

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра автоматизованого управління технологічними процесами
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

групи (магістерській)
(рівень вищої освіти)

а тему Удосконалення системи автоматичного регулювання рівня
води у парогенераторі ПГВ-1000 М в умовах ВП «Запорізька АЕС»

Виконав: студент 2 курсу, групи АКІТ-18-1мз

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва спеціальності)

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва освітньої програми)

спеціалізації
(код і назва спеціалізації)

Д.М. Богров
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент с.г.р. А.П. Кресер, к.т.н. А.М. Ніколаєнко
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент гол. фр.к. Федор'як
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя
2020

Закарпатський національний університет
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факт металургії

Сфера автоматизованого управління технологічними процесами

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

Спеціалізація _____

(шифр і назва)

Професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф. Дмитро

МАЧУП

Ю. П. Назар

"26" грудня 2019 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Боррова Дмитро Михайловича

(прізвище, ім'я, по батькові)

на кваліфікаційної роботи магістра Трискладення системи

метричного регулювання рівня води в парогенераторі

КОМ в умовах ВП. Закарпатська АЕС.

виконавця кваліфікаційної роботи магістра Николаєнко М. М., к.т.н. доцент, професор

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

визначені наказом закладу вищої освіти від "10" 09 2019 року № 1541-С

заявки подання здобувачем кваліфікаційної роботи магістра 26 грудня 2019 року

свідомі дані кваліфікаційної роботи магістра умови, реалізовані на ВП

заказу АЕС

міст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно

вирішити) 1. Дослідження САР рівня води в парогенераторі

зробка функціональної схеми трискладової САР рівня

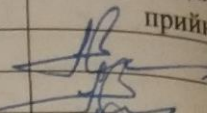
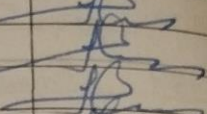
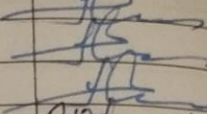
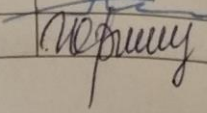
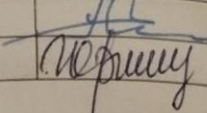
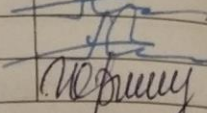
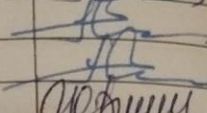
зробка моделі САР рівня та побудова зафіксів верхніх процесів

визначення ПІ-регулятора рівня води в ВП

перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

презентація роботи, викладена на 15 сторінках

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра:

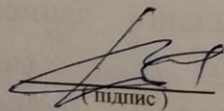
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	Миколаєнко А.М., професор	 26.12.19
Розділ 2	Миколаєнко А.М., професор	 26.12.19
Розділ 3	Миколаєнко А.М., професор	 26.12.19
Розділ 4	Миколаєнко А.М., професор	 26.12.19
Розділ 5	Миколаєнко А.М., професор	 26.12.19
Розділ 6	Миколаєнко А.М., професор	 26.12.19
Нормоконтроль	Обчанкивська І.А., доцент	 26.12.19

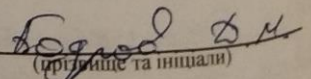
7. Дата видачі завдання 10.09.2019р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

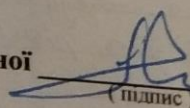
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Примітки
1	Опис об'єкта управління	10.09.19 - 22.09.19	виконано
2	Оцінка системи управління парогенератором	23.09.19 - 06.10.19	виконано
3	Розрахунок оптимального регулятора рівня води в парогенераторі	07.10.19 - 10.11.19	виконано
4	Опис функціональної схеми регулювання рівня води в парогенераторі	11.11.19 - 24.11.19	виконано
5	Вибір технічних засобів автоматизації	25.11.19 - 08.12.19	виконано
6	Вибір регулюючого органу	09.12.19 - 22.12.19	виконано
7	Підведення засвоєних висновків	23.12.19 - 26.12.19	виконано

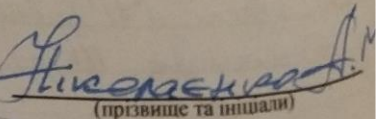
Здобувач вищої освіти


(підпис)


(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи магістра


(підпис)


(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

На пояснювальну записку дипломного проекту на тему: «Удосконалення системи автоматичного регулювання рівня води у парогенераторі ПГВ-1000М в умовах ВП Запорізька АЕС», яка включає 73 сторінки машинописного тексту, 17 рисунків, 5 таблиць та 15 найменувань переліку посилань.

Метою роботи є дослідження системи автоматичного регулювання рівня води в парогенераторі та її удосконалення, за допомогою оптимізації існуючого алгоритму роботи та сучасних засобів автоматизації.

У загальній частині описана технологія виробництва електроенергії на енергоблоці з реактором ВВЕР-1000, а також представлений опис і технічні характеристики парогенератору ПГВ-1000М. Розглянуто САР основних параметрів і описана проблема при регулюванні рівня води в парогенераторі.

У спеціальній частині розроблена функціональна схема та математична модель трьохімпульсної САР рівня води та розраховані оптимальні параметри ПІ-регулятора. При аналізі математичної моделі трьохімпульсною САР рівня води в парогенератор були отримані графіки перехідних процесів САР. Виконано синтез оптимального цифрового ПІ-регулятора, вибрані технічні засоби автоматизації та регулюючі органи клапанів вузла живлення.

АЕС, ПАРОВИЙ ГЕНЕРАТОР, РІВЕНЬ, ТИСК, ВИТРАТА, ТЕМПЕРАТУРА, РЕГУЛЮВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	6
Вступ.....	8
1 Опис об'єкта управління.....	10
1.1 Призначення АЕС.....	10
1.2 Опис теплової схеми роботи енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000..	11
1.3 Система поживної води.....	13
1.3.1 Призначення системи RL.....	13
1.3.2 Склад системи RL.....	14
1.3.3 Призначення основних елементів системи RL.....	15
1.4 Парогенератор ПГВ-1000М.....	17
1.4.1 Призначення парогенератору.....	17
1.4.2 Складові елементи парогенератору.....	17
1.4.3 Опис технологічної схеми.....	20
1.4.4 Взаємодія з іншими системами.....	22
1.4.5 Технічні характеристики парогенератора ПГВ-1000М.....	23
2 Оцінка системи управління парогенератором.....	24
2.1 Регулювання рівня в парогенераторі.....	24
2.2 Регулювання витрати пари (навантаження) в парогенераторі.....	28
2.3 Регулювання тиску в парогенераторі за допомогою АСРЗ.....	33
2.3.1 Призначення АСРЗ.....	33
2.3.2 Робота АСРЗ в режимі ЕГСР.....	34
2.3.3 Режими роботи ШУ СРТ.....	36
2.3.4 Режим «Регулювання тиску пари перед турбіною» (РД-1).....	37
3 Розрахунок оптимального регулятора рівня води в парогенераторі.....	39
3.1 Розробка моделі трьохімпульсної САР рівня води в парогенераторі...	39
3.2 Удосконалення системи регулювання рівня в парогенераторі за допомогою цифрового ПІ-регулятора.....	43

4	Опис функціональної схеми регулювання рівня води в парогенераторі.....	48
4.1	Структура АСК ТП.....	48
4.2	Цифрові регулятори рівня в парогенераторі, реалізовані в ПТК АСР ТВ на базі ТЗА М2002.....	52
4.2.1	Регулятор живлення в парогенераторі (основний) (RL71÷74S02)...	52
4.2.2	Регулятор живлення в парогенераторі (пуско-зупинний) (RL71÷74S04).....	53
4.3	Захисти і блокування клапанів та засувки вузла живлення.....	55
4.4	Типи вимірювальних перетворювачів, що використовуються для контролю і регулювання технологічних параметрів в парогенераторах.....	57
4.5	Об'єм теплотехнічного контролю парогенераторів.....	59
5	Вибір технічних засобів автоматизації.....	60
5.1	Конструктивне виконання ТЗ ПТК АСР ТВ.....	60
5.2	Опис схеми управління виконавчим механізмом.....	64
6	Вибір регулюючого органу.....	65
6.1	Основний регулятор рівня в ПГ.....	65
6.1.1	Принцип роботи клапану.....	65
6.1.2	Принцип витрати робочого середовища.....	67
6.1.3	Принцип роботи регулюючого клапану.....	67
6.2	Пуско-зупинний клапан рівня в ПГ.....	68
	Висновки.....	72
	Перелік посилань.....	73

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЕС	– атомна електростанція
АРМ	– автоматизоване робоче місце
АРП-5С	– автоматичний регулятор потужності
АСРЗ	– автоматична система регулювання і захисту
АСР ТВ	– автоматизована система регулювання турбінного відділення
БУЗ	– блока управління засувкою
БУК	– блока управління клапаном
БЩУ	– блочний щит управління
ВВЕР-1000	– водо-водяной енергетичний реактор
ВЗ	– відсічний золотник
ВМ	– виконавчий механізм
ВП	– вимірювальний прилад
ВР	– верхній рівень
Д-7	– деаератор
ДЖЕН	– допоміжний живильний електронасос
ГПК	– головний паровий колектор
ГСР	– гідравлічна система регулювання
ГЦН	– головний циркуляційний насос
ЕГП	– електрогідравлічний перетворювач
ЕМП	– електромеханічний перетворювач
ЕГСР	– електрогідравлічна система регулювання турбіни
КАГ-24	– комплексний агрегат генераторний
КОС	– контролююча обчислювальна система
КЧХ	– комплексна частотна характеристика
НР	– нижній рівень
ЛОМ	– локальна обчислювальна мережа
МЗО	– модуль зв'язку з об'єктом
МК	– мікроконтроллер

МТР	– механізм струмового розвантаження
П	– пропорційний закон регулювання
ПВ	– поживна вода
ПВТ	– підігрівач високого тиску
ПГ	– парогенератор
ПЕОМ	– персональна електронно-обчислювальна машина
ПЗ	– програмне забезпечення
ПЗВ-750	– повітряний зовнішній вимикач
ПІ	– пропорційно-інтегральний закон регулювання
ПНТ	– підігрівач низького тиску
ПТК	– программно-технічний комплекс
РК	– регулюючий клапан
РО	– регулюючий орган
РПО	– регулятор живлення основний
РППО	– регулятор живлення пуско-зупинний
РТР	– регулятор струмового розвантаження
САР	– система автоматичного регулювання
СРК	– стопорний регулюючий клапан
СК	– стопорний клапан
СМ	– сервомотор
СРТ	– система регулювання турбіни
ТА	– турбоагрегат
ТЖН	– турбоживільний насос
ТЗ	– технологічний захист
ТЗА	– технічні засоби автоматизації
ФГУ	– функціонально-групове управління
ЦВТ	– циліндр високого тиску
ЦНТ	– циліндр низького тиску
ЦП	– циркуляційна петля
ШУ	– шафа управління

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 багатфункціональних 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. Дослідження системи автоматичного регулювання рівня води у парогенераторі ПГВ-1000М в умовах ВП «Запорізька АЕС».

Предмет дослідження. Система автоматичного регулювання рівня води у парогенераторі ПГВ-1000М.

Методи дослідження. Для аналізу системи автоматичного регулювання рівня води у парогенераторі ПГВ-1000М використовувалися методи математичного моделювання, теорія алгоритмів та теорія автоматичного управління.

Практичне значення одержаних результатів. Розглянута у роботі система автоматичного регулювання рівня води у парогенераторі ПГВ-1000М побудована на базі цифрового ПІ-регулятора із застосуванням сучасних технічних і програмних засобів автоматизації та може бути реалізована в управляючих комплексах, які упроваджуються на АЕС України.

Апробація результатів роботи. Основні розробки магістерської роботи були представлені на XXIV науково-технічній 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. Бодров Д. М. Удосконалення системи автоматичного управління системою компенсації тиску першого контуру ВП «Запорізької АЕС» *Металургія як основа сучасної промисловості* : матеріали XXIV наук.-техн. конф. м. Запоріжжя, 26-29 листоп. 2019 р. Запоріжжя, 2019. С. 72.

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається з переліка умовних позначень, вступу, шести розділів, висновка, 15 використаних джерел. Текст магістерської роботи викладено на 74 сторінках, містить 17 рисунків, 5 таблиць.

1 ОПИС ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

1.1 Призначення АЕС

Завданням атомної електростанції є перетворення енергії, що виділяється в результаті ділення атомних ядер пального, в електричну. Цей технологічний процес проходить по наступному ланцюгу перетворення енергії : енергія ділення ядер — теплова енергія теплоносія і робочого тіла (пара) — механічна енергія ротора турбіни — електрична енергія, що виробляється генератором. Для здійснення цих перетворень енергії на АЕС є основні (реактори, парогенератори, турбогенератори) і допоміжні агрегати, сполучені між собою трубопроводами і іншими технологічними лініями. Сукупність технологічного устаткування і реалізованого на ній по відповідних інструкціях і регламентах технологічного процесу називається технологічним об'єктом [3].

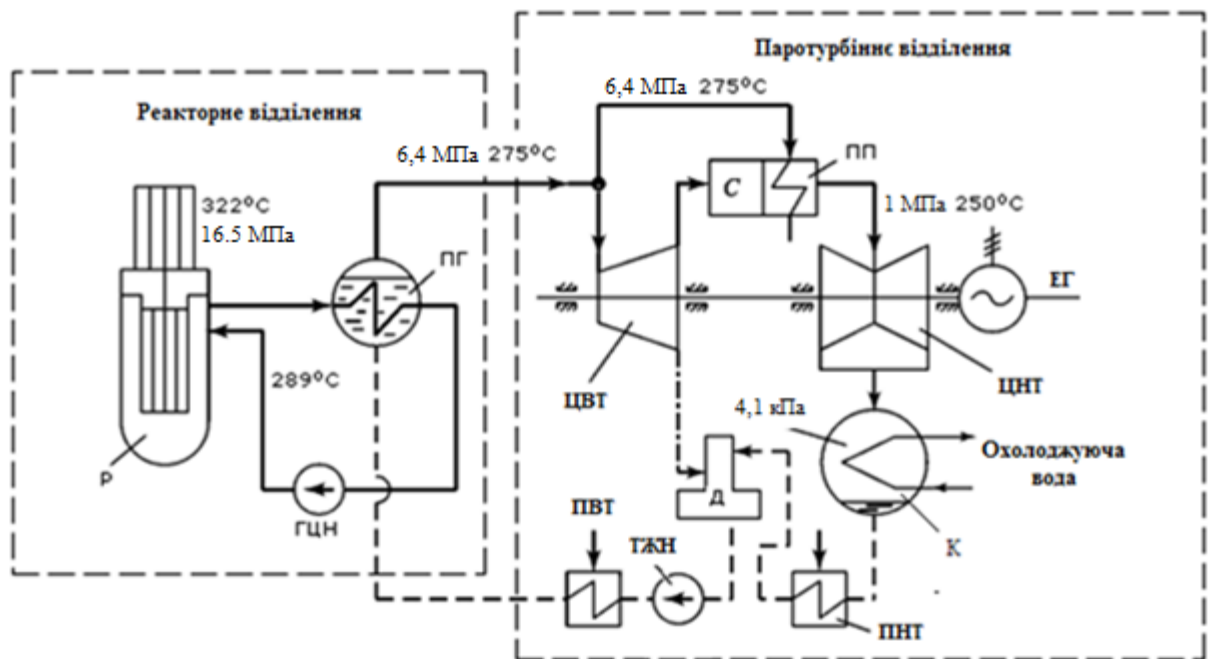
Основною вимогою, що пред'являється до технологічного процесу АЕС, є забезпечення безпеки і надійності її роботи. Під безпекою розуміється зменшення (практично до нуля) вірогідності радіаційного ураження персоналу АЕС і викиду радіоактивних речовин в довкілля в кількостях, які можуть принести збиток прилеглий території і населенню як в нормальних режимах роботи АЕС, так і в аварійних ситуаціях. Надійність АЕС означає зменшення числа аварійних зупинок, можливість збереження часткової потужності блоку при виникненні аварій в основному технологічному устаткуванні і швидкий набір повного навантаження після аварійної зупинки або зниження потужності. Іншою найважливішою вимогою є економічність роботи АЕС, тобто зменшення витрат пального, електроенергії власних потреб, допоміжних матеріалів, заробітної плати на вироблення 1 кВт*ч електричної енергії.

Забезпечення безпеки, надійності і економічності технологічного процесу можливо тільки за умови, що усі величини, що характеризують

процес (температура, тиск, витрата, частота обертання і т.д.), знаходяться в строго заданих межах. Вихід за ці межі спричиняє за собою зниження економічності, а при збільшенні відхилень може привести до аварійної зупинки або навіть руйнування технологічного об'єкту. Тому необхідно постійно контролювати ці величини і впливати на технологічний процес так, щоб підтримувати їх необхідні значення, тобто здійснювати процес управління.

1.2 Опис теплової схеми роботи енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000

Джерелом енергії на Запорізькій АЕС є водо-водяний енергетичний реактор ВВЕР-1000. На рисунку 1.1 показана спрощена схема енергоблоку АЕС.



Р - ядерний реактор; ПГ - парогенератор; ГЦН - головний циркуляційний насос; С - сепаратор; ПП - пароперегрівач; ЦВТ - циліндр високого тиску; ЦНТ - циліндр низького тиску; ЕГ - електрогенератор; ПНТ і ПВТ - підігрівачі низького і високого тисків; ТЖН - турбоживильний насос; Д - деаератор

Рисунок 1.1 - Теплова схема енергоблоку АЕС [14]

Теплоносій, циркулюючий за допомогою головного циркуляційного насоса (ГЦН) в першому контурі, переносить теплову енергію з реактора (Р) в парогенератор (ПГ) і далі передає її робочому тілу другого контуру. Гостра пара подається на циліндр високого тиску турбіни, після чого проходить стадію проміжного перегрівання (ПП) пари з попередньою сепарацією вологи в сепараторові (С), а вже потім поступає на циліндри низького тиску (ЦНТ) турбіни, що обертає електрогенератор (ЕГ). Після турбіни пара спрямовується в конденсатор (К), в якому перетворюється на воду.

З конденсатора основний конденсат (ОК) проходить перший ступінь регенерації тепла через підігрівачі низького тиску (ПНТ), де ОК підігрівається, після чого подається на деаератор (Д), де знову догрівається до температури насичення.

З деаератора поживна вода (ПВ) проходить другий ступінь регенерації тепла через підігрівачі високого тиску, де ПВ підігрівається і після чого подається турбоживильним насосом (ТЖН) в ПГ, де випаровується і перетворюється на пару.

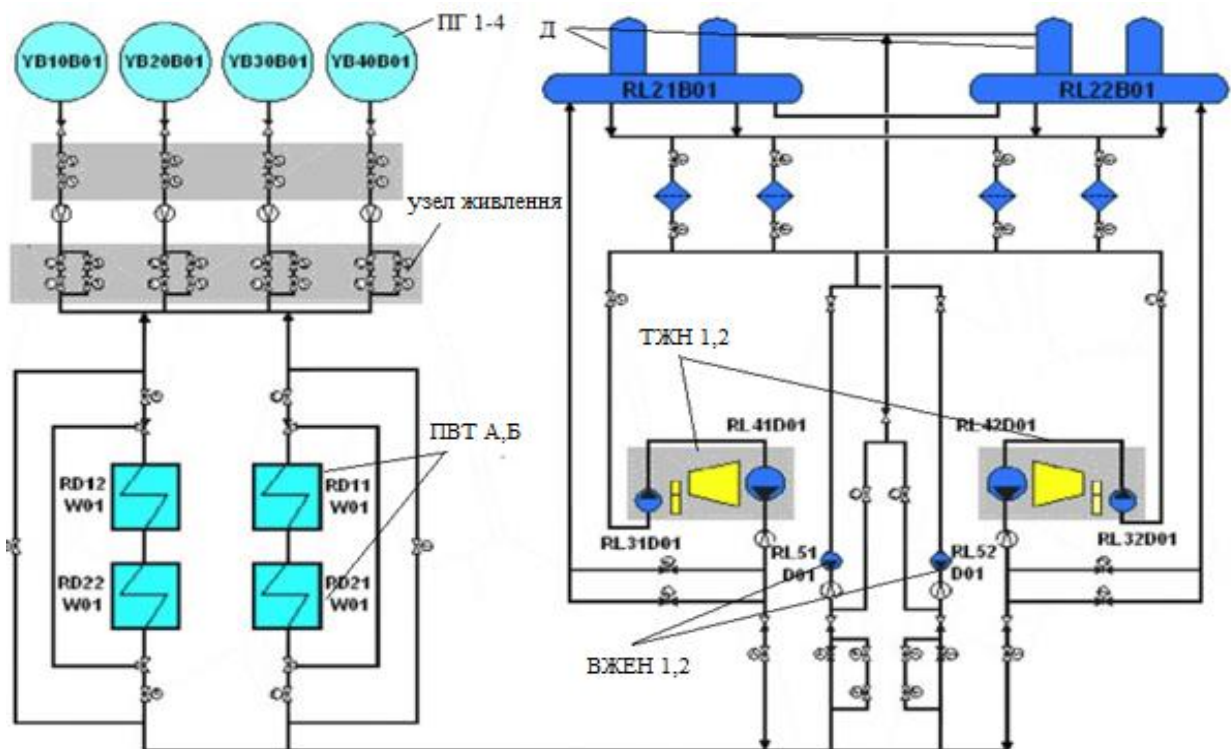
Якість пари, генерованої в ПГ, залежить від кількості підведеного тепла і витрати поживної води. Потужність турбіни залежить від витрати і якості перегрітої пари і тісно пов'язана з потужністю реактора [1].

У дипломній роботі буде розглянуто такий об'єкт управління, як парогенератор ПГВ-1000М, який відноситься до системи головних циркуляційних петель реакторної установки (УВ) першого контуру і тісно пов'язаний з системою поживної води (RL) другого контуру АЕС. Також будуть описані основні параметри і схему управління цього об'єкту управління.

1.3 Система поживної води

1.3.1 Призначення системи RL

Система поживної води (RL) призначена для подачі поживної води в парогенератори (ПГ) з деаераторів підвищеного тиску машзала (Д-7 ата). Система RL (рисунок 1.2) працює в режимі планового або аварійного розхолодження блоку, служить для попереднього прогрівання, деаерації поживної води і заповнення 2 контуру, а також для відведення залишкового тепловиділення реактора при останові або при підтримці блоку в гарячому резерві.



Д – деаератор; ТЖН 1,2 - турбоживильний насос; ВЖЕН 1,2 - допоміжний живильний електронасос; ПВТ А,Б - підігрівач високого тиску; узел живлення - основний (РПО) і пусковий (РППО) регулятор живлення ПГ1-4;
ПГ1-4 - парогенератор

Рисунок 1.2 - Система поживної води Запорізької АЕС [5]

Надійність роботи поживних насосів (ТЖН и ДЖЕН) вимагає раніше всього запобігання скипанню води в самому насосі. Вода в деаераторних баках деаераторів (Д-7 ата) знаходиться при температурі кипіння, тому при зменшенні тиску в поживному насосі за рахунок вхідного опору вона могла б скипіти, порушивши роботу поживного насоса (ТЖН, ДЖЕН).

Для запобігання цьому явищу бак деаератора піднімається над відміткою установки поживного насосу, в нашому випадку він піднятий на відмітку 27.00, а опір ліній, що подають воду до поживного насосу, не повинен перевищувати 9,8 кПа. Тим самим створюється самогальмування випару при вході до поживного насосу і кавітація стає неможливою.

Система поживної води - один з найважливіших елементів теплової схеми атомної електростанції, що забезпечує надійність роботи енергоблоку і безперебійність відпустки електроенергії в мережу. Завдання системи полягає в безперервному заповненні спаду води в пароутворюючій установці (ПГ), пов'язаній перш за все з витратою пари на турбіну, а також з витратою пари іншим споживачам через колектор власних потреб (КВП), витоками в другому контурі (течія, паріння), тощо.

1.3.2 Склад системи RL

Система поживної води складається з:

- двох деаераторів підвищеного тиску (Д-7 ата) RL21(22)B01 з деаераційними голівками ДП-1600-2;
- чотирьох водяних фільтрів по поживній воді (3 знаходяться в роботі постійно, 1 - в резерві);
- двох турбоживильних насосів (ТЖН) SE51(52)D01;
- двох допоміжних живильних електронасосів (ВЖЕН) RL51(52)D01;
- системи регенерації високого тиску (две нитки ПВТ) RD11,12(21,22) W01;
- вузла живлення, що складається з регуляторів рівня парогенераторів (RL71÷74S02,S04) з основними лініями подачі поживної води в ПГ і байпасних

лініях подачі поживної води в ПП з відсікаючими арматурами на цих лініях, розташованого на відмітці 19.00 машзалу;

- трубопроводів і арматури.

1.3.3 Призначення основних елементів системи RL

Деаераційна установка призначена для:

- деаерації основного конденсату;
- створення необхідного запасу поживної води в баках-акумуляторах;
- підігрівання поживної води;
- живлення паром основних ежекторів і ежекторів ущільнень, а також подачі пари на ущільнення турбіни.

Деаераційна установка складається їх 2-х деаераторів RL21,22B01.

Кожен деаератор складається з бака-акумулятора і 2-х деаераційних колонок.

Деаератором типу ДП-3200/185 представляє із себе струминно-барботажний деаератор з двоступінчатою деаерацією води.

Фільтр водяний призначений для запобігання попаданню грубих зважених домішок в механізми і устаткування поживного тракту.

Турбоживильний насос SE51(52)D01 призначений для подачі поживної води до ПП 1÷4.

При нормальній експлуатації енергоблоку в роботі постійно знаходяться обидва ТЖН.

ТЖН складається з наступних елементів:

- бустерного насосу RL31(32)D01;
- привідної турбіни SA-51(52);
- поживного насосу RL41(42)D01;
- знижуючого редуктора;
- допоміжне устаткування.

Бустерний насос призначений для подачі поживної води від деаератора на всас поживного насоса з метою забезпечення його безкавітаційного режиму роботи.

Турбіна SA-51(52) призначена для приводу ПН RL41(42)D01 і через знижуючий редуктор БН RL31(32)D01 розрахована на роботу із змінною частотою обертання.

Допоміжні живильні електричні насоси RL51D01, RL52D01 призначені для подачі поживної води в парогенератори при пусках, остановах, в аварійних режимах і режимі розхолодження енергоблоку.

Регенеративна установка високого тиску призначена для підігрівання поживної води до температури 220 °С при номінальній навантаженні енергоблоку, яка подається через ТЖН з деаератора в ПГ.

До складу регенеративної установки входять дві групи ПВТ. Кожна група ПВТ RD11,21(12,22)W01 складається з двох послідовно підключених по поживній воді ПВД-6,7, трубопроводів і арматури. Гріючим середовищем для ПВД-6 і ПВД-7 служить пара проміжних нерегульованих 2-го і 1-го відборів ТГ відповідно.

Вузол живлення ПГ складається з чотирьох ниток подачі поживної води на ПГ.

Кожна нитка живлення складається з основного регулюючого клапану RL71(72,73,74)S02 і засувки RL71(72,73,74)S01, а також пуско-зупинного регулюючого клапану RL71(72,73,74)S04 і засувки RL71(72,73,74)S03 на байпасі основного РК.

Основні регулятори живлення поживної води ПГ призначені для регулювання витрати поживної води з метою підтримки номінального рівня в ПГ. На кожен ПГ виконана індивідуальна нитка живлення.

Пуско-зупинні регулятори живлення призначені для регулювання витрати поживної води з метою підтримки рівня в ПГ в режимах пуску-останову енергоблоку.

1.4 Парогенератор ПГВ-1000М

1.4.1 Призначення парогенератору

Парогенератори, будучи складовою частиною головних циркуляційних петель реакторної установки (система УВ), розміщені в боксах ПГ (пом. ГА-407/1,2; ГА-506/1,2) герметичної оболонки і призначені для:

- генерування насиченої пари тиском 6,4 МПа з вологістю менше 0,2% при температурі поживної води 220 °С в режимах нормальної експлуатації РУ;
- здійснення тепловідведення від теплоносія 1 контуру водою 2 контуру.

1.4.2 Складові елементи парогенератору

Парогенератор ПГВ-1000М є горизонтальним, однокорпусним, із зануреною поверхнею теплообміну з горизонтально розташованих труб, зі вбудованими паро-сепараційними пристроями, системою роздачі поживної води, паровим колектором, із зануреним дірчастим листом, системою роздачі аварійної поживної води. Корпус ПГ розрахований на проектний тиск другого контуру, рівний 7,84 МПа [15].

У середині корпусу парогенератора містяться два вертикальні колектори, в які закладені кінці теплообмінних труб. Колектор в нижній частині приварений до корпусу ПГ, а верхня частина колектору розташовується в патрубку корпусу.

Матеріал колектору - сталь 10ГН2МФА. Теплопередаюча поверхня ПГ складається з 11000 труб. Матеріал теплообмінних труб - аустенітна сталь 08Х18Н10Т. Теплообмінні труби, зігнуті в U -образні горизонтальні змійовики, скомпоновані в трубний пучок. Розташування труб в пучку шахове, з кроками по висоті пучка 19 мм, по ширині - 23 мм. Кінці теплообмінних труб закріплені в стінках колекторів зварюванням і вальцюванням. Сепараційні пристрої складаються з пакетів жалюзі хвилястої форми і розташованих за пакетами пароприймальних дірчастих листів. Пристрій вирівнювання

парового навантаження складається з дірчастих листів, розташованих під рівнем котельної води.

На корпусі ПГ передбачені штуцери, до яких приєднуються трубопроводи безперервного і періодичного продування, через які частина води видаляється з контуру на очищення.

Поперечний і подовжній розрізи парогенератора ПГВ-1000М представлені на рисунку 1.3 і 1.4.

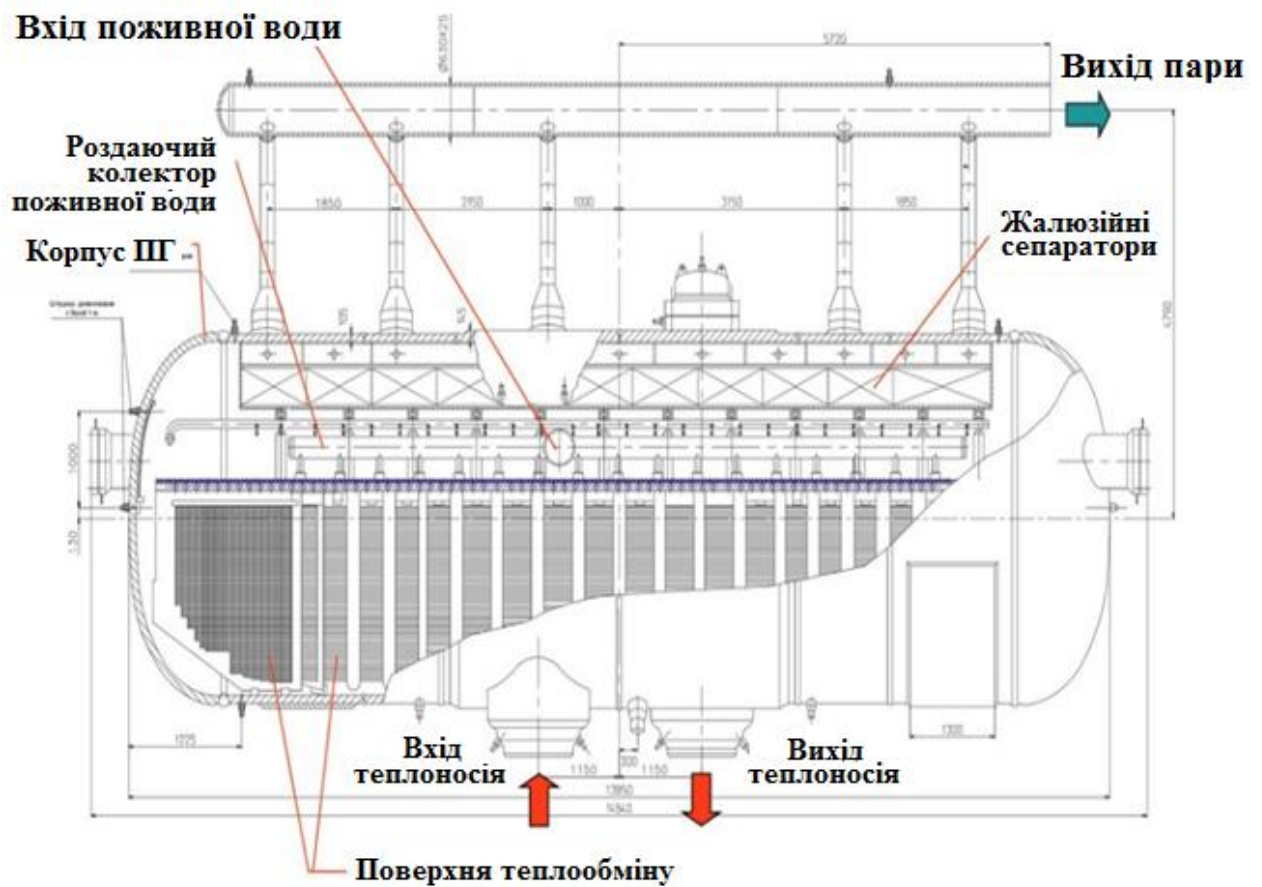


Рисунок 1.3 - Подовжній розріз парогенератора ПГВ-1000М [5]

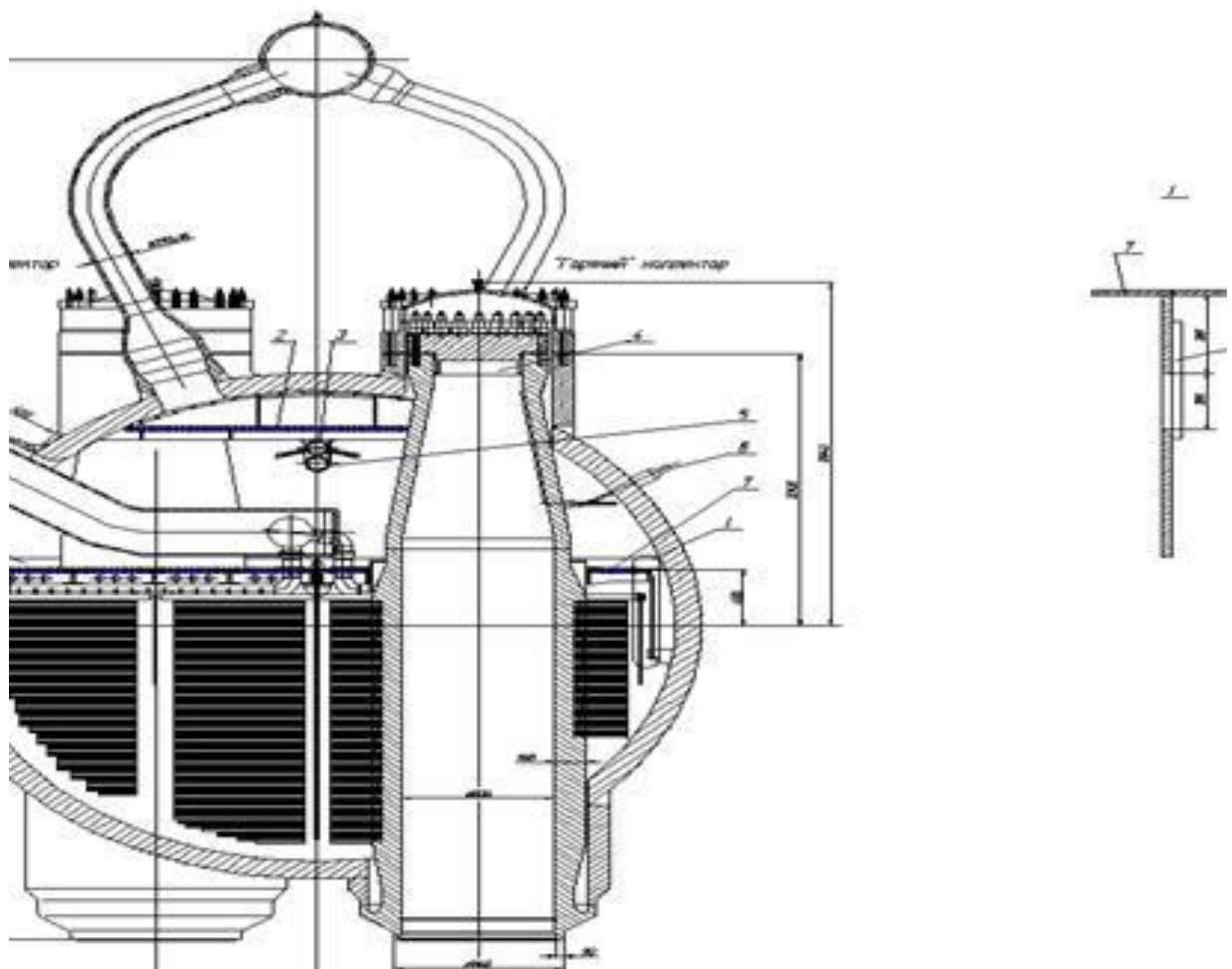
Парогенератор ПГВ-1000М складається з:

- корпусу з патрубками, люками, штуцерами;
- колекторів першого контуру;
- теплообмінної поверхні;
- сепараційних пристроїв;
- пристрої роздачі поживної води;

- зануреного дірчастого листа;
- внутрішньокорпусних пристроїв.

Закраїни зануреного дірчастого листа призначені для організації циркуляції води парогенератора.

Пристрій вирівнювання парового навантаження призначений для перекриття проміжку між корпусом і зануреним дірчастим листом з метою захисту від прориву пари із зони інтенсивного пароутворення.



1 - патрубок поживної води; 2 - пароприймальний дірчастий лист; 3 - колектор підведення аварійної поживної води; 4 - витискувач; 5 - колектор роздачі хімреагентів; 6 - воздушник колектору по 1 контуру; 7 - занурений дірчастий лист; 8 - додатковий дірчастий лист; 9 - засувка; 10 - перегородка сольового відсіку; 11 - торцева закраїна

Рисунок 1.4 - Поперечний розріз парогенератору ПГВ-1000М

До внутрішньокорпусних пристроїв відносяться:

- система опор трубчастого пучка;
- закраїна зануреного дірчастого листа;
- пристрій вирівнювання парового навантаження;
- опускні труби для стоку сепарату у водяний об'єм ПГ;
- захисний пристрій на мінусових відборах однокамерних рівнемірів;
- заспокійливий пристрій на мінусових відборах двокамерних рівнемірів;
- колонка КУП-КВП-1000;
- імпульсні лінії від колонки КУП-1000.

1.4.3 Опис технологічної схеми

Вироблення насиченої пари в режимах нормальної експлуатації засноване на передачі теплової енергії від теплоносія першого контуру котельній воді ПГ, внаслідок чого котельна вода ПГ перетворюється на насичену пару і по паропроводу передається до ТВ блоку.

На енергоблоках з реакторами ВВЕР-1000 встановлено чотири парогенератори. Режими роботи кожного з них ідентичні, тому подальший опис технологічної схеми приведений на рисунку 1.5.

Вода першого контура входить в ПГ, проходить по теплообмінних трубках віддаючи своє тепло котельній воді, повертається на реакторну установку. Котельна вода ПГ, омиваючи теплообмінні трубки нагрівається, скипає і перетворюється на насичену пару. Насичена пара виходить з парогенератора, збирається в паровий колектор і далі по паропроводу передається до турбінного відділення.

На паропроводі встановлений ШЗВК (швидкодіючий захисно-відсічною клапан), призначений для відсікання паропроводу і парогенератора від ТВ в аварійних режимах. На паропроводі до ШЗВК встановлено БРУ-А і ПК ПГ.

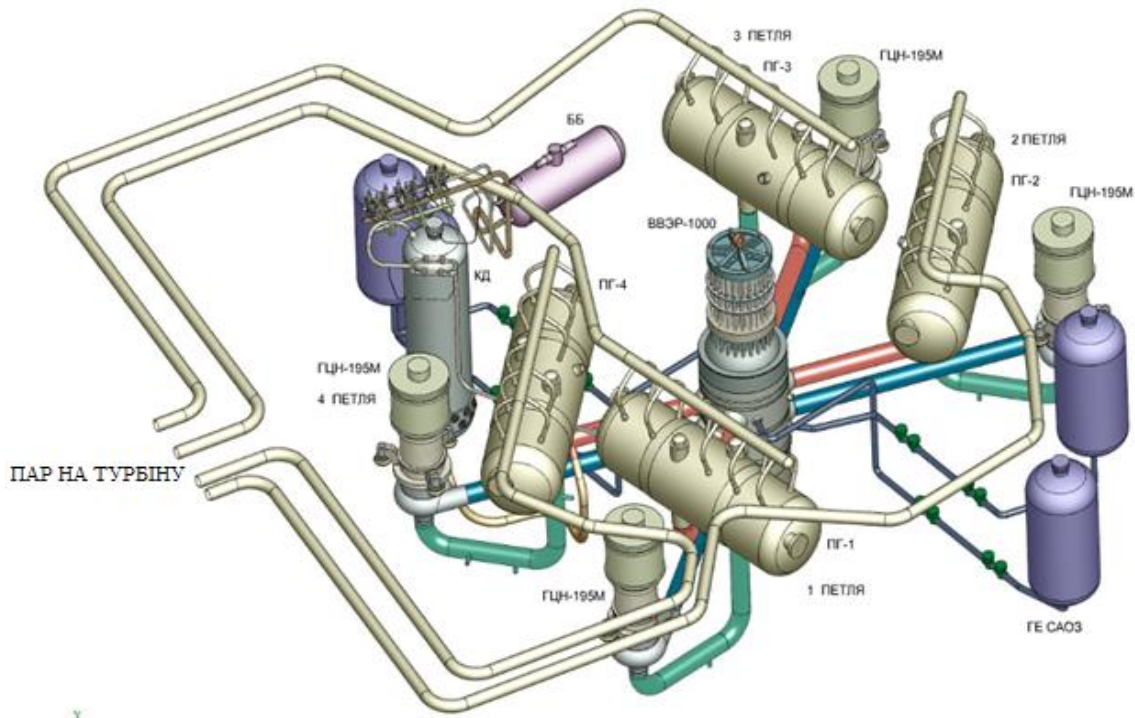


Рисунок 1.5 - Розміщення ПГ у складі 1-го контура

БРУ-А и ПК ПГ призначені для обмеження тиску пари в парогенераторі:

- БРУ-А – 7,16 МПа;
- 1 ПК ПГ – 8,24 МПа;
- 2 ПК ПГ – 8,43 МПа.

Восповнення котельної води ПГ здійснюється системою поживної води.

Поживна вода, поступаюча в ПГ має невелику кількість домішок:

- солей Na;
- окисли Fe;
- кислоти та щелочі;
- кисень та інші.

Для запобігання накопиченню вищезазначених компонентів в котельній воді ПГ, а також для оперативного контролю за якістю котельної води, кожен ПГ має дві лінії продувки:

- постійну (сольовий відсік парогенераторів);
- періодичну (кишень колекторів першого контуру).

При порушеннях в роботі устаткування блоку пов'язаного з повним припиненням подачі поживної води, заповнення котельної води здійснюється по лінії аварійної поживної води.

1.4.4 Взаємодія з іншими системами

Для роботи системи УВ в режимах нормальної експлуатації і в режимах пов'язаними з різними порушеннями в роботі устаткування блоку, дана система взаємодіє з:

- системою головних циркуляційних трубопроводів першого контуру, що підводять і відводять гріюче середовище до парогенераторів (YA);
- з системою гострої пари, що приймає пару від ПГ для подальшого його використання на турбоустановці (RA);
- з системою продувки ПГ, що забезпечує підтримку водно-хімічного режиму котельної води і що дозволяє виробляти оперативний контроль за якістю котельної води ПГ (RY);
- з системою поживної води ПГ, що забезпечує заповнення котельної води і підтримку номінального рівня ПГ (RL);
- з системою аварійної поживної води ПГ призначеною для подачі ХОВ на ПГ в режимах з повним припиненням подачі поживної води (TX).

Взаємодії ПГ з іншими системами представлені на рисунку 1.6.

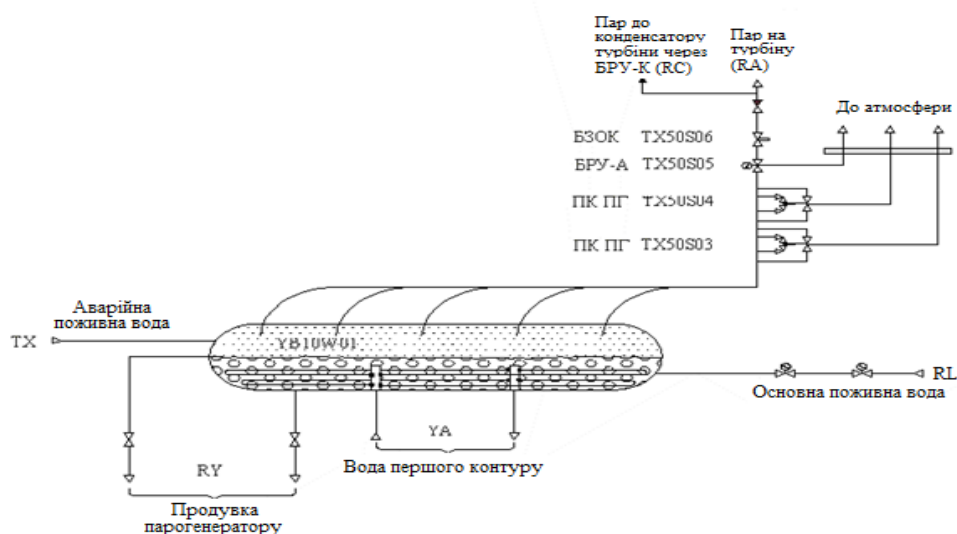


Рисунок 1.6 - Взаємодії ПГ з іншими системами

1.4.5 Технічні характеристики парогенератора ПГВ-1000М

Технічні характеристики парогенератора ПГВ-1000М приведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики ПГВ-1000М [5]

Основний показник	ВВЕР-1000
Число парогенераторів на один реактор (число петель), шт.	4
Електрична потужність на один парогенератор, МВт	250
Паропродуктивність парогенератора, т/ч	1469
Температура теплоносія на вході (виході) парогенератора, °С	322/289
Перепад температур теплоносія, °С	33
Температура поживної води, °С	220
Тиск насиченої пари, МПа	6.4
Вологість пари, %	0,2
Середній логарифмічний температурний натиск, °С	24,7
Поверхня нагріву парогенератора, м ²	5200
Діаметр корпусу, мм	3700
Довжина корпусу, мм	13000
Тиск теплоносія, МПа	16,5
Число/розміри трубок поверхні нагріву, шт/мм	15648 / 12x1, 2
Швидкість теплоносія в трубках, м/с	4,89
Маса, т	265

2 ОЦІНКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОМ

2.1 Регулювання рівня в парогенераторі

Виробництво робочої пари другого контуру на АЕС здійснюється в парогенераторах. У цій роботі розглядається парогенератор ПГВ-1000М, призначений для вироблення насиченої пари (тиском 6,4 МПа з вологістю 0,2% при температурі поживної води складає 220 ± 4 °С) у складі енергоблоку АЕС з водо-водяним енергетичним реактором ВВЕР-1000 [2,13].

Регулювання рівня в парогенераторі (ПГ) зводиться до підтримки матеріального балансу між відведенням пари і підведенням поживної води. Параметром, що характеризує матеріальний баланс, є рівень води в парогенераторі. До стабілізації рівня пред'являються досить жорсткі вимоги. Для ПГ з ВВЕР-1000 номінальний рівень складає 2450 мм від внутрішньої корпусу, що утворює. Точність підтримки рівня в статичних режимах складає ± 50 мм від номінального рівня, в динаміці ± 150 мм від номінального рівня (з урахуванням нечутливості регулятора). Підвищення рівня води від номінального рівня не допускається із-за затоплення і порушення роботи сепараційних пристроїв (занедбаність води в турбіну), а зниження рівня із-за оголення поверхні нагріву.

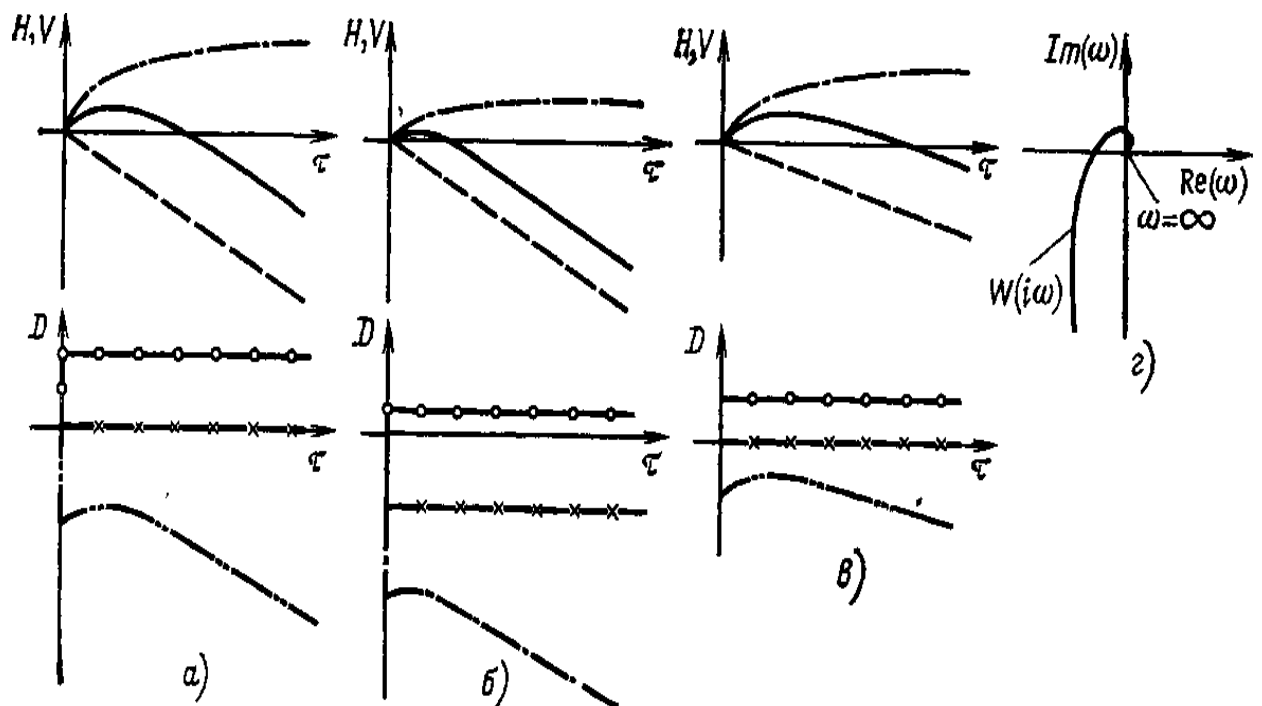
Обурюючим впливом на рівень води ПГ є:

- витрата пари (навантаження);
- зміна витрати поживної води;
- зміна температури поживної води;
- зміна витрати продування;
- зміна тепловідводу з боку першого контуру (зміна середньої температури першого контуру або відключення ГЦН).

Підйом рівня води в парогенераторі може привести до закиду води в турбіну; зниження рівня тут менш небезпечно, чим в реакторах, проте воно призводить до оголення верхньої частини трубчатки, зменшення поверхні теплообміну і небажаного підвищення температури води першого контуру на

вході в реактор.

У усіх подібних схемах підтримка рівня здійснюється шляхом зміни подачі поживної води. У стаціонарних умовах подача поживної води має дорівнювати витраті пари (якщо з регульованої ємності частина води забирається на продування, то витрата поживної води має бути відповідно збільшена). Регулювання в змінних режимах ускладнюється із-за наявності так званого «спухання». Наприклад, якщо збільшити приплив теплоти до рідини при постійній витраті поживної води $D_{пв}$, то це призводить до тимчасового підйому рівня (рисунок 2.1), а потім до його падіння.



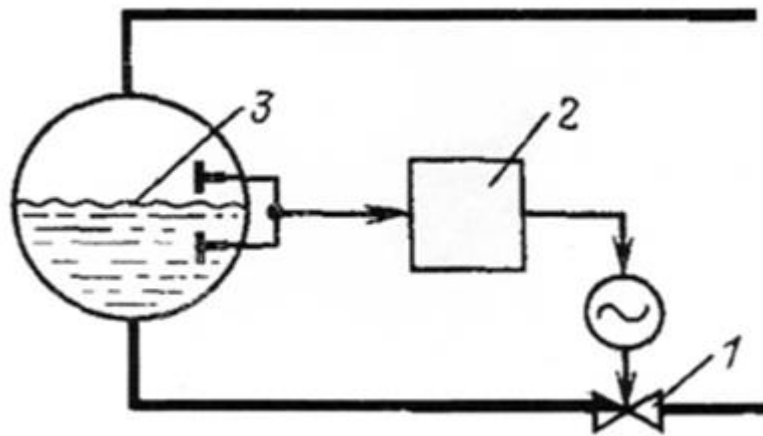
а) - обурення теплової потужності ($D_{пв}=\text{const}$, $P=\text{const}$); б) – обурення по витраті поживної води ($P=\text{const}$, $Q=\text{const}$); в) - обурення по тиску ($D_{пв}=\text{const}$, $Q=\text{const}$); г) — КЧХ по каналу витрата поживної води - рівень, рівень;

— — — — — об'єм води; — * — * — * — об'єм пари;
 — o — o — o — витрата пари; — x — x — x — витрата води;
 ————— входний сигнал трьохімпульсного регулятора рівня

Рисунок 2.1 - Динамічні характеристики парогенератора [3]

Через той характер зміни рівня, регулювання рівня одноімпульсним регулятором 2 (рисунок 2.2), що збільшує витрату поживної води при зниженні рівня 3 і що зменшує витрату при підйомі рівня, неефективно.

Такий регулятор при збільшенні теплової потужності із-за «спухання» рівня в перший момент зменшить витрату води, що через деякий час приведе до падіння рівня, більшого чим без регулювання. З іншого боку, при обуренні зміною витрати поживної води (наприклад, при зміні режиму роботи насосів) сигнал на вхід одноімпульсного регулятора прийде зі значним запізнюванням, що також погіршує динамічну точність АСР.

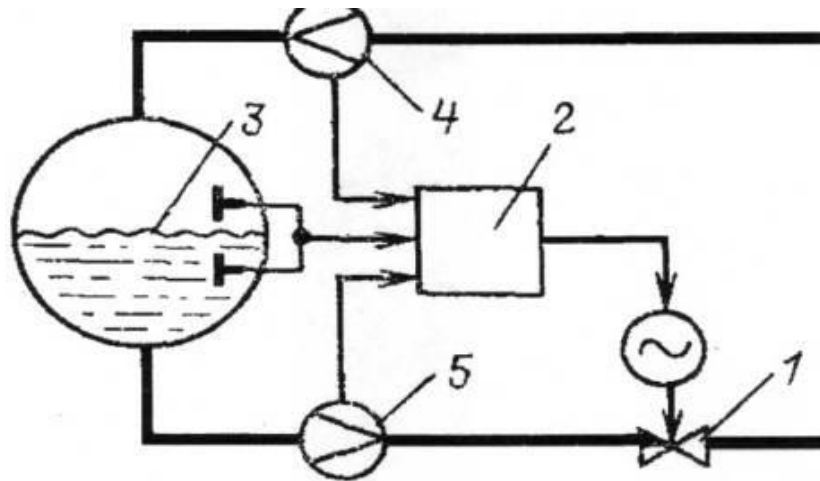


1 - поживний клапан; 2- регулятор; 3 - сигнал по рівню води

Рисунок 2.2 - Одноімпульсна схема регулювання рівня

Значною мірою ці недоліки ліквідовуються при використанні трьохімпульсної САР рівня води в ПГ з ПІ-регулятором (рисунок 2.3).

У такій схемі виконавчий механізм поживного клапана 1 управляється регулятором 2, на вхід якого подаються сигнали по рівню 3, витраті пари 4 і витраті поживної води 5. Знаки сигналів вибираються так, щоб відкриття клапана відбувалося при зниженні рівня і витрати води і збільшенні витрати пари. При усьому цьому отримуємо аперіодичний перехідний процес регулювання.



1 - поживний клапан; 2 - регулятор; 3 - сигнал по рівню води; 4 – сигнал по витраті пари; 5 – сигнал по витраті поживної води

Рисунок 2.3 - Трьохімпульсна схема регулювання рівня води [13]

Коефіцієнти посилення каналів по витраті води і пари беруться рівними. Тому в стаціонарному режимі ці сигнали урівноважуються і нульовий сигнал на вході регулятора буде тільки при значенні рівня, рівному заданому.

Розглянемо роботу трьохімпульсного регулятора при різних обуреннях. При миттєвій зміні витрати поживної води сигнал на вході в регулятор з'являється практично миттєво і буде відпрацьований регулятором ще до того, як помітно відхилиться рівень. Аналогічно при обуренні тепловою потужністю на вході в регулятор відразу ж з'являється сигнал збільшення витрати пари, що вимагає вже в перший момент збільшення витрати води.

Налаштування трьохімпульсного регулятора рівня починається з налаштування контуру регулювання поживної води при відключених сигналах 4 і 5. Оптимальні налаштування регулятора 2 в цьому режимі сильно залежать від конкретних особливостей об'єкту (інерції витратоміру, люфтів в виконавчому механізмі і т.п.) що важко піддаються розрахунку. Тому зазвичай цей контур настроюється безпосередньо на об'єкті, без попередніх теоретичних розрахунків. Після визначення коефіцієнта посилення каналу по витраті води встановлюється рівний йому коефіцієнт по витраті пари. Контур

регулювання витрати води мало інерційний, і при визначенні коефіцієнта посилення по рівню можна вважати, що витрата води миттєво встановлюється рівною сумарному значенню витрати пари відхилення рівня. Тоді регулятор 2 при сигналі, що подається йому на вхід 5, можна розглядати як пропорційний регулятор, що змінює витрату води пропорційно відхиленню рівня 3 від його заданого значення.

Для визначення оптимального коефіцієнта посилення цього регулятора (тобто відношення коефіцієнтів посилення по рівню і по воді) будується комплексна частотна характеристика (КЧХ) каналу регулюючої дії (рис. 2.1 (г)). Ця характеристика визначається за експериментальними даними, отриманими на об'єкті, або на підставі теоретичних розрахунків.

По цій КЧХ методами, відомими з теорії регулювання, розраховується оптимальне налаштування пропорційного регулятора, що і визначає необхідне значення коефіцієнта.

Після установки отриманих коефіцієнтів потрібна перевірка роботи регулятора як в нормальних, так і в аварійних режимах.

2.2 Регулювання витрати пари (навантаження) в парогенераторі

Поживна установка є відповідальним елементом теплової схеми АЕС. Витрата поживної води $D_{пв}$ повинна компенсувати спад води в парогенерируючій установці:

$$D_{п.в} = D_0 + D_{пр}, \quad (2.1)$$

де D_0 — витрата пари на турбіну;

$D_{пр}$ — витрата продувальної води на очищення.

Витрата поживної води впродовж року не залишається постійною при одному і тому ж виробленні електроенергії. Це пов'язано з тим, що влітку температура води, що охолоджує, поступає в конденсатор, вище в порівнянні із зимовим періодом. Значить, тиск в конденсаторі буде вищий і використаний

в турбіні теплоперепад робочої пари зменшиться. Для вироблення тієї ж кількості електроенергії треба збільшити витрату пари на турбіну D_0 , отже, зростає і $D_{пр}$, тому $D_{пр}$ вибирається по літньому графіку роботи АЕС [3].

Поживні насоси, що подають поживну воду в парогенерируючу установку, мають тиск на натиску вище за тиск в парогенерируючій установці на величину гідравлічного опору поживного тракту.

Розглянемо схему турбопривода, показану на рисунку 2.4.

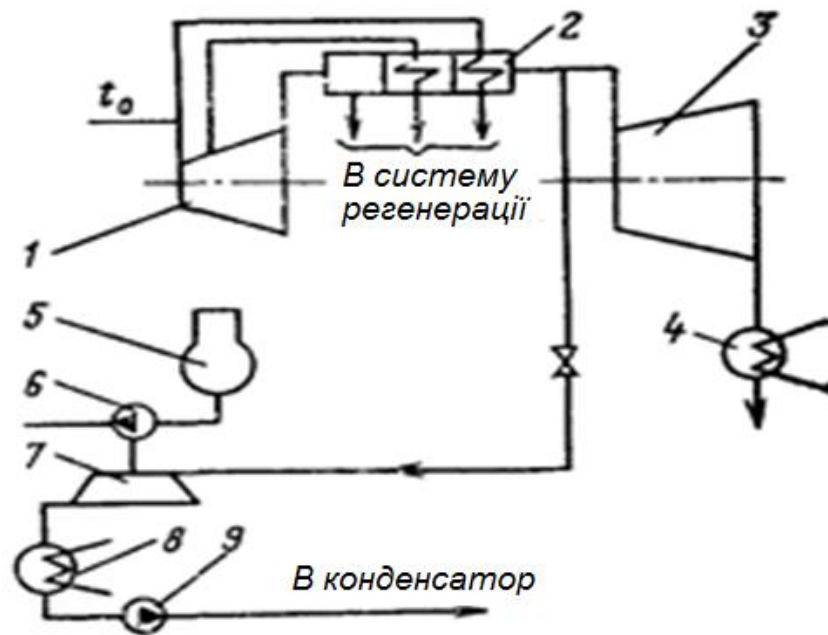
На приводну турбіну 7 поживного насоса 6 поступає перегріта пара після сепаратора-пароперегрівача 2.

Приводна турбіна має свій конденсатор 8 з подачею конденсату насосом 9 в основний конденсатор турбіни 4. Потужність поживних насосів АЕС з реактором ВВЕР-1000 складає близько 25 МВт. Для турбіни К-500-60/1500 встановлюються два поживні насоси з турбоприводом потужністю 12,5 МВт. Насоси з турбоприводом, як правило, не резервуються, оскільки потрібно було б постійно підтримувати паропровід подачі пари на резервний насос в гарячому стані для швидкого запуску резерву.

Перевагою турбопривода є його вищий ККД в порівнянні з електроприводом при великих потужностях і можливість роботи поживних насосів при повному знеструмленні станції, коли зникає напруга на шинах власних потреб станції, пара продовжує поступати на приводну турбіну, і подача води триває.

Окрім основних поживних насосів встановлюються ще аварійні поживні насоси: два з них підключаються, як і звичайні поживні насоси, до бака деаератора, а два — до баків запасу конденсату. Напірні лінії цих насосів об'єднані. Аварійні насоси підключені до системи надійного електроживлення.

Поживні насоси забирають воду з деаератора, де вона знаходиться при температурі насичення. Для забезпечення нескипання цієї води на всасі деаератори монтують на висоті (27 м) більшій, по відношенню до поживного насоса.



- 1 — циліндр високого тиску турбіни; 2 — СПП; 3 — циліндр низького тиску турбіни; 4 — основний конденсатор; 5 — деаератор; 6 — поживний насос; 7 — турбопривод поживного насоса; 8 — конденсатор турбоприводу; 9 — конденсатний насос

Рисунок 2.4 - Схема подачі пари на приводну турбіну поживного насосу

На напірній лінії поживних насосів встановлений зворотний клапан, що виключає поширення тиску на напірній стороні на всмоктуючу лінію при зупинці насоса, яка не розрахована на високий тиск.

Продуктивність поживних насосів регулюється шляхом зміни числа оборотів, за допомогою цифрових регуляторів SE51, 52C11.

Регулювання продуктивності ТЖН при зміні навантаження РУ є дуже важливим завданням регулювання ЕБ.

Система регулювання продуктивності ТЖН, тісно пов'язана з системою регулювання поживної води ПГ, сприяє підвищенню економічної роботи ЕБ, його динамічної стійкості в перехідних режимах і надійної роботи регулюючих поживних клапанів (РПК).

Розглянемо деякі теоретичні питання регулювання продуктивності ТЖН. При зміні навантаження ЕБ і витрати пари на турбіну відповідно змінюється подача поживної води в ПГ за допомогою РПК регулятором рівня в ПГ. Якщо на номінальному навантаженні РПК майже повністю відкритий і перепад тиску на ній відносно не великий, то зі зменшенням навантаження клапан прикривається і перепад на ній зростає ($\Delta p \approx 0,59$ МПа при $Q < 60 \%N_{\text{НОМ}}$, $\Delta p \approx 1,57$ МПа при $Q > 60 \%N_{\text{НОМ}}$).

Характер зміни перепаду тиску на клапані $\Delta P_{\text{КЛ}}$ показаний на рисунку 2.5.

Крива $\Delta p_{\text{КЛ}}$ характеризує втрати в поживній лінії при зміні витрати поживної води без урахування втрат в РПК. При номінальному навантаженні ЕБ і витрати поживної води в ПГ номінальну витрату поживної води на РПК встановлює перепад тисків $\Delta p_{\text{К}}^H$. При зниженні навантаження на ПГ регулятор рівня в ПГ встановлює знижена витрата поживної води $G_{\text{ПВ1}}$.

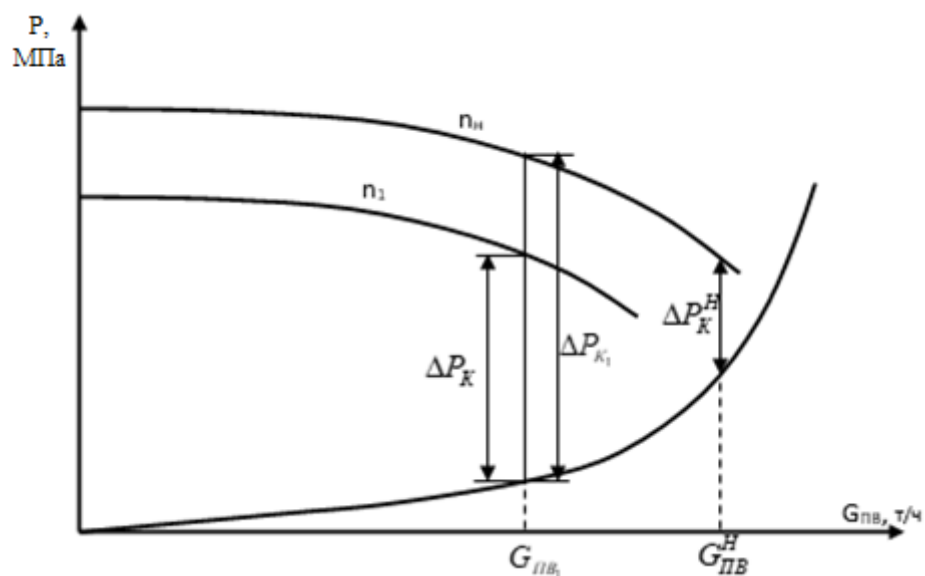


Рисунок 2.5 - Характер зміни перепаду тиску на клапані $\Delta P_{\text{КЛ}}$

В цей же час необхідне зниження продуктивності на поживній воді можна забезпечити шляхом зниження швидкості обертання ТЖН до величини n_I , проте перепад на клапані $\Delta p_{\text{КЛ}}$ буде менше, ніж при колишній швидкості обертання, таким чином виникає завдання з'ясувати, як повинен змінюватися

перепад тиску на клапані при зміні навантаження ПГ (блоку) при постійному (приблизно на 80 %) відкритті клапана (положення мінімального дроселювання) [4].

Масова витрата поживної води:

$$G_{нв} = \mu \cdot S_{кл} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_{н}} \quad (2.2)$$

де μ – коефіцієнт витрати клапана;

$S_{кл}$ – площа прохідного перерізу клапана;

ρ – щільність поживної води.

Звідси:

$$S_{кл} = \frac{G_{нв}}{\mu \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_{кл}}} \quad (2.3)$$

Витрата поживної води пропорційна навантаженню блоку, за винятком теплової потужності циркуляційної петлі ЯР:

$$Q = \kappa \cdot (T_{г} - T_{х}) \cdot \sqrt{\Delta p_{н2}} \quad (2.4)$$

де $T_{г}$ и $T_{х}$ - температура води на гарячій і холодній нитці ПГ;

$\Delta p_{н2}$ - перепад тиску на ПГ, що характеризує витрату води в петлі.

Таким чином,

$$G_{нв} = \kappa_2 \cdot Q = \kappa_3 \cdot (T_{г} - T_{х}) \cdot \sqrt{\Delta p_{н2}} = \kappa_3 \cdot \Delta T \cdot \sqrt{\Delta p_{н2}} \quad (2.5)$$

У виразі (2.5) перепад тиску на клапані $\Delta p_{кл}$ можна замінити перепадом тиску Δp між колектором в трубопроводі в самому ПГ і паропроводі від ПГ до ГПК точніше пропорційно квадрату витрати води (пари), тобто:

$$\mu \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_{кл}} = \kappa_4 \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (2.6)$$

Вираз (2.3) з урахування (2.5) і (2.6) можна записати:

$$S_{кл} = \frac{\kappa_3 \cdot \Delta T \cdot \sqrt{\Delta p_{nz}}}{\kappa_4 \cdot \sqrt{\Delta p}}. \quad (2.7)$$

Підставивши вимоги $S_{к.л} = \text{const}$, отримуємо:

$$\sqrt{\Delta p} = \kappa \cdot \Delta T \cdot \sqrt{\Delta p_{nz}} = \kappa \cdot Q. \quad (2.8)$$

Таким чином, $\sqrt{\Delta p}$ має бути пропорційним тепловій потужності ЕБ, зокрема, циркуляційній петлі реактора. З цього виходить, що регулятор продуктивності ТЖН повинен при зміні потужності блоку змінювати витрату поживної води так, щоб витримувалося співвідношення (2.8). Сигнал по тепловій потужності петлі формується в схемі основного регулювання живлення.

2.3 Регулювання тиску в парогенераторі за допомогою АСРЗ

2.3.1 Призначення АСРЗ

Автоматична система регулювання і захисту турбоагрегату призначена для виконання наступних функцій:

- автоматичне, дистанційне і місцеве управління турбіною при пусках, на холостому ході, при синхронізації ТГ з мережею і при роботі ТА на всіх навантаженнях;
- підтримка, залежно від включеного режиму роботи, частоти обертання ротора, потужності на клеммах генератора, тиск пари в ГПК;
- забезпечення переведення турбіни в режим несення навантаження рівня власних потреб при відключенні ПЗВ-750;

- останов турбіни (з посадкою СК) при спрацьовуванні технологічних захит або по команді оператора;
- автоматичне розвантаження ТГ від дії технологічних захит [6].

2.3.2 Робота АСРЗ в режимі ЕГСР

АСРЗ ТА може знаходитися в станах ЕГСР і ГСР. Переведення управління АСРЗ ТА з ЕГСР на ГСР і назад здійснює оператора ключем управління «ЕГСР – ГСР», встановленим на панелі НУ-26 БЩУ. У ЕГСР управління РК-А,Б ТА здійснюється переміщенням виконавчої частини ЕМП-А,Б під дією струму управління, сформованого в ШУ СРТ.

Сигнал управління ШУ СРТ на закриття (відкриття) РК приводить до зміни струму управління ЕМП і зсуву ВЗ ЕГП вниз (вгору) від настроювального положення, що приводить до зменшення (збільшення) тиску масла в камері над ВЗ (рис. 2.6). Після переміщення ВЗ вниз (вгору) від середнього положення починається переміщення поршня СМ і РК на закриття (відкриття). Переміщення поршня СМ продовжується до тих пір, поки сигнал управління не буде компенсований сигналом зворотного зв'язку від ВП положення СМ. Під дією електричного зворотного зв'язку (по положенню СМ) ЕГП повертається в середнє положення (струм управління дорівнює рівноважному значенню).

Окрім цього, при відхиленні струму управління ЕМП від рівноважного значення включається в роботу регулятор струмового розвантаження (РТР), команди якого переміщують МТР у напрямі закриття (відкриття) РК. Таким чином, в статичному стані положення МТР відповідає положенню СМ і перемикання АСРЗ ТА під управління ГСР не приводить до зміни положення СМ.

Переміщення поршня СМ продовжується до тих пір, поки сигнали по виміру положення СМ не компенсують розузгодження в ШУ СРТ. МТР, за фактом відхилення струму управління за межі зони нечутливості, починає

переміщати свій ВЗ на лінії управління, викликаючи додаткове переміщення головного сервомотора (ГСМ).

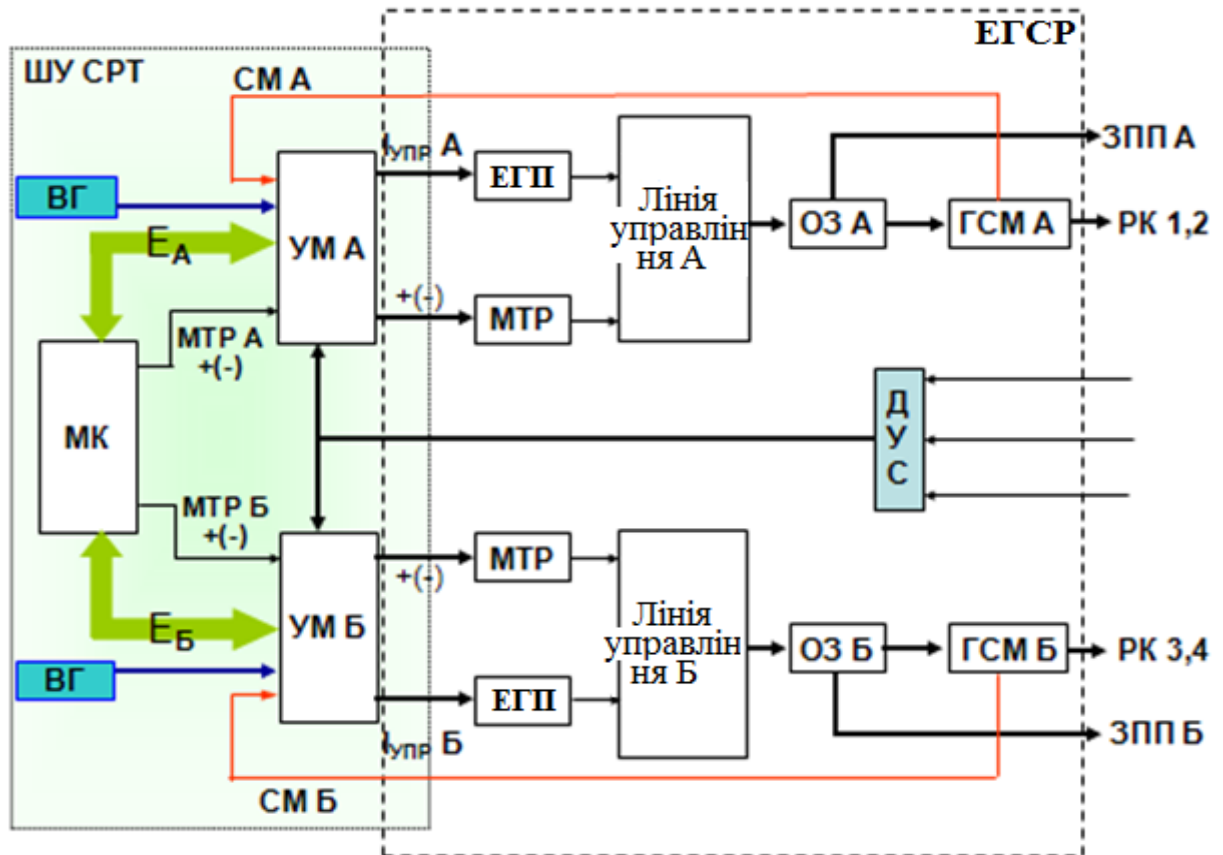


Рисунок 2.6 – Схема управління РК А,Б ТА за допомогою ШУ СРТ

Формування управляючого струму I_A (I_B) на ЕГП виконане за трьохканальною схемою для кожного з ЕГП (ЕГП-А,Б), чим досягається необхідне резервування каналу управління.

Управляючий струм одного каналу виражений наступною формулою:

$$I_{Ai(Bi)} = K_H \cdot (H_{Ai(Bi)} - E_{A(B)}), \quad (2.9)$$

де $I_{Ai(Bi)}$ - управляючий струм i -го каналу на ЕГП-А (Б), мА;

K_H - коефіцієнт посилення по положенню СМ;

$H_{Ai(Bi)}$ - сигнал з i -го ВП положенню СМ сторони А (Б), мм;

$E_{A(B)}$ - управляючий сигнал ШУ СРТ, сформований за законом поточного режиму роботи ЕГСР, %.

Сумарний управляючий струм виражений наступною формулою:

$$I_{A(B)} = I_{A1(B1)} + I_{A2(B2)} + I_{A3(B3)}, \quad (2.10)$$

де $I_{A1(B1)}$ - управляючий струм 1-го каналу на ЕГП-А (Б), мА;

$I_{A2(B2)}$ - управляючий струм 2-го каналу на ЕГП-А (Б), мА;

$I_{A3(B3)}$ - управляючий струм 3-го каналу на ЕГП-А (Б), мА.

2.3.3 Режими роботи ШУ СРТ

Залежно від стану зовнішніх пристроїв (АРП-5С, КАГ-24, ПЗВ-750, СК ТА, тощо), технологічних параметрів енергоблоку і дій оператора з пультового відеокадру СРТ АРМ БЩУ (рис. 2.7), ШУ СРТ забезпечує формування і видачу управляючого сигналу ЕА(Б) відповідно до наступних режимів роботи ЕГСР:

- «Стеження»;
- «Розворот турбіни» (РР);
- «Випробування регулюючих клапанів» (ОРК);
- «Регулювання частоти» (РЧ);
- «Регулювання потужності» (РМ);
- «Регулювання тиску пари в ГПК» (РД-1);
- «Регулювання тиску пари в ГПК із зниженою уставкой» (РД-2);
- «Регулювання тиску пари в ГПК і потужності» (РДМ);
- «Скидання навантаження» (СН);
- «Расходжування РК»;
- «Контроль»;
- «Ремонт».

У даній роботі розглянуто один з основних режимів роботи ШУ СРТ (РД-1), який призначений для регулювання тиску в ГПК.

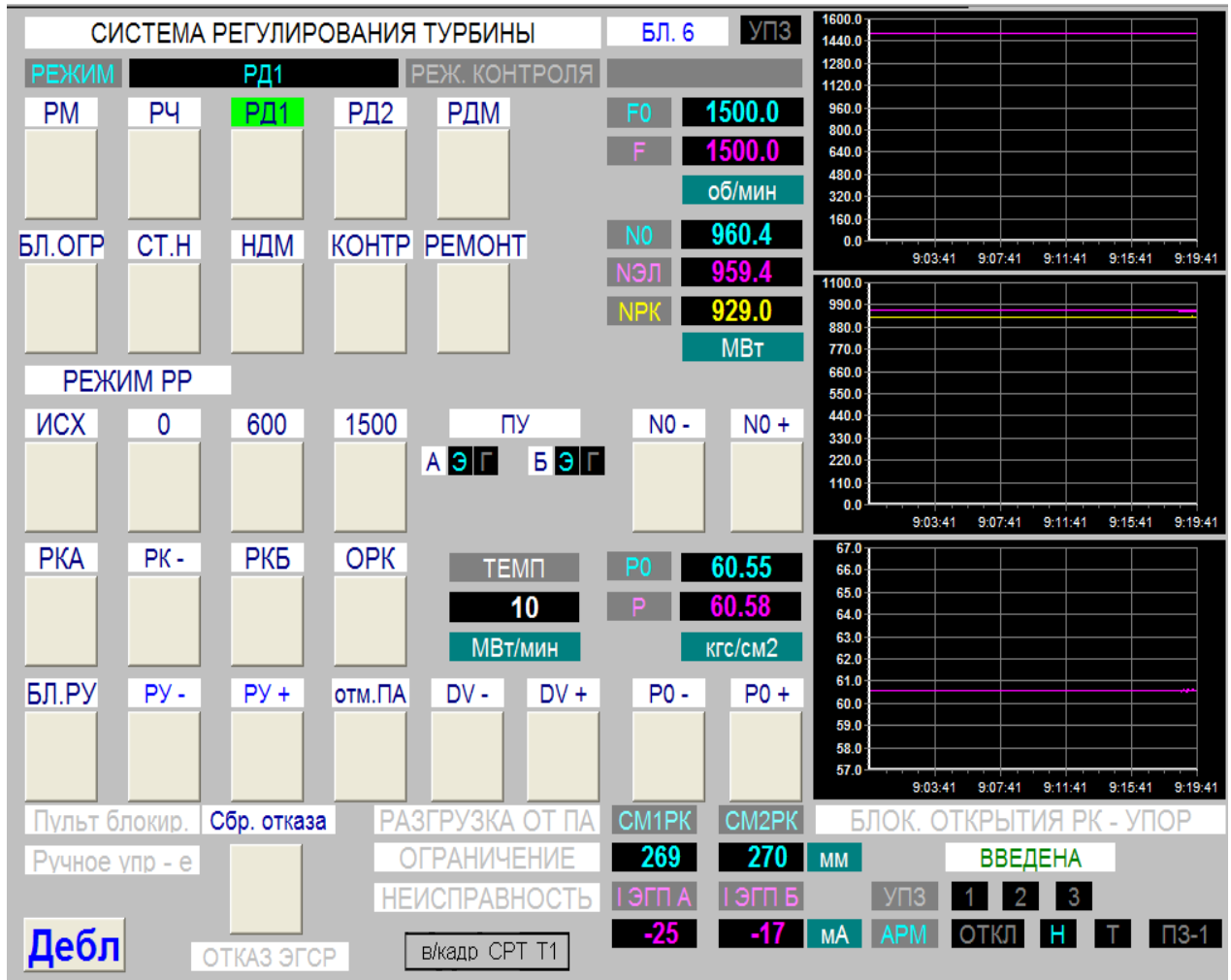


Рисунок 2.7 - Видяд пультавогo вiдеокадру СРТ АРМ БЩУ [7]

2.3.4 Режим «Регулювання тиску пари перед турбіною» (РД-1)

Режим РД-1 призначений для регулювання тиску пари в ГПК.

Закон регулювання виражений наступною формулою:

$$E_{A(B)i} = \frac{F_{ПР} - F_i}{F_{ном} K_{f1}} + K \left[\left(\frac{P_i - P_{ПРi}}{P_{ном}} \right) + \frac{\Delta}{T} \sum_{j=1}^i \left(\frac{P_j - P_{ПРj}}{P_{ном}} \right) \right] \pm E_{pk1(2)}, \quad (2.11)$$

де $E_{A(B)i}$ - управляючий сигнал для формування струму на ЕГП-А(Б), %;

K_{f1} - коефіцієнт статизму "частотного коректора", рівний 7 %;

$F_{ПР}$ - програмне значення швидкості обертання ротора ТА об/хв;

F_i - поточна швидкість обертання ротора ТА, об/хв;

$P_{ПРi}$ - програмне значення тиску пари в ГПК, МПа;

- P_j - поточне значення тиску пари в ГПК, МПа;
 K - коефіцієнт пропорційності;
 Δ - тривалість такту управління, с;
 T - постійна часу інтегрування, с;
 $F_{\text{НОМ}}$ - номінальне значення швидкості обертання ротора ТА, об/хв;
 $P_{\text{НОМ}}$ - номінальне значення тиску пари в ГПК, МПа;
 $E_{pk1(2)}$ - складова закону регулювання в режимі "Расходжування клапанів", А (знак «+» ставиться перед E_{pk1} , знак «-» – перед E_{pk2} при расходжуванні РК від кнопки-табло «РКА» на пультовому відеокадрі СРТ АРМ БЩУ і навпаки, при расходжуванні РК від кнопки-табло «РКБ»).

У ЕГСР завдання підтримки тиску пари в ГПК формується рівним значенню тиску пари в ГПК у момент включення режиму РД-1. Максимальне значення завдання обмежується значенням 6,37 МПа, а мінімальне – 5,69 МПа.

Зміна тиску пари в ГПК в режимі РД-1 виконує оператора:

- зміною завдання тиску пари в ГПК, для чого натиснути кнопку-табло «РО-» («РО+») на пультовому відеокадрі СРТ АРМ БЩУ. Швидкість зміни завдання складає 9,8 кПа/с;

- ручним управлінням, для чого натиснути кнопку-табло «РУ+» («РУ-») на пультовому відеокадрі СРТ АРМ БЩУ з індикацією табло «Ручное управление». Швидкість зміни електричної потужності складає 20 МВт/с.

Швидкість приведення електричної потужності ТА до завдання при включенні ЕГСР в роботу встановлена 10 МВт/хв (існує можливість зміни швидкості оператором за допомогою кнопок-табло «DV-» («DV+») в діапазоні від 1 МВт/хв до 30 МВт/хв на пультовому відеокадрі СРТ АРМ БЩУ).

3 РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА РІВНЯ ВОДИ В ПАРОГЕНЕРАТОРІ

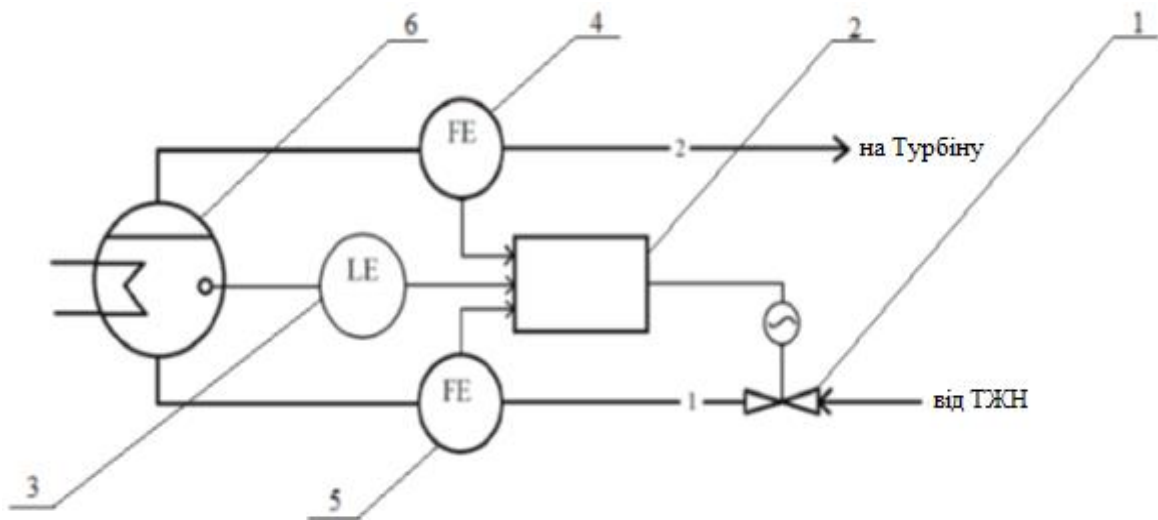
3.1 Розробка моделі трьохімпульсної САР рівня води в парогенераторі

Регулювання рівня в парогенераторі (ПГ) зводиться до підтримки матеріального балансу між відведенням пари і підведенням поживної води. Параметром, що характеризує матеріальний баланс, є рівень води в парогенераторі. До стабілізації рівня пред'являються досить жорсткі вимоги. Для ПГ з ВВЕР-1000 номінальний рівень складає 2450 мм від внутрішньої створюючого корпусу. Точність підтримки рівня в статичних режимах складає ± 50 мм від номінального рівня, в динаміці ± 150 мм від номінального рівня (з врахуванням нечутливості регулятора). Підвищення рівня води від номінального рівня не допускається із-за затоплення і порушення роботи пристроїв (заброс води в турбіну) сепарацій, а зниження рівня із-за оголення поверхні нагріву.

Для регулювання рівня води в парогенераторі розроблена трьохімпульсна схема, показана на рисунку 3.1. У даній схемі виконавчий механізм поживного клапана управляється регулятором, на вхід якого подаються сигнали по рівню, витраті пари і витраті води.

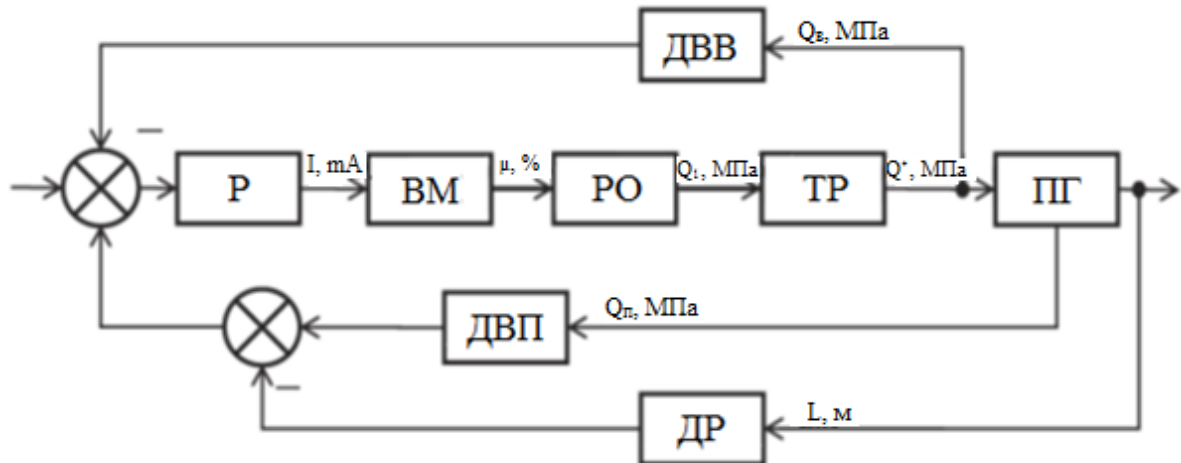
Використання трьохімпульсної САР рівня води в ПГ з ПІ-регулятором дозволяє з імпульсами по витраті поживної води і пари регулювати об'єкт з ефектом «спухання».

Таким чином, можливе придушення стрибкоподібних обурень витратою пари величиною до 1,8 МПа без виходу рівня з п'ятдесяти міліметрової зони. При всьому цьому отримуємо аперіодичний перехідний процес регулювання. На підставі схеми рисунка 3.1 розроблена функціональна схема САР рівня, представлена на рисунку 3.2.



1 — виконавчий механізм живильного клапана; 2 — регулятор; 3 — сигналізатор по рівню; 4 — сигналізатор по витраті пари; 5 — сигналізатор по витраті води; 6 — парогенератор

Рисунок 3.1 - Трьохімпульсна схема регулювання рівня води



Р — регулятор; ВМ — виконавчий механізм; РО — регулюючий орган;
 ТП — трубопровід; ПГ — парогенератор; ДВП — датчик витрати пари;
 ДР — датчик рівня; ДВВ — датчик витрати води

Рисунок 3.2 - Функціональна схема регулювання рівня води в парогенераторі

Передавальна функція парогенератора описується як сума трьох паралельно сполучених блоків, що враховують динамічні властивості парогенератора. З врахуванням розрахованих чисельних значень параметрів передавальних функцій елементів САР, побудовані моделі системи в Simulink, представлені на рисунку 3.3.

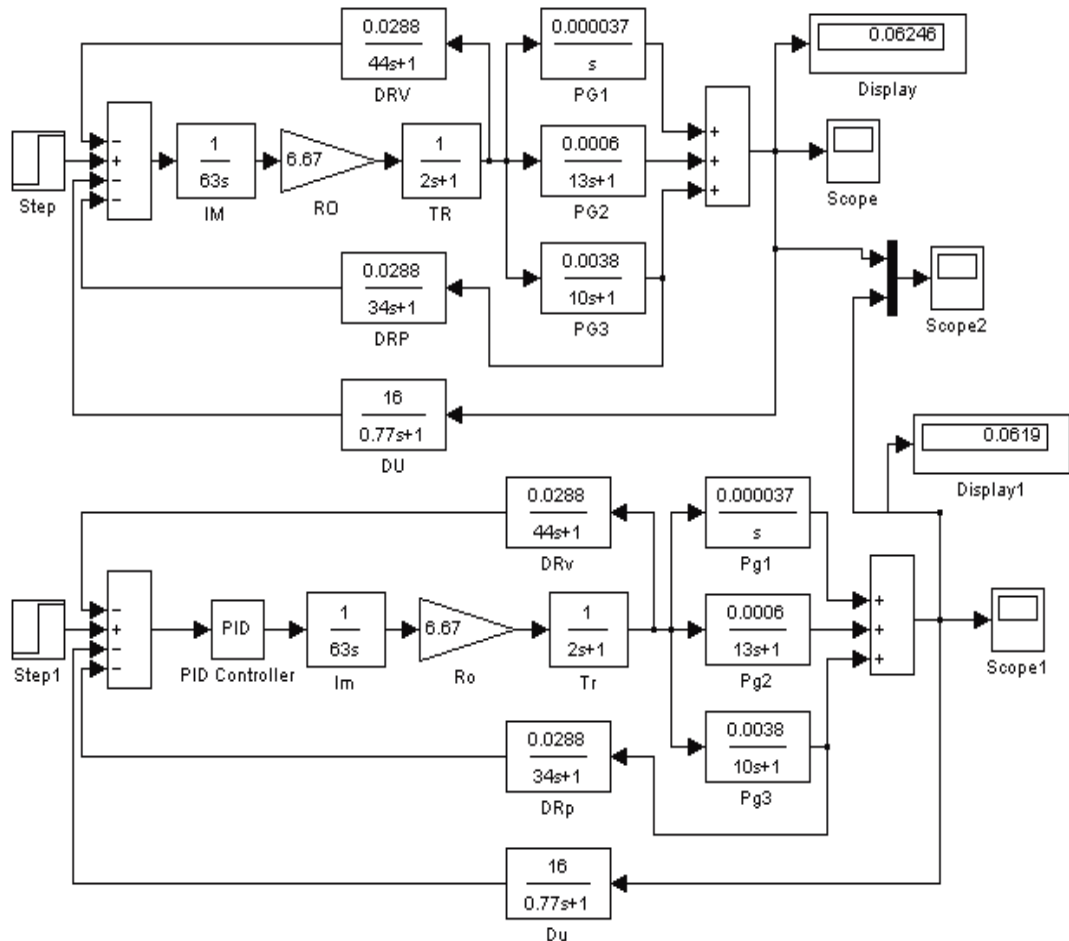


Рисунок 3.3 - Моделі трьохімпульсною САР рівня води в парогенераторі [2]

Параметри ПІ-регулятора розраховані за допомогою інструментального пакету `Nonlinearcontroldesignblockset` (`Ncd-blockset`), який надає в розпорядження користувача графічний інтерфейс для налаштування параметрів динамічних об'єктів, що забезпечують бажану якість перехідних процесів. Завдання динамічних обмежень здійснюється у візуальному режимі (рис. 3.4) [13]. Основною вимогою є збільшення швидкодії системи, унаслідок чого необхідний час регулювання заданий 200 с. Значення пропорційної складової становить 2,0019, інтегральної - 0,0016.

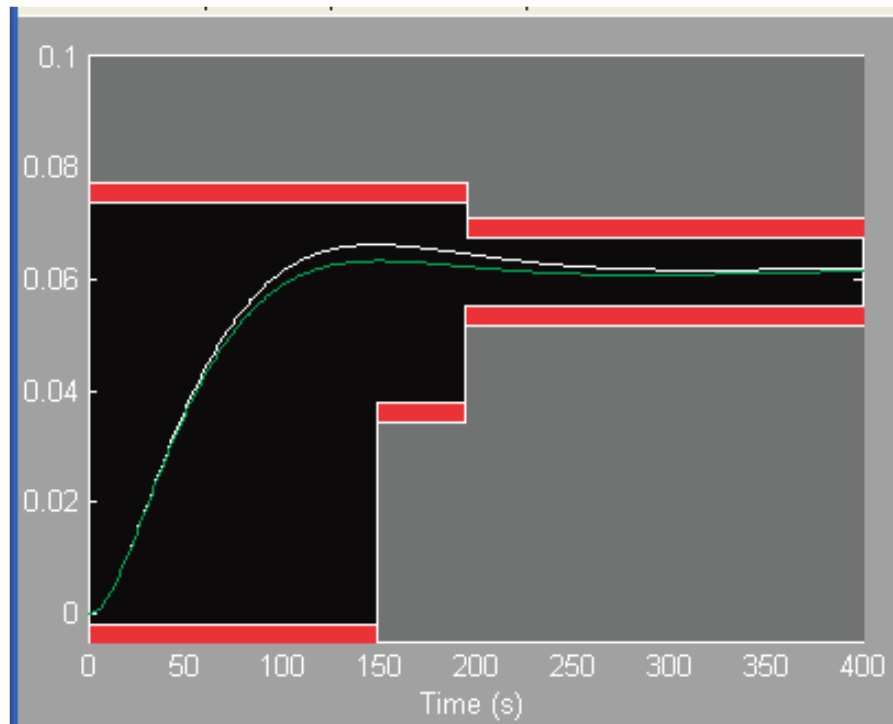


Рисунок 3.4 - Змінена фігура обмежень для перехідного процесу САР

Результати моделювання моделей САР без регулятора (крива 1) і з регулятором (крива 2) представлені на рисунку 3.5.

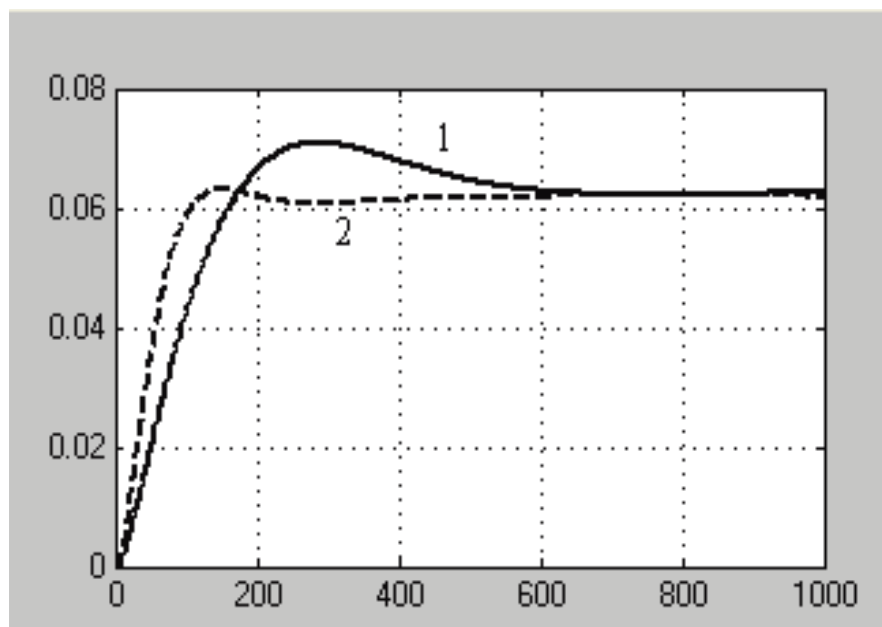


Рисунок 3.5 - Графіки перехідних процесів САР рівня води в парогенераторі

В результаті використання розрахованого ПІ-регулятора час регулювання з 600 с зменшився до 200 с.

3.2 Удосконалення системи регулювання рівня в парогенераторі за допомогою цифрового ПІ-регулятора

На енергоблоках АЕС з ВВЕР-1000 для підтримки рівня пароводяної суміші в парогенераторах використовуються трьохімпульсні автоматичні системи управління з аналоговими регуляторами. У цих системах на вхід регулятора, окрім основного сигналу по рівню води, поступають також сигнали по витраті пари і поживної води. У ряді парогенераторів сигнал по витраті пари замінений сигналом по різниці температур теплоносія першого контура на вході і виході реактора, що виключає необоротні втрати тиску пари на звужуючому пристрої. Така схема, поступаючись за якістю регулювання схемі з сигналом по витраті свіжої пари, виконує покладені на неї функції [11]. Розрахунок вказаних систем обґрунтований положенням класичної теорії автоматичного управління (схема регулювання з контуром інваріантності по основній обурюючій дії) і для їх параметризації використовуються інженерні методи визначення налаштувань регулятора.

Розглянемо синтез оптимального цифрового ПІ-регулятора рівня води в парогенераторі, який за рахунок ускладнення структури алгоритму управління не містить недоліків типових систем і максимально реалізує потенціал цифрових управляючих комплексів, які упроваджуються на АЕС України замість аналогових регуляторів і реалізують колишній алгоритм управління.

Для синтезу оптимального регулятора використана лінійна математична модель парогенератора, доповнена моделлю ділянки поживного трубопроводу між регулюючим клапаном і парогенератором (інерційна ланка з транспортним запізнюванням) [12].

При цьому математична модель представляється системою різницевих рівнянь з періодом дискретності $Dt = 1$ с:

$$\begin{cases} x_{i+1} = A \cdot x_i + B \cdot (u_i + f_i), \\ y_i = C \cdot x_i, \end{cases} \quad (3.1)$$

- де x_i — вектор внутрішнього стану системи;
 u_i — вихід системи (зміна рівня води);
 u_i — зміна управляючої дії (положення штока регулюючого органу);
 f_i — вектор обурень (витрати свіжої пари і поживної води);
 A, B, C — матриці параметрів моделі;
 i — номер такту часу.

При моделюванні враховано, що швидкість переміщення штока регулюючого органу не повинна перевищувати 2 %/с.

Введемо змінні $du_i = u_i - u_{i-1}$, $e_i = (z - y_i)$ (z — сигнал завдання) і функціонал енергії вигляду:

$$J = 0,5 \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \{ e_i^T \cdot Q \cdot e_i + du_i^T \cdot R \cdot du_i \},$$

де Q, R — позитивно-певні матриці, значення яких підбираються в процесі синтезу регулятора;

T — символ транспонування.

Позначивши $dx_{i+1} = x_{i+1} - x_i$, систему (3.1) можна переписати таким чином:

$$\begin{cases} dx_{i+1} = A \cdot dx_i + B \cdot du_i, \\ dy_i = C \cdot dx_i, \end{cases}$$

а записав $e_{i+1} = e_i - C \cdot dx_{i+1}$ і ввівши вектор $s_i = [e_i, dx_i]^T$, отримаємо систему в стандартній формі запису, але вже для змінних s и du :

$$\begin{cases} ds_{i+1} = \bar{A} \cdot ds_i + \bar{B} \cdot du_i, \\ e_i = \bar{C} \cdot ds_i \end{cases}$$

і відповідно функціонал енергії:

$$J = 0,5 \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \{ s_i^T \cdot Q' \cdot s_i + du_i^T \cdot R \cdot du_i \}, \quad (3.2)$$

де
$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 1 & -C \cdot A \\ 0 & A \end{bmatrix}, \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} -C \cdot B \\ B \end{bmatrix}, \quad \bar{C} = [1 \quad 0], \quad Q' = \begin{bmatrix} Q & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

У наслідок рішення стандартної задачі конструювання отриманий регулятор стану вигляду $du_i = -KЧds_i$, матриця K в якому може бути розділена на блоки $K = [K_1, K_2]$, а регулятор стану переписаний у вигляді $du_i = -K_1Чe_i -$

$K_2Чdx_i$ чи
$$u_i = -K_1 \cdot \sum_{j=0}^i e_j - K_2 \cdot x_i,$$
 що відповідає структурі ПІ-регулятора, що забезпечує астатичність системи.

Оскільки рівняння в приростах не залежать від векторів z і f , то для відновлення бракуючих координат можна використовувати звичайний спостерігач стану:

$$d\bar{x}_{i+1} = A \cdot d\bar{x}_i + B \cdot du_i + L \cdot (dy_i - C \cdot d\bar{x}_i),$$

де L — матриця спостерігача стану системи.

Особливістю синтезованої системи управління (рис. 3.6) є використання лише одного сигналу по рівню води на вхід регулятора замість трьох в типовій системі. Сигнали по витраті об'єднані єдиний вектор обурень, який подається на вихід регулятора для корекції управляючої дії.

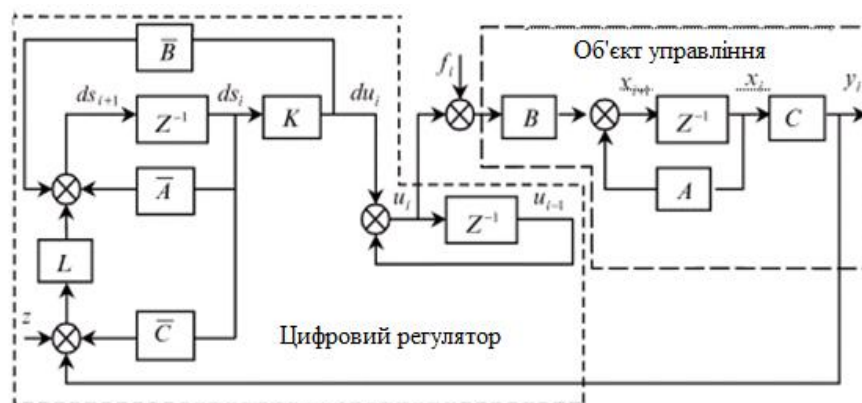


Рисунок 3.6 - Структурна схема оптимальної системи регулювання

Перехідні процеси регулювання по рівню води H в цифровій системі порівнювалися з перехідними процесами в типовій трьохімпульсній системі з імпульсом по витраті пара, яка забезпечує кращу якість регулювання при дії основної обурюючої дії, — витрати пари (рис. 3.7, 3.8).

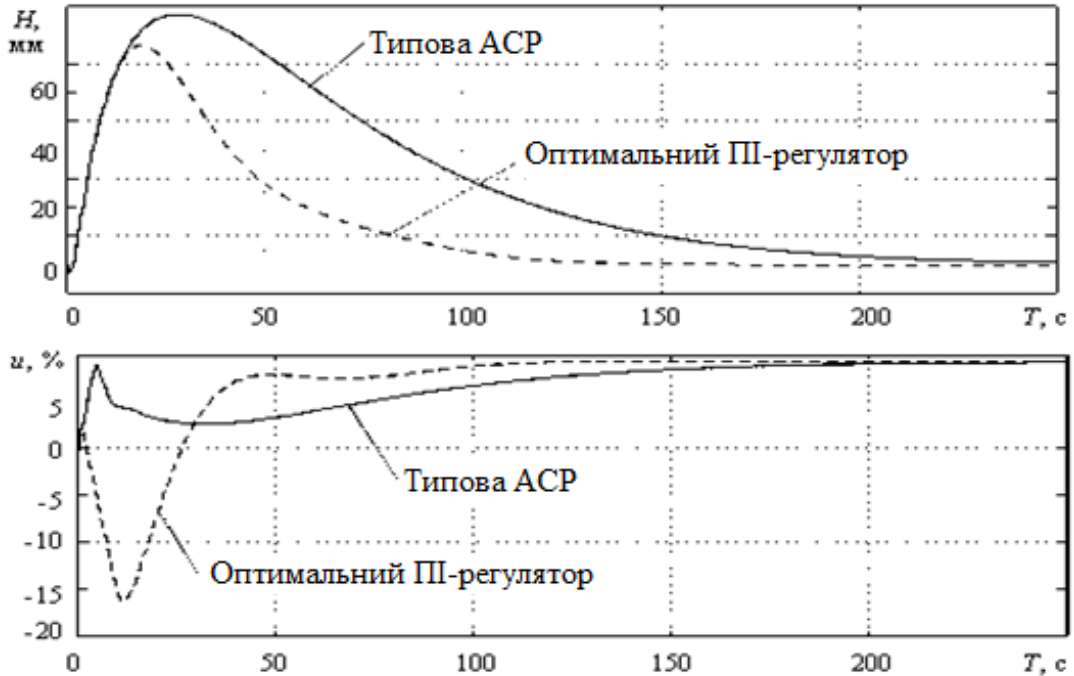


Рисунок 3.7 - Перехідні процеси при зміні витрати пари

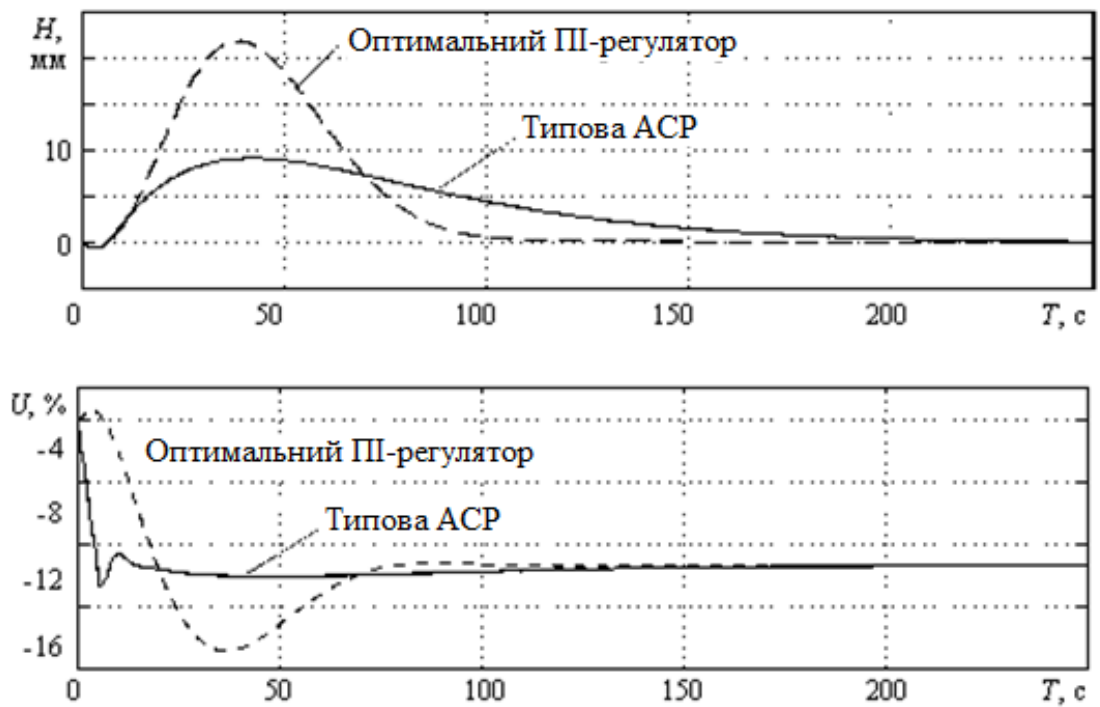


Рисунок 3.8 - Перехідні процеси при зміні витрати поживної води

В якості оптимального вибраний аперіодичний процес регулювання, як це прийнято на АЕС. Обурююча дія по витраті пари і поживної води прийнята рівною 10 % від номінальної витрати пари, тобто $f_i = 4$ МПа. На цих же рисунках показана зміна у положення штока регулюючого органу.

У схемі з оптимальним ПІ-регулятором для мінімізації (3.2) прийняті вагові матриці:

$$Q' = \begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ и } R = [1].$$

Як видно з результатів моделювання (рисунок 3.7), оптимальний цифровий ПІ-регулятор забезпечує на 10 % менший динамічний заброс по рівню води і менший час регулювання (приблизно на 100 с). Управляюча дія у оптимальній системі більша, ніж в типовій, проте, по абсолютній величині (близько 16 %) сповно допустимо.

При дії внутрішнього обурення з витрати поживної води оптимальна система поступається за якістю при тих же налаштуваннях відносно типової трьохімпульсної. Проте, оскільки в реальних системах внутрішні обурення практично неможливі, вказаний недолік можна не враховувати.

Таким чином, оптимальний цифровий ПІ-регулятор забезпечує в порівнянні з трьохімпульсною системою декілька кращу якість управління і може бути легко реалізований в управляючих комплексах, що випускаються, зокрема, ПО "Моноліт" (м. Харків), які упродовжуються на АЕС України.

4 ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ В ПАРОГЕНЕРАТОРІ

4.1 Структура АСК ТП

АСК ТП енергоблоку АЕС на базі ПТК АСР ТВ реалізований на базі програмно-технічного комплексу, побудованого за магістрально-модульним принципом з використанням ЛОМ (рисунок 4.1).

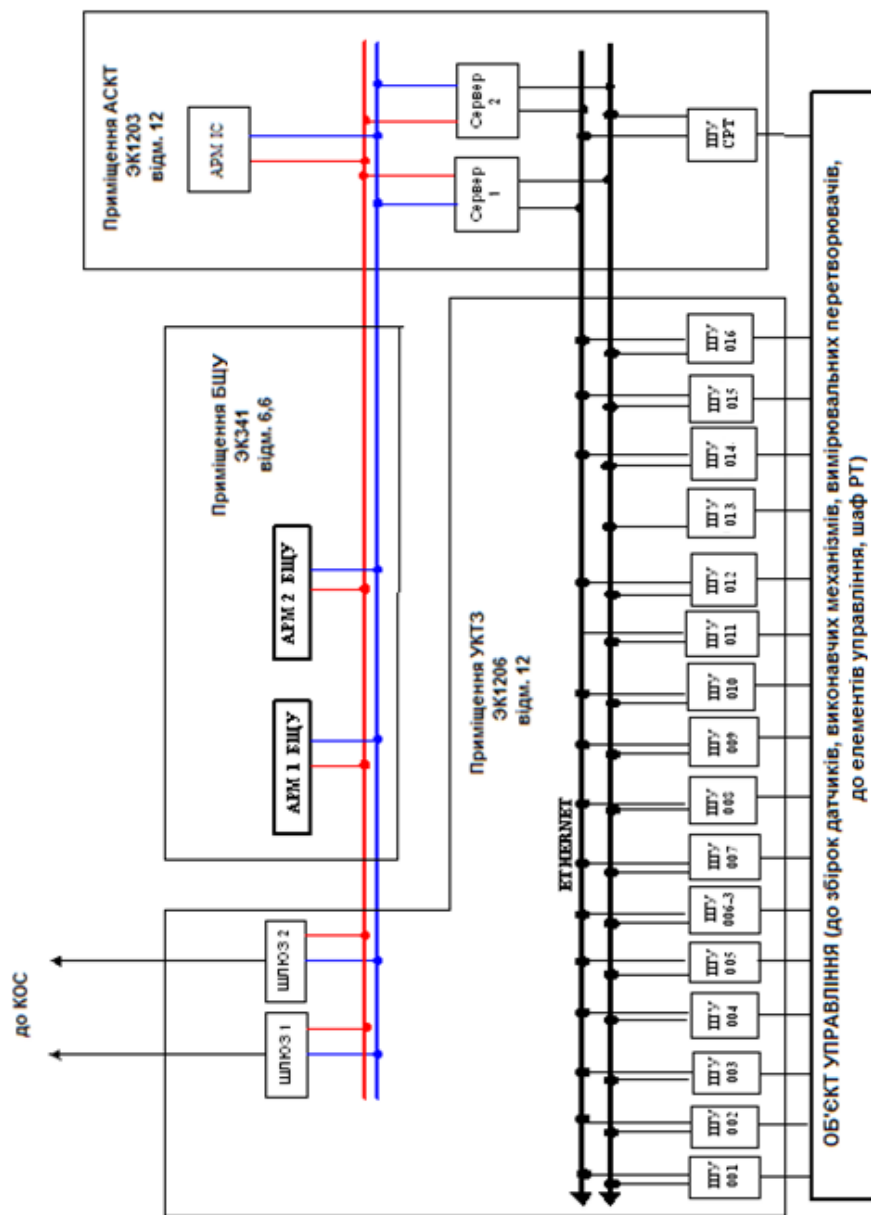


Рисунок 4.1 - Структурна схема АСР ТВ [8]

ПТК АСР ТВ є дворівневою системою. Підсистема нижнього рівня реалізує функції введення/виводу інформації, регулювання, управління і контролю, підсистема ВР – завантаження програмного забезпечення і контроль функціонування НР, підтримку оперативної бази даних, представлення інформації (у тому числі діагностичною) на відеотерміналах АРМ, реєстрацію і архівацію подій, передачу інформації до КОС.

Функції НР реалізуються шафами управління ШУ ТЗА М2002, функції ВР – персональними ЕОМ і мережевими засобами.

До складу ШУ входить набір функціонально закінчених модулів (субблоків) зв'язку з об'єктом (МЗО) з вбудованим дубльованим інтерфейсом RS-485 і мікроконтролери управління з вбудованим РС - сумісним мікропроцесором.

Всі субблоки введення/виводу (окрім перетворювачів високовольтних сигналів 220 В) містять високопродуктивні мікропроцесори, призначені як для первинної обробки інформації, так і для вирішення, при необхідності, функціональних завдань. Програми записуються у вбудовану FLASH-пам'ять.

Субблоки вводу/виводу забезпечують:

- гальванічну розв'язку вхідних і вихідних електричних сигналів;
- введення і виведення дискретної і аналогової інформації.

Мікроконтролери МК-187-30 призначені для виконання наступних функцій:

- вирішення функціональних завдань;
- обміну інформацією з ВР;
- обміну інформацією з МЗО;
- реалізації функцій діагностики технічних і програмних засобів;
- зв'язки з панеллю індикації НМІ;
- реалізації функцій резервування.

Зв'язок МК з МЗО здійснюється дубльованими каналами передачі інформації, фізичним середовищем передачі є печатні провідники та/або вита пара.

Зв'язок НР з ВР виконується на базі дубльованої локальної обчислювальної мережі типу Fast Ethernet.

ШУ забезпечують виконання управляючих функцій:

- формування на ВМ управляючих впливів для підтримки технологічних параметрів відповідно до заданих алгоритмів регулювання;
- реалізацію технологічних блокувань авторегуляторів;
- реалізацію технологічних блокувань засувки, пов'язаних з роботою регуляторів;
- реалізацію алгоритмів ФГУ систем ПВТ;
- синхронізацію кількох паралельно працюючих ВМ;
- контроль справності ВП і реалізацію заданих алгоритмів управління за наявності відмов ВП;
- дистанційне управління ВМ.

ВР енергоблоку включає до себе:

- комп'ютерну станцію АРМ ІС (КС-036), розташовану в приміщенні ЕК1203;
- комп'ютерні станції СЕРВЕР1, СЕРВЕР2 (КСС-054), розташовані в приміщенні ЕК1203;
- комп'ютерні станції АРМ1 БЩУ, АРМ2 БЩУ (КС-036), розташовані в приміщенні АЕ341 (БЩУ);
- комп'ютерні станції ШЛЮ31, ШЛЮ32 (КСШ-053), розташовані в приміщенні ЕК1206.

Технічні засоби ВР утворюють чотири незалежні мережі ПТК АСР ТВ. Обидва сервери підключено одночасно до всіх чотирьох мереж і виконують функцію передачі інформації між мережами 1 і 2, відповідно сполучаючими крейти В і D всіх ШК і мережами 3 і 4, що сполучають всі АРМи. Шлюзи 1 і 2 підключені до мереж 3 і 4 ПТК АСР ТВ і до резервованої мережі, що забезпечує зв'язок з КОС.

Перша мережа забезпечує зв'язок ВР з контроллерами МК, встановленими в крейтах «В» шаф ШУ і СРТ.

Друга мережа забезпечує зв'язок ВР з контроллерами МК, встановленими в крейтах «D» шаф ШУ і СРТ.

Третя і четверта мережа забезпечують зв'язок між комп'ютерами, що входять до складу ВР, і дозволяє забезпечити обмін даними між ними, не завантажуючи першу і другу мережі, і не створюючи перешкод для роботи шаф ШУ і СРТ [8].

ВР ПТК АСР ТВ призначений для виконання наступних функцій:

- а) ведення і документування баз даних і бібліотек алгоритмів ПТК АСР ТВ, ПТК СРТ;
- б) підготовки і видачі інформації в КОС;
- в) завантаження програмного забезпечення ПТК АСР ТВ, ПТК СРТ;
- г) діалогу обслуговуючого персоналу з ПТК АСР ТВ, ПТК СРТ;
- д) перевірки адекватності штатного і завантаженого ПЗ (завантажувальних модулів);
- е) корекції настроювальних параметрів систем управління ПТК АСР ТВ, ПТК СРТ;
- є) введення і виведення програмних ключів блокувань, ремонтного стану вимірювальних перетворювачів і виконавчих механізмів (з АРМ ІС);
- ж) обробки діагностичних масивів ПТК АСР ТВ, ПТК СРТ і представлення інформації про несправності з точністю до одного або декількох змінних конструктивів;
- з) завантаження тестового ПЗ при виконанні регламентних перевірок ПТК АСР ТВ, ПТК СРТ;
- и) реєстрації інформації про роботу ПТК АСР ТВ, ПТК СРТ з прив'язкою до єдиного часу енергоблока;
- і) відображення інформації оператору-технологу про роботу технологічних систем управління, у тому числі:
 - 1) фрагментів роботи регуляторів, функціонально-групового управління (ФГУ), стану блокувань;

2) текстових повідомлень про спрацьовування блокувань, виникнення несправностей в системах управління, ПТК АСР ТВ, ПТК СРТ, відключенні регуляторів і т.д.;

3) фрагментів графіків зміни технологічних параметрів;

4) виведення протоколів подій на вимогу користувачів;

5) створення архівів реєстрації на оптичних дисках для довгострокового зберігання по запити персоналу.

4.2 Цифрові регулятори рівня в парогенераторі, реалізовані в ПТК АСР ТВ на базі ТЗА М2002

Цифрові регулятори (ЦР) другого контура призначені для усунення шкідливого впливу, обурень, що діють на об'єкт, і похибок управління устаткуванням другого контура, і реалізують функції автоматичного регулювання технологічних параметрів, блокувань і контролю справності виконавчих механізмів (ВМ), вимірювальних перетворювачів (ВП).

4.2.1 Регулятор живлення в парогенераторі (основний) (RL71÷74S02)

Регулятори живлення ПГ 1-4 (основні) (РПО) призначені для підтримки рівня ПВ в ПГ 1-4 при тепловій потужності ПГ від 20 % до 100 % номінальною.

Регулятори впливають на клапани RL71÷74S02, змінюючи витрату ПВ в ПГ 1÷4.

Регулятори підтримують рівень ПВ в ПГ рівний заданому значенню (320 мм) з відхиленням, що допускається ± 30 мм відповідно до П-закону регулювання за рахунок обхвату П-регулятора негативним зворотним зв'язком по регулюючій дії – витраті ПВ в ПГ.

Вхідними сигналами для регуляторів є:

- рівень ПВ в ПГ (ВП УВ10(20,30,40)L09B1, УВ10(20,30,40)L19B1, УВ10(20,30,40)L05B1) – трьохканальний вимір;

- витрата ПВ в ПГ (ВП RL71(72,73,74)F01B1,B2,B3) – трьохканальний вимір, використовується як зворотний зв'язок для формування П-закону регулювання;

- різниця температур гарячої і холодних ниток циркуляційної петлі (ЦП) (ВП YA10(20,30,40)T03,T04,T10) – трьохканальний вимір, використовується для формування непрямой (розрахунковою) характеристики витрати пари з ПГ для компенсації нерівномірності при зміні тепловій потужності даного ПГ;

- тиск пари в ГПК (ВП RC11P01B4, RC11P01B5, RC11P03B4) – трьохканальний вимір, використовується для виключення помилкової роботи при «спуханнях» рівня в ПГ;

- температура ПВ (ВП RL74T04,T05B1) – одноканальні виміри, використовується для компенсації погрішності обчислення витрати пари по сигналу DT при зміні T_{пв};

- тиск пари за СРК турбіни (ВП SE11P02B2, SE13P02B1, SE14P02B1) – трьохканальний вимір, використовується для ідентифікації динамічних режимів роботи енергоблоку [9].

4.2.2 Регулятор живлення в парогенераторі (пуско-зупинний) (RL71÷74S04)

Регулятори живлення ПГ 1-4 (пуско-зупинні) (РППО) призначені для підтримки рівня ПВ в ПГ в режимах пуску і останову блоку, а також при відмовах (відключеннях) РПО.

Регулятори використовуються для заповнення (підвищення рівня) ПГ після останову енергоблоку у разі потреби розхолодження РУ.

Регулятори впливають на пуско-зупинні клапани RL71÷74S04, змінюючи витрату ПВ в ПГ1÷4.

Регулятори при роботі за двохімпульсною схемою з сигналом по рівню ПВ в ПГ «малої бази» підтримують рівень ПВ в ПГ рівний заданому значенню з відхиленням, що допускається ± 30 мм відповідно до П-закону регулювання

за рахунок обхвату ПІ-регулятора негативним зворотним зв'язком по положенню РК.

Вхідними сигналами для регуляторів при роботі за двохімпульсною схемою з сигналом по рівню ПВ в ПГ з діапазоном виміру від 0 мм до 1000 мм («мала база») є:

- рівень ПВ в ПГ (ВП УВ(10,20,30,40)L09В1, УВ10(20,30,40)L019В1, УВ10(20,30,40)L05В1) – трьохканальний вимір;

- положення пуско-зупинного клапана RL71(72-74)S04 (ВП RL71(72-74)H04) – одноканальний вимір, використовується як зворотний зв'язок для формування П-закону регулювання.

Регулятори при роботі за двохімпульсною схемою з сигналом по рівню ПВ в ПГ «великої бази» в режимі «Заповнення ПГ» підтримують рівень ПВ в ПГ рівний заданому значенню з відхиленням, що допускається ± 100 мм відповідно до П-закону регулювання за рахунок обхвату ПІ-регулятора негативним зворотним зв'язком по положенню РК.

Вхідними сигналами для регуляторів при роботі за двохімпульсною схемою з сигналом по рівню ПВ в ПГ з діапазоном виміру від 200 мм до 5865 мм («велика база») в режимі «Заповнення ПГ» є:

- рівень ПВ в ПГ (ВП УВ10(20,30,40)L11В1) – одноканальний вимір;

- положення пуско-зупинного клапана RL71÷74S04 (ВП RL71÷74H04) – одноканальний вимір, використовується як зворотний зв'язок для формування П-закону регулювання.

Регулятори при роботі за трьохімпульсною схемою підтримують рівень ПВ в ПГ рівний заданому значенню (320 мм) з відхиленням, що допускається ± 30 мм відповідно до П-закону регулювання за рахунок обхвату ПІ-регулятора негативним зворотним зв'язком по витраті ПВ в ПГ.

Вхідними сигналами для регуляторів при роботі за трьохімпульсною схемою є відповідні сигнали РПО (п. 4.2.1).

4.3 Захисти і блокування клапанів та засувок вузла живлення

При збільшенні значення рівня ПВ у відповідному ПГ більше 470 мм і відкритому положенні будь-якого СК ТА закриваються: основна засувка RL71÷74S01, а при включеному стані відповідного РПО – основний клапан RL71÷74S02 (імпульсно впродовж 160 с), пуско-зупинна засувка RL71÷74S03 та пуско-зупинний клапан RL71÷74S04 відповідного ПГ [9].

Команда на закриття основного і пуско-зупинного РПКі знімається при зменшенні значення рівня ПВ у відповідному ПГ менше 450 мм.

Після зняття команди на закриття відповідні РПО або РППО включаються до роботи.

В разі роботи блокування при зменшенні рівня ПВ в ПГі і відновленні його до уставки початку закриття засувки раніше переходу засувки в проміжне положення, відкриття засувки триває до спрацьовування КВ «не закрито», після чого засувки закриваються.

При зменшенні значення рівня ПВ у відповідному ПГ менше 400 мм відкриваються основна RL71(72-74)S01 та пуско-зупинна RL71(72 - 74)S03 засувка.

Блокування діє до повного відкриття засувки.

В разі роботи блокування при збільшенні рівня ПВ і відновленні його до уставки початку відкриття засувки раніше переходу засувки в проміжне положення, закриття засувки триває до спрацьовування КВ «не відкрито», після чого засувка відкривається.

Відкриття основної і пуско-зупинної засувки здійснюється за відсутності заборон з боку першого контуру.

При включенні ГЦНі і збігу умов:

- значення різниці температур гарячої і холодних ниток ЦП більше 6,5 °С;
- закрита основна засувка RL71÷74S01;

- РПОі включений, відкривається основний РПК RL71÷74S02 протягом заданого часу (20 с) і через 45 с від моменту включення ГЦНі, при значенні рівня в ПГі менше 380 мм, відкривається основна засувка RL71÷74S01.

У випадку, якщо до включення ГЦНі основна засувка була в положенні «не закрита», РППОі в роботі, РПОі включений і в стерегущому режимі, з витримкою часу 45 с від моменту включення ГЦНі і при зменшенні значення рівня ПВ в ПГі менше 380 мм відкривається безперервною командою основний РПКі RL71÷74S02 до моменту появи умов вступу до роботи РПОі, але не більше 15 с.

Засувки RL71÷74S01 на основному трубопроводі до відповідного ПГ відкриваються при збігу умов:

- спрацьовування блокування YBF01 по ТЗ (зменшення значення рівня ПВ у відповідному ПГ менше 220 мм і збільшення значення температури теплоносія першого контуру більше 150 °С);

- в роботі знаходиться ГЦН відповідної петлі.

При спрацьовуванні блокувань YBF04 и YBF05 по ТЗ (значення перепаду тиску на зворотному клапані ПГі менш мінус 0,2 МПа, значення тиску в паропроводі ПГі менше 4,41 МПа або значення різниці температур насичення першого і другого контурів більше 75 °С і значення температури теплоносія першого контуру більше 200 °С, значення тиску в паропроводі ПГі менше 4,41 МПа) закриваються безперервною командою із заборною відкриття основна засувка RL71÷74S01 і основний РПК RL71÷74S02, пуско-зупинна засувка RL71÷74S03 та пуско-зупинний РПК RL71÷74S04 відповідного ПГ з відключенням РПОі і РППОі.

Команда на закриття виконується на період дії блокування.

При відключенні ГЦНі закриваються без витримки часу:

- основна засувка RL71÷74S01 безперервною командою впродовж 100 с;
- основний РПК RL71÷74S02 імпульсно впродовж 160 с.

У пускових режимах роботи енергоблоку для забезпечення регульовального діапазону пуско-зупинному РПКі RL71÷74S04 виробляється

імпульсне відкриття і закриття основного РПКі RL71÷74S02 при включеному стані ГЦНі (режим включення ГЦНі відсутній), стерегучому режимі РПОі і робочому РППОі по наступному алгоритму:

- при мірі відкриття пуско-зупинного РПКі менше 25 % УП з витримкою часу 30 с основний РПКі закривається імпульсно (тривалість імпульсних команд 1 с, період між імпульсами 30 с);

- при мірі відкриття пуско-зупинного РПКі більше 75 % УП і засувка RL71÷74S01 у положенні «не закрита» з витримкою часу 30 с основний РПКі відкривається імпульсно (тривалість імпульсних команд 1 с, період між імпульсами 30 с).

4.4 Типи вимірювальних перетворювачів, що використовуються для контролю і регулювання технологічних параметрів в парогенераторах

Типи вимірювальних перетворювачів, що використовуються для контролю і регулювання технологічних параметрів в парогенераторах, наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Перелік вимірювальних перетворювачів

Найменування сигналу	Ідентифікатор	Тип ВП
Рівень ПВ в ПГ1	YB10L05B1 YB10L09B1 YB10L19B1	«Сафір», 2420, 0-720,6 кгс/м ² , 4-20 мА
Рівень ПВ в ПГ1	YB10L11B1	«Сафір», 2440, 0-4082,6 кгс/м ² , 4-20 мА
Рівень ПВ в ПГ2	YB20L05B1 YB20L09B1 YB20L19B1	«Сафір», 2420, 0-720,6 кгс/м ² , 4-20 мА
Рівень ПВ в ПГ2	YB20L11B1	«Сафір», 2440, 0-4082,6 кгс/м ² , 4-20 мА
Рівень ПВ в ПГ3	YB30L05B1 YB30L09B1 YB30L19B1	«Сафір», 2420, 0-720,6 кгс/м ² , 4-20 мА

Продовження таблиці 4.1

Найменування сигналу	Ідентифікатор	Тип ВП
Рівень ПВ в ПГЗ	YB30L11B1	«Сафір», 2440, 0-4082,6 кгс/м ² , 4-20 мА
Рівень ПВ в ПГ4	YB40L05B1 YB40L09B1 YB40L19B1	«Сафір», 2420, 0-720,6 кгс/м ² , 4-20 мА
Рівень ПВ в ПГ4	YB40L11B1	«Сафір», 2440, 0-4082,6 кгс/м ² , 4-20 мА
Витрата ПВ перед ПГ1	RL71F01B1 RL71F01B2 RL71F01B3	«Сафір», 2440, 0-1 кгс/см ² , 4-20 мА
Витрата ПВ перед ПГ2	RL72F01B1 RL72F01B2 RL72F01B3	«Сафір», 2440, 0-1 кгс/см ² , 4-20 мА
Витрата ПВ перед ПГ3	RL73F01B1 RL73F01B2 RL73F01B3	«Сафір», 2440, 0-1 кгс/см ² , 4-20 мА
Витрата ПВ перед ПГ4	RL74F01B1 RL74F01B2 RL74F01B3	«Сафір», 2440, 0-1 кгс/см ² , 4-20 мА
Різниця температур гарячої та холодної петлі ПГ1	YA10T03B1 YA10T04B1 YA10T10B1	ТХК 1590, 290±50 °С, 0-4,25 мВ
Різниця температур гарячої та холодної петлі ПГ2	YA20T03B1 YA20T04B1 YA20T10B1	ТХК 1590, 290±50 °С, 0-4,25 мВ
Різниця температур гарячої та холодної петлі ПГ3	YA30T03B1 YA30T04B1 YA30T10B1	ТХК 1590, 290±50 °С, 0-4,25 мВ
Різниця температур гарячої та холодної петлі ПГ4	YA40T03B1 YA40T04B1 YA40T10B1	ТХК 1590, 290±50 °С, 0-4,25 мВ
Тиск пари у ГПК	RC11P01B4 RC11P01B5 RC11P03B4	«Сафір», 2161, 0-100 кгс/см ² , 4-20 мА
Тиск пари за СРК	SE11P02B2 SE13P02B1 SE14P02B1	«Сафір», 2161, 0-100 кгс/см ² , 4-20 мА
Температура ПВ за ПВТ-А	RL74T05B1	ТСП 0879, 0-300 °С, 50-106,9 Ом
Температура ПВ за ПВТ-Б	RL74T04B1	ТСП 0879, 0-300 °С, 50-106,9 Ом

4.5 Об'єм теплотехнічного контролю парогенераторів

Об'єм теплотехнічного контролю парогенераторів приведений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Об'єм теплотехнічного контролю парогенераторів

Контрольований параметр	Ідентифікатор	Одиниця вимірювання	Номінальне значення
Рівень ПВ в ПГ1 (1м)	YB10L09	мм	320
Рівень ПВ в ПГ1 (4м)	YB10L11	мм	320
Рівень ПВ в ПГ2 (1м)	YB20L09	мм	320
Рівень ПВ в ПГ2 (4м)	YB20L11	мм	320
Рівень ПВ в ПГ3 (1м)	YB30L09	мм	320
Рівень ПВ в ПГ3 (4м)	YB30L11	мм	320
Рівень ПВ в ПГ4 (1м)	YB40L09	мм	320
Рівень ПВ в ПГ4 (4м)	YB40L11	мм	320
Витрата ПВ перед ПГ1	RL71F01	т/год	1469
Витрата ПВ перед ПГ2	RL72F01	т/год	1469
Витрата ПВ перед ПГ3	RL73F01	т/год	1469
Витрата ПВ перед ПГ4	RL74F01	т/год	1469
Різниця температур гарячої та холодної петлі ПГ1	YA10T10	°C	33
Різниця температур гарячої та холодної петлі ПГ2	YA20T10	°C	33
Різниця температур гарячої та холодної петлі ПГ3	YA30T10	°C	33
Різниця температур гарячої та холодної петлі ПГ4	YA40T10	°C	33
Тиск пари у ГПК	RC11P01	МПа	6,4
Тиск пари за СРК	SE11P02	МПа	5,4
Температура ПВ за ПВТ-А	RL74T05	°C	200
Температура ПВ за ПВТ-Б	RL74T04	°C	200

5 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Конструктивне виконання ТЗ ПТК АСР ТВ

Шафи управління (ШУ) забезпечують виконання управляючих функцій:

- формування на ВМ управляючих дій для підтримки технологічних параметрів відповідно до заданих алгоритмів регулювання;
- реалізацію технологічних блокувань авторегуляторів;
- реалізацію технологічних блокувань засувки, пов'язаних з роботою регуляторів;
- реалізацію алгоритмів ФГУ систем ПВТ;
- синхронізацію декількох паралельно працюючих ВМ;
- контроль справності датчиків і реалізацію заданих алгоритмів управління за наявності відмов ВП;
- дистанційне керування ВМ.

До складу ШУ входить набір функціонально закінчених модулів (субблоків) зв'язку з об'єктом (МЗО) з вбудованим дубльованим інтерфейсом RS-485 і контролери управління з вбудованим PC-сумісним мікропроцесором. Перелік субблоків приведений в таблиці 5.1.

Всі модулі введення-виведення містять високопродуктивні мікропроцесори, призначені як для первинної обробки інформації, так і для вирішення функціональних задач. Програми записуються у вбудовану FLASH-пам'ять.

Модулі введення-виведення забезпечують:

- гальванічну розв'язку вхідних і вихідних електричних сигналів;
- введення інформації від датчиків уніфікованого струмового сигналу;
- введення-виведення дискретної інформації типу «сухий» контакт або потенційних сигналів напругою =24 В.

Таблиця 5.1 - Перелік субблоків [8]

Позначення	Код	Характеристика субблока
ЯЕВІ.426419.187	МК-187	<p>Субблок має:</p> <ul style="list-style-type: none"> - до 128 Мбайт ОЗП; - до 32 Мбайт ППЗП типа FLASH; - 1 канал зв'язку RS-232; - 6 каналів зв'язку RS-485; - 8 незалежних входів прийому дискретних сигналів; - 8 незалежних виходів видачі дискретних сигналів; - незалежні входи прийому синхронізації; - незалежні виходи видачі синхронізації; - один канал зв'язку Ethernet.
ЯЕВІ.426429.124	КСК-124	<p>КСК забезпечує контроль:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основних і резервних фідерів електроживлення; - основного і резервного джерела вторинного живлення; - подачі живлення і контролю працездатності блоків вентиляції; - температури повітря усередині шафи; - стану дверей; - зв'язки з корпусом кожного полюса джерел обтікання дискретних сигналів; - управління світловою сигналізацією на дверях шафи.
ЯЕВІ.426429.112	ПАВС-112	<p>Субблок має 8 незалежних входів прийому струмових вхідних сигналів в діапазонах від 4 до 20 мА і від 0 до 5 мА.</p> <p>Діапазон встановлюється програмно.</p>

Продовження таблиці 5.1

Позначення	Код	Характеристика субблока
ЯЕВІ.426419.189	ДВВ-189	Субблок має: <ul style="list-style-type: none"> - 16 входів прийому сигналів 24 В; - дубльованих виходів з комутуючою здатністю до 60 В, 300 мА.
ЯЕВІ.426419.195	МР-195	Субблок має: <ul style="list-style-type: none"> - 12 незалежних дискретних входів 24 В; - 9 дискретних виходів із здатністю навантаження 300 мА, 60 В; - 4 дискретні виходи для управління виконавчими механізмами (ВМ) 300 мА, 60 В з контролем спрацьовування ключів управління.
ЯЕВІ.426429.118	ПВС-118	Субблок має: <ul style="list-style-type: none"> - чотири тракти перетворення сигналів 220 В/24 В: - чотири входи для сигналів змінного струму напругою 220 В; - чотири виходи 24 В.
ЯЕВІ.426429.120	ПВ-120	Субблок має: <ul style="list-style-type: none"> - два тракти перетворення сигналів 220 В/24 В: - два входи змінного струму напругою 220 В; - два виходи 24 В; - два тракти перетворення сигналів управління 24 В/220 В: - два входи (24 В); - два виходи ключів управління 220 В, 1 А (3 А короткочасно); - два виходи видачі сигналів контролю спрацьовування ключів управління (24 В).

ШУ-012 - ШУ-015 відповідають за регулювання рівня в парогенераторах Запорізької АЕС. Перелік виконавчих механізмів, якими керують ШУ-012 - ШУ-015 наведений в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Перелік виконавчих механізмів [9]

Ідентифікатор	Найменування	Тип ВМ
ШУ-012		
RL71S02	Основний РПК ПГ1	К
RL71S04	Пуско-зупинний РПК ПГ1	К
RL41S03	Засувка на рециркуляції ТПН1	З
RL41S04	Засувка на рециркуляції ТПН1	З
RL42S03	Засувка на рециркуляції ТПН2	З
RL42S04	Засувка на рециркуляції ТПН2	З
RL71S01	Засувка на основній лінії ПВ ПГ1	З
RL71S03	Засувка на пуско-зупинній лінії ПВ ПГ1	З
ШУ-013		
RL72S02	Основний РПК ПГ2	К
RL72S04	Пуско-зупинний РПК ПГ2	К
RL72S01	Засувка на основній лінії ПВ ПГ2	З
RL72S03	Засувка на пуско-зупинній лінії ПВ ПГ2	З
SE51S11	МУТ ТЖН1	К
SE52S11	МУТ ТЖН2	К
ШУ-014		
RL73S02	Основний РПК ПГ3	К
RL73S04	Пуско-зупинний РПК ПГ3	К
RL73S01	Засувка на основній лінії ПВ ПГ3	З
RL73S03	Засувка на пуско-зупинній лінії ПВ ПГ3	З
ШУ-015		
RL74S02	Основний РПК ПГ4	К
RL74S04	Пуско-зупинний РПК ПГ4	К
RL74S01	Засувка на основній лінії ПВ ПГ4	З
RL74S03	Засувка на пуско-зупинній лінії ПВ ПГ4	З
RL51S06	РК на натиску ДЖЕН1	К
RL52S06	РК на натиску ДЖЕН2	К

5.2 Опис схеми управління виконавчим механізмом

Мікропроцесор МР, що знаходиться в ШУ формує команди «Відкрити», «Закрити» і передає ці команди на пристрій контролю зв'язку КС У2.

КС У2 передає команди управління на виконавчий автомат У23, до якого підходять три фази живлення. Залежно від команд, що поступили, У23, міняючи порядок фаз, приводить в рух виконавчий механізм - електродвигун з механізованою сигналізацією положення.

Блок сигналізації положення БСПТ/1 передає інформацію про положення РК в БРУ, УОС і ШУ.

Від кінцевих вимикачів передається інформація про положення РК у вигляді повідомлень не «відкрито» і не «закрито» на пристрій контролю зв'язку КС БСУ2 шафи управління.

Від блоку ручного управління БРУ-32 поступають команди ручного управління «Відкрити», «Закрити» на КС У2 шафи управління, які передаються на виконавчий автомат.

6 ВИБІР РЕГУЛЮЮЧОГО ОРГАНУ

6.1 Основний регулятор рівня в ПГ

Основний регулюючий поживний клапан призначений для підтримки заданого рівня поживної води в парогенераторі відповідно до його теплового навантаження (витратою пари з парогенератора). Основний РПК площею прохідного перетину 160 см^2 розрахований на номінальний пропуск поживної води 1600 т/ч при перепаді тиску на клапані $0,98 \text{ МПа}$ [10].

Основний регулюючий клапан серії: DN400 типу СКА.

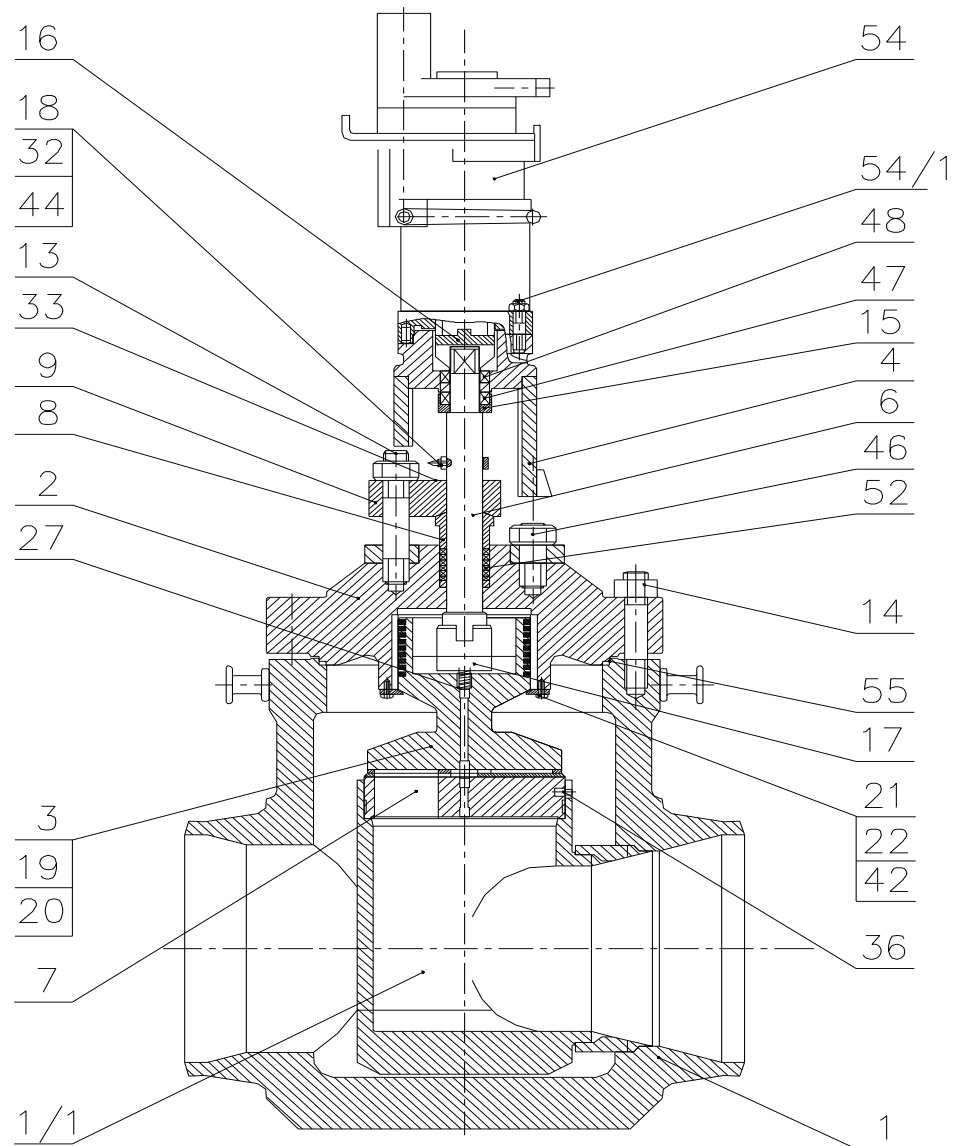
6.1.1 Принцип роботи клапану

Принцип роботи клапану полягає у наступному:

- втулка шпинделя обертається за допомогою вбудованого електродвигуна. Втулка здійснює переміщення штоку і сполученого з ним шиберу;
- при переміщенні шиберу відносно сідла відбувається зміна прохідного перетину сідла, що і забезпечує регулювання витрати.

Клапани встановлюються на горизонтальних ділянках трубопроводів штоком вгору, з напрямом потоку середовища згідно із стрілкою, нанесеною на корпусі клапану.

Клапан DN400 (рисунок 6.1) містить наступні основні вузли: корпус (1), в який вварений стакан. Герметичність конструкції забезпечує кришка (2) за допомогою прокладки (55). Регулююча пара складається із золотника (3) і сідла (7) з наскрізними вікнами для забезпечення заданої пропускної спроможності. У золотнику виконаний паз для з'єднання через муфту (17) з шпинделем (6). Для утримання золотника (3) в кришці (2) (при монтажі) передбачені упори (21).



1 - корпус; 1/1 - стакан; 2 - кришка; 3 - золотник; 4 - бугель; 6 - шпindelь; 7 - сідло; 8 - ґрундбуksа; 9 - планка натискна; 13, 14, 46, 54/1 - гайки; 15 - корпус підшипнику; 16, 17 - муфти; 18 - кільце; 19, 20 - кільця ущільнювальні, центруючі; 21 - упор; 22 - шайба стопорна; 27 - пружина; 32 - покажчик; 33 - табличка; 36 - фіксатор; 42 - болт; 47, 48 - підшипники; 52 - комплект КШ 08 ВП (кільця графлексові); 54 - електромеханізм; 55 - прокладка

Рисунок 6.1 - Основні вузли і деталі РПО з механізмом МЕО

Управління клапаном здійснюється встановленим у верхній частині клапану виконавчим електромеханізмом 54.

Для визначення положення «відкрито» або «закрито» служить показчик (32), а також риски на торці шпинделя (6), яка має бути розташована впоперек осі трубопроводу в положенні клапана «закрито».

6.1.2 Принцип витрати робочого середовища

Регулювання витрати робочого середовища здійснюється за рахунок зміни площі прохідного перетину вікон сідла (7).

6.1.3 Принцип роботи регулюючого клапану

Клапан DN400 працює таким чином: робоче середовище поступає до корпусу (1) клапану і проходить через вікна сідла (7), що відкриваються при повороті золотника (3). При цьому змінюється взаємне розташування вікон сідла і диску золотника, відповідно змінюється витрата середовища через клапан.

Золотник (3) повертається механізмом (54) за допомогою муфти (16), шпинделя (6) і муфти (17) довкола своєї осі.

Герметичність клапану досягається за рахунок притирання поверхонь ущільнювачів знімного сідла (7), золотника (3) і їх притиснення один до одного зусиллям, залежним від перепаду тиску.

Витратна характеристика основного регулюючого поживного клапану (РПО) приведена на рисунку 6.2.

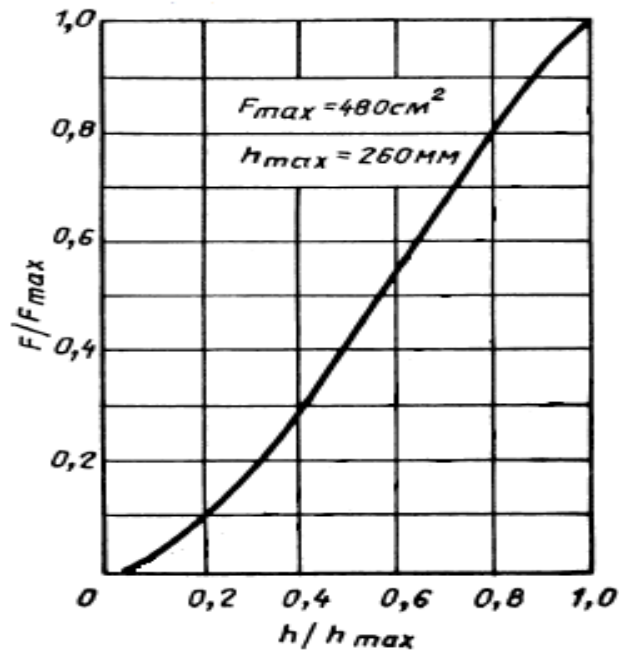


Рисунок 6.2 – Витратна характеристика РПО

6.2 Пуско-зупинний клапан рівня в ПГ

Байпасні регулюючі клапани вузла живлення ПГ (рисунок 6.3) RL71,72,73,74S04 є допоміжними (пуско-зупинними), призначеними для роботи лише при пусках, остановах енергоблоку і при відмовах основного регулятора, і встановлені на байпасних трубопроводах основних регулюючих клапанів [9].

У якості пуско-зупинного регулюючого клапану рівня та витрати парогенераторів в системі використовуються регулюючі клапана DN100 типу СКА.

Регулюючий клапан складається з наступних основних частин:

- корпусу (матеріал ст. 20);
- шибєру;
- штоку;
- бугеля;
- сальникового ущільнення;
- кришки (матеріал ст. 20).

У вихідному патрубку корпусу 1 вварено сідло, що має прохідний перетин для пропуску робочого середовища.

Кришка поміщається у внутрішній порожнині горловини корпусу.

У клапані для ущільнення штоку є сальникова набивка, що складається з пресованих асбографітових кілець. Набивка ущільнюється через грундбуксу, нажимну планку.

Ущільнення роз'єму кришки з корпусом забезпечується сальниковою набивкою, що ущільнюється через бугель.

Бугель кріпиться на корпусі засувки шпильками, які оснащені гайками.

У внутрішній порожнині голівки бугеля поміщений вузол переміщення штоку. На зовнішній поверхні голівки бугеля вмонтовується вбудований електропривід. На голівці бугеля поміщена масельничка для подачі мастила у внутрішню порожнину, де розміщений вузол переміщення штоку.

Шибер утворює з сідлом регулюючий орган клапану. Шток з'єднується з шибром Т - образним закінченням. У середній частині штоку закріплюється повзун, що складається з двох стопорних планок, що скріплюють болтами. Повзун перешкоджає обертальному руху штоку, забезпечуючи його поступальний рух. Повзун також є покажчиком положення регулюючого органу, пересуваючись під час роботи уздовж шкали.

Вузол переміщення складається з:

- втулки різьбової, вкрученої по різьбленню у втулку шпинделя, застопореною гвинтами;
- втулки шпинделя.

Принцип роботи клапану DN100 полягає у наступному:

- втулка шпинделя обертається за допомогою вбудованого електродвигуна. Втулка здійснює переміщення штоку і сполученого з ним шибру;
- при переміщенні шибру відносно сідла відбувається зміна прохідного перетину сідла, що і забезпечує регулювання витрати.

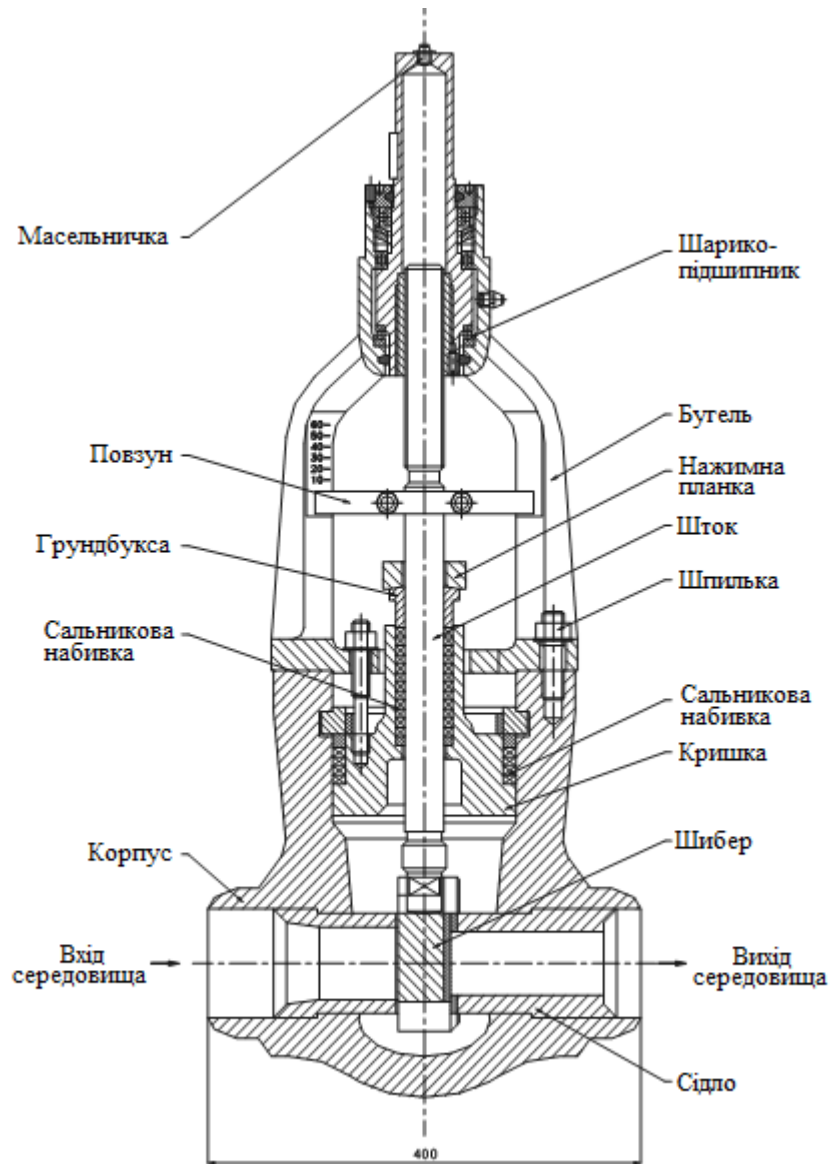


Рисунок 6.3 - Пуско–зупинний регулюючий клапан

Клапани встановлюються на горизонтальних ділянках трубопроводів штоком вгору, з напрямом потоку середовища згідно із стрілкою, нанесеною на корпусі клапану.

Байпасний регулюючий клапан вузла живлення ПГ складається з корпусу з патрубками, безфланцевої кришки з роз'ємним кільцем і сальниковим ущільненням, профільованого сідла із захисною сорочкою, шибером, що перекриває сідло і Т-образне з'єднання зі штоком, сальникового ущільнення штоку, бугеля сполученого з корпусом, ходового гвинта виконаного у згоді з штоком, силової гайки встановленою в підшипникові

опори, електропривіду з маховиком ручного управління вбудованого в голівці і сполученого з силовою гайкою.

Витратна характеристика пуско-зупинного регулюючого поживного клапану (РППО) приведена на рисунку 6.4.

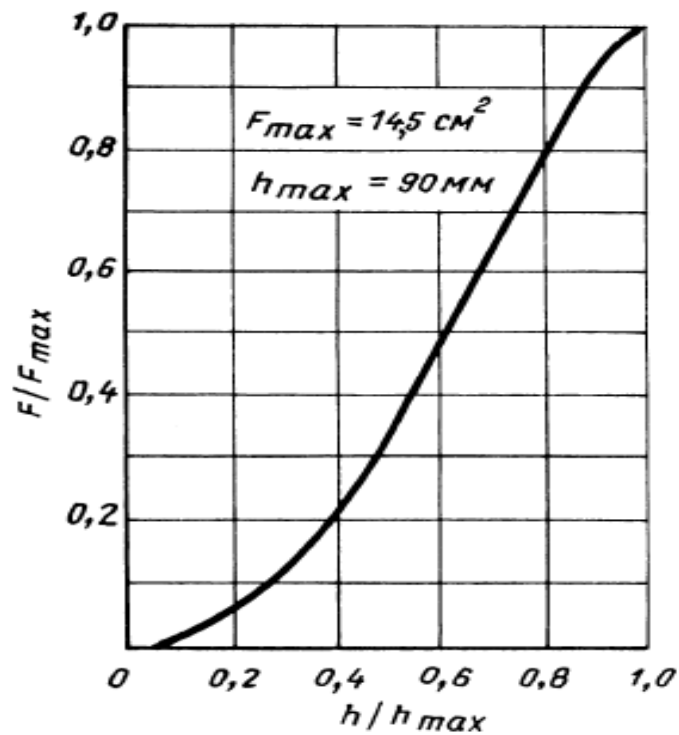


Рисунок 6.4 – Витратна характеристика РППО

ВИСНОВКИ

В процесі виконання дипломної роботи була досліджена удосконалена система автоматичного управління рівня води в парогенераторі. Парогенератори, будучи складовою частиною головних циркуляційних петель реакторної установки і призначені для генерування насиченої пари тиском 6,4 МПа з вологістю менше 0,2% при температурі поживної води 220 °С в режимах нормальної експлуатації РУ.

Розроблена функціональна схема регулювання рівня у парогенераторі з урахуванням вибраних засобів автоматизації для підтримки заданого рівня, а саме (2450±50) мм. Виконано підбір регулюючого клапану, а саме DN400 для РПО і DN100 для РППО, розраховані оптимальні параметри ПІ-регулятора. При аналізі математичної моделі трьохімпульсною САР рівня води в парогенератор були отримані графіки перехідних процесів САР.

Виконано синтез оптимального цифрового ПІ-регулятора на базі лінійної математичної моделі парогенератора, доповненої моделлю ділянки поживного трубопроводу між регулюючим клапаном і парогенератором (інерційна ланка з транспортним запізнюванням).

Проведення порівняльного аналізу цифрового ПІ-регулятора з типовою трьохімпульсною системою підтвердило, що цифровий ПІ-регулятор забезпечує декілька кращу якість управління і може бути легко реалізований в управляючих комплексах, які упроваджуються на АЕС України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Попов И. А. «Динамика паропроизводящей АЭС с внутренними обратными связями», 1984 г.
2. Демченко В. А. «Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС». Одесса : Астропринт, 2001. 395 с.
3. Плютинский В. И., Погорелов В. И. «Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок АЭС». Москва : Энергоатомиздат, 1983.
4. Попов И. А., Скидан А. А., Шахова Н. В. «Идентификация и моделирование технологических процессов». Севастополь, 2005. 120 с.
5. ВП ЗАЕС. Учебний посібник для оперативного персоналу. Принципова теплова схема другого контуру енергоблоків ЗАЕС. 2014. 96 с.
6. ВП ЗАЕС. Інструкція з експлуатації автоматичної системи регулювання і захисту турбіни К-1000-60/1500-2. 2018. 104 с.
7. ВП ЗАЕС. Інструкція з експлуатації електрогідравлічної системи регулювання турбіни (ЕГСР). 2014. 78 с.
8. ВП ЗАЕС. Інструкція з експлуатації програмно-технічного комплексу АСР ТВ. 2017. 117 с.
9. ВП ЗАЕС. Інструкція з експлуатації цифрових регуляторів другого контуру. 2017. 202 с.
10. ВП ЗАЕС. Учебний посібник для оперативного персоналу. Експлуатація парогенераторів ПГВ-1000М. 2017. 128 с.
11. Экспериментальная проверка качества автоматического регулирования питания парогенераторов энергоблока с ВВЭР-1000 при использовании различных задающих сигналов / О. Н. Павлыш, И. П. Гарбузов, Ю. Н. Реуков и др. *Электрична стаття*. 1986. № 2. С. 9 - 11.
12. Демченко В. А. Разработка математической модели динамики парогенератора ПГВ-1000 АЭС *Автоматика-97* : Пр. 4-ї укр. конф. з автоматич. керування. Т. 1. Черкаси, 1997. С. 20 - 23.

13. Штапова А. Г., Мефедова Ю. А. Моделирование системы автоматического регулирования уровня воды в парогенераторе атомной электростанции. *Молодой ученый*. 2015. Листопад (№22.5). С. 53-56.

14. Особливості теплових схем і турбоустановок АЕС. URL: <https://poznayka.org/s93829t1.html> (дата звернення: 15.11.2019).

15. Характеристика основного обладнання атомної електростанції. Парогенератор ПГВ-1000М. URL: <https://www.goodstudents.ru/organization-examples/800-парогенератор.html> (дата звернення: 15.11.2019).