

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра обчислювальної математики та інформаційних технологій
(кафедра обчислювальної математики та інформаційних технологій)

Кваліфікаційна робота / проект

Другий семістерський
(курс, семістер, рік)

*Тема: Удосконалення системи управління процесом
інжекції зрідженої води у металургійній котурні
машинобудування ВДВР-1000 для укладання заготовки АРС*

Виконав: студент *2* курсу, група *МІТ-18-103*
спеціальності *151 Інформаційні технології в металургії*
освітньої програми *Інформаційні технології в металургії*
спеціалізації *Інформаційні технології в металургії*
(курс, група, спеціалізація)

Н. В. Король
(підпис, прізвище, ім'я)

Керівник *Директор МІТ, кафедри*
(посада, місце роботи, повне ім'я, прізвище, ім'я, по-батькові)

Рецензент *Д. В. Давидов*
(посада, місце роботи, повне ім'я, прізвище, ім'я, по-батькові)

Запоріжжя
2020

Знарядний кваліфікаційний завдання магістра

(повне найменування закладу вищої освіти)

Назва спеціальності Металургія

Галузь спеціальності Спеціалізоване управління тепломашинобудівними процесами

Вид вищої освіти Філософський факультет

(назва факультету)

Назва спеціальності Металургія з спеціалізацією в галузі управління технологіями

(назва спеціальності)

Назва спеціальності Металургія з спеціалізацією в галузі управління технологіями

(назва спеціальності)

Назва спеціальності Металургія з спеціалізацією в галузі управління технологіями

(назва спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Доктор фізико-математичних наук, проф. [Підпис]

" " 20 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Горбань Наталія Іванівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема кваліфікаційної роботи магістра Фізико-технологічні системи управління процесом калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу

Рівень кваліфікаційної роботи магістра Фізико-технологічні системи управління процесом калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу

Затверджено наказом закладу вищої освіти від "10" березня 2019 року № 1594-С

Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи магістра до кінця 2019 року

Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра Фізико-технологічні системи управління процесом калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розв'язати):
1. Аналіз фізико-технологічних систем управління процесом калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу. 2. Розробка математичної моделі процесу калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу. 3. Аналіз впливу параметрів процесу калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу на результати управління процесом калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу. 4. Розробка алгоритму управління процесом калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу. 5. Аналіз впливу параметрів процесу калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу на результати управління процесом калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу.

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

1. Креслення технологічної схеми процесу калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу. 2. Креслення структурної схеми системи управління процесом калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу. 3. Креслення математичної моделі процесу калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу. 4. Креслення алгоритму управління процесом калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу. 5. Креслення графіків результатів управління процесом калюксованні рідких металів в умовах уривчастого теплового впливу.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийнято
1	Вітальєва Н.В., доцент кафедр ІНТД	28.09.19
2	Вітальєва Н.В., доцент кафедр ІНТД	17.10.19
3	Вітальєва Н.В., доцент кафедр ІНТД	30.11.19
4	Вітальєва Н.В., доцент кафедр ІНТД	12.11.19
5	Вітальєва Н.В., доцент кафедр ІНТД	25.11.19
6	Вітальєва Н.В., доцент кафедр ІНТД	10.12.19
доцент кафедри Інформаційних систем та інформаційних технологій ІНТД		26.12.19

7. Дата видачі завдання 10 вересня 2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Прим.
1	Складання розширеного плану кваліфікаційної роботи	11.09 - 13.09.19	
2	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	14.09 - 26.09.19	
3	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	27.09 - 30.09.19	
4	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	01.10 - 10.10.19	
5	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	11.10 - 16.10.19	
6	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	17.10 - 20.10.19	
7	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	21.10 - 24.10.19	
8	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	25.10 - 28.10.19	
9	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	29.10 - 31.10.19	
10	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	01.11 - 05.11.19	
11	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	06.11 - 10.11.19	
12	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	11.11 - 15.11.19	
13	Виконання вимог до кваліфікаційної роботи магістра	16.11 - 20.11.19	
		21.11 - 25.11.19	

Здобувач вищої освіти

[Signature]

Кішаль Н.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи магістра

[Signature]

Вітальєва Н.В.
(прізвище та ініціали)

«3
во
АБ
ком
суч
тех
ком
авто
тиску
розро
пари,
тиску,
у
систем
у
наявн
компен
АЛГОРИ
КОМПЕ
ПЕРЕХІД

РЕФЕРАТ

На пояснювальну записку кваліфікаційної роботи на тему: «Удосконалення системи управління процесом компенсації зміни обсягу води у замкненому контурі енергоблоку ВВЕР-1000 для умов ВП «Запорізька АЕС», яка включає 109 стор. машинописного тексту, 42 рис., 9 табл.

Метою роботи є розробка системи автоматичного управління системою компенсації тиску першого контуру ВП «Запорізької АЕС» з використанням сучасного технічного та програмного забезпечення.

У першому розділі роботи виконано аналіз існуючих основних технологічних процесів на АЕС з реактором ВВЕР-1000.

У другому розділі роботи виконано аналіз існуючої АСУ ТП системи компенсації тиску в умовах ЗАЕС. Розроблена функціональна схема автоматизації в компенсаторі тиску.

У третьому розділі виконано аналіз АСУ ТП системи компенсації тиску, які існують на АЕС України.

У розділі математичного моделювання виконано математичну модель, розроблено структурну схему моделі КТ по каналах реактивності і витратою пари, параметричну схему КТ, створено імітаційну модель компенсатора тиску, отримані перехідні процеси регулювання тиску у КТ.

У розділі проектування розроблена АСУ ТП за допомогою SCADA-системи Trace Mode 6.05. з урахуванням критерій проектування системи КТ.

У розділі модернізації АСУ ТП розглянуто питання доцільності заміни наявних ТЗА підсистеми КВП існуючої інформаційно-керуючої системи компенсації тиску на енергоблоці ВП «Запорізької АЕС».

АЛГОРИТМ, БАРБОТАЖНИЙ БАК, ІМПУЛЬСНІ ЗАПОБІЖНІ ПРИБОРИ, КОМПЕНСАТОР, МОДЕЛЮВАННЯ, ПАРАМЕТРИЧНА СХЕМА, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, ТИСК, РЕГУЛЯТОР.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	7
Вступ.....	10
1 Особливості технологічного процесу першого контуру на атомних електростанціях.....	12
1.1 Основні технологічні процеси на АЕС з реактором ВВЕР-1000....	12
1.2 Опис технологічного процесу у першому контурі енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000.....	15
1.3 Аналіз особливостей роботи компенсатору тиску.....	19
2 Аналіз роботи автоматизованої системи управління компенсатором тиску в умовах ЗАЕС.....	22
2.1 Структурна схема АСУ ТП енергоблоку.....	22
2.2 Принцип АСР системи компенсації тиску.....	25
2.2.1 Склад системи.....	30
2.2.2 Компенсатор тиску УР10В1.....	31
2.2.3 Барботаажний бак УР20В01.....	38
2.2.4 Імпульсні запобіжні пристрої УР21, 22, 23.....	40
2.3 Структурна схема АСР тиску в першому контурі.....	44
2.4 Види вимірювань і застосування вимірювальних сигналів.....	53
2.5 Функціональна схема автоматизації в компенсаторі тиску.....	61
3 Існуючі АСУ ТП системи компенсатора тиску на АЕС України.....	65
3.1 Система управління ІЗП компенсатора тиску на енергоблоках Рівненської АЕС.....	65
3.2 ПТК СНЕ РВ на енергоблоках Хмельницькій АЕС.....	66

4 Розробка математичної моделі системи управління компенсатором тиску.....	68
4.1 Особливості моделювання компенсатора тиску.....	68
4.2 Математична модель компенсатора тиску.....	69
4.3 Параметрична схема компенсатора тиску.....	74
4.4 Моделювання компенсатора тиску в Simulink.....	76
5 Проектування АСУ ТП за допомогою SCADA-системи.....	84
5.1 Критерії проектування системи компенсації тиску.....	84
5.2 Мнемосхема компенсатора тиску.....	88
5.3 Створення екранної форми «Регулювання».....	89
5.4 Розробка імітатора об'єкта мовою FBD.....	90
5.5 Створення екранної форми «Журнал аварійних відхилень».....	92
6 Модернізація АСУ ТП компенсації тиску.....	94
6.1 Вибір технічних засобів модернізації.....	94
6.2 Призначення ПТК СНЕ РВ.....	98
Висновок.....	105
Список використаних джерел.....	107

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АДП - аналого-дискретний перетворювач
АЕС - атомна електростанція
АЗ - аварійний захист
АСР - автоматична система регулювання
АСР ТО - автоматична система регулювання турбінного відділення
АСУ ТП - автоматизована система управління технологічними процесами
ББ - барботажний бак
БУВМ - блок управління виконавчим механізмом
БЗУ - блочна знесолювальна установка
БРБК - бак розчину борної кислоти
БЧК - бак чистого конденсату
БЩУ - блочний щит управління
ВВЕР - водо-водяний енергетичний реактор
ВМ - виконавчий механізм
ГЗК - головний запобіжний клапан
ГЦН - головний циркулюючий насос
ЕМЗК - електромагнітний запірний клапан
ІЗП - імпульсно-запобіжний пристрій
ІК - імпульсний клапан
КВП - контрольно-вимірювальні прилади
КДУ - контролер дистанційного керування
КЗК - керований запобіжний клапан
КК - керований клапан
КТ - компенсатор тиску
КУ - ключ управління
МСКУ - комплекс керуючий обчислювальний
НВП - науково-виробниче підприємство
ПАТ - публічне акціонерне товариство
ПГ - парогенератор

ПКТ - паровий компенсатор тиску
ПНТ - підігрівач низького тиску
ППР - перехідний процес регулювання
ПТК - програмно-технічний комплекс
РВ - реакторне відділення
РМОТ - робоче місце оператора технолога
РМ САР - робоче місце системи автоматичного регулювання
РСЗО - розподілювач струмовий закритого типу одностороннього обслуговування
РУ - реакторна установка
РЩУ - резервний щит управління
САОР - система аварійного охолодження реактора
САР - система автоматичного регулювання
САРтаДК - система автоматичного регулювання та дистанційного керування
СВРК - система внутрореакторного контролю
СДА - сервер діагностики та архівування
СНВО - Сєверодонецьке науково-виробниче об'єднання
СНЕ - система нормальної експлуатації
СУЗ - система управління і захисту реакторної установки
ТВЗ - тепловиділяючі збірки
ТЕН - трубчатий електронагрівач
ТЗА - технічні засоби автоматизації
ТЗБтаС - система технологічних захистів блокувань та сигналізації
ТПН - турбоживильний насос
ТПК - теплоносій першого контуру
ТТК - теплотехнічний контроль
ТУ - технічні умови
УВС - керуюча обчислювальна система
УКТЗ - уніфікований комплекс технічних заходів
УСПО - пристрій зв'язку з панеллю оператора

ШАУ - шафа аналогового управління

ШДС - шафа дискретних сигналів

ШКМ - шафа комутації

Шкр - шафа кросова

ШУК - шафа управління і комутації

ЯЕУ - ядерна енергетична установка

ВСТУП

Автоматизована система - це система, що складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності, та реалізує інформаційну технологію виконання встановлених функцій.

Актуальність теми магістерської роботи полягає в тому, що сучасна технологія створення багатофункціональних АСУ ТП електростанцій вимагає оцінювати керованість технологічного обладнання і ефективність систем управління на більш ранніх стадіях розробки проекту енергоблоку, залучаючи для цих цілей всережимні математичні моделі. Однак повномасштабні тренажери, які розробляються для АЕС створюються на стадії введення енергоблоку і на ранніх стадіях проектування в циклі прийнятих рішень не використовуються.

Мета і задачі роботи. Розробка системи автоматичного управління системою компенсації тиску першого контуру ВП «Запорізької АЕС» з використанням сучасного технічного та програмного забезпечення.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес вирівнювання тиску першого контуру реакторного відділення ВП «Запорізької атомної електростанції» з реактором ВВЕР-1000 за допомогою компенсатора тиску і барботажного баку.

Предмет дослідження. Система автоматичного управління компенсації тиску на Запорізькій АЕС.

Методи дослідження. Аналіз діючої системи управління процесом компенсації тиску, теплотехнічного контролю параметрів, засобів і способів контролю роботи обладнання системи компенсації тиску в першому контурі на ЗАЕС.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонована у роботі система управління компенсації тиску розроблена на базі математичного моделювання із застосуванням сучасних технічних і програмних засобів

автоматизації може бути впроваджена при модернізації діючої системи управління.

Апробація результатів роботи. Основні розробки магістерської роботи були представлені на XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Інженерний інститут Запорізького національного університету, Запоріжжя, 26-29 листопада 2019 р.

Публікації. Результати магістерської роботи опубліковано у тезах доповідей :

1. Король Н. В. Аналіз роботи АСУ процесом компенсації тиску у замкненому контурі в умовах енергоблоку ВВЕР-1000 ДП «НАЕК «Енергоатом» ВП «Запорізька АЕС» *Металургія як основа сучасної промисловості* : матеріали XXIV наук.-техн. конф. м. Запоріжжя, 26-29 листоп. 2019 р. Запоріжжя, 2019. С. 71.

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається з переліка умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновка, 29 використаних джерел. Текст магістерської роботи викладено на 109 сторінках, містить 42 рисунка, 9 таблиць.

1 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРШОГО КОНТУРУ НА АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

1.1 Основні технологічні процеси на АЕС з реактором ВВЕР-1000

Пристрої, де відбувається контрольована ядерна реакція з виділенням тепла, яке використовується для генерації пари, називають ядерними енергетичними установками, або енергетичними реакторами.

На українських АЕС використовують водо-водяні енергетичні реактори. У них вода є теплоносієм і сповільнювачем нейтронів, тобто одночасно служить теплотехнічним і ядерним компонентом. Ядерним паливом для таких реакторів використовують сполуку урану UO_2 збагаченого до $\approx 4\%$ за ізотопом $^{235}\text{U}_{92}$

ЯЕУ типу ВВЕР-1000 працює за двоконтурною схемою. Перший контур заповнений некиплячою знесоленою водою під тиском з додаванням борної кислоти, та складається з реактора і чотирьох петель, кожна з яких включає парогенератор, головний циркуляційний насос і головні циркуляційні трубопроводи, пристрій декількох паралельних петель виключає необхідність резервування обладнання, зокрема циркуляційних насосів.

Число паралельних петель визначається максимально досяжною потужністю окремих елементів обладнання. Вода в реактор надходить при тиску 16,0 МПа з температурою 289 °С. В активній зоні реактора вона нагрівається до 322 °С і направляється в парогенератор, де охолоджується, віддаючи теплоту теплоносію другого контуру. З парогенератора вода головним циркуляційним насосом повертається в реактор.

Кипіння теплоносія запобігається високим тиском в контурі. Для створення необхідного тиску потрібне спеціальне зовнішнє джерело, яким є паровий компенсатор тиску. Він служить для компенсації зміни об'єму теплоносія при нагріванні його в контурі і створення початкового тиску.

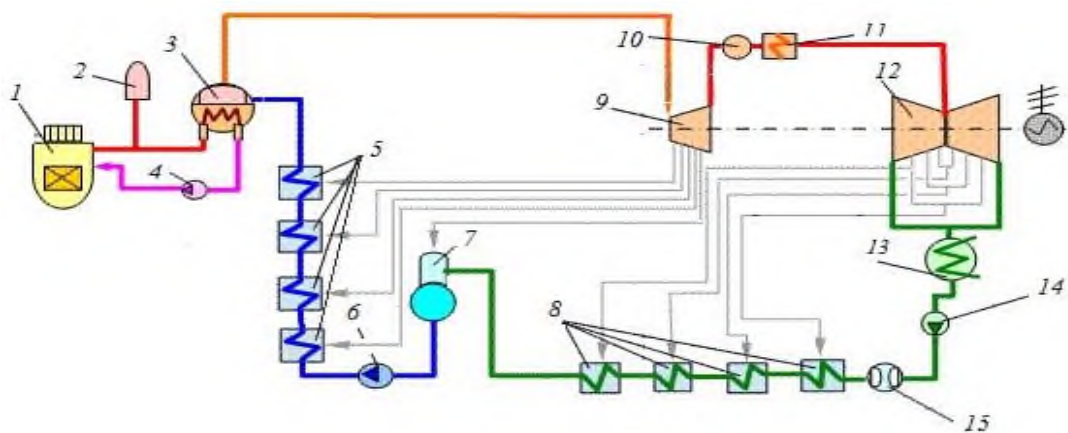
Другий контур включає в себе турбіну К-1000-60/1500-2, генератор ТВВ-1000-4УЗ, систему паропроводів свіжої пари, живильної води, паропроводів низького тиску паропостачання власних потреб, систему повернення конденсату і дренажів, парогенератор тощо. Рішення по перетворенню енергії пари базуються на рішеннях, характерних для класичних ТЕС. Пара з чотирьох ПГ за чотирма паропроводами транспортується в турбоустановку, відпрацювавши в циліндрі високого тиску, пар після осушення і перегріву в сепараторах-підігрівачах надходить в циліндри низького тиску, а потім в конденсатор. Конденсат з конденсатора, пройшовши очищення в блочній знесолювальній установці, конденсатними насосами через підігрівачі низького тиску подається в деаератор. З деаератору двома живильними турбонасосами живильна вода через підігрівачі високого тиску подається в ПГ. Турбіна призначена для перетворення кінетичної енергії пари, що генерується в ПГ, в механічну енергію ротора і безпосереднього приводу генератора. Турбіна забезпечує зверх відбори для підігріву живильної води і на турбоприводи живильних насосів нерегульовані відбори пари на власні потреби і на підігрів мережевий води. Система живильної води в номінальному режимі і режимах часткових навантажень забезпечує подачу живильної води, відповідну паропроductивності ПГ і величиною продувки з них. подача живильної води в ПГ проводиться через їх регулюючі клапани живлення. Під час роботи турбіни подача живильної води проводиться двома турбоживильними насосами типу ПТ-3750-75 по двох лініях, сполученим в загальний живильний колектор.

Система основного конденсату призначена для транспортування конденсату з конденсатора турбіни через БЗУ і підігрівачі низького тиску в деаератор. подача конденсату з конденсатора на БЗУ проводиться трьома конденсатними насосами першої ступені типу КСВ-1850-95У4 (два робочих, один резервний) по однопоточковому конденсатному тракту. Перед БЗУ

конденсат проходить охолоджувачі основних ежекторів і ежекторів ущільнень.

Після БЗУ конденсат надходить на всмокнення трьох конденсатних насосів другої ступені, в якості яких використовуються насос ЦН-1850-170. За конденсатними насосами другої ступені підключена лінія рециркуляції конденсату в конденсатор через дросельний пристрій, вбудований в блоковий розширювач. Далі конденсат послідовно проходить через чотири підігрівача низького тиску (відповідно ПНТ 1-4). За ПНТ-3 і ПНТ-1 дренажними насосами проводиться подача конденсату гріючої пари підігрівачів (відповідно ПНТ-3,4 і ПНТ-1,2) в лінію основного конденсату. Система основного конденсату включається в роботу на час подачі пари на ежектори ущільнення турбіни.

Принципова теплова схема реактора ВВЕР-1000 представлена на рисунку 1.1.



1 - реактор; 2 - компенсатор тиску; 3 - парогенератор; 4 - циркуляційні насоси; 5 - підігрівачі високого тиску; 6 - турбоживильний насос; 7 - деаератор; 8 - підігрівачі низького тиску; 9 - частина високого тиску турбіни; 10 - сепаратор; 11 - пароперегрівач; 12 - частини низького тиску турбіни; 13 - конденсатор; 14 - конденсаційний насос; 15 - ежектори.

Рисунок 1.1 - Принципова теплова схема енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000

1.2 Опис технологічного процесу у першому контурі енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000

Перший контур - радіоактивний - містить у собі реактор і для гарантії безпеки, чотири незалежні циркуляційні петлі охолодження, кожна з яких складається з головного циркуляційного насоса, парогенератора і головних циркуляційних трубопроводів з аустенітної сталі із внутрішнім діаметром 850 мм. До однієї з циркуляційних петель першого контуру приєднаний компенсатор тиску, за допомогою якого в контурі підтримується заданий тиск води.

Технологічна схема першого контуру АЕС представлена на рисунку 1.2.

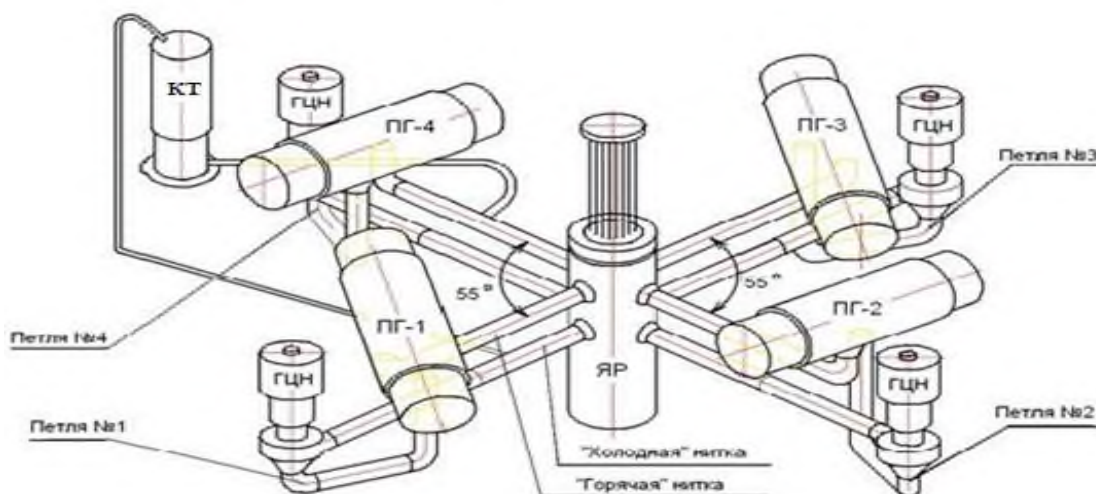
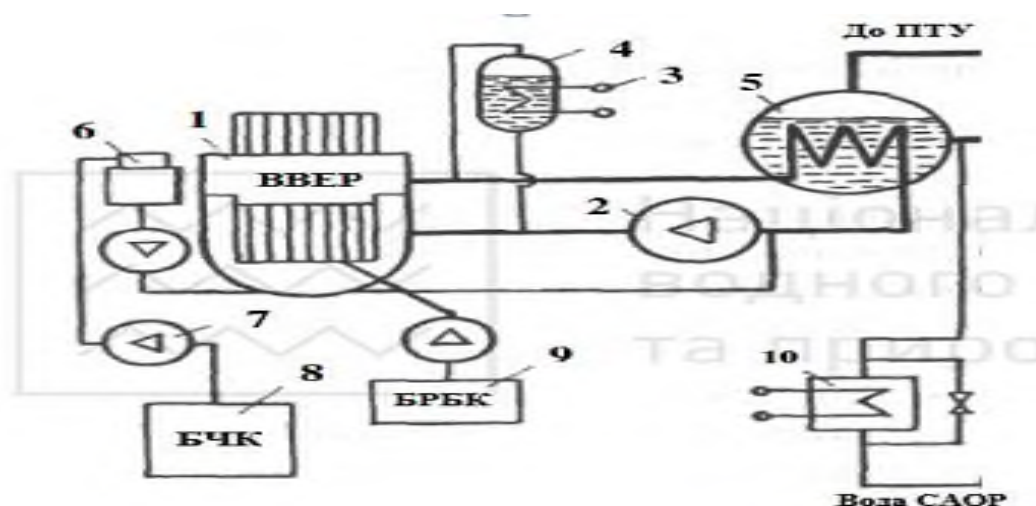


Рисунок 1.2 - Технологічна схема першого контуру АЕС

Головні циркуляційні трубопроводи, з'єднують обладнання головного циркуляційного контуру та призначені для організації циркуляції теплоносія через реактор по 4-м петлях: *реактор → парогенератор → головний циркуляційний насос → реактор*.

Кут між парними петлями дорівнює 55 °С. Кожна з чотирьох циркуляційних петель має «гарячу» і «холодну» нитки. Ділянки між вихідними патрубками реактора та вхідними патрубками головного циркуляційного насоса мають назву «гарячими» нитками. Ділянки між вихідними патрубками ПГ та патрубками всасу ГЦН, між нагнітаючими патрубками ГЦН та вхідними патрубками реактора мають назву «холодними» нитками. По «гарячим» ниткам нагрітий в реакторі теплоносіє подається до парогенераторів. По «холодним» ниткам охолоджений теплоносіє повертається з парогенераторів в реактор. Для забезпечення циркуляції теплоносія між реактором та парогенераторами у «холодних» нитках встановлені ГЦН.

Спрощену технологічну схему реакторного відділення ВВЕР-1000 представлено на рисунку 1.3.



1 – реактор; 2 - головний циркуляційний насос; 3 – ТЕН компенсатора
4 - компенсатор тиску; 5 – парогенератор; 6 - деаератор підживлення контуру; 7 – насос подачі води; 8 - бак чистого конденсату; 9 - бак борної кислоти; 10 - теплообмінник системи аварійного охолодження

Рисунок 1.3 - Спрощена технологічна схема реакторного відділення ВВЕР-1000

Реактор ВВЕР–1000, електрична потужність 1000 МВт - є реактором корпусного типу з водою під тиском, термін "водо-водяний" означає, що сповільнювачем нейтронів і теплоносієм, який відводить тепло, що виділяється в реакторі, служить знесолена вода з розчином бору. Корпус реактора являє собою вертикальну циліндричну ємність високого тиску із кришкою, що має рознімання з ущільненням і патрубками для входу й виходу теплоносія.

В середині корпуса закріплена шахта, що є опорою для активної зони, і, що служить для організації внутрішніх потоків теплоносія. Загальний вигляд реактора ВВЕР-1000 представлений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Загальний вигляд реактора ВВЕР-1000

Активна зона реактора зібрана із шестигранних тепловиділяючих збірок касетного типу з розміром 238 мм. Твели в збірці розміщені по трикутним ґратам із кроком 12,76 мм. Діаметр твела - 9,1 мм, діаметр паливних таблеток - 7,53 мм; маса завантаження двоокису урану у твелі - 1565 гр. Одна ТВЗ містить 317 твелів й 12 напрямних стержнів регулювання. Кількість ТВЗ в активній зоні - 163, з них з регулюючими стержнями - 61. Заміна вигорілих касет відбувається на зупиненому розущільненому реакторі.

Щорічно виробляється вивантаження приблизно 1/3 робочих касет і довантаження такої ж кількості палива. Добування касет, що відробили, з реактора проводиться під водою спеціальною перезавантажувальною машиною з дистанційним керуванням. Теплоносій надходить у реактор через вхідні патрубки корпусу, проходить униз по кільцевому зазорі між шахтою й корпусом, потім через отвори в опорній конструкції шахти піднімається нагору через ТВЗ. Нагрітий теплоносій з головок ТВЗ потрапляє в міжтрубний простір блоку захисних труб і через перфоровану обпайку блоку й шахти відводиться з реактора в парогенератор.

Парогенератор ПГ-1000 - однокорпусний горизонтальний, із зануреною поверхнею теплообміну і вбудованих сепараторів. Трубний пучок – заглибного типу, циркуляція котлової води в міжтрубному просторі - природна, з поперечним змиванням труб, підведення живильної води здійснюється під рівень киплячої води, вода першого контуру циркулює усередині теплообмінних труб. Парогенератори є загальним устаткуванням для першого і другого контурів. В них теплова енергія, вироблена в реакторі, від першого контуру через теплообмінні трубки передається другому контуру. Насичений пар (з температурою 274 °С і тиском 5.9 МПа), що виробляється в парогенераторах, по паропроводу поступає на турбіну, яка приводить в обертання ротор генератора, що виробляє електричний струм. У першому контурі використовуються відцентрові циркуляційні насоси ГЦН-195М продуктивністю 20000 м³/г.

Це забезпечує надійне охолодження активної зони в нормальних, перехідних і аварійних режимах.

Для підтримки тиску в першому контурі застосовується паровий компенсатор тиску з комплектом електронагрівників, що приєднаний до однієї з петель головного циркуляційного контуру.

1.3 Аналіз особливостей роботи компенсатора тиску

Компенсатор тиску являє собою вертикальну ємність, встановлену на циліндричній опорі, яка закріплена у верхній частині і оснащена блоками трубчастих електронагрівачів. Загальний вигляд компенсатора тиску представлений на рисунку 1.5.

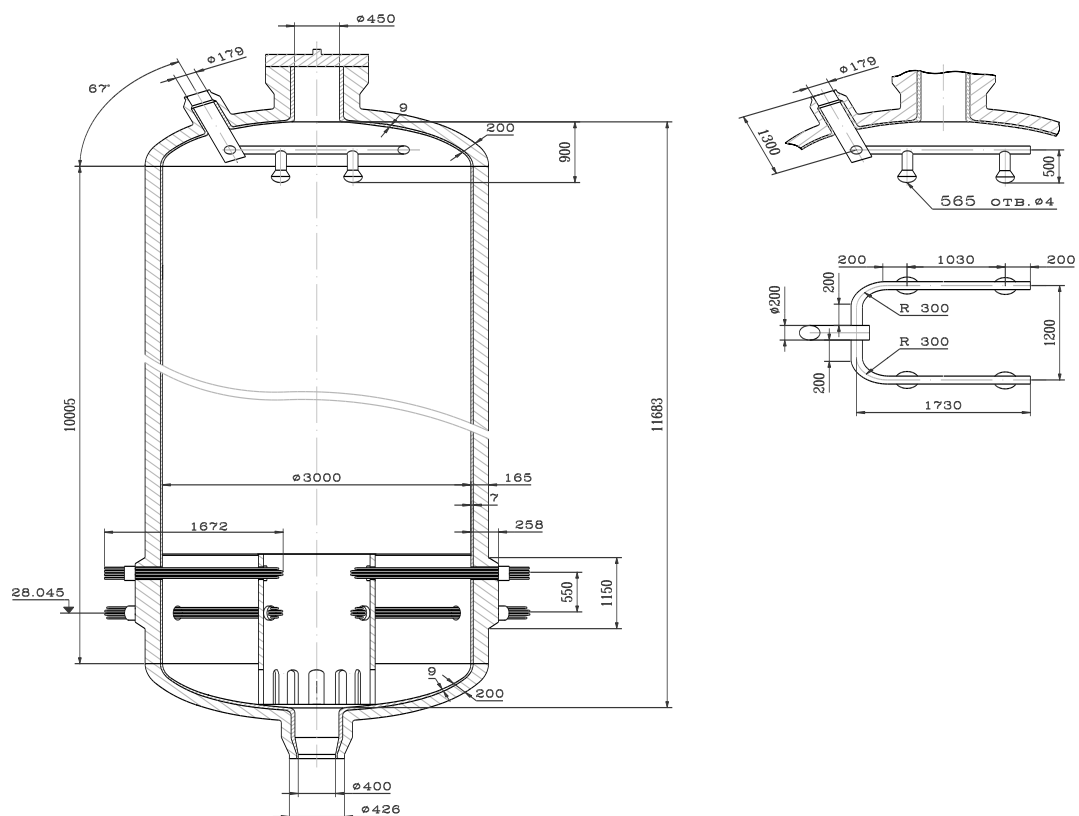


Рисунок 1.5 - Компенсатор тиску

Компенсатор тиску працює на підтримку тиску в першому контурі при проектних порушеннях умов нормальної експлуатації і проектних аварійних ситуаціях, перерахованих за винятком некомпенсованої течії першого контуру, течії з першого контуру в другий і помилкового вприскування в компенсатор тиску з системи підживлення при температурі води від 60 °С до 70 °С.

Співвідношення водяного і парового об'ємів компенсатора тиску вибрано з умови, що ні в одному з проектних режимів, за винятком режимів аварійного розщільнення першого і другого контурів, не відбувається закидання пари в перший контур з компенсатора тиску і оголення електронагрівачів компенсатора тиску.

Компенсатор тиску спільно з системою продувки - підживлення забезпечує зниження тиску в першому контурі при розхолоджуванні.

Умовно систему компенсації тиску можна розбити на чотири підсистеми:

- підсистема компенсатора тиску з вбудованими пристроями. Підсистема призначена для підтримки тиску в першому контурі і компенсації об'єму теплоносія при зміні його середньої температури. Для підтримки тиску встановлені трубчаті електронагрівачі, які управляються регулятором тиску.

- підсистема імпульсно-запобіжних пристроїв. Підсистема призначена для запобігання підвищення тиску в першому контурі вище уставок. Підсистема складається з трьох імпульсно-запобіжних пристроїв (клапанів), встановлених паралельно на трубопроводі Ду200 скидання пари з парового об'єму компенсатора тиску в барботаажний бак.

- підсистема вприскування в КТ. Підсистема включає в себе трубопровід вприскування Ду200, блок подачі на уприскування в КТ води від "холодної" нитки петлі, лінію уприскування від системи продувки-підживлення. Підсистема призначена для вприскування води в компенсатор тиску з метою підтримки заданого тиску в першому контурі.

- підсистема локалізації скидання з КТ. Підсистема включає в себе ББ і його обв'язку.

Компенсатор тиску заповнений частково теплоносієм, частково паром.

При зміні середньої температури теплоносія в першому контурі і відповідної зміни його обсягу, відбуваються перетоки з першого контуру в КТ або навпаки по дихальному трубопроводу. Пов'язане з цим коливання рівня в КТ викликає стиснення або розширення пара, що обмежує відхилення тиску за рахунок пружних властивостей пара. Додатковий ефект щодо обмеження змін тиску відбувається за рахунок випаровування або конденсації середовища при відхиленні параметрів від лінії насичення.

При зниженні тиску в першому контурі нижче номінального по черзі включаються групи електронагрівачів, при відновленні тиску послідовно відключаються згідно з алгоритмом, викладеному в інструкції з експлуатації систем автоматичного регулювання.

2 АНАЛІЗ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОМПЕНСАТОРОМ ТИСКУ В УМОВАХ ЗАЕС

2.1 Структурна схема АСУ ТП енергоблоку

Автоматизована система - це система, що складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності, та реалізує інформаційну технологію виконання встановлених функцій.

АСУ ТП енергоблоків Запорізької АЕС це людино-машинна система управління, яка призначена для забезпечення:

- автоматичного регулювання потужності реакторної установки і турбоустановки на номінальних параметрах;
- автоматичного регулювання та дискретного управління при пуску енергоблоку з холодного або гарячого стану, планового зупину блоку;
- автоматичного зниження потужності або останов при аварійних ситуаціях на енергоблоці або енергосистемі;
- автоматичного виконання захисних операцій в межах уставок реакторної установки, турбоустановки, а також окремого технологічного обладнання;
- автоматичної роботи систем безпеки;
- автоматичного збору інформації про параметри і стан технологічного обладнання, та надання її для оператора в зручному вигляді;
- автоматичної реєстрації поточних подій;
- автоматичної діагностики.

Будь-яка АСУ ТП має в своєму складі наступні компоненти: експлуатаційний персонал, організаційне забезпечення, технічне забезпечення, математичне забезпечення, програмне забезпечення, інформаційне забезпечення.

Комплекс технічних засобів АСУ ТП - це сукупність засобів отримання, перетворення, передачі, уявлення і реєстрації інформації про хід

технологічного процесу, вироблення і реалізації керуючих впливів, механізмів організації технологічних та аварійних захистів і блокувань.

Розглянемо узагальнену структурну схему АСУ ТП енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000, представлену на рисунку 2.1.

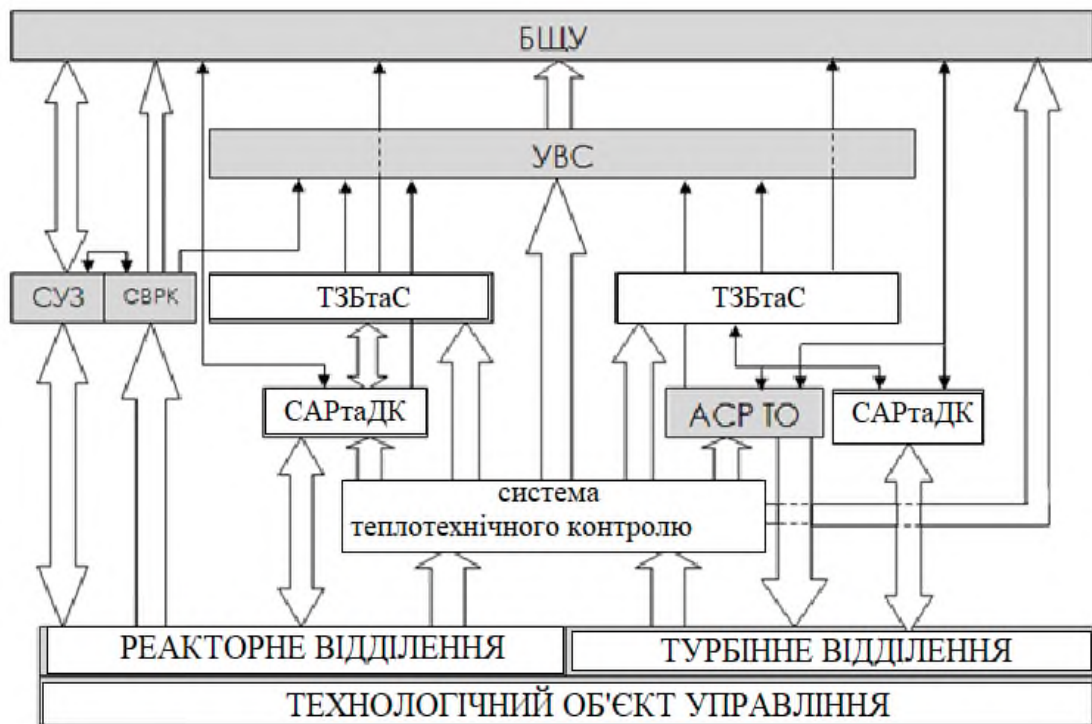


Рисунок 2.1 - Узагальнена структурна схема АСУ ТП енергоблоку
ЗАЕС

У складі АСУ ТП енергоблоку АЕС виділено такі функціональні підсистеми:

- підсистема теплотехнічного контролю;
- підсистема технологічної та аварійної сигналізації;
- підсистема технологічних захистів і блокувань;
- підсистема дистанційного керування;
- підсистема автоматичного регулювання;
- підсистема внутрореакторного контролю;
- підсистема управління і захисту реакторної установки;

- підсистема подання інформації операторам.

Об'єктом управління для АСУ ТП енергоблоку є агрегати і установки енергоблоку, що підрозділяються на обладнання та технологічні системи реакторного та турбінного відділень.

Функції збору, перетворення і подання споживачам інформації про значення технологічних параметрів і стан обладнання виконує підсистема теплотехнічного контролю. Узагальнена схема організації теплотехнічного контролю на енергоблоці АЕС представлена на рисунку 2.2.

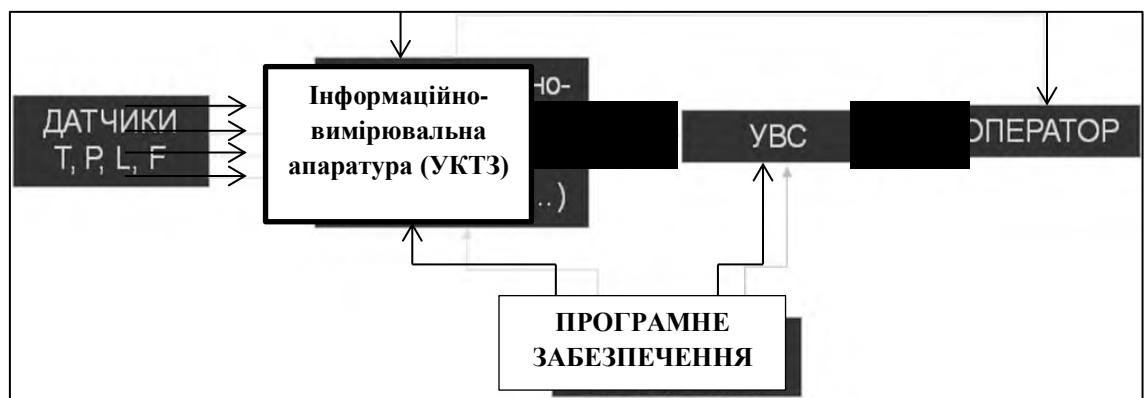


Рисунок 2.2 - Узагальнена схема організації ТТК на енергоблоці АЕС

Крім того, ряд спеціалізованих підсистем реакторного відділення включають в свій склад незалежні інформаційно-вимірювальні канали. До таких підсистем відносяться система СУЗ та система СВРК.

Система СУЗ забезпечує контроль теплотехнічних і нейтронно-фізичних параметрів реакторної установки, управління енерговиділенням в активній зоні реактора, а також захист реакторної установки від аварійних режимів роботи.

Система СВРК забезпечує контроль теплотехнічних і нейтронно-фізичних параметрів реакторної установки і уявлення значень цих параметрів операторам з метою підвищення ефективності і безпеки управління реакторною установкою.

Інформація про значення технологічних параметрів і стан обладнання надходить в системи, що забезпечують автоматичне регулювання і дистанційне керування механізмами і запірної-регулюючої арматурою. Ця функція реалізована на базі підсистеми автоматичного регулювання та дистанційного управління.

Захист обладнання при виникненні аварійних режимів роботи, а також запобігання виникненню таких режимів забезпечується підсистемою технологічних захистів і блокувань. Оперативне оповіщення операторів про відхилення технологічних параметрів за регламентні і/або аварійні значення забезпечується підсистемою технологічної сигналізації. Функціонально ці системи об'єднані в підсистему технологічних захистів, блокувань і сигналізації.

Подання інформації операторам-технологам про хід технологічного процесу, значеннях параметрів, стан арматури і механізмів забезпечується засобами подання інформації керуючої обчислювальної системи.

Вищим рівнем в ієрархії управління є оператори-технологи блочного щита управління. На БЩУ зведений практично весь обсяг технологічної інформації енергоблоку. На панелях БЩУ розташовані ключі управління електрифікованої арматурою, механізмами, пристрої керування автоматичними регуляторами і вибору режимів їх роботи. Керуючі впливи операторів через відповідні підсистеми САРтаДК, СУЗ передаються до технологічного об'єкту управління. Таким чином, замикається контур управління.

2.2 Принцип АСР системи компенсації тиску

Система компенсації тиску першого контуру виконує наступні функції безпеки:

- захист обладнання першого контуру від перевищення тиску вище встановленого проектом шляхом автоматичного скидання пара, пароводяної суміші і теплоносія першого контуру;

- захист обладнання першого контуру від обпресування в холодному стані;
- кероване зменшення тиску до 0,5 МПа в випадку реалізації режиму скидання/підживлення («Feed@Bleed») при неможливості відведення залишкових тепловиділень через другий контур;
- прийом і конденсація пара в барботажному баку, скидається через імпульсні запобіжні пристрої компенсатора тиску при їх спрацьовуванні або перевірці.
- прийом і конденсація в барботажному баку парогазової суміші з системи аварійного парогазоудалення (YR).

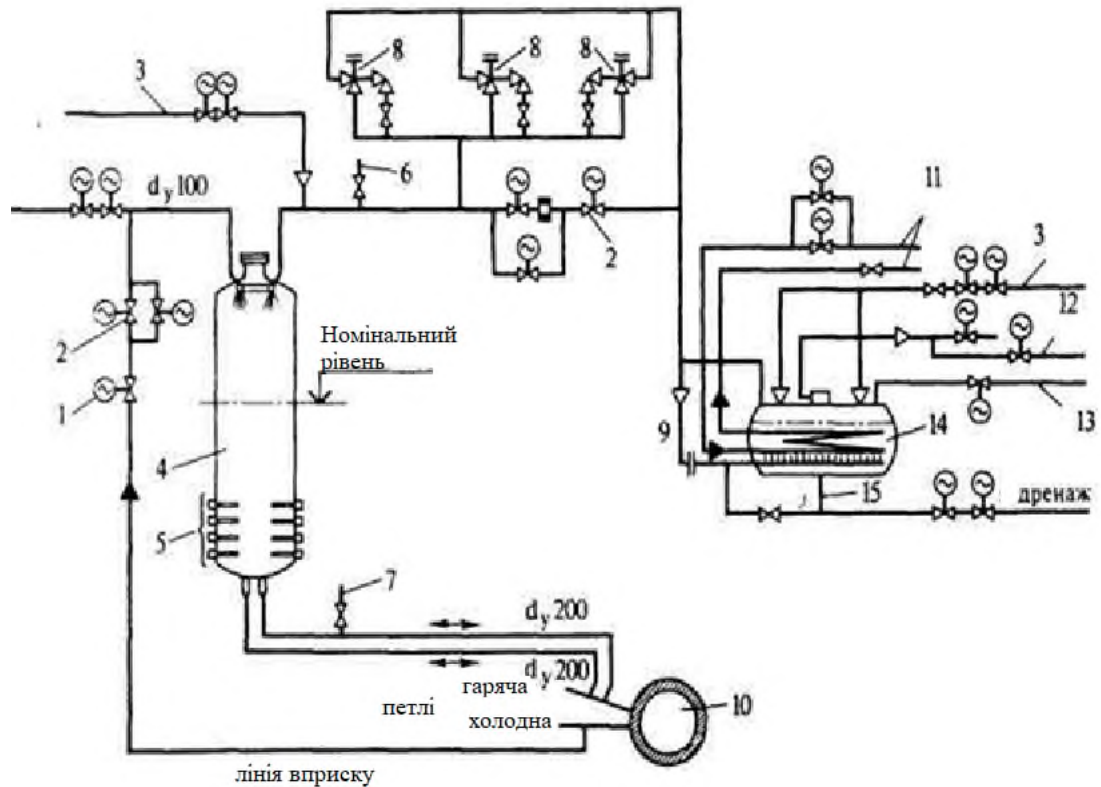
Система компенсації тиску першого контуру виконує наступні завдання нормальної експлуатації:

- компенсація обсягу теплоносія при температурних розширеннях ТПК;
- плавна компенсація невеликих збурень тиску ТПК;
- створення тиску в першому контурі в період пуску РУ;
- зниження тиску в першому контурі при розхолоджуванні РУ;
- компенсація збурень тиску ТПК в перехідних процесах РУ;
- збір і конденсація протікання через ІЗП КТ в режимі нормальної експлуатації;
- прийом і конденсація пара, скидається при спрацьовуванні ІЗП КТ.

Система компенсації тиску складається з двох функціональних груп:

- YP10 - призначена для створення і підтримки тиску в першому контурі з обмеженням його відхилень, викликаних зміною температурних режимі системи першого контуру. Дана група представлена тільки компенсатором тиску.

- YP20 - забезпечує захист обладнання, трубопроводів першого контуру від перевищення тиску в них вище допустимого в аварійних режимах. Група YP20, в свою чергу, складається з трьох імпульсних запобіжних пристроїв YP21,22,23 і барботажного баку YP20B01. Технологічна схема системи компенсації тиску представлена на рисунку 2.3.



- 1 - запірний клапан; 2 - регулюючий клапан; 3 - підведення азоту; 4 - КТ;
 5 - ТЕН; 6 - відбір проб парогазової суміші; 7 - відбір проб води; 8 - ІЗП;
 9 - фланцевий роз'єм (на випадок роздільного проведення гідровипробувань);
 10 - реактор; 11 - охолодження; 12 - газове здування; 13 - підведення води;
 14 - барботажний бак; 15 - відбір проби

Рисунок 2.3- Технологічна схема системи компенсації тиску

При збільшенні тиску в першому контурі вище номінального відбувається відкриття регулюючого вентиля (УР13S02) на лінії уприскування в КТ, потім відкривається перша швидкодіюча арматура (УР11S02), а при подальшому підвищенні - друга (УР12S02). Закриття арматури відбувається також послідовно в міру зниження тиску, згідно уставок відкриття-закриття.

Якщо, не дивлячись на роботу уприскування, відбувається подальше збільшення тиску, спрацьовують імпульсно-запобіжні пристрої і відбувається

скидання пари в ББ. При зниженні тиску відбувається їх закриття в зворотній послідовності.

Через запобіжні пристрої (або по лінії газових здувок) пар (парогазова суміш) від компенсатора тиску по трубопроводу надходить в паророзподільчі колектори з соплами. З паророзподільчих колекторів пар надходить в водяній обсяг ББ. Проходячи крізь шар води, пара конденсується, що запобігає виходу активного пара під оболонку. Тепло, що вноситься в ББ конденсованим паром, відводиться водою проміжного контуру через пучок теплообмінних труб.

При підвищенні тиску понад 0,7 МПа відбувається розрив запобіжних мембран.

При підвищенні рівня води в ББ відкривається арматура на дренажній лінії і здійснюється злив води до номінального значення, при якому арматура закривається.

При зниженні рівня води в ББ відкривається арматура на лінії підживлення, хімічно-солена вода від насосів чистого конденсату надходить в ББ до відновлення номінального значення, при якому арматура закривається згідно уставок відкриття-закриття.

У початковому стані при робочих параметрах експлуатації середовище заповнює всі порожнини ІЗП, за винятком подзолотникової порожнини (порожнину скидання середовища). При цьому золотник-поршень притискається до сідла корпусу середовищем за рахунок різниці ефективних площ верхньої та нижньої поверхонь золотника-поршня. Імпульсний клапан закритий. У всіх порожнинах ІЗП тиск середовища відсутній, за винятком подзолотникової порожнини (порожнину підведення середовища від джерела тиску). Герметичне ущільнення золотника імпульсного клапану з сідлом забезпечується зусиллям пружини.

При збільшенні тиску в системі електромагніт імпульсного клапану відключається. Поворотна пружина магніту піднімає його шпindel, і додаткове навантаження перестає діяти. Імпульсний клапан відкривається.

Середа витікає з розвантажувальної порожнини ІЗП через відвідну порожнину імпульсного клапану в ББ, знижуючи тиск в лінії управління та розвантажувальної порожнини. За рахунок підйомної сили, що виникає через різницю тисків в порожнині підведення середовища і розвантажувальної порожнини, відбувається відкриття ІЗП.

Рух золотника-поршня в верхньому положенні сповільнюється внаслідок підведення середовища в надпоршневу порожнину через отвір в поршні і подальшого стискання її підйомом поршня.

При зменшенні тиску середовища в компенсаторі тиску до встановленого значення електромагніт ІК включається, клапан закривається і замикає лінію управління ІЗП. Тиск в розвантажувальної порожнини і порожнини підведення середовища ІЗП вирівнюється, і виникає зусилля, що приводить до його закриття.

За аналогічним принципом ІЗП спрацьовує і при відкритті-закритті скидного клапана.

Для дистанційного керування головним клапаном до надпоршневій порожнини кожного ІЗП змонтована додаткова лінія управління (скидна лінія), що складається з електромагнітного запірною клапана (скидного клапана) УР21(22,23)S09 типу VCA і електроприводного запірною клапана УР21(22,23)S08. Під час експлуатації на робочих параметрах ЕМЗК УР21(22,23)S08 відкритий, ЕМЗК УР21(22,23)S09 закритий. ЕМЗК призначений для закриття скидний лінії в разі несправності ІЗП.

При включенні електромагніту блокуванням або КУ клапан відкривається. При переключенні КУ в нейтральне положення і відсутності команди блокування на відкриття електромагніт відключається, клапан закривається.

При відкритті ЕМЗК середовище по скидний лінії надходить в барботажний бак, тим самим надпоршнева порожнина ІЗП розвантажується. Через різницю тисків в подпоршневої і надпоршневій порожнинах відбувається відкриття ІЗП. При закритті ЕМЗК тиск в розвантажувальної

порожнини і порожнини підведення середовища в ІЗП вирівнюється, і він закривається.

Ключі управління YP21(22,23)S02,07,08,09 знаходяться на панелі БЩУ і панелі резервного щита управління. На ці ж панелі виведена індикація положення ІЗП, ІК і електромагнітів ІК, та сигналізація відкритого положення ІЗП YP21(22,23). Включеному станом електромагніту відповідає положення «закрито» (горить зелений індикатор), відключений - «відкрито» (горить червоний індикатор).

2.2.1 Склад системи

Система компенсації тиску є системою нормальної експлуатації, важливою для безпеки і відноситься до першої категорії сейсмостійкості.

Система компенсації тиску призначена для:

- підтримання тиску в першому контурі;
- створення тиску в першому контурі при пуску реактора;
- зниження тиску в першому контурі при розхолоджуванні;
- підтримання постійного тиску в першому контурі при роботі реактора на потужності в номінальному режимі;
- обмеження відхилення тиску в першому контурі в аварійних режимах;
- компенсації змін об'єму в першому контурі, що викликаються зміною температурного режиму роботи РУ;
- обмеження відхилень тиску в першому контурі, що викликаються зміною температурного режиму реакторної установки;
- захисту першого контуру від перевищення тиску вище допустимого в аварійних режимах.

До складу системи компенсації тиску входять:

- компенсатор тиску (YP10B1);
- барботажний бак (YP20);
- імпульсні запобіжні пристрої компенсатора тиску (YP21,22,23);
- трубопроводи і арматура.

2.2.2 Компенсатор тиску УР10В1

Компенсатор тиску являє собою вертикальну ємність, встановлену на циліндричній опорі, яка закріплена у верхній частині і оснащена блоками трубчастих електронагрівачів. В опорі є два наскрізних отвори: одне – для виведення дихального трубопроводу, інше забезпечує можливість огляду нижній частині корпусу КТ.

Корпус компенсатора тиску складається з циліндричної обичайки, зони нагрівачів і двох еліптичних днищ.

Зона нагрівачів виконана у вигляді циліндричної обичайки з двома рядами отворів під блоки ТЕН (трубчатий електронагрівач).

На циліндричній обичайці корпусу є дванадцять штуцерів під рівнеміри, чотири чохла під термодатчики для виміру температури теплоносія і один чохол під термодатчик для виміру температури стінки корпусу.

Еліптичні днища компенсатора тиску виконані штампованими. На верхньому днищі є лаз і штуцери під трубопровід вприскування і трубопровід скидання. На патрубку люка є штуцер під рівнемір і штуцер скидання парогазової суміші (видалення повітря).

На нижньому днищі є патрубок під трубопровід, що з'єднує компенсатор тиску з «гарячою» ниткою першого контуру. На патрубку розташовані три штуцера під рівнеміри і один штуцер відбору проб. На зовнішній поверхні днища приварені чохла під поверхневі термодатчики. До нижнього еліптичного днища компенсатора тиску приварений дихальний патрубок Ду350, що з'єднує компенсатор тиску з невідсікаємою частиною «гарячої» нитки петлі.

Конструкція компенсатора тиску з зазначенням його внутрішньокорпусних елементів представлена на рисунку 2.4.

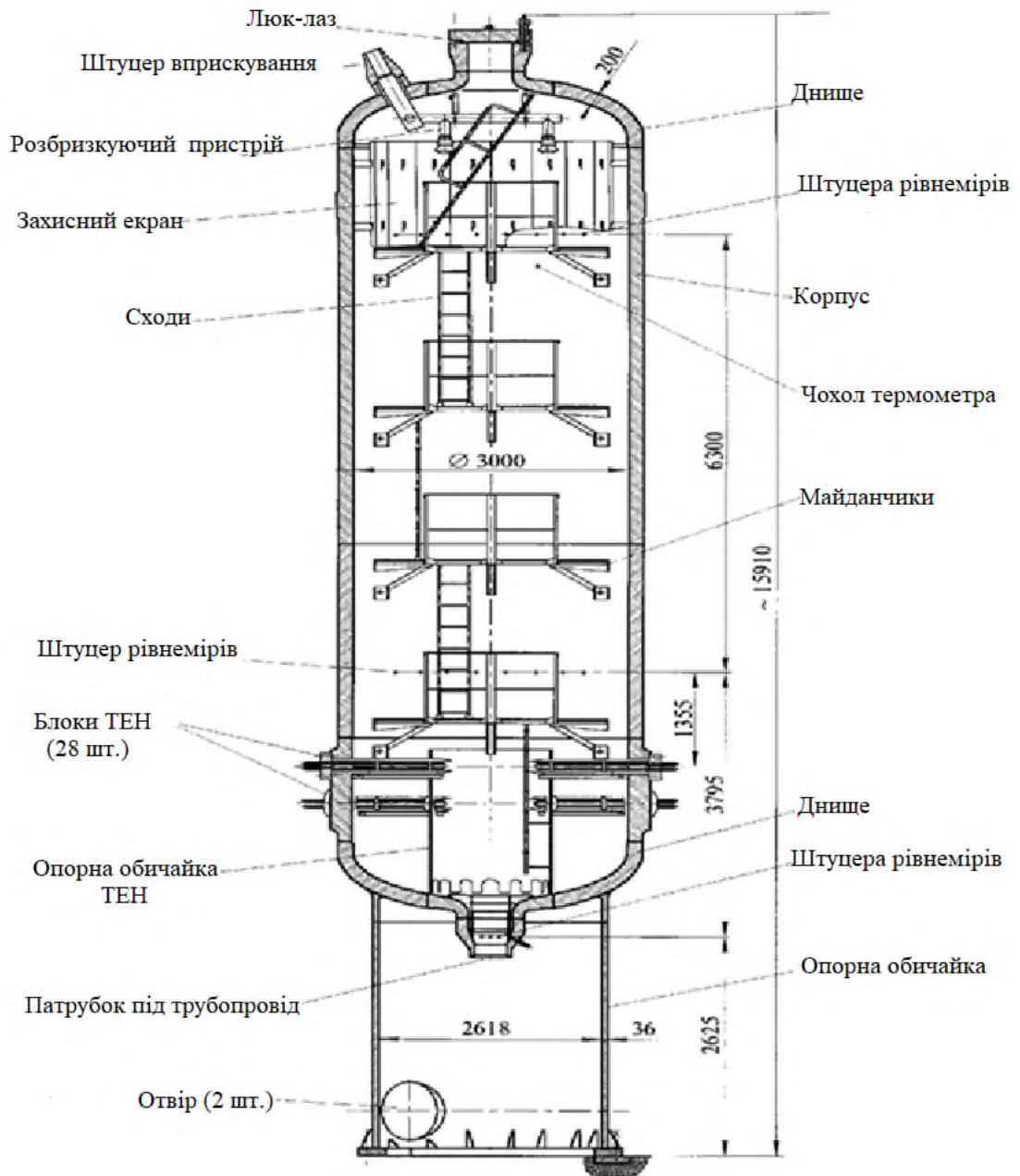


Рисунок 2.4 – Конструкція компенсатора тиску UR10B01

Паровий обсяг компенсатора тиску з'єднаний з наступними системами:
 - трубопроводом вприскування Ду200, на якому встановлена арматура регулювання вприскування в компенсатор тиску, з невідсікаємою частиною «холодної» нитки петлі;

- трубопроводом вприскування Ду50 від системи продувки-підживлення;
- трубопроводом Ду200 скидання пари через запобіжні клапани компенсатора тиску в бак барботер;
- трубопроводом здування парогазової суміші Ду32 в бак барботер;
- трубопроводом подачі азоту.

Скидання парогазової суміші з компенсатора тиску, а також з-під кришки реактора і колекторів парогенераторів здійснюється в ББ по трубопроводу Ду200.

Для скидання парогазової суміші з компенсатора тиску в ББ в період пуску реакторної установки передбачена лінія здувок з двома нормально закритими вентилями з електроприводом і дросельний пристрій.

Усередині компенсатора тиску встановлені:

- розбризкуючий пристрій, що складається з колектора і чотирьох знімних насадок;
- захисний екран, розташований у верхній частині корпусу, що захищає корпус компенсатора тиску при уприскуванні холодної води;
- опорна обичайка ТЕН;
- тепловий екран, що захищає днище від різкого перепаду температур;
- сходи і майданчики;
- 28 блоків електронагрівачів.

Корпус компенсатора тиску, включаючи патрубки, виготовлений з легованої конструкційної сталі 10ГН2МФА. Внутрішня поверхня корпусу плакірована нержавіючою сталлю марки 08Х19Н10Г2Б товщиною 9 мм. Плакіровка внутрішньої поверхні корпусу КТ сталлю аустенітного класу забезпечує корозійну стійкість обладнання в середовищі ТПК.

Внутрікорпусні пристрої КТ, включаючи розбризкуючий пристрій, захисний екран, майданчики і сходи, також виготовлені з хромонікелевої сталі аустенітного класу 08Х18Н10Т.

Розбризкуючий пристрій складається з роздаючого колектора і чотирьох розбризкуючих насадок, кожна з яких має 565 отворів діаметром 4 мм.

Колектор з допомогою хомутів кріпиться до швелерів, які приварені до верхнього днища. З'єднання колектора і насадок зварне. Розбризкуючі пристрої кріпляться на різьбі до патрубків роздаючого колектора.

Захисний екран служить для захисту корпусу компенсатора тиску від попадання "холодної" води з розпилювального пристрою і виконаний з знімних листів, вільно висячих на кронштейнах розміром 219 см x 19 см.

Опорна обичайка ТЕН призначена для фіксації в горизонтальному положенні блоків ТЕН, зберігання їх від різких поперечних потоків середовища при позитивних і негативних збуреннях по об'єму першого контуру, а також для організації контуру природної циркуляції при роботі електронагрівачів. Обичайка виконана з листа і кріпиться зварюванням до нижнього днища корпусу.

Для сприйняття сейсмічних навантажень КТ закріплюється в верхньої частини ущільненим кільцем, закладеним в бетонне перекриття. Конструкція цього кріплення не перешкоджає термічному розширенню судини вгору і по радіусу, утримує в вертикальному положенні і не дозволяє зміщуватися в горизонтальній площині при поштовхах.

Конструкція КТ, спосіб його закріплення забезпечують нормальне функціонування при максимальному розрахунковому землетрусі, забезпечує міцність при одночасному впливі навантажень, викликаних максимальним розрахунковим землетрусом, і навантажень, викликаних розривом дихального трубопроводу Ду400 мм по повному поперечному перетину.

Основні технічні і геометричні характеристики компенсатора тиску приведені в таблиці 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики компенсатора тиску

Характеристика	Од. виміру	Технологічний параметр
Робоче середовище	–	Вода з H_2BO_3 і пароводяна суміш
Робочий тиск	МПа	15,7
Робоча температура	°С	346±2
Об'єм:		
- загальний	м ³	79
- води в номінальному режимі	м ³	55
- пари в номінальному режимі	м ³	24
Потужність груп ТЕН		
- I група - YP10W01	кВт	180
- II група - YP10W02	кВт	360
- III група - YP10W03	кВт	720
- IV група - YP10W04	кВт	1260
- загальна потужність	кВт	2520
Кількість блоків ТЕН	шт	28
Кількість ТЕН в блоці	шт	9
Потужність одного блока ТЕН	кВт	90
Маса блока ТЕН	кг	132
Витрата вприску:		
- при працюючих ГЦН	кг/с	145,5
- мінімальний	м ³ /ГОД	1
Номінальний рівень теплоносія (відлік від зрізу нижнього патрубку Ду350)	мм	8870 ± 150
Маса компенсатора тиску	т	21,2

Таблиця 2.2– Основні геометричні характеристики компенсатора тиску

Характеристика	Од. виміру	Геометричний параметр
Висота:		
- корпус з опорою	м	16,34
- внутрішня циліндрична частина корпусу	м	10,005
- зона нагрівачів	м	1,150
Внутрішній діаметр циліндричної частини	м	3
Товщина стінки корпусу	м	0,165
Відстань між рядами ТЕН	м	0,550
Розприскуючий пристрій:		
-кількість	шт	4
- діаметр отворів	м	0,004
- кількість отворів	шт	565
Діаметр трубки електронагрівача	м	0,0136
Штуцер вписку теплоносія:		
- мінімальний внутрішній діаметр	м	0,179
-довжина від зовнішньої утворюючої корпусу компенсатора тиску	м	0,650

У верхній частині обичайки розташовано 28 отворів з обоймами для установки блоків електронагрівачів, в середній частині є отвори для організації проходу середовища при природній циркуляції, а також для огляду корпусу компенсатора тиску при ревізії. У нижньому торці обичайки зроблені вирізи для забезпечення дренажу. Опорна обичайка ТЕН у верхній частині кріпиться за допомогою болтів до кронштейнів, привареними до корпусу компенсатора тиску. Кріплення забезпечує температурні переміщення обичайки.

У комплекті компенсатора тиску входять 28 блоків ТЕН, які розташовані радіально в два яруси в нижній циліндричній частині корпусу і призначені для розігріву теплоносія під час пуску, підтримання температури

теплоносія в компенсатор тиску в заданому інтервалі, а, отже, і тиску в першому контурі в процесі роботи .

Нагрівач являє собою нержавіючу трубку діаметром 13,6 мм, у середині якої в ізоляторі перебуває ніхромова спіраль, що закінчується виводами для приєднання наконечників кабелів, з'єднаних з груповими шинами.

Кришка блоку ТЕН виконана у вигляді фланця з кільцевими виступами для ущільнення блоків ТЕН в корпусі. Роз'єм блоку ущільнюється двома прокладками: нікелевою і азбестовою.

Потужність електричних нагрівачів забезпечує проектну швидкість розігріву компенсатора тиску в період пуску і підтримання тиску під час роботи на потужності.

Кожен блок ТЕН складається з дев'яти U-подібних електронагрівачів звареними в кришку. Кришка виконана у вигляді фланця з кільцевими виступами для ущільнення блоку ТЕН в корпусі компенсатора тиску.

Ефективність груп ТЕН компенсатора тиску представлена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Ефективність груп ТЕН компенсатора тиску

Працюючі групи ТЕН	Тиск вкл. ТЕН, МПа	Тиск відкл. ТЕН, МПа	Підігрів, °С	L в КТ, мм	Швидкість розігріву КТ, °С/ч
1, 2, 3, 4	14,9	15,7	4,14	7200	12,4
1, 2, 3, 4	15,2	16,2	5,07	7200	12,67
1, 2, 3, 4	15,0	16,2	6,12	6200	17,48
1, 2, 3, 4	15,2	16,1	4,57	6500	17,13
1, 2, 3, 4	10,5	13,7	20,56	6600	27,55
2, 4	14,9	15,3	2,09	7000	5,02
1, 3	16,2	16,2	0	7800	0

2.2.3 Барбота́жний бак YP20B01

Барбота́жний бак призначений для прийому і конденсації:

- протікання пара через ІЗП КТ при їх неущільненості, що допускається конструкцією ІЗП в відповідності з проектом;
- парогазової суміші, що надходить з КТ при продуванні його парового обсягу в режимах розігріву або розхолодження системи першого контуру;
- насиченого пара, який скидається через ІЗП при їх перевірці або спрацьовуванні у відповідності з функціональним призначенням;
- парогазової суміші, скидаємої з парового обсягу компенсатора тиску, колекторів першого контуру, парогенераторів і з-під кришки реактора системою аварійного парогазовидалення (YR);
- протікань через сальники швидкодіючих арматур YP11(12)S01(02).

Барбота́жний бак представляє собою циліндричну ємність, розташований горизонтально і складається з обичайки корпусу і двох еліптичних днищ. В верхньої частини корпусу барбота́жного бака є люк-лаз діаметром 650 мм, в циліндричній частині якого вбудовані два патрубкі з фланцями під установку запобіжних мембран, по однієї на кожен патрубок, а також штуцер трубопроводу газовидалення.

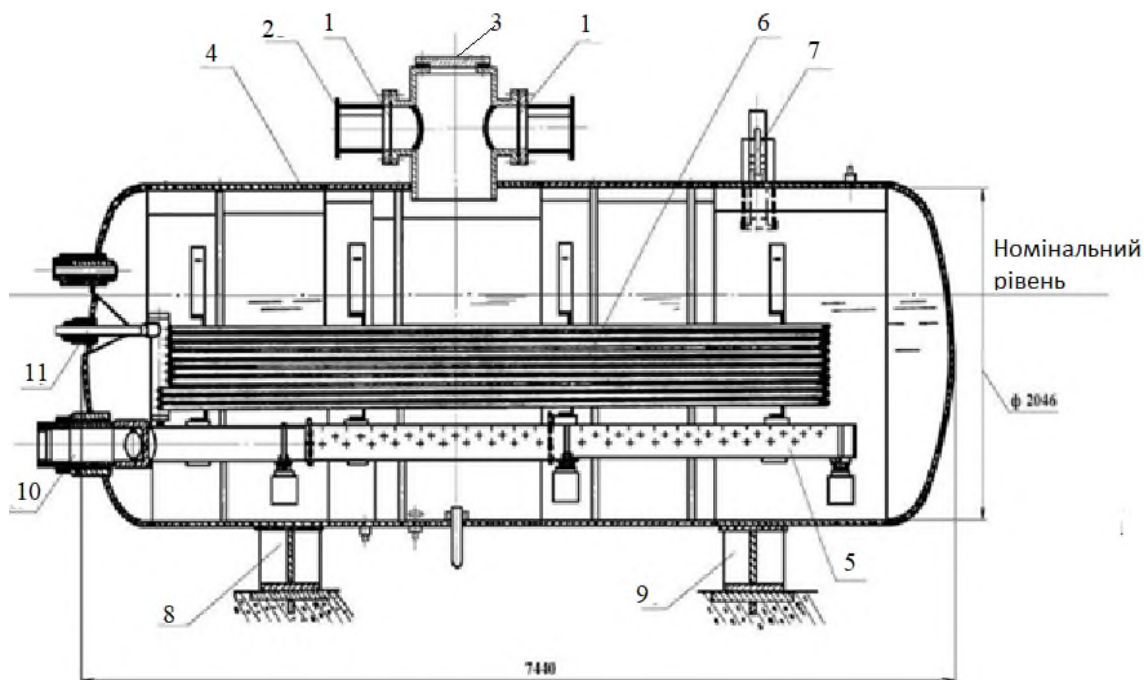
В верхньої частині корпусу розташовані:

- штуцер підведення дистилляту;
- два штуцера підведення азоту;
- штуцер трубопроводу зриву вакууму в скидному колекторі ГЗК ІЗП КТ.

Штуцери підведення азоту розташовані в протилежних кінцях ББ для виключення не продувних застійних зон. Безперервною продувкою азотом газового обсягу ББ з витратою від 1 м³/ч до 2 м³/ч запобігається утворення в ньому вибухонебезпечної суміші з концентрацією більше 3 % водню.

В нижній частині корпусу розташовані: чохли під установку термометрів опору; два штуцера під рівнеміри; штуцер дренажного трубопроводу. Барбота́жний бак встановлений на дві опори, одна з яких рухома і призначена для компенсації температурних розширень.

Конструкція барботажного баку УР20В01 представлена на рисунку 2.5.



- 1 - запобіжні мембрани; 2 - захисний ковпак; 3-люк-лаз; 4 - корпус;
 5 - паровий колектор; 6 - поверхня охолодження; 7 - зрівняльна емність;
 8 - нерухома опора; 9 - рухома опора; 10 - патрубок сброса от ГЗК КТ;
 11 - патрубок подачі води проміжного контуру на охолодження

Рисунок 2.5 - Конструкція барботажного баку УР20В01

Для відведення акумульованого тепла в ББ вбудований поверхневий теплообмінник, що складається з роздаткового і скидного колектора і трубочатки поверхні охолодження. Трубний пучок, виготовлений з труб діаметром 32 мм × 3 мм, дистанціонується трубними дошками, закріпленими в кронштейнах.

Всередині корпусу ББ розташований роздвоєний паророзподілюючий колектор з соплами для витікання пара під шар води. Роздвоєний паророзподілюючий колектор з зовнішньої боку ББ підключений до трубопроводу Ду250 скидання пара від ГЗК ІЗП КТ.

Барботер виготовлений з хромонікелевої сталі аустенітного класу 08X18H10T.

Основні технічні характеристики барботажного баку YP20B01 приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики барботажного баку YP20B01

Найменування параметру	Од. виміру	Значення
Обсяг повний	м ³	30
Обсяг води	м ³	20
Робочий тиск	МПа	0 ± 0,2
Розрахунковий тиск	МПа	0,7
Тиск гідровипробувань	МПа	1,0
Тиск розриву мембрани	МПа	0,7 – 0,8
Робоча температура	°С	20 – 60
Температура розрахункова	°С	150
Поверхня теплообміну	м ²	35
Витрата промконтура	м ³ /ч	20
Кількість пара, прийнятого ББ в стаціонарному режимі (зі збереженням цілісності мембран)	кг/ч	250

2.2.4 Імпульсні запобіжні пристрої YP21, 22, 23

ІЗП КТ YP21, 22, 23 призначені для:

- автоматичного скидання пари, пароводяної суміші і теплоносія першого контуру з КТ при аварійному збільшенні тиску в першому контурі;
- захисту устаткування першого контуру від переопрессовки в «холодному» стані;
- керованого зменшення тиску до 0,5 МПа в разі реалізації режиму «скидання-підживлення» при неможливості відведення залишкових тепловиділень через другий контур.

Для захисту першого контуру від перевищення тиску на КТ встановлені три імпульсних запобіжних пристрої типу VS99/66 фірми

«Sempell». ІЗП YP21 є головним, а YP22, 23 - додатковими.

До складу кожного запобіжного пристрою YP21(22, 23) входять:

- керований запобіжний клапан YP21(22, 23)S01 типу VS99;
- два керуючих клапана YP21(22, 23)S03,04 типу VS66;
- два запорних електроприводних вентиля YP21(22, 23)S02,07 типу ETF/F2;
- два ручних запірних вентиля YP21(22, 23)S05(06) типу ETF/S2 (по одному на КК);
- додаткова лінія управління (скидна лінія), що складається з електромагнітного запірного клапана (скидного клапана) YP21(22, 23)S09 типу VCA і запірного клапана YP21(22, 23)S08.

Головний запобіжний клапан безпосередньо захищає перший контур від перевищення тиску, та діє за розвантажувальним принципом.

Розвантажувальний принцип характеризується тим, що:

- відкриття головного клапана відбувається за рахунок підйомної сили, що діє на золотник-поршень головного клапана, що виникає під час відкритого положення імпульсного клапана внаслідок зниження тиску в надпоршневій області КЗК;
- закриття відбувається за рахунок притискної сили, що виникає внаслідок різниці ефективних площ верхньої та нижньої поверхонь золотника-поршня.

Загальний вигляд ІЗП КТ YP21(22, 23) з вбудованим ЕМЗК наведено на рисунку 2.6.

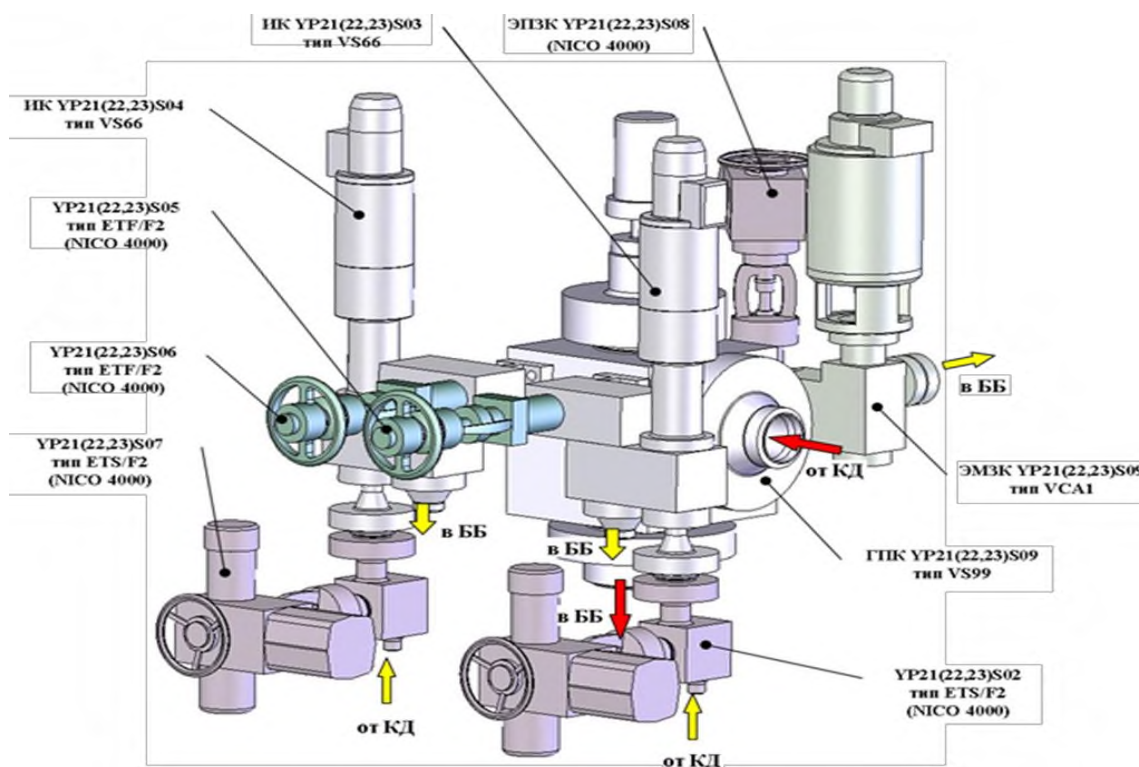


Рисунок 2.6 - Загальний вигляд ІЗП КТ УР21(22, 23) з вбудованим ЕМЗК

Управління головним клапаном здійснюється за допомогою двох пружинних імпульсних клапанів УР21(22, 23)S03,04. При відкритті одного або двох ІК КЗК відкривається, при закритті обох ІК КЗК закривається.

Для надійного закриття імпульсного клапана на ньому встановлений електромагніт, що створює додаткове зусилля закриття. При досягненні тиском в першому контурі уставки спрацьовування ІК, електромагніт відключається, і клапан відкривається середовищем. При зменшенні тиску до уставки закриття електромагніт включається і закриває клапан.

При знеструмленні електромагніту ІК працює як пружинний клапан прямої дії, тобто відкривається середовищем, а закривається пружиною.

Для відключення ІК на час техобслуговування, ремонту, гідро випробувань, випробувань, тощо на ньому змонтовані запірні вентиля. Один з них відсікає ІК від джерела тиску (від компенсатора тиску), а інший відсікає керуючу лінію КЗК від ІК. Параметри ІЗП КТ наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри ІЗП КТ

Найменування параметру	Одиниця виміру	Контрольне ІЗП УР21	Робочі ІЗП	
			УР22	УР23
Тиск початку відкриття ІК середовищем в разі знеструмлення електромагніта	МПа	18,1 ± 0,01	18,6 ± 0,01	
Тиск повного відкриття ІК		18,8 ± 0,01	19,2 ± 0,01	
Тиск закриття ІК пружиною в разі знеструмлення електромагніта		16,7 ± 0,01	17,1 ± 0,01	
Витрата середовища, не менше	насичений пар	т/ч	180	
	вода		330	
Примітка. Параметри настройки ІЗП наведені для значень тиску над активною зоною реактора.				

Розглянемо за яким принципом працює ІЗП.

Нормальне положення КЗК, ІК і ЕМЗК (скидного клапана) - «закрита».

При збільшенні тиску в першому контурі до відповідної уставки спрацьовування реле тиску, розпитується електромагніт дожимання ІК відбувається відкриття скидного клапана і, як наслідок, відкриття КЗК. Якщо тиск продовжує збільшуватися, відключаються електромагніти ІК, і останні відкриваються середовищем, та пар по додатковій скидній лінії надходить до ББ. КЗК відкривається при відкритті будь-якого з керуючих клапанів (ІК або ЕМЗК).

При зменшенні тиску в першому контурі до відповідної уставки електромагніти включаються і закривають ІК. У разі відсутності напруги на електромагніт ІК останній закривається пружиною. При подальшому зменшенні тиску закривається скидний клапан. У разі знеструмлення скидного клапана він закриється при будь-якому тиску.

КЗК закриється тільки після закриття всіх керуючих клапанів (ІК і ЕМЗК).

Принципову схему спрацьовування ІЗП КТ наведено на рисунку 2.7.

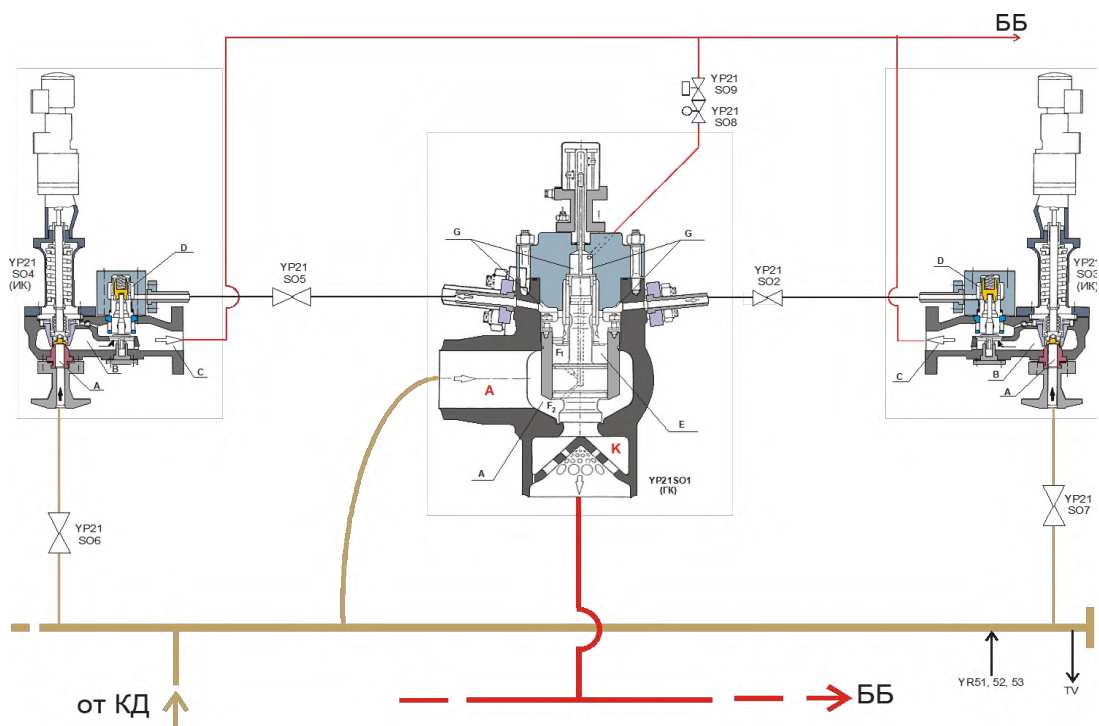


Рисунок 2.7 - Принципова схема спрацьовування ІЗП КТ

Сигналізація про несправності, а також про відкриття дверей шаф управління виведена на табло «Виклик до шаф ІЗП КД», розташованих на панелях БЩУ і панелях РЩУ.

2.3 Структурна схема АСР тиску в першому контурі

Автоматична система регулювання використовується у таких випадках, коли необхідно протягом тривалого часу змінювати або підтримувати постійними будь-які фізичні, хімічні, тощо величини, названі регульованими параметрами (тиск, температура, рівень), які характеризують роботу машини, апарату, технологічної установки, технологічного вузла.

АСР складається з об'єкта регулювання і автоматичного регулятора.

Об'єкт регулювання - основний елемент системи регулювання, заданий режим роботи якого повинен підтримуватися регулятором за допомогою регулюючих органів.

Автоматичними регуляторами називаються пристрої, які змінюють за програмою або підтримують постійними значення регульованих параметрів.

У спрощеному вигляді регулятор складається з:

- вимірювального перетворювача (датчик);
- регулюючого блоку;
- схеми управління на базі УКТЗ;
- інтегратора автобалансу;
- органів управління (блок ручного управління БРУ 32 з показником положення).

Регульований параметр - параметр, задана величина якого підтримується в процесі регулювання.

У регулюючому блоці відбувається підсумовування вхідних сигналів, порівняння їх з сигналом завдання, вироблення сигналу неузгодженості і алгоритму впливу на виконавчий механізм. Напрямок впливу залежить від знаку сигналу неузгодженості суматора регулюючого блоку.

Структурна схема АСР тиску в першому контурі ЗАЕС зображена на рисунку 2.8.

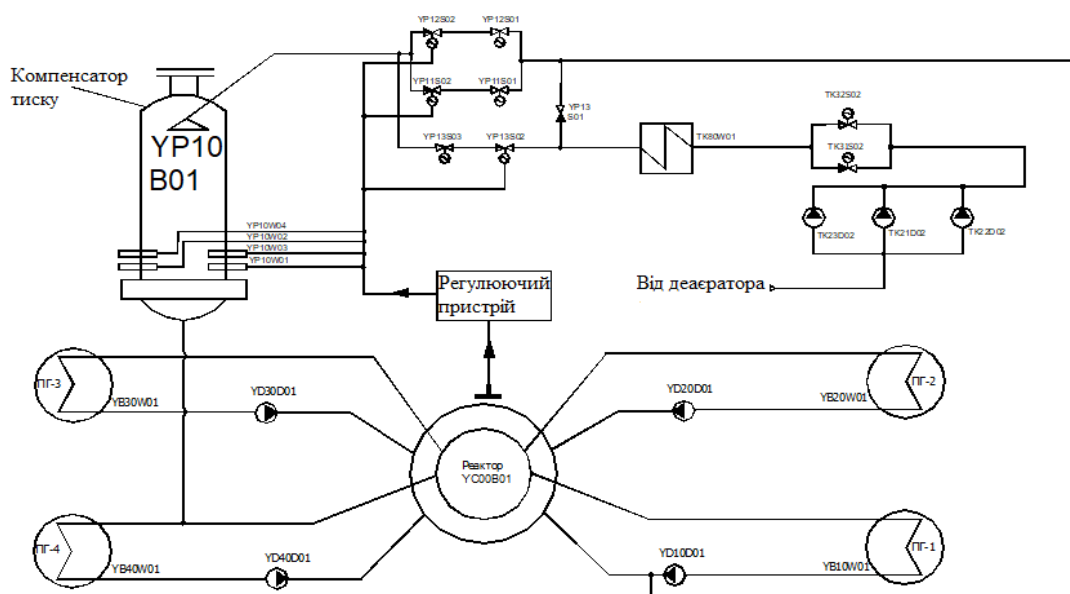


Рисунок 2.8 – Структурна схема АСР тиску в першому контурі ЗАЕС

На ЗАЕС більшість локальних систем регулювання реакторного відділення виконано на апаратурі «Каскад-2», яка являє собою комплекс аналогових приладів різного призначення, що дозволяють реалізувати досить складні системи регулювання теплотехнічних параметрів.

Особливостями апаратури «Каскад-2» є:

- застосування уніфікованого сигналу;
- можливість виконання різних обчислювальних операцій і нелінійних перетворень;
- уніфікація конструктивів, габаритних і приєднувальних розмірів всіх приладів;
- висока надійність роботи.

Стосовно до системи УР регульованими параметрами є:

- тиск в першому контурі;
- рівень теплоносія в компенсаторі тиску;
- швидкість розхолодження компенсатора тиску.

Регулятори призначені для підтримки значень тиску над активною зоною реакторної установки (надлишкового) в діапазоні від 15,0 МПа до 16,5 МПа і зміні тиску в режимі розхолодження або розігріву від 15,7 МПа до 0 МПа.

Регулятори підтримують значення тиску в діапазонах:

- від 15,0 МПа до 15,7 МПа включенням-відключенням ТЕН УР10W01-УР10W04 в компенсаторі тиску;
- від 15,7 МПа до 16,1 МПа зміною витрати уприскування теплоносія з напірного колектора підживлюючих насосів («холодного» теплоносія) в компенсатор тиску через клапан УР13S02;
- від 16,1 МПа до 16,5 МПа зміною витрати уприскування теплоносія з напірного колектора головного циркуляційного насоса (з «холодної» нитки) в компенсатор тиску через УР11S02 і УР12S02. Для обмеження «осідання» тиску при відкритті уприскування через засувку УР11S02 її хід обмежений налаштуванням кінцевого вимикача відкриття в положенні 40 % повного ходу;

- від 15,7 МПа до 0 МПа зміною витрати уприскування «холодного» теплоносія з напірного колектора підживлюючих насосів через клапан УР13S02.

Склад регуляторів наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6- Склад регуляторів

Виконавчий механізм	Регулюючий прилад	Примітки
УР10W01	УРС01	Режим підтримання тиску
УР10W02		
УР10W03		
УР10W04		
УР11S02		
УР12S02		
УР13S02	УРС05	Режим розхолодження
	УРС04	
ТК31S02	УРС02	Режим підтримки постійної маси
ТК32S02	УРС03	Режим підтримки заданого значення рівня

У режимі розхолодження (розігріву) в КТ підтримується значення тиску, який відповідає температурі насиченої пари, що перевищує на 55 °С температуру теплоносія в «гарячих» нитках головного циркуляційного контуру.

Як виконавчі механізми регулюючих клапанів використовуються електроприводи «Siemens», «Тула-привод».

Всережимний регулятор тиску УРС01 призначений для підтримки заданого тиску над активною зоною реактора в усіх експлуатаційних режимах шляхом включення і відключення чотирьох груп електронагрівачів УР10W01 - W04 і зміни витрати води на вприск в КТ впливом на два швидкодіючих клапана УР11S02, УР12S02.

Закон регулювання для YPC01 - позиційний з диференціальною і інтегральною складовою. Позиційний закон реалізований за допомогою аналого-дискретних перетворювачів АДП 2М. Схема самобалансу в регуляторі YPC01 відсутня.

Регулюючий пристрій YPC01 виконано на блоках Л03, Н05, Д05, А06 апаратури «Каскад-2» і АДП 2М апаратури УКТЗ.

Алгоритм регулюючого пристрою YPC01 наведено на рисунку 2.9.

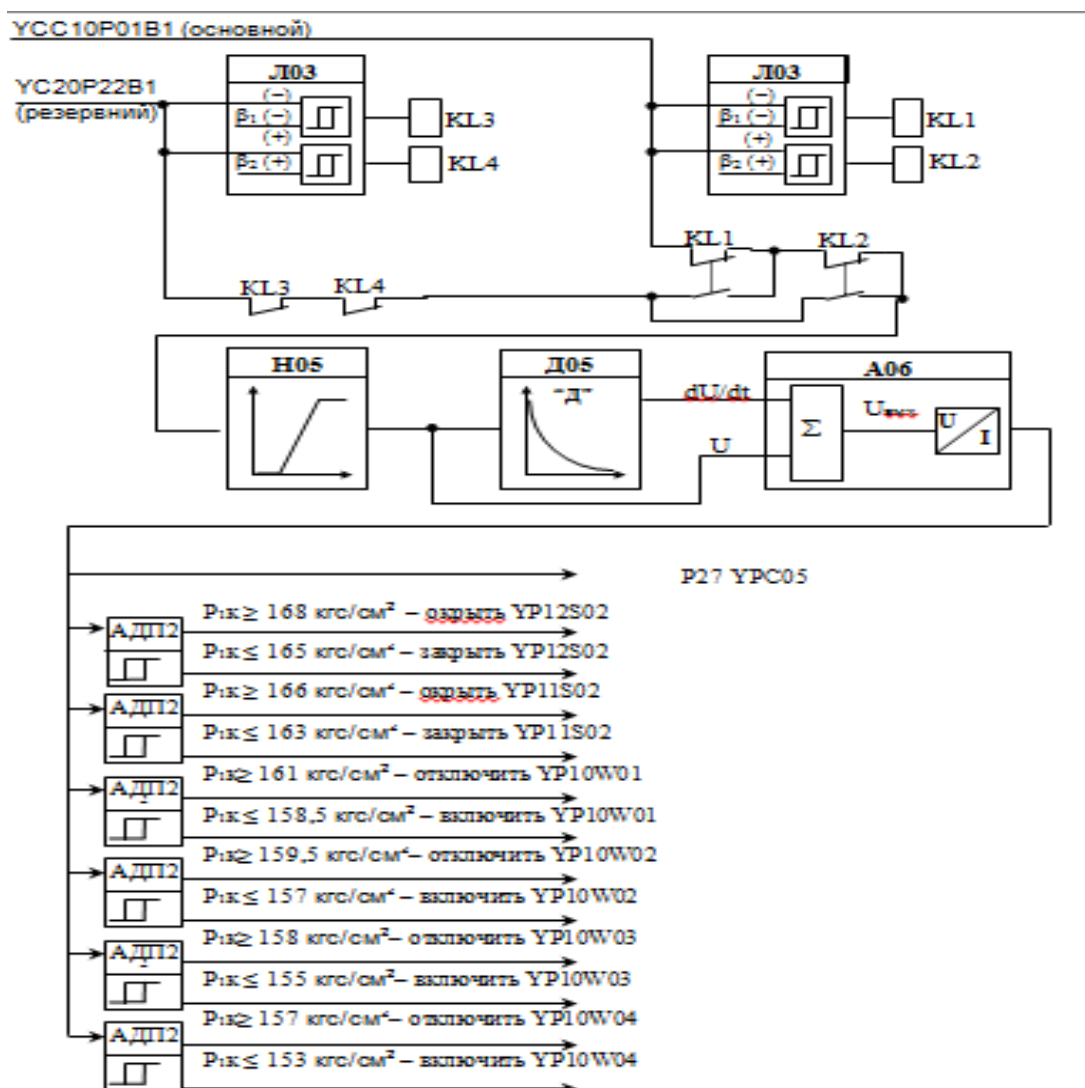


Рисунок 2.9 - Алгоритм регулюючого пристрою YPC01

Регулятор YPC01 має основні уставки спрацювання по тиску в першому контурі, зазначені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Уставки спрацювання YPC01

Процес зменшення тиску		Процес збільшення тиску	
Значення параметру, МПа	Керуючий вплив	Значення параметру, МПа	Керуючий вплив
менше 16,2	Закрити YP12S02	більше 16,5	Відкрити YP12S02
менше 16,0	Закрити YP11S02	більше 16,3	Відкрити YP11S02
менше 15,5	Увімкнути YP10W01 Увімкнути YP10W02 з затримкою 3 мін.	більше 15,8	Відключити YP10W01
менше 15,4	Увімкнути YP10W02 Увімкнути YP10W03 з затримкою 2 мін.	більше 15,6	Відключити YP10W02
менше 15,2	Увімкнути YP10W03 Увімкнути YP10W04 з затримкою 1 мін.	більше 15,5	Відключити YP10W03
менше 15,0	Увімкнути YP10W04	більше 15,4	Відключити YP10W04

Якщо після включення чергової групи електронагрівачів тиск в першому контурі не відновлюється, то надходить сигнал з витримкою часу на включення наступної групи електронагрівачів.

Регулюючий пристрій YPC05 виконано на блоці P27, H05 апаратури «Каскад-2». Регулятор «тонкого» вприску YPC05 призначений для компенсації малих позитивних збурень тиску в першому контурі шляхом впливу на регулюючий клапан «тонкого» вприску YP13S02. Закон регулювання для YPC05 - пропорційно-диференційний. Пропорційно-диференційний закон реалізований охопленням пропорційно-інтегрального регулятора зворотним зв'язком по положенню регулюючого органу і наявністю сигналу по швидкості зміни тиску. Схема самобаланса в регуляторі YPC05 відсутня. Регулюючий клапан YP13S02 в залежності від положення ключа «SA» може експлуатуватися як в режимі підтримки тиску

над активною зоною (в положенні ключа «Р» підключається регулюючий пристрій YPC05), так і в режимі розхолоджування (в положенні ключа «ΔТ» підключається регулюючий пристрій YPC04). Алгоритм управління виконавчим механізмом YP13S02 зображено на рисунку 2.10.

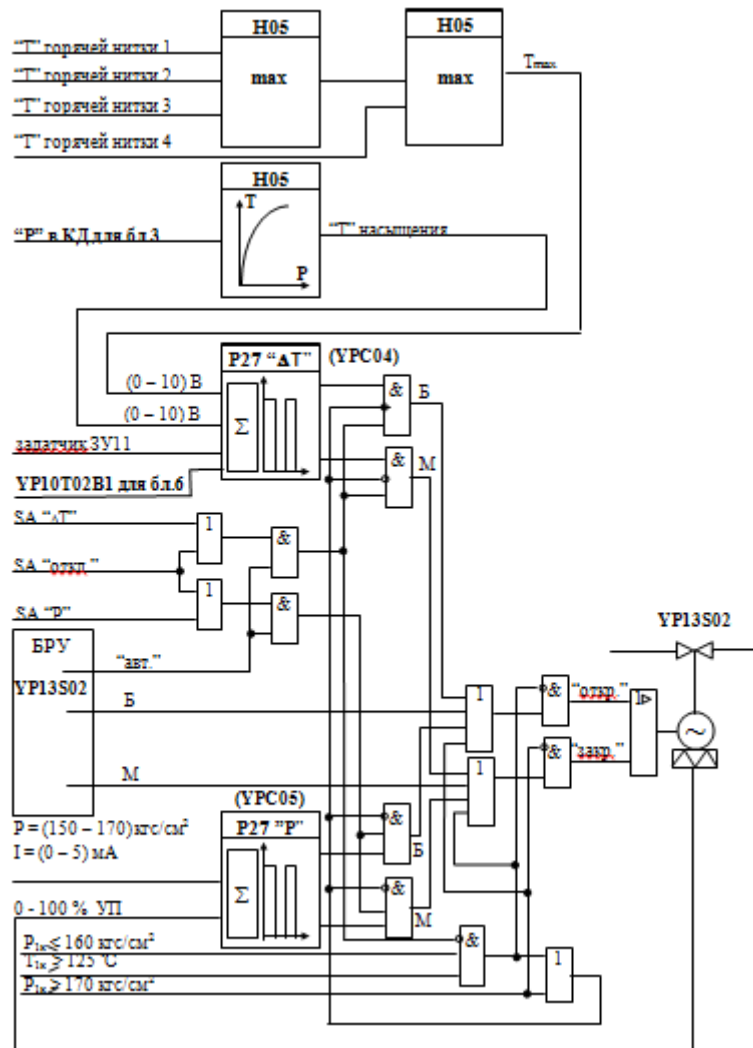


Рисунок 2.10 - Алгоритм управління виконавчим механізмом YP13S02

При роботі клапана з регулюючим пристроєм YPC05 закриття клапана припиняється за сигналом моментної муфти, тобто здійснюється ущільнення клапана в положенні «закрито», а при роботі з регулюючим пристроєм YPC04 закриття припиняється за сигналом кінцевого вимикача закриття і ущільнення не відбувається

Уставки спрацювання роботи регулятора тонкого впрыску YPC05 вказано в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Уставки спрацювання YPC05

Тиск у першому контурі, МПа	Відкриття регулятора, %
15,8	0
15,9	33
16,0	66
16,1	100

Регулятор розігріву-розхолодження КТ YPC04 призначений для підтримки різниці температур між температурою насичення, яка відповідає тиску в КТ, і температурою теплоносія «гарячої» нитки петлі, що має максимальне значення температури, в режимах розігріву-розхолодження першого контуру.

Керуючим впливом регулятора є зміна витрати води на уприскування в КТ шляхом впливу на регулюючий дросельний золотниковий клапан YP13S02. Задане значення різниці температур (ΔT) становить $(55 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$ і підтримується шляхом впливу регулятора на клапан впрыску YP13S02.

Закон регулювання для YPC04 - пропорційно-інтегральний.

Регулюючий пристрій YPC04 виконано на блоках Р-27, Н-05, Д-05 апаратури «Каскад-2», а схема контролю справності регулюючого блоку регулятора YPC04 реалізована на блоках УКТЗ. Для реалізації безударного включення регулятора YPC04 застосована схема самобалансу регулюючого блоку Р-27 на задане значення регульованого параметра. У схемі самобалансу використаний блок Д05 комплексу «Каскад-2».

Сигнал температури насичення води КТ утворюється шляхом перетворення сигналу тиску в КТ в спеціальному блоці. Регулятор YPC04 працює при розігріві, або до переходу на азот при розхолодженні, при температурі теплоносія менше $100 \text{ }^\circ\text{C}$ відключається.

Регулятор рівня в КТ штатний YPC02 працює в режимі підтримки постійної маси теплоносія в першому контурі, що здійснюється шляхом підтримки заданого значення рівня в КТ (від 601 см до 877 см) зміною витрати підживлення першого контуру через клапани ТК31S02 і ТК32S02 при зміні середньої температури теплоносія від 276,0 °C до 302,5 °C (рис. 2.11). Похибка підтримки рівня регулятором YPC02 дорівнює ± 150 мм.

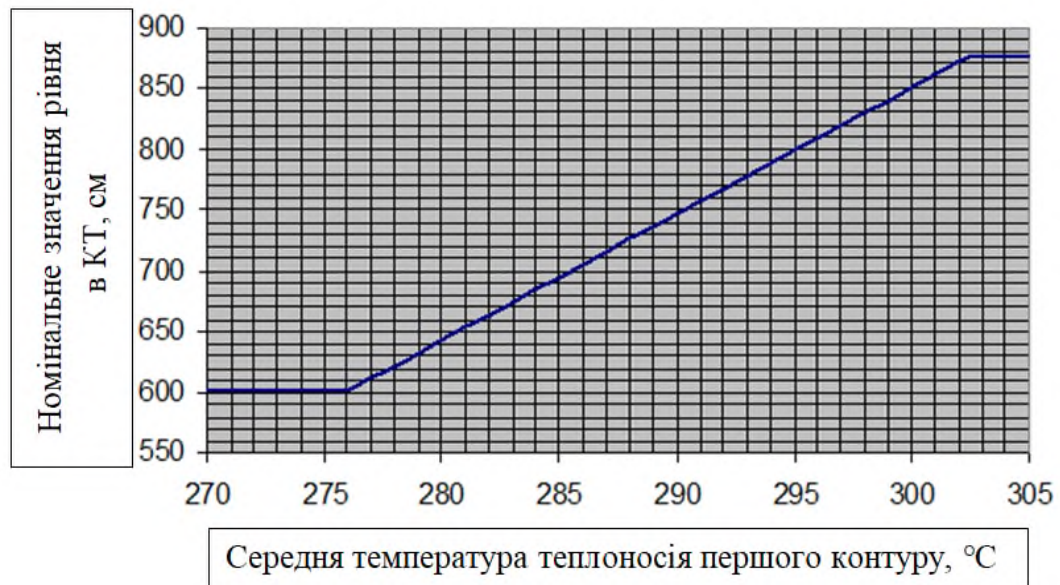


Рисунок 2.11 - Номінальне значення рівня в КТ залежно від середньої температури ТПК

Для того щоб при порушеннях балансу в продувці і підживлення не відбувалося динамічних відхилень рівня, в схему регулятора введені сигнали за видатками продувочної і підживлювальної води. Регулятор впливає на регулюючі клапани ТК31S02, ТК32S02. Нормально регулятор впливає на клапан ТК31(32)S02, в залежності від положення ключа вибору ведучого клапана, при повному відкритті цього клапана вплив регулятора перемикається на ТК32(31)S02. При закритті ТК32(31)S02 відбувається зворотне перемикання.

У схемі регулятора YPC02 застосований самобаланс регулюючого блоку на своє задане значення регульованого параметра.

У схемі використані блоки Р-27, Д-05 комплексу «Каскад-2», та блоки УКТЗ.

Регулятор рівня в КТ пусковий YPC03 призначений для підтримки заданого значення рівня в КТ в режимах пуску і розхолодження РУ зміною витрати підживлення першого контуру через клапани ТК31S02 і ТК32S02.

Закон регулювання для YPC03 - пропорційно-інтегральний.

У схемі регулятора YPC03 застосований свій регулюючий блок Р-27, та блоки А-35, Н-05, Д-05 и А-06 комплексу «Каскад-2».

Реалізована схема контролю справності регулятора YPC03, яка складається з блоків комплексу УКТЗ. У схемі застосований метод контролю, який ведеться за тривалістю командних імпульсів регулюючого блоку Р-27. У схемі регулятора YPC03 застосований самобаланс регулюючого блоку на своє задане значення регульованого параметра.

Регулятор в залежності від режиму роботи реакторної установки підтримує одне з 3-х фіксованих значень:

$L_{\min} = 6010$ мм, встановлюється після скидання азоту до досягнення номінальної температури теплоносія (при зміні температури теплоносія в компенсаторі від 200 °С до 346 °С);

$L_{1\max} = 11000$ мм, при цьому рівні відбувається заміна азотної «подушки» на парову;

$L_{2\max} = 11600$ мм, рівень необхідний для створення азотної «подушки».

Регулювання рівня здійснюється впливом на регулюючі клапани ТК31S02, ТК32S02 в тому ж порядку, як і для регулятора YPC02.

2.4 Види вимірювань і застосування вимірювальних сигналів

Для можливості здійснення дистанційного та автоматичного контролю роботи системи компенсації тиску, а також для запобігання можливих пошкоджень обладнання здійснюється вимір наступних параметрів:

- рівня водного середовища в КТ та ББ;

- тиску в КТ та ББ;
- температури корпусу КТ та ББ;
- температури водного середовища в КТ;
- температури пара в КТ;
- температури середовища в скидному трубопроводі від ІЗП КТ;
- концентрації борної кислоти в КТ;
- щільності роз'ємів люка-лазу КТ і ТЕН.

Вимірювальні сигнали застосовуються для:

- відображення інформації на дисплеях робочого місця оператора технолога на БЩУ;
- відображення інформації на стрілочних приладах (МЗ16) БЩУ, РЩУ;
- відображення інформації на реєструючих приладах (РП-160) на БЩУ;
- формування команд в схемах технологічних блокувань і захистів;
- формування команд в схемах автоматичного регулювання;
- формування сигналів в схемах технологічної світлозвукової сигналізації, та аварійного захисту реактора.

Обсяг контролю теплотехнічних параметрів системи компенсації тиску представлений в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Контроль теплотехнічних параметрів системи

Найменування параметру	Одиниця виміру	Допустимі значення	Позиція СІТ	Діапазон вимірювань СІТ	Місце контролю		
					БЩУ	УВС	РЩУ
1	2	3	4	5	6	7	8
Рівень в КТ	см	-	УР10L01В1	370,0 – 1528,5	-	+	-
			УР10L02В1	0 – 1260			
			УР10L03В1	370 – 1260			
			УР10L06В1	370,0 – 1528,5			
			УР10L07В1				

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8
Рівень в КТ	см	-	YP10L05B1	0 – 1000	+	-	+
			YP10L14B1	0 – 1000	+	-	+
			YP10L24B1	1000,0 – 1260,0	+	-	-
Тиск в КТ	МПа	15,7 ± 0, 2	YP10P01B1	0 – 250	+	+	-
Рівень води в ББ	см	170 ± 15	YP20L01B1	0 – 250	+	-	+
			YP20L02B1		+	-	+
			YP20L03B1		-	+	-
Тиск в ББ	МПа	0,0 ± 0,02	YP20P01B1	0 – 10	+	-	+
			YP20P03B1		+	-	+
			YP20P05B1		-	+	-
Температура пару в КТ	°C	346 ± 2	YP10T01	0 – 400	-	+	-
Температура води в КТ			YP10T02		+	+	-
Температура поверхні трубопроводу YP10	°C	-	YP10T10	0 – 400	-	+	-
Температура теплоносія в трубопроводі YP10	°C	-	YP10T08 YP10T09	0 – 400	-	+	-
Температура зрняльного посуду YP10	°C	-	YP10T11	0 – 400	-	+	-
Температура середі в імпульсній лінії	°C	-	YP10T12 YP10T13	0 – 400	-	+	-

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8
Температура середі після ІЗП КТ	°С	-	УР20Т01	0 – 400	-	+	-
Температура води в УР20В01	°С	20 – 60	УР20Т02	0 – 200	-	+	-
Температура поверхні корпусу КТ	°С	-	УР10Т05 УР10Т06 УР10Т07	0 – 400	-	+	-

Примітка. Діапазони вимірювань тиску наведено без урахування поправок на гідростатичний тиск стовпа рідини в імпульсній лінії. У свідченнях УВС поправки враховані. На вторинних приладах БЩУ, РЩУ поправки вказані на бирках і повинні враховуватися оператором при вимірах.

Для вимірювання рівня в КТ застосовуються гідростатичні рівнеміри. У комплект рівнеміра входить: перетворювач вимірювальний «Сапфир-22М-ДИ»; однокамерна зрівняльна ємність; вторинний прилад.

Компенсатор тиску оснащений дев'ятьма однокамерними зрівняльними ємностями, що мають різну базу вимірювання.

Принцип роботи рівнеміра полягає в порівнянні висот гідростатичних стовпів рідини в «плюсовій» та «мінусовій» імпульсних лініях датчика.

«Плюсова» лінія датчика з'єднана з зрівняльною ємністю («плюс» датчика). «Мінусова» лінія датчика пов'язана з водним простором КТ через штуцер в корпусі КТ в місці, відповідному початку діапазону вимірювання рівня цим датчиком («мінус» датчика).

Порожнина зрівняльної ємності пов'язана з паровим простором компенсатора, через що в зрівняльній ємності підтримується постійний рівень (так як корпус зрівняльної ємності не споряджений теплоізоляцією, у внутрішній його порожнині постійно відбувається процес конденсації пари, а надлишки конденсату зливаються в компенсатор тиску).

У зв'язку з тим, що щільність теплоносія, а значить і вага гідростатичного стовпа, залежить від температури, в схемі контролю рівня в КТ застосовують три типи рівнемірів: з налаштуванням датчиків на номінальні параметри середовища – YP10 L01, L04, L06, L07 – 13, L15 – 20, L21, L22, L23; з налаштуванням датчиків на номінальні параметри середовища з корекцією по температурі теплоносія – YP10L03, L05, L14; з налаштуванням датчиків на «холодні» параметри середовища з корекцією по температурі теплоносія – YP10L02, L24.

Вимірювання рівня в КТ, які використовуються для формування АЗ реактора, виконані за триканальною схемою для кожного комплекту АЗ для забезпечення надійності та виключення помилкового спрацьовування аварійного захисту. Зрівняльні ємності розташовані безпосередньо на компенсаторі тиску. Перетворювачі вимірювальні «Сапфір-22М-ДИ» розташовані в приміщеннях обстройки реакторного відділення. Схема підключення перетворювачів рівня компенсатора тиску енергоблоку ЗАЕС приведена на рисунку 2.12.

Вимірювання рівня в ББ важливо з точки зору контролю його роботи в проектному режимі, так як номінальний рівень в ББ є умовою виконання баком своїх проектних функцій. Вимірювання рівня в ББ проводиться двома гідростатичними рівнемірами, пристрій і принцип роботи яких аналогічний рівнемірів компенсатора тиску. База вимірювання від 0 мм до 250 мм.

Зрівняльні ємності встановлені безпосередньо на ББ. Перетворювачі вимірювальні розташовані в приміщеннях обстройки реакторного відділення.

Вимірювання тиску в КТ важливо з точки зору контролю стану насичення в КТ, формування команд управління електромагнітами імпульсних клапанів YP21, 22, 23S03, 04, EMЗК YP21, 22, 23S09. Для вимірювання тиску в КТ застосовуються мембранні електроконтактні реле тиску типу 100P58C6N фірми «Sempell», встановлені на імпульсних лініях первинного вимірювального перетворювача рівня в КТ в приміщенні обстройки реакторного відділення.

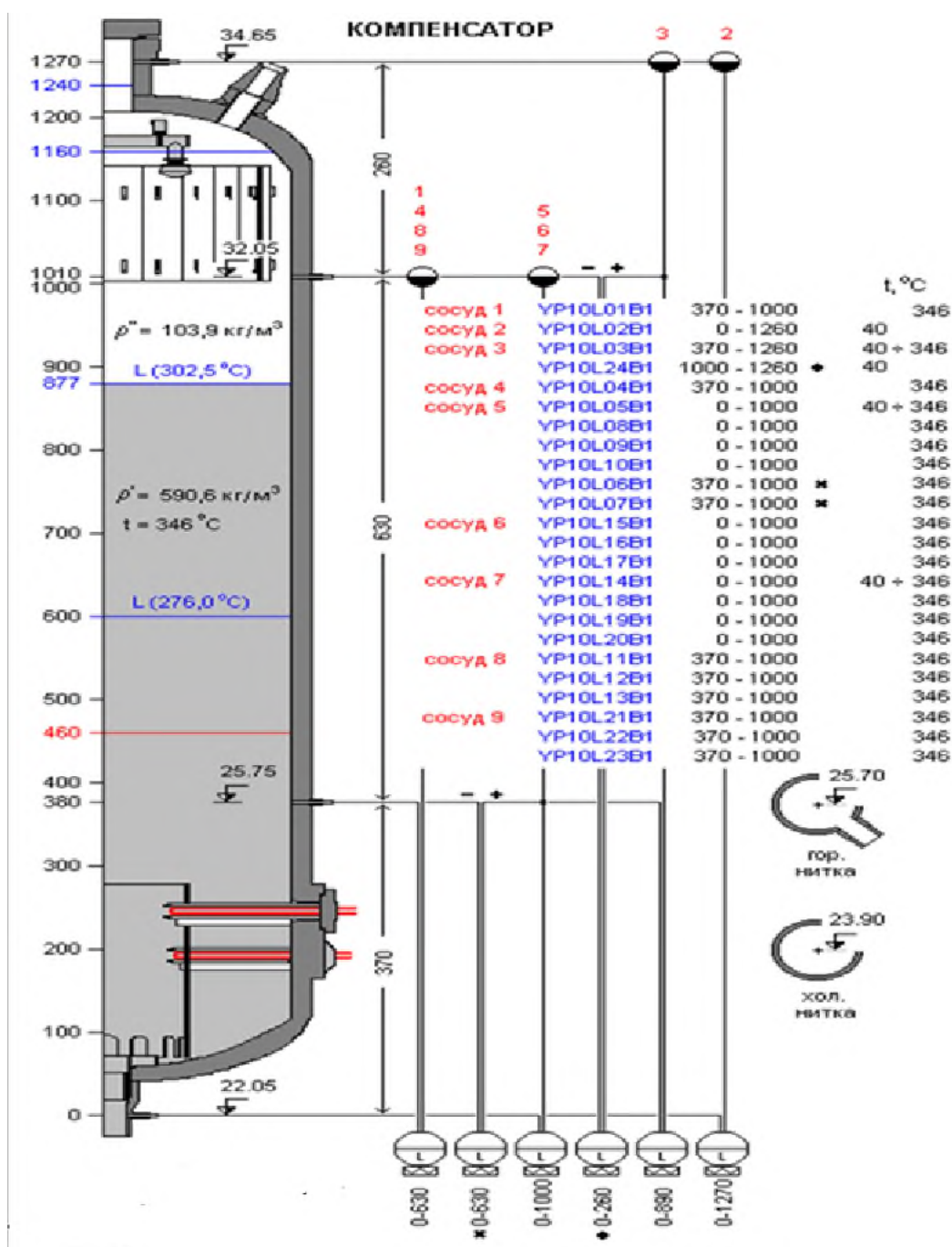


Рисунок 2.12 – Схема підключення перетворювачів рівня компенсатора тиску енергоблоку ЗАЕС

При зміні тиску вище або нижче уставок електричні сигнали від реле тиску надходять в шафи управління розташовані безпосередньо в приміщеннях обстройки реакторного відділення.

Імпульсний трубопровід вимірювання тиску підключений до камери реле тиску, в якій знаходиться робоча мембрана. Під дією тиску мембрана деформується і при певному тиску розмикає сухі контакти в ланцюзі струмоспоживання електромагнітів. При зниженні тиску мембрана приймає вихідну форму і припиняє дію на сухі контакти - ланцюг струмоспоживання електромагнітів відновлюється.

Схема обв'язки реле тиску ІЗП КТ представлена на рисунку 2.13. Крім того, один відбір тиску (YP10P01) використовується для відображення величини тиску в КТ на монітор РМОТ в цифровому вигляді і для формування умов роботи блокувань. Цей відбір працює в комплексі з перетворювачем вимірювальним «Сапфир-22М-ДИ».

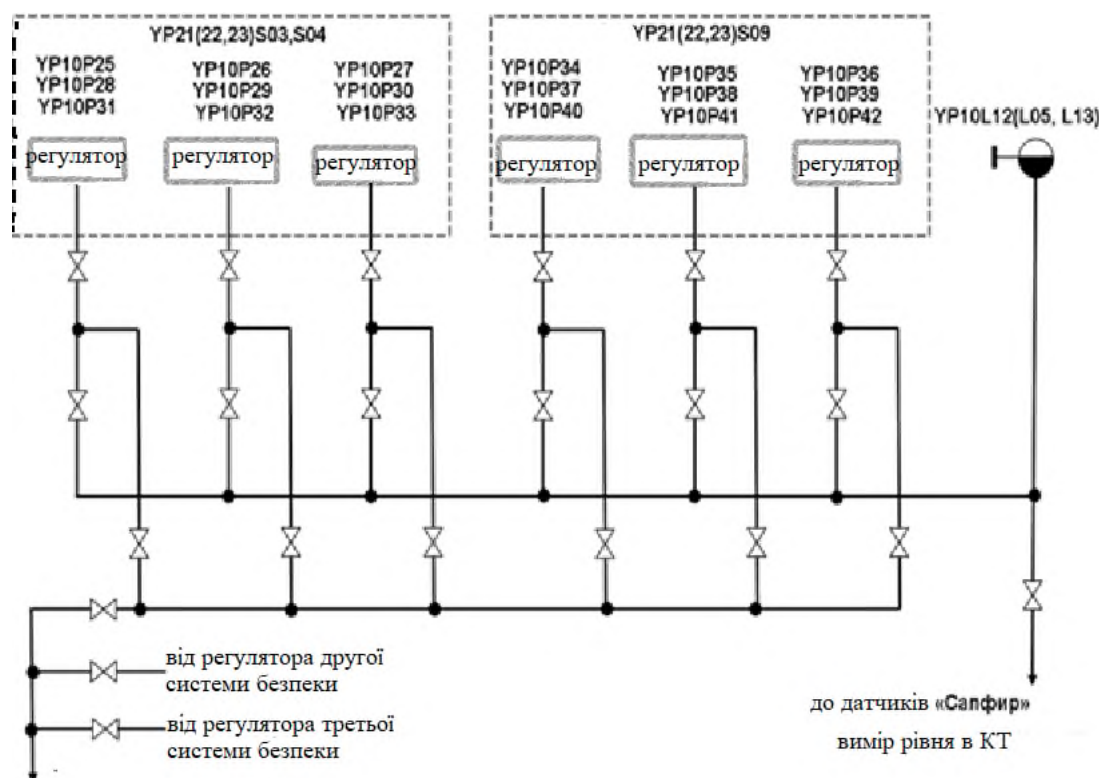


Рисунок 2.13 – Схема обв'язки реле тиску ІЗП КТ

Принцип вимірювання полягає в тому, що вимірюваний параметр подається по імпульсному трубопроводу в камеру вимірювального блоку, впливає на чутливий елемент, деформує його, в результаті чого змінюється

електричний опір чутливого елемента. Ця зміна перетворюється в струмовий вихідний сигнал відповідно до величини параметра.

Всі вимірювання тиску в КТ використовуються для формування умов роботи блокувань і захистів, що впливають на ІЗП КТ, на вузол подачі азоту в КТ, а також для відображення величини тиску на РМОТ і реєстрації.

Вимірювання тиску використовуються для формування умов роботи блокувань, показань на приладах БЩУ і для реєстрації в керуючій обчислювальній системі.

Вимірювання температури в системі використовується для формування команд в схемах блокувань, регуляторів, для відображення та реєстрації параметрів в керуючій обчислювальній системі.

Температурний контроль здійснюється за допомогою термометрів опору.

Вимірювання температури теплоносія і пара в компенсаторі тиску актуально з точки зору контролю стану насичення середовища в ньому.

Вимірювання температури металу корпусу у верхній, центральній і нижній частинах КТ необхідно для контролю його рівномірного розігріву (розхолодження), швидкості розігріву (розхолодження). Проектом обмежується різниця температур між верхньою і нижньою частиною КТ не більше 50 °С і швидкість розігріву не більше 20 °С/год., швидкість розхолодження не більше 30 °С/год. Збільшення тиску в компенсаторі більше 3,4 МПа дозволяється при температурі корпусу КТ не менше 85 °С.

Вимірювання температури теплоносія і металу в дихальному трубопроводі необхідно для контролю його прогріву перед проведенням гідровипробувань першого контуру, а також для контролю циркуляції теплоносія через КТ. Вимірювання температури імпульсних ліній рівнемірив використовується для корекції по температурі в схемах вимірювань рівня.

Вимірювання температури в скидному трубопроводі ІЗП КТ несе інформацію про протічках через елементи ІЗП КТ, щільності системи аварійного парогазовидалення. Крім того, температура в скидному трубопроводі дозволяє побічно судити про цілісність запобіжних мембран ББ.

Зазвичай, при проектній щільності ІЗП КТ, системи аварійного парогазовидалення температура в скидному колекторі відповідає температурі насичення при тиску в ББ.

Вимірювання температури в ББ використовується для контролю його нормальної роботи, величини протікань через ІЗП КТ.

Вимірювання концентрації розчину борної кислоти у водному середовищі КТ актуально в зв'язку з експлуатаційним вимогою підтримки допустимої різниці її концентрацій в головному циркуляційному контурі і КТ.

Вимірювання концентрації борної кислоти в компенсаторі тиску здійснюється за допомогою аналізатора НАР-Б-1Н-ХХ в діапазоні від 0 г/дм³ до 20 г/дм³.

Так як аналізатор працює в умовах інтенсивних промислових перешкод, то для забезпечення завадостійкості до складу датчика введені схеми, в яких проводиться посилення сигналу, що надходить з лічильника нейтронів, амплітудний відбір за допомогою дискримінатора і формування імпульсів.

В датчик також введено високовольтне джерело живлення для живлення лічильників. По довгому кабелю сигнал надходить на вхід пульта вимірювального, в якому за допомогою інтегрального дискримінатора відбувається відділення сигналу від перешкоди. У пульті вимірювальному відбувається перетворення імпульсів які надходять у вихідний аналоговий сигнал від 0 мА до 5 мА, який має лінійну залежність від концентрації борної кислоти.

2.5 Функціональна схема автоматизації в компенсаторі тиску

Функціональна схема автоматизації компенсатора тиску приведена на рисунку 2.14.

Тиск в компенсаторі тиску вимірюється манометром (поз. 1а). Сигнали з вимірювальних перетворювачів надходять на вхід контролера (поз. 2а).

Пускач ТЕНів показаний на поз. 3-1..4, який призначений для підсилення струму. На позиціях 3-7 вказаний виконавчий автомат ИА-4, який призначений для управління трьохфазним асинхронним двигуном. Пускач електромагнітний показаний на позиції 3-5..6. ТЕНи вказані на поз. 4-1..4, електроприводи «Тула-привод» - 4-5, «Siemens» - 4-6. Регулюючі клапани для регулювання витрати вприску в компенсатор вказані на поз. 5-1..3. Розприскувач на функціональній схемі знаходиться на поз. 6а.

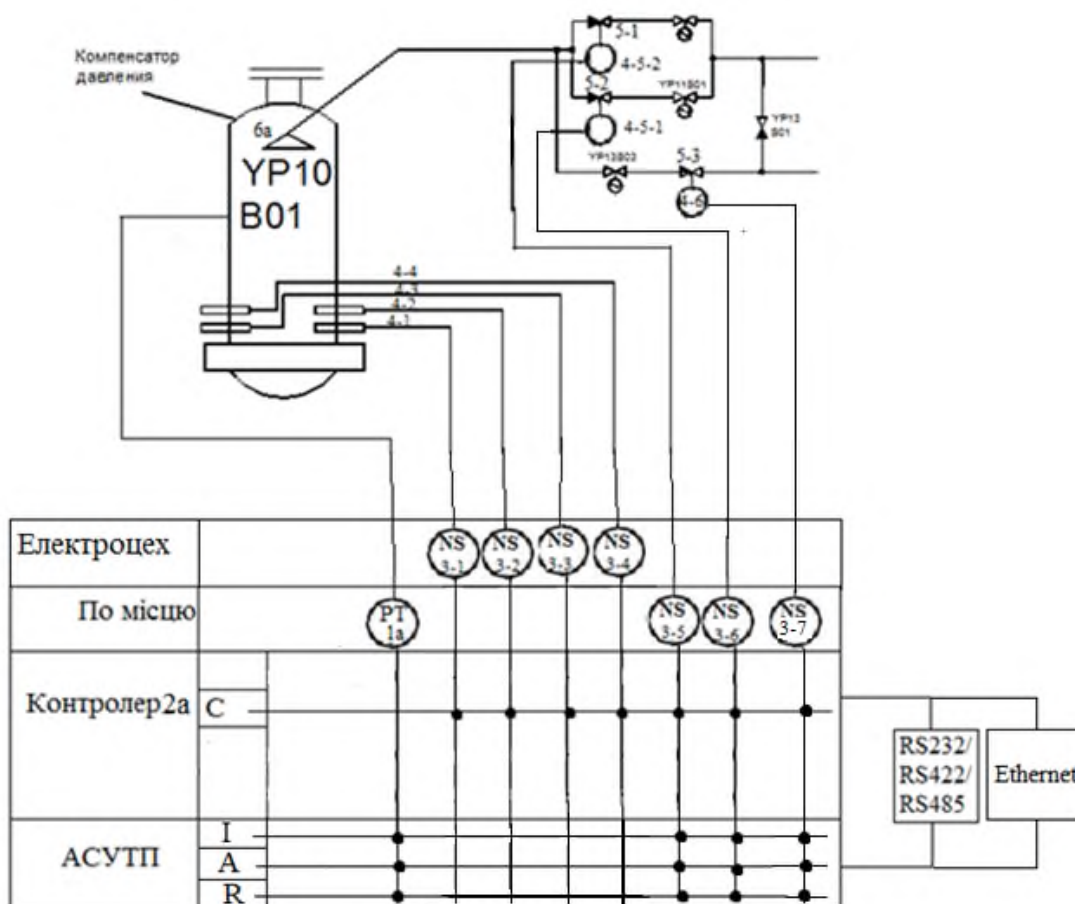


Рисунок 2.14 – Функціональна схема автоматизації компенсатора тиску

Функціональна схема автоматизації регулятора тиску YPC01 приведена на рисунку 2.15.

Функциональная схема регулятора тонкого вприску YPC05 и регулятора розігріву-розхолодження YPC04 приведена на рисунку 2.16.

Функциональная схема штатного (YPC02) та пускового (YPC03) регуляторов рівня теплоносія першого контуру в КТ YP10B01 приведена на рисунку 2.17.

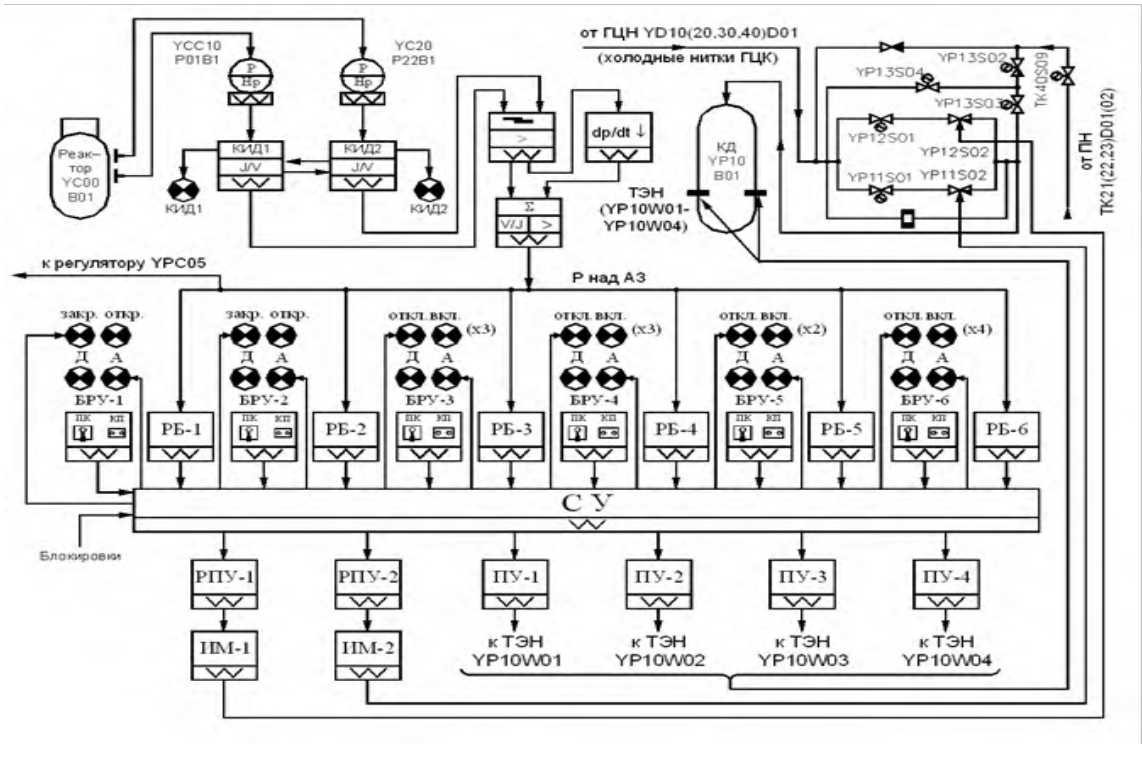


Рисунок 2.15 – Функціональна схема автоматизації регулятора тиску YPC01

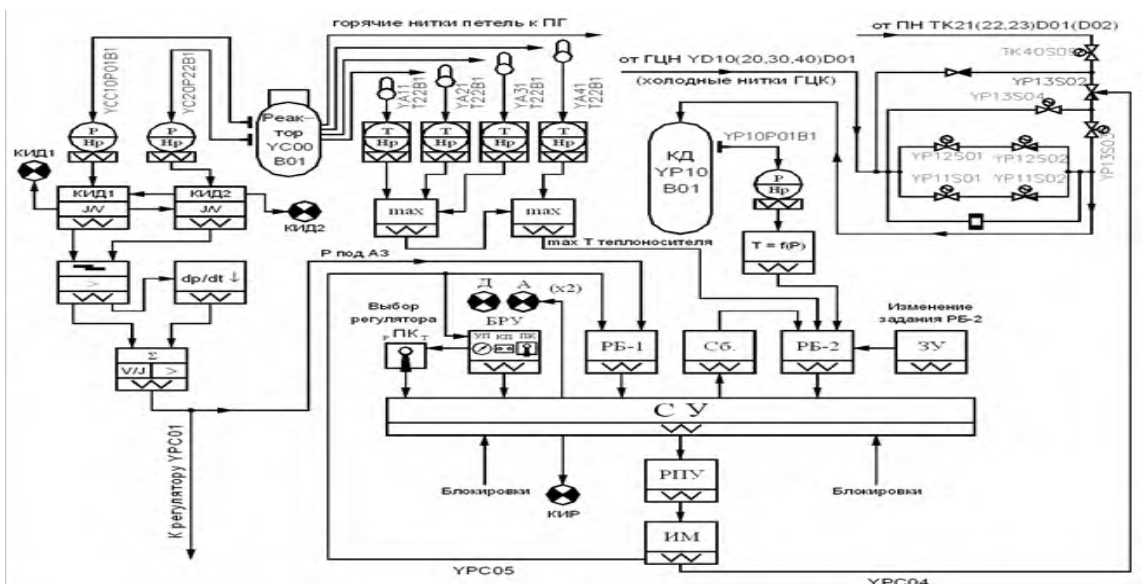


Рисунок 2.16 – Функціональна схема регулятора тонкого вприску YPC05 та регулятора розігріву-розхолодження YPC04

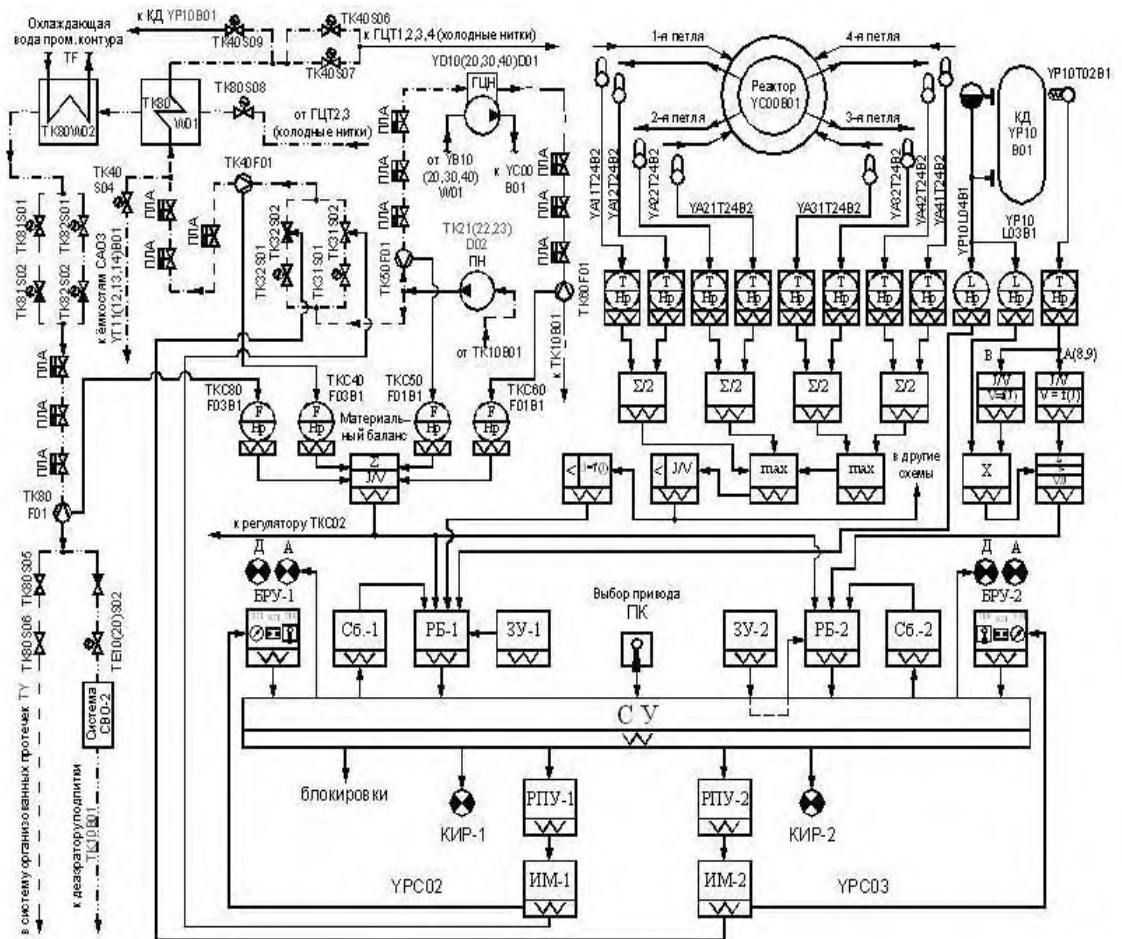


Рисунок 2.17 – Функциональная схема штатного (YPC02) та пускового (YPC03) регуляторів рівня теплоносія першого контуру в КТ YP10B01

З ІСНУЮЧИ АСУ ТП СИСТЕМИ КОМПЕНСАТОРА ТИСКУ НА АЕС УКРАЇНИ

3.1 Система управління ІЗП компенсатора тиску на енергоблоках Рівненської АЕС

На Рівненській АЕС система управління ІЗП КТ створена на базі обладнання ПАТ НВП «Радій» м. Кропивницький Кіровоградської області Україна.

Відповідно до виконуваних функцій до складу системи входять наступні технічні засоби:

- шафи базові УКТЗ-М-Д з блоками уніфікованого комплексу технічних засобів перешкодостійкого виконання з вбудованою функцією діагностики УКТЗ-ДПІ; блоками аналого-дискретних перетворювачів перешкодостійкого виконання з вбудованою функцією діагностики та блоками живлення перешкодостійкого виконання з вбудованою функцією діагностики;

- ПТК на базі пристроїв комплектних низьковольтних для електричних станцій і підстанцій:

а) шафа силового управління імпульсними клапанами ІК1 і ІК2;

б) шафа силового управління вимикаючим клапаном і клапаном електромагнітним запірним.

Інформація з робочої станції по протоколу TCP-IP передається на робоче місце оператора і в інформаційно-обчислювальний центр енергоблоку по мережі Ethernet зі швидкістю 100 Мбіт/с. Реєстрація подій здійснюється з точністю 2 мс.

Комплекс витримує сейсмічні впливи 8 балів, на позначці 25 м система управління ІЗП КТ охоплена системою діагностики виникнення пожежі. Термін служби системи управління ІЗП КТ - 30 років.

3.2 ПТК СНЕ РВ на енергоблоках Хмельницькій АЕС

На Хмельницькій АЕС АСУ ТП системи компенсації тиску реалізовано на базі обладнання програмно-технічного комплексу системи нормальної експлуатації виробництва ПАТ «СНВО «Імпульс» м. Северодонецьк Луганської області Україна.

ПТК СНЕ РВ включає в себе:

– апаратуру введення безперервних і дискретних сигналів, реалізовану на базі серійних технічних засобів автоматизації - комплексів керуючих обчислювальних МСКУ 3.33 відповідно до технічних умов України ТУ У 30.0-31393258-015: 2005 А;

– апаратуру, реалізовану на базі спеціалізованих ТЗА для компонування ПТК СНЕ РВ з доповненнями:

1) шафи дискретних сигналів і шафи кросові призначені для управління виконавчими механізмами;

2) пристрою зв'язку з панеллю оператора і панелі сигналізації технологічних параметрів, призначені для зв'язку з оператором на БЩУ;

3) шафи управління і комутації і шафи комутації, призначені для реалізації алгоритмів керування і внутрішньосистемних зв'язків;

- апаратуру серверів архівування, реалізовану на базі серійного ТЗА - робочої станції ПС 5140, відповідно до ТУ У 30.0-31393258-031;

- робоче місце системи автоматичного регулювання забезпечує виконання функцій операторського інтерфейсу САР на БЩУ;

- сервісне обладнання, що використовується при технічному обслуговуванні ТЗА зі складу ПТК СНЕ РВ.

Структурна схема ТЗА ПТК СНЕ РВ наведена на рисунку 3.1.

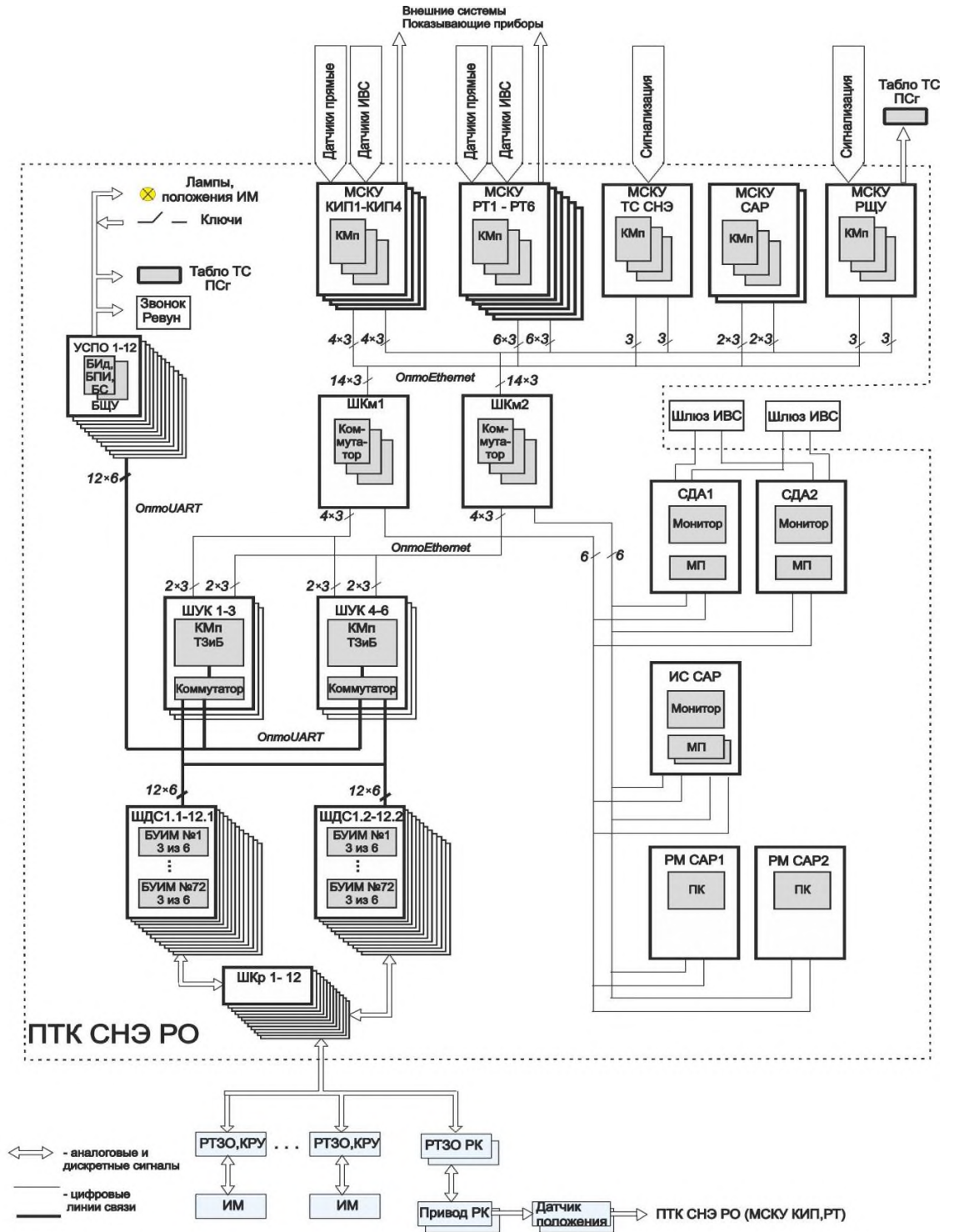


Рисунок 3.1- Структурна схема ТЗА ПТК СНЭ РВ

4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОМПЕНСАТОРОМ ТИСКУ

4.1 Особливості моделювання компенсатора тиску

Особливість моделювання компенсатора тиску полягає в тому, що в різних режимах пар і вода в ньому можуть знаходитися як у врівноваженому, так і в неуврівноваженому стані. В сталому режимі пар і вода знаходяться в рівновазі, тобто температура і тиск у вказаних середовищах однакові і відповідають їх значенням на лінії насичення.

В аварійній ситуації, коли холодний теплоносій надходить в КТ, настає неуврівноважений режим, при цьому за рахунок роботи ТЕН вода поступово нагрівається і досягає температури насичення. При пуску реакторної установки спочатку створюється азотна подушка, яка потім поступово витісняється паром. Таким чином, потрібно розглядати чотири комбінації стану пари і води: перегріта пара – насичена вода, перегріта пара – недогріта вода, ненасичена пара - недогріта вода, ненасичена пара – насичена вода. Всі розрахункові випадки зводяться до визначення температури зміщення води з урахуванням тепла, що підводиться від електронагрівачів при їх включенні, параметрів пари на лінії насичення при зміні обсягу, рівноважних параметрів двофазної суміші при зміні її обсягу, маси і внутрішньої енергії.

При розробці математичної моделі приймаємо наступні допущення:

- тиск в КТ приймаємо рівним сумі парціальних тисків пари та азоту;
- об'єми, на які розбивається КТ, розглядаються як об'єми з зосередженими параметрами;
- тиск у всіх точках КТ однаковий;
- процес розширення пароводяної суміші вважається врівноваженим;
- процес стискання вважається неуврівноваженим;

- стискання пари відбувається по лінії насичення, а температура води в КТ знижується за рахунок перемішування з холодною водою, яка надходить із контура «холодної» нитки;

- конденсація пару, нагрів впрорснути води і випаровування її відбувається миттєво.

4.2 Математична модель компенсатора тиску

Контрольованими параметрами на виході компенсатора є: рівень в КТ, тиск в КТ, температура води і пара в КТ. Для створення математичної моделі, у даному випадку будуть потрібні вирази, які описують процеси і роботу основних блоків.

У наведених нижче виразах прийняті наступні позначення і індекси:

Q - швидкість виділення тепла, кДж/с;

G - витрата, м³/с;

ρ - щільність, кг/м³;

t – час, с;

c - питома теплоємність, кДж/(кг*°C);

i – ентальпія, кДж/кг;

t – температура, °C;

H – рівень, м;

T – постійна часу, с;

M – маса, кг;

S - площа поперечного перерізу, м²;

ξ - коефіцієнт гідравлічного опору;

p – тиск, МПа;

R - газова постійна, кДж/(кг*°C);

G_t - зміна обсягу води за рахунок теплового розширення, м³/с;

V – об'єм, м³;

Індекси: *v* – вода; *a* – азот; *n* – пар; *течь* – протікання з першого контуру; *ки* – конденсація пару або випаровування води; *пк* – запобіжний клапан (в барботажний бак); *впр* – вприск через регулятор; *гс* – газові здувки; *наг* – електронагрівачі; *кт* – компенсатор тиску; *бб* – барботажний бак; *в кт* – вода КТ; *гн*, *хн* – «горяча», «холодна» нитка; *ср* – середня.

Формула збереження маси води для головного циркуляційного контуру має вигляд:

$$\frac{dM}{dt} = \sum G_i \rho_i - G_{\text{течь}} \rho_{\text{течь}} + G_{\text{ки}} \rho_v . \quad (4.1)$$

Формула збереження маси пара для головного циркуляційного контуру має вигляд:

$$\frac{dM_n}{dt} = \frac{d(V_n \rho_n)}{dt} = \rho_n \frac{dV_n}{dt} + V_n \frac{d\rho_n}{dt} . \quad (4.2)$$

Формула збереження маси азоту для головного циркуляційного контуру має вигляд:

$$\frac{dM}{dt} = \sum G_i \rho_i - G_{\text{течь}} \rho_{\text{течь}} - G_{\text{пк}} \rho_a . \quad (4.3)$$

Маса і об'єм теплоносія всього головного циркуляційного контуру:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{dM_n}{dt} + \frac{dM_B}{dt} , \quad (4.4)$$

$$V_n = -V_B . \quad (4.5)$$

Підставляючи (4.1) і (4.2) в формулу (4.4), з урахуванням (4.3) і (4.5) отримаємо:

$$\begin{aligned} & \sum G_i \rho_i - G_{\text{течь}} \rho_{\text{течь}} + G_{\text{ПК}} \rho_{\text{В}} = \\ & = \sum G_i \rho_i - G_{\text{течь}} \rho_{\text{течь}} + G_{\text{КИ}} \rho_{\text{В}} - \rho_n \frac{dV_n}{dt} + (V - V_{\text{В}}) \frac{d\rho_n}{dt}. \end{aligned} \quad (4.6)$$

З формули (4.6) знаходимо зміну обсягу пару:

$$\rho_{\text{П}} \frac{dV_n}{dt} = G_{\text{нк}} \rho_a + G_{\text{КИ}} \rho_{\text{В}} + (V - V_{\text{В}}) \frac{d\rho_n}{dt}. \quad (4.7)$$

Зміна обсягу води в головному циркуляційному контурі визначається з рівняння матеріального балансу:

$$\frac{dV_{\text{В}}}{dt} = \sum G_i - G_{\text{течь}} + G_{\text{КИ}} + G_t. \quad (4.8)$$

Визначимо величини, що входять в рівняння (4.8). Об'ємна витрата води, яка випаровується або конденсованого пара:

$$G_{\text{КИ}} = \frac{1}{(\rho_n - \rho_{\text{В}})} \left[(V - V_{\text{В}}) \frac{d\rho_n}{dt} - \rho_n (\sum G_i - G_{\text{течь}} + G_{\text{нк}}) \right]. \quad (4.9)$$

Вираз теплового балансу для компенсатора тиску:

$$\begin{aligned} (V_{\text{В}} \cdot C_{\text{В}} \cdot \rho_{\text{В}} + V_n \cdot C_n \cdot \rho_n) \cdot \frac{dT_{\text{КТ}}}{dt} = & Q_{\text{наг}} + G_{\text{впр}} \cdot \rho_{\text{ХН}} \cdot T_{\text{ХН}} + \\ & + G_t \cdot \rho_{\text{В}} \cdot C_{\text{В}} \cdot (t_{\text{КТ}} - t_{\text{ГН}}). \end{aligned} \quad (4.10)$$

Повний тиск в конденсаторі визначається тиском пару:

$$P_{\text{КТ}} = P_n. \quad (4.11)$$

Врівноваженість або нерівноваженість протікання процесу визначається знаком витрати теплоносія G_t . Процес врівноважений, якщо теплоносій виливається з КТ, тобто $G_t < 0$. Процес нерівноважений, якщо теплоносій надходить в КТ, тобто $G_t > 0$.

Витрата теплоносія, що надходить з першого контуру в КТ, або виливається з КТ має вираз:

$$G_t = k \cdot (V_B - V_{\text{ВКТ}}) \cdot \frac{dt_{\text{CP}}}{dt} + k \cdot V_{\text{ВКТ}} \cdot \frac{dt_{\text{КТ}}}{dt}, \quad (4.12)$$

де k – коефіцієнт розширення води по температурі.

Зміна щільності пара пов'язано зі зміною температури КТ:

- при врівноваженому процесі:

$$\frac{d\rho_n}{dt} = \frac{d\rho_n}{dt_{\text{КТ}}} \cdot \frac{dt_{\text{КТ}}}{dt}; \quad (4.13)$$

- при нерівноваженому процесі:

$$\frac{d\rho_n}{dt} = \frac{\rho_n}{(V - V_B)} \cdot \frac{dV_B}{dt}. \quad (4.14)$$

Тиск пара і азоту приймається змінюючим по адіабаті, МПа:

$$\frac{p_n}{V_{\text{П}}} = \left(\frac{p^{\text{HAC}}}{V^{\text{HAC}}} \right), \quad (4.15)$$

де $x = 1,27$.

Температура пару визначається за формулою Клайперона - Клаузіуса:

$$\frac{p_B}{p_{\text{П}}} = R(t_{\text{КТ}} + 273). \quad (4.16)$$

Рівень води в КТ визначається рівнянням:

$$\frac{dH_{КТ}}{dt} = \frac{1}{S_{КТ}} \cdot \frac{dV_B}{dt}. \quad (4.17)$$

Об'ємна витрата пара через запобіжний клапан:

$$G_{нк} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \sqrt{P_{КТ} - P_{ББ}}, \quad (4.18)$$

де D - внутрішній діаметр КТ, м.

Щільність води залежить від тиску і температури КТ:

$$q_B = f(P_{КТ}, T_{КТ}). \quad (4.19)$$

Структурна схема математичної моделі КТ зображена на рисунку 4.1. Цифри в структурних елементах означають номери розрахункових формул.

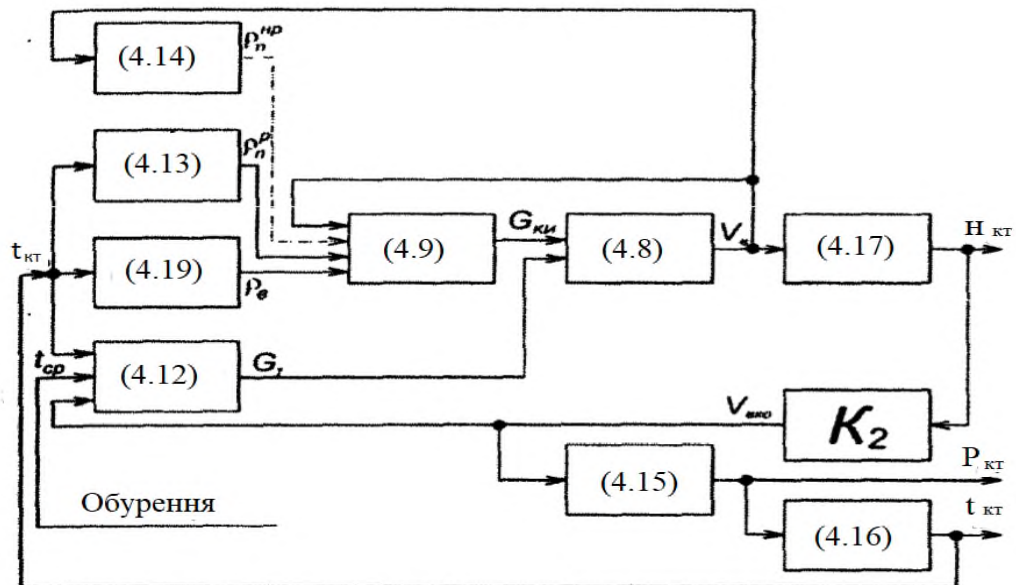


Рисунок 4.1 – Структурна схема математичної моделі компенсатора тиску

4.3 Параметрична схема компенсатора тиску

В математичному описі КТ по тиску і рівню води, який наведено в п. 4.1 єдиним вхідним впливом є середня температура теплоносія першого контуру. Проте в реальній енергетичній установці збурюючими впливами на тиск є зміна реактивності реактора і витрата пари на турбину. Аналітичне виведення рівнянь динаміки по вказаним каналам досить громіздке, тому скористуємося експериментальними кривими розгону КТ для енергоблоку з ВВЕР-1000. Динамічні властивості КТ при збуренні реактивністю чи витратою пари є нелінійними.

Такі нелінійні властивості при структурному моделюванні за допомогою типових ланок можна приблизно описати за допомогою інерційних ланок першого порядку і ланки чистого запізнення, як показано на рисунку 4.2.

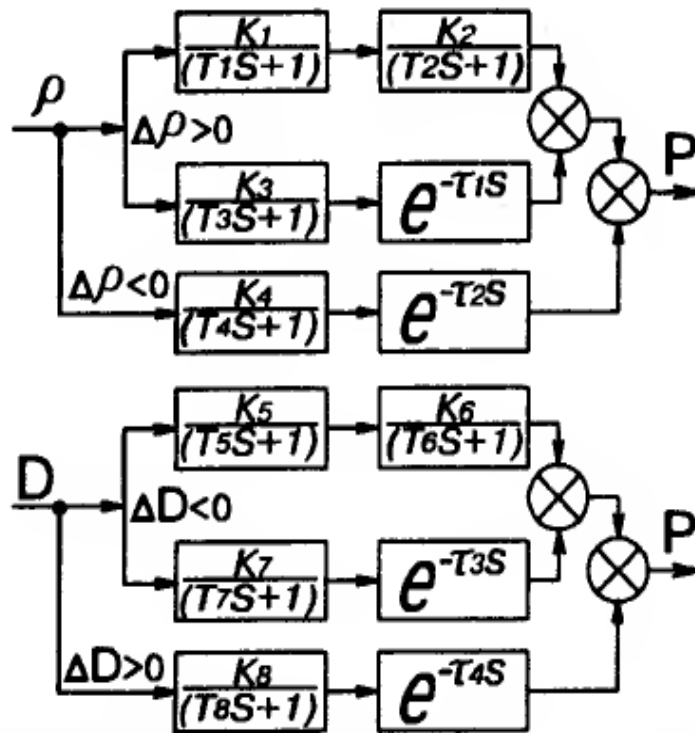


Рисунок 4.2 – Структурна схема моделі компенсатора тиску по каналах реактивності і витратою пари

В першому приближенні можна скористатися наступними значеннями коефіцієнтів передатних функцій:

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 3 \cdot 10^4; & \kappa_2 &= 1; & \kappa_3 &= -1,52 \cdot 10^4; & \kappa_4 &= 10^6; \\ \kappa_5 &= -1,97 \cdot 10^4; & \kappa_6 &= 1; & \kappa_7 &= 12 \cdot 10^{-3}; & \kappa_8 &= -6 \cdot 10^{-3}; \\ \tau_1 &= 84 \text{ с}; & \tau_2 &= 6 \text{ с}; & \tau_3 &= 106 \text{ с}; & \tau_4 &= 7 \text{ с}; \\ T_1 &= 50 \text{ с}; & T_2 &= 8 \text{ с}; & T_3 &= 50 \text{ с}; & T_4 &= 22 \text{ с}; \\ T_5 &= 22 \text{ с}; & T_6 &= 14 \text{ с}; & T_7 &= 48 \text{ с}; & T_8 &= 20 \text{ с}. \end{aligned}$$

В приведених коефіцієнтах передачі тиск виражено в МПа, реактивність в відносних одиницях, витрата пару в кг/с. Використання даної математичної експериментальної моделі дозволило отримати криві розгону по каналу розгону тиску при зміні реактивності.

В стаціонарному стані потужність ТЕНів компенсує втрати теплоти в навколишнє середовище. При пониженні температури теплоносія, частина цього теплоносія переходить в перший контур. Пар в компенсаторі тиску розширюється і тиск його падає. Для його відновлення необхідно збільшити потужність ТЕНів. При збільшенні потужності реактора процеси відбуваються в зворотному напрямленні. При великих і швидких підвищеннях тиску використовується вприск води із «холодної» нитки циркуляційного контуру. Якщо після відкриття клапанів вприску тиск в компенсаторі продовжує рости, то пар скидається в ББ. Якщо це не допомагає, тоді в атмосферу. Таким чином, одною із регулюючих величин є тиск теплоносія.

Параметрична схема компенсатора тиску представлена на рисунку 4.3, де показані основні збурення, які приводять до зміни тиску:

- зміна завантаження енергоблоку;
- відключення ТПН;
- відключення ГЦН.

Регулюючі впливи:

- робота ТЕНів $W_{\text{Вкл}} \text{ТЕН}(s) = \frac{10^5}{150s+1}$; (див. табл. 2.3)
- робота вприску $W_{\text{ГВП}}(s) = \frac{8 \cdot 10^5}{4s+1}$. (див. рис. 4.7)

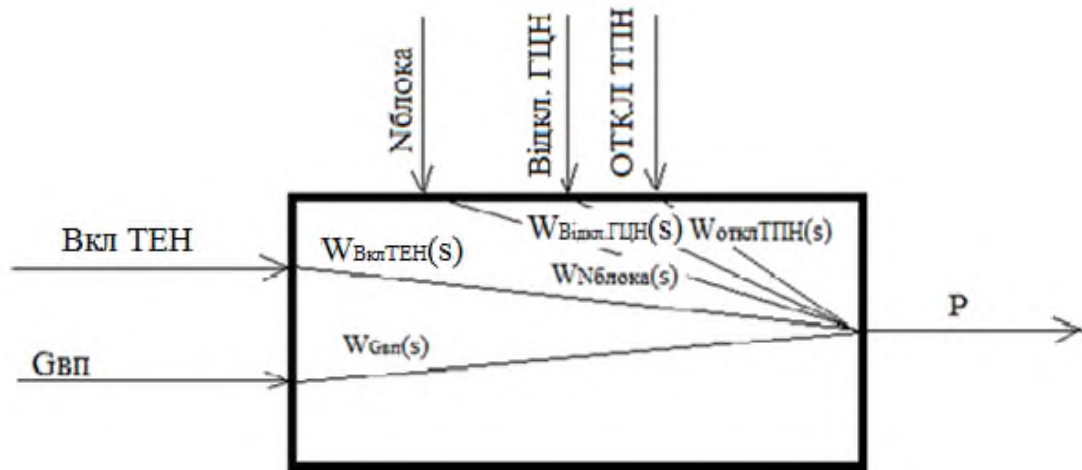


Рисунок 4.3 - Параметрична схема компенсатора тиску

4.4 Моделювання компенсатора тиску в Simulink

На підставі параметричної схеми компенсатора тиску у подальших дослідженнях створено математичну модель. Комп'ютерне моделювання системи компенсації тиску проводилося за допомогою програмного забезпечення Matlab Simulink. Імітаційна модель в Simulink компенсатора тиску зображена на рисунку 4.4.

Моделювання регуляторів дискретної дії засновано на алгоритмах регуляторів реальної системи компенсації тиску. Управління групами ТЕН на АЕС виконується по алгоритму, зображеному на рисунку 4.5, управління клапанами YP11S02, YP12S02 виконується по алгоритму, зображеному на рисунку 4.6. «Тонкий» вприск керується регулятором пропорційної дії.

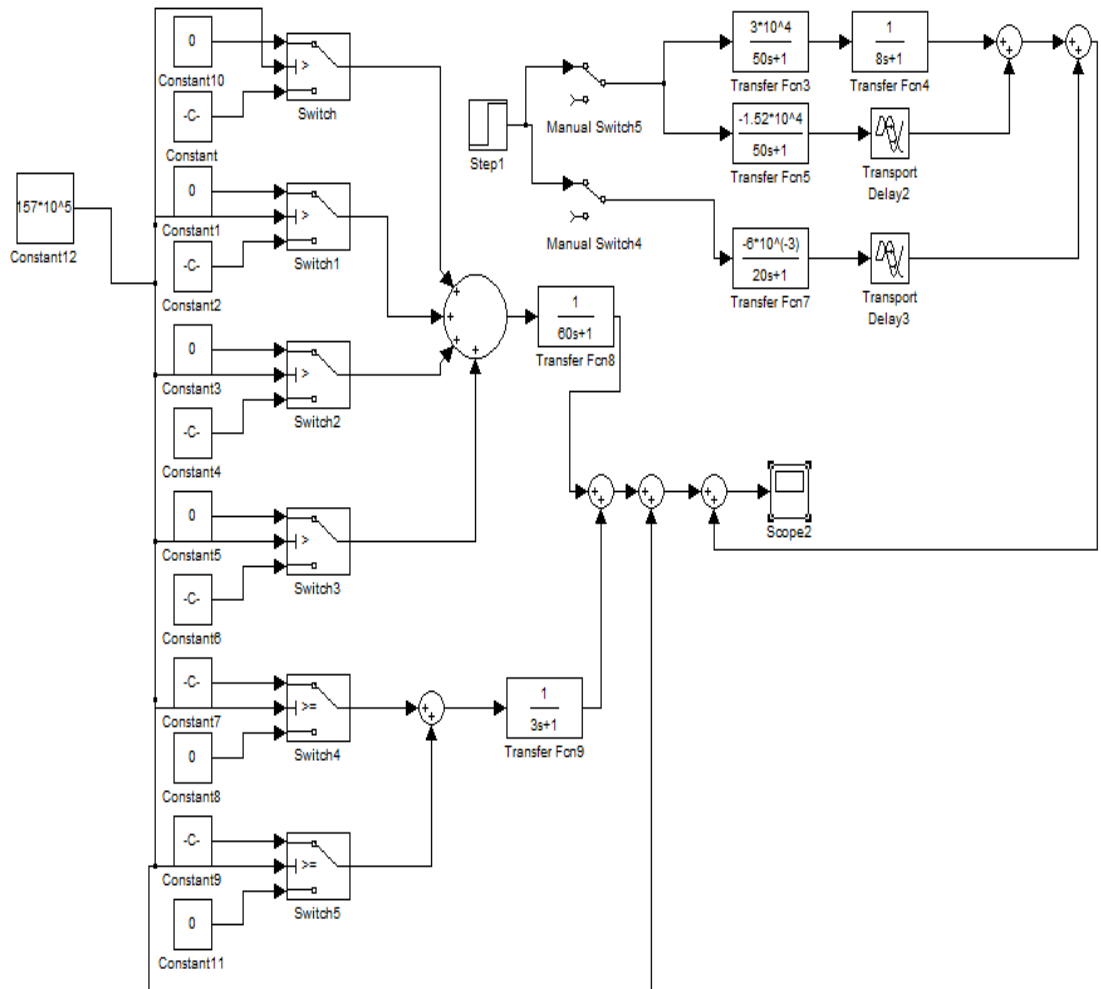


Рисунок 4.4 - Імітаційна модель компенсатора тиску

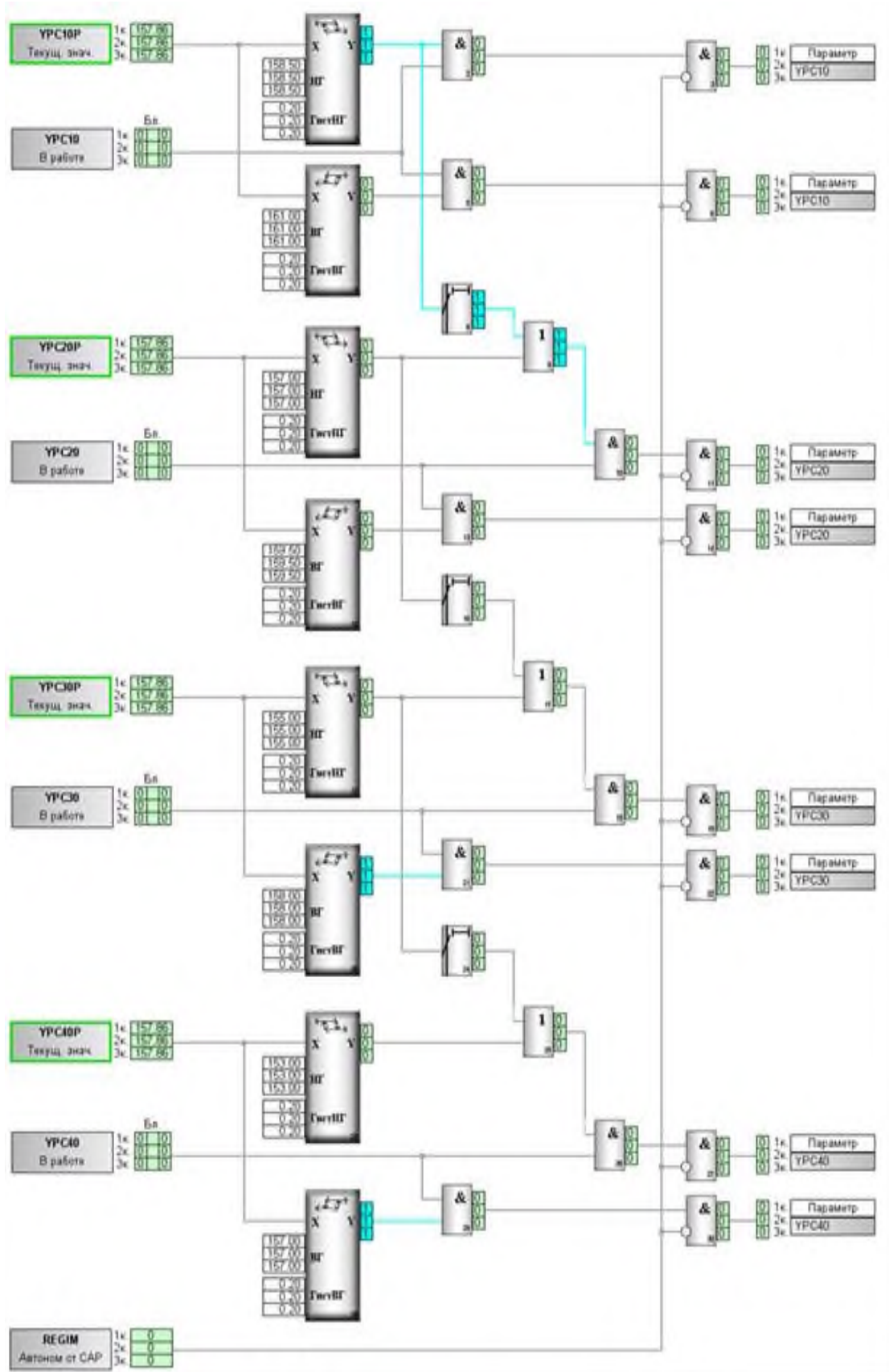


Рисунок 4.5 – Алгоритм управління групами ТЕН

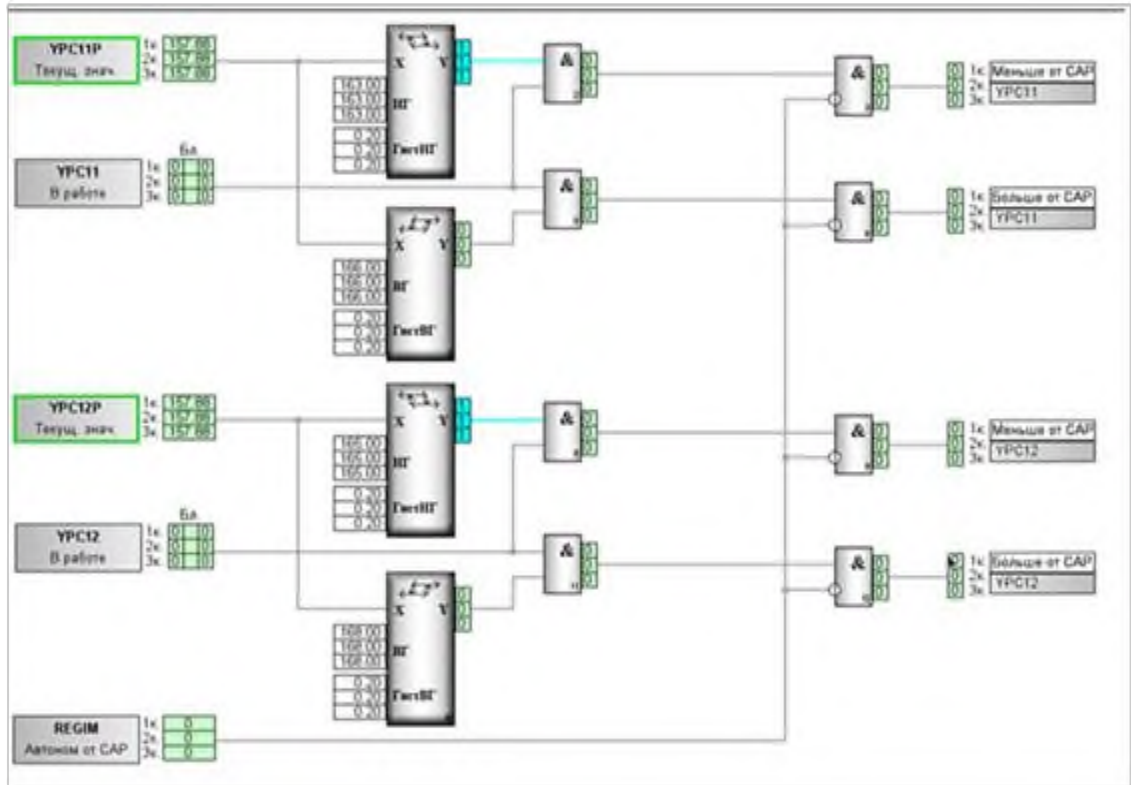


Рисунок 4.6 – Управління клапанами YP11S02, YP12S02

В результаті обробки та аналізу даних отримано перехідні характеристики компенсації тиску в першому контурі АЕС, які наведено нижче у вигляді графіків.

Перехідний процес регулювання в компенсаторі тиску при роботі вприску при відхиленні тиску 0,8 МПа зображений на рисунку 4.7.

Перехідний процес регулювання в компенсаторі тиску при роботі вприску при відхиленні тиску 0,4 МПа зображений на рисунку 4.8.

ППР в компенсаторі тиску при роботі чотирьох груп ТЕНів при відхиленні тиску 0,7 МПа зображений на рисунку 4.9.

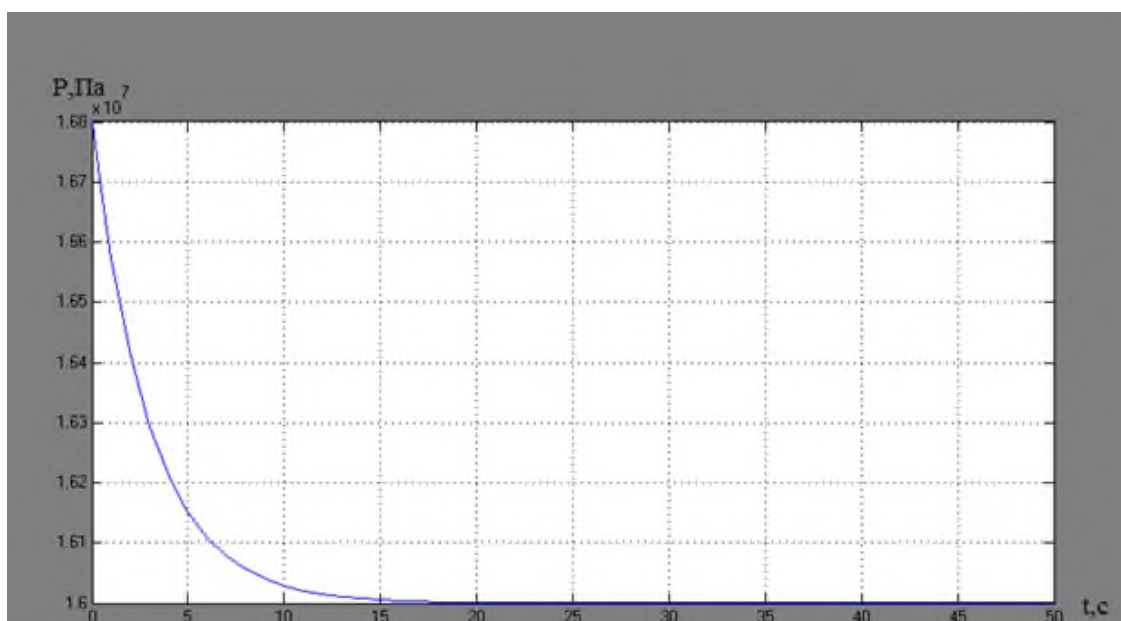


Рисунок 4.7 - ППР в компенсаторі тиску при роботі впрыску при відхиленні тиску 0,8 МПа

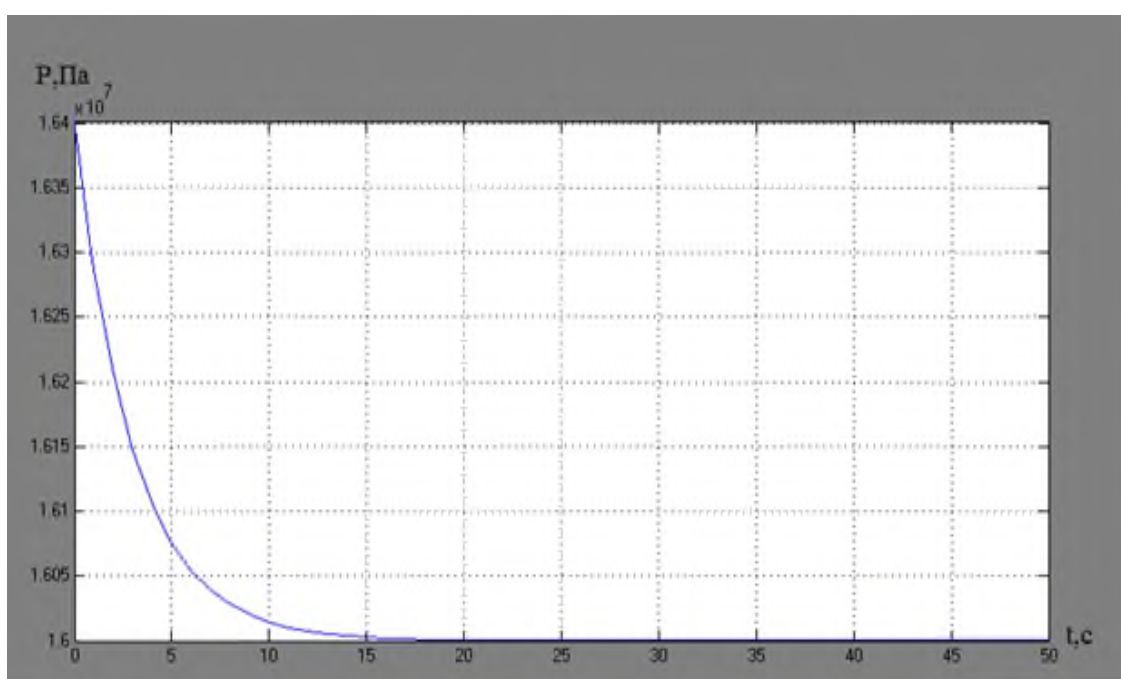


Рисунок 4. 8 - ППР в компенсаторі тиску при роботі впрыску при відхиленні тиску 0,4 МПа

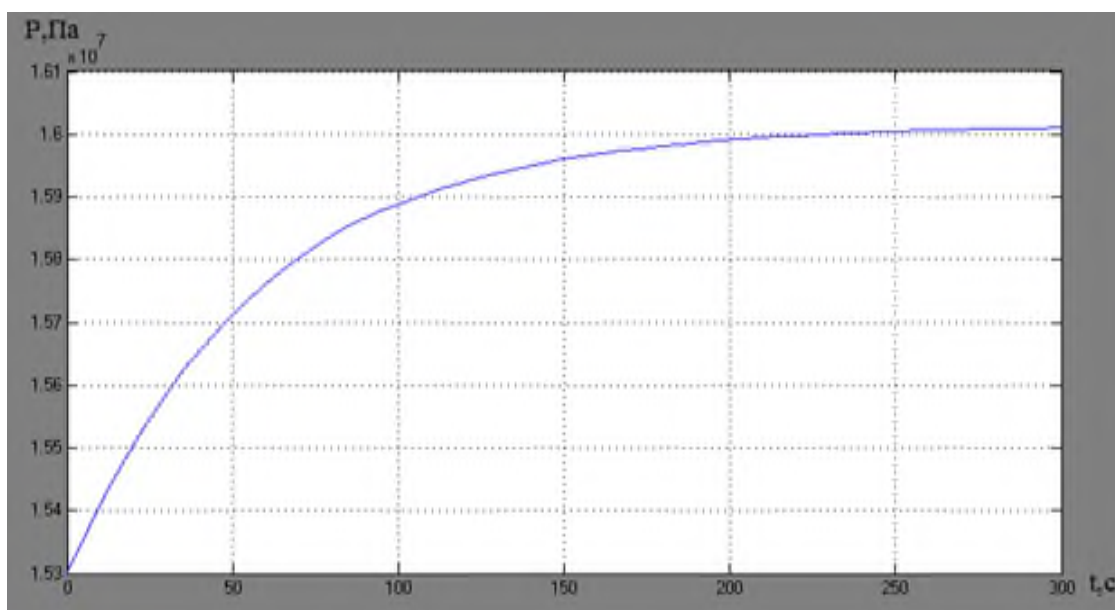


Рисунок 4.9 - ППР в компенсаторі тиску при роботі чотирьох груп ТЕНів при відхиленні тиску 0,7 МПа

ППР в компенсаторі тиску при роботі трьох груп ТЕНів при відхиленні тиску 0,5 МПа зображений на рисунку 4.10.

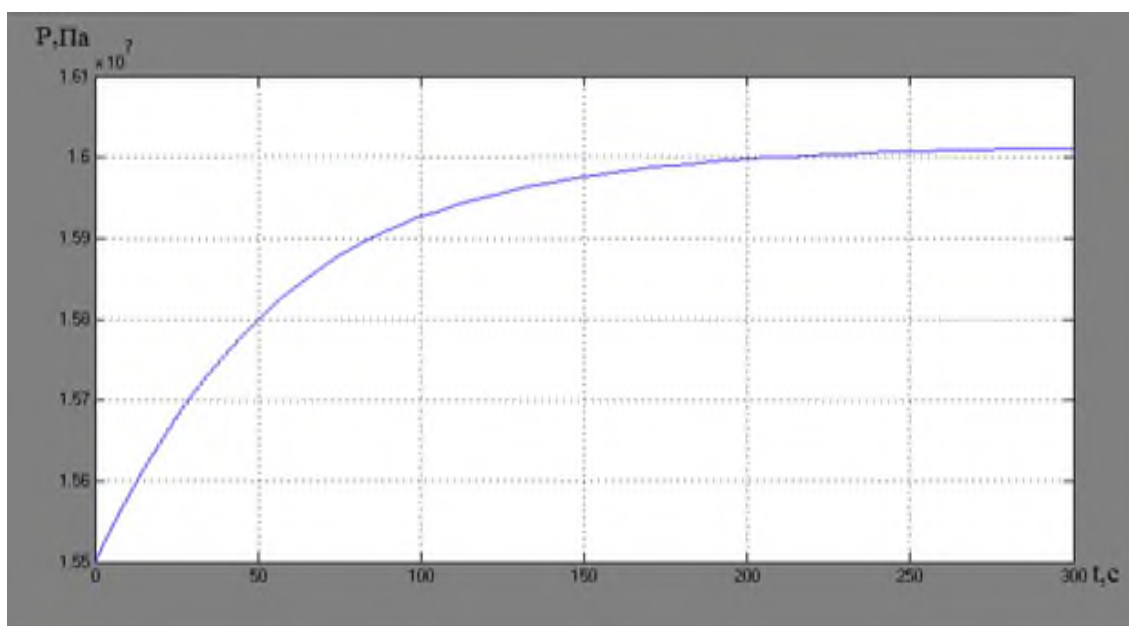


Рисунок 4.10 - ППР в компенсаторі тиску при роботі трьох груп ТЕНів при відхиленні тиску 0,5 МПа

ППР в компенсаторі тиску при роботі двох груп ТЕНів при відхиленні тиску 0,3 МПа зображений на рисунку 4.11.

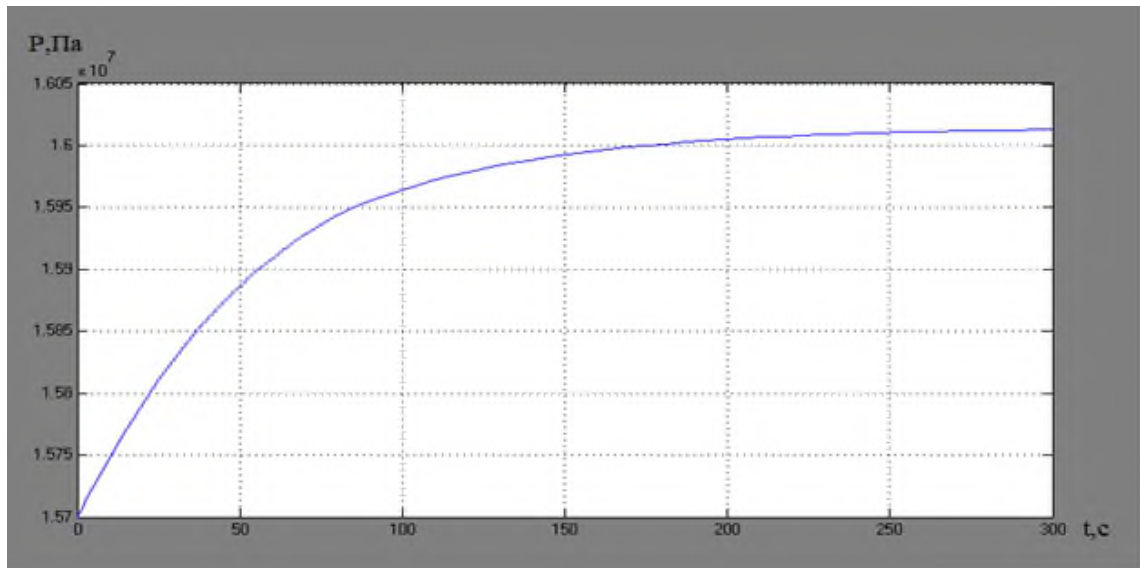


Рисунок 4.11 - ППР в компенсаторі тиску при роботі двох груп ТЕНів при відхиленні тиску 0,3 МПа

ППР в компенсаторі тиску при роботі однієї групи ТЕНів при відхиленні тиску 0,15 МПа зображений на рисунку 4.12.

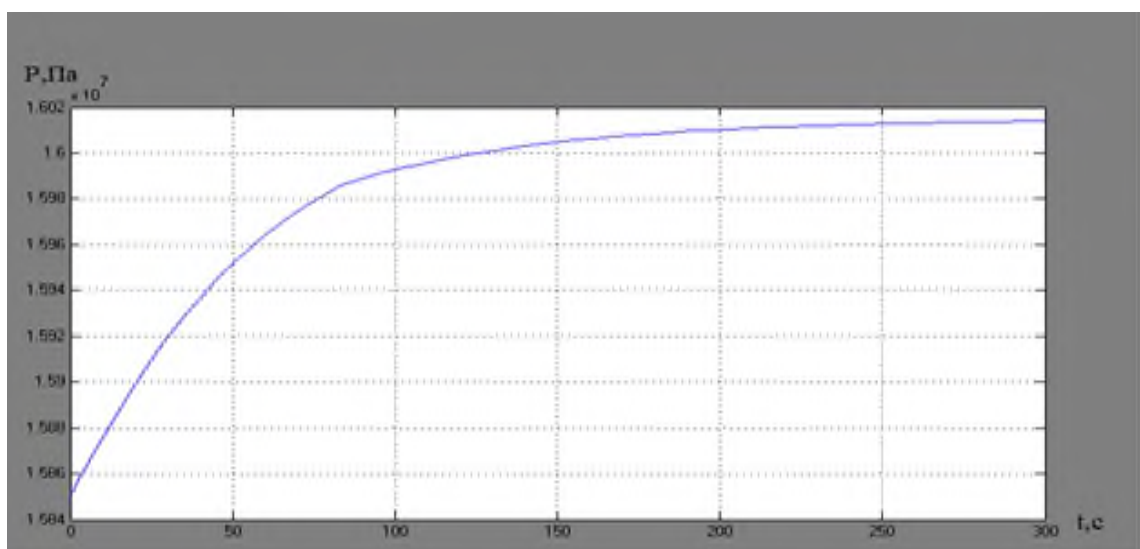


Рисунок 4.12 - ППР в компенсаторі тиску при роботі однієї групи ТЕНів при відхиленні тиску 0,15 МПа

На рисунку 4.7 зображений перехідний процес регулювання при роботі вприску при відхиленні тиску від номінального на 0,8 МПа. ППР закінчується через 17,5 с. На рисунку 4.8 зображений ППР при роботі вприску при відхиленні тиску на 0,4 МПа. Характер кривої аперіодичний.

Регулятори підтримують значення тиску в діапазонах:

- від 16 МПа до 16,4 МПа зміною витрати уприскування теплоносія з напірного колектора підживлюючих насосів в компенсатор тиску через клапан YP13S02;

- від 16,4 МПа до 16,8 МПа зміною витрати уприскування теплоносія з напірного колектора головного циркуляційного насоса в компенсатор тиску через засувки YP11S02 і YP12S02.

На рисунках 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 зображені ППР при роботі чотирьох, трьох, двох і однієї групи ТЕН відповідно. Процес закінчується через 275 с. Модель адекватна і може бути застосована для налаштування АСР тиску у КТ.

5 ПРОЕКТУВАННЯ АСУ ТП ЗА ДОПОМОГОЮ SCADA-СИСТЕМИ

5.1 Критерії проектування системи компенсації тиску

Проектування системи компенсації тиску першого контуру і вибір параметрів обладнання, що входить до неї, проведені на основі аналізу проектних режимів роботи РУ. В результаті технічного обґрунтування безпеки, виявлені визначені режими з точки зору працездатності системи.

В якості визначального режиму з максимальним позитивним об'ємним обуренням був прийнятий режим скидання навантаження РУ енергоблоку зі швидкістю 200 % $N_{\text{ном}}$ в секунду з номінального рівня потужності до рівня власних потреб.

Визначальним режимом з максимальним негативним об'ємним обуренням був прийнятий режим помилкового спрацьовування аварійного захисту реактора і режим розриву паропроводу.

Розміри КТ обрані таким чином, щоб не допустити в режимах нормальної експлуатації порушення умов нормальної експлуатації:

- кипіння теплоносія в жодній точці першого контуру (за винятком незначного місцевого кипіння в активній зоні);
- спрацьовування ІЗП;
- оголення ТЕН компенсатору тиску;
- спрацьовування аварійного вприскування від системи підживлення-продувки першого контуру;
- формування сигналу на введення в роботу системи аварійного охолодження активної зони.

В якості таких режимів розглядалися:

- планові зміни потужності в межах від навантаження власних потреб до повної потужності і від повної потужності до навантаження власних потреб;
- швидке (аварійне) відключення реактора;

- скидання навантаження турбіни до рівня власних потреб без швидкого (аварійного) відключення реактора;

- відключення одного або двох ГЦН без швидкого (аварійного) відключення реактора.

Система компенсації тиску зберігає працездатність при всіх проектних порушеннях умов нормальної експлуатації та аварійних проектних ситуаціях, за винятком некомпенсованих течій першого контуру, течі з першого контуру в другий і помилкового вприскування в КТ від системи підживлення-продувки при температурі води від 60 °С до 70 °С. Співвідношення водяного (55 м³) і парового (24 м³) обсягів КТ вибрано з умови, що ні в одному з проектних режимів, за винятком режимів аварійного розущільнення першого і другого контурів, не відбувається закидання пара в перший контур з КТ і оголення ТЕН КТ. Потужність електронагрівачів обрана з розрахунку забезпечення проектної швидкості розігріву КТ в період пуску РУ і підтримки тиску під час роботи на потужності.

Трубопровід вприскування в КТ спроектований так, щоб уникнути неприпустимих теплових ударів під час включення вприскування. ББ спроектований для забезпечення прийому пара з КТ без розриву запобіжних мембран в режимах нормальної експлуатації і в режимах з порушенням умов нормальної експлуатації реакторної установки.

До таких режимів відносяться:

- здування парогазової суміші з КТ в ББ в режимі розігріву першого контуру з витратою до 60 м³/год на час до 2-х годин;

- протікання через ІЗП КТ витратою до 250 кг/год;

- випробування ІЗП КТ відкриттям на від 2 сек. до 3 сек. за допомогою дистанційного управління електромагнітом ЕМЗК з витратою парогазової суміші до 50 кг/с².

Сумарна пропускна здатність патрубків під установку запобіжних мембран ББ обрана з умови забезпечення витрати не менше ніж через всі запобіжні клапани КТ. Система охолодження ББ спроектована так, щоб він

охолоджувався до нормальної робочої температури стаціонарного стану протягом двох годин після закінчення перехідного процесу.

В основу проекту системи захисту першого контуру від перевищення тиску покладено такі критерії і принципи: тиск в першому контурі ні за яких обставин не повинно перевищувати робочий більш як на 15 % навіть в тому випадку, якщо відбулася відмова одного ІЗП.

Проектним конструкторським критерієм працездатності системи захисту першого контуру від перевищення тиску є забезпечення неперевищення розрахунків тиску 17,6 МПа на величину більше 10 %, тобто понад $19,4 \text{ кгс/см}^2$. В якості режиму, що визначає кількість, пропускну здатність і уставки спрацьовування ІЗП КТ, прийнятий режим миттєвого скидання навантаження турбогенератором від номінального рівня потужності реактора до рівня власних потреб без його прямого останову і відмови системи скидання пари, без спрацьовування уприскування теплоносія в КТ і без спрацьовування аварійного захисту по перевищенню тиску.

Початковий рівень потужності РУ, параметри теплоносія першого і другого контурів консервативно прийняті за максимальним значенням з урахуванням відхилень, обумовлених роботою контрольно-вимірювальних приладів і систем автоматичного регулювання та складають:

- потужність реактора – 107 % $N_{\text{ном}}$;
- номінальний тиск ТПК стаціонарного режиму - $(15,7 \pm 0,3)$ МПа;
- розрахунковий тиск – 17,6 МПа.

Проведені розрахункові аналізи при зазначеному стані установки дають можливість консервативно оцінити підвищення тиску в першому контурі в порівнянні з випадками протікання режимів при більш низьких параметрах першого контуру і при розгляді режимів відповідно до принципу одиничної відмови.

Виходячи з результатів розрахункових аналізів сценаріїв для дослідження функції ІЗП КТ «Захист першого контуру від перевищення тиску» для енергоблоків з реакторами ВВЕР-1000, захист першого контуру

від перевищення тиску понад 15 % від розрахункового тиску у всіх прийнятих в проекті порушеннях умови нормальної експлуатації та аваріях забезпечується спрацьовуванням двох ІЗП при номінальній пропускній здатності кожного ІЗП 50 кг/с^2 (180 т/год) насиченої пари. Третє ІЗП є резервним.

Критеріями виконання покладеного на систему функції служать:

- спрацьовування (відкриття) ІЗП при підвищенні тиску в КТ до значення тиску відкриття, на яке налаштоване ІЗП;
- закриття ІЗП після спрацьовування при зниженні тиску в КТ до значення тиску закриття, на яке налаштоване ІЗП;
- забезпечення герметичності в затворі ІЗП в закритому положенні при тиску в КТ, меншому тиску відкриття ІЗП.

В основу проекту вузла ІЗП КТ покладено принцип забезпечення виконання ними своїх функцій при будь-якій вихідній події, що вимагає їх спрацьовування, з накладенням одного незалежного від вихідної події відмови будь-якого елемента системи або однієї помилки персоналу з управління ІЗП.

SCADA-система Trace Mode розроблена і продовжує удосконалюватися фірмою-виробником AdAstra Research Group, Ltd. SCADA-система Trace Mode містить засоби розробки операторського інтерфейсу (SCADA / HMI), програмування контролерів (Softlogic), управління основними фондами (EAM), персоналом (HRM) і виробничими процесами (MES).

Всі програми, що входять в Trace Mode, підрозділяються на дві групи: інструментальну систему розробки і виконавчі модулі.

Інструментальною системою розробки є інтегроване середовище розробки - це єдина програмна оболонка, яка містить всі необхідні засоби для розробки проекту. Всі змінні проекту, до чого б вони не ставилися - до контролера, до операторської станції, до управління технічним обслуговуванням або виробництвом зберігаються в єдиній базі даних

проекту. Єдина база проекту усуває зайву роботу проектувальника по створенню, підтримці і взаємної ув'язці багато в чому однакових баз змінних контролерів і ПК, характерну для систем попереднього покоління. Логічна структура проекту повністю відокремлена від апаратної частини. Завдяки єдиному простору розподілених змінних, змінні в різних вузлах можуть зв'язуватися між собою також легко, як і в межах одного вузла, будь-які зміни, що вносяться до об'єкту, автоматично застосовуються скрізь, де він був задіяний. Інструментальна система інсталується на робочому місці розробника АСУ. У ній створюється набір файлів, який називається проектом Trace Mode.

Виконавча система Trace Mode включає в себе виконавчі модулі (монітори) - програмні модулі різного призначення, під керуванням яких в реальному часі виконуються складові частини проекту, що розміщуються на окремих комп'ютерах або в контролерах, призначені для роботи на всіх рівнях систем управління, про яких говорилося вище.

Вони можуть використовуватися для створення як оперативного, так і адміністративного рівнів систем управління. Trace Mode дозволяє створювати проект відразу для декількох виконавчих модулів - вузлів проекту. Кожному вузлу проекту відповідає одна інсталяція виконавчого модуля.

Режим автобудування, застосований в Trace Mode 6, миттєво формує базу тегів для операторських станцій, контролерів і ОРС-серверів, налаштовує мережеві зв'язки, будує систему документування та графічний інтерфейс.

5.2 Мнемосхема компенсатора тиску

Для створення повноцінного зображення технологічного процесу використано як динамічні, так і статичні картини. На схему нанесені трубопроводи (1), ГЦН (2), компенсатор тиску (3), ТЕНи (4), вприскувач (5),

клапани YPC13S02, YPC12S02, YPC11S02 (6), кнопки переходу на екран регулювання та журналу відхилень (7) та стрілочний графічний елемент «Манометр» (8).

Мнемосхема компенсатора тиску зображена на рисунку 5.1.

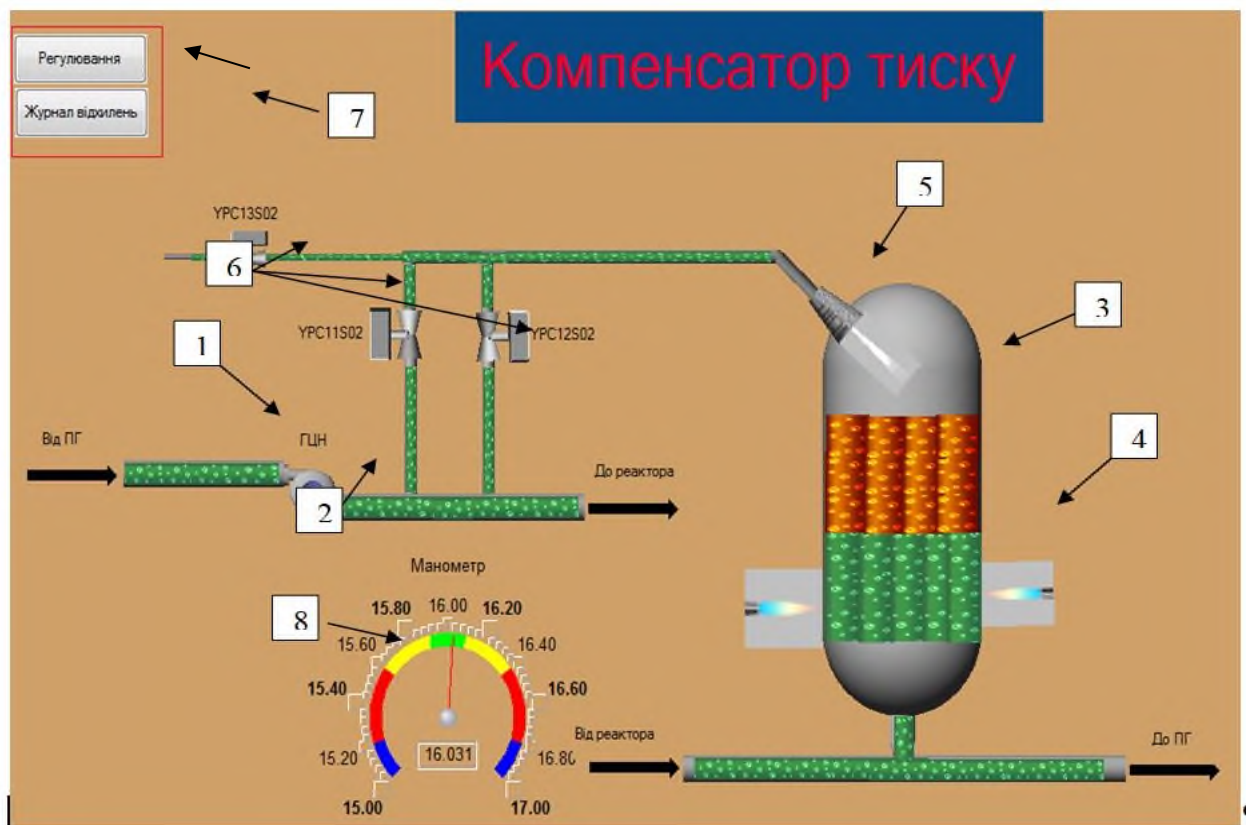


Рисунок 5.1 - Мнемосхема компенсатора тиску

5.3 Створення екранної форми «Регулювання»

На цей екран нанесені тренди «Повзунок» для нанесення збурень (1) та внесення регулюючого впливу (2), тренди для відображення зміни в часі тиску у компенсаторі тиску (3) та для відображення збурень, які приводять до відхилення тиску (4), кнопка для введення інформації з клавіатури (5), поле, в якому вона відображається (6), кнопки переходу на інші екранні форми (7).

Для того, щоб зменшити навантаження на зір оператора були використані приємні контрастні кольори елементів екранної форми.

Екран «Регулювання» зображений на рисунку 5.2.

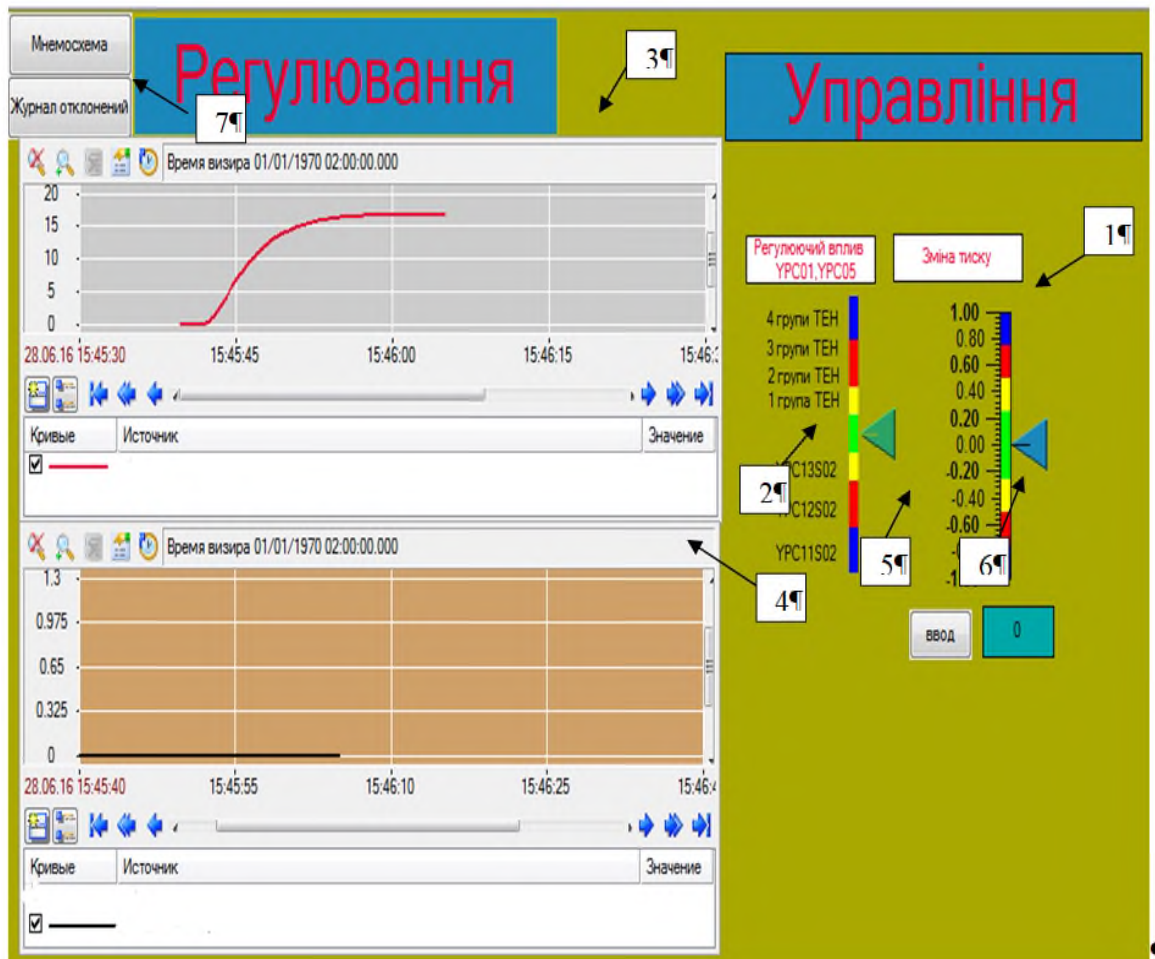


Рисунок 5.2 - Екранна форма «Регулювання»

5.4 Розробка імітатора об'єкта мовою FBD

FBD-програма, яка являє собою ланцюжок (діаграму) послідовно виконуваних функціональних блоків.

Функціональний блок - це графічне зображення виклику вбудованої функції Техно FBD (FBD-блоку) або функції (функції-блоку).

Програму імітатора роботи АСР тиску у компенсаторі тиску зображено на рисунку 5.3.

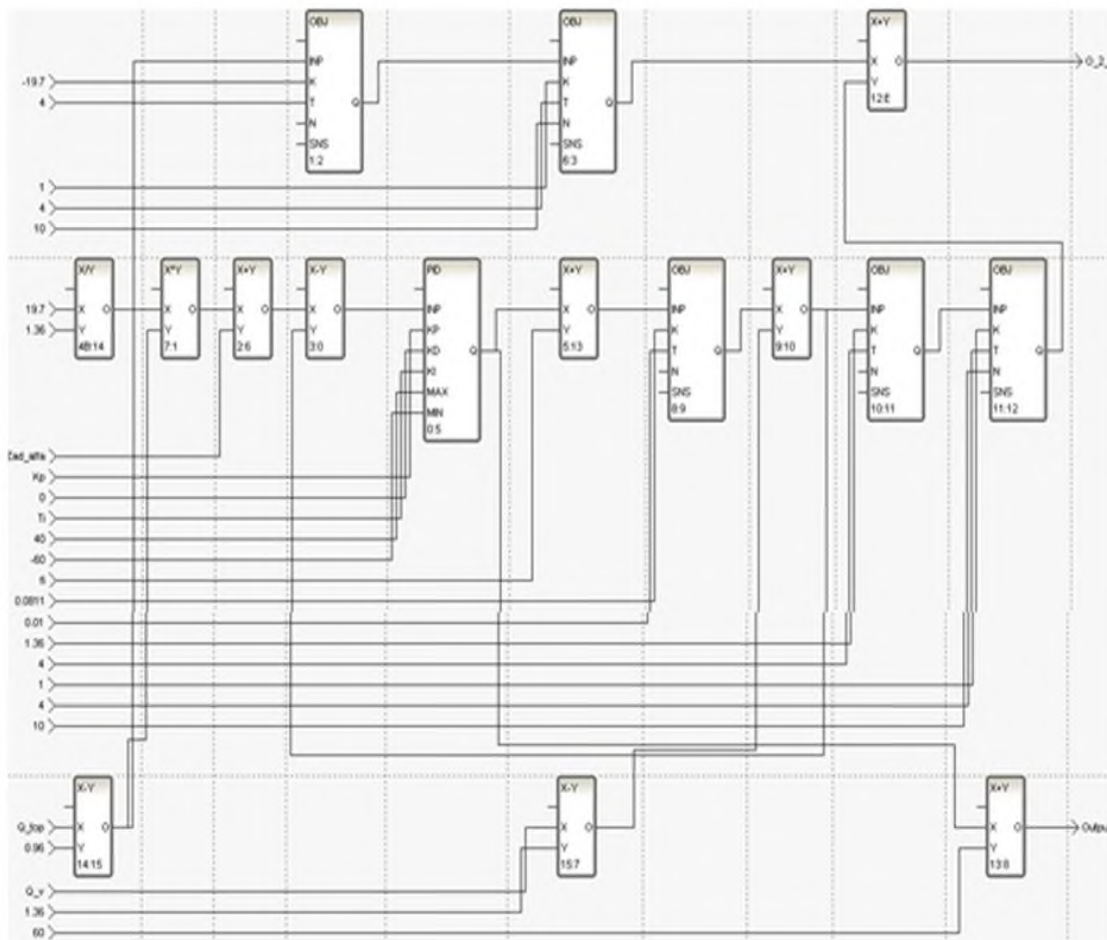


Рисунок 5.3 - Програма імітатора роботи АСР тиску у компенсаторі тиску

У верхній частині малюнка два блоки OBJ 1:2 і 6:3 (інерційні ланки першого порядку) з'єднані послідовно і утворюють об'єкт управління другого порядку по каналу передачі збурюючого впливу. Об'єкт управління по каналу передачі регулюючого впливу складається з блоків 8:9, 10:11 і 11:12 показаний в нижній правій частині рисунка. Вихідні змінні обох об'єктів підсумовуються в блоці $X + Y$ і утворюють сигнал по тиску теплоносія. Регулятор процесу компенсації тиску реалізований в блоці 0:5. У блоці 4B:14 розраховується коефіцієнт надлишку тиску в компенсаторі тиску. У блоці 2:6

розраховується сигнал $\varepsilon(t)$ відхилення (неузгодженості) від заданого значення Zad_alfa . Решта блоків призначені для ручної подачі керуючих і збурюючих впливів.

Як видно, блоки можуть мати сигнальні і налагоджувальні входи. На сигнальні входи подаються сигнали від попередніх за схемою блоків або від повзункових приладів. Вихідні сигнали подаються на наступні за схемою блоки. На налагоджувальні входи подаються налагоджувальні константи з панелей налаштування блоків або екрана «Регулювання».

5.5 Створення екранної форми «Журнал аварійних відхилень»

Словники повідомлень - набори повідомлень, що генеруються при виникненні різних подій.

Повідомлення, які будуть генеруватися по каналам в різних ситуаціях при роботі АСУ, можуть бути визначені у словниках і повідомлення можуть бути відправлені у вигляді SMS-повідомлень на вказаний номер мобільного телефону, передані по мережі консолей і т. д. Напрямок передачі повідомлень задається в редакторах словників, при цьому у всіх випадках повідомлення заноситься до звіту тривоги.

Звіт тривоги - це текстовий файл, в який заносяться повідомлення, що генеруються в різних ситуаціях при роботі АСУ.

У звіт тривоги можуть бути записані повідомлення наступних видів:

- системні повідомлення;
- повідомлення по каналам;
- повідомлення, що генеруються за допомогою системної змінної;
- інтерактивні повідомлення оператора.

Монітор генерує зумовлені повідомлення перших трьох видів в разі відсутності відповідних словників в вузлі. Повідомлення про подію заноситься до звіту тривоги у вигляді окремого рядка.

В даній магістерській роботі було створено журнал відхилень по таким подіям, як перехід параметрів за уставки і межі нормальної роботи компенсатора тиску. Екранна форма «Журнал відхилень» зображена на рисунку 5.4.

Время	Категория	Имя	Сообщение	Время квитировані
28.06.2016 15:46:03.		escheraz_3		
28.06.2016 15:45:37.		escheraz_3		
28.06.2016 15:45:09.		escheraz_3	STOP	
28.06.2016 15:44:45.		escheraz_3	START	
28.06.2016 15:44:33.		escheraz_3	STOP	
28.06.2016 15:38:40.	W	Davlenie	Переход через НП границу	
28.06.2016 15:38:24.	E	Davlenie	Выход за нижний предел	
28.06.2016 15:38:01.		escheraz_3	START	
28.06.2016 15:25:44.		escheraz_3	STOP	
28.06.2016 15:25:32.	E	Davlenie	Выход за верхний предел	
28.06.2016 15:25:24.		escheraz_3	START	
28.06.2016 15:25:20.		escheraz_3	STOP	
28.06.2016 15:24:18.	E	Davlenie	Выход за нижний предел	
28.06.2016 15:24:16.	W	Davlenie	Переход через ВП границу	
28.06.2016 15:24:15.		Davlenie	В пределах нормы	
28.06.2016 15:23:47.	W	Davlenie	Переход через НП границу	
28.06.2016 15:23:23.	E	Davlenie	Выход за верхний предел	
28.06.2016 15:23:18.	A	Davlenie	Переход через нижнюю аварийную г	
28.06.2016 15:23:13.	E	Davlenie	Выход за нижний предел	
28.06.2016 15:22:56.		escheraz_3	START	
28.06.2016 14:58:38.		escheraz_3	STOP	
28.06.2016 14:58:34.		escheraz_3	START	
28.06.2016 14:58:29.		escheraz_3	STOP	
28.06.2016 14:58:19.	A	Davlenie	Переход через нижнюю аварийную г	
28.06.2016 14:58:19.	W	Davlenie	Переход через НП границу	
28.06.2016 14:57:42.		Davlenie	В пределах нормы	
28.06.2016 14:57:39.	W	Davlenie	Переход через НП границу	
28.06.2016 14:57:16.	A	Davlenie	Переход через нижнюю аварийную г	

Рисунок 5.4 - Экранна форма «Журнал відхилень»

В журналі відхилень відображається назва події (1). Це може бути назва параметра («Davlenie»), або назва виконуваного проекту («escheraz_3»). В колонці «Сообщение» показані повідомлення про перехід параметра за межі нормальної роботи і уставки (2). Вказаний час і дата події (3), та категорії важливості повідомлення (4) – W, A, E, які відображені відповідними кольорами – жовтий, жовтогарячий, червоний.

6 МОДЕРНІЗАЦІЯ АСУ ТП КОМПЕНСАЦІЇ ТИСКУ

6.1 Вибір технічних засобів модернізації

Об'єктом модернізації є обладнання АСУ ТП керуючої системи КТ, реалізоване на базі технічних засобів – УКТЗ, датчиків аналогових з вихідним сигналом від 0 мА до 5 мА «Сапфір-22», нормуючих перетворювачів серій «Ш-78», «Ш-79», блоків живлення 22БП-36, а також дискретних датчиків різних модифікації з виходами типу «сухий контакт» або «потенційний».

Система автоматичного регулювання КТ реалізована на базі технічних засобів «Каскад-2». Апаратура «Каскад-2» являє собою набір функціональних блоків, що реалізують елементарні функції аналогового регулювання.

Апаратура УКТЗ являє собою набір логічних блоків і конструктивів для їх розміщення, реалізованих за принципом «одна елементарна логічна функція - один блок».

Існуюча керуюча система, реалізована з використанням даних технічних засобів, має ряд недоліків:

- будь-яка модифікація алгоритму вимагає використання додаткових ТЗА, виконання електромонтажних робіт, прокладки додаткових кабелів;

- велика кількість контактів, перехідних роз'ємів, пайок, виконуваних при монтажі, що вимагає додаткових витрат часу і знижує експлуатаційну надійність системи в цілому;

- розподілений характер комплексу УКТЗ і спосіб реалізації ТЗБтаС за допомогою логічних блоків накладають обмеження на обсяг і складність алгоритмів управління;

- відсутність методів діагностики підсистеми живлення КВП;

- відсутність контролю справності первинних вимірювальних перетворювачів;

- наявність вимірювальних каналів, які беруть участь в алгоритмах, але не відображаються на верхньому рівні УВС.

Існуюча структурна схема керуючої системи КТ ПТК наведена на рисунку 6.1.

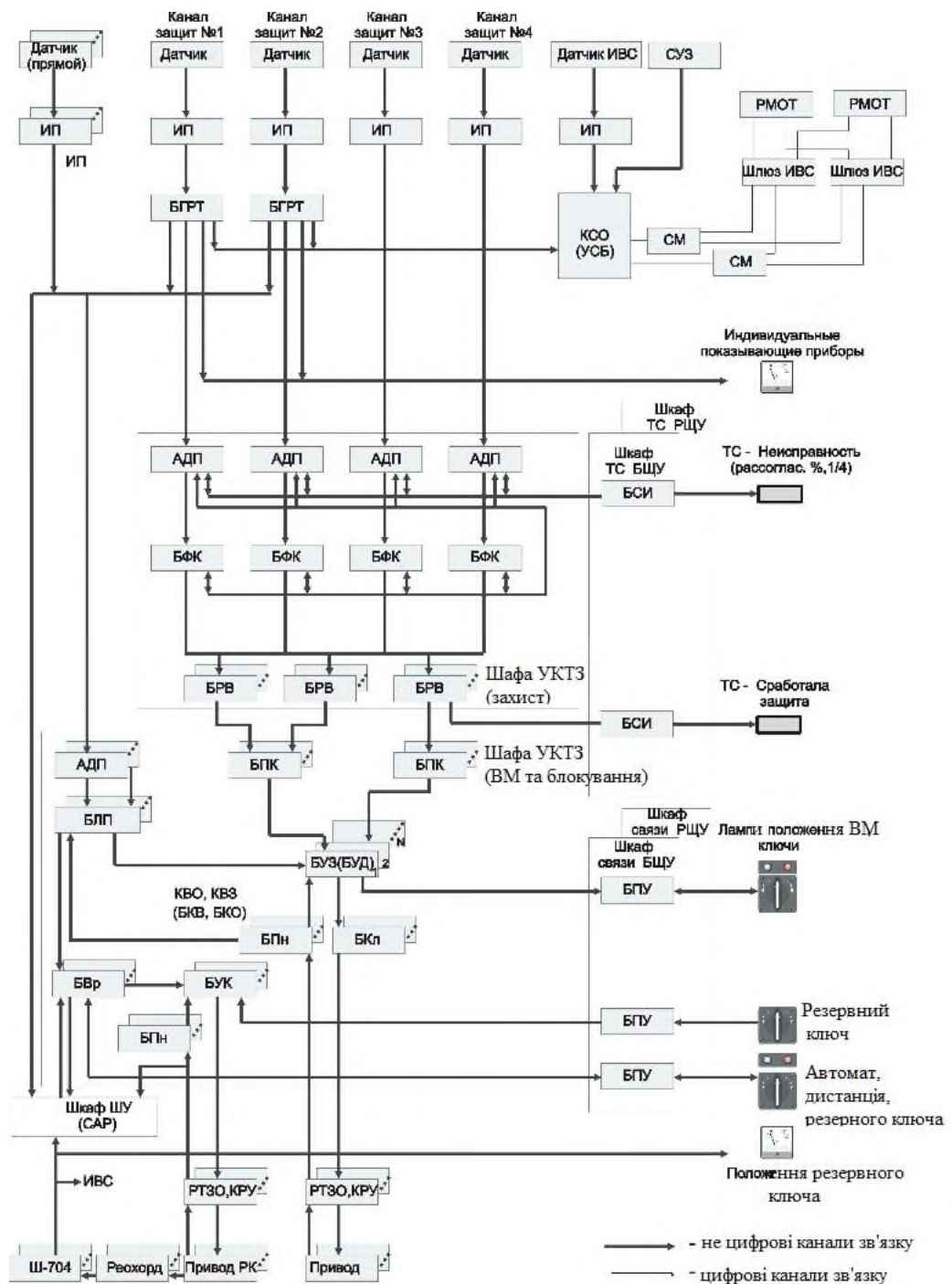


Рисунок 6.1 - Структурна схема існуючої керуючої системи КТ

Таким чином, доцільною представляється заміна наявних технічних засобів УКТЗ, «Каскад-2» і підсистеми контрольно-вимірювальних приладів на комплекс, позбавлений перерахованих недоліків.

Модернізація обумовлена необхідністю заміни обладнання з метою:

- заміни технічних засобів автоматизації, що виробили свій ресурс, морально і фізично застарілих, частково знятих з виробництва;
- приведення систем контролю і управління у відповідність до діючих вимог нормативних документів з ядерної та радіаційної безпеки;
- збільшення надійності функціонування автоматизованих систем управління технологічними процесами за рахунок використання сучасних технічних і програмних засобів, що мають значно більш високі технічні та експлуатаційні можливості;
- підвищення технічного рівня експлуатації;
- підвищення якості інформаційного забезпечення оперативного та ремонтного персоналу;
- поліпшення умов і культури праці обслуговуючого персоналу.

Модернізацію обладнання керуючої системи КТ пропонується здійснити шляхом заміни обладнання УКТЗ, САР на базі «Каскад-2» на ПТК СНЕ РВ при цьому передбачити:

- заміну шаф УКТЗ (базових, кросових і шаф РТ) на шафи МСКУ 3.33, Шкр, ШДС.
- заміну первинних вимірювальних перетворювачів тиску «Сапфір-22» з вихідним струмовим сигналом від 0 мА до 5 мА на датчики тиску «Сафір» з вихідним струмовим сигналом від 4 мА до 20 мА. Потужність і прийом сигналів від датчиків виконується по двухпроводній схемі від шаф МСКУ;
- заміну технічних засобів «Каскад-2» на шафи МСКУ;
- установку ШАУ, призначеного для формування вихідних струмових сигналів від 0 мА до 5 мА;
- установку ШУК і ШКМ, призначених для реалізації алгоритмів керування і внутрішньосистемних зв'язків;

- установку резервованих серверів PC5140, що виконують функції реєстрації, архівації, візуалізації і передачі інформації в інформаційно - обчислювальну службу;

- установку інженерної станції САР PC5140, яка виконує функції операторського інтерфейсу і сервісних функцій.

Впровадження ПТК СНЕ РВ виготовленого приватним акціонерним товариством «Сєверодонецьке науково-виробниче об'єднання «Імпульс» м. Сєверодонецьк, Україна, не призведе до зниження досягнутого рівня безпеки, так як всі функції, раніше виконувані УКТЗ, включаючи реалізацію алгоритмів технологічних захистів, блокувань, сигналізації, автоматичного і дистанційного управління, будуть виконані на ПТК в повному обсязі. Середній термін служби ПТК СНЕ РВ не менше 30 років за умови заміни ТЗА, що виробили свій ресурс (не менше 15 років), заміні підлягають блоки (модулі), що містять в своєму складі електронні компоненти на друкованих платах.

З впровадженням ПТК СНЕ РВ загальний рівень безпеки енергоблоку підвищиться за рахунок підвищення надійності управляючої системи, яка забезпечується:

- розробкою ПТК СНЕ РВ відповідно до основних принципів забезпечення безпеки;

- застосуванням нових технічних засобів на базі мікропроцесорної техніки з вбудованими функціями самодіагностики, що відповідає сучасному рівню вимог до засобів, важливим для безпеки;

- застосуванням сучасних системотехнічних і конструктивних рішень, які дозволяють підвищити надійність обладнання;

- застосуванням структурної надлишковості, що дозволяє виключити формування неправдивих команд (сигналів) в разі виходу складових частин ПТК СНЕ РВ з ладу, а також знизити ймовірність неспрацьовування на вимогу, підвищити стійкість обладнання до одиничної відмови з урахуванням наявності додаткової прихованої відмови;

- вдосконаленням людино-машинного інтерфейсу;

- введенням безперервного контролю та діагностування технічного стану програмно-технічних засобів, збору, обробки, зберігання і відображення інформації.

6.2 Призначення ПТК СНЕ РВ

ПТК СНЕ РВ призначений для виконання наступних основних функцій:

- первинна обробка вхідних сигналів і формування струмових сигналів, контроль технологічних параметрів і ідентифікація вихідних подій, які враховуються проектом із забезпеченням наступних функцій:

- а) подання струму на первинні вимірювальні перетворювачі;
- б) прийом, нормалізація і обробка вхідних безперервних сигналів від первинних вимірювальних перетворювачів;
- в) формування сигналів непрямого вимірювання;
- г) формування сигналу виходу значення безперервного параметра за кордон уставки;
- д) формування вихідних струмових сигналів в обсязі проекту, та прийом вхідних дискретних сигналів;
 - формування послідовності команд захисних дій за логікою «2 з 4», передбачених для виявленої вихідної події;
 - формування команд технологічних захистів і блокувань за логікою «2 з 3», «2 з 2», «1 з 2», «1 з 1»;
 - формування команд технологічної сигналізації на БЩУ, РЩУ
 - автоматичне регулювання - формування на виконуючий механізм керуючих впливів для підтримки технологічних параметрів відповідно до заданих алгоритмами регулювання;
 - управління ВМ - видача команд захисних дій, технологічних захистів, блокувань і команд дистанційного керування на виконавчі елементи

технологічних систем, включаючи реалізацію заборони або відключення впливів на виконавчі елементи.

- дистанційне керування ВМ з БЩУ, РЩУ - формування команд дистанційне керування з ініціативи оперативного персоналу і управління ВМ;
- індикація стану ВМ на засобах БЩУ, РЩУ;
- видача сигналізації про несправності обладнання на БЩУ, РЩУ;
- візуалізація і архівування даних про значеннях технологічних параметрів, стані захистів, блокувань, ВМ і ТЗА ПТК СНЕ РВ.

При реалізації керуючої системи на засобах ПТК СНЕ РВ передбачається взаємодія з наступними системами та обладнанням:

- первинними вимірювальними перетворювачами, датчиками дискретних сигналів;
- збірками РСЗО, через які здійснюється управління ВМ (електроприводами запірної, регулюючої арматури і арматури з електромагнітним керуванням);
- технічними засобами дистанційного керування і індикації на БЩУ, РЩУ;
- вторинними приладами;
- обладнанням інших підсистем АСУ ТП енергоблоку.

ПТК СНЕ РВ забезпечує цілодобовий режим роботи з урахуванням проведення технічного обслуговування і ремонту (відновлення).

Структурна схема ПТК СНЕ РВ наведена на рисунку 6.2.

Підсистема контрольно-вимірювальних приладів реалізується на базі виконань серійного ТЗА – МСКУ 3.33 і забезпечує виконання функцій прийому (формування) і обробки сигналів:

- від первинних вимірювальних перетворювачів опору типу ТСП, ТСМ по трипровідній схемі і від перетворювачів положення регулюючої арматури;
- від термоелектричних перетворювачів типу ТХК, ТХА;
- від вимірювальних перетворювачів тиску, різниці тиску типу «Сапфір» по двопровідній схемі: з уніфікованим струмовим сигналом від 4 мА до 20 мА, від 0 мА до 5 мА;

- передачу даних про значення сигналів і стан технічних засобів в сервер діагностування та архівації і в УВС.

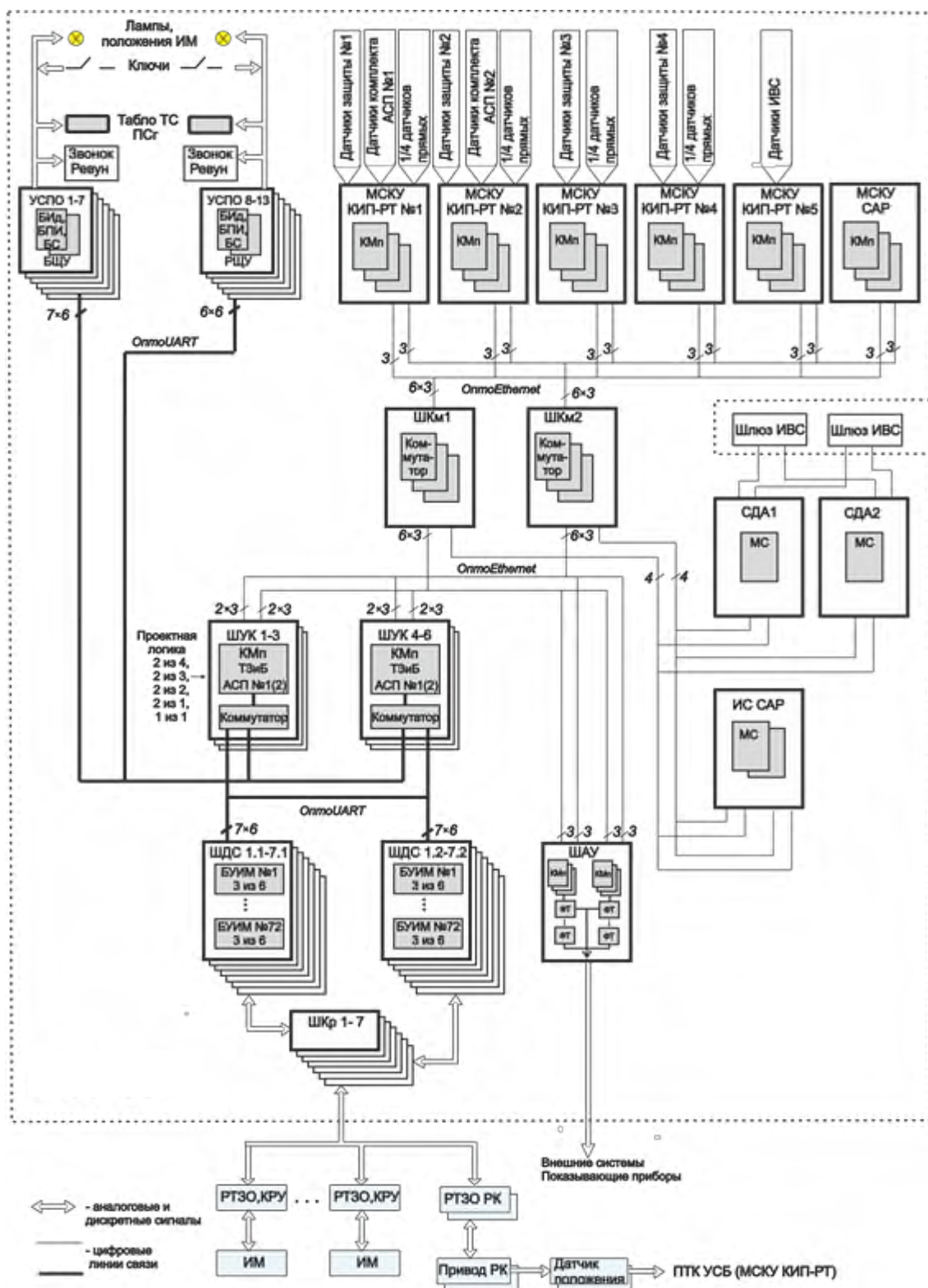


Рисунок 6.2 - Структурна схема ПТК СНЕ РВ

Конструктивно виконання МСКУ 3.33 представляє трьохканальний пристрій, кожен з каналів якого має три незалежні вводи з живленням напругою 220 V змінного (постійного) струму. Кожен первинний вимірювальний перетворювач підключений до трьох каналів МСКУ 3.33.

Структурні схеми проходження сигналів і команд захистів і блокувань дистанційного керування і технологічної сигналізації наведені на рисунку 6.3.

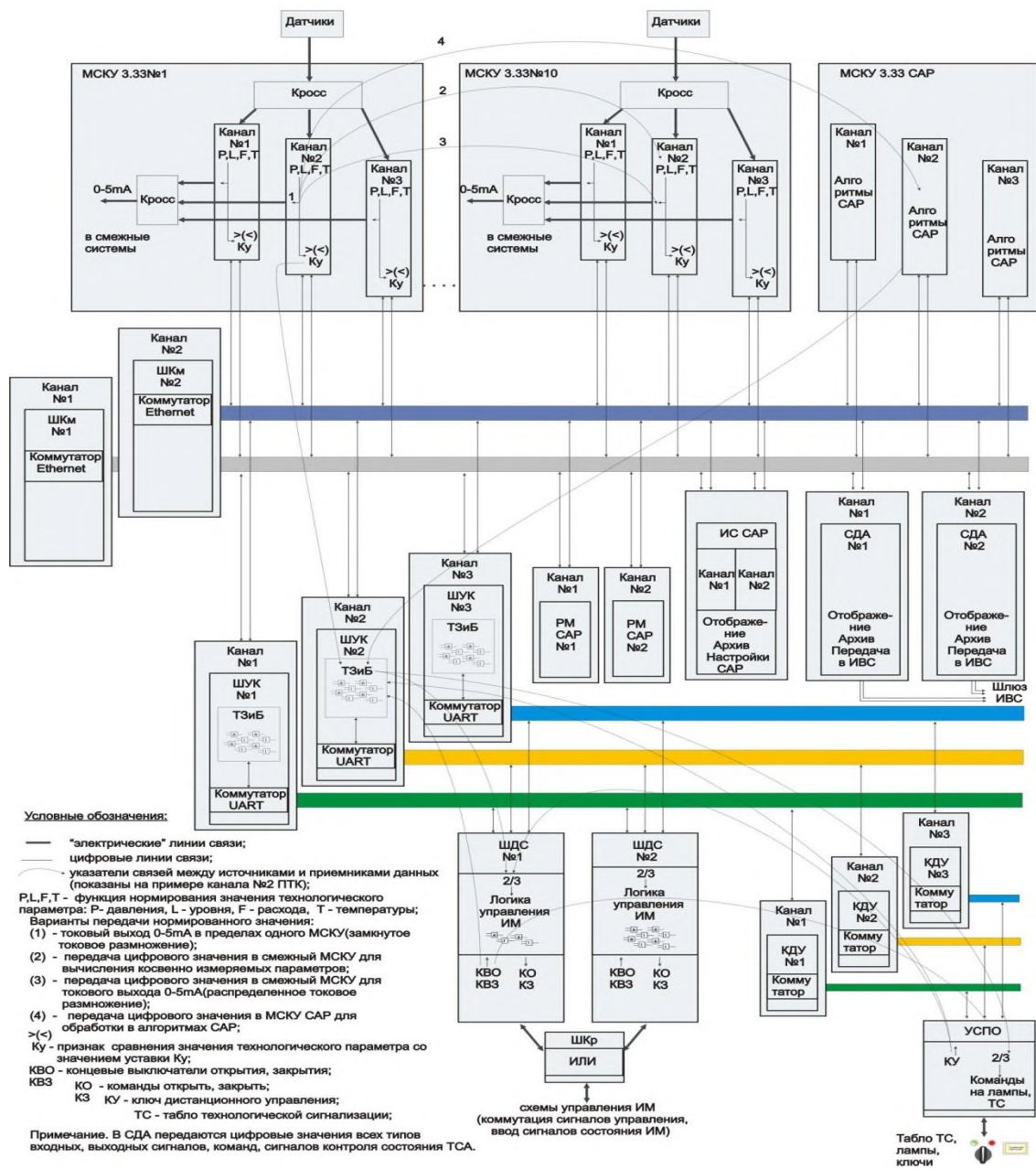


Рисунок 6.3 – Структурні схеми проходження сигналів і команд захистів і блокувань дистанційного керування і технологічної сигналізації

Підсистема управління та комутації має три незалежні канали, реалізованих на базі шаф управління і комутації ШУК-1, і два незалежні канали, реалізованих на базі шаф комутації ШКМ-1.

Кожна ШУК-1 забезпечує виконання для відповідного каналу ПТК СНЕ РВ наступних основних функцій:

- прийом в цифровому вигляді дискретних сигналів, що характеризують результат порівняння безперервного сигналу з уставкою, від МСКУ 3.33 зі складу підсистеми контрольно-вимірювальних приладів;
- реалізація алгоритмів за функціями захистів, блокувань і технологічної сигналізації;
- передача в цифровому вигляді сигналів в апаратуру управління ВМ і апаратуру технологічної сигналізації на БЦУ;
- прийом у цифровому вигляді сигналів стану ВМ від апаратури управління ВМ і їх передача в апаратуру сигналізації стану ВМ на БЦУ;
- прийом в цифровому вигляді сигналів дистанційного керування ВМ від апаратури ДУ на БЦУ і їх передача в апаратуру управління ВМ;
- передача даних про значення технологічних параметрів, стан захистів, блокувань, ВМ і технічних засобів ПТК СНЕ РВ в СДА.

Тип використовуваного інтерфейсу зв'язку з ШДС, КДУ - цифрові радіальні оптоволоконні лінії зв'язку UART, з МСКУ 3.33, СДА через ШКМ - Ethernet. Максимальна довжина кожної оптичної лінії зв'язку - 300 м.

ШКМ використовується для організації внутрішньосистемних обмінів повідомленнями між ТЗА (МСКУ 3.33, ШУК) ПТК СНЕ РВ по цифровим радіальним оптоволоконними лініями зв'язку Ethernet.

Максимальна швидкість передачі інформації по інтерфейсу 100Base-FX - 100 Mbit / s, 1000SX - 1000 Mbit / s. Кількість каналів 100Base-FX - 46 шт., 1000SX - 2 шт.

Устаткування для керування виконавчими механізмами складається з:

- шаф дискретних сигналів ШДС-1;
- шаф кросових Шкр-21.

ЩДС-1 забезпечує формування сигналів управління і відображення стану ВМ запірної, пневмовідсічної, регулюючої арматури, ВМ, прийом і формування дискретних сигналів, формування сигналів в суміжні підсистеми.

Управління кожним ВМ здійснюється з двох взаєморезервуючих ЩДС-1 через два автономних цифрових блока БУВМ, кожен з яких забезпечує прийом в цифровому вигляді і логічну обробку сигналів для одного ВМ від трьох ШУК-1, введення-виведення фізичних сигналів від одного ВМ.

Кожен з БУВМ призначений для управління одним ВМ і забезпечує:

- прийом команд управління ВМ і обробку їх за мажоритарним принципом;
- прийом дискретних сигналів типу «сухий контакт» від кінцевих вимикачів (проміжних реле);
- індикацію положення ВМ на лицьовій панелі блоку;
- видачу дискретних сигналів управління ВМ;
- управління ВМ за місцем за допомогою двох кнопок, що розміщуються на лицьовій панелі;
- контроль справності вихідних дискретних сигналів управління ВМ;
- безперервний автоматичний контроль технічного стану БУВМ з передачею результатів по цифрових лініях зв'язку.

Шкр-21 забезпечує комутацію сигналів двох шаф ЩДС-1 для їх підключення до ВМ. Конструктивно Шкр-21 виконаний у вигляді підлогової шафи.

Устаткування зв'язку з оператором складається з:

- пристрою зв'язку з панеллю оператора УСПО-1;
- контролера дистанційного керування КДУ-1;
- панелі сигналізації.

Пристрій зв'язку з панеллю оператора УСПО-1 забезпечує:

- підключення «сухий контакт» до 80 шт;
- підключення табло технологічної сигналізації до 72 шт;

- видача світлової інформації на 80 індикаторів, розташованих на панелях БЩУ;
- отримання команд від КДУ-1 для установки світлової індикації на індикаторах;
- передача в КДУ-1 стану двохпозиційних ключів, підключених до УСПО-1;
- передача інформації про результати діагностики блоків УСПО-1 в КДУ.

УСПО-1 формує вихідні дискретні сигнали управління індикаторами стану ВМ і технологічної сигналізації з вихідної інформації, що надходить по трьом лініям зв'язку за мажоритарним принципом «2 з 3». УСПО-1 підключається до технологічних клем панелей БЩУ.

Контролер дистанційного керування КДУ-1 забезпечує комутацію потоків цифрових даних між УСПО-1 і ШУК-1.

КДУ-1 забезпечує передачу:

- команд дистанційного керування від УСПО-1 в ШУК-1;
- команд управління станом індикаторів технологічної сигналізації і індикаторів стану ВМ з ШУК-1 в УСПО-1;
- інформації про результати діагностики УСПО-1 і КДУ-1 в ШУК-1.

Устаткування підсистеми технічного обслуговування та архівування складається з двох взаєморезервуючих серверів діагностування та архівації СДА. СДА реалізований на базі серійного ТЗА - робочої станції ПС 5120.

СДА забезпечує:

- прийом по цифрових каналах, обробку, візуалізацію, архівування даних про стан технологічних параметрів і технічних засобів ПТК СНЕ РВ від ТЗА зі складу підсистем: контрольно-вимірювальних приладів, управління і комутації, управління ВМ, зв'язку з оператором;
- передачу поточних даних і архівних даних в мережу верхнього рівня для загальноблочної УВС;
- прийом і передачу сигналів точного часу в ШУК-1, МСКУ 3.33.

ВИСНОВОК

При виконанні магістерської роботи на тему «Удосконалення системи управління процесом компенсації зміни обсягу води у замкненому контурі енергоблоку ВВЕР-1000 для умов ВП «Запорізької атомної електростанції», були отримані наступні результати:

1. Проаналізовані особливості технологічних процесів на АЕС з реактором ВВЕР-1000, зокрема технологічний процес роботи компенсатору тиску у першому контурі енергоблоку ВП «Запорізької АЕС».

2. Розглянуто структурну схему АСУ ТП енергоблоку ЗАЕС та принцип, склад і структурну схему АСР тиску в першому контурі ЗАЕС з реактором ВВЕР-1000. Розглянуто види вимірювань і застосування вимірювальних сигналів. Складена функціональна схема автоматизації в КТ.

3. Проаналізовані АСУ ТП системи компенсації тиску, як системи нормальної експлуатації, які існують на Рівненській та Хмельницькій АЕС.

АСУ ТП енергоблоків цих енергетичних об'єктів мають високоефективну цифрову розподілену систему на базі сучасних технічних і програмних засобів з використанням надійних та ефективних алгоритмів управління, які мають значно більш високі технічні і експлуатаційні можливості ніж інформаційно-керуючі системи на енергоблоці ВП «Запорізької АЕС».

4. На основі аналізу фізичних процесів розроблено структурно-параметричну схему, на підставі якої створена математична модель з метою подальшого синтезу системи керування.

Використавши програмний пакет MatLab Simulink в системі і математичну модель, отримали перехідні процеси регулювання тиску у компенсаторі тиску.

5. Розроблена АСУ ТП за допомогою SCADA-системи Trace Mode 6.05. з урахуванням критерій проектування системи компенсації тиску.

6. Розглянуто питання доцільності заміни наявних технічних засобів автоматизації підсистеми контрольно-вимірювальних приладів існуючої інформаційно-керуючої системи компенсації тиску на енергоблоці ВП «Запорізької АЕС» на ПТК СНЕ РВ виготовленого приватним акціонерним товариством «СНВО «Імпульс» м. Сєвєродонецьк, Україна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баклушин Р. П. Эксплуатационные режимы АЭС. 2-е изд. перераб. и доп. Москва : МЭИ, 2012. 532 с.
2. Демченко В. А. Автоматизация і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЕС. Одеса : Асторпринт, 2001. 385 с.
3. Демченко В. А. Методичні вказівки для практичних занять з дисципліни «Автоматизация безперервних технологічних процесів» для студентів спеціальності 7.09.2501. Одеса : ОДПУ, 2000. 34 с.
4. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. Серия «Библиотека профессионала». Москва : СОЛОН-Пресс, 2005. 576 с.
5. Зорин В. М. Атомные электростанции : учебное пособие. Москва : Издательский дом МЭИ, 2012. 672 с.
6. Комиссарчик В. Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов : учебное пособие. Тверь : ТНТУ, 2001. 247 с.
7. Кошарский Б. Д. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы : справочное пособие. Москва : Машиностроение, 1976. 488 с.
8. Лукінюк М. В. Автоматизация типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизация і комп'ют.-інтегр. технології». Київ : НТУУ «КП», 2008. 236 с.
9. Маргулова Т. Х. Атомные электрические станции: учебник для вузов. 5-е изд. Москва : ИздАТ, 1994. 289 с.
10. Преображенський В. П. Теплотехнічні вимірювання та прилади : підручник для вузів за фахом «Автоматизация теплоэнергетических процессов» 3-те вид. Москва : Энергия, 1978. 704 с.
11. Тевлин С. А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000 : учебное пособие. Москва : МЭИ, 2008. 358 с.

12. Цирлин А. М. Оптимальное управление технологическими процессами : учебное пособие для вузов по специальности «Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов». Москва : Энергоатомиздат, 1986. 400 с.

13. Лопатин А. Г., Киреев П. А. Проектирование АСУ уровня с использованием языка Structured Text : учебно-методическое пособие. Новомосковск, 2010. 113 с.

14. Маргулова Т. Х., Подушко Л. А. Атомные электрические станции : учебник для энерг. и энергостроит. техникумов. Москва : Энергоиздат, 1982. 263 с.

15. Глазов Б. В., Дубровский А. Х., Ключев А. С. Проективання систем автоматизації технологічних процесів. Москва : Вища школа, 1990. 464 с.

16. Голінко І. М. Моделювання та оптимізація систем керування: монографія / за ред. І. М. Голінко, А. І. Кубрак. Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький, 2012. 262 с.

17. Коновалов М. А. Основы новой стратегии синтеза систем оптимального управления / за ред. М. А. Коновалов, А. С. Бунке. Київ : Феникс, 2014. с. 267–269.

18. Інструкція з експлуатації програмно-технічного комплексу системи нормальної експлуатації реакторного відділення ВВЕР-1000 ПТК СНЕ РВ. ВП ХАЕС. Хмельницьк, 2010. 113 с.

19. Інструкція з експлуатації системи дистанційного управління. ВП ЗАЕС. Енергодар, 2016. 237 с.

20. Інструкція з експлуатації системи автоматичного регулювання. ВП ЗАЕС. Енергодар, 2016. 237 с.

21. ДСТУ Б А.2.4-16:2008 Автоматизація технологічних процесів. Умовні позначення приладів і засобів автоматизації в схемах. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 12 с.

22. Васильченко О. Г. Арматура енергетична для АЕС і ТЕС : каталог-довідник про енергетичну арматуру вироблюваної підприємством. Київ, 1986. 49 с.

23. Бесекерский В. А. Теория систем автоматического управления : бібліогр. покажч. / уклад. В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. Москва : Наука, 1975. 711 с.

24. Морев А. Н. Системы цифрового автоматического регулирования : реалізація алгоритмів автоматического управління БалАЕС. *Технічний опис*. Балаково, 2015. №1. С. 8.

25. Морев А. Н. Системы цифрового автоматического регулирования : призначення САР компенсації тиску БалАЕС. *Технічний опис*. Балаково, 2015. №2. С. 8.

26. Тверской Ю. С. Математическая модель первого контура энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 и оценка ее динамической точности в переменных режимах. *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. Иваново, 2015. №6. С.47- 58.

27. Клуста Т. В., Козаневич З. Я. Моделювання системи керування алкїлатором з ПД-регулятором у середовищі Simulink : матеріали VI міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 23–24 квітня 2019 р. Київ, 2019. С.55-56.

28. Рыков В. В., Ивницкий В. А., Морозов Е. В. О работах Н. П. Бусленко в области имитационного моделирования. *Информационные процессы*. 2005. Т. 5, № 3. С. 177-186. URL: https://elibrary.ru/title_about.asp?id=7612 (дата звернення: 12.12.2019).

29. Ядерные технологии. Система компенсации давления в контуре ВВЭР. URL: <http://nuclearfactor.ru/energy/aes/35-123.html> (дата звернення: 17.12.2019).