11

КН – конденсатний насос.

ПН – підйомний насос.

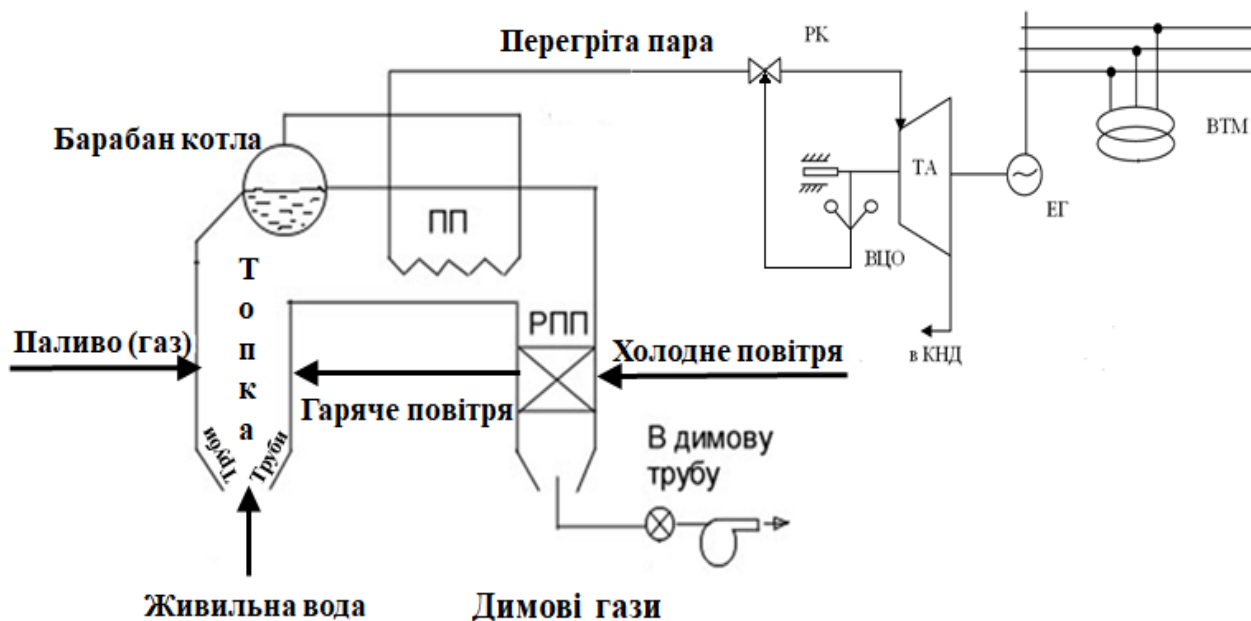


Рис 1.2 Схема структурна енергоблоку (моноблоку) з барабановим КОТЛОМ

Паровий котел складається з топки з пальниками, спускної шахти, пароперегрівача і барабану, який змонтований у верхній частині котла. У підйомній шахті котла на стінках змонтовані зливні та напірні труби. Труби від'єднуються безпосередньо до барабана. По трубах за допомогою насосів рухається вода і циркулює з барабану у опускні труби і назад по підйомним трубам. Пароперегрівач (ПП) під'єднується до верхньої частини барабану котла. Паровий колектор під'єднаний з однієї сторони до пароперегрівача і з іншої до робочого простору турбіни (ТА). Ротор турбіни механічно поєднаний з електрогенератором (ЕГ). У пальников, що змонтовані у топці, подається газ. До топки також поступає повітря яке підігрівається у рекуперативному підігрівачі (РПП), для підвищення коефіцієнту корисної дії. Живильна вода подається у водяний економайзер де підігрівається перед тим як поступити у

труби. Пара з турбіни повертається у конденсатора (КНД), після якого конденсована вода повторно йде у робочий цикл котла.

У топці газ (паливо) змішується з повітрям і згорає. Від теплоти згорання вода у труб нагрівається і під дією різниці тиску у трубі і у барабані підіймається циркулює назад у барабана котла. У барабані вода випаровується і по утворена пароводяна суміш заповнює простір котла. Вода залишається у нижній частині котла, а насичена пара накопичується у верхній частині. Далі пара під тиском у барабані котла потрапляє у пароперегрівач (ПП), де стає сухою. Після ПП перегріта суха пара прямує у паропровід турбіни і далі у турбіну. У робочому просторі турбіни під тиском на лопатки турбіни ротор турбіни починає обертатися і передає своє механічне обертання ротору електрогенератору – утворюється електрорушійна сила (ерс). Потужність електрогенератору вимірюється ВТМ – ватметром. Оберти на турбіни вимірюються і змінюється за допомогою регулятор частоти турбіни (РТБ), також відомий як регулятор Ватта, РТБ через клапан регулювання змінює витрату пари через турбіну.

Електростанція може мати більше ніж один енергоблок. Енергоблоки усіх ТЕЦ об'єднані у одну енергосистему. Електроагрегати об'єднані паралельно, тобто всі енергоблоки виробляють змінний струм напруги 220 В фазовий і 380 В лінійний, при чому фазовий має частоту 50 Гц. Напруга і частота струму повинні мати сталі значення для коректної і безпечної роботи системи енергоспоживача. Тобто величина виробленого струму повинна збільшуватись або зменшуватись відповідно до значення яке потребують усі споживачі енергосистеми разом.

Особливістю системи є те що кількість споживачі може бути випадковою у залежності від багатьох факторів, тобто струм який енергосистема має виробити є невідомою наперед. Цей струм неможливо розрахувати чи передбачити наперед математичним чи аналітичним шляхом. Отже задача

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							13
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

системи це вироблення відповідної кількості струму у залежності від кількості споживачів і їх характеристик, яке попередньо невідоме.

Проблема стабілізації вихідного струму енергосистеми, до заданого значення, може бути вирішена за допомогою автоматичних систем регулювання (АСР) матеріального балансу як складових частин системи автоматичного управління (САУ) енергоблоком.

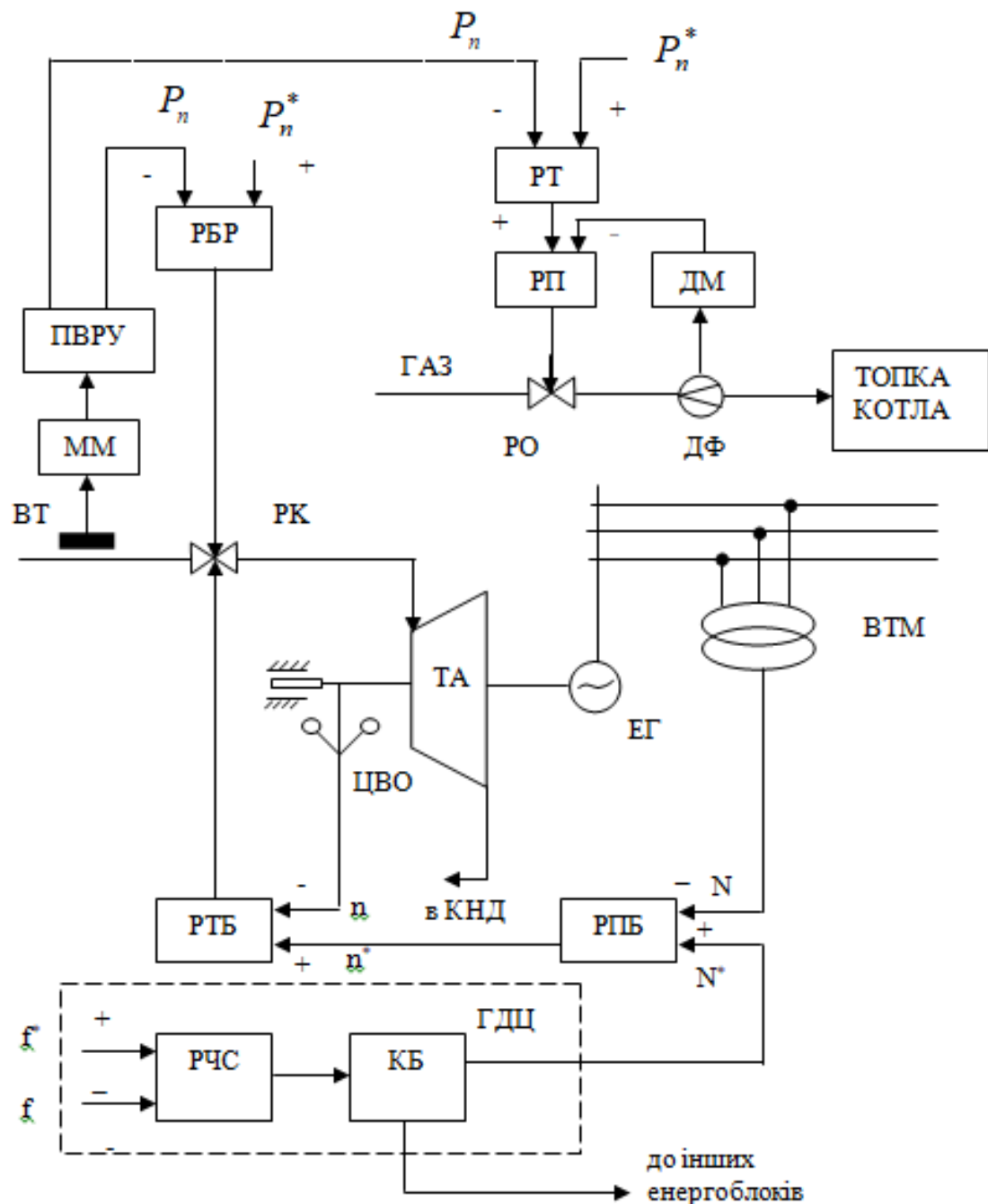


Рис. 1.3 Функціональна схема САУ енергоблоком

ТА – турбоагрегат.

РК – регулюючі клапани турбіни.

ВТ – відбір тиску.

ММ – манометр.

ДМ – дифманометр;

ДФ – діафрагма.

РО – регулюючий орган.

ВТМ – трифазний ваттметр.

КНД – конденсатор турбіни.

ЕГ – електрогенератор.

ЦВО – відцентровий вимірювач частоти обертів валу турбіни.

РТБ – механічний П-регулятор частоти обертів валу турбіни
(поставляється комплектно з ЦВО як обладнання ТА).

ПВРУ – перемикач вибору режиму роботи котла:

базовий ($D_{пп} = \text{const}$) або регулюючий ($D_{пп} = \text{var}$).

РБР – регулятор теплового навантаження в базовому режимі роботи котла – регулятор тиску пари «до себе».

РТ – регулятор теплового навантаження в регулюючому режимі роботи котла – регулятор тиску пари «після себе».

РП – регулятор витрати палива.

РЧС – регулятор частоти системний ($f^*=50\text{Гц}$) - командоапарат.

ГДЦ – головний диспетчерський центр енергосистеми.

РПБ – П-регулятор електричної потужності енергоблоку.

КБ – командний блок для формування заданих потужностей.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							15
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

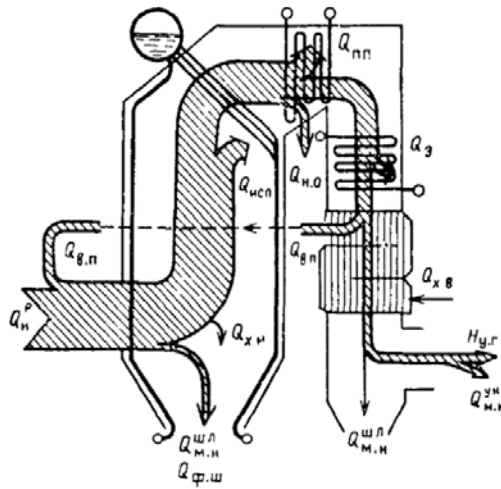


Рис. 1.4 Схема технологічна барабанового котла

Параметри котла:

$D = 3950$ т/год,

$P_{пп} = 10$ МПа,

$T_{пп} = 510$ °С.

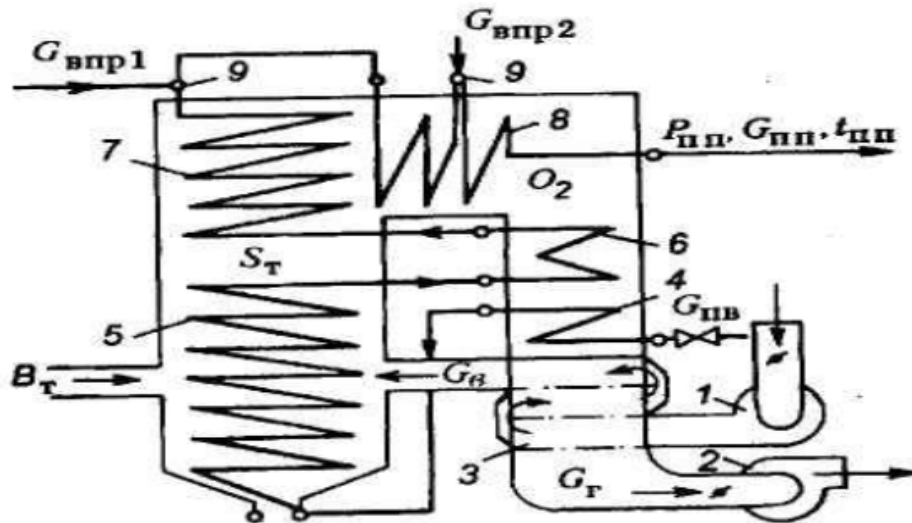


Рис. 1.5 Схема технологічна прямоточного котла

1 - дутьовий вентилятор; 2 – димосос; 3 - повітропідігрівач; 4 – водяний економайзер; 5 - нижня радіаційна (випарювальна) частина; 6 – перехідна зона; 7,8 - радіаційний та конвективний пароперегрівачі; 9 - пароохолоджувач

Частота змінного струму 50 Гц в енергосистемі є сталою, якщо енергосистема виробляє стільки струму, тобто потужності (при заданій ерс 220/380 В), скільки потрібно користувачам. При, наприклад, підключенні додаткових користувачів, тобто при збільшенні навантаження енергосистеми, струм в енергосистемі збільшується, але не достатньо, тобто його не вистачає всім користувачам; напруга ж зменшується. В той же час вказане збільшення струму, відповідно до закону електромагнітної індукції, призводить до падіння частоти обертання ротору електрогенератора, тобто до падіння частоти струму в енергосистемі. Ротор турбіни, з'єднаний з ротором електрогенератора, також обертається повільніше. В результаті відцентровий регулятор РТБ частоти обертів вала турбіни привідкриває клапан РК паропроводу на турбіну, тим самим збільшуючи витрату пари на турбіну, і ротор турбіни і електрогенератора обертається швидше, відновлюючи частоту струму в енергосистемі. РТБ є П-регулятором, тому завжди є статична похибка стабілізації частоти обертів. Задана частота обертів коригується каскадною САР частоти змінного струму (командоапарат РЧС в ГДЦ і станційний ПІ-регулятор РПБ). В результаті енергосистема виробляє більше струму і саме стільки, скільки потрібно всім споживачам.

Таким чином, турбіна споживає більше пари. Відповідно, в котел треба подати більше води (відновити матеріальний баланс), а для того, щоб більша кількість води випарувалась, в топку потрібно подати більше палива.

При збільшенні витрати пари на турбіну в барабані зменшується рівень води (порушений матеріальний баланс). САР рівня збільшує подавання живильної води в барабан, відновлюючи матеріальний баланс.

При збільшенні витрати пари на турбіну в паропроводі зменшується тиск (порушений матеріальний баланс). Каскадна САР тиску збільшує витрату палива в топку котла (САР співвідношення паливо/повітря пропорційно збільшить витрату повітря в топку), відповідно в топці виділиться більше тепла

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							17
Зм.	Кільк.	Арк.	№додк.	Підп.	Дата		

для нагрівання більшої кількості води, поданої САР рівня, і відповідно більшого пароутворення. З більшої кількості води за рахунок більшої кількості підведеного тепла виробляється більше пари. Матеріальний баланс вода-тепло-пара відновлюється, відповідно тиск пари в паропроводі стабілізується на заданому значенні.

Аналогічно працює САУ енергоблоком при відключенні користувачів, тобто при зменшенні навантаження енергосистеми.

Перемикач ПВРУ слугує для вибору режимів роботи котла: регулюючого (Дпп = var; основний режим роботи котла; витрата пари з котла на турбіну підтримується на новому невідомому заданному значенні, відповідно, поточна витрата завжди змінюється в залежності від «потреб» турбіни, тобто енергосистеми) і базового (Дпп = const; резервний режим роботи котла; витрата пари з котла на турбіну підтримується на старому відомому заданному значенні, відповідно, поточна витрата завжди постійна, незалежно від «потреб» турбіни, тобто енергосистеми).

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		18

1.2. Перелік і опис технологічних параметрів АСУТП котельних систем

Режимні параметри:

- Температура прямої води на виході водогрійного котла
- Температура зворотної води на вході водогрійного котла
- Розрідження у топці котла
- Витрата пари в паропроводі турбіни
- Витрата повітря у топку котла
- Витрата палива у топку котла
- Температура первинної перегрітої пари
- Температура вторинної перегрітої пари
- Витрата живильної води у барабан котла
- Рівень пароводяної суміші у барабані котла

Захисні параметри:

- Тиск повітря у трубопроводі перед топкою, для попередження при перевищенні допустимого тиску.
- Тиск газу у трубопроводі перед топкою, для попередження при перевищенні допустимого тиску.
- Тиск у колекторі турбіни, для попередження перевищення допустимого тиску на турбіну.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							19
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

1.3. Перелік і опис функцій АСУТП котельних систем

Управляючі функції:

- Стабілізація тиску пари у паропроводі турбіни шляхом зміни витрати палива у топку котла
- Стабілізація рівня у барабані котла шляхом зміни витрати живильної води
- Стабілізація витрати живильної води через прямоточний котел.
- Стабілізація температури первинної пари шляхом витрати вприскування води в пароохолоджувач
- Стабілізація температури вторинної пари шляхом зміни витрати пари на байпасування пароперегрівача.
- Стабілізація розрідження (абсолютного тиску) у топці котла, шляхом зміни витрати димових газів через димову трубу (сучасний спосіб: шляхом зміни швидкості обертання ротору димососу).
- Стабілізація температури прямої води у водогрійному котлі шляхом зміни витрати палива;
- Стабілізація температури зворотної води у водогрійному котлі шляхом підмішування прямої води у холодну зворотню воду;
- Стабілізація рівня в каскадному басейні.

Захисні функції:

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							20
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

- Захист від перевищення рівня у барабані котла шляхом вимірювання рівня у барабані котла і у випадку аварії відкриття спускних клапанів для зливу води з барабану.
- Захист від критичного зниження рівня у барабані котла шляхом вимірювання рівня у барабані котла. У випадку аварійного зниження рівня у барабані формується сигнал на збільшення подачі живильної води, або сигнал на аварійне завершення роботи котла.
- Запобігання утворенню вибухонебезпечної газо-повітряної суміші шляхом вимірювання тиску газу у газопроводі. У випадку перевищення тиску формується сигнал на аварійне закриття клапану подачі газу.
- Захист газопроводу від перевищення тиску газу шляхом вимірювання тиску у газопроводі і аварійному закритті клапану подачі газу у топку у випадку перевищення допустимого тиску.
- Захист трубопроводів від перевищення тиску води у трубопроводі шляхом контролю тиску для попередження аварії і формування сигналу відкриття аварійних спускних клапанів.

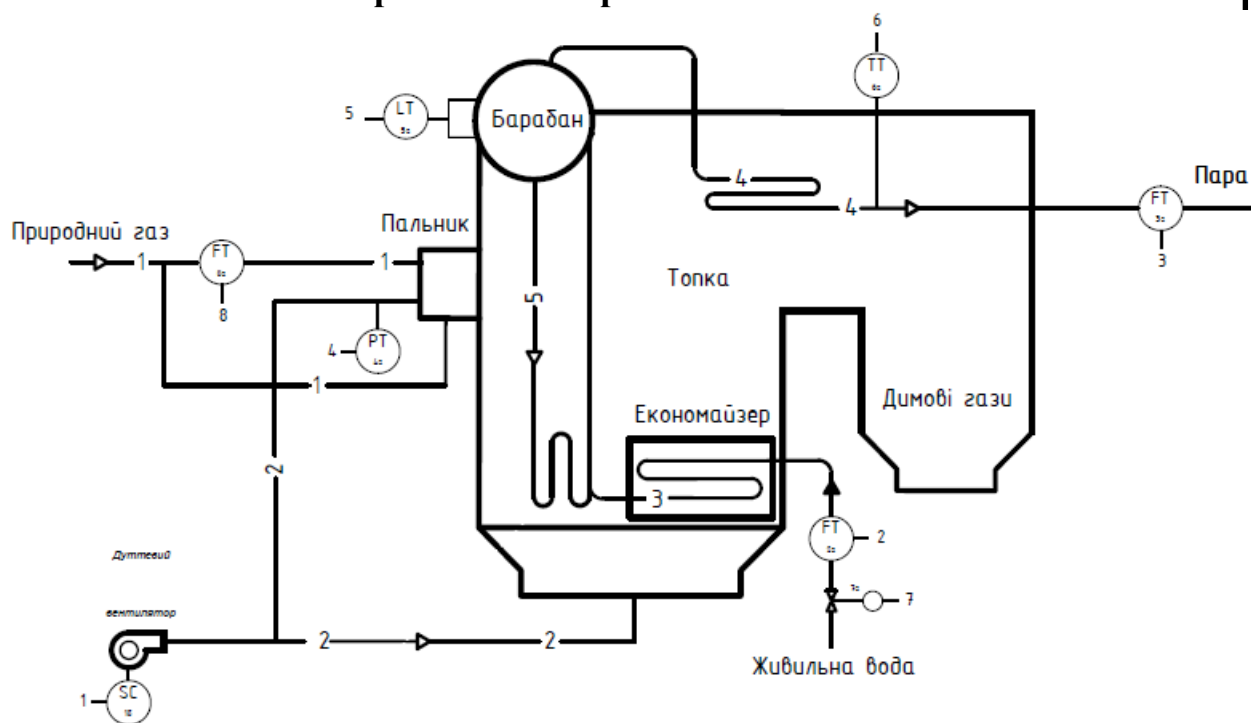
Інформаційні функції:

- Вимірювання витрати живильної води, 3950 т/год
- Вимірювання витрати перегрітої пари, 3950 т/год
- Вимірювання рівня у барабані котла, 500 мм.
- Вимірювання тиску газу у газопроводі на пальники, 15 кПа
- Вимірювання тиску повітря у повітропроводі на пальники, 15 кПа
- Вимірювання температури первинної пари, 510 °С
- Вимірювання температури вторинної пари, 510 °С
- Вимірювання температури прямої води в водогрійний котла, 90 °С.
- Вимірювання температури зворотної води в водогрійний котел, 90 °С.
- Вимірювання тиску пари у паропроводі на турбіну, атмосфери.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							21
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

1.4. Схеми функціональні автоматизації котельних систем

Енергетичний барабановий котел



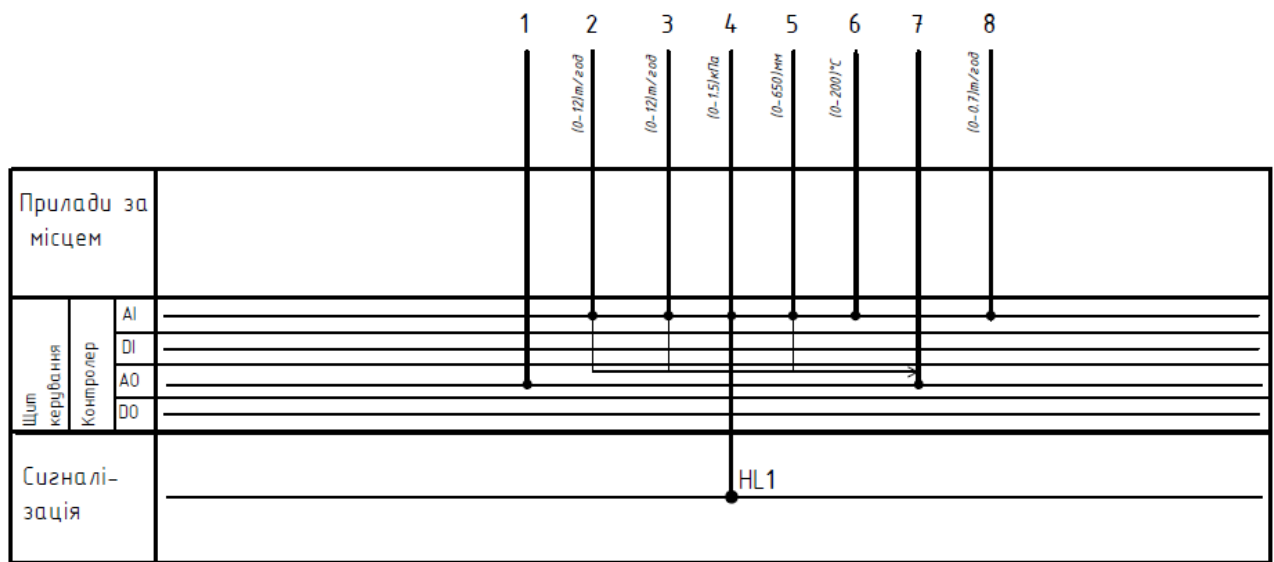


Рис 1.2 Схема функціональна автоматизації барабанового котла

Витрата пари вимірюється за допомогою вихрового витратоміру Rosemount 8800 (3). В трубопроводі живильної води, для вимірювання *витрати живильної води*, теж встановлена витратомір Rosemount 8800 (2).

Для *витрати газу* у пальник використовується вихровий витратомір компанії Emerson – Rosemount 8800 (8) вихідний уніфікований сигнал 4-20 мА і під'єднані до аналогових входів програмно логічного контролера (ПЛК).

Рівень пароводяної суміші у барабані вимірюється за допомогою датчика гідростатичного дифманометра тиску Rosemount 3051S (5) з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА. Відповідно до зростання рівня зростає тиск. Датчик від'єднується до аналогового входу ПЛК.

Тиск повітря у трубопроводі на вході у пальник вимірюється датчиком тиску Rosemount 3051s, уніфікований вихід 4-20 мА, під'єднано до аналогового входу ПЛК.

Температура у барабані вимірюється за допомогою термометра опору Rosemount 0065 ТСП Pt1000 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА. Підключення до аналогового входу ПЛК.

Передача дії:

Положення клапану ВМ впливає на рівень води у барабані котла, оскільки впливає на витрату рідини у барабана.

Аналоговий виконавчий механізм Belimo GR24A-MF (7) керується уніфікованим сигналом 4-20 мА. Сигнал поступає з аналогового виходу ПЛК і змінює положення ВМ відповідно до вихідного значення. Аналоговий ВМ Belimo GR24A-MF (10), що керується сигналом 4-20 мА також під'єднано до аналогового виходу ПЛК.

Вентилятор 1 керується за допомогою аналогового вихідного сигналу ПЛК (уніфікований 4-20 мА) і частотного перетворювача який запускає ротор і регулює швидкість обертів.

Регулювання здійснюється за допомогою ВМ 7 та 10.

Водогрійний котел

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							24
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

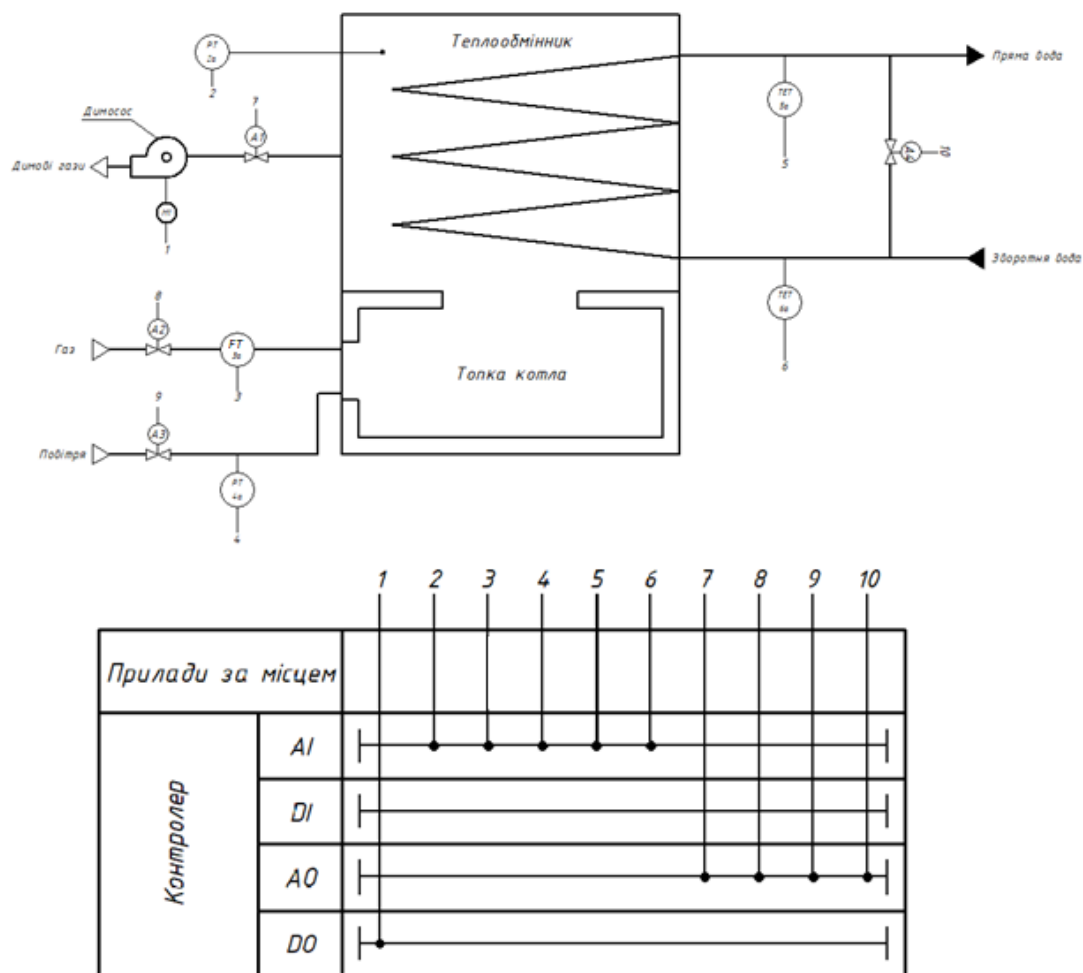


Рис 1.3 Схема функціональна автоматизації водогрійного котла

Температура прямої та зворотної води 5, 6 вимірюється за допомогою термометра опору Pt100 компанії Emerson модель Rosemount 765 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА. Підключення до аналогового входу ПЛК.

Тиск у топці котла вимірюється за допомогою датчика абсолютного тиску Rosemount 2051 (2) з уніфікованим виходом 4-20 мА, що під'єднується до аналогового входу ПЛК.

Для виміру витрата палива (природний газ) використовується вихрового витратоміру Rosemount 8800 (3). Вимірювальний прилад має вихідний сигнал 4-20 мА і підключений до аналогового входу ПЛК.

Аналогові ВМ компанії Belimo, модель GR24A-MF що підписані на сзмені як A1, A2, A3, A4 та знаходяться на позиціях 7-10 управляються уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, що надходить з аналогових виходів ПЛК.

Димосос М1 вмикається дискретним сигналом 24V з релейного виходу контролеру.

Регулювання здійснює чотири ВМ Belimo AVK230A-3 A1-A4.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							26
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

1.5. Опис схеми структурної ПТК АСУТП котельних систем

Програмно технічний комплекс – ПТК

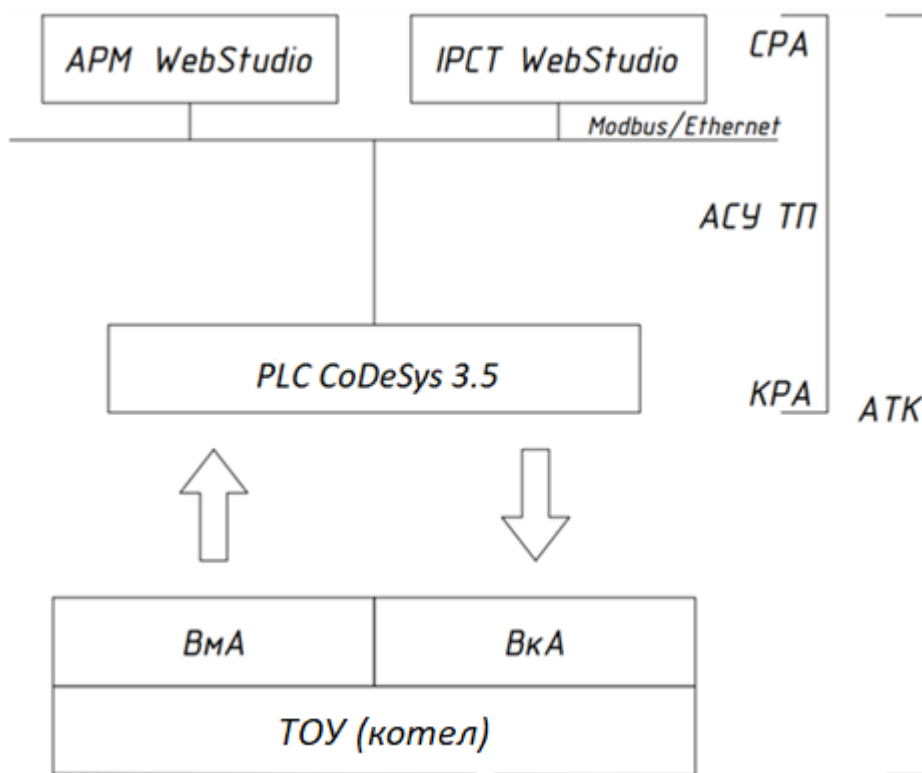


Рис. 1.4 Структурна схема ПТК котельної системи

ТОУ – технологічний об'єкт управління

ВМА – вимірювальна апаратура

ВКА – виконавча апаратура

ПЛК – програмований логічний контролер

АРМ – автоматизоване робоче місце (операторська станція)

ІРСТ – інженерна робоча станція персоналу АСУ ТП

СРА – супервізорний рівень автоматизації

АСУ ТП – автоматизована система управління тех. процесом

КРА – контролерний рівень автоматизації

АТК – автоматизований технологічний комплекс

ПТК АСУ складається з ПЛК CoDeSys 3.5, та SCADA-застосунку Indusoft Web Studio HMI і польової шини.

Вимірювальна апаратура (давачі та датчики), виконавча апаратура (виконавчі механізми), які змонтовані на об'єкті управління, підключені провідниками до вихідних і вхідних модулів ПЛК.

Обмін даними між ПЛК і SCADA-застосунком реалізований через польову шину. Інтерфейс польової шини – Ethernet. Протокол польової шини – Modbus/TCP.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							28
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

1.6. Перелік і аналіз джерел економічної ефективності АТК котельних систем

У котельних системах, які мають топки, джерелом економії є зменшення питомої витрати палива для виділення теплоти на нагрівання води і перегрівання пари у парових котлах, на нагрівання прямої води у водогрійних котлах. Зменшення питомої витрати досягається шляхом високоточного вимірювання режимних параметрів, якісного і малочутливого (до збурень параметрів об'єкту) регулювання і високою надійністю роботи АСУТП. В результаті економії знижується собівартість нагрівання температури прямої води у водогрійних котлах і перегрітої пари у парових котла. Збільшений прибуток вкладається у розвиток людського потенціалу і технічного вдосконалення підприємства.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							29
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

2. Інженерний розрахунок триімпульсної САР рівня у барабані парового котла

2.1. Інженерний розрахунок ВК триімпульсної САР рівня у барабані парового котла

ІВС котла – інформаційно-вимірювальна система АСУТП котла

ВК котла – вимірювальний канал в складі ІВС котельної системи

2.1.1. Перелік ВК ІВС АСУТП котельних систем

ВК витрати живильної води

ВК розрідження (абсолютного тиску) у топці котла

ВК температури первинної перегрітої пари

ВК температури вторинної перегрітої пари

ВК тиску повітря у повітропроводі

ВК тиску газу у трубопроводі

ВК температури прямої води на виході водогрійного котла

ВК температури зворотної води на вході водогрійного котла

ВК витрати перегрітої пари

ВК рівня у барабані котла

ВК тиску пари у паропроводі на турбіну

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							30
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

2.1.2. Опис схем структурних ВК САР рівня у барабані парового котла

ВК – вимірювальний канал в складі ІВС

РП – реєструючий прилад

МВВ ПЛК – модуль вводу-виводу програмований логічний контролер

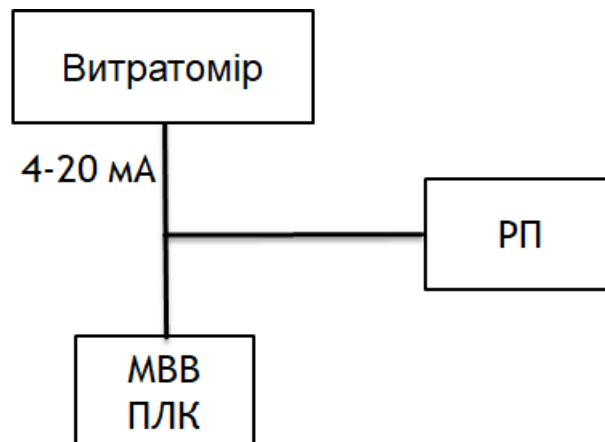


Рис. 2.1 Структурна схема ВК витрати

Витратомір – вихровий витратомір з вихідним сигналом 4-20 мА, підключається до модуля вводу ПЛК та до РП.

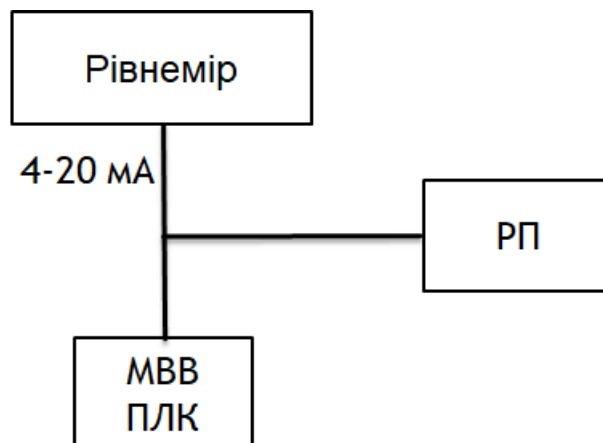


Рис. 2.2 Структурна схема ВК рівня

Рівнемір – диференційний датчик тиску з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА. Підключення до модуля вводу ПЛК та до РП.

Як бачимо з структурних схем ВК відповідні вимірювальні датчики витрати та рівня складається з відповідного датчика, що підключається

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							31
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

безпосередньо до аналогового входу ПЛК, а також підключається до РП. До ПЛК від датчика поступає уніфікований сигнал 4-20 мА, який впливає на триімпульсної САР рівня у барабані парового котла забезпечує процес регулювання рівня. Цей самий сигнал від датчика йде на реєструючий прилад на якому він відображається для безпосереднього контролю цього параметру персоналом обслуговування системи. У випадку несправності датчика можна зразу побачити збій на РП.

2.1.3. Опис схем функціональних ВК САР рівня у барабані парового котла

Реєструючий прилад та контролер (однакові для усіх вимірюваних параметрів):

У якості реєструючого приладу оберемо Метран 910. Це безпаперовий відеографічний багатоканальний реєстратор призначений для збору, візуалізації, реєстрації та регулювання різних параметрів технологічних процесів. Він має контрастний кольоровий дисплей на TFT матриці (5,6" або 10,4") з широким кутом огляду; вільно програмується аналогові канали під різні типи вхідних сигналів, має між каналну гальванічну ізоляцію та високу швидкодію, здійснюється математична обробка по кожному каналу та відповідає вимогам ЕМС.

Витратомір Rosemount 3051SFA призначений для вимірювання об'ємної витрати середовища (вода, пара, газ та інші енергоносії).

Діапазон температур: -40...150°C, вихідний сигнал: 4-20 мА, допустимий тиск: до 40 бар.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							32
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

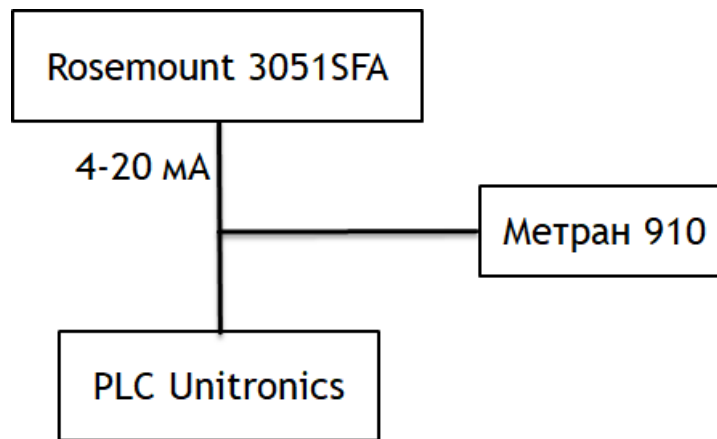


Рис 2.3 Структура ВК витрати

Для вимірювання рівня оберемо датчик гідростатичного тиску Rosemount 3051S призначений для роботи в системах автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами у різних галузях промисловості. Забезпечує безперервне перетворення гідростатичного тиску нейтральних та агресивних середовищ в уніфікований струмовий вихідний сигнал та цифровий сигнал на базі HART-протоколу. Вихідний сигнал: 4-20 мА, допустимий тиск: до 13 мПа

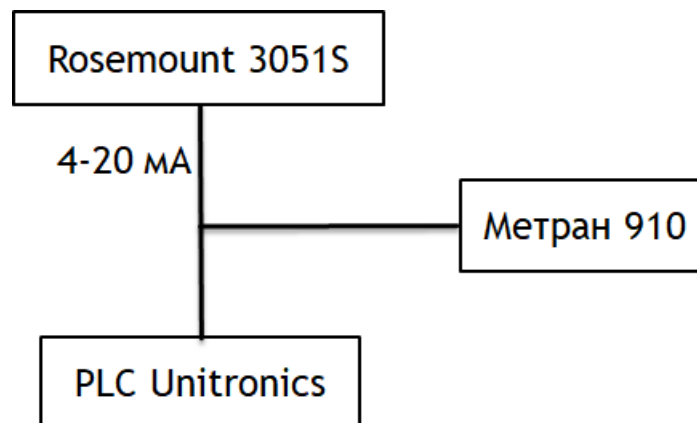


Рис 2.4 Структура ВК рівня

Для проектування автоматизованої системи керування рівня у барабані котла було обрано контролер Unitronics UniStream. За технічними характеристиками дана модель забезпечить надійне функціонування, швидке та точне виконання всіх запитів до системи. Та призначений для реєстрації і обробки вхідних сигналів від датчиків різних типів, а також має чітку і повну документацію

підключення та налагодження. UniStream найбільш підходящий контролер зі свого класу для автоматизації котельних систем. UniStream використовується для функціонального регулювання рівня у барабані, він має дуже зручний сенсорний екран HMI та ряд комунікаційних можливостей, що відповідають вимогам наступного покоління автоматизації Industry 4.0. ПЛК UniStream також підтримує широкий асортимент складних модулів вводу/виводу, що економлять простір. UniStream має вбудовані COM-порти: Ethernet, Modbus, USB-хост і пристрій.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		34

2.1.4. Опис схем принципних електричних ВК САР рівня у барабані парового котла

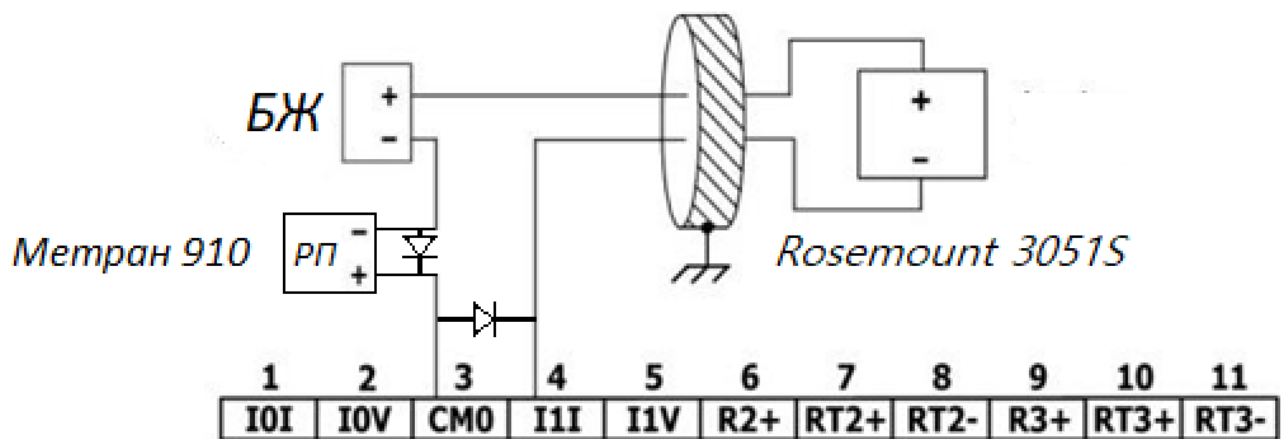


Рис 2.5 Схема підключення датчика рівня

Усі давачі мають уніфікований струмовий вихідний сигнал (4÷20) мА і підключаються за двопровідною схемою:

контакт «+» блока живлення підключаємо до контакту «+» давача через екранування;

контакт «-» давача підключається до струмової клема контролера;

контакт «-» блока живлення підключається до загальної мінусової клема контролера;

послідовно до контролера підключається реєструючий прилад (РП);

паралельно до РП та контролера вмикаються стабілітрони задля підтримання системи у робочому стані навіть при виході з ладу одного з приладів.

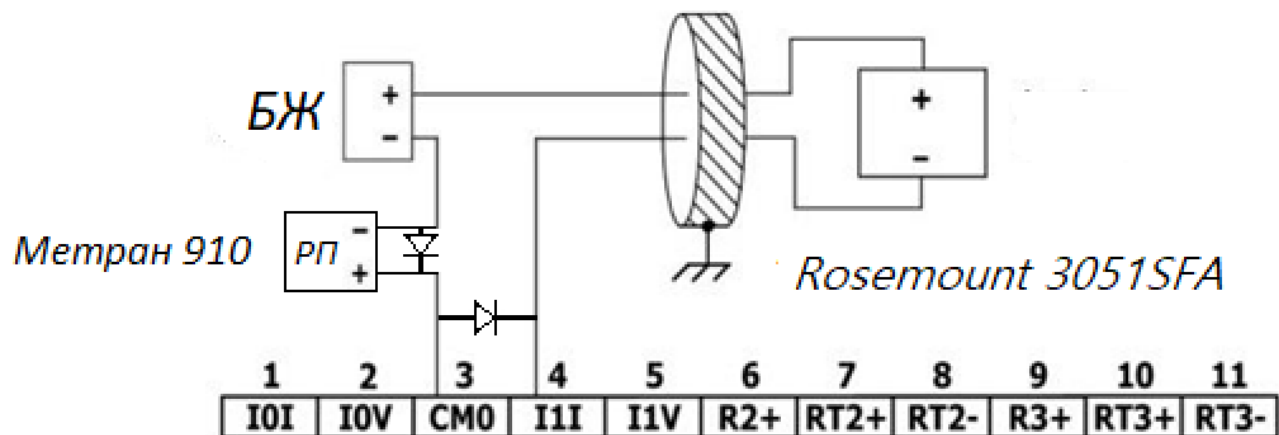


Рис 2.6 Схема підключення датчика витрати

2.1.5. Опис схем монтажу технічних засобів ВК САР рівня у барабані парового котла



Рис 2.7 Витратомір Rosemount 3051SFA

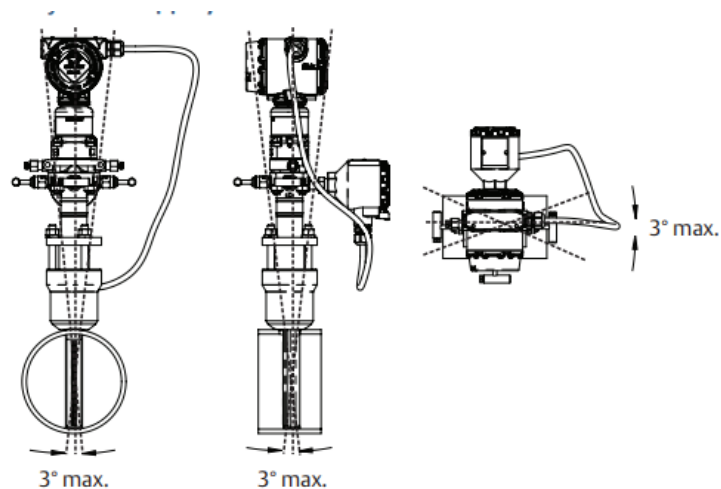


Рис 2.8 Монтаж витратоміру Rosemount 3051SFA

Для забезпечення найбільш точного та повторюваного виміру витрати необхідно підтримувати такі умови:

- Перепад тиску, як зазначено на маркуванні, не перевищується.
- Інструмент не використовується для двофазного потоку або роботи, а також для вимірювання витрати пари при температурі нижче за температуру насичення.
- Щоб виключити неточності вимірювань, викликані обуреннями потоку, необхідно встановлювати прилад у правильному місці щодо відгалуження трубопроводу.
- Витратомір можна встановлювати з відхиленням не більше 3 градусів (див. рис. 2.9). Неспіввісність вище 3 градусів призведе до похибки у вимірі.

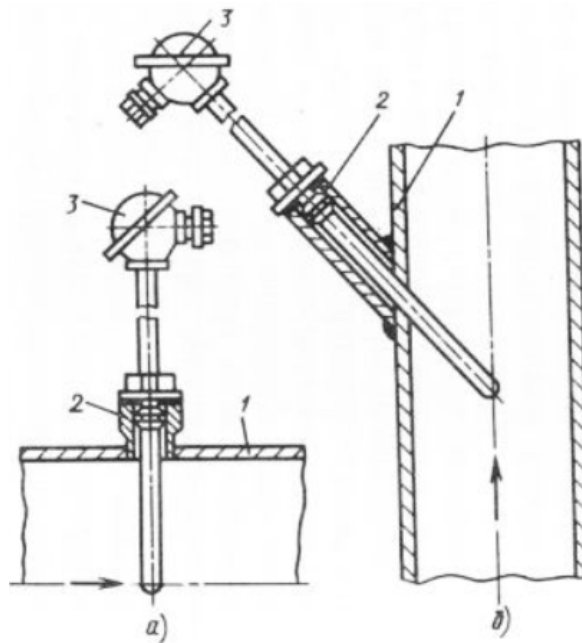


Рис. 2.9 Монтаж термоперетворювача опору на трубопроводах:
а-горизонтальних, б-вертикальних:

1. трубопровід;
2. бобишки;
3. термоперетворювач;
4. розширювач

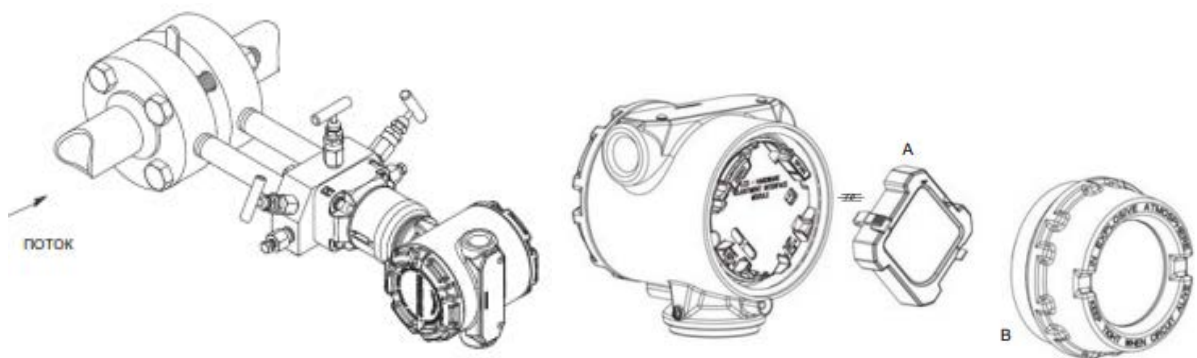


Рис 2.10 Монтаж датчика тиску (рівня) Rosemount 3051S

А - ЖК-індикатор

В - кришка індикатору

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		38

Вимірювальні перетворювачі, замовлені в комплекті з РК-індикатором, поставляються з встановленим індикатором. Індикатор можна повертати із кроком 90 градусів.

Щоб повернути індикатор, інструкція регламентує такі послідовні дії:

1. Перевірте, чи вимкнено живлення вимірювального перетворювача.
2. Зніміть кришку, щоб відкрити РК-індикатор.
3. Стисніть дві язички, що утримують індикатор, та обережно потягніть.
4. Упевніться, що чотириштирковий роз'єм залишився на платі вимірювального перетворювача.

2.1.6. Опис схем структурних надійності ВК САР рівня у барабані котла

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							39
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

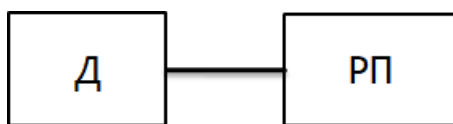


Рис. 2.11 Схем структурна надійності ВК “давач рівня-реєструючий прилад”

САР рівня у барабані котла



Рис. 2.12 Схем структурна надійності ВК “давач витрати перегрітої пари-реєструючий прилад” САР рівня у барабані котла

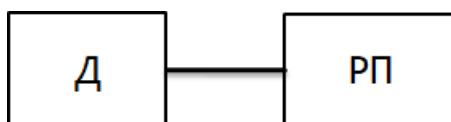


Рис. 2.13 Схем структурна надійності ВК “давач витрати живильної води - реєструючий прилад” САР рівня у барабані котла

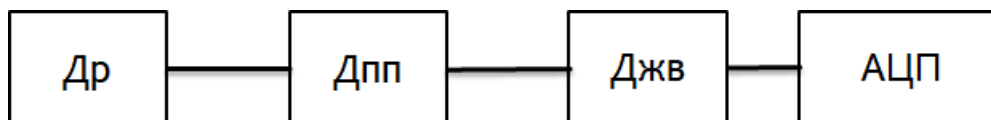


Рис. 2.12 Схем структурна надійності ВК “давачі імпульсів САР рівня у барабані котла – АЦП контролера” САР рівня у барабані котла

Др – давач рівня

Дпп – давач витрати перегрітої пари

Джв – давач витрати живильної води

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

РП – реєструючий прилад

2.1.7. Метрологічні розрахунки ВК САР рівня у барабані котла

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							40
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

ВК витрати повинен забезпечити вимірювання з похибкою не більше ніж ± 100 т/год

ВК витрати перегрітої пари та ВК витрати живильної води:

Класи точності отримуються з документації приладів. Клас точності – це межа основної допустимої похибки вимірювання. Межа – це термін що вказує на те що з ймовірністю 0,999 всі випадкові похибки вимірювальної величини будуть знаходитись у заданому довірчому діапазоні вимірювання. Термін основна вказує на те, що клас точності нормує похибку для нормальних умов експлуатації (тобто коли задовольняються вимоги до температури, вологості і тиску навколишнього середовища і вимоги до живлення приладів). Якщо вказані технічні вимоги не виконуються, з'являється додаткова похибка і сумарна похибка перевищує клас точності приладу.

Для вимірювання витрати використовуються однакові датчики. Похибки вимірювання давачів витрати однакові так само як і вимірювальні об'єми пари та води. Отже робимо висновок, що розрахунки будуть однакові для каналу витрати пари Давач => Контролер та для каналу витрати живильної води Давач => Контролер.

Розраховуємо канал передачі дії Давач => Контролер.

Межа основної приведеної похибки давачів витрати:

$$\varepsilon_{Дм} = 1 \%$$

Межа основної приведеної похибки контролера:

$$\varepsilon_{ПЛК} = 0.1 \%$$

Межа основної приведеної похибки реєструючого приладу:

$$\varepsilon_{РП} = 0.1 \%$$

Межа основної приведеної похибки каналу давач-реєструючий прилад:

$$\varepsilon_{Д-РП} = \sqrt{\varepsilon_{Д}^2 + \varepsilon_{РП}^2} = \sqrt{1^2 + 0.1^2} = 1 \%$$

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							41
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

Межа абсолютної похибки канали давач-реєструючий прилад для витрати води та пари:

$$\Delta_{Д-РП} = \varepsilon_{Д-РП} (X_{\max} - X_{\min}) \frac{1}{100} = 1(4913700 - 80) \frac{1}{100} = 49136.2 \text{ кг / год} = 49.1 \text{ т / год}$$

Межа абсолютної похибки канали ВР-Дпп-Джв-контролер для витрати води та пари:

$$\Delta_{Д-ПЛК} = \varepsilon_{Д-ПЛК} (X_{\max} - X_{\min}) \frac{1}{100} = 1(4913700 - 80) \frac{1}{100} = 49136.2 \text{ кг / год} = 49.1 \text{ т / год}$$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер для витрати води та пари:

$$X_{Д-ПЛК} = x \pm \Delta_{Д-ПЛК} = x \pm 49.1 \text{ т / год}$$

Результат розрахунків за каналом реєструючий прилад для витрати води та пари:

$$X_{Д-РП} = x \pm \Delta_{Д-РП} = x \pm 49.1 \text{ т / год}$$

ВК рівня:

ВК рівня повинен забезпечити вимірювання з похибкою не більше ніж ± 3 мм

Розрахунок каналу передачі дії Давач => Контролер для вимірювання рівня

Межа основної приведенної похибки давача:

$$\varepsilon_{Д} = 0.025 \%$$

Межа основної приведенної похибки контролера:

$$\varepsilon_{ПЛК} = 0.1 \%$$

Межа основної приведенної похибки реєструючого приладу:

$$\varepsilon_{РП} = 0.1 \%$$

Межа основної приведенної похибки каналу давач-контролер:

$$\varepsilon_{Д-ПЛК} = \sqrt{\varepsilon_{Д}^2 + \varepsilon_{ПЛК}^2} = \sqrt{0.025^2 + 0.1^2} = 0.103 \%$$

Межа основної приведенної похибки каналу давач-реєструючий прилад:

$$\varepsilon_{Д-РП} = \sqrt{\varepsilon_{Д}^2 + \varepsilon_{РП}^2} = \sqrt{0.025^2 + 0.1^2} = 0.103 \%$$

Межа абсолютної похибки канали давач-контролер:

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		42

$$\Delta_{Д-ПЛК} = \varepsilon_{Д-ПЛК} (X_{\max} - X_{\min}) \frac{1}{100} = 0.103(1000 - 0) \frac{1}{100} = 1 \text{ мм}$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-реєструючий прилад:

$$\Delta_{Д-РП} = \varepsilon_{Д-РП} (X_{\max} - X_{\min}) \frac{1}{100} = 0.103(1000 - 0) \frac{1}{100} = 1 \text{ мм}$$

h – висота рівня рідини за формулою перерахунку гідростатичного тиску у рівень.

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$X_{Д-ПЛК} = x \pm 1 \text{ мм}$$

Результат розрахунків за каналом давач-реєструючий прилад:

$$X_{Д-РП} = x \pm 1 \text{ мм}$$

Висновок: система роботоздатна виходячи з розрахованих похибок вимірювальних каналів, похибки витрати не перевищують ± 100 т/год, похибки рівня не перевищують ± 1 мм.

2.1.8. Розрахунки надійності ВК САР рівня у барабані котла

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							43
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

Розрахунок надійності для ІВС рівня у барабані парового котла.

Задамо середній час напрацювання на відмову $T_{cp}^* = 200\,000$ год та коефіцієнт готовності $K_{гот}^* = 0.9995$.

Інтенсивність відмов: $\lambda_{Дпп} = \frac{1}{13140} = 0.0000761$; $\lambda_{Джв} = \frac{1}{13140} = 0.0000761$;

$\lambda_{Др} = \frac{1}{150000} = 0.00000667$; $\lambda_{рп} = \frac{1}{40000} = 0.000025$;

$\lambda_{ПЛК} = \frac{1}{40000} = 0.000025$;

$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \lambda_{Др} + \lambda_{Дпп} + \lambda_{Джв} + \lambda_{рп} + \lambda_{ПЛК} = 0.000209 \frac{1}{год}$

Середній час напрацювання на відмову:

$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.000209} = 4785$ год

$T_{cp} > T_{cp}^*$, отже структура вимірювальних каналів коректна.

Імовірність безвідмовної роботи ССН за період часу $\tau = 1500$ год

$P_{\delta}(\tau) = e^{\frac{-\tau}{T_{cp}}} = e^{-\lambda \cdot \tau} \approx 1 - \frac{\tau}{T_{cp}} \approx 1 - \lambda \cdot \tau = 1 - 0.000209 \cdot 1500 = 0.6865$

Ймовірність роботоспроможності (готовності до виконання функції) ССН за період часу τ розраховується за формулою:

$P_{оч}(\tau) = P_{\delta}(\tau) * K_{гот} = 0.9995 * 0.6865 \approx 0.683$

Середній час відновлення працездатності ВК:

$K_{гот} = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_{в}} \rightarrow T_{в} = \frac{T_{cp}}{K_{гот}^*} - T_{cp} = \frac{4785}{0.9995} - 4785 = 2,4$ год = 2 год 24 хв

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							44
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

2.1.9. Імітаційне функціональне моделювання фільтрації даних вимірювання в САР рівня у барабані котла в СКМ Matlab Simulink

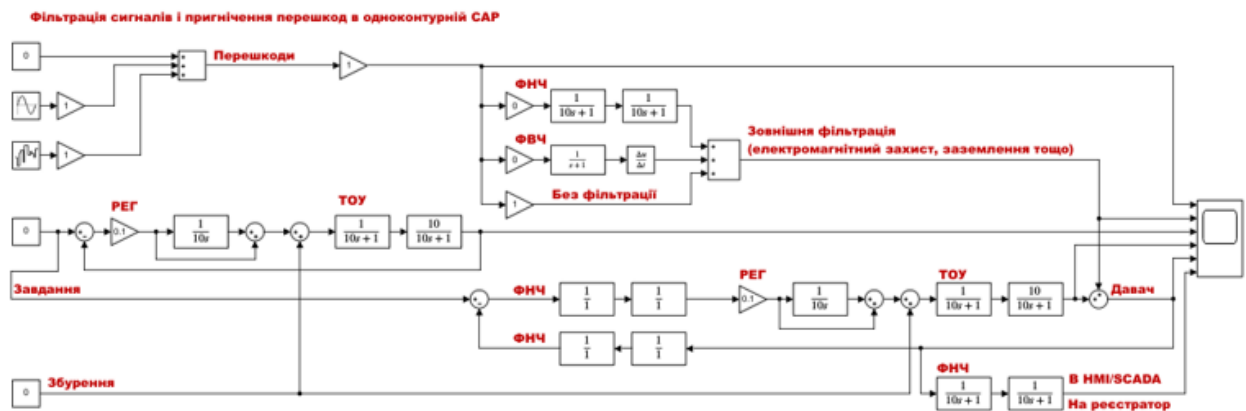


Рис. 2.12 – Імітаційне функціональне моделювання фільтрації даних у середовищі Simulink

ФНЧ 1го порядку для фільтрація низьких частот реалізується у вигляді аперіодичної ланок першого порядку.

Зовнішнім фільтром повинен обов'язково бути ФВЧ, який усуває зовнішні низькочастотні перешкоди; високочастотні сигнали не впливають на об'єкт, тому що об'єкт змодельовано як аперіодична ланка першого порядку, тобто він і є ФНЧ 1-го порядку і не реагує на високочастотні перешкоди. Якщо зовнішній фільтр є ФНЧ, то він пропускає на ТОУ будь які низькочастотні перешкоди з датчиків, які регулятор сприймає як коливання рівня у барабані котла і помилково починає регулювати його. Внутрішній ФНЧ для контуру регулювання, який є замкнутим контуром, є надмірно шкідливим, так як він збільшує інерційність ОУ. Внутрішній ФНЧ є ефективним для фільтрації сигналу та даних, що надсилається для візуального відображення у РП або в HMI/SCADA-систему, ці дані не повинні мати додаткові зашумлення які є на об'єкті, оператору мають відображатись тільки низькочастотні сигнали

2.1.10. Перелік функцій первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

- **Фільтрація** – ФНЧ 1-го порядку (аперіодична ланка 1-го порядку) в ВК з виходом на ПП/РП.
- **Апроксимація** – кусочно-лінійна апроксимація. Лінеаризація нелінійної характеристики вимірювання. Обмеження мінімального і максимального значень (нелінійність типу насичення).
- **Масштабування** – лінійне перетворення діапазону (шкали) вимірювання.
- **Сповільнення** – обмеження швидкості зміни параметру (нелінійність типу насичення).
- **Порівняння** – порівняння з уставкою. РІВНО, БІЛЬШЕ, МЕНШЕ, ДІАПАЗОН. Обмеження значення (нелінійність типу насичення).
- **Гістерезис** – реалізація зони нечутливості і зони повернення (двопозиційна нелінійність; релейне регулювання).
- **Алармування** – формування події тривоги (аларму) технологічної (попереджувальної) або аварійної.
- **Аналітика** – статистичний аналіз. Виділення найменшого, найбільшого і середнього значень. Розрахунок дисперсії.
- **Інтегрування** – лінійне інтегрування параметру (площа під графіком зміни параметру).
- **Лічильник** – математична інкрементація і декрементація. Обрахування дискретних подій до уставки лічильника.
- **Таймер** – реалізація часових затримок на величину уставки таймеру.
- **NOT** – логічна операція НІ. Значення виходу протилежне значенню входу.
- **AND** – логічна операція І. Вихід = 1, якщо два входи = 1.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		46

- **AND** – логічна операція І. Вихід = 1, якщо два входи = 1.
- **OR** – логічна операція АБО. Вихід = 1, якщо хоча б один з входів = 1.
- **XOR** – логічна операція виключного АБО. Вихід = 1, якщо тільки один з входів = 1.
- **Генератор** – генерація аналогових і дискретних даних константних і періодичних.
- **Перетворення типів даних** – вимушене явне перетворення типів даних, як правило, REAL>INT.

Типовий порядок первинної обробки аналогових сигналів (INT, REAL) в ПЛК: Сигнал > Фільтрація – Апроксимація – Масштабування – Сповільнення – Порівняння, Аналітика, Алармування > Дані.

Порядок обробки дискретних сигналів (BOOL) в ПЛК – залежить від логіки обробки і не може бути типовим.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							47
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

2.1.11. Реалізація функцій первинної обробки даних в ПЛК

CFC-діаграма первинної обробки даних в ПЛК CoDeSys

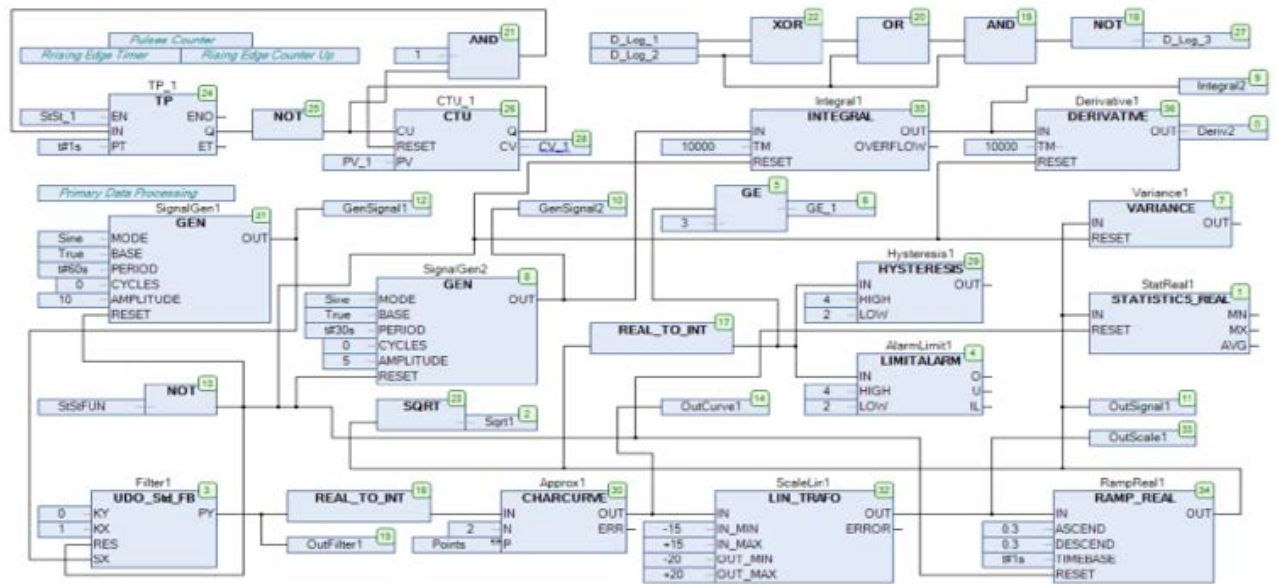


Рис. 2.13 – CFC-діаграма первинної обробки даних в ПЛК CoDeSys

Візуалізація первинної обробки даних в ПЛК CoDeSys

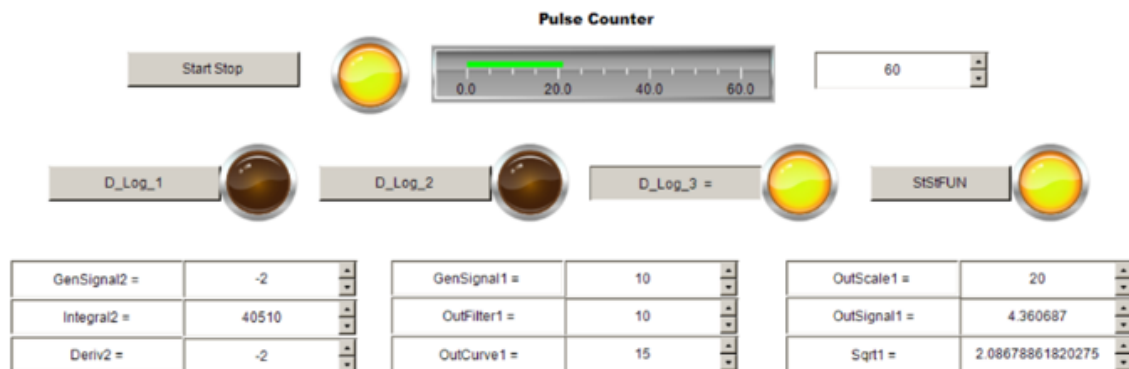


Рисунок 2.14 – Візуалізація первинної обробки даних в ПЛК CoDeSys

Візуалізація первинної обробки даних в ПЛК CoDeSys

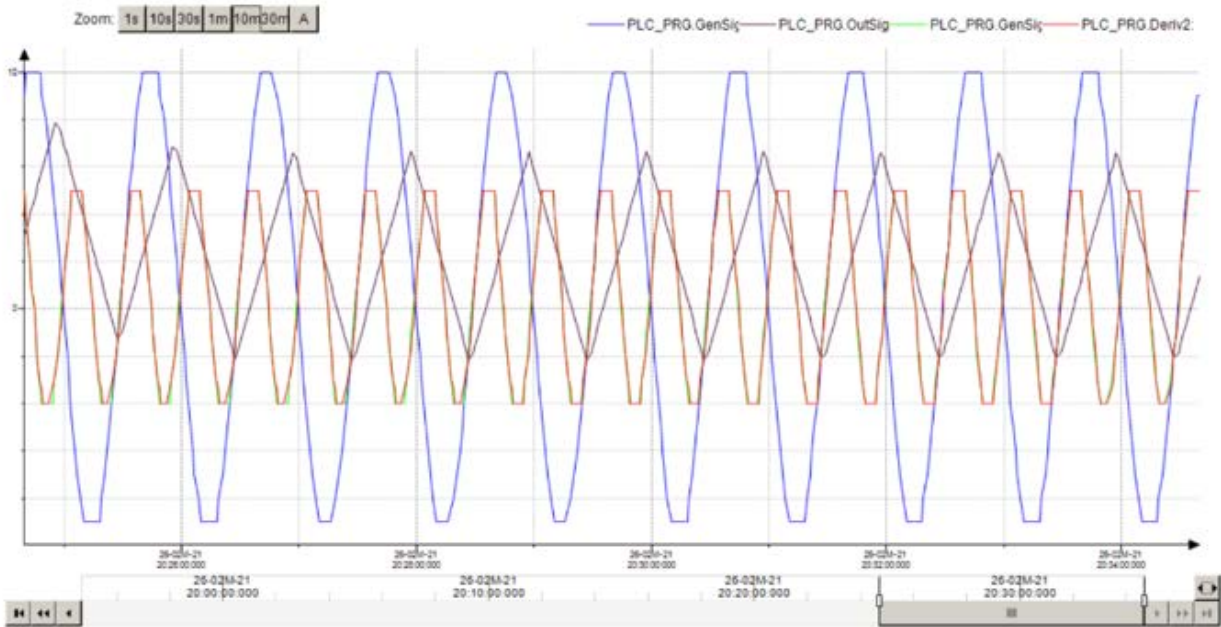


Рисунок 2.15 – Візуалізація первинної обробки даних в ПЛК CoDeSys

Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата

2.1.12. Висновки про роботоздатність ВК САР рівня у барабані котла

Розрахунки і аналіз виявили, що вимірювальний канал САР рівня у барабані парового котла здійснює точні вимірювання. Обрахувавши час середнього напрацювання на відому та імовірність безвідмовної роботи можемо зробити висновок що САР – надійна. Вимірний сигнал перед подачею на візуалізацію і SCADA-систему повинен проходити через фільтр низької частоти у ПЛК.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							50
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

2.2. Інженерний розрахунок РВК САР рівня у барабані парового котла

2.2.1. Перелік САР в АТК котельних систем

САР теплового навантаження барабанового котла за схемою “навантаження – паливо” – каскадна САР тиску пари в паропроводі на турбіну.

Завдання – задане значення тиску пари в паропроводі на турбіну.

Регульовані параметри – виміряні тиск в паропроводі на турбіну і витрата палива в топку котла.

Об’єкти управління. Швидкісна частина ОУ – канали передачі дії “переміщення РО на газопроводі – зміна витрати палива на пальник”. Інерційна частина ОУ – канал передачі дії “зміна витрати палива в топку – зміна тиску в паропроводі на турбіну”.

САР реалізує управляючу функцію стабілізації тиску пари в паропроводі на турбіну шляхом зміни витрати пари у топку котла.

САР живлення барабанового котла за схемою “рівень – вода” – одноконтурна триімпульсна САР рівня в барабані парового котла.

Завдання – задане значення рівня у барабані котла.

Регульований параметр – виміряний рівень в барабані парового котла.

Додаткові імпульси – виміряні витрата перегрітої пари, витрата живильної води, які подаються на регулятор з різними знаками (відповідно плюс і мінус).

Об’єкт управління – канал передачі дії “витрата живильної води – рівень у барабані”.

САР реалізує управляючу функцію стабілізації рівня у барабані котла шляхом зміни витрати живильної води.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		51

САР температури прямої води на виході водогрійного котла – каскадна САР температури прямої води, що виходить з котла і направляється у системи ЦО.

Завдання – задане значення температури прямої води.

Регульовані параметри – виміряні температура прямої води і витрата палива в топку.

Об’єкти управління. Швидкісна частина ОУ – канал передачі дії “переміщення РО на газопроводі – зміна витрати палива в топку”. Інерційна частина ОУ – канал передачі дії “зміна витрати палива – температура прямої води”

САР реалізує управляючу функцію стабілізації температури прямої води шляхом витрати палива у топку водогрійного котла.

САР температури зворотної води водогрійного котла – одноконтурна САР температури зворотної води на вході водогрійного котла.

Завдання – задане значення температури зворотної води.

Регульований параметр – виміряне значення температури зворотної води.

Об’єкт управління – канал передачі дії “підмішування прямої води – температура зворотної води”.

САР реалізує управляючу функцію стабілізації температури зворотної води шляхом підмішування прямої води у зворотну холодну воду.

САР температури первинної пари парового котла – двоконтурна двоімпульсна САР температури первинної пари.

Завдання – задане значення температури первинної пари.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							52
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

Основний регульований параметр – виміряне значення температури первинної пари.

Додатковий регульований параметр (імпульс) – температура первинної пари після пароохолоджувача (імпульс подається на регулятор через реальний диференціатор).

Об’єкт управління – канал передачі дії “витрата води на вприскування в пароохолоджувач– температура первинної пари”.

SAR реалізує управляючу функцію стабілізації температури первинної перегрітої пари шляхом зміни витрати води на вприскування в пароохолоджувач.

SAR температури вторинної пари парового котла – двоконтурна двоімпульсна SAR температури вторинної пари.

Завдання – задане значення температури вторинної пари.

Основний регульований параметр – виміряне значення температури вторинної пари.

Додатковий регульований параметр (імпульс) – виміряне значення температури вторинної пари після пароохолоджувача (імпульс подається на регулятор через реальний диференціатор).

Об’єкт управління – канал передачі дії “витрата вторинної пари на байпасування пароперегрівача – температура вторинної пари”.

SAR реалізує управляючу функцію стабілізації температури вторинної пари шляхом зміни витрати вторинної пари на байпасування пароперегрівача.

SAR теплового навантаження прямоточного котла за схемою “навантаження – паливо”– каскадна SAR тиску пари в паропроводі на турбіну.

Завдання – задане значення тиску пари в паропроводі на турбіну.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							53
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

Регульовані параметри – виміряні тиск в паропроводі на турбіну і витрата палива в топку котла.

Об’єкти управління. Швидкісна частина ОУ – канал передачі дії “переміщення РО на газопроводі – зміна витрати палива на пальник”. Інерційна частина ОУ – канал передачі дії “зміна витрати палива в топку – зміна тиску в паропроводі на турбіну”.

САР реалізує управляючу функцію стабілізації тиску пари в паропроводі на турбіну шляхом зміни витрати пари у топку котла.

САР живлення прямоточного котла за схемою “паливо – вода” – одноконтурна САР витрати живильної води.

Завдання – задане значення витрати живильної води, яке формується пропорційно поточній витраті палива.

Регульований параметр – виміряне значення витрати живильної води.

Об’єкт управління – канал передачі дії “переміщення РО – зміна витрата живильної води”.

САР реалізує управляючу функцію стабілізації живлення прямоточного котла шляхом зміни положення РО на трубопроводі живильної води.

САР рівня в каскадному басейні – каскадна САР рівня у вихідному басейні.

Завдання – задане значення рівня у вихідному басейні.

Регульовані параметри. Виміряні рівень рідини у вихідному басейні і рівень рідини у вхідному басейні.

Об’єкти управління. Швидкісна частина ОУ – канал передачі дії “зміна подачі у вхідний басейн – зміна рівня у вхідному басейні”. Інерційна частина

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							54
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

ОУ – канал передачі дії “зміна рівня у вхідному басейні – зміна рівня у вихідному басейні”.

САР реалізує управляючу функцію стабілізації рівня в каскадному басейні.

2.2.2. Опис схеми структурної САР рівня у барабані котла

САР рівня у барабані котла – одноконтурна САР рівня у барабані парового котла з триімпульсним регулятором.

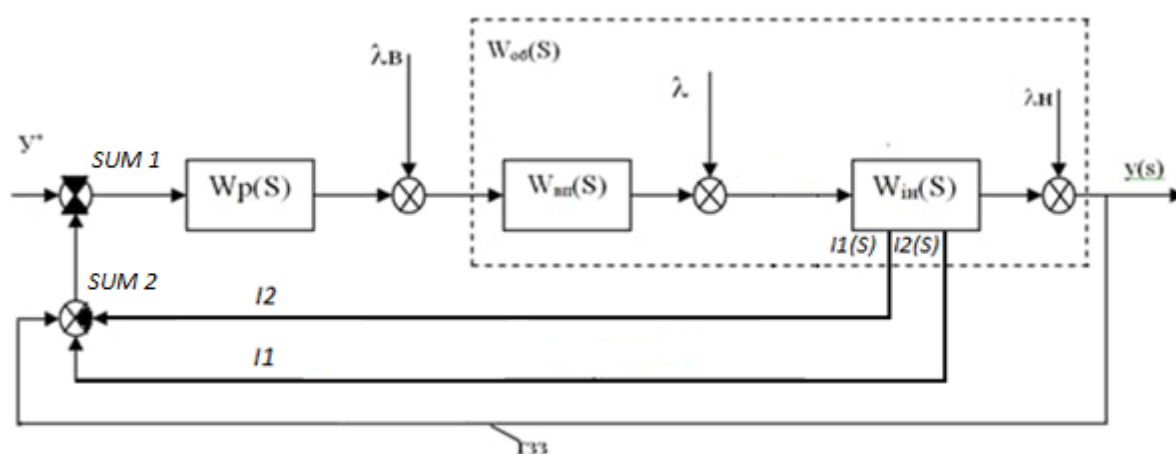


Рис 2.13 Схема одноконтурної САР з триімпульсним регулятором рівня

- гзз – головний імпульс поточного значення рівня у барабані парового котла Y (PV).
- SUM 1 – головний суматор 1
- SUM 2 – додатковий суматор 2
- I1 – перший додатковий імпульс витрати пари на турбіну, подається на суматор 1 зі знаком плюс (+). Допоміжний параметр 1.
- I2 – другий додатковий імпульс витрати живильної води, подається на суматор 1 знаком мінус (-). Допоміжний параметр 2.
- $W_{ВП}(s)$ – передавальна функція випереджальної (швидкісної) частини ОУ $W_{об}(s)$.
- $W_{ИН}(s)$ – передавальна функція інерційної частини ОУ $W_{об}(s)$.

2.2.3. Опис схеми функціональної САР рівня у барабані котла

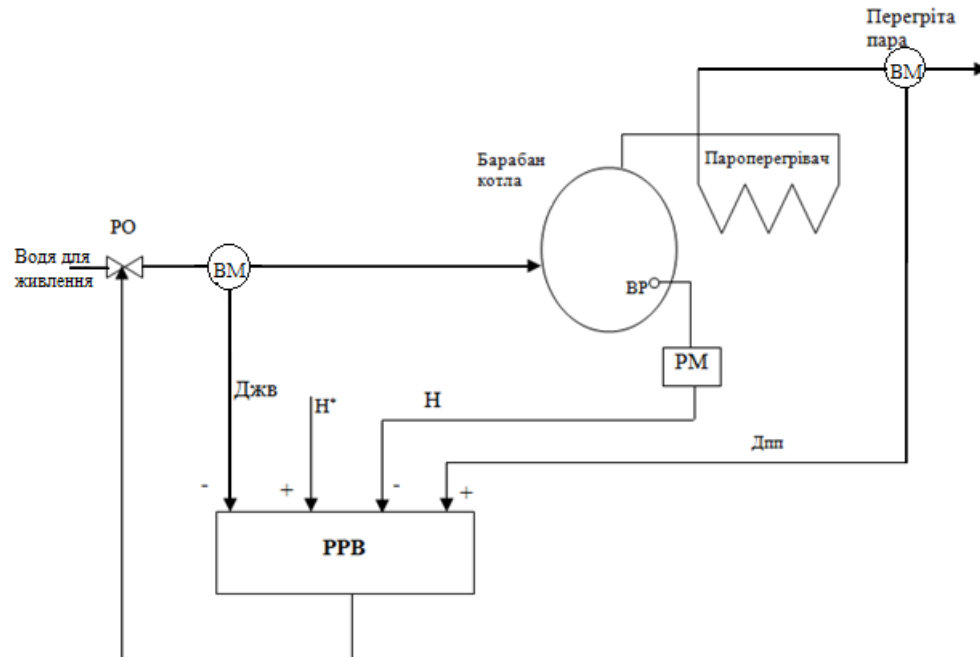


Рис. 2.14 Функціональна схема одноконтурної триімпульсної САР рівня у барабані котла

H^* , H – заданий рівень (уставка рівня) і поточний рівень.

РРВ – регулятор рівня.

ВР – відбір рівня.

РМ – рівнемір.

ВМ – Витратомір

$D_{жв}$ – витрата живильної води.

$D_{пп}$ – витрата перегрітої пари.

РО – регулюючий орган.

Рівнемір в САР рівня в барабані вимірює не рівень води в барабані котла (як потрібно було б за ТЗ), а рівень пароводяної суміші в барабані (по іншому неможливо). Функціонально для САР рівнемір є рівнеміром води, а фізично він

є рівнеміром пароводяної суміші у барабані котла, що призводить до суттєвих негативних наслідків.

Так як пароводяна суміш вже є неньютоновою рідиною (змінює свій об'єм під тиском), то має місце так зване «набрякання рівня»: при зменшенні, наприклад, тиску в барабані пароводяна суміш збільшується в об'ємі, що рівнемір сприймає, відповідно з гідростатичним парадоксом Паскаля, як збільшення рівня води (а фактично це збільшення рівня пароводяної суміші), хоча насправді рівень води (а саме рівень води, а не рівень пароводяної суміші, є індикатором матеріального балансу/небалансу вода-пара!) зменшується (зменшення тиску в барабані означає, що з пароводяної суміші видаляється більше насиченої пари в пароперегрівач, а далі перегрітої пари на турбіну, тобто більше води випаровується, відповідно, води в барабані менше і її рівень падає). При збільшенні тиску в барабані має місце зворотнє хибне спрацювання – рівнемір дає, відповідно з гідростатичним парадоксом Паскаля, зменшення рівня води (а фактично це зменшення рівня пароводяної суміші), хоча насправді рівень води збільшується. Таке протилежне спрацювання рівнеміра є тимчасовим і дуже короткочасним (секунди), після чого рівень пароводяної суміші починає змінюватись в одному напрямку з рівнем води.

Хибне протилежне спрацювання рівнеміра перетворює зворотний зв'язок за рівнем в САР рівня з від'ємного на додатній, в результаті чого перехідний процес розходиться і має місце аварія – так звані «упуск рівня» (барабан без води) або «переживлення рівня» (мікрокраплі води попадають з барабану на лопатки турбіни, руйнуючи їх). Для запобігання цим катастрофічним явищам на регулятор рівня РРВ подаються два додаткові імпульси (перший імпульс – поточний рівень; уставка імпульсом не вважається): виміряні витрата живильної води в барабан котла і витрата пари з котла на турбіну, причому з протилежними знаками. В результаті додатній імпульс витрати пари в перший

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							57
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

момент забезпечує спрацювання РРВ в правильному напрямку, а далі (коли РРВ змінює витрату води в правильному напрямку) врівноважується від'ємним імпульсом витрати живильної води (спочатку завжди $D_{пп} > D_{жв}$ або $D_{пп} < D_{жв}$ а потім завжди $D_{жв} = D_{пп}$).

В кінці перехідного процесу завжди має місце нульова статична похибка, так як з часом завжди $D_{жв} = D_{пп}$, в результаті в кінці перехідного процесу $H = H^*$.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		58

2.2.4. Опис схеми структурної регулювального каналу САР рівня у барабані парового котла

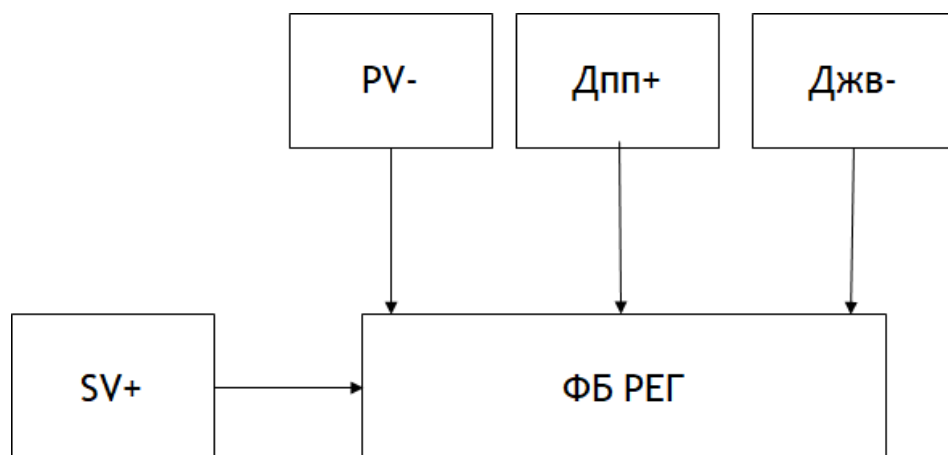


Рис. 2.15 Схема структурна регулювального каналу одноконтурної САР

SV - Set Value (завдання), задане значення рівня;

PV – Process value, поточне значення рівня у барабані;

Дпп – додатковий параметр витрати перегрітої пари

Джв – додатковий параметр витрати живильної води

ФБ РЕГ – функціональний блок регулятора, у нашому випадку ПІД-регулятору.

2.2.5 Опис схеми структурної виконавчого каналу рівня у барабані котла

ВК – виконавчий канал

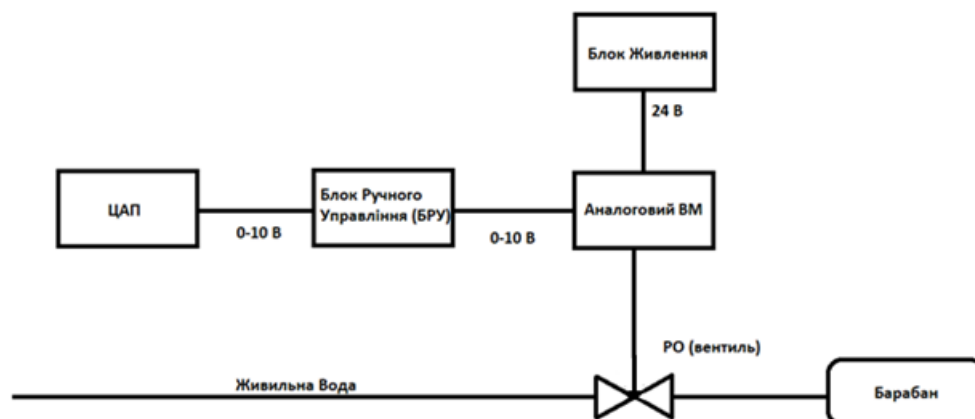


Рис. 2.16 Схема структурна ВК САР рівня у барабані парового котла

1. ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач
2. БРУ – аналоговий блок ручного управління, БРУ-107;
3. РО – двоходовий регулюючий клапан Belimo H6100S.
4. Аналоговий ВМ – сервопривід Belimo AVK230-3
5. ОУ – об’єкт управління – канал передачі дії “зміна витрата живильної води – рівень води у барабані парового котла”

В якості ВМ оберемо Belimo AVK230A-3, який призначений для управління клапанами. Вироби Belimo мають високу надійність та багато сертифікацій.

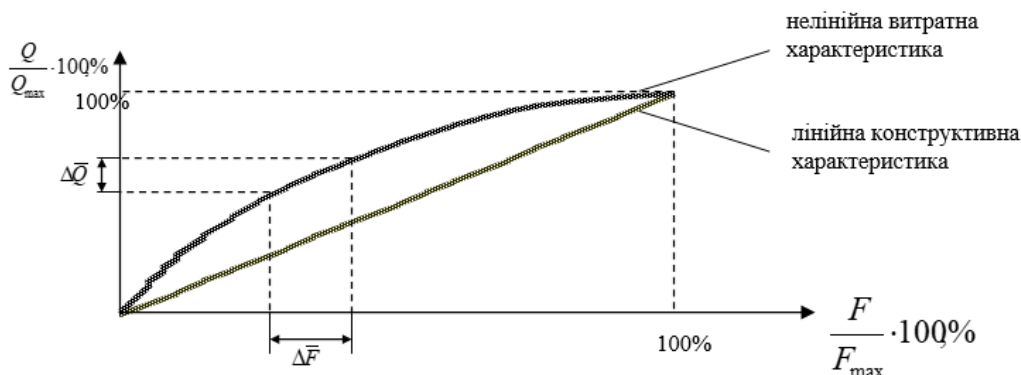


Рис. 2.17 –Характеристика ВК каналу САР рівня у барабані

Обраний ВМ має лінійну конструктивну характеристику, але у робочих у мовах вона перетворюється на нелінійну витатну характеристику. Для використання лінійності ВМ оберемо відповідний діапазон ΔQ , на проміжку якого характеристика має лінійний графік залежності. Як видно з рисунку 2.17 у проміжку ΔF графік залежності має практично лінійну витратну характеристику.

2.2.6 Опис схеми структурної ПТЗ САР рівня у барабані парового котла

На рисунку нижче зображена структура програмно технічного забезпечення (ПТЗ) одноконтурної АСР регулювання рівня води у барабані. Структура відповідає одноконтурній САР з триімпульсним регулятором.

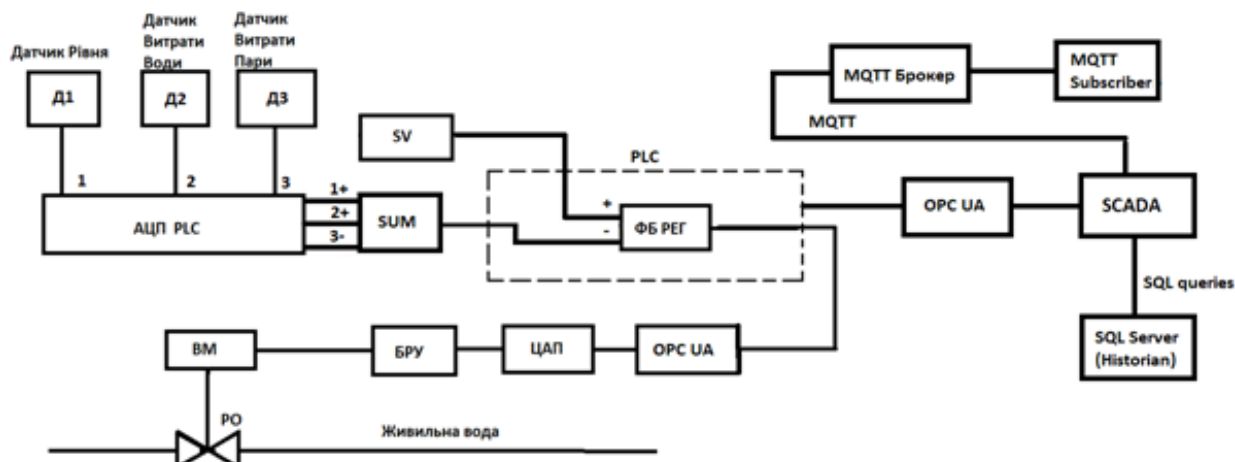


Рис 2.18 Схема структурна ПТЗ СРА рівня у барабані котла

Д1 – значення з рівнеміра, сигнал заходить на суматор зі знаком плюс.
 Д2 – значення з датчика (вихровий витратомір) витрати живильної води у барабан котла, сигнал заходить на суматор зі знаком плюс

Д2 – значення з датчика (вихровий витратомір) витрати пари у колектор, сигнал заходить на суматор зі знаком мінус

РП – прилад для реєстрації Метран-910;

БРУ – аналоговий блок ручного управління, БРУ-107;

АЦП PLC – модуль ПЛК, що використовується для перетворення сигналу з аналогового на цифровий

ЦАП – модуль ПЛК, що використовується для перетворення сигналу з цифрового на аналоговий для безпосередньої передачі сигналу до ВМ

SUM – суматор формує імпульс який потрапляє на ФБ РЕГ зі знаком мінус.

SV – задане значення рівня зі знаком плюс заходить на регулятор.

Регулюючий вплив за протоколом OPC UA прямує на ВМ і здійснює регулювання положення РО.

Значення з ФБ РЕГ за протоколом OPC UA надходять у SCADA систему, де за допомогою відповідних скриптів і допоміжних технологій SQL та MQTT інформація про стан системи зберігається та розповсюджується. Доступ до даних можуть отримати всі користувачів та оператори у яких є доступ до SCADA системи.

OPC Unified Architecture (OPC UA) — це протокол міжмашинного зв'язку, який використовується для промислової автоматизації та розроблений OPC Foundation. Платформа OPC UA в незалежній від платформи сервіс-орієнтованій архітектурі, яка інтегрує окремі специфікації OPC Classic в розширювану структуру.

MQTT — це стандартний протокол обміну повідомленнями OASIS для Інтернету речей (IoT). Він розроблений як надзвичайно легкий транспортний засіб обміну повідомленнями для публікації/підписки, який ідеально підходить для підключення віддалених пристроїв з невеликим кодовим слідом і мінімальною пропускну здатністю мережі. MQTT сьогодні використовується

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							62
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

в найрізноманітніших галузях, таких як автомобілебудування, виробництво, телекомунікації, нафта і газ тощо.

SQL - це мова запитів, призначена для роботи з наборами фактів та відносин між ними. У програмах керування реляційними базами даних, як-от Microsoft Office Access, мова SQL використовується для роботи з даними. На відміну від багатьох мов запитів, SQL легко читаємо і зрозумілий навіть новачкам. SQL є міжнародним стандартом, визнаним такими комітетами зі стандартизації, як ISO та ANSI.

2.2.7. Опис схеми структурної надійності реалізації управляючої функції АСР рівня у барабані котла

Структурні схеми надійності (ССН) показують як підключати різні елементи АСР для більшої надійності системи. Найпростішим і найбільш поширеним є послідовне з'єднання елементів. В цьому випадку відмова одного елементу приводить до відмови всього ланцюжка. Послідовному включенню елементів в ССН може відповідати будь-яка фізична або електрична взаємодія елементів.

Відмовою є зниження показників надійності нижче заданих значень. Кожна функція АСУ ТП складається з ряду елементів, при цьому один і той же елемент може фігурувати в ССН різноманітних функцій. Показники надійності задаються для кожної функції АСУ ТП, а не для АСУ ТП в цілому. Відмовою функції є зниження її показників надійності. Відмовою АСУ ТП є відмова найбільш важливих функцій або одночасної відмови декількох функцій АСУ ТП. Для підвищення надійності виконання функцій передбачається резервування найменш надійних елементів. Такому резервуванню в ССН функції відповідає паралельне підключення елементів.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							63
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		



Рис. 2.19 Структурна схема надійності управління рівнем

На рис. 2.17 зображено схему структурну надійності управління рівнем у барабані котла. На ній зображено підключення складових частин АСР один до одною у відповідній послідовності для візуального розуміння і побудови подальших формул розрахунку надійності ВК. Вимірювальні датчики під'єднуються до нашого ПЛК Unitronics UniStream, де й обробляється сигнал. Далі управляюча дія через послідовне під'єднується до БРУ-107 (для можливості ручного управління ВМ) підключається до виконавчого механізму Belimo AVK230A-3. Далі вже ВМ безпосередньо впливає на регулючий орган змінюючи його положення. У нашому випадку відкриває чи закриває клапан подачі живильної води.

2.2.8. Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР рівня у барабані парового котла

Задамо середній час напрацювання на відмову $T_{cp}^* = 11\,000$ год та коефіцієнт готовності $K_{гот}^* = 0.9995$.

Середній час напрацювання на відмову приладів:

$$T_{cp}^{контролер} = 40\,000 \text{ год}, T_{cp}^{БРУ} = 100\,000 \text{ год}, T_{cp}^{ВМ} = 100\,000 \text{ год}.$$

Інтенсивність відмов:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \frac{1}{100000} + \frac{1}{100000} + \frac{1}{40000} = 0.000045 \frac{1}{\text{год}}$$

$$\text{Середній час напрацювання на відмову: } T_{cp} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.000108} = 22\,222 \text{ год}$$

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		64

$T_{cp} > T_{cp}^*$, отже структура виконавчих каналів коректна.

Імовірність безвідмовної роботи ССН за період часу $\tau = 2400$ год:

$$P_{\delta}(\tau) = e^{\frac{-\tau}{T_{cp}}} = e^{-\lambda \cdot \tau} \approx 1 - \frac{\tau}{T_{cp}} \approx 1 - \lambda \cdot \tau = 1 - 0.000045 \cdot 2400 = 0.892$$

Середній час відновлення працездатності виконавчих каналів:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_{\text{в}}} \rightarrow T_{\text{в}} = \frac{T_{cp}}{K_{\text{гот}}^*} - T_{cp} = \frac{22222}{0.9995} - 22222 = 111.6 \text{ год}$$

Висновок. Розрахунки надійності реалізації упавляючої функції САР показали, що виконавчий канал є надійним і не перевищує задані показники надійності упавляючих функцій САР рівня у барабані парового котла.

2.2.9. Розрахунок регуляторів САР рівня у барабані парового котла

Розрахунок ПІД-регуляторів для одноконтурної САР:

Для статичного об'єкту та перехідного процесу з 20% перерегулюванням:

$$K_p = 0.7 \cdot \frac{1}{K_{\text{об}}} \cdot \frac{T_{\text{об}}}{\tau_{\text{об}}} \quad T_i = 0.7 \cdot T_{\text{об}}$$

Для отримання повільного регулятора (для забезпечення значного запасу стійкості, тобто малочутливість САР) задається.

$$\tau_{\text{об}} = T_{\text{об}}$$

Отримали такі параметри ПІ-регулятора для САР рівня у барабані котла:

$$K_{\text{об}} = 1 \frac{m / \text{год}}{\% \text{PO}} \quad T_{\text{об}} = 100 \text{сек} \quad \tau_{\text{об}} = 25 \text{сек}$$

$$K_p = 0.7 \cdot \frac{1}{K_{\text{об}}} \cdot \frac{T_{\text{об}}}{\tau_{\text{об}}} = 0.7 \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{100}{25} = 0.7 \frac{\% \text{PO}}{m / \text{год}} \quad T_i = 0.7 \cdot T_{\text{об}} = 0.7 \cdot 100 = 70 \text{сек} \quad T_d = 0 \text{сек}$$

ФБ ПЛК – функціональний блок у soft PLC CoDeSys

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		65

Оскільки використовується аналоговий виконавчий механізм (ВМ змінної швидкості – динамічно позиціонер, тобто повторювач, тобто пропорційна ланка з $K=1$), то в ПЛК використовується бібліотечний ФБ «Аналоговий ПІД-регулятор», який реалізує ПІД-закон регулювання. В результаті ФБ ПЛК у взаємодії з ВМ реалізує ПІД-закон регулювання.

Примітка. Якби використовувався трипозиційний виконавчий механізм (ВМ постійної швидкості – динамічно інтегратор, тобто інтегруюча ланка зі сталою часу ВМ), то в ПЛК використовувався б бібліотечний ФБ «Імпульсний (релейно-імпульсний) ПІД-регулятор», який реалізує ДПІД²-закон регулювання. В результаті ФБ ПЛК у взаємодії з ВМ реалізує ПІД-закон регулювання (ВМ «інтегрує» ДПІД²-сигнал від ФБ ПЛК, що і забезпечує ПІД-закон регулювання).

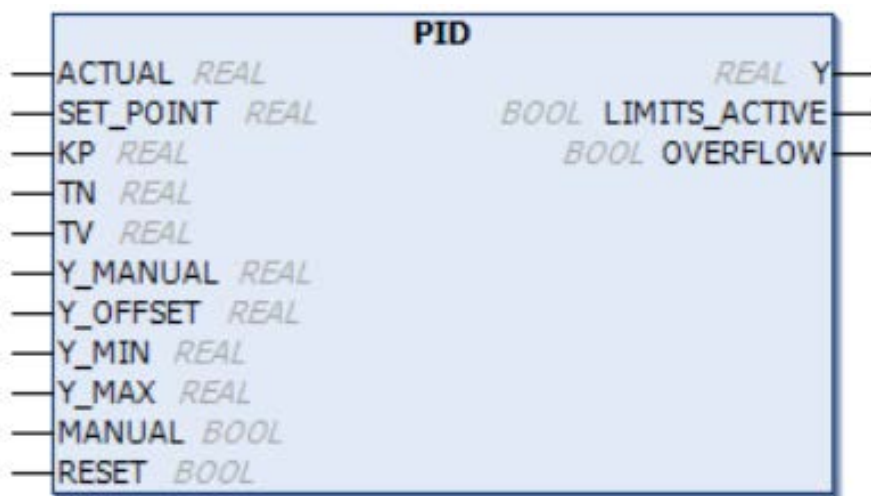


Рис 2.20 Реалізація в ФБ ПЛК регулятора у CoDeSys 3.5

FUNCTION_BLOCK PID

PD controller

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
ACTUAL	REAL				actual value, process variable
SET_POINT	REAL				desired value, set point
KP	REAL				proportionality const. (P)
TN	REAL				reset time (I) in sec
TV	REAL				rate time, derivative time (D) in sec
Y_MANUAL	REAL				Y is set to this value as long as MANUAL=TRUE
Y_OFFSET	REAL				offset for manipulated variable
Y_MIN	REAL				minimum value for manipulated variable
Y_MAX	REAL				maximum value for manipulated variable
MANUAL	BOOL				TRUE: manual: Y is not influenced by controller, FALSE: controller determines Y
RESET	BOOL				reset: set Y output to Y_OFFSET and reset integral part
Y	REAL				manipulated variable, set value
LIMITS_ACTIVE	BOOL			FALSE	true set value would exceed limits Y_MIN, Y_MAX
OVERFLOW	BOOL			FALSE	overflow in integral part

Рис 2.21 Опис параметрів ФБ ПЛК регулятора у CoDeSys 3.5

2.2.10. Імітаційне функціональне моделювання САР рівня у барабані парового котла СКМ Matlab Simulink.

Змоделюємо одноконтурну САР з триімпульсним регулятором. Додаткові імпульси (каналу передачі дії “витрата живильної води – рівень в барабані котла”) Джв та Дпп в ході регулювання компенсують один одного, тому при моделюванні САР цими сигналами можна знехтувати і моделювати САР рівня як типову одноконтурну САР.

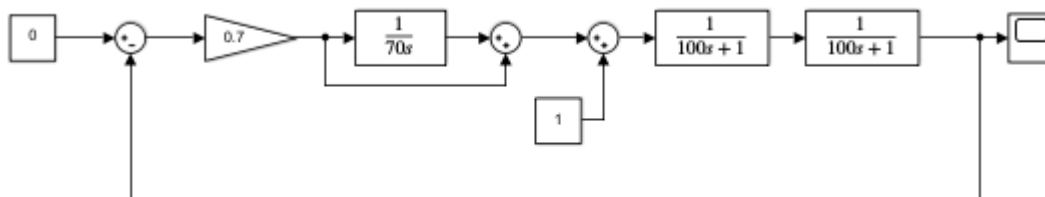


Рис 2.22 Модель одноконтурної САР з триімпульсним регулятором рівня у барабані парового котла у середовищі Matlab Simulink

Змодельюємо перехідні процеси одноконтурної САР з триімпульсним регулятором рівня у барабані парового котла за збуренням зі сторони регулючого органу (див. рис. 2.25) і збуренні завданням (див. рис 2.26). Отримані перехідні процеси зображені на рис. 2.27 і рис.2.28.

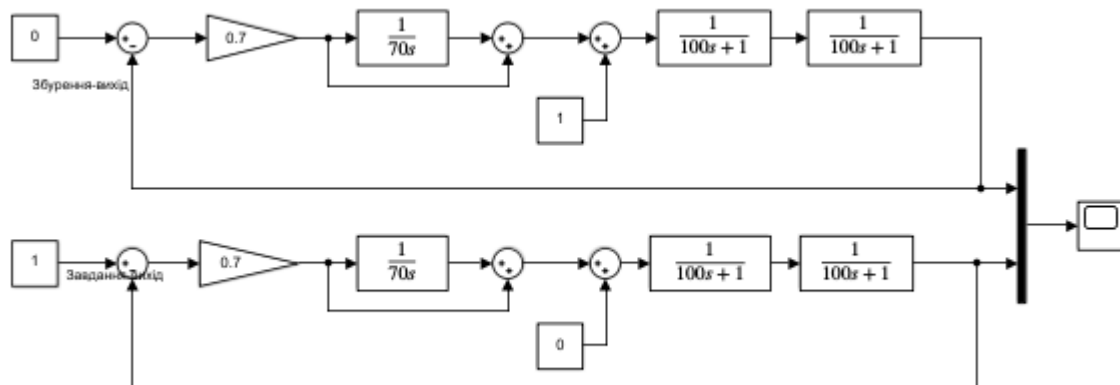


Рис 2.23 Модель каналів збурення-вихід і завдання-вихід одноконтурної САР з триімпульсним регулятором рівня у барабані парового котла

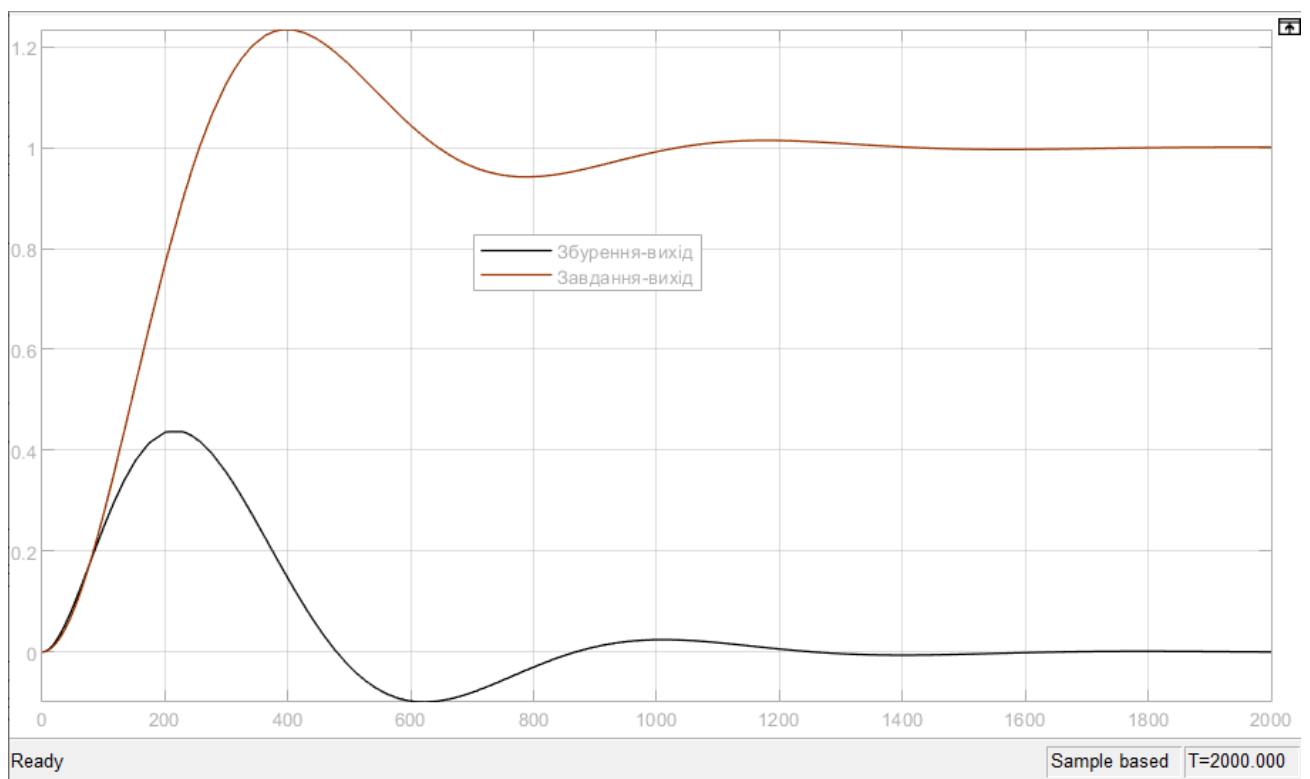


Рис 2.24 Перехідні процеси за каналами збурення-вихід (збурення зі сторони РО).

На схемі на рис. 2.25 представлена функціональна модель САР барабанового котла. До складу САР барабанового котла входить каскадна САР теплового навантаження котла і одноконтурна САР рівня у барабані котла з триімпульсним регулятором. Змодельовано вплив переміщення РК (регулюючого клапану) турбіни на тиск пари у трубопроводі і рівень води у барабані. Змодельовано ефект набрякання рівня у барабані парового котла. Змодельована одноконтурна триімпульсна САР рівня у барабані котла. Додаткові виміряні параметри витрати перегрітої пари і витрати живильної води є додатковими імпульсами і підключаються на вхід регулятора з різними знаками (відповідно плюс і мінус). Таким чином підключені додаткові імпульси витрати перегрітої пари і живильної води забезпечують правильне функціонування САР рівня, не зважаючи на ефект набрякання рівня. Так як додаткові імпульси підключені з різними знаками і їх значення в статичному режимі завжди однакові, забезпечується нульова статична похибка регулювання рівня.

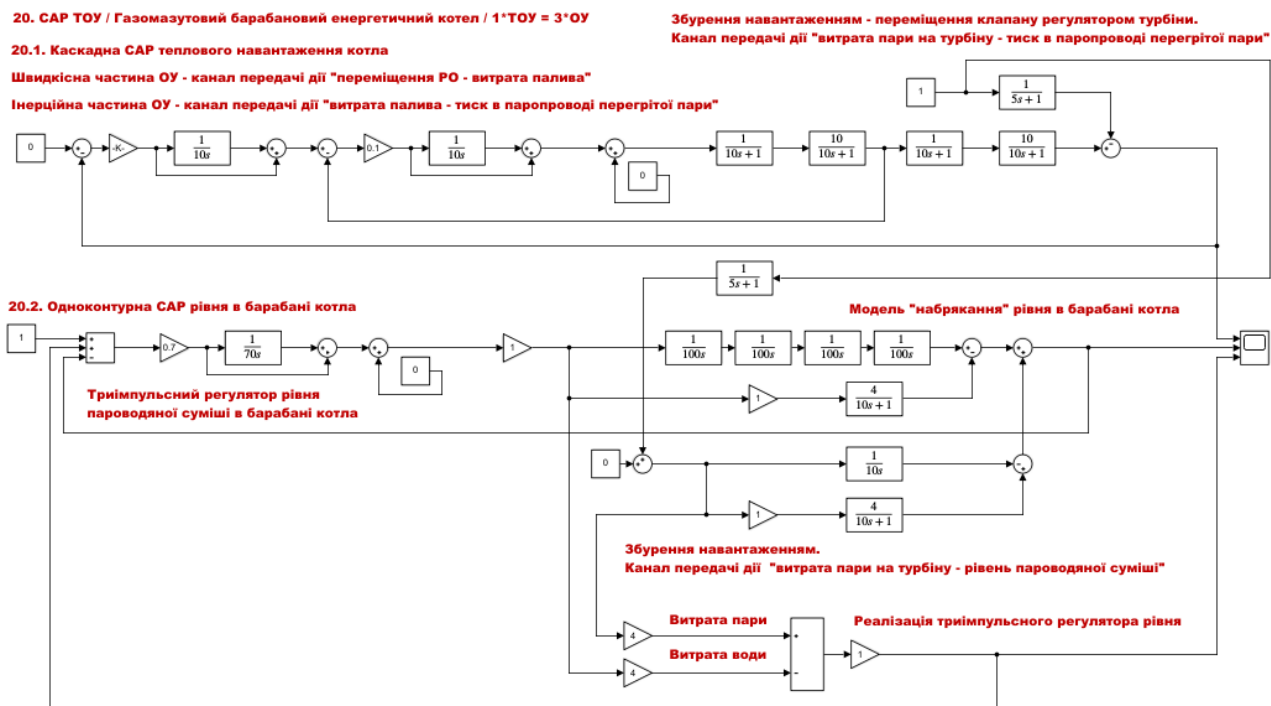


Рис. 2.25 – Схема структурна САР барабанового котла.

Збуренням зі сторони РК турбіни. Верхній контур – САР теплового навантаження. Нижній контур – САР рівня в барабані.

Канал передачі дії “зміна витрати живильної води – зміна рівня в барабані” є ОУ без самовирівнювання (астатичним ОУ). Для ОУ з самовирівнюванням (статичного ОУ) найкращим є ПІ-регулятор (ПІ-регулятор не забезпечує нульову статичну похибку, а І-регулятор є надто повільним). Особливістю астатичних ОУ є той факт, що для них найкращим є ПІ-регулятор, який для астатичного ОУ дає нульову статичну похибку (ПІ-регулятор погіршує якість регулювання порівняно з ПІ-регулятором). Використання І-регулятора для астатичного ОУ є неприпустимим, так як САР в цьому випадку стає структурно несталою. Структурно нестала САР – це така замкнена САР, в якій за будь-яких значень параметрів неможливо забезпечити сталість, тобто неможливо реалізувати перехідний процес який сходиться до завдання. Ознакою структурної несталості САР є наявність послідовного включення двох інтегруючих ланок. Астатичний ОУ є інтегруючою ланкою. Якщо використовується І-регулятор, то в САР з астатичним ОУ є послідовно включені два інтегратори і така САР є структурно несталою. Слід зауважити, що використання ПІ-регулятора для астатичного ОУ не призводить до послідовного включення двох інтегруючих ланок (так як І-частина ПІ-регулятора паралельно охоплена ПІ-частиною).

В промисловості для очищення розчинів і пульп використовуються каскадні басейни. Каскадний басейн – це два басейни, з’єднані між собою трубою для переливання рідини з першого у другий басейн. Такий каскадний басейн як ОУ є двома послідовно з’єднаними інтегральними ланками. З цієї причини будь-яка одноконтурна САР каскадного басейну є структурно несталою, тобто не забезпечує перехідного процесу, що сходиться, при будь-якому регуляторі і будь-яких налагодженнях цього регулятора.

Нижче на рис. 2.26 представлена каскадна САР рівня в каскадному басейні. Каскадна САР рівня є структурно сталою, тобто параметрами налагодження

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							70
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

коригуючого і стабілізуючого регуляторів можна досягти перехідних процесів, які сходяться. Такий ефект досягається за рахунок того, що каскадна САР “розділена” на дві одноконтурні САР з стабілізуючим і коригуючим регулятором, і в цих одноконтурних САР є тільки один астатичний ОУ (одна інтегруюча ланка).

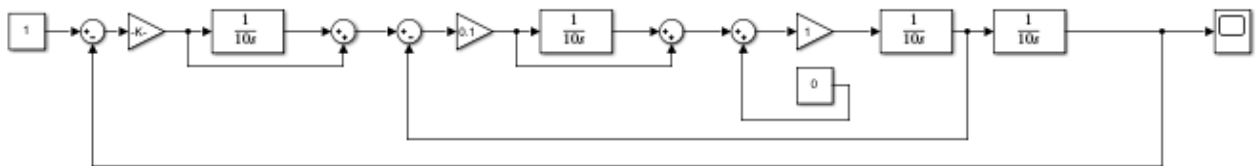


Рис. 2.26 – Схема структурна каскадної САР рівні у каскадному басейні

2.2.11. Аналіз чутливості САР рівня у барабані парового котла до параметричних збурень

Для аналізу чутливості побудуємо перехідні процеси для зміни K_p та T_i регулятора на $\pm 30\%$.

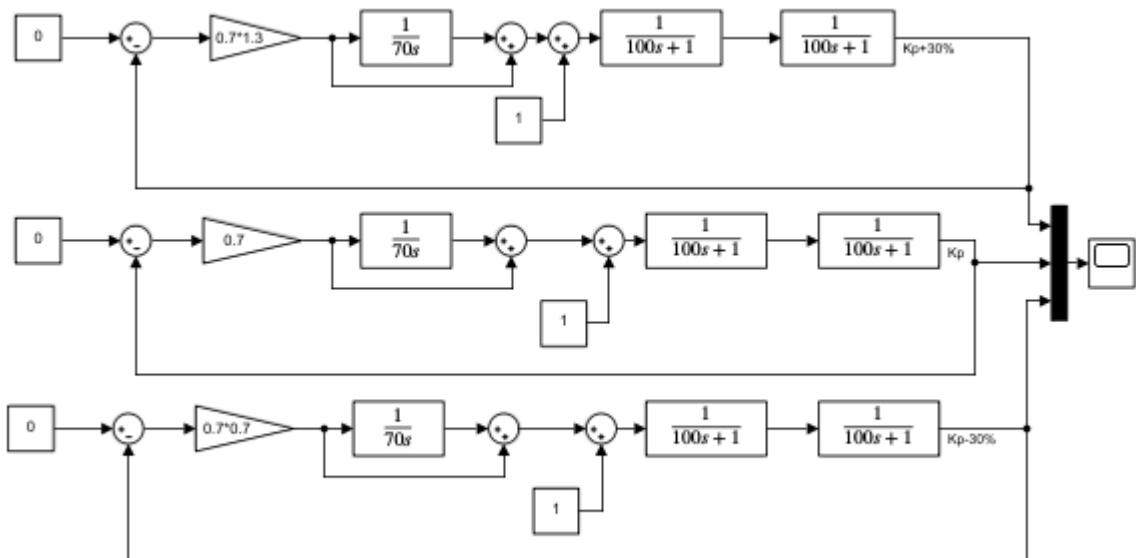


Рис. 2.25 Канал «Збурення-Вихід» (зміна $K_p+30\%$, $K_p-30\%$)

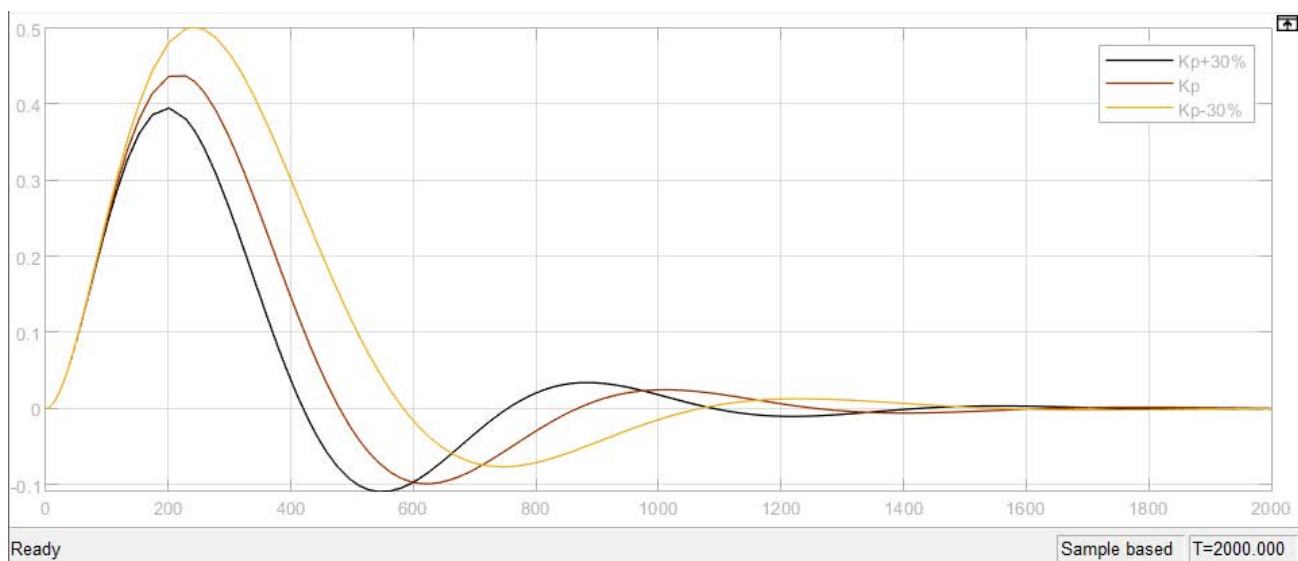


Рис. 2.26 Перехідні характеристики за каналом «Збурення-Вихід»
(зміна $K_p+30\%$, $K_p-30\%$)

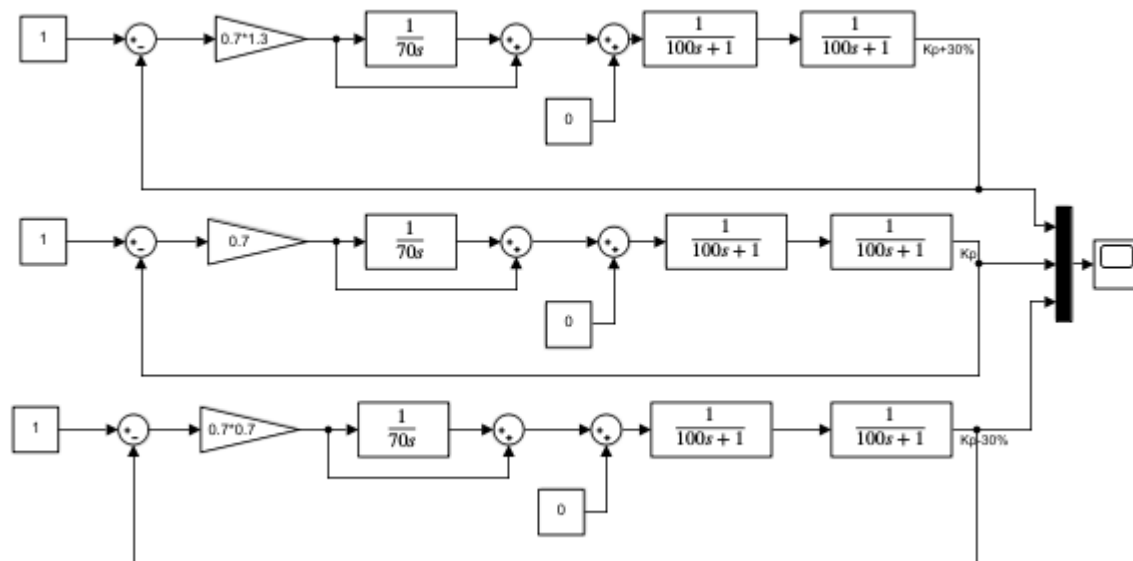


Рис. 2.27 Канал «Завдання-Вихід» (зміна $K_p+30\%$, $K_p-30\%$)

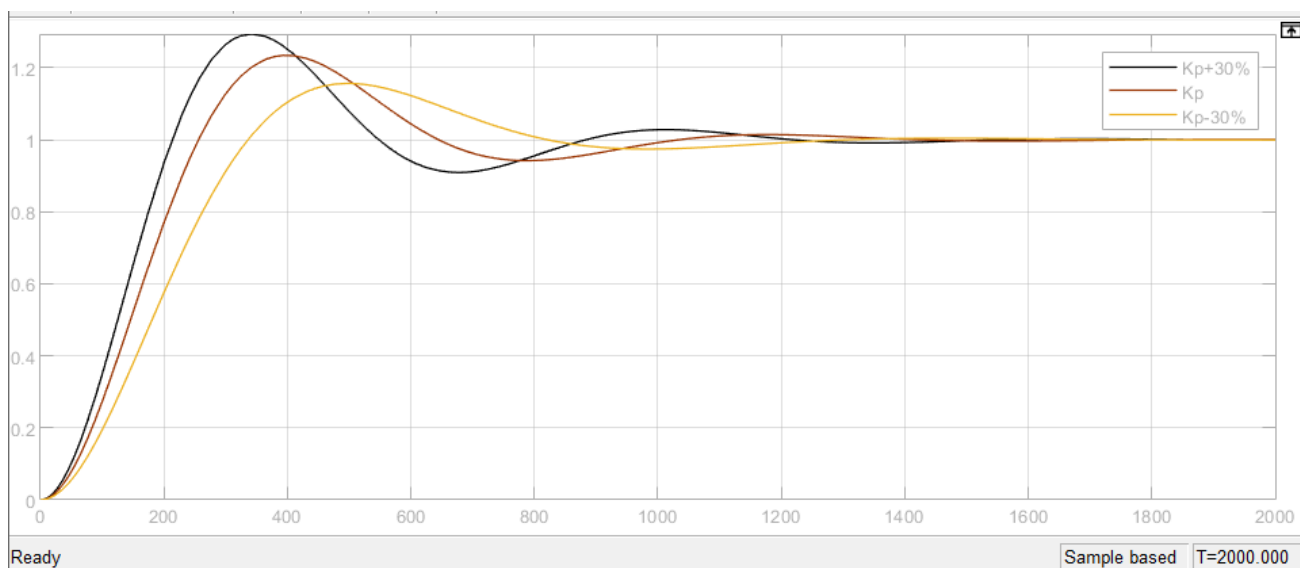


Рис. 2.28 Перехідні характеристики за каналом «Завдання-Вихід»
(зміна $K_p+30\%$, $K_p-30\%$)

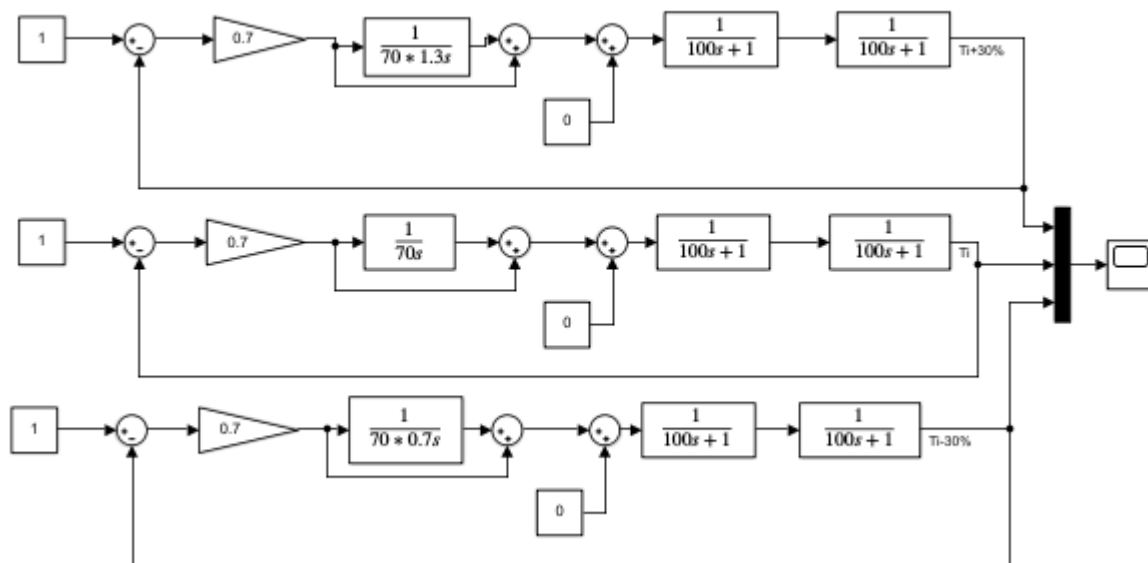


Рис. 2.29 Канал «Завдання-Вихід» (зміна $T_i+30\%$, $T_i-30\%$)

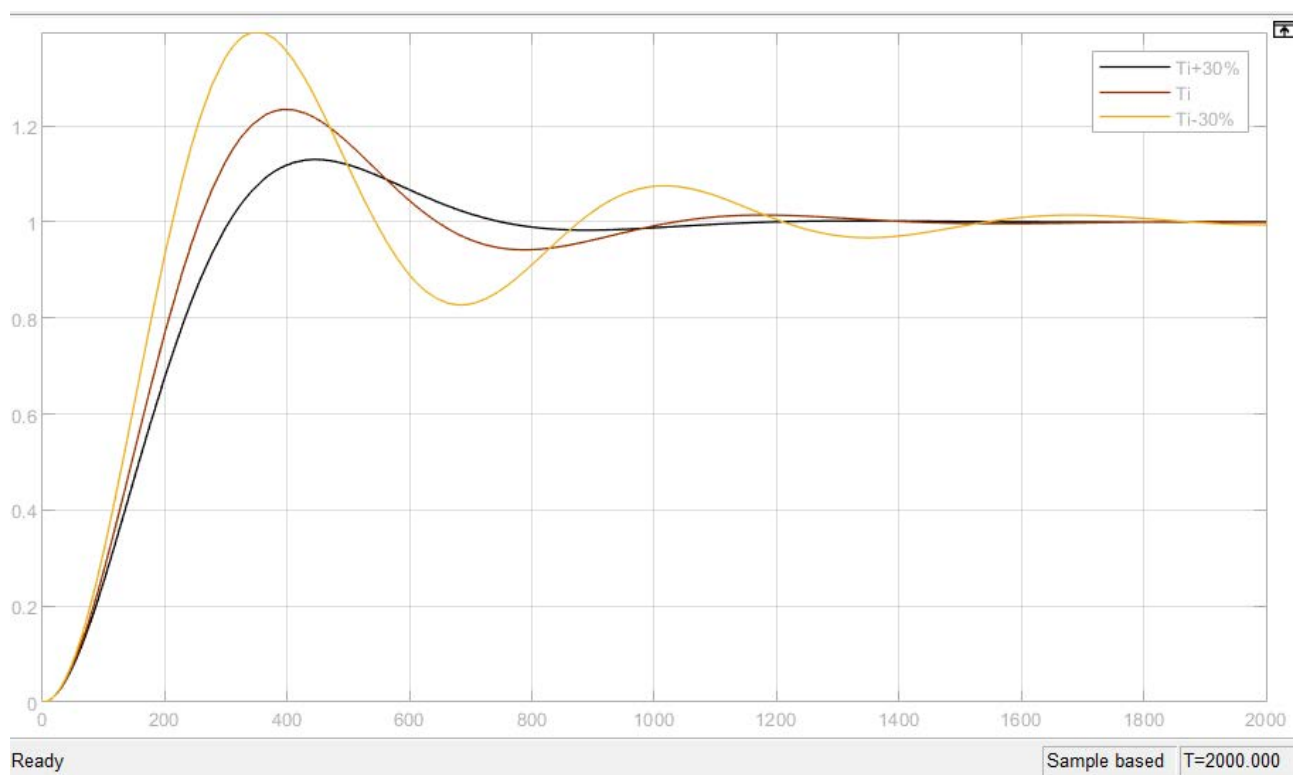


Рис. 2.30 Перехідні характеристики за каналом «Завдання-Вихід»
(зміна $T_i+30\%$, $T_i-30\%$)

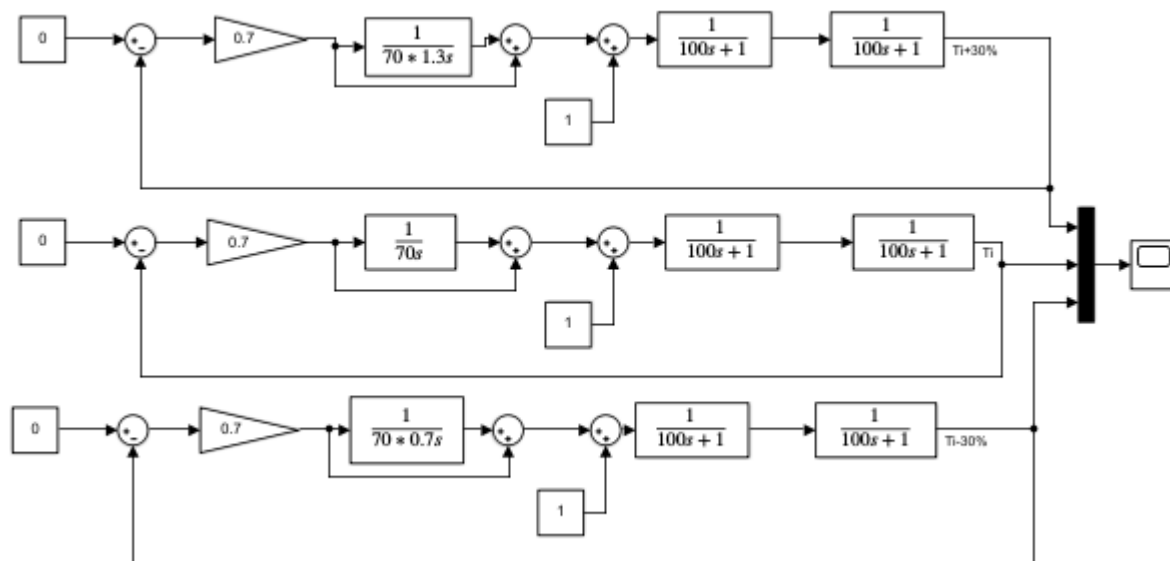


Рис. 2.31 Канал «Збурення-Вихід» (зміна $T_i+30\%$, $T_i-30\%$)

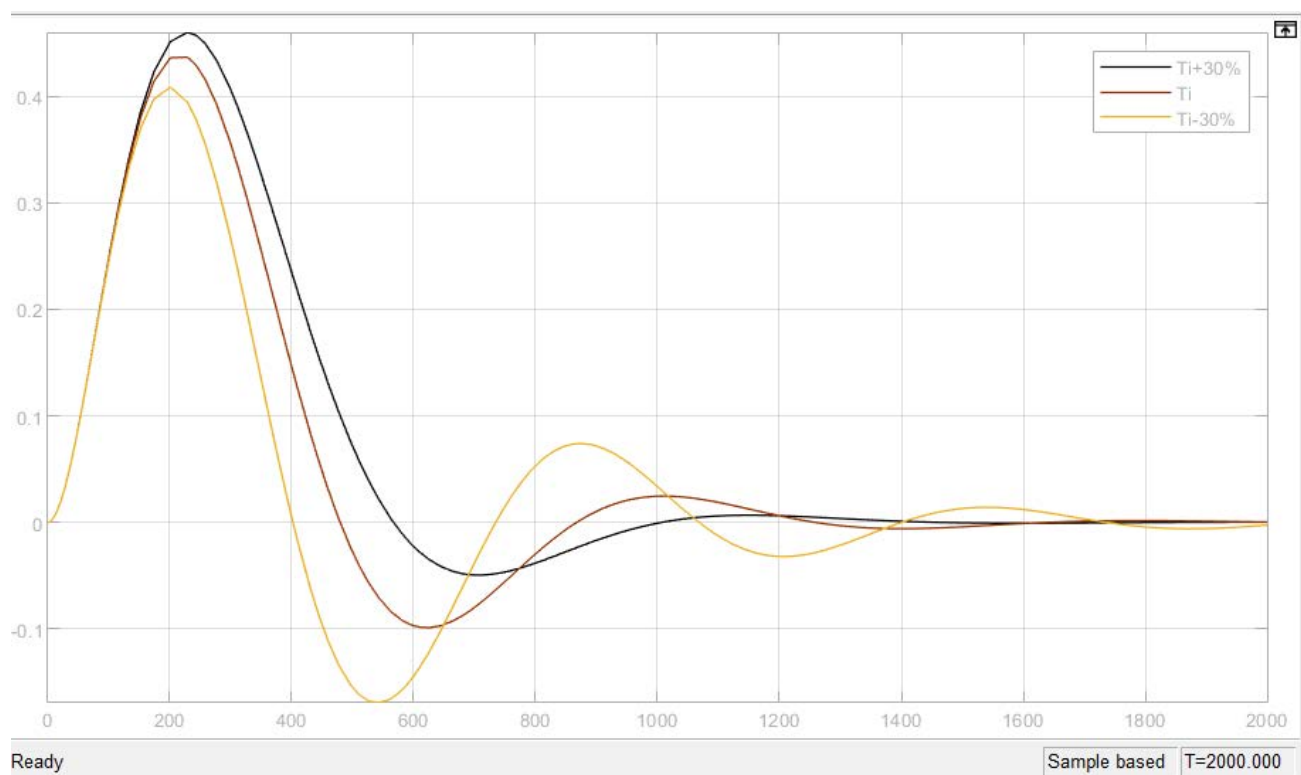


Рис. 2.32 Перехідні характеристики за каналом «Збурення-Вихід»
(зміна $T_i+30\%$, $T_i-30\%$)

2.2.11. Висновки про роботоздатність САР рівня у барабані парового.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							75
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

Після проведеного аналізу виявлено, що одноконтурна САР рівня у барабані котла виконує якісне регулювання. Аналіз чутливості виявив, що одноконтурна САР рівня у барабані парового котла є малочутливою до параметричних збурень, що і потрібно було для правильного регулювання. Середній час напрацювання на відмову САР набагато більший мінімально допустимого, тому можна зробити висновок, що САР рівня у барабані парового котла є достатньо надійною. Одноконтурна САР рівня у барабані котла забезпечує якісні перехідні процеси і є малочутливою до параметричних збурень, а її технічна реалізація забезпечує надійне функціонування.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							76
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

3. Імітаційне структурне моделювання САР рівня у барабані парового котла

3.1. Схема структурна полігону імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем

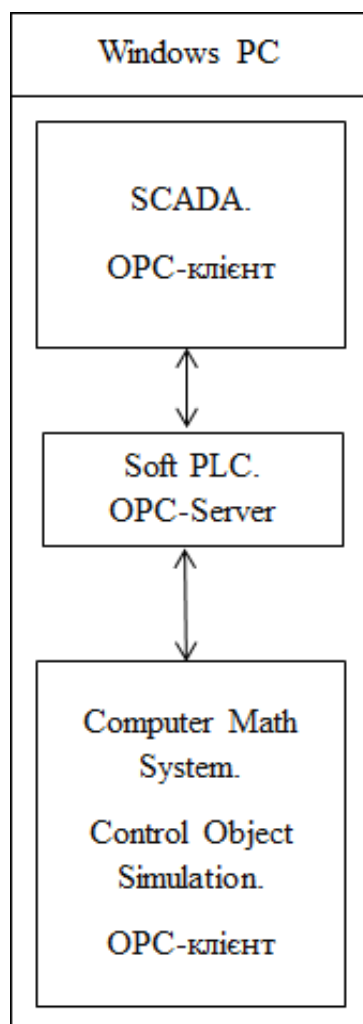


Рис. 3.1 Структура полігону імітаційного SIL-моделювання АТК

Полігон імітаційного SIL-моделювання базується на платформі СКМ Matlab Simulink – softPLC CoDeSys – HMI/SCADA-система WebStudio. ТОУ моделюється в СКМ Matlab Simulink. Контролерна функціональність моделюється в softPLC CoDeSys. Супервізорна функціональність реалізується у SCADA-системі Indusoft WebStudio.

Імітаційне моделювання АТК – це програмно-технічне моделювання контролерної і супервізорної функціональності АСУ з використанням

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							77
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

програмних (не фізичних і не математичних) моделей (цифрових двійників) ТОУ. Функціональне імітаційне моделювання динамічної системи – імітаційне моделювання функцій динамічної системи.

Структурне імітаційне моделювання динамічної системи – моделювання взаємодії структурних частин динамічної системи. Імітаційне моделювання АТК є ефективним інструментарієм для перевірки роботоздатності і налагодження АСУ за відсутності доступу до реального фізичного ТОУ і неможливості розрахунку динаміки систем автоматичного регулювання з використанням складних математичних моделей ТОУ. Імітаційне моделювання АТК використовується на стадіях проектування (розробки і програмування), впровадження, тиражування і модернізації АСУ..

ТОУ моделюється або в системі комп'ютерної математики (СКМ), або прямо в самому ПЛК. Реалізація людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) – зовнішня SCADA-система або НМІ-панель самого ПЛК. Реалізація ПЛК – хардПЛК (реальний фізичний ПЛК) або софтПЛК (програмно реалізований в комп'ютері ПЛК).

Вирізняють: імітаційне SIL-моделювання АТК (Software-In-the-Loop: софтПЛК в колі зворотного зв'язку; модель ТОУ реалізована в СКМ; ЛМІ – зовнішня SCADA-система); імітаційне HIL-моделювання АТК (Hardware-In-the-Loop: хардПЛК в колі зворотного зв'язку; модель ТОУ реалізована прямо в хардПЛК; ЛМІ – НМІ-панель самого хардПЛК); імітаційне VIL-моделювання АТК (Viewer-In-the-Loop: модель ТОУ, ПЛК і ЛМІ реалізовані в НМІ/SCADA-системі).

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							78
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

3.2. Функціональне моделювання універсального ОУ в СКМ Matlab

Simulink

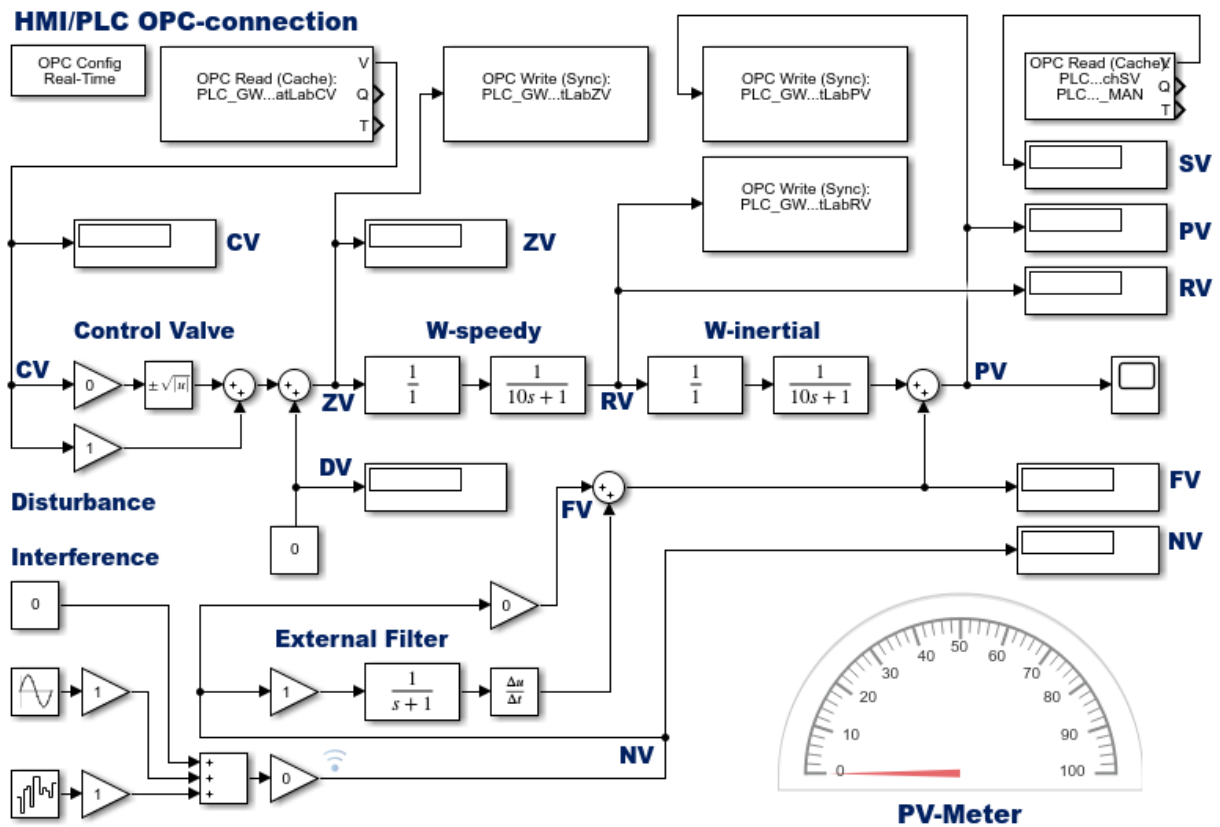


Рисунок 3.3 - Модель ТОУ в Matlab Simulink

3.2. Реалізація контролерної функціональності універсальної САР в софтПЛК CoDeSys

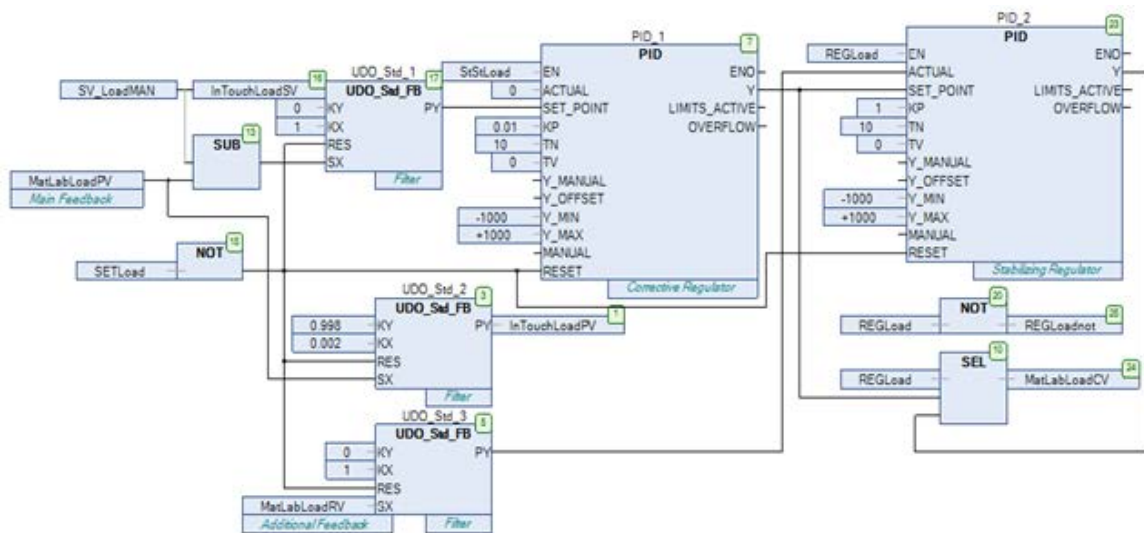


Рис. 3.5 Реалізація універсальної каскадної АСР у середовищі CoDeSys

PID_1 – коригуючий регулятор

PID_2 – стабілізуючий регулятор

3.3. Реалізація супервізорної функціональності САР рівня у барабані котла в HMI/SCADA-системі WebStudio

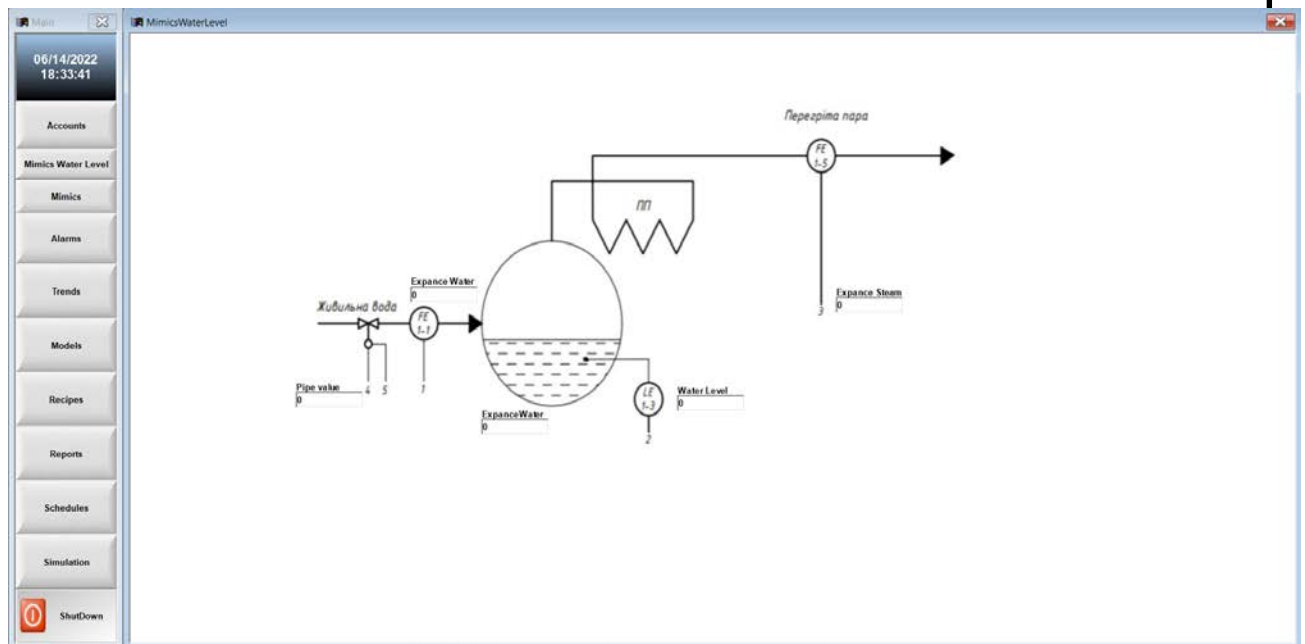


Рис. 3.6 Вікно “Mimics” з мнемосхемою барабанного котла (рівень пароводяної суміші у барабані парового котла)

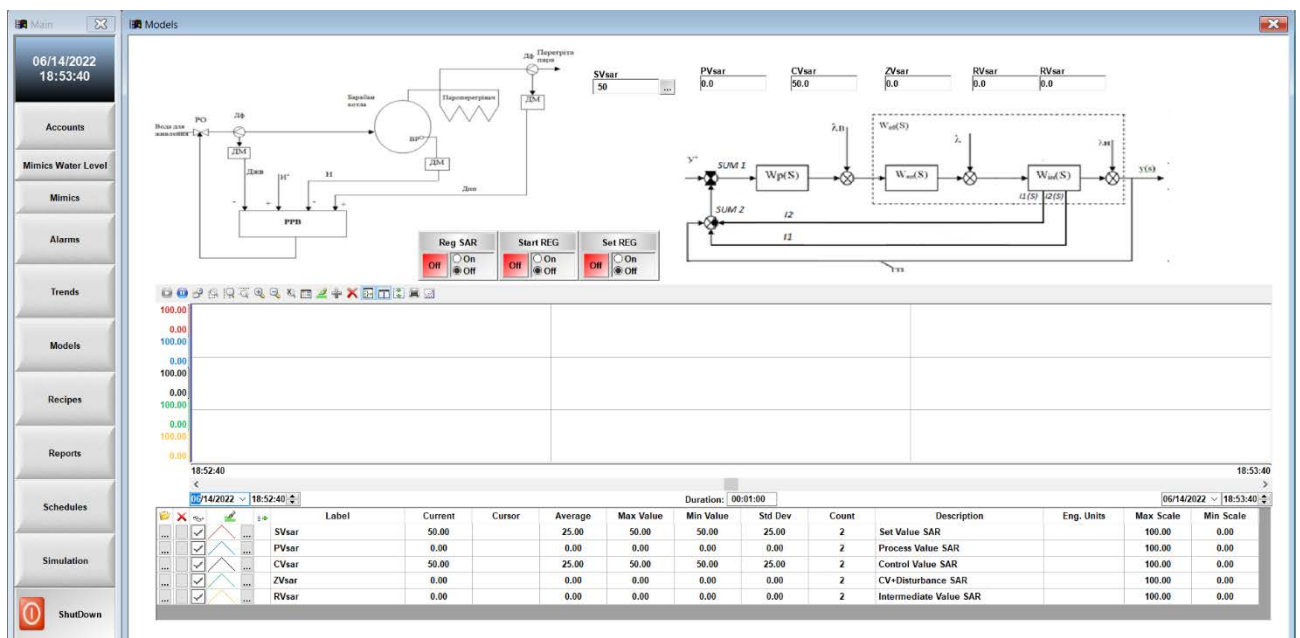


Рисунок 3.7 - Вікно «Models»

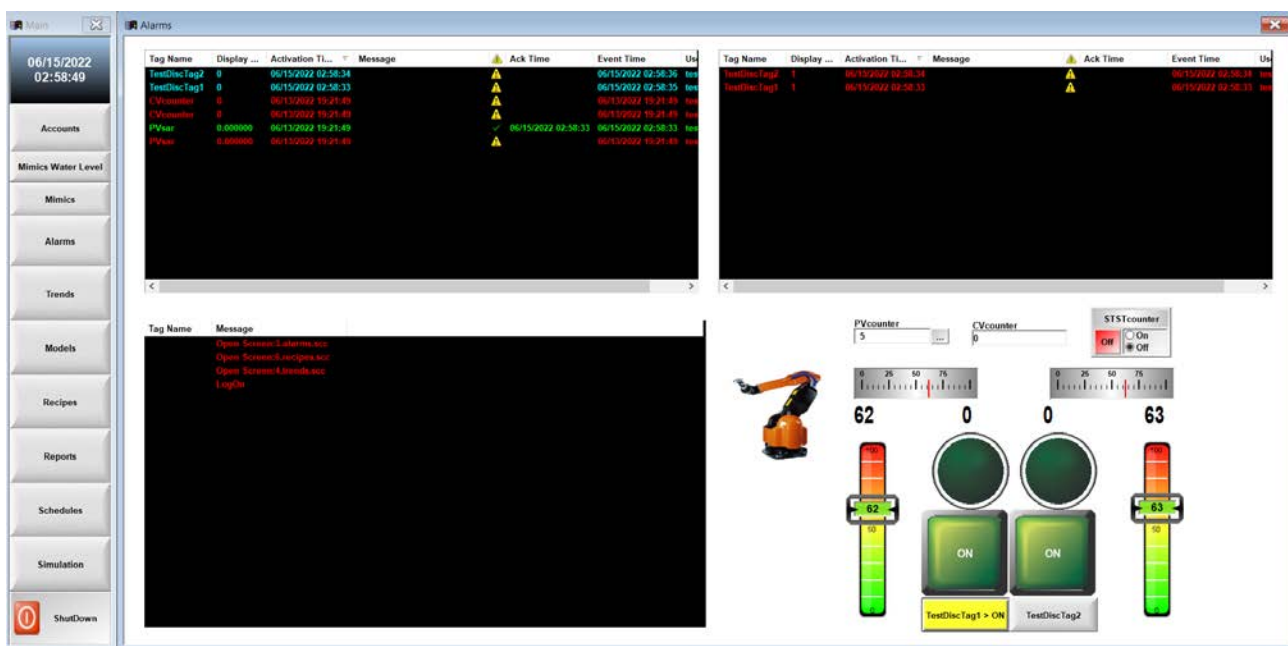


Рисунок 3.8 - Вікно «Alarms»

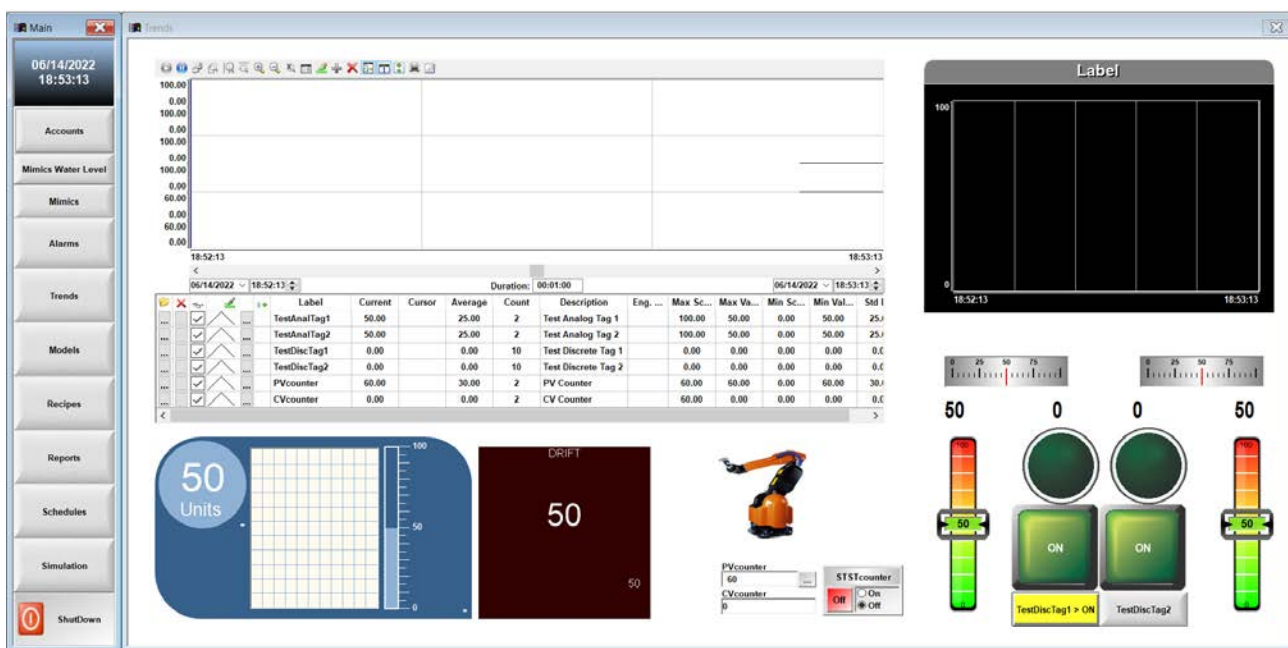


Рисунок 3.9 - Вікно «Trends»

3.5 Реалізація супервізорної функціональності САР рівня у барабані котла в HMI/SCADA-системі WebStudio. MES-Lite функціональність

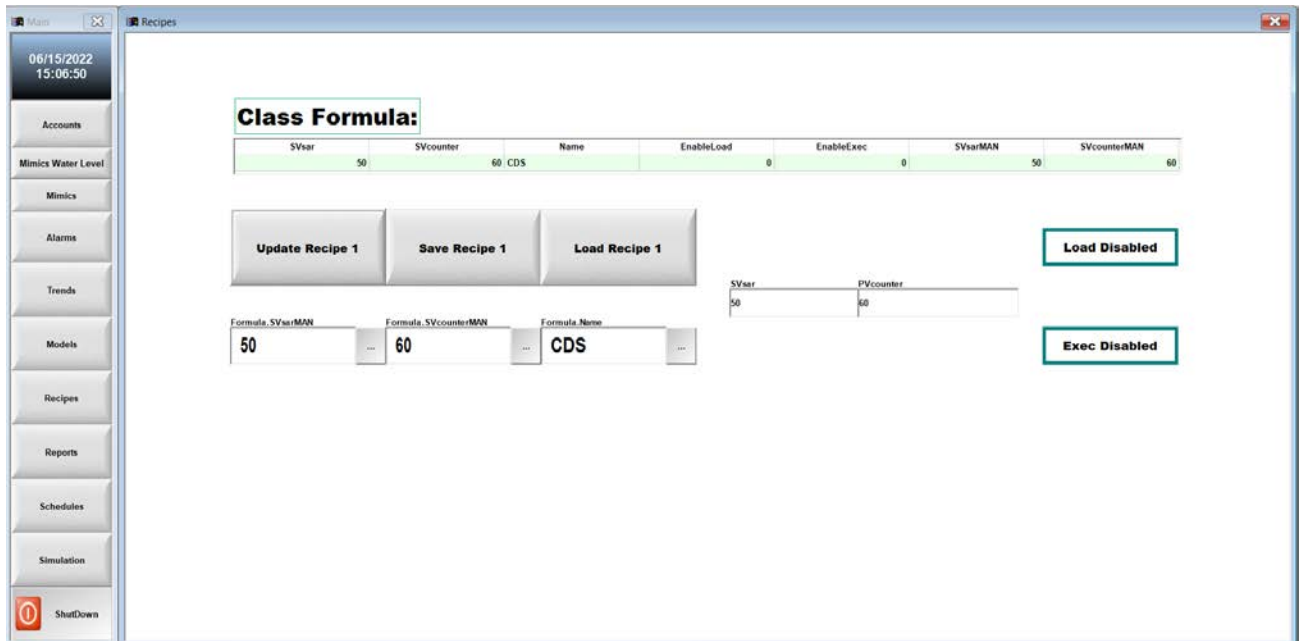


Рисунок 3.10 - Вікно «Recipes»

Кнопка Update Formula 1- виконання введенного/завантаженого рецепту.

Кнопка Save Recipe1- збереження введенного рецепту.

Кнопка Load Recipe1- завантаження раніше збереженого рецепту.

Load Enabled/Disabled – індикатор дозволу завантаження рецепту

Update Enabled/Disabled – індикатор дозволу виконання рецепту

06/15/2022
14:48:01

Accounts

Mimics Water Level

Mimics

Alarms

Trends

Models

Recipes

Reports

Schedules

Simulation

StopDown

Create Current RTF Report 1

Append to Current RTF Report 1

12/05/

12/05/2020

00:02:

00:02:00

0.20

0.20

12

06/15/2022
14:48:01

Create Historical CSV Report Trend 1

Requery

ID	Data	Time	SVsar	PVsar	CVsar	ZVsar	RVsar	PVcounter	CVcounter	OEESar	OTDsat	RMVsar	TestAnalTag1	TestAnalTag2
1	05/12/2020	00:09:20	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	50.000000	50.000000	0	0
2	05/12/2020	00:09:56	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	60.000000	50.000000	0	0
3	05/12/2020	00:09:56	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	66.000000	50.000000	0	0
4	05/12/2020	00:09:56	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	87.000000	50.000000	0	0
5	05/12/2020	00:09:56	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	98.000000	50.000000	0	0
6	05/12/2020	00:09:57	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	100.000000	50.000000	0	0
7	05/12/2020	00:09:57	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	98.000000	50.000000	0	0
8	05/12/2020	00:09:58	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	36.000000	50.000000	0	0
9	05/12/2020	00:09:58	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	26.000000	50.000000	0	0
10	05/12/2020	00:10:00	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	8.000000	50.000000	0	0
11	05/12/2020	00:10:01	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	50.000000	0	0
12	05/12/2020	00:10:01	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	16.000000	50.000000	0	0
13	05/12/2020	00:10:02	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	23.000000	50.000000	0	0
14	05/12/2020	00:10:02	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	69.000000	50.000000	0	0
15	05/12/2020	00:10:02	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	83.000000	50.000000	0	0
16	05/12/2020	00:10:02	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	97.000000	50.000000	0	0
17	05/12/2020	00:10:03	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	100.000000	50.000000	0	0
18	05/12/2020	00:10:03	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	94.000000	50.000000	0	0
19	05/12/2020	00:10:04	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	45.000000	50.000000	0	0
20	05/12/2020	00:10:04	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	50.000000	0	0
21	05/12/2020	00:10:04	50.000000	0.000000	50.000000	0.000000	60.000000	0.000000	1.000000	0.000000	56.000000	50.000000	0	0

Рис. 3.11 - Вікно «Reports»

Кнопка Create Current RTF Report 1- створення файлу з заголовком поточного звіту.

Кнопка Append to Current RTF Report 1- додавання нового запису до поточного звіту.

Кнопка Create Historical CSV Report Trend 1- створення excel-файлу – історичного звіту. Період, за який надаються дані, встановлюються такими елементами:

HISTreport.StartDate – початкова дата

HISTreport.StartTime – початковий час

HISTreport.Duration – тривалість

Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата

ТО8153.001301.АТХ.П

Арк.

84

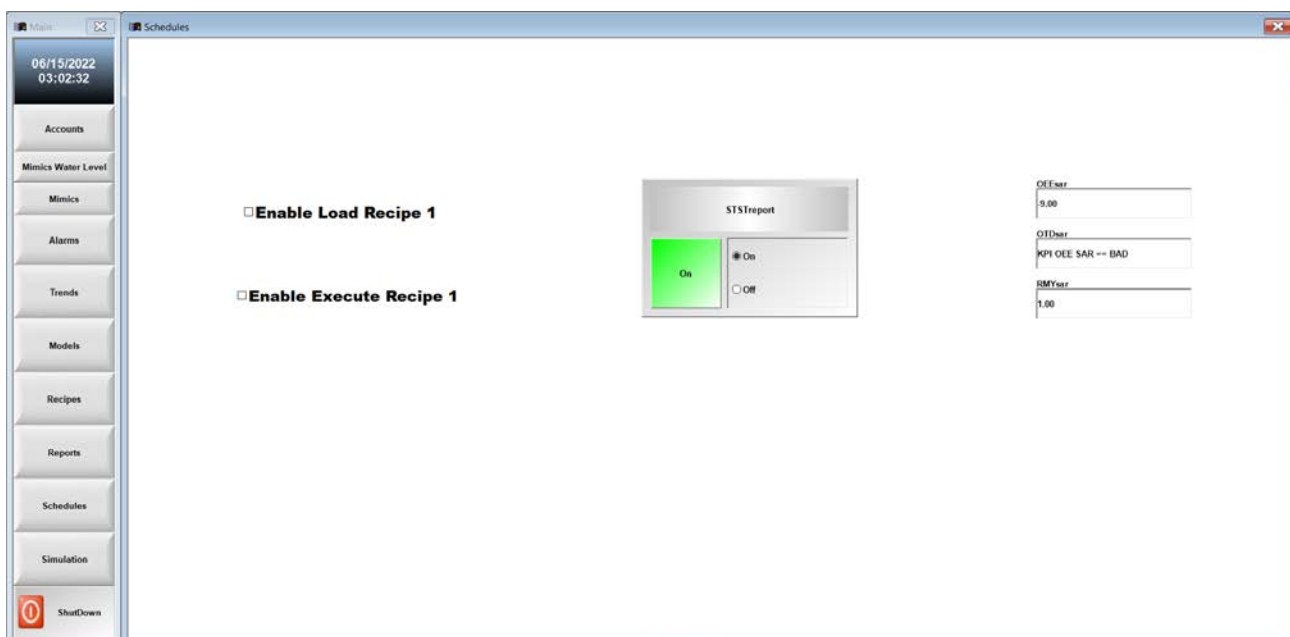


Рисунок 3.12 - Вікно «Shedules»

Чекбокс Enable Load Recipe 1 – увімкнення/вимкнення дозволу завантаження рецепту.

Чекбокс Enable Execute Recipe 1 – увімкнення/вимкнення дозволу виконання рецепту.

STSTreport – увімкнення/вимкнення автоматичного формування поточного звіту.

OEEsar, OTDsar, RMYsar – показники ефективності роботи системи.

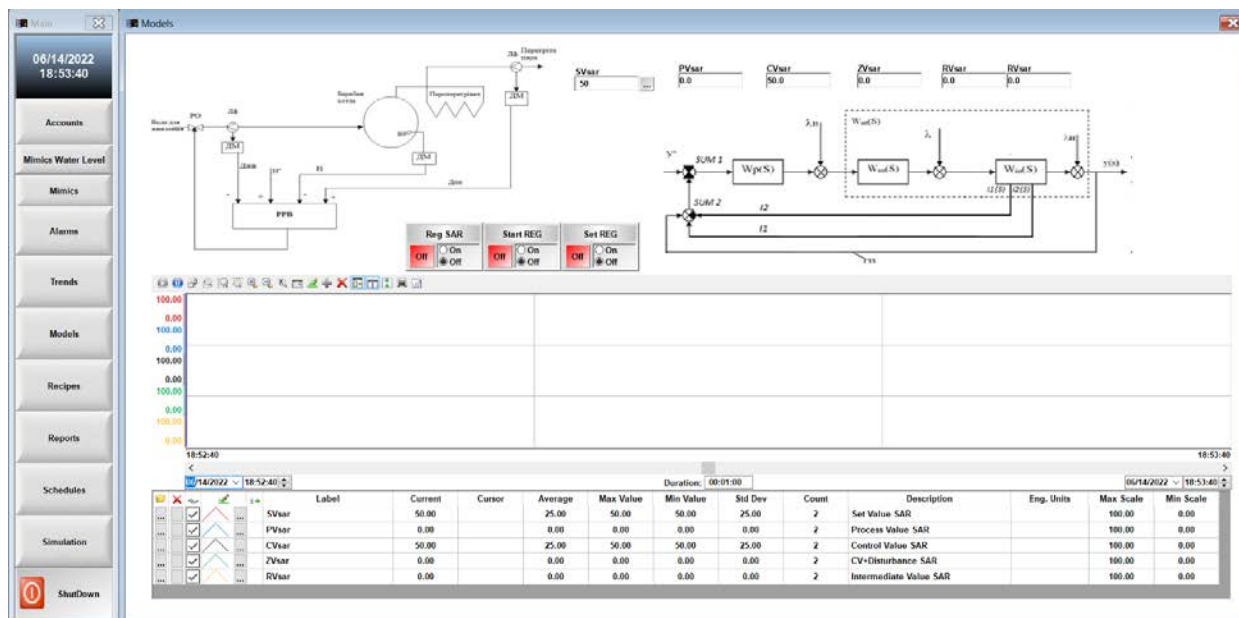


Рисунок 3.13 - Вікно «Simulation». Візуалізація імітаційного VIL-моделювання (модель ОУ і контролерна функціональність реалізовані в HMI/SCADA-системі)

3.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному SIL-симуляторі

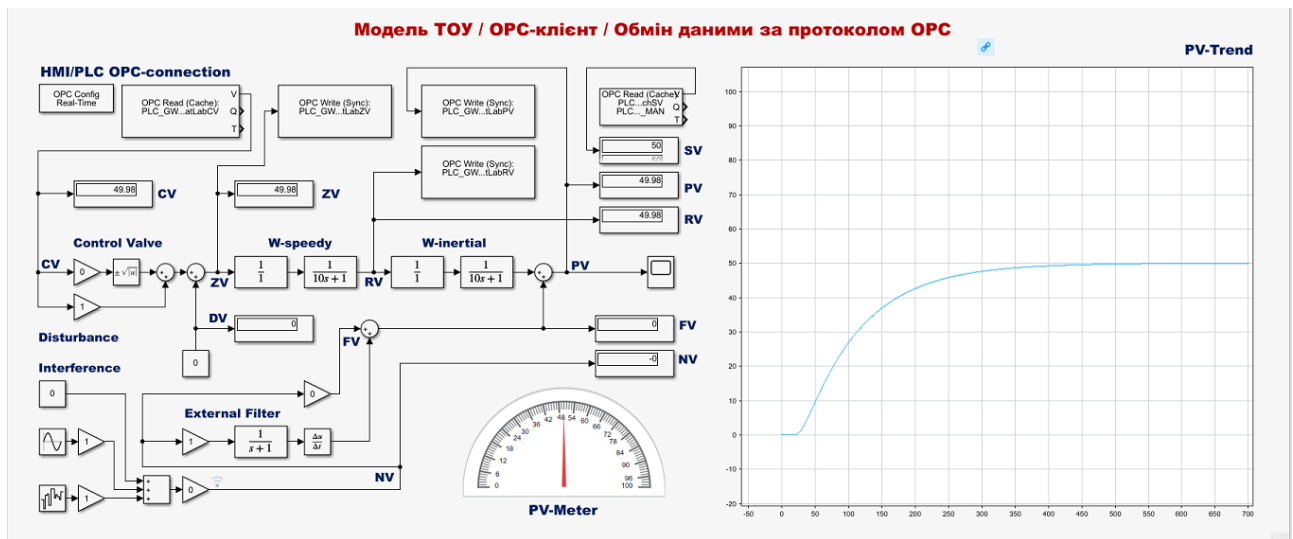


Рисунок 3.14 - Функціональна модель ТОУ

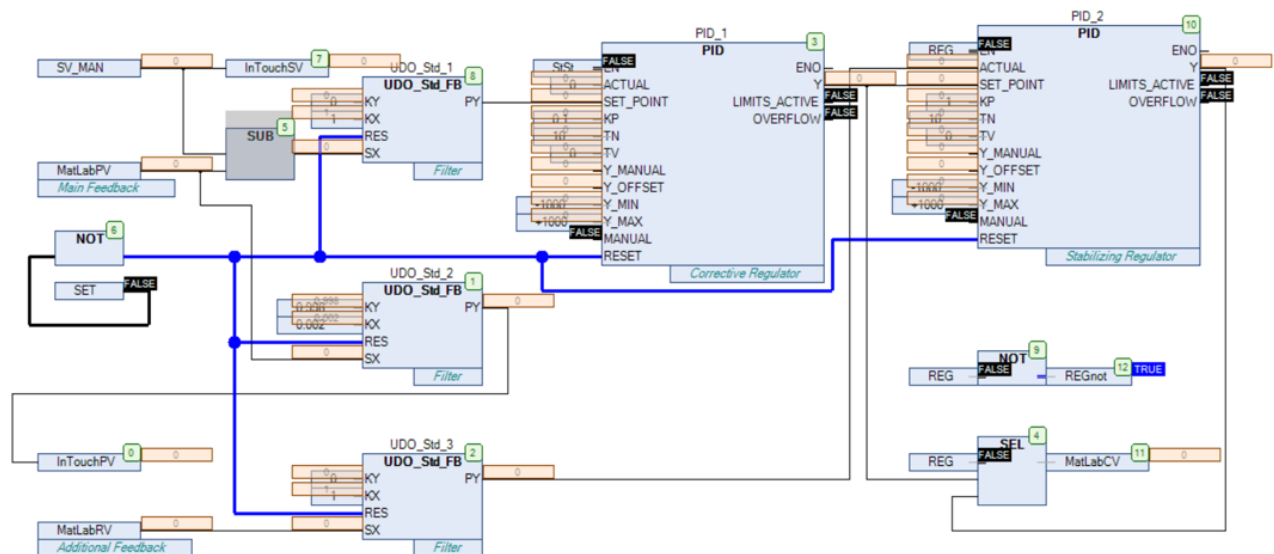


Рисунок 3.15 – Візуалізація роботи АСР рівня в барабані парового котла в режимі flow control

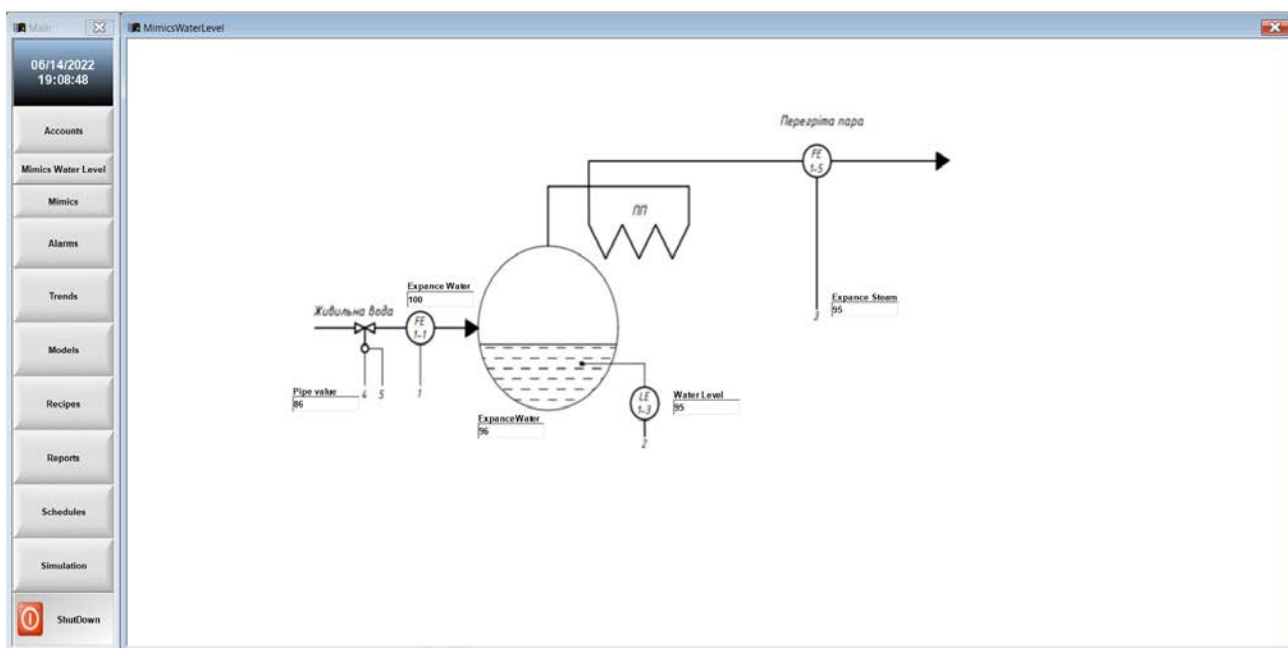


Рис. 3.16 Вікно “Mimics” у робочому режимі

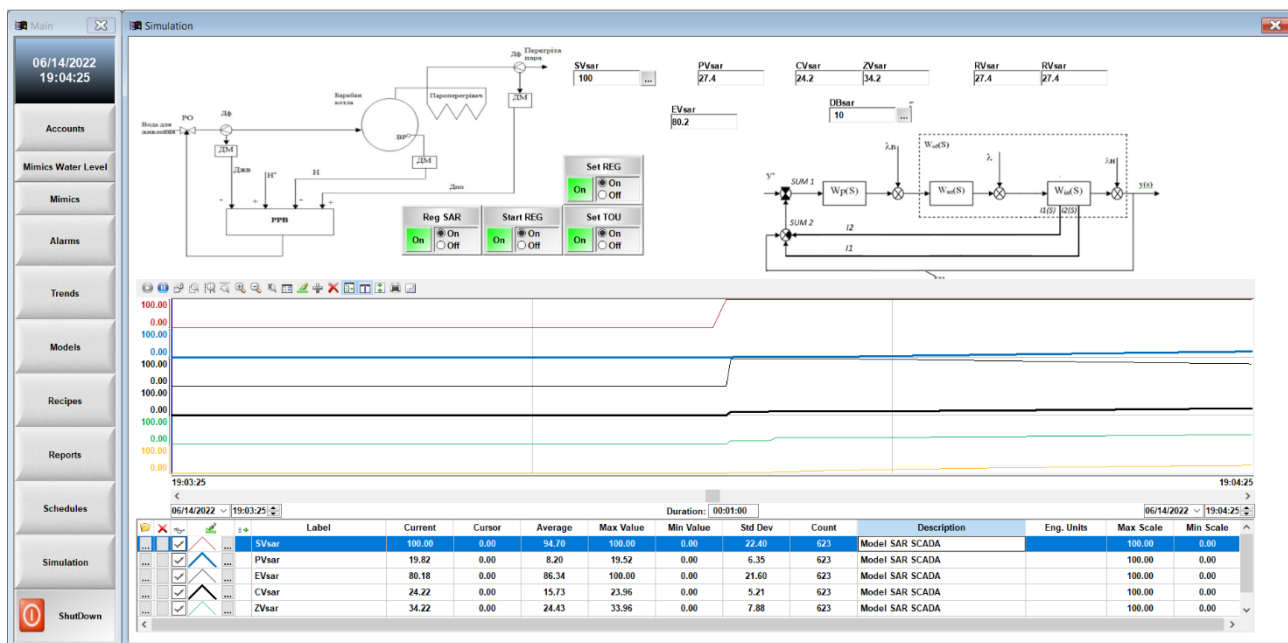


Рисунок 3.17 - Вікно «Models» у робочому режимі

4. Завдання до віртуальних лабораторних робіт на полігоні імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем

Віртуальна лабораторна робота – комп’ютеризована лабораторна робота з використанням спеціалізованого програмного продукту без необхідності фізичної присутності в аудиторії, яка може бути виконана самостійно і проконтрольована викладачем дистанційно. Віртуальна лабораторна робота може виконуватись в аудиторії на штатних комп’ютерах, як СРС, дистанційно.

Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем підтримує виконання віртуальних лабораторних робіт з дисциплін ІВС, АСУ, СТА.

Перспективність використання полігону імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем в навчальному процесі полягає в тому, що він дає можливість виконання наскрізної комплексної лабораторної роботи (КЛР) з дисциплін ІВС (2 курс; підрозділ 2.1 посібника), АСУ (3 курс; підрозділ 2.2 посібника), СТА (4 курс; розділ 3 посібника). Полігон надає єдиний програмно-модельний інструментарій. В КЛР використовується єдиний ТОУ. Студент, виконуючи КЛР впродовж трьох курсів, послідовно виконує розрахунок, імітаційне функціональне і структурне моделювання вибраної САР режимного параметру.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							88
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

4.1. Перелік завдань до віртуальної лабораторної роботи з дисципліни ІВС на полігоні імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем

Тема: Інженерний розрахунок ВК САР режимного параметру.

Виконати інженерний розрахунок вимірювальних каналів наступних САР:

- Каскадна САР тиску пари в паропроводі на турбіну барабанового котла.
- Одноконтурна триімпульсна САР рівня в барабані парового котла.
- Каскадна САР температури прямої води у водоگрійному котлі
- Одноконтурна САР температури зворотної води у водогрійному котлі
- Двоконтурна двоімпульсна САР температури первинної пари парового котла.
- Двоконтурна двоімпульсна САР температури вторинної пари парового котла.
- Каскадна САР тиску пари на турбіну у паровому котлі.
- Одноконтурна САР витрати живильної води у прямоточному паровому котлі.
- Каскадна САР рівня у каскадному басейні.

Результати роботи надати у вигляді презентації у форматі підрозділу 2.1 посібника.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							89
Зм.	Кільк.	Арк.	№додк.	Підп.	Дата		

4.2. Перелік завдань до віртуальної лабораторної роботи з дисципліни АСУ на полігоні імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем

Тема: Інженерний розрахунок РВК САР режимного параметру.

Виконати інженерний розрахунок регулювально-виконавчого каналу наступних САР:

- Каскадна САР тиску пари в паропроводі на турбіну барабанового котла.
- Одноконтурна триімпульсна САР рівня в барабані парового котла.
- Каскадна САР температури прямої води у водогрійному котлі
- Одноконтурна САР температури зворотної води у водогрійному котлі
- Двоконтурна двоімпульсна САР температури первинної пари парового котла.
- Двоконтурна двоімпульсна САР температури вторинної пари парового котла.
- Каскадна САР тиску пари на турбіну у паровому котлі.
- Одноконтурна САР витрати живильної води у прямоточному паровому котлі.
- Каскадна САР рівня у каскадному басейні.

Результати роботи надати у вигляді презентації у форматі підрозділу 2.2 посібника.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							90
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

4.3. Перелік завдань до віртуальної лабораторної роботи з дисципліни СТА на полігоні імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем

Тема: Імітаційне структурне моделювання САР режимного параметру.

Розробити вікна «Mimics» и «Models» для наступних САР:

- Каскадна САР тиску пари в паропроводі на турбіну барабанового котла.
- Одноконтурна триімпульсна САР рівня в барабані парового котла.
- Каскадна САР температури прямої води у водогрійному котлі
- Одноконтурна САР температури зворотної води у водогрійному котлі
- Двоконтурна двоімпульсна САР температури первинної пари парового котла.
- Двоконтурна двоімпульсна САР температури вторинної пари парового котла.
- Каскадна САР тиску пари на турбіну у паровому котлі.
- Одноконтурна САР витрати живильної води у прямоточному паровому котлі.
- Каскадна САР рівня у каскадному басейні.

Результати роботи надати у вигляді презентації у форматі розділу 3 посібника.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							91
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

5. Техніка безпеки під час роботи з полігоном імітаційного SIL- моделювання АТК котельних систем

Охорона праці

Розроблений полігон призначений для навчального процесу, що дозволить студентам досліджувати системи гарячого водопостачання та барабанового котла не маючи фізичного доступу до реальних об'єктів.

Метою розділу є визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації спроектованого полігону імітаційного моделювання АТК системи гарячого водопостачання будівлі, а також впровадження необхідних технічних рішень та організаційних заходів щодо недопущення негативної дії цих факторів на користувачів полігону під час його експлуатації і визначення першочергових заходів з пожежної безпеки та профілактики.

Експлуатація полігону імітаційного моделювання передбачається в студентській аудиторії, в якій можливе знаходження до 20 людей. При виконанні лабораторної роботи одночасно працювати з полігоном імітаційного моделювання може від 1 до 4 осіб,.

Проведення лабораторних робіт можливе лише тільки після проведення інструктажу студентів з техніки безпеки.

Студенти під час роботи з полігоном імітаційного моделювання можуть зіткнутися з такими потенційно небезпечними та шкідливими виробничими факторами, як можливість ураження електричним струмом, невідповідність параметрів мікроклімату робочої зони та освітленості стосовно діючим санітарним нормам, негативний вплив випромінювання ВДТ ПЕОМ, можливість виникнення пожежі, тощо.

Облаштування робочого місця виконане з урахуванням вимог ДСанПін 3.3.2.007-98 та ДСТУ ISO 9241, ПУЕ-2017 і забезпечує:

- правильне розміщення робочого місця;

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							92
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

- належні умови освітлення приміщення і робочого місця, відсутність відблисків на екранах моніторів;
- належні ергономічні характеристики основних елементів робочого місця;
- виконання діючих вимог з електробезпеки та пожежної безпеки.

Живлення

Полігон імітаційного моделювання живиться від напруги 220В, що може призвести до ураження електричним струмом користувачів полігону, якщо не дотримуватися техніки безпеки при роботі з полігоном.

Полігон імітаційного моделювання, електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту відповідають діючим нормам, мають автомати захисту від короткого замикання (серії «Сигма») та інших аварійних режимів. Всі кабелі та електропроводи проведені за задньою стінкою полігону імітаційного моделювання в спеціальних каналах, що захищає їх від механічних пошкоджень та вільного доступу.

При проектування полігону були враховані вимоги ПУЕ-2017, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП-40.1-1.32-01.

Для живлення електрообладнання полігону використовується трифазна електромережа з заземленою нейтраллю, з робочою напругою 220/380 В та частотою 50 Гц. Застосована система захисного заземлення TN (підсистеми TN-C та TN-S).

Застосування системи захисного заземлення TN (підсистеми TN-C та TN-S) виключає можливість ураження персоналу електричним струмом при пробі на корпус полігону однієї з фаз електромережі, що забезпечується завдяки швидкому вимиканню ділянки електромережі, на якій виникло замикання фази на корпус, за рахунок використання пристроїв максимального струмового захисту.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							93
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

Для виконання діючих вимог з електробезпеки, електроустаткування полігону (блоки контролерів, екранні пристрої, засоби обчислювальної техніки та ін.) згідно з ДСТУ ІЕС 61140:2015 має I, II та III класи за електрозахистом.

Усі кнопки живлення та керування полігоном імітаційного моделювання не є струмопровідними, що не несе загрози студентам, які працюють з полігоном.

Початок та закінчення лабораторних робіт відбувається під керівництвом відповідної людини, яка відповідає за електробезпеку в цій аудиторії, або викладачем.

Для підвищення рівня електробезпеки в аудиторії заборонено:

- використовувати кабелі та проводи з пошкодженою ізоляцією або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації;
- залишення під напругою неізованих кабелів та проводів;
- застосування саморобних подовжувачів.
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами.

Для підвищення рівня техніки безпеки може бути рекомендовано додаткове застосування пристроїв захисного відключення (ПЗВ), які забезпечують контроль струмів витоку в електромережі.

В аудиторії, де використовується полігон імітаційного моделювання, дотримуються оптимальні параметри мікроклімату, завдяки системі опалення в холодну пору року та завдяки провітрюваності приміщення в теплу пору року, які визначають комфортні умови. Параметри мікроклімату де встановлені полігони імітаційного моделювання наведені в (табл. 1).

Робота з полігоном характеризується малими фізичним навантаженнями, за критерієм загальних енерговитрат організму цей вид діяльності належить до категорії легких робіт-Ia.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							94
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

Таблиця 1 Параметри мікроклімату для приміщень, де встановлені полігони імітаційного моделювання.(ДСН 3.3.6.042-99)

Період року	Категорія робіт	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Роботи легкі Ia	Температура повітря в приміщенні Відносна вологість Швидкість руху повітря	22÷24°C 40÷60 % до 0,1м/с
Теплий		Температура повітря в приміщенні Відносна вологість Швидкість руху повітря	23÷25°C 40÷60 % 0,1.0,2м/с

Полігон імітаційного моделювання не потребує встановлення кондиціонерів, оскільки він не призводить до значного підвищення температури в аудиторії.

Полігон імітаційного моделювання не виділяє в повітря шкідливих речовин, тому вміст шкідливих речовин в аудиторії з полігоном відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 та ГОСТ 12.1.005-88.

Під час роботи полігону в повітряному середовищі відбувається суттєва трансформація іонного складу, істотно знижується концентрація легких, середніх та важких негативно зарядних частинок. Така зміна балансу іонного складу призводить до негативного впливу на студентів, котрі працюють з полігоном.

Рівні іонізації повітря приміщень при роботі з полігоном визначені в таблиці 2 (відповідно до НПАОП 0.03-3.06-80).

Таблиця 2. Рівні іонізації повітря в аудиторії

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³ повітря	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600

Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Для підтримки необхідних параметрів повітря в приміщенні використовується природна вентиляція. У приміщенні є вікно, яке можна відкривати, якщо виникне потреба в теплий період і квартира - відкривається в холодний період. Шкідливі речовини в приміщенні не зберігаються й не використовуються.

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

ВДТ ПЕОМ, що використовуються в полігоні імітаційного моделювання мають відповідні сертифікати відповідності діючим санітарним нормам, тому опромінення електромагнітним полем ВДТ ПЕОМ, яке студент може отримати під час роботи з полігоном, не перевищує гранично допустимі рівні.

Крім того студенти працюють з полігоном імітаційного моделювання не більше однієї пари, тобто не більше 90 хв, тому електромагнітні випромінювання ВДТ ПЕОМ ніяк не можуть негативно вплинути на студентів.

На полігон імітаційного моделювання, який знаходиться в студентській аудиторії, в холодну пору року може мати недостатнє природне освітлення, оскільки в зимню пору року вранці та ввечері доволі темно. У цьому випадку передбачено використання штучного освітлення, яке розташоване рівномірно на стелі аудиторії, та складається зі світильних ламп розташованих у два ряди.

Природне та штучне освітлення в аудиторії з полігоном імітаційного моделювання відповідає вимогам ДБН В.2.5-28-2018. Рівень освітленості у аудиторії, $E = 300 \text{лк}$, це досягається шляхом застосування системи штучного освітлення (лампи на селі які рівномірно покривають усю аудиторію) та природного освітлення (відкриті штори на вікнах забезпечують максимальне постачання світлом аудиторію).

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		96

Оскільки студенти не знімають ніяких показі з датчиків, а лише спостерігають на екранах комп'ютера та НМІ панелі контролера, як протікає технологічний процес, такого штучного та природного освітлення достатньо.

Біля полігону імітаційного моделювання на стіні знаходиться інструкція з пожежної безпеки, та поруч з нею схема евакуації на видному місці, з якими викладач або відповідальна особа ознайомлює студенті перед початком роботи з полігоном.

Підходи до засобів пожежогасіння мають бути вільними. Кількість, розташування та умови зберігання засобів для гасіння пожежі (вогнегасники, пожежні гідранти і т.п.) відповідають ГОСТ 12.1.004-85, ISO 3941-2007, ДСТУ3675-98. Кількість вуглекислотних вогнегасників (гасіння пожежі класу «Е») обрано з розрахунку 2 одиниці на кожні 20 м² площі приміщення.

Заходи протипожежної безпеки: у разі виникнення пожежі в аудиторії з полігоном імітаційного моделювання, необхідно за можливістю вимкнути живлення в аудиторії, скористатися вогнегасниками, які знаходяться біля входу в аудиторію та, якщо цих дій замало використовуючи схему евакуації покинути приміщення та викликати пожежну службу.

На випадок виникнення пожежі забезпечена можливість безпечної евакуації людей через евакуаційні виходи. Потрібна кількість виходів ширина проходів та ступінь вогнестійкості будівлі відповідає ДБН В.1.1-007- 2016.

Пожежна безпека в аудиторії з полігоном імітаційного моделювання відповідає вимогам НПАОП 0.01-1.01-95 «Правил пожежної безпеки в Україні».

Результати і висновки

Розроблено полігон імітаційного моделювання АТК котельних систем.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							97
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

Склад полігону імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем: 1) посібник «Порядок роботи з полігоном імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем» з результатами розрахунків, імітаційного функціонального і структурного моделювання одноконтурної триімпульсної САР рівня в барабані парового котла; 2) файл проєкту функціонального моделювання одноконтурної триімпульсної САР рівня в барабані парового котла в СКМ Matlab Simulink; 3) сконфігурований програмно-технічний SIL-симулятор – папка проєкту WebStudio з структурним моделюванням HMI/SCADA-функціональності одноконтурної триімпульсної САР рівня в барабані парового котла.

Інженерний розрахунок АСУТП – це спрощений (арифметичні дії) і комплексний (метрологічний розрахунок; розрахунок надійності; вибір РО; розрахунок і функціональне моделювання динаміки) швидкий формульний розрахунок основних показників роботоздатності САР в складі АСУТП, на основі якого приймаються рішення щодо експлуатації САР.

Для одноконтурної триімпульсної САР рівня в барабані парового котла був проведений аналіз чутливості, який показав, що система є малочутливою до параметричних збурень.

Інженерний розрахунок і моделювання показали, що розроблена одноконтурної триімпульсної САР рівня в барабані парового котла забезпечує високоточне вимірювання, високоточне і малочутливе до параметричних збурень регулювання, а технічна реалізація САР забезпечує її надійне функціонування. Розроблена одноконтурної триімпульсної САР рівня в барабані парового котла є роботоздатною. Студенти при виконанні лабораторних робіт будуть орієнтуватись на виконаний інженерний розрахунок і моделювання розробленої одноконтурної триімпульсної САР рівня в барабані парового котла.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							98
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

Подальший розвиток розробленого полігону імітаційного SIL-моделювання АТК котельних систем полягає: 1) у розширенні функціональності програмно-технічного SIL-симулятора в частині MES-Lite функціональності; 2) у розширенні переліку тем лабораторних робіт з дисциплін ІВС, АСУ і СТА.

						ТО8153.001301.АТХ.П	Арк.
							99
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		