

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра автоматизованого управління технологічними процесами  
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

дружні (магістерські)  
(рівень вищої освіти)

на тему Удосконалення автоматизованої системи управління турбомашинними насосами короткочасного графіку другої секції енергетської в умовах БП. Запоріжжя АЕС

Виконав: студент 2 курсу, групи АКП-18-1мз  
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інструментальні технології  
(код і назва спеціальності)  
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інструментальні технології  
(код і назва освітньої програми)  
спеціалізації \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціалізації)

Григорук А.С. Гусев  
(ініціали та прізвище)

Керівник дочас. каф. НУЗП, к.т.н. Юрчук Т.А. Шевченко  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент каф. електроніки Д.М. Черзон  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя  
2020

Закарпатський національний університет  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет механіки  
Кафедра автоматизованого управління теплотехнічними процесами  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
(другий (магістерський) рівень)  
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегрована технологія  
(шифр і назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
Освітньо-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегрована технологія  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматизованого управління  
теплотехнічними процесами

“ ” 20 року

## ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Госєва Римона Юрійовна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра Ураховлення автоматизованої системи управління турбодвигунами насосами вогнетривого тиску зручної камери енергоблоку в умовах ВП „Закарпатська АЕС“  
керівник кваліфікаційної роботи магістра Обчинникова Т. А., канд. техн. наук, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “10” 09 2019 року № 1541-С

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи магістра 26 грудня 2019р

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра наказ №1541-С від 10.09.2019р.  
технологічні інструкції, технічна ситуація стан автоматизації  
машинних насосів, умови роботи системи автоматизації регулювання  
т ВП „Закарпатська АЕС“

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібні розробити) загальна характеристика, а також складового боку автоматизації  
машинних насосів. Призначення, склад, робота регулятора продуктивності  
турбодвигуна насоса. Регулювання витрати пари машинними та  
ручками в парогенераторі за допомогою регуляторів продуктивності турбодвигуна  
насоса. Цифрові регулятори продуктивності енергоблоку АЕС. Призначення,  
принцип регуляції, промисло-технічне виконання системи зварювання регулювання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
функціональний мбп, умовні схеми енергоблоку, теплова схема енергоблоку турбодвигуна  
машинний агрегат, машинні турбодвигуна насоси, карактеристики переливу тиску на клапані,  
вирішувальні регулятори продуктивності, верхній рівень ЕТК САР ТВ, фрагменти блок-схеми роботи

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	Обчинникова Т.А. доцент кафедри АУГП	[Підпис]
Розділ 2	Обчинникова Т.А. доцент кафедри АУГП	[Підпис]
Розділ 3	Обчинникова Т.А. доцент кафедри АУГП	[Підпис]
Розділ 4	Обчинникова Т.А. доцент кафедри АУГП	[Підпис]
Розділ 5	Обчинникова Т.А. доцент кафедри АУГП	[Підпис]

Методознавчий Обчинникова Т.А., доцент кафедри АУГП  
 7. Дата видачі завдання 10.09.2019р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Прим.
1	Формування практики на ВП, Запорізька АЕС	з 03.09. по 29.09.19	
2	Збір інформації щодо засадкової характеристичної технічної частини як об'єкта автоматизації на ЗАЕС ч. в світ.	з 03.09.19 по 15.10.19	
3	Збір інформації щодо існуючого стану автоматизації АУГП	з 16.10.19 по 20.10.19	
4	Робота програмно-технічного об'єкта результату бурбового відділення	з 21.10. по 01.11.19	
5	Аналіз вимог до ПТК САР ТВ	з 02.11.19 по 30.11.19	
6	Підготовчі проєкції і розпоряд	з 01.12.19 по 21.12.19	
7	Підсумки	28.12.19	

Здобувач вищої освіти

[Підпис]  
(підпис)

Госєв Р.Ю  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

На пояснювальну записку кваліфікаційної роботи на тему: «Удосконалення автоматизованої системи управління турбоживильними насосами водо живильного тракту другого контуру енергоблоку в умовах ВП «Запорізька АЕС», яка включає 100 сторінки машинописного тексту, 19 рисунків, 2 таблиць та 18 найменувань переліку посилань.

Метою роботи є розробка програмно-технічного комплексу системи автоматичного регулювання турбінного відділення, призначеного для управління в режимах нормальної експлуатації і режимах з порушеннями нормальної експлуатації, а також є керуючою людино-машинною системою великої потужності, розрахованої на тривале функціонування в режимі реального часу.

У загальній частині описана технологія виробництва електроенергії на енергоблоці з реактором ВВЕР-1000, а також представлений опис і технічні характеристики турбоживильного насосу. Розглянуто САР основних параметрів і описана проблема при регулюванні продуктивності турбоживильного насосу.

Виконано розробку та проведено аналіз регулятора продуктивності турбоживильного насосу. В результаті розрахунків визначено, що при збільшенні часу роботи системи ймовірність виникнення відмов збільшується, але застосування резервування значно збільшує ймовірність безвідмовної роботи системи, при цьому зменшується кількість відмов.

АЕС, ТУРБОЖИВИЛЬНИЙ НАСОС, РІВЕНЬ, ТИСК, ВИТРАТА, ТЕМПЕРАТУРА, РЕГУЛЮВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	6
Вступ.....	9
1 Загальна характеристика живильного насосу як об'єкта автоматизації..	11
1.1 Загальна схема АЕС з ВВЕР-1000.....	11
1.2 Головний турбоживильний насос ПТА 3750-75.....	14
2 Аналіз існуючого стану автоматизації живильних насосів на аналогічному обладнанні інших заводів світу.....	18
3 Існуючий стан автоматизації живильних насосів в умовах Запорізької атомної електростанції.....	28
3.1 Регулятор продуктивності турбоживильного насоса.....	28
3.2 Призначення регулятора продуктивності турбоживильного насосу.....	31
3.3 Склад регулятора продуктивності. Призначення блоків.....	33
3.4 Робота регулятора продуктивності турбоживильного насоса.....	41
3.5 Регулювання рівня в парогенераторі за допомогою регуляторів продуктивності турбоживильного насоса.....	43
3.6 Регулювання витрати пари (навантаження) турбоживильного насоса.....	49
3.7 Режими роботи регулятора продуктивності турбоживильного насоса.....	51
3.8 Модернізація регулятора .....	55
4 Програмно-технічний комплекс системи автоматичного регулювання турбінного відділення.....	57
4.1 Призначення програмно-технічного комплексу системи автоматичного регулювання турбінного відділення.....	57
4.2 Принципи реалізації системи автоматичного регулювання турбінного відділення.....	59
4.3 Цифрові регулятори другого контура енергоблоку АЕС.....	63

4.4 Призначення і робота регулятора продуктивності турбоживильного насосу автоматичного регулювання турбінного відділення.....	65
4.5 Склад апаратури програмно-технічного комплексу системи автоматичного регулювання турбінного відділення.....	73
5 Вимоги до програмно-технічного комплексу системи автоматичного регулювання турбінного відділення.....	77
5.1 Вимоги до системи в цілому.....	77
5.2 Вимоги до надійності.....	77
5.3 Вимоги до безпеки.....	82
5.4 Вимоги до збереження інформації при аваріях.....	84
5.5 Вимоги до запобігання помилок персоналу і зменшення можливості прийняття неправильних рішень.....	85
5.6 Вимоги до управління регулюючими клапанами.....	86
5.7 Вимоги до автоматичних регуляторів.....	87
5.8 Вимоги до якості управління.....	89
5.9 Вимоги до реалізації команд захистів і блокувань, що формуються програмно-технічним комплексом системи автоматичного регулювання турбінного відділення.....	89
5.10 Вимоги до збирання та первинної обробки дискретних сигналів...	90
5.11 Вимоги до збирання та первинної обробки дискретних сигналів...	93
5.12 Вимоги до подання інформації на блоковий щит управління.....	94
5.13 Вимоги до взаємодії з блочною інформаційно-обчислювальною системи.....	95
5.14 Вимоги до забезпечення захисту від відмов, спотворень, помилкових і несанкціонованих дій.....	97
Висновок.....	98
Список використаних джерел.....	99



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУТП	- автоматизована система управління технологічними процесами;
АСР	- автоматична система регулювання;
АРМ БЩУ	- автоматизоване робоче місце блокового щита управління;
АРМ ІС	- автоматизоване робоче місце інструментальної системи;
БПР	- блок положення регулятора;
БРУ	- блок ручного управління;
БУК	- блок управління клапаном;
БЩУ	- блоковий щит управління;
ВР	- верхній рівень;
ВМ	- виконавчий механізм;
ВП	- вимірювальний перетворювач;
ГПЗ	- головна парова засувка;
ГПК	- головний паровий колектор;
ГЦН	- головний циркуляційний насос;
ДЖЕН	- допоміжний живильний насос;
ЗК	- запобіжний клапан;
ІОС	- інформаційно обчислювальна система;
ІС	- інструментальна система;
КВП	- колектор власних потреб;
КГП	- конденсат гріючої пари;
КЗ	- конденсатозбірник;
КОС	- клерувальна обчислювальна система;
ЛЗ	- лампа зелена;
ЛЧ	- лампа червона;
МК	- мікропроцесор;
МУТ	- механізм управління турбіною;
ОК	- основний конденсат;

ОМР	- обмеження максимальної продуктивності;
ПВ	- перетворювач вимірюючий;
ПВТ	- підігрівач високого тиску;
ПГ	- парогенератор;
ПГ	- парогенератор;
ПНТ	- підігрівач низького тиску;
ПТК АСР ТВ	- програмно-технічний комплекс автоматизованої системи регулювання турбінного відділення;
ПЗ	- програмне забезпечення;
ПЕОМ	- персональна електронно-обчислювальна машина;
РВ	- реакторне відділення;
РК	- регулюючий клапан;
РО	- регулюючий орган;
РПК	- регулюючий поживний клапан;
РПО	- регулятор продуктивності основний;
РППО	- регулятор продуктивності пусковий основний;
РПР	- регулятор продуктивності;
САР	- система аварійного регулювання;
СВО	- спецводоочистка;
СНЕ	- система нормальної експлуатації;
СПП	- сепаратори пароперегрівачі;
СРК	- стопорно - регулюючі клапана;
СУ	- система управління;
СУЗ	- система управління і захисту реактора;
ТА	- турбоагрегат;
ТАВ	- теплова автоматика і вимірювання;
ТГ	- турбогенератор;
ТВ	- турбінне відділення;
ТЗ	- технологічні захисти;
ТЗА	- технічні засоби автоматизації;
ТП	- турбопривід;



ТЖН	- турбоживильний насос;
УОС	- управляюча обчислювальна система;
УКТС	- уніфікований комплекс технічних засобів;
УП	- показчик положення;
УЗО	- пристрій зв'язку з об'єктом;
ФПЗ	- функціональне програмне забезпечення;
ХОВ	- химобессолена вода;
ЦП	- циркуляція пари;
ЦПК	- центральний паровий колектор;
ЦР	- цифрові регулятори;
ШУ	- шафа управління.

## ВСТУП

У наш час стрімкий розвиток атомної енергетики, популяризація використання радіоактивних речовин і джерел іонізуючих випромінювань в промисловості, що базується на бажанні отримання безпечним чином електричної енергії, призвело до впровадження стратегії розвитку ядерної енергетики до 2030 р.

Стратегією розвитку ядерної енергетики планується підтримка старих і побудова нових енергоблоків. Це рішення обґрунтовується, в першу чергу, світовими тенденціями в енергетиці, розвитком інноваційних ядерних технологій, наявністю власних сировинних ресурсів урану і цирконію, а також - стабільною роботою АЕС, потенційними можливостями країни щодо створення енергетичних потужностей на АЕС, наявними технічними, фінансовими та екологічними проблемами теплової енергетики.

*Актуальність теми* магістерської роботи полягає в тому, що регулювання продуктивності турбоживильного насосу при зміні навантаження реакторної установки є дуже важливим завданням регулювання енергетичним блоком. Система регулювання продуктивності турбоживильного насосу тісно пов'язана з системою регулювання живильної води парогенератора, сприяє підвищенню економічної роботи енергоблоку, його динамічній стійкості в перехідних режимах і надійної роботи регулюючих поживних клапанів.

*Мета і задачі роботи.* Розробка програмно-технічного комплексу системи автоматичного регулювання турбінного відділення, призначеного для управління в режимах нормальної експлуатації і режимах з порушеннями нормальної експлуатації, а також є керуючою людино-машинної системою великої потужності, розрахованої на тривале функціонування в режимі реального часу.

*Об'єкт дослідження.* Живильний насос в умовах Запорізької атомної електростанції.

*Предмет дослідження.* Регулятор продуктивності турбоживильного насосу, призначений для регулювання продуктивності живильних насосів в широкому діапазоні зміни навантаження блоку.

*Методи дослідження.* Аналіз існуючого стану автоматизації живильних насосів на аналогічному обладнанні. Існуючий стан автоматизації живильних насосів в умовах Запорізької атомної електростанції та інших заводів світу.

*Практичне значення одержаних результатів.* Запропонована у роботі система аварійного регулювання турбінного відділення розроблена на базі програмно-технічного комплексу із застосуванням сучасних технічних і програмних засобів автоматизації може бути впроваджена при модернізації діючої системи управління.

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

*Публікації.* Результати магістерської роботи опубліковано у тезах доповідей :

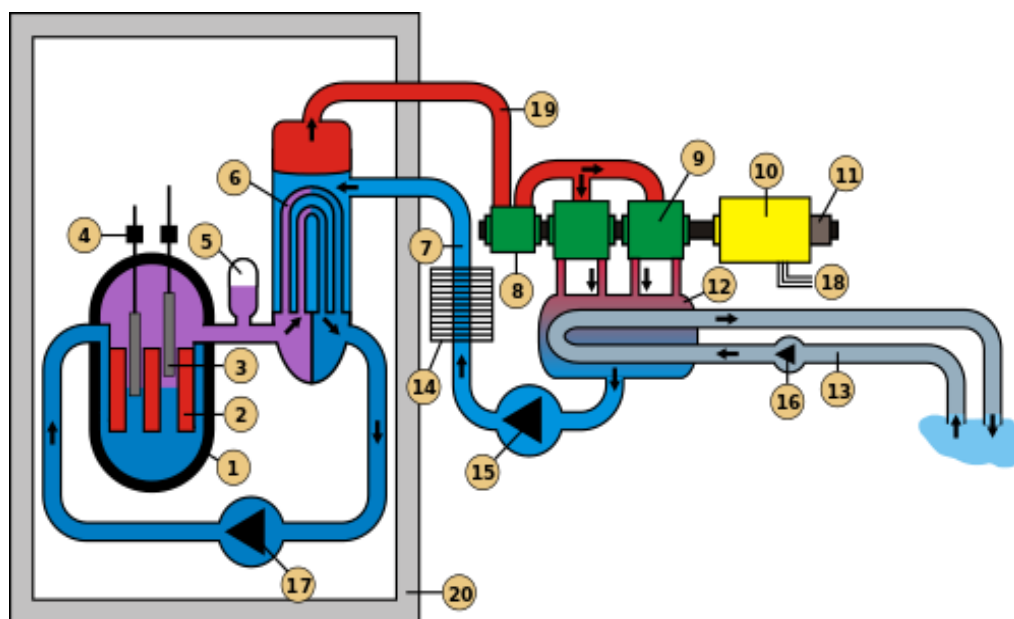
1. Гостев Р. Ю. Удосконалення автоматизованої системи управління турбоживильними насосами водоживильного тракту другого контуру енергоблоку в умовах ВП «Запорізька АЕС». *Металургія як основа сучасної промисловості* : матеріали XXIV наук.-техн. конф. м. Запоріжжя, 26-29 листоп. 2019 р. Запоріжжя, 2019. С. 74-75.

*Структура та обсяг магістерської роботи.* Робота складається з переліка умовних позначень, вступу, шести розділів, висновків, 18 використаних джерел. Текст магістерської роботи викладено на 100 сторінках, містить 19 рисунків, 2 таблиць.

# 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЖИВИЛЬНОГО НАСОСУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 1.1 Загальна схема АЕС з ВВЕР-1000

Генеральний план АЕС з ВВЕР-1000 передбачає розміщення на одному майданчику декількох енергоблоків, що пов'язано з необхідністю утримувати на майданчику АЕС загальні для всіх блоків служби, обладнання та інфраструктуру. Кожен головний корпус є моноблоком і складається з реакторного відділення, машинної зали, деаераторної етажерки і примикає до машинного залу етажерки електротехнічних пристроїв (рис. 1.1).



- 1 – реактор; 2 – паливо; 3 - регулюючі стрижні; 4 - приводи СУЗ;  
 5 - компенсатор тиску; 6 - теплообмінні трубки парогенератора; 7 - подача живильної води в парогенератор; 8 - циліндр високого тиску турбіни;  
 9 - циліндр низького тиску турбіни; 10 – генератор; 11 – збудник;  
 12 – конденсатор; 13 - система охолодження конденсаторів турбіни;  
 14 – підігрівачі; 15 - турбоживильний насос; 16 - циркуляційний насос;  
 17 - головний циркуляційний насос; 18 - підключення генератора до мережі;  
 19 - подача пари на турбіну, 20 – гермо оболонка

Рисунок 1.1 - Умовна схема енергоблоку з водо-водяним реактором

У головному корпусі розміщується таке основне обладнання:

- реактор типу ВВЕР-1000;
- турбоустановка типу К-1000-60/1500 або подібна їй;
- генератор типу ТВВ-1000.

Технологічна схема кожного блоку двоконтурна. Перший контур є радіоактивним, в нього входить водо-водяний енергетичний реактор ВВЕР-1000 тепловою потужністю 1000 МВт і чотири циркуляційних петлі, за яким через активну зону за допомогою головних циркуляційних насосів прокачується теплоносій - вода під тиском 16,5 МПа. Температура води на вході в реактор дорівнює приблизно 289 °С, на виході - 322 °С. Витрата циркуляційної води через реактор становить 84000 т/ч. Нагріта в реакторі вода направляється по чотирьох трубопроводах в парогенератори. Тиск і рівень теплоносія першого контуру підтримуються за допомогою парового компенсатора тиску. Другий контур — нерадіоактивний, складається з випарувальної і водоживильної установок, блокової знесолюваної установки і турбоагрегату електричною потужністю 1000 МВт. Теплоносій першого контуру охолоджується в парогенераторах, віддаючи при цьому тепло воді другого контуру. Насичена пара, що виробляється в парогенераторах, з тиском 6,4 МПа і температурою 280 °С подається в збірний паропровід і прямує до турбоустановки, що приводить в рух електрогенератор. Витрата пари від 4 парогенераторів на турбіну - приблизно 6000 т/ч. В другий контур також входять конденсатні насоси першого і другого ступенів, підігрівачі високого і низького тиску, деаератор, турбоживильні насоси.

Турбінне відділення.

У другому контурі пар з вологістю 0,5% з чотирьох парогенераторів по паропроводах через стопорно-регулюючі клапани підводиться в середину двухпотокового симетричного циліндра високого тиску турбіни, де, після розширення, з тиском 1,2 МПа і вологістю 12% направляється до чотирьох сепараторів-пароперегрівачів, в яких після осушення пари

(конденсат для використання його теплоти відводиться в деаератор) здійснюється її двоступеневий перегрів, у першій ступені паром першого відбору з тиском 3 МПа, і температурою 234 °С, в другий - свіжим паром. Утворений конденсат гріючої пари направляється в підігрівачі високого тиску для передачі його теплоти живильній воді. Основний же перегрітий пар при параметрах 1,13 МПа і 250 °С надходить в дві ресиверні труби, розташовані з боків турбіни, а з них - через стопорні поворотні заслінки - в три однакових двопоточних циліндра низького тиску. Далі з кожного ЦНД пар надходить в свій конденсатор. Регенеративна система установки складається з чотирьох підігрівачів низького тиску, деаератора і двох груп ПВД. Поживна вода в ПВД подається двома турбоживильними насосами потужністю близько 12 МВт кожен, їх приводна турбіна живиться перегрітою парою, що відбирається за СПП, і має власний конденсатор. Турбоживильні насоси (їх два на кожен енергоблок) подають живильну воду з деаератора в парогенератори через ПВД. Кожен насос складається з двох, головного і бустерного, разом вони утворюють єдиний агрегат, що приводиться в дію власною конденсаційною турбіною і має свою маслосистему. Продуктивність кожного агрегату близько 3800 м<sup>3</sup>/год, у бустерних насосів частота обертання 1800 об/хв, розвивається тиск 1,94 МПа; у основних - 3500 об/хв і 7,33 МПа. Для блоків з ВВЕР-1000 резервних насосів не передбачено, що пов'язано з необхідністю прогріву турбопривода перед включенням, тому при виході з ладу одного з них потужність енергоблоку знижується на 50%. Для аварійних режимів, режимів пуску і розхолодження передбачені допоміжні поживні електронасоси.

Трифазні синхронні турбогенератори ТВВ-1000 призначені для вироблення електроенергії при безпосередньому з'єднанні з паровими турбінами. Активна потужність - 1000 МВт, напруга 24 кВ, частота обертання ротора 1500 об / хв. Генератор складається із статора, торцевих щитів, ротора, висновків з нульовими трансформаторами струму і гнучкими перемичками, газоохолоджувачів, опорного підшипника, ущільнень вала і

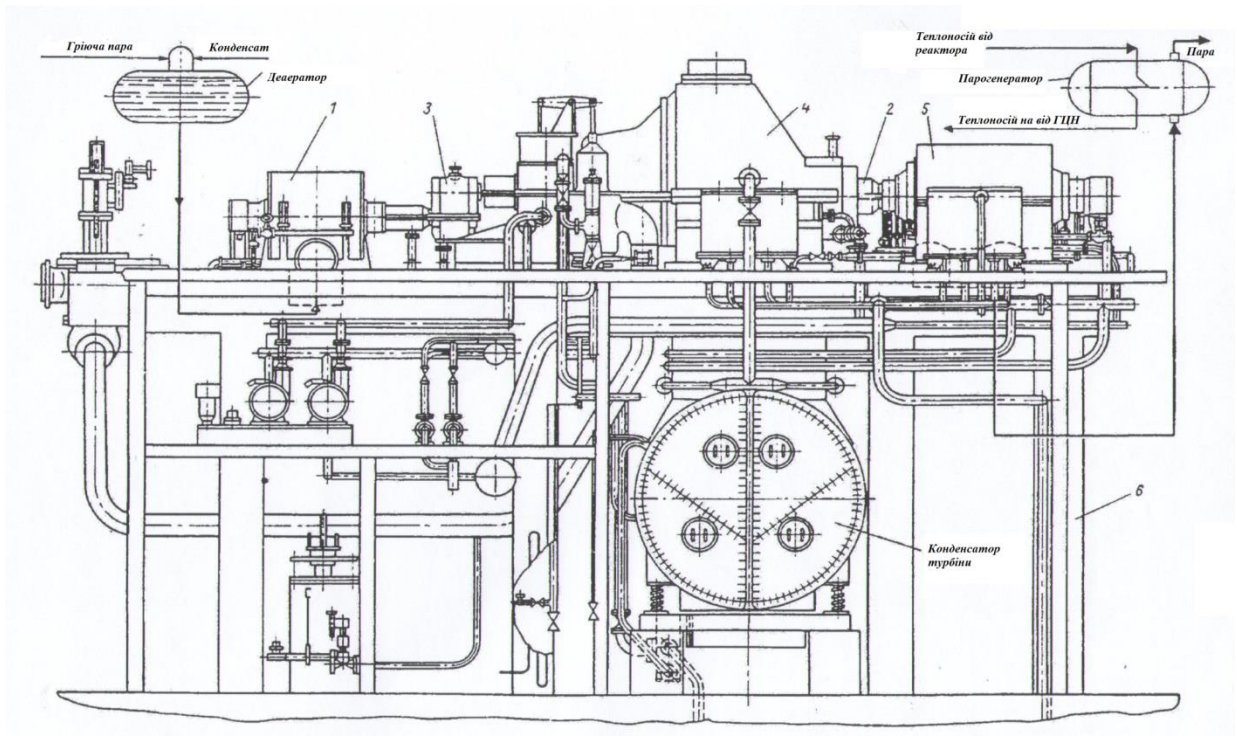
фундаментних плит. Порух генератора здійснюється від безщітного збудника типу БВД-1500, що складається з синхронного генератора зверненого виконання і обертового випрямляча. Роботу генератора забезпечують безліч допоміжних систем. До кожного турбогенератора через генераторні вимикачі підключаються два підвищують трифазних трансформатора потужністю по 630 МВ кожен, з яких, з'єднані паралельно, дозволяють видавати номінальну потужність блоку в мережу.

## 1.2 Головний турбоживильний насос ПТА 3750-75

Живильні насоси призначені для подачі деаерованої води з деаераторів в барабани-сепаратори на АЕС з реакторами РБМК і в парогенератори на АЕС з реакторами ВВЕР. Живильні насоси виготовляються як двокорпусними, так і однокорпусними секційними. В якості приводу насосів використовуються електродвигуни та парові турбіни.

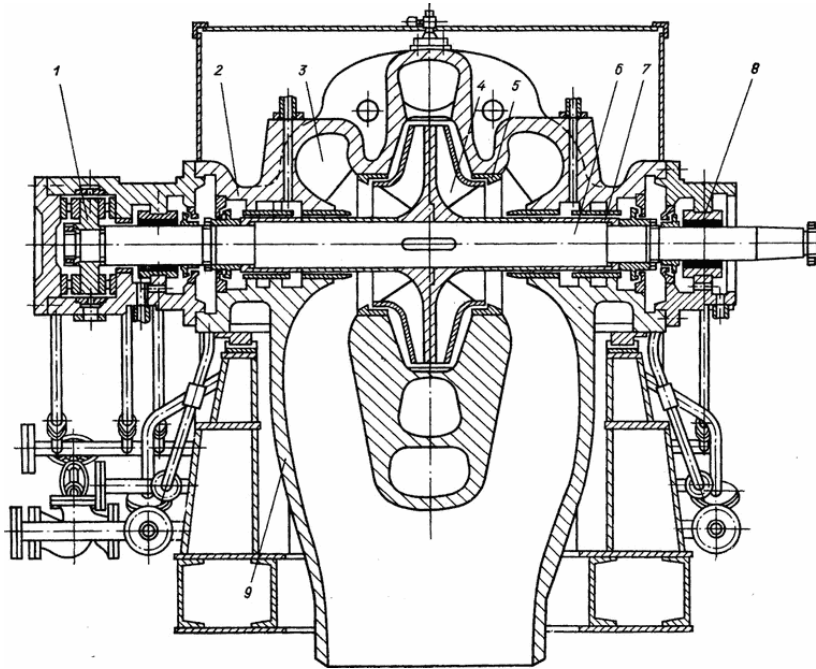
На двоконтурних АЕС з реактором ВВЕР-1000 застосовуються турбоживильні насосні агрегати ПТА 3750-75. До складу агрегату входять приводний парова турбіна, редуктор, бустерний насос, головний насос. Вали насосів, редуктора і приводний турбіни з'єднуються зубчастими муфтами. Агрегат встановлюється на спеціальному колонному фундаменті, під яким розташовано допоміжне обладнання (рис. 1.2).





1 - бустерний насос; 2 - вали насосів, редуктора і приводний турбіни з'єднуються зубчастими муфтами; 3 – редуктор; 4 - приводна парова турбіна; 5 - головний насос; 6 – спеціальний колонний фундамент  
Рисунок 1.2 - Турбоживильний насосний агрегат ПТА 3750-75 АЕС з реактором ВВЕР-1000

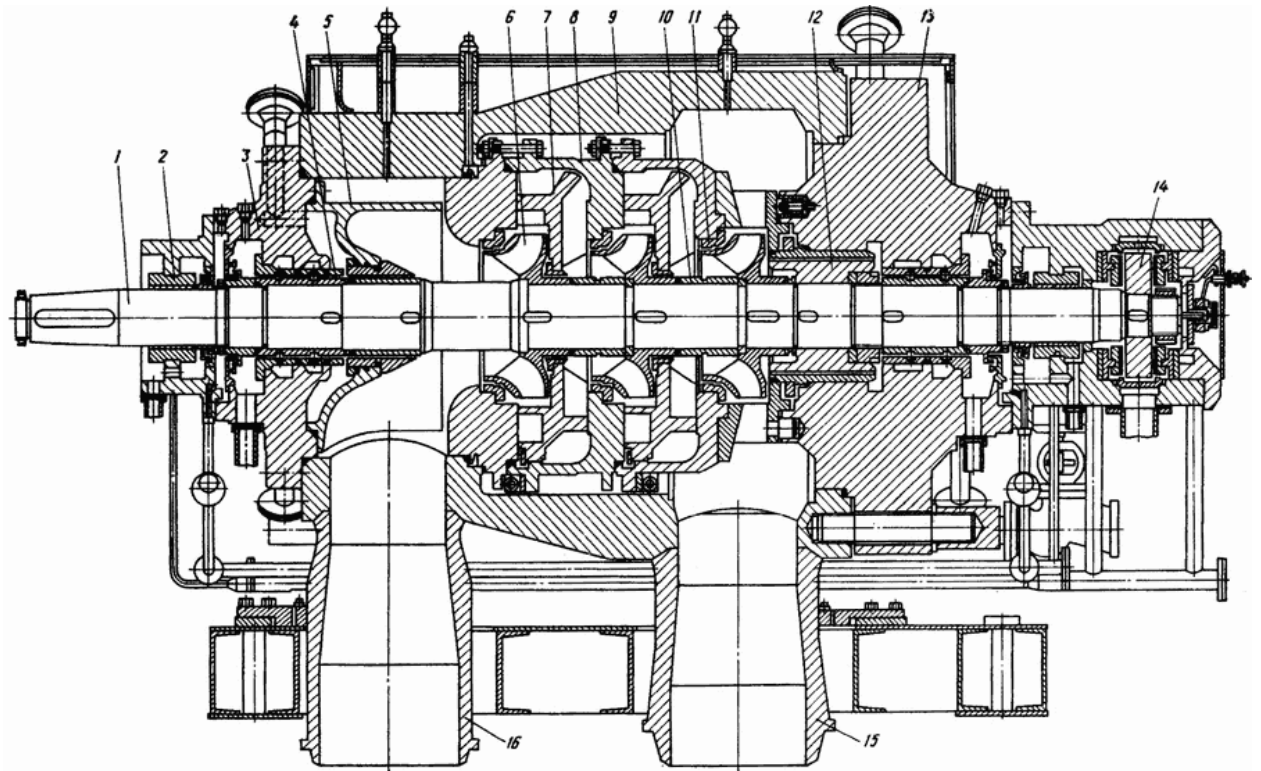
Бустерний насос має колесо з щілинним ущільненням двостороннього входу і двухзавитковий спіральний відвід, розташований в корпусі і кришці. Корпус насоса має горизонтальний роз'єм, який ущільнюється паронитовою прокладкою. До кінцевих ущільнень щілинного типу підводиться й організовано відводиться замикаюча холодна вода від конденсатних насосів. Радіальні і осьові опори ротора насоса — гідродинамічні підшипники ковзання з примусовою мастилом від загально станційної системи (рис. 1.3).



1 - осеві опори ротора; 2 – двосторонній вхід в кришці; 3 - двосторонній вхід і двухзавитковий спіральний відвід; 4 – колесо; 5 - колесо з щілинним ущільненням; 6 - ротор насоса; 7 - кінцеві ущільнення; 8 - радіальні опори ротора; 9 - корпус

Рисунок 1.3 - Бустерний насос ПТА 3750-75 турбоживильного насосного агрегата

Головний насос цього агрегату двохкорпусний, триступеневий. Проточна частина насоса складається з підведення, робочих коліс і напрямних апаратів, закріплених у секціях. Робочі колеса надіті на вал по ковзній посадці. Ротор насоса з секціями і направляючими апаратами утворює внутрішній корпус. Вхідний і напірний патрубкі зовнішнього корпусу спрямовані вниз. До торцевих поверхонь зовнішнього корпусу кріпляться вхідна і напірна кришки. Розвантажувальний пристрій — гідравлічний поршень, залишкові зусилля сприймаються двостороннім упорним підшипником з самевстановлюючимися вкладишами. До кінцевих ущільнень вала щілинного типу підводиться й організовано відводиться замикаюча холодна вода від конденсатних насосів. Радіальні підшипники ковзання мають примусове змащення від загальностанційної маслосистеми. Щілинні ущільнення мають ступінчасту форму (рис. 1.4).



1 – вал; 2 - радіальні підшипники ковзання; 3 – вхідна кришка; 4 - вал щілинного типу; 5 – підведення; 6 - робочі колеса; 7 - напрямні апарати; 8 – секції; 9 – зовнішній корпус; 10 - ротор насоса; 11 - щілинні ущільнення; 12 - гідравлічний поршень; 13 – напірна кришка; 14 - двосторонній упорний підшипник; 15 – напірний патрубок; 16 - вхідний патрубок

Рисунок 1.4 - Головний турбоживильний насос ПТА 3750-75

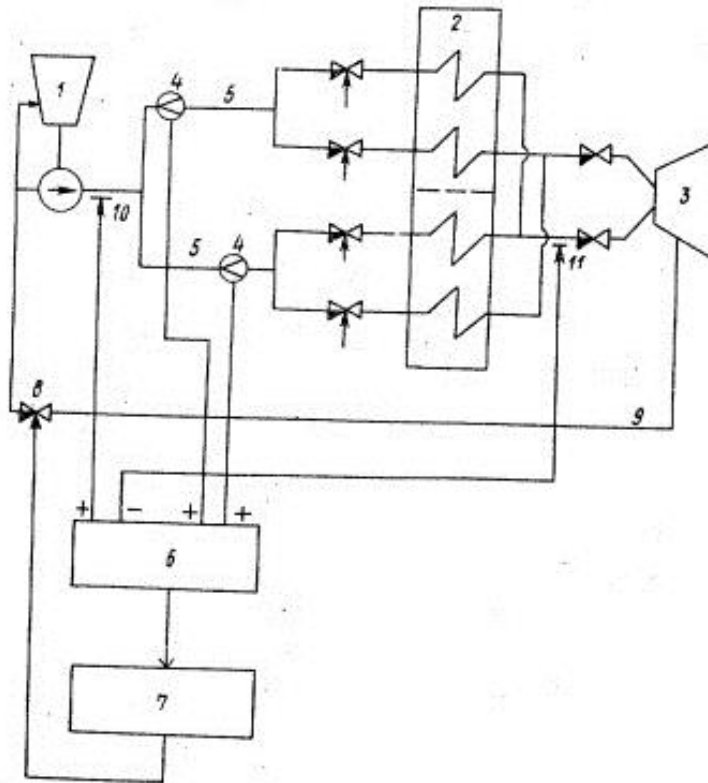
## 2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖИВИЛЬНИХ НАСОСІВ НА АНАЛОГІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ ІНШИХ ЗАВОДІВ СВІТУ

Відомий спосіб автоматичного регулювання продуктивності живильного насоса енергетичного блоку з багатопотоковим парогенератором і турбіною шляхом вимірювання витрати води і подальшої зміни продуктивності насоса.

Але недоліком відомого способу є те, що при топкових збуреннях і роботі упорскування на пиловугільних котлах може спостерігатися дефіцит або надлишок води по даному потоку з огляду на велику інерційність в регулюванні через «мертву ходу» повністю відкритого регулюючого живильного клапана. Постійні коливання витрат води доходять до 10% від витрати води по потоку. Це призводить до коливань температури поверхні нагріву котла, що значно скорочує термін його служби.

Спеціалісти Криворіжської ТЕС Г. П. Барков, М. Ф. Хижняк та Н. Е. Коломис винайшли як можливо підвищити якість регулювання шляхом зниження коливання витрат води по потокам з допомогою додаткового вимірювання тиску живильної води за насосом і тиск пари перед турбіною, визначають їх різницю і за отриманим сигналом коректують продуктивність живильного насоса [16].

На рис. 2.1 показана схема реалізації даного способу регулювання продуктивності живильного насоса з багатопотоковим парогенератором і турбіною. Схема містить датчики витрати води по потокам, підключені через вимірювальний блок до регулятора продуктивності насоса. Регулятор з'єднаний з клапаном, встановленим на паропроводі з відбору турбіни на привід насоса. До вимірювального блоку додатково підключені датчик тиску живильної води і датчик тиску пари перед турбіною.



1 - живильний насос; 2 - багатопотоковий парогенератор; 3 – турбіна; 4 - датчики витрати води; 5 - датчики витрати води по потокам; 6 - вимірювальний блок; 7 - регулятор продуктивності насоса; 8 – клапан; 9 – паропровід; 10 - датчик тиску живильної води; 11 - датчик тиску пари

Рисунок 2.1 - Схема реалізації способу регулювання продуктивності живильного насоса

Працює схема наступним чином сигнали від датчиків 4, 10 і 11 надходять на вимірювальний блок 6 регулятора 7 продуктивності живильного насоса 1. Сигнали по тиску живильної води за насосом і тиску пари перед турбіною, одержувані від датчиків 10 і 11 відповідно, у вимірювальному блоці віднімають. Різниця цих двох сигналів відповідає перепаду тисків на парогенераторі.

У вимірювальному блоці 6 сигнали витрат живильної води, одержувані від датчиків 4, підсумовуються, тобто регулювання ведуть за співвідношенням витрати живильної води і перепаду тиску на парогенераторі. У разі порушення цього співвідношення або зміни завдання

регулятору задатчиком витрати на виході вимірювального блоку 6 формується сигнал надходить на регулятор 7 продуктивності насоса 1, який управляє клапаном 8, встановленим на паропроводі 9 відбору пари з турбіни 3 на привід насоса 1.

У разі зміни тиску пари перед турбіною 3 змінюється перепад тиску на парогенераторі, тобто порушується співвідношення між витратою живильної води на блок і перепадом тиску на парогенераторі 2, на виході вимірювального блоку 6 з'являється сигнал неузгодженості, який надходить на регулятор 7 продуктивності насоса 1. Регулятор 7 впливає на клапан 8 і змінює на ту ж величину тиск живильної води за насосом 1. Перепад тиску на парогенераторі при цьому залишається незмінним і, отже, витрата води не змінюється, що виключає коливання витрати живильної води по потокам. Це призводить до підвищення якості регулювання.

Спосіб автоматичного регулювання продуктивності живильного насоса енергетичного блоку з багатопотоковим парогенератором і турбіною шляхом вимірювання витрати води і подальшої зміни продуктивності насоса, який відрізняється тим, що, з метою підвищення якості регулювання шляхом зниження коливань витрат води за потоками, додатково вимірюють тиск живильної води за насосом і тиск пари перед турбіною, визначають їх різницю і за отриманим сигналом коригують продуктивність живильного насоса.

Наведена система регулювання поживних турбонасосів, паралельно приєднаних до загальної живильної магістралі парогенератора, забезпеченою регулюючим органом регулятора живлення, що містить статичні регулятори перепаду тиску кожного турбонасоса, підключені своїми першими входами до живильної магістралі за регулюючим органом регулятора живлення, і коректор навантаження турбонасосів, виконаний у вигляді вимірювача різниці тисків пари перед соплами турбонасосів, підключеного до елемента, який відрізняється тим, що, з метою підвищення точності регулювання навантажень турбонасосів, вихідний елемент коректора виконаний у вигляді струминного підсилювача з

заслінкою, пов'язаної з вимірником і розміщеної між напірними і прийомними соплами, причому напірні сопла підключені до живильної магістралі до регулюючого органу регулятора живлення, а кожне з прийомних сопел підключено до другого входу відповідного регулятора перепаду.

Відомі системи регулювання поживних турбонасосів, паралельно приєднаних до загальній живильній магістралі парогенератора, забезпеченою регулюючим органом регулятора живлення, що містять статичні регулятори перепаду тиску кожного турбонасоса, підключені своїми входами до живильної магістралі до і за регулюючим органом регулятора живлення.

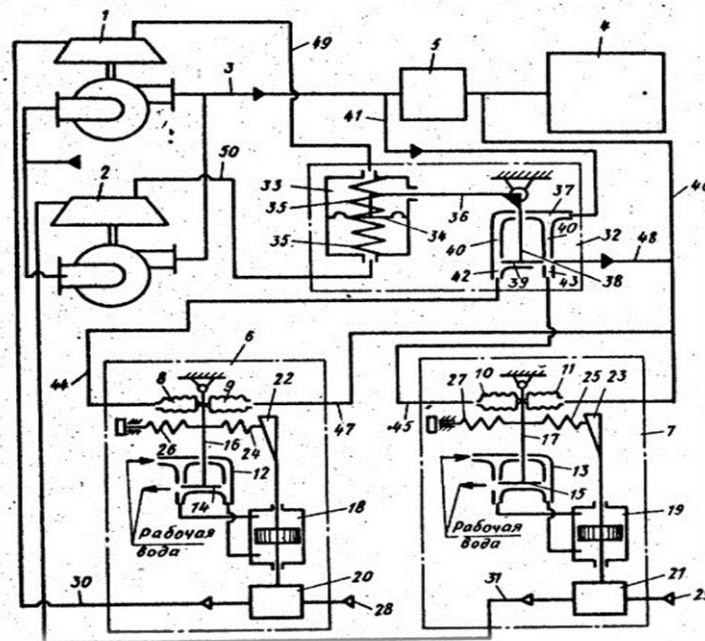
Однак ці системи не забезпечують високої точності розподілу навантажень між турбонасосами. Найбільш близькою до винаходу по технічній сутності є система регулювання поживних турбонасосів, паралельно приєднаних до загальної живильної магістралі парогенератора, забезпеченою регулюючим органом регулятора живлення, що містить статичні регулятори перепаду тиску кожного турбонасоса, підключені своїми першими входами до живильної магістралі за регулюючим органом регулятора живлення, і коректор навантаження турбонасосів, виконаний у вигляді вимірювача різності тисків пару перед соплами турбонасосів, підключеного до елемента.

Недоліком відомої системи є знижена точність регулювання навантажень турбонасосів [16].

Вчені О. О. Кашников, Г. Я. Фальшпун, Є. Л. Шифрин винайшли, як підвищити точність регулювання навантажень турбонасосів. Потрібно, щоб в системі регулювання поживних турбонасосів, паралельно приєднаних до загальної живильної магістралі парогенератора, забезпеченою регулюючим органом регулятора живлення, що містить статичні регулятори перепаду тиску кожного турбонасоса, підключені своїми першими входами до живильної магістралі за регулюючим органом регулятора живлення, і коректор навантаження турбонасосів, виконаний у вигляді вимірювача



різниці тисків пари перед соплами турбонасосів, підключеного до вихідного елемента, вихідний елемент коректора виконаний у вигляді струминного підсилювача з заслінкою, пов'язаної з вимірником і розміщеної між напірними і прийомними соплами, причому напірні сопла, підключені до живильної магістралі до регулюючого органу регулятора живлення, а кожне з прийомних сопел підключено до другого входу відповідного регулятора перепаду. На рис. 2.2 наведена схема запропонованої системи регулювання.



1, 2 - живильні турбонасоси; 3 - загальна живильна магістраль; 4 - парогенератор; 5 - регулюючий орган регулятора живлення; 6, 7 - статичні регулятори перепаду тиску; 8, 9, 10, 11 - сільфони; 12, 13 - водяні підсилювачі струминного типу; 14, 15 - відбивна заслінка; 16, 17 - сумуючі важелі; 18, 19 - сервомотори; 20, 21 - парові клапани турбонасосів; 22, 23 - лекала; 24, 25, 26, 27, 35 – пружини; 28, 29, 30, 31, 41, 44, 45, 46, 47, 48 - трубопроводи; 32 - коректор навантаження; 33 - вимірювач різниці тисків пари перед соплами турбонасосів з мембраною 34, 36, 38 - важель; 37 - вихідний елемент; 39 - відбивна заслінка; 40 - напірні сопла; 49, 50 - імпульсні лінії

Рисунок 2.2 - Схема запропонованої системи регулювання

Живильні турбонасоси 1 і 2 паралельно приєднані до загальної живильної магістралі 3 парогенератори 4, в якій встановлено регулюючий орган 5 регулятора живлення. Статичні регулятори 6 і 7 перепаду тиску кожного турбонасоса мають сильфонні вимірювальні пристрої (сильфони 8-11) і водяні підсилювачі 12 і 13 струминного типу, кожен з яких містить розташовану між напірними і прийомними соплами відбивну заслінку 14 (15), закріплену на сумуючому важелі 16 (17). Підсилювачі 12 і 13 керують роботою сервомоторів 18 і 19, які переміщують парові клапани 20 і 21 турбонасосів. На важіль 16 (17), впливає пристрій зворотного зв'язку, що складається з лекала 22 (23) і пружини 24 (25). Відрегулювання перепаду здійснюється зміною величини підтискання пружини 26 (27). Свіжий пар до регуляторів перепаду підводиться по трубопроводах 28 і 29. По трубопроводах 30 і 31 пар надходить до турбонасоси.

Коректор 32 навантаження виконаний у вигляді вимірювача 33 різниці тисків пару перед соплами турбонасосів з мембраною 34, пружиною 35 і важелем 36, і вихідного елемента 37 у вигляді водяного струминного підсилювача (аналогічного застосованому в регуляторах перепаду), на важелі 38 якого, жорстко пов'язаного з важелем 36 і маючого нерухому вісь обертання, закріплена відбивна заслінка 39. Напірні сопла 40 підсилювача пов'язані трубопроводом 41 з живильним магістраллю 3 до регулюючого органу 5 регулятора живлення. Приймальні сопла 42 і 43 підсилювача пов'язані трубопроводами 44 і 45 з входами регуляторів 6 і 7 (сильфонами 8 і 10). Сильфони 9 і 11, а також входи регуляторів 6 і 7 пов'язані трубопроводами 46 і 47 з живильною магістраллю 3 за регулюючим органом 5 регулятора живлення парогенератора 4. У цю ж магістраль здійснений злив води з підсилювача по трубопроводу 48, пов'язаному з трубопроводом 46. Таким чином, підсилювач працює на перепаді тиску води, що дорівнює перепаду на регулюючому органі 5 регулятора живлення. До вимірювача 33 коректора підведені імпульсні лінії 49 і 50 для вимірювання тиску пари перед соплами турбонасосів.

Система працює наступним чином. На регулюючому органі 5 регулятора живлення автоматично підтримується заданий перепад тиску за допомогою регуляторів 6 і 7 перепаду, що змінюють подачу пара до турбонасоси при зміні режиму роботи парогенератора 4. Коректор 32 вимірює тиск пара перед соплами турбонасосів, порівнює ці тиски між собою і, завдяки їхній різниці між ними, виробляє сигнал у вигляді зміни імпульсного тиску, що підводиться до регуляторів перепаду, викликаючи перебудову регуляторів, аналогічну за результатом перебудови шляхом впливу на пружини 26 або 25 (27 або 25) і таким чином вирівнюючи навантаження турбонасосів. Якщо, наприклад, тиск пара перед соплами турбонасоса 1 більше, ніж тиск пара перед соплами турбонасоса 2, мембрана 34 коректора прогинається вниз, важелі 36 і 38 повертаються проти годинникової стрілки, і заслінка 39 зсувається вправо. В результаті збільшується тиск, що підводиться вправо. В результаті збільшується тиск, що підводиться до сильфони 8, і зменшується тиск, що підводиться до сильфони 10. Важіль 16 регулятора 6 перепаду повертається проти годинникової стрілки, і сервомотор 18 отримує команду на закриття клапана 20. Важіль 17 повертається за годинниковою стрілкою, і сервомотор 19 отримує команду на відкриття клапана 21. Навантаження турбонасоса 1 зменшується, а турбонасоса 2 - збільшується. Різниця навантажень наближається до нуля.

Якщо більш навантажений турбонасос 2, мембрана 34 коректора перегинається вгору, важелі 36 і 38 повертаються за годинниковою стрілкою і заслінка 39 зсувається вліво. Навантаження турбонасоса 2 зменшується, а турбонасоса 1 збільшується. Різниця навантажень також наближається до нуля.

При використанні даної системи збільшується точність розподілу навантажень турбонасосів при паралельній роботі, що тягне за собою підвищення ресурсу турбонасосів [17].

Спосіб автоматичного регулювання продуктивності живильного насоса.

Розглядаючи відомі способи автоматичного регулювання продуктивності живильного насоса для паралельного живлення декількох споживачів з встановленими на них регулюючими живильними клапанами, керованими регуляторами живлення, вчені Н. И. Давидов, А. Д. Меламед, Е. Е. Микушевич, Г. А. Іщенко запропонували спосіб, що відрізняється від відомих тим, що на регулятор живильного насоса подають сигнал завдання, діючий в напрямку зниження тиску до тих пір, поки не буде досягнуто повне відкриття хоча б одного з регулюючих поживних клапанів, а в напрямку підвищення тиску - сигнал від регулятора живлення потоку з повністю відкритим регулюючим клапаном. Це дозволить зменшити втрати на дроселювання.

На рис.2.3 зображена схема здійснення запропонованого способу.

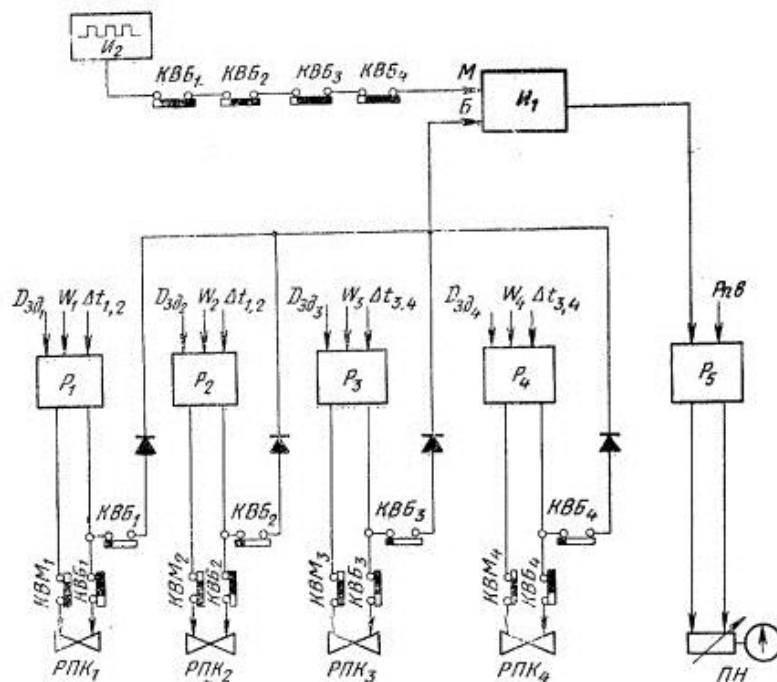


Рисунок 2.3 - Схема автоматичного регулювання продуктивності живильного насоса для паралельного живлення декількох споживачів

У схемі регулювання живлення двухкорпусного чотирьохпоточного котла на регулятори  $P_1 - P_5$ , керуючі через кінцеві вимикачі «менше» (КВМ) і «більше» (КВВ) переміщенням відповідно РПК<sub>1</sub>, РПК<sub>2</sub> (I корпус) і РПК<sub>3</sub>, РПК<sub>4</sub> (II корпус), надходять імпульси по заданих навантажень  $D_{зд1}-D_{зд4}$  і витрат води  $W_1 - W_4$ , відповідних потоків. Ці регулятори сприймають також коригувальний сигнал по різниці температур в певній точці пароводяних контурів кожного корпусу  $\Delta t_{1,2}$  ( $\Delta t_{3,4}$ ). Регулятори потоків підтримують витрата води по кожному потоку відповідно до алгебраїчною сумою сигналів  $D_{зд}$  і  $\Delta t$ .

Регулятор  $P_5$ , що впливає на регулюючий орган живильного насоса, отримує сигнал завдання від інтегратора  $I_1$ , і сигнал по тиску води  $P_{\text{нв}}$  в загальній живильній магістралі. Напрямок зміни сигналу завдання залежить від положення РПК. Якщо все воно знаходяться в проміжному положенні, від імпульсатора  $I_2$  через ланцюжок послідовно з'єднаних контактів кінцевих вимикачів КВБ<sub>1</sub> - КВБ<sub>4</sub> відповідних поживних клапанів на інтегратор  $I_1$  подається серія імпульсів, які перетворюються їм в безперервний сигнал. Під дією цього сигналу регулятор живильного насоса знижує тиск води в загальній живильній магістралі до тих пір, поки принаймні один з РПК не відчиниться повністю. Тоді відповідний контакт кінцевого вимикача в ланцюзі імпульсатора розімкнеться, відключить останній від інтегратора  $I_1$  і регулятор  $P_5$  буде підтримувати тиск живильної води відповідно до рівня сигналу, досягнутих в момент відкриття РПК.

Якщо при цьому, внаслідок збільшення завдання або виникнення температурного перекосу по потокам корпусу, регулятору витрати води по потоку з відкритим РПК буде потрібно збільшити витрату води, то вплив цього регулятора через контакт кінцевого вимикача, що замикається при відкритті РПК, передається на інтегратор  $I_1$ . Під дією цього сигналу регулятор живильного насоса буде підвищувати тиск живильної води до досягнення відповідності між зміненим завданням і витратою води, по даному потоку або до прикриття РПК даного потоку, в останньому випадку

знову відбудеться підключення ланцюга від імпульсатора, який викличе відкриття принаймні одного з РПК.

Спосіб автоматичного регулювання продуктивності живильного насоса для паралельного живлення декількох споживачів з встановленими на них регулюючими живильними клапанами, керованими регуляторами живлення, що відрізняється тим, що, з метою зменшення втрат на дроселювання, на регулятор живильного насоса подають сигнал завдання, діючий в напрямку зниження тиску до тих пір, поки не буде досягнуто повне відкриття хоча б одного з регулюючих поживних клапанів, а в напрямку підвищення тиску - з гнав від регулятора живлення потоку з повністю відкритим регулюючим клапаном [18].

## З ІСНУЮЧИЙ СТАН АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖИВИЛЬНИХ НАСОСІВ В УМОВАХ ЗАПОРІЗЬКОЇ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

### 3.1 Регулятор продуктивності турбоживильного насоса

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

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

При зміні навантаження ЕБ і витрати пари на турбіну відповідно змінюється подача живильної води в ПГ за допомогою РПК регулятором рівня в ПГ. Якщо на номінальному навантаженні РПК майже повністю відкритий і перепад тиску на ньому відносно не великий, то зі зменшенням навантаження клапан прикривається і перепад на ньому зростає ( $\Delta p \approx 0.59$  МПа при  $Q < 60 \% N_{НОМ}$ ,  $\Delta p \approx 1.57$  МПа при  $Q > 60 \% N_{НОМ}$ ).

Характер зміни перепаду тиску на клапані  $\Delta P_{КЛ}$  показаний на рис. 3.1.

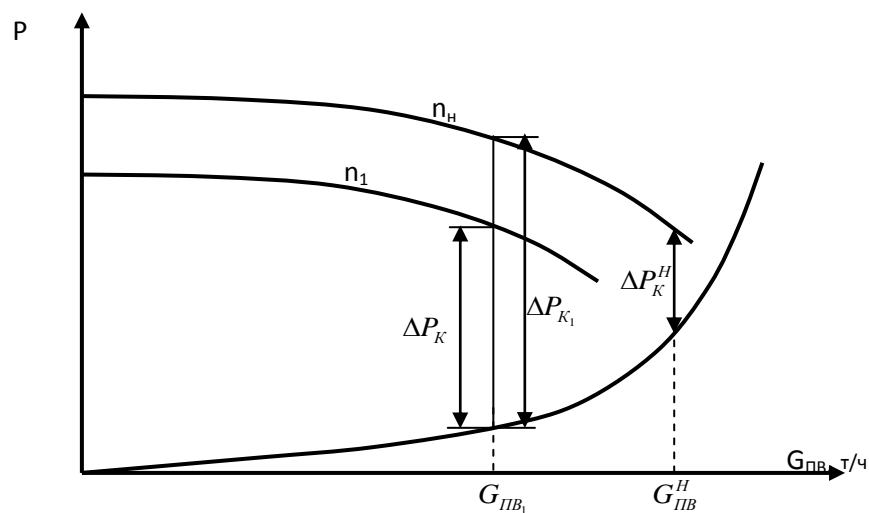


Рисунок 3.1 - Характер зміни перепаду тиску на клапані  $\Delta P_{КЛ}$



Крива  $\Delta p_{\text{кл}}$  характеризує втрати в живильній лінії при зміні витрати живильної води без урахування втрат в РПК. При номінальному навантаженні ЕБ і витрати живильної води в ПГ номінальна витрата живильної води на РПК встановлює перепад тисків. При зниженні навантаження на ПГ регулятор рівня в ПГ встановлює знижену витрату живильної води  $G_{\text{пв1}}$ . При цьому в разі постійної швидкості обертання  $n_n$  ТЖН на клапані встановлюється великий перепад тиску  $\Delta p_{\text{кл}}''$ , що призводить до підвищеного зносу РПК і втрат енергії на дроселювання. В цей же час необхідне зниження продуктивності на живильній воді можна забезпечити шляхом зниження швидкості обертання ТЖН до величини  $n_1$ , проте перепад на клапані  $\Delta p_{\text{кл}}$  буде менше, ніж при колишній швидкості обертання, таким чином виникає задача з'ясувати, як повинен змінюватися перепад тиску на клапані при зміні навантаження ПГ (блоку) при постійному (приблизно на 80%) відкритті клапана (положення мінімального дроселювання).

Масова витрата живильної води:

$$G_{\text{пв}} = \mu \cdot S_{\text{кл}} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_{\text{кл}}},$$

де  $\mu$ – коефіцієнт витрати клапана;

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

$\rho$ – щільність живильної води.

Звідси,

$$S_{\text{кл}} = \frac{G_{\text{пв}}}{\mu \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_{\text{кл}}}}. \quad (3.1)$$

Витрата живильної води пропорційна навантаженню блоку і, зокрема тепловій потужності циркуляційної петлі ЯР:

$$Q = \kappa \cdot (T_2 - T_x) \cdot \sqrt{\Delta p_{\text{пв}}},$$

де  $T_2$  і  $T_x$ – температура води на гарячій и холодній нитці ПГ;

$\Delta p_{nz}$  – перепад тиску на ПГ, характеризуючи витрату води в петлі.

Таким чином,

$$G_{ns} = \kappa_2 \cdot Q = \kappa_3 \cdot (T_z - T_x) \cdot \sqrt{\Delta p_{nz}} = \kappa_3 \cdot \Delta T \cdot \sqrt{\Delta p_{nz}} . \quad (3.2)$$

В формулі (3.2) перепад тиску на клапані  $\Delta p_{кл}$  можна замінити перепадом тиску  $\Delta p$  між колектором в трубопроводі у самому ПГ і паропроводі від ПГ до ГПК, точніше, пропорційному квадрату витрат води (пара), тобто:

$$\mu \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_{кл}} = \kappa_4 \cdot \sqrt{\Delta p} . \quad (3.3)$$

Формулу (3.1) з урахуванням (3.2) и (3.3) можливо записати:

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

Прийнявши, що  $S_{кл} = \text{const}$ , отримано:

$$\sqrt{\Delta p} = \kappa \cdot \Delta T \cdot \sqrt{\Delta p_{nz}} = \kappa \cdot Q . \quad (3.4)$$

Таким чином,  $\sqrt{\Delta p}$  повинен бути пропорційний тепловій потужності ЕБ, зокрема, циркуляційної петлі реактора. З цього випливає, що регулятор продуктивності ТЖН повинен при зміні потужності блоку змінювати витрати живильної води таким чином, щоб витримувалося співвідношення (3.4). Сигнал по тепловій потужності петлі формується в схемі основного регулювання живлення.

### 3.2 Призначення регулятора продуктивності турбоживильного насосу

Регулятор продуктивності ТЖН призначений для регулювання продуктивності живильних насосів в широкому діапазоні зміни навантаження блоку, забезпечення діапазону роботи по витраті живильної води основним регулятором живлення ПГ і синхронізації навантаження паралельно працюючих ТЖН. На блоці встановлений один регулятор продуктивності, що впливає на регулюючі клапани обох ТЖН через схему синхронізації і два регулятора розвороту.

Вибір режиму управління ТЖН здійснюється оператором за допомогою ключа управління SAB-1, встановленого на БЩУ на три положення:

РП - включення регулятора продуктивності;

РР - включення регулятора розвороту;

Н - відключення регуляторів продуктивності розвороту.

Вхідними сигналами регулятора продуктивності є такі сигнали:

$$\Delta t_{max} - \Delta P,$$

де  $\Delta t_{max}$  – максимальна різниця температур теплоносія першого контуру блоку "гарячої" і "холодної" петлях ПГ;

$\Delta P$  – різниця тисків в напірному колекторі живильних пристроїв і тиску пара в ЦПК.

Результуючий сигнал надходить на регулятор і через схему синхронізації схемою управління ТЖН.

Для розвороту ТЖН до значення від 2400 об/хв до 2600 об/хв, зі швидкістю 50 об/хв, встановлений регулятор розвороту. Блок ручного управління регулятора розвороту є одночасно задатчиком обертів регулятора. Регулятор продуктивності ТЖН управляється одночасно двома ТЖН за схемою паралельної синхронізації. При зниженні витрати живильної води через ТЖН-1 (ТЖН-2) до 1000 т/год (800 т/год) блокується

схема синхронізації і накладається заборона на розвантаження відповідного ТЖН від регулятора продуктивності. Синхронізація здійснюється за сигналами витрати води за ТЖН-1,2 і при їх рівності регулятор впливає на обидва ТЖН. У разі нерівності витрат (200 т/год) вплив буде здійснюватися в бік «більше» на менш навантажений ТЖН і в бік «менше» на більш навантажений ТЖН. Регулятор продуктивності підтримує постійний перепад (1,177 МПа) основних РПК в діапазоні від 0 %  $N_{НОМ.}$  до 70 %  $N_{НОМ.}$  і підвищення перепаду до 1,765 МПа при зміні навантаження від 70%  $N_{НОМ.}$  до 100 %  $N_{НОМ.}$  Регульовані параметри - тиск живильної води в живильному колекторі і тиск пара в ЦПК надходять в схему регулятора продуктивності з перевіркою їх істиності. При виході сигналів за допустимі межі (тиск живильної води 1,57 МПа; тиск пара 0,98 МПа) проводиться відключення регулятора продуктивності з повторним включенням. В схемі регулятора продуктивності передбачені наступні блокування:

- при досягненні граничної продуктивності ТЖН по частоті обертання 3400 об/хв або по витраті живильної води 4200 т/год накладається заборона на навантаження від регуляторів продуктивності або частоти обертання;

- при досягненні граничної продуктивності ТЖН по частоті обертання 3500 об/хв або по витраті живильної води 4400 т/год здійснюється примусове розвантаження відповідного ТЖН. Блокування граничної продуктивності виконується при відключенні регулятора продуктивності. При відхиленні сигналу по частоті обертання ТЖН за встановлені межі (4200 об/хв) проводиться відключення регулятора продуктивності, а також висновок блокування примусової розвантаження за фактом відхилення частоти обертання більше 3500 об/хв;

- при відхиленні тиску на напорі ТЖН понад 10,297 МПа здійснюється примусове розвантаження відповідного ТЖН до тих пір, поки тиск на напорі не знизиться до 9,3 МПа.

### 3.3 Склад регулятора продуктивності. Призначення блоків

Регулятор виконаний на базі комплексу пристроїв, які входять в електронну апаратуру регулювання «Каскад 2»:

- А05 - блок підсумовування і обмеження сигналів;
- А35 - блок обчислювальних операцій;
- Н05 - блок нелінійного перетворення;
- А06 - блок обмеження і розмноження сигналів;
- Л03 - блок аналого-релейного перетворення.

Апаратура УКТЗ:

- БУК - блок управління клапанів;
- БКЛ - блок ключів;
- ПБР-2-3 - пускач безконтактний реверсивний, призначений для управління електричним виконавчим механізмом з однофазним конденсатним електродвигуном;
- БРУ-32 - блок ручного управління, призначений для перемикання ланцюгів управління виконавчими пристроями (АСУ технологічними процесами);
- БСПС - блок сигналізації положення струмовий;
- МЕО - механізм електричний однооборотний - як виконуючого механізму.

Несправність продуктивності відбувається за величиною сигналів датчиків  $p_{\text{кан}}$  і  $p_{\text{гпк}}$ . Відключення при  $p_{\text{кан}} < 3,923$  МПа або  $> 12,553$  МПа,  $p_{\text{гпк}} < 2,94$  МПа або  $> 8,83$  МПа.

При виході з ладу або знеструмлення **III** тиск пари в ЦПК або тиск в напірному колекторі ТЖН регулятор продуктивності відключається і автоматично вступає в роботу регулятор частоти. При збільшенні тиску на напорі ТЖН більше 10,297 МПа РПР відключається. Відповідно **МУТ** ТЖН від впливу регулювання продуктивності та примусового розвантаження до тиску менше 8,826 МПа.

Структурна схема регулятора представлена на рис. 3.4.

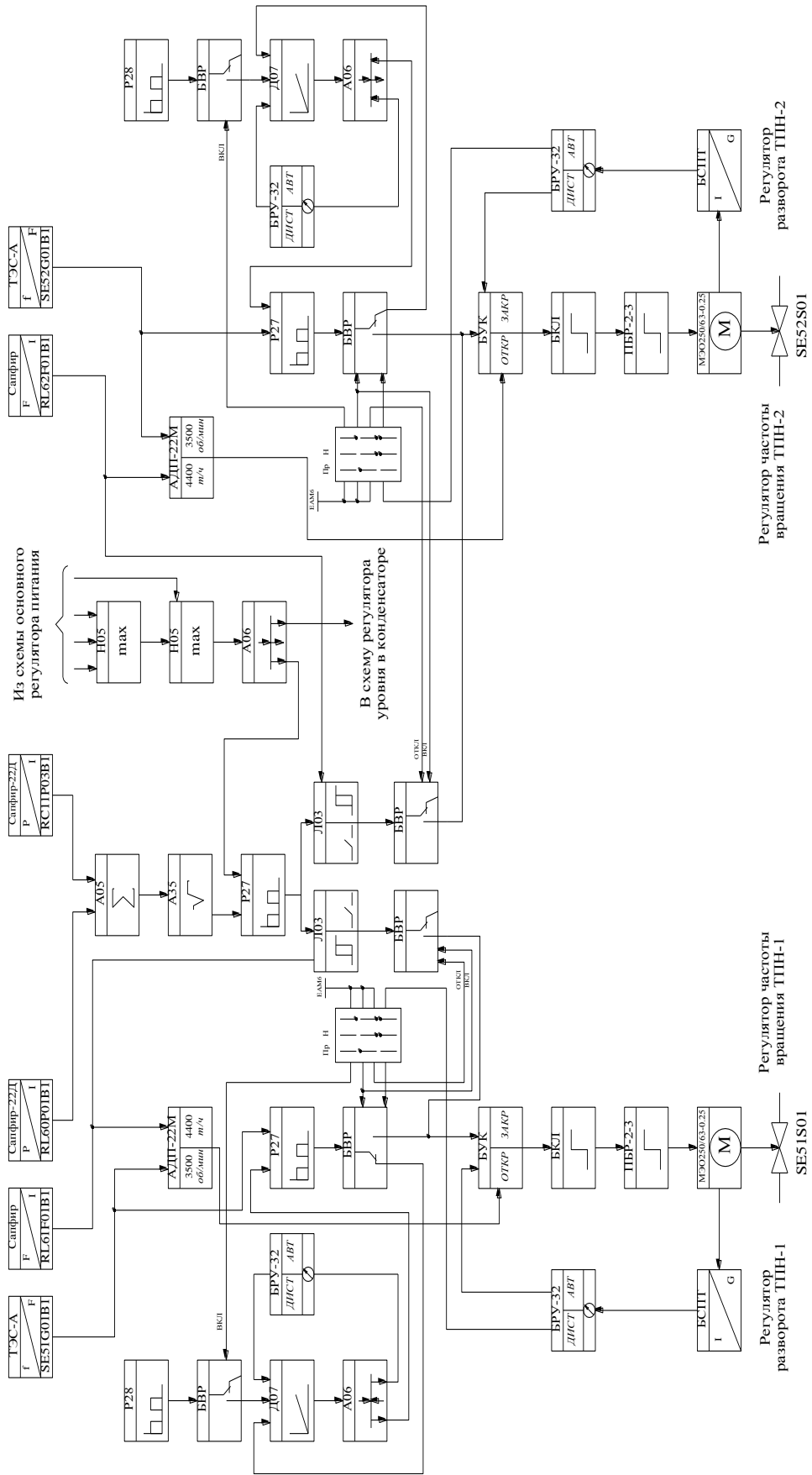


Рисунок 3.4 – Структурна схема регулятора продуктивності ТЖН

Вхідні сигнали і робота регулятора:  $\Delta p$  на РПК ПГ визначається різницею сигналів по тиску в деякому колекторі насосів і ЦПК. Для автопідстроювання коефіцієнтів підсилення при роботі регулятора в широкому діапазоні навантажень в блоці А-35 проводиться витяг кореня з величини перепаду сигналу. Тиск в напірному колекторі змінює ВП типу Сапфир-22ДИ, діапазон вимірювання від 0 МПа до 15,691 МПа, тиск в ГПК - ВП типа Сапфир-22ДИ, діапазон вимірювання від 0 МПа до 9,807 МПа. Регулюючий блок служить для підсумовування вхідних сигналів, порівняння їх з сигналом завдання, вироблення сигналу неузгодженості і закона впливу на виконавчий механізм. Напрямок впливу (більше, менше) залежить від знака сигналу неузгодженості суматора регулюючого блоку. Як РБ використовується блок регулюючий аналоговий з імпульсним вихідним сигналом Р27.

Блок Р27 виконує такі функції:

- а) підсумовування уніфікованих вхідних сигналів постійного струму, а також вхідних сигналів, що надходять від вимірювальних перетворювачів з природними електричними сигналами;
- б) введення інформації про заданому значенню регульованої величини, формування і посилення сигналу відхилення регульованої величини від заданого значення;
- в) формування вихідного імпульсного електричного сигналу для впливу на керований процес відповідно до одного з наступних законів регулювання:
  - 1) пропорційного (П) спільно з датчиком виконавчого механізму;
  - 2) пропорційно-інтегрального (ПІ) спільно з виконавчим механізмом;
  - 3) інтегрально-диференціального (ПІД) спільно з виконавчим механізмом;
- г) масштабування вхідних сигналів;
- д) демпфірування сигналу відхилення;
- е) гальванічне розділення вхідних ланцюгів друг від друга, а також вихідних ланцюгів від вхідних;

- ж) світлову індикацію вихідного імпульсного сигналу;
- з) введення заборони на керування навантаженням.

Схема управління ІМ служить для підключення ІМ до РБ. Схема управління складається з блоку включення регулятора (БПР), блоку управління клапаном (БУК), блоку ключів (БКЛ) і блоку ручного управління з покажчиком положення (БРУ-32).

Блок інтегрування Д07 виконує такі функції:

- інтегрування аналогового і дискретного сигналу;
- дозвіл інтегрування аналогового сигналу в прямому і зворотному напрямлені;
- швидка примусова зміна вихідного сигналу до верхнього або нижнього граничного значення (перегін ШВИДКО);
- установка початкових умов (перегін ПОВІЛЬНО);
- двостороннє обмеження вихідного сигналу;
- заборона обмеження вихідного сигналу; - сигналізація і індикація досягнення вихідним сигналом рівнів обмеження;
- запровадження зони нечутливості;
- зберігання інформації після перерв в живленні;
- перетворення аналогового вихідного сигналу напруги в сигнал струму;
- гальванічне розділення вхідних і вихідних сигналів при виконанні функції інтегрування;
- підсумовування вхідних сигналів постійного струму;
- масштабування вхідних сигналів постійного струму;
- перетворення вхідного сигналу по аперіодичним або диференціальним законам;
- формування опорних напруг.

Блок ручного управління БРУ-32 призначений для:

- перемикання з автоматичного режиму управління на ручний і навпаки;



- кнопочового управління виконавчим механізмом;
- світлової індикації вихідного сигналу регулюючого пристрою.

Блок включення регулятора БПР призначений для комутації ланцюгів управління виконавчим механізмом регулюючого органу.

Він забезпечує:

- підключення вихідних ланцюгів регулятора до виконавчого механізму або підключеному регулятору по команді оператора (при відключеному Улу-2) або від Улу-2;
- відключення вихідних ланцюгів регулятора по команді оператора (незалежно від режиму Улу-2) або від дії блокування;
- заборона проходження вихідних команд регулятора на виконавчому механізмі;
- формування сигналів, які дозволяють дистанційне керування регулюючим органом (клапаном) при відключеному регуляторі і дії Улу-2;
- формування інформації про стан вихідних ланцюгів регулятора для введення її в Улу-2, захисту, блокування, на мнемосхему.

Блок управління клапаном БУК призначений для включення і зупинки електроприводу клапана. Блок забезпечує:

- пуск електроприводу клапана з крайніх і проміжних положень;
- зупинку клапана при досягненні будь-якого з крайніх положень;
- видачу команд «Відкрити», «Закрити».

Блок має лицьову панель для розміщення приладів управління і сигналізації. Забезпечено взаємозамінність блоків без видачі неправдивих команд і сигналів. Схема блоку виконана так, щоб обрив на будь-якому вході відповідав "0" інформації. Елементної базою є інтегральні мікросхеми серії К511, транзистори, діоди, оптрони для гальванічної розв'язки вхідного сигналу. Живлення блоку здійснюється від стабілізованих джерел живлення  $+15\text{ В} \pm 5\%$  и  $+24\text{ В} \pm 10\%$ . Потужність, споживана блоком від джерела живлення  $+15\text{ В}$  при максимальному навантаженні - не більше

4,5 Вт, а від джерела +24 В без зовнішнього навантаження - не більше 0,6 Вт.

Вхідні сигнали:

- потенційний сигнал напруги постійного струму від +19 В до +26,4 В - наявність інформації;
- потенційний сигнал напруги постійного струму від 0 В до +1,5 В - відсутність інформації;
- дискретний сигнал «1» від +10 В до +15,75 В;
- дискретний сигнал «0» від 0 В до +4 В.

Вихідні сигнали:

- дискретний сигнал «1» від +10 В до +15,75 В;
- дискретний сигнал «0» від 0 В до +3 В.

Блок семісторний ключів БКЛ призначений для комутації напруги змінного і постійного струму 220 В і гальванічного відділення вихідних ланцюгів від ланцюгів блоків управління і посилення сигналів до необхідного рівня потужності. Блок являє собою шестиканальний комутатор.

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М призначений для управління електричним виконавчим механізмом з однофазним конденсаторним електродвигуном.

Технічні дані:

- а) живлення здійснюється від однофазної мережі змінного струму 220 В, частотою 50 Гц;
- б) вхідні сигнали:
  - 1) логічна «1» – від 24 В до 32 В;
  - 2) логічна «0» – від 0 В до 2 В;
- в) вхідний опір не менше 750 Ом;
- г) максимальний комутований струм - 4 А;
- д) споживана потужність - 10 В.А.

Блок сигналізації положення струмовий БСПТ призначений для перетворення положення вихідного органу виконавчого механізму в пропорційний уніфікований струмовий сигнал від 0 мА до 5 мА. У комплект входить блок живлення БП-10, який встановлюється окремо в панелях.

Механізм виконавчий електричний однооборотний МЕВ призначений для переміщення регулюючого органу в системах автоматичного регулювання технологічними процесами відповідно до командних релейних сигналів автоматичних регулюючих і керуючих пристроїв.

Принцип дії схеми керування виконавчим механізмом. Дистанційне керування регулюючим органом по командам Улу-2 проводиться через блоки БУК-У і БКЛ-У. У БУК-У формується команда на відкриття регулюючого органу у вигляді логічного сигналу «1», в БКЛ ця команда перетвориться в напругу, достатню для управління пусковим пристроєм ІМ. У БУК надходить інформація від кінцевих вимикачів ІМ про стан регулюючого органу, при повному відкритті забороняється вихідна команда «Більше», а при повному закритті забороняється вихідна команда «Менше». Забороняється проходження команд дистанційного керування при надходженні інформації від БПР-У «Регулятор в режимі Автоматика». Комутація вихідних ланцюгів регулятора виконується в блоці БПР-У.

Аналого-дискретний перетворювач АДП застосовується для роботи в системах контролю і управління технологічними процесами на АЕС і забезпечує безперервне порівняння алгебраїчної суми аналогових струмових сигналів від датчиків технологічних параметрів з установлюваною АДП уставкою і перетворення результатів порівняння в дискретні вихідні сигнали стану об'єкта, блокування неприпустимих і помилкових дій на об'єкті, захисту від аварійних ситуацій.

Функції блоку підсумовування і обмеження сигналів А05:

– алгебраїчна сума і масштабування сигналів постійного струму і сигналів задатчика;

- пропорційне перетворення вхідного сигналу в безперервний вихідний постійного струму;

- гальванічна розв'язка вхідних сигналів один від одного і від вихідного;

- регульоване обмеження вхідного сигналу по мінімуму і по максимуму.

Функції блоку обмеження і розмноження сигналів А06:

- регульоване обмеження сигналів постійного струму по мінімуму і максимуму;

- підсумовування і масштабування вхідних сигналів;

- пропорційне перетворення вхідних сигналів в три вихідних.

Функції блоку обчислювальних операцій А35:

- підсумовування і масштабування по кожному з двох входів;

- гальванічне розділення одного з входів для операцій множення і ділення;

- виконання однієї з обчислювальних операцій ( \*, /, корінь, квадрат).

Функції аналогового блоку з релейним імпульсним виходом і автоподстройкой параметрів Р28:

- підсумовування уніфікованих вхідних сигналів постійного струму, а також вхідних сигналів, що надходять від вимірювальних перетворювачів з природними електричними сигналами;

- ПІ – закон регулювання;

- формування аналогового та дискретного підстроювання;

- перетворення аналогового сигналу для управління ланцюгами автопідстроювання.

Функції блоку аналого-релейного перетворення Л03:

- порівняння аналогового сигналу постійного струму по кожному з двох незалежних каналів і зміна при рівності стану дискретних двохпозиційних вихідних сигналів;

- виділення найбільшого та найменшого з трьох аналогових вихідних сигналів;
- демпфірування аналогових вихідних сигналів постійного струму і введення сигналу завдання при виконанні функції аналогово-релейного перетворення;
- гальванічне розділення сигналів по кожному з двох незалежних каналів;
- підсумовування і масштабування вхідних сигналів.

Функції блоку нелінійних перетворень (H05):

- кусково-лінійну апроксимацію довільної нелінійної функції однієї змінної на 6-ти ділянках;
- кусково-лінійну апроксимацію на двох ділянках нелінійної функції кожної з трьох змінних і їх підсумовування;
- виділення максимального або мінімального з трьох аналогових вхідних сигналів;
- гальванічне розділення аналогових вхідних сигналів по кожному з двох незалежних каналів;
- підсумовування і масштабування аналогових вхідних сигналів;
- перетворення аналогового сигналу напруги в струм;
- інвертування аналогового сигналу напруги.

### 3.4 Робота регулятора продуктивності турбоживильного насоса

Регулювання продуктивності ТЖН служить для підтримки заданої різниці тиску води перед РПК і пари в ЦПК у відповідності з навантаженням блоку: 1,177 МПа при навантаженні до 70%  $N_{\text{НОМ}}$  і зростання перепаду до 1,765 МПа при зміні навантаження від 70%  $N_{\text{НОМ}}$  до 100%  $N_{\text{НОМ}}$ . Регулювання продуктивності  $p_{\text{пр}}$  - отримує сигнал, пропорційний кореню квадратному з  $\Delta p$ , в якості задаючого сигналу на його вхід надходить сигнал  $Q$  теплової потужності петлі.

На блоці установлений один регулятор продуктивності, що впливає на регулювання клапана обох ТЖН через схему синхронізації.

Вибір режиму роботи ТЖН - регулювання частоти продуктивності або розворот здійснює оператор впливом на перемикачі управління.

Закон регулювання – пропорціонально-інтегральний.

Регулюючим параметром є  $\Delta p$  на регулюючих клапанах живлення ПГ. Керуючим впливом служить зміна подачі робочого пара до ТЖН через регулюючі клапани приводної турбіни SE51, 52S11.

Задаючим сигналом по продуктивності першого контуру служить максимальний сигнал утворення кореня квадратного з перепаду тиску на ПГ першого контуру та різниця температур гарячої і холодної циркуляційної петлі 1 контуру. Цей сигнал служить для зміни перепаду між тисками на напорі ТЖН і тиском в ЦПК при зміні навантаження від 70% до 100%. Перепад тиску на ПГ реалізується за сигналами датчиків з базою від 0 МПа до 2,452 МПа.

Вибір максимального сигналу утворення кореня квадратного з перепаду на ПГ на різницю температур здійснюється на блоках Н05. Регулятор продуктивності впливає на регулюючі клапани ТЖН через схему паралельної синхронізації, реалізовану на блоках аналогово-релейного перетворювача Л-03 (див. рис. 3.4). Синхронізація здійснюється за сигналами витрати води за ТЖН 1,2. При їх рівності регулятор впливає на обидва ТЖН. У разі нерівності витрат впливу буде здійснюватися в бік «більше» на менш навантажений ТЖН і в бік «менше» на більш навантажений ТЖН. Вимірювання витрати продуктивності перетворюючем типа Сапфир - 22ДИ з діапазоном вимірювання від 0 м<sup>3</sup>/ч до 46000 м<sup>3</sup>/ч.

Механізм управління регулюючими клапанами ТЖН (МУТ) управляється:

- дистанційно від БРУ-32;
- від регулятора розвороту;
- від регулятора продуктивності.

Вибір режиму управління ТЖН здійснюється за допомогою ключа вибору режиму роботи SAB-I який має три положення:

- «РП» - включення регулятора продуктивності (поворот ключа проти годинникової стрілки до упору);
- «РР» - включення регулятора розвороту (поворот ключа за годинниковою стрілкою до упору);
- «Н» - відключення регулятора продуктивності і регулятора розвороту (середнє положення).

Регулятор розвороту ТЖН служить для розвороту роторів турбоприводу і насосів до від 2400 об/хв до 2600 об/хв зі швидкістю 50 об/хв.

Для підключення регулятора розвороту необхідно:

- перевести ключ SAN-I в положення «Автоматичне управління» и ключ SAB-I в положення «РР»;
- після розвороту роторів ТЖН до (від 2400 до 2600) об/хв провідний інженер управління турбіною повинен перевести ключ SAB-I в положення «Н».

Регулятор продуктивності ТЖН призначений для регулювання продуктивності живильних насосів в широкому діапазоні зміни навантаження блоку, забезпечення діапазону роботи живильної води основними регуляторами живлення і синхронізації навантаження паралельно працюють ТЖН.

Для підключення регулятора продуктивності ТЖН необхідно ключ SAB-I відповідного ТЖН перевести в положення «РП». При цьому блокується ручне управління МУТ відповідного ТЖН.

Вихідними сигналами регулятора продуктивності є:

- регульований сигнал - перепад тиску, який визначається різницею тисків в колекторі живильної води за ПВД і пара в ЦПК;
- задаючий сигнал - теплове навантаження парогенератора, обумовлено максимальним значенням різниці температур теплоносія в

«гарячій» і «холодній» нитках кожного парогенератора і витрати теплоносія через нього (для зміни перепаду на основних РПК при зміні навантаження від 70% до 100 %  $N_{НОМ}$ ). Сигнали від вимірювальних перетворювачів тиску живильної води в колекторі за ПВД і тиску пари в ЦПК надходять у схему регулятора продуктивності з перевіркою їх справності. При відхиленні сигналів за допустимі межі (тиск живильної води 3,92 МПа і тиск пари 8,83 МПа) проводиться відключення РП з повторним включенням його оператором. Регулятор продуктивності підтримує постійне (від 75% до 80% УП) відкриття основних РПК при перепаді на них (0,39 до 0,88) МПа в діапазоні навантажень (від 70 до 100) %  $N_{НОМ}$  і постійний перепад 0,98 МПа при навантаженнях нижче 70 %  $N_{НОМ}$ . РП видає команди в схеми керування ТЖН через схему паралельної синхронізації. Синхронізація здійснюється за сигналами витрати живильної води за ТЖН 1,2 і при їх рівності регулятор впливає на обидва ТЖН. У разі нерівності витрат, вплив буде здійснюватися в сторону "більше" найменш навантажений ТЖН, і в сторону "менше" на більш навантажений ТЖН. При відключенні регулятора продуктивності від одного з ТЖН і в разі відключення одного з працюючих ТЖН, схема синхронізації блокується. Блокування здійснюється за фактором зниження витрати одного з ТЖН нижче 1000 т/год. При цьому інший ТЖН може управлятися в обидві сторони. Для виключення одночасного виходу обох ТЖН на рециркуляцію при витраті ТЖН-1 менше 723 т/год або ТЖН-2 менше 904 т/год розривається ланцюг управління у бік менше відповідного ТЖН від РП. Таким чином спочатку завжди забезпечується вихід на рециркуляцію ТЖН-2. У схемі РП передбачені блокування граничної продуктивності: при збільшенні частоти обертання роторів до 3450 об/хв або витрати живильної води до 3889 т/год накладається заборона на навантаження відповідного ТЖН від РП або регулятора частоти обертання. Заборона знімається при зниженні частоти обертання до 3400 об/хв або витрати живильної води до 3708 т/год - при збільшенні частоти обертання до 3500 об/хв або витрати живильної води до 3889 т/год здійснюється примусове розвантаження відповідного ТЖН.



Розвантаження припиняється при зниженні частоти обертання до 3450 об/хв і витрати живильної води до 3798 т/ч. Дія блокування знімається при перекладі РП на дистанційне управління.

### 3.5 Регулювання рівня в парогенераторі за допомогою регуляторів продуктивності турбоживильного насоса

Виробництво робочої пари другого контуру на АЕС здійснюється в парогенераторах. У даній роботі розглянуто парогенератор ПГВ-1000М, призначений для вироблення насиченої пари тиском 6,28 МПа з вологістю 0,2% при температурі поживної води ( $220 \pm 4$ ) °С) у складі енергоблоку АЕС з водо-водяним енергетичним реактором ВВЕР-1000.

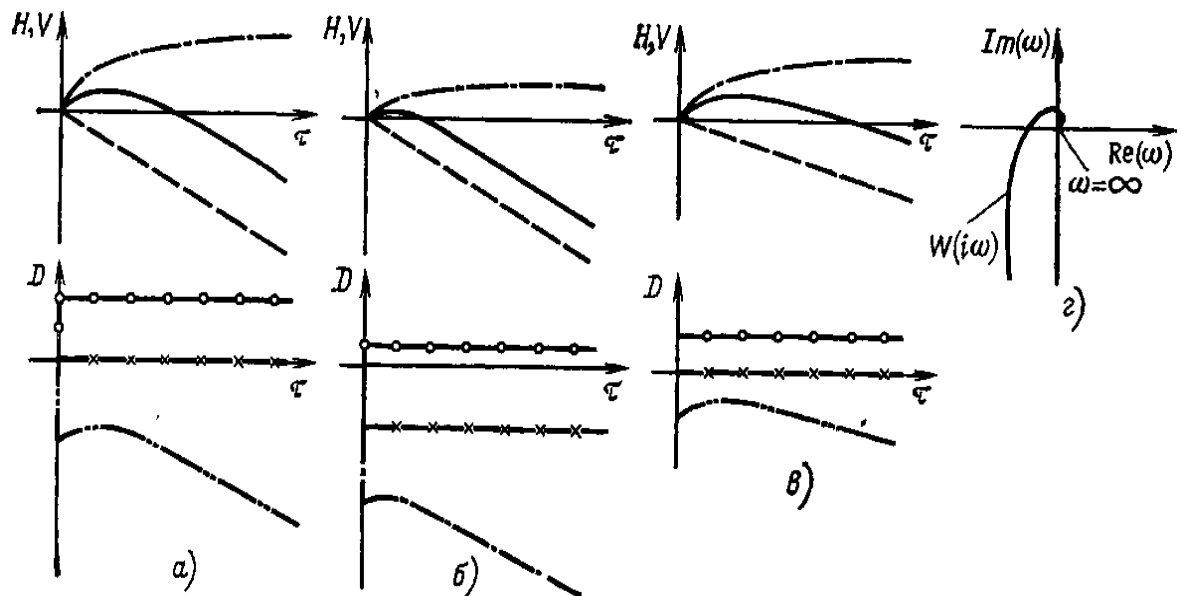
Регулювання рівня в парогенераторі (ПГ) зводиться до підтримки матеріального балансу між відведенням пари і підведенням поживної води. Параметром, що характеризує матеріальний баланс, є рівень води в парогенераторі. До стабілізації рівня пред'являються досить жорсткі вимоги. Для ПГ з ВВЕР-1000 номінальний рівень складає 2450 мм від внутрішнього корпусу. Точність підтримки рівня в статичних режимах складає  $\pm 50$  мм від номінального рівня, в динаміці  $\pm 150$  мм від номінального рівня (з урахуванням нечутливості регулятора). Підвищення рівня води від номінального рівня не допускається із-за затоплення і порушення роботи сепараційних пристроїв (попадання 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 турбину; зниження рівня тут менш небезпечно, чим в реакторах, проте воно призводить до оголення верхньої частини трубочатки, зменшення поверхні теплообміну і небажаного підвищення температури води першого контуру на вході в реактор.

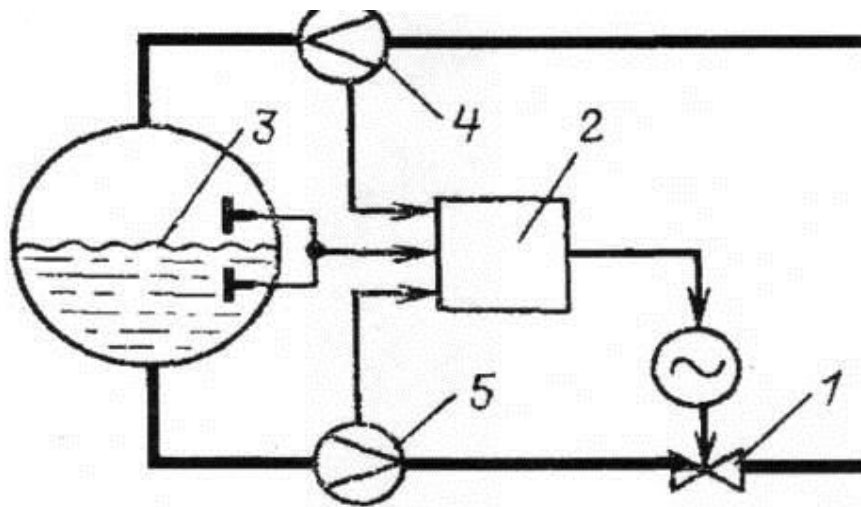
У усіх подібних схемах підтримка рівня здійснюється шляхом зміни подачі поживної води. У стаціонарних умовах подача поживної води має дорівнювати витраті пари (якщо з регульованої ємності частина води забирається на продування, то витрата поживної води має бути відповідно збільшена). Регулювання в змінних 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 (рис. 3.5), 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; — о — о — о — витрата пари; — x — x — x — витрата води; — — — — — вхідний сигнал трьохімпульсного регулятора рівня

Рисунок 3.5 - Динамічних характеристик парогенератора

Значною мірою ці недоліки ліквідовуються при використанні трьохімпульсної САР рівня води в ПГ з ПІ-регулятором (рис. 3.6).



1 - виконавчий механізм поживного клапана; 2 – регулятор; 3 – рівень води;  
4 - витрата пари; 5 - витрата поживної води.

Рисунок 3.6 - Трьохімпульсна схема регулювання рівня води

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. Таким чином, можливе пригнічення стрибкоподібних обурень витратою пари величиною до 18 кг/с без виходу рівня з п'ятдесятиміліметрової зони. При усьому цьому отримуємо аперіодичний перехідний процес регулювання. 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.

Розглянуто 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 настраюється 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 малоінерційний, і при визначенні коефіцієнта посилення по рівню можна вважати, що витрата води миттєво встановлюється рівною сумарному значенню витрати пари та відхилення рівня. Тоді регулятор при сигналі, що подається йому на вхід, можна розглядати як пропорційний регулятор, що змінює витрату води пропорційно відхиленню рівня 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. 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 проводиться перевірка роботи регулятора як в нормальних, так і в аварійних режимах.

### 3.6 Регулювання витрати пари (навантаження) турбоживильного насоса

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

$$D_{п.в} = D_0 + D_{пр}, \quad (3.1)$$

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 тепловий перепад 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.

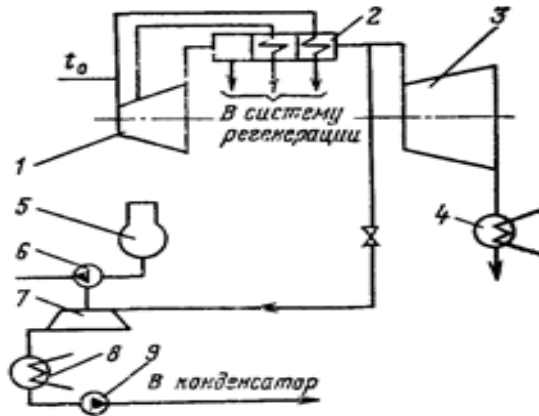
Поживні насоси, що подають поживну воду в парогенерируючу установку, мають тиск на напорі вище за тиск в парогенерируючій установці на величину гідравлічного опору поживного тракту.

На (рис. 3.7.) наведена схема турбопривода.

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.



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 турбопривода; 9 — конденсатний насос

Рисунок 3.7 - Схема подачі пари на приводну турбину поживного насоса

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 турбину, 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 всосі деаератори монтують на висоті (27 м) більшій, по відношенню до поживного насоса.

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.

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.

При зміні навантаження ЕБ і витрати пари на турбіну відповідно змінюється подача поживної води в ПГ за допомогою РПК регулятори 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  $Q > 60\% N_{\text{НОМ}}$ ).

### 3.7 Режими роботи регулятора продуктивності турбоживильного насоса

Регулятори продуктивності ТЖН призначені для управління продуктивністю ТЖН 1, 2 при тепловій потужності ПГ в діапазоні від 20% до 100% номінальної.

Регулятори впливають на механізми управління турбіни (МУТ) ТЖН 1, 2, змінюючи витрату пари на ТЖН.

Вхідними сигналами для регуляторів є:

- тиск поживної води за підігрівачем високого тиску - трьохканальний вимір, використовується як складова для розрахунку регульованого параметра в режимі «ПП»;

- тиск пари в головному паровому колекторі (ГПК) - трьохканальний вимір, використовується як складова для розрахунку регульованого параметра в режимі «ПП»;

- різниця температур гарячої та холодної ниток циркуляції пари в ПГ - трьохканальний вимір, використовується як задає сигнал в режимі «ПП»;

- неузгодженість основного регулятора продуктивності, використовується як регульований параметр в режимі «МД»;

- витрата поживної води (ПВ) за ТЖН1 (2) - трьохканальний вимір, використовується для синхронізації навантаження і запобігання перевантаження ТЖН;

- тиск пари до турбоприводу ТПН1 (2) - одноканальний вимір, використовується для автопідстроювання параметрів динамічної настройки регуляторів;

- температура ПВ за ПВТ – одноканальний вимір.

### 3.7.1 Режим «ПП»

У режимі «ПП» регулятор реалізує ПІ-закон регулювання.

Регулятор підтримує рівним нулю неузгодженість:

$$EPS = (Q_{\text{зад}} - q) + a_1 \cdot (EPS_{\text{ПГі}})_{\text{max}} - a_2 \frac{d}{dt} \cdot (\Sigma F_{\text{ПГі}}),$$

де EPS - значення неузгодженості регулятора, %;

$(EPS_{\text{ПГі}})_{\text{max}}$  - максимальне значення неузгодженості в ПГі, %;

$a_1, a_2$  - вагові коефіцієнти;

$q$  - розрахунковий коефіцієнт гідравлічного опору пароводяного тракту найбільш навантаженого ПГ.

У режимі «ПП» регульований параметр РПР ( $q$ ) формується як частка від ділення різниці перепаду тиску в колекторі ПВ за ПВД і тиску пара в ЦПК на квадрат навантаження ПГ, який визначається як середнє значення витрати пари з двох найбільш навантажених ПГ:



$$q = (P_{пв} - P_{гпк}) / ((F_{пгі})^2 \max),$$

де  $P_{пв}$  - тиск ПВ за ПВТ, Па;

$P_{гпк}$  - тиск пара в ГПК, Па;

$F_{пгі\max}$  - максимальне значення витрати ПВ в ПГі, т/год;

$Q_{зад}$  - задане значення гідравлічного опору пароводяного тракту;

$d/dt \cdot (\Sigma F_{пгі})$  - значення похідної сумарної витрати ПВ в ПГі, т/год.

При потужності енергоблоку менше 70% номінальної, що відповідає значенню витрати пари з ПГ 1033 т/год, при розрахунку регульованого параметра замість значення витрати пари використовується константа і РПР підтримує задане значення перепаду тиску.

При роботі енергоблоку на постійній потужності РПР забезпечує постійний перепад тиску на основних РПК. При змінах потужності РПР змінює різницю тиску таким чином, щоб ступінь відкриття основних РПК лишалася незмінною. На значення середньої витрати пара з ПГ накладається обмеження знизу для теплової потужності енергоблоку 70% номінальної (не більше +1033 т/год), що відповідає різниці тиску (не більше 0,98 МПа).

Максимальне значення неузгодженості в ПГі введено для підтримки рівня ПВ в ПГ в динамічному режимі роботи енергоблоку, особливо у випадках вичерпання регульовального діапазону основних РПК.

Значення похідної сумарної витрати ПВ в ПГі введено для поліпшення якості регулювання при перекладі подачі пари на ТЖН від 3-го відбору за СПП або від КВП (і назад). Похідна дія має односторонній характер, тільки при збільшенні витрати поживної води в парогенераторі.

### 3.7.2 Режим «МД»

У режимі «МД» регулятор підтримує рівень ПВ в найбільш навантаженому ПГ рівний заданому значенню, що встановлюється в РПОі, відповідно до П-закону регулювання за рахунок охоплення ПІ-регулятора зворотним зв'язком по витраті ПВ в ПГ.

Регулятор підтримує рівним нулю неузгодженість:

$$EPS = a_1 \cdot ((EPS_{\text{ПГі}})_{\text{max}} - 2) - a_2 \cdot dq / dt,$$

де  $EPS$  - значення неузгодженості регулятора,%;

$(EPS_{\text{ПГі}})_{\text{max}}$  - максимальне значення неузгодженості регуляторів ПГі,%;

$EPS_{\text{зад}}$  - задане значення неузгодженості,%;

$a_1, a_2$  - вагові коефіцієнти ( $a_1 = 0,6; a_2 = 4$ );

$dq/dt$  - значення похідної коефіцієнта гідравлічного опору, що забезпечує стійкість системи.

При включенні режиму «МД» з режиму «ПП» РПР розвантажує ТЖН за рахунок негативного зсуву, зменшуючи витрати ПВ на ПГі. РПОі, підтримуючи рівень ПВ в ПГі, відкривають основні РПК для забезпечення продуктивності ТЖН.

Процес переходу з режиму «ПП» в режим «МД» триває до повного відкриття одного їх основних РПКі. РПР підтримує рівень ПВ в ПГі, у якого  $EPS_{\text{ПГі}}$  дорівнює максимальному значенню, а рівень ПВ в інших ПГі підтримується відповідними РПОі.

### 3.7.3 Режим «МДПУ»

У режимі «МДПУ» регулятор підтримує рівень ПВ в ПГ рівний поточному значенню із знеструмленим РПКі відповідно до П-законом регулювання за рахунок охоплення П-регулятора зворотним зв'язком по витраті ПВ в ПГ.

Регулятор підтримує рівним нулю неузгодженість:

$$EPS = a_1 \cdot (EPS_{\text{ПГ}} \text{ викл.}) - a_2 \cdot dq/dt,$$

де  $EPS$  - значення неузгодженості регулятора,%;

$EPS_{\text{ПГ}} \text{ викл.}$  - значення неузгодженості відключеного РПОі,%;

$a_1, a_2$  - вагові коефіцієнти;

$dq/dt$  - значення похідної коефіцієнта гідравлічного опору, що забезпечує стійкість системи.

При включенні режиму «МДПУ» РПР переходить на підтримку рівня ПВ в ПГі з несправним основним РПКі. В інших ПГі рівень ПВ підтримують відповідні РПК.

Пуско-зупинний РПКі на лінії з відключеним РПКі залишається закритим (закривається), а пуско-зупинкові РПКі на лініях з включеними РПКі імпульсно відкриваються, збільшуючи витрату ПВ на ПГ, що змушує РПКі на цих лініях прикрити основні РПКі пропорційно значенням зміни витрати ПВ на ПГі, тим самим забезпечуючи основним РПКі діапазон регулювання.

### 3.8 Модернізація регулятора

Для модернізації устаткування при будівництві нових енергоблоків пропонується впровадження нового програмно-технічного комплексу САР ТВ.

Метою впровадження ПТК САР ТВ і СНЕ РВ є:

- заміна виробивших свій ресурс і морально застарілих технічних засобів «Каскад-2» на сучасні технічні і програмні засоби, що мають значно більш високі технічні та експлуатаційні можливості;
- приведення систем контролю і управління у відповідність до вимог нормативних документів забезпечення безпеки атомних станцій;
- діагностика використовуваних технічних засобів;
- поліпшення метрологічних характеристик вимірювальних каналів;
- забезпечення самодіагностики виконуваних функцій;
- зменшення кількості та номенклатури технічних засобів;
- застосування надійних і ефективних алгоритмів управління.

В результаті впровадження ПТК САР ТВ і СНЕ РВ повинні бути досягнуті:

- стійка робота систем управління обладнанням СНЕ реакторного відділення і машзалу в діапазоні навантажень від 0% до 100%;
- зменшення інтенсивності і амплітуди випадкових коливань технологічних параметрів;
- підвищення рівня експлуатації за рахунок уніфікації технічних і програмних засобів;
- підвищення надійності систем управління за рахунок резервування і діагностики технічних і програмних засобів;
- зменшення ймовірності помилкових дій персоналу;
- скорочення обсягів і тривалості технічного обслуговування;
- забезпечення можливості розвитку системи управління.

## 4 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТУРБІННОГО ВІДДІЛЕННЯ

### 4.1 Призначення програмно-технічний комплексу системи автоматичного регулювання турбінного відділення

Повне найменування системи - програмно-технічний комплекс систем автоматичного регулювання турбінного відділення енергоблоку №4 Запорізької АЕС. Умовне позначення системи - ПТК САР ТВ.

Програмно-технічний комплекс систем автоматичного регулювання турбінного відділення енергоблоку №4 ЗАЕС призначений для управління в режимах нормальної експлуатації (пуск і останов устаткування другого контуру, робота в регульовальному діапазоні навантажень) і режимах з порушеннями нормальної експлуатації (відключення елементів технологічного обладнання). ПТК САР ТВ не здійснює управління обладнанням, які беруть участь в регулюванні реактивністю реакторної установки.

ПТК САР ТВ є керуючою людино-машинною системою великої потужності, розрахованою на тривале функціонування в режимі реального часу. Об'єктами автоматизації ПТК САР ТВ є технологічні системи машзалу енергоблоку, керовані з блочного щита управління.

ПТК САР ТВ призначений для виконання керуючих, інформаційних і допоміжних функцій.

Схема ВУ ПТК САР ТВ блок №4 представлена на (рис. 4.1.)

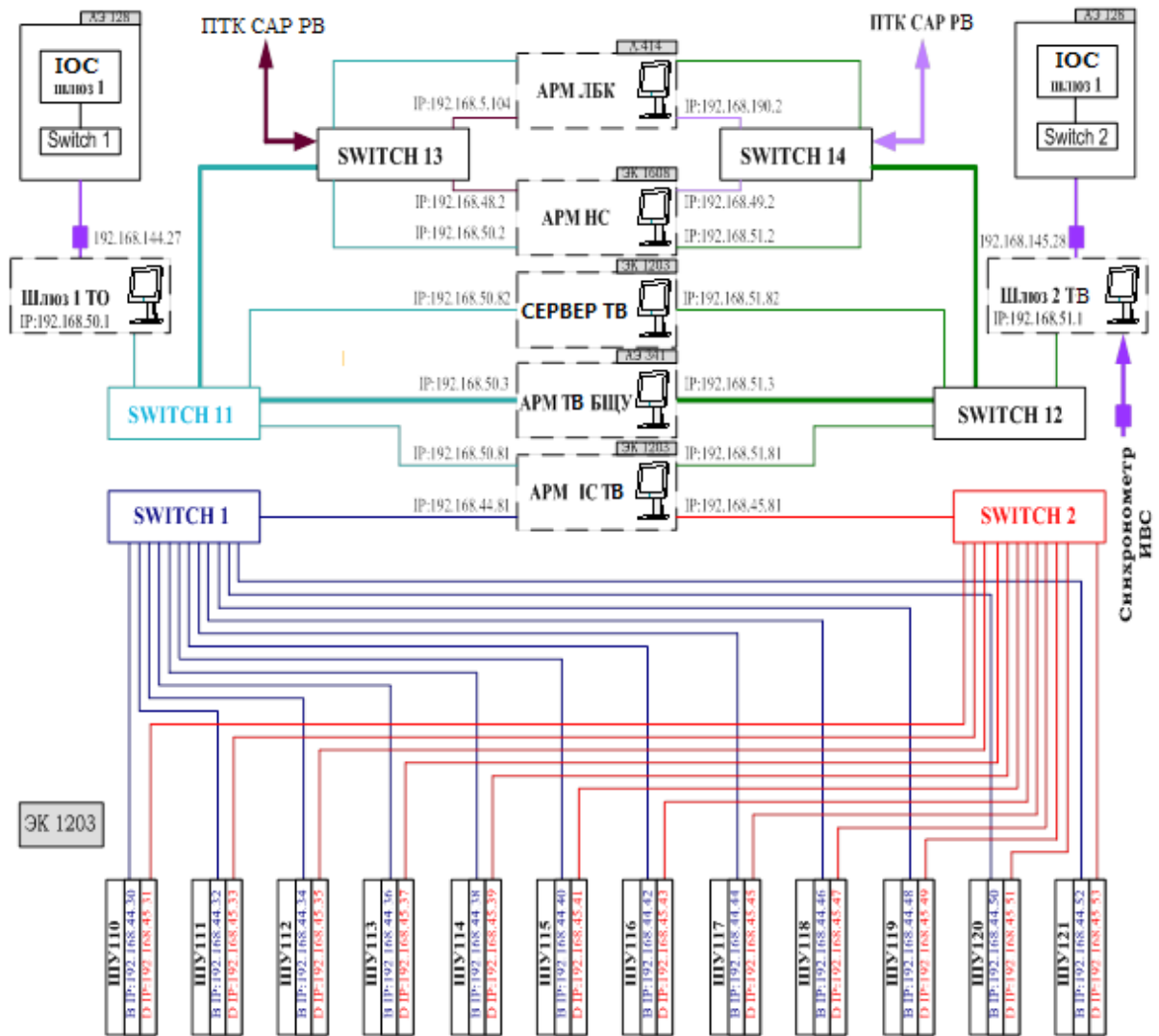


Рисунок 4.1 - ВУ ПТК САР ТВ блок №4

Керуюча функція:

- автоматичне регулювання технологічних параметрів.

Інформаційні функції:

- індикація стану САР і ВМ на БЦУ;
- збір інформації про стан об'єктів автоматизації;
- передача інформації в ІОС.

Допоміжні функції:

- збір, обробка даних і діагностика стану і функціонування технічних і програмних засобів ПТК САР ТВ;
- контроль достовірності та реєстрація відмов вхідної інформації;
- контроль вихідних команд управління ВМ;

– забезпечення сервісу обслуговуючому персоналу за допомогою АРМ ІС, АРМ НС ЦТАВ і АРМ БЩУ ТВ.

#### 4.2 Принципи реалізації системи аварійного регулювання турбінного відділення

На технічних засобах виробництва ХГПЗ ім. Шевченка реалізовані тільки системи автоматичного регулювання. Дистанційне управління, захисту і блокування (крім спеціально обумовлених в описі відповідних САР) реалізовані на технічних засобах УКТС [9].

Вихідні команди регуляторів видаються в УКТС через відповідний БПР на БУК. Від БПР для автоматичних регуляторів використовуються вихідні сигнали «регулятор включений» і «регулятор в роботі».

Включення регуляторів проводиться вручну переключенням перемикача БРУ-32 в положення «АВТОМАТ».

Відключення регулятора виконується вручну перемикачем БРУ-32 в положення «ДИСТАНЦІЯ» або автоматично при відмові відповідного вимірювання (обмовляється для кожного регулятора окремо) або втрати живлення свого РК. Після автоматичного відключення регулятора повторне включення здійснюється вручну квіткуванням перемикача БРУ-32 після зняття всіх причин відключення. Автоматичне відключення реалізовано по інверсній логіці (зняттям вихідного дискретного сигналу «Готовність регулятора»).

Контроль здійснюється оператором по відеокадру: основному (рис. 4.2) і додатковому (рис. 4.3).

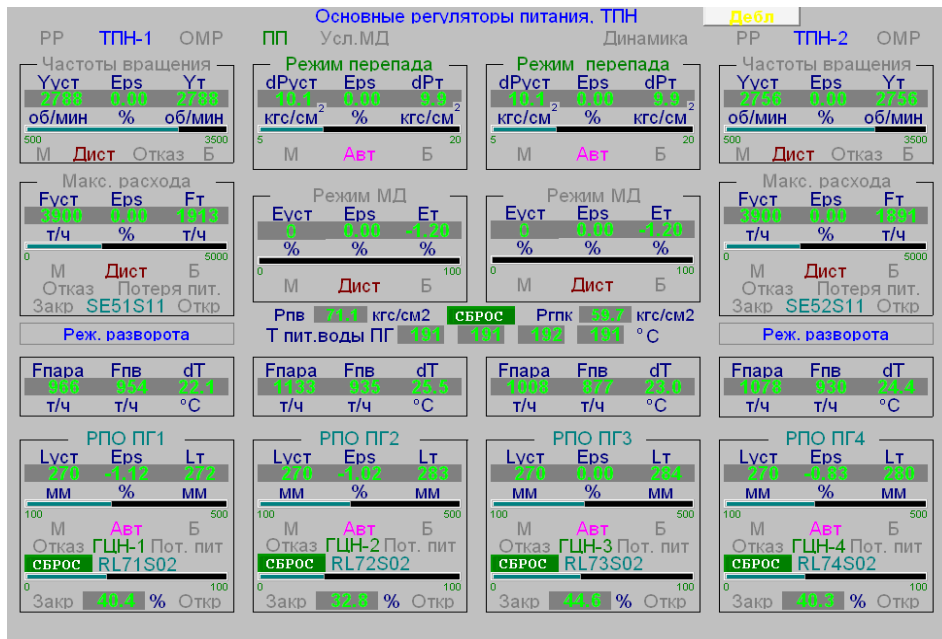


Рисунок 4.2 - Основной регулятор живления

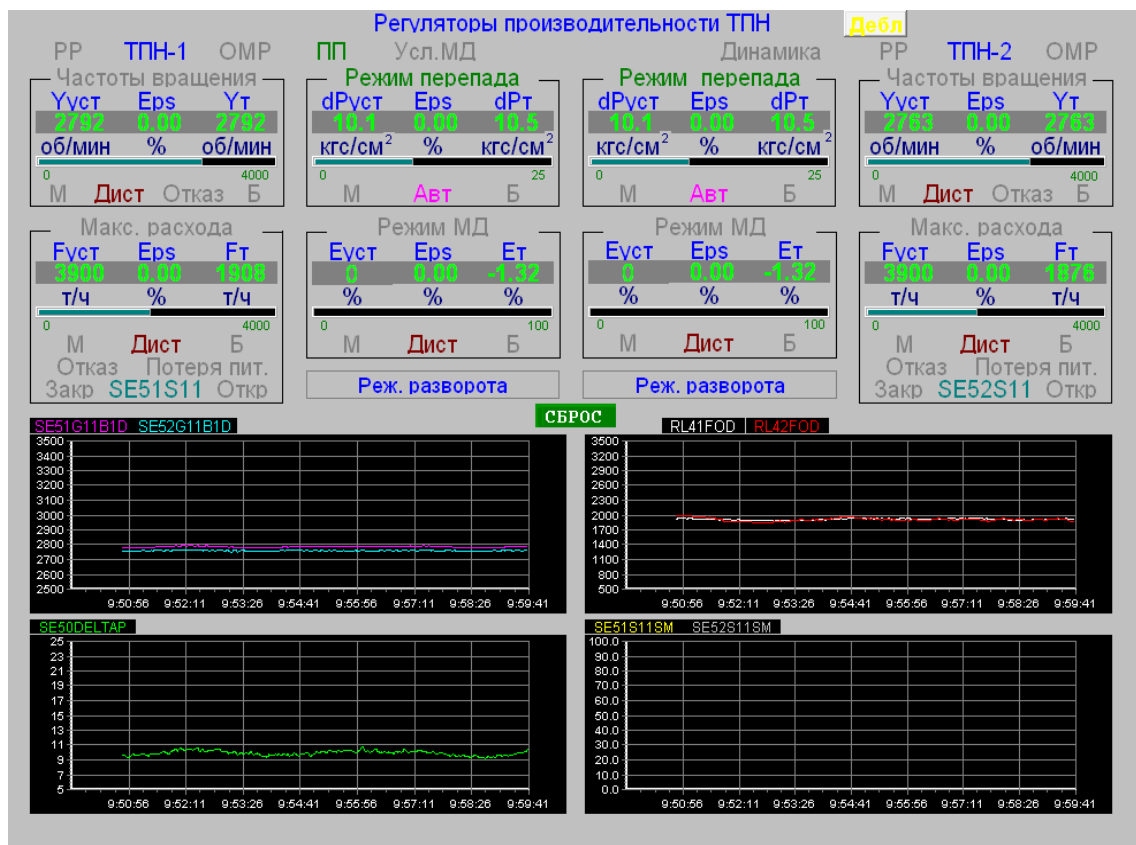


Рисунок 4.3 - Регулятор продуктивности ТЖН

У включеному стані (БПР «включений») регулятор знаходиться в режимі підтримки параметра або в очікуючому режимі.

Завдання регуляторам або задається, або обчислюється, або визначається поточним значенням параметра в момент включення



регулятора або режиму. Передбачена можливість зміни завдання за допомогою АРМ ІС.

Типовий модуль регулятора реалізовує ПД-закон регулювання. Передбачена можливість реалізації ПД-коректорів.

Сигналізація всіх режимів роботи регуляторів ТО відображається на пультах АРМ ІС і АРМ ТО БЦУ.

Регулятори забезпечують видачу команд управління тривалістю 0,1 с. Пауза між імпульсами - не менше 0,2 с.

У ПТК САР здійснюється контроль живлення усієї використовуваної арматури. Відсутність живлення арматури визначається за одночасною відсутністю сигналів від КВ «не відкрита», «не закрита». При цьому формується сигнал «Відмова РК».

Для контролю датчиків положення РК реалізована модель виконавчого механізму.

Для кожного виконавчого механізму здійснюється контроль датчика положення РК і формується сигнал «Невідповідність РК»:

- при розходженні показань УП змодельований станом на величину більше допустимої;
- при невідповідності сигналів від кінцевих вимикачів і УП;
- при стрибкоподібній зміні сигналу від УП на величину більше допустимої.

Контроль здійснюється оператором по відеокадру (датчики ТВП), представленому на рис. 4.4.

При цьому вихідні команди на ВМ не блокують, регулятор не відключається, але переходить на роботу за показаннями математичної моделі.

Передбачена можливість зміни налаштувань регуляторів, коефіцієнтів і уставок за допомогою ІС.

Входные аналоговые сигналы ШУ112				Дебл.
<b>Сброс неиспр.</b>				
ШУ 112				
F RL41F01 (ТПН-1)	1971	1921	1932	1934
RL42F01 (ТПН-2)	1888	1942	1940	1941
L RT30L01 (ДБ)	780			780
RL22L01 (В деаэраторе)	2201			2199
G SE51G11 (Част. вращ. ТПН-1)	2788			2788
SE52G11 (Част. вращ. ТПН-2)	2760			2761
P RC11P01 (ГПК)	59.5	59.7	59.7	59.7
RL60P01 (За ПВД)	70.6	70.7	70.7	71.0
SE70P07 (Лин.упр.)	29.4	29.0	29.1	29.3
dYA12T03,10,11 (ПГ-1)	22.5	19.5	21.9	21.9
YA22T03,10,11 (ПГ-2)	25.5	21.1	25.8	25.5
YA32T03,10,11 (ПГ-3)	18.7	23.7	22.9	22.9
YA42T03,10,11 (ПГ-4)	21.5	24.5	25.0	24.4
T RL61T01 (ПВД-А)			191	191
RL62T01 (ПВД-Б)			191	191

F - т/ч, L - мм, G - об/мин, P - кгс/см<sup>2</sup>, T - °C  
Отказ обмена с: ШУ110 ШУ111 ШУ113 ШУ114 ШУ120

Рисунок 4.4 - Датчик ТЖН

Так само передбачена можливість автоматичної зміни налаштувань регуляторів і уставок в залежності від режимів робіт або від значення технологічних параметрів.

Для всіх аналогових сигналів передбачена можливість введення настроювання програмного фільтра з дискретністю зміни 0,1 с.

Для кожного датчика передбачений контроль по верхній і нижній межі і за швидкістю зміни вхідного сигналу. Передбачена лінеаризація сигналів від термопар і внесення поправок до вимірів датчиків тиску.

При вимірюванні параметра тріохканальними датчиками, робоче значення визначається як медіанне значення з трьох показань. Крім первинного контролю, здійснюється контроль за неузгодженості показників датчиків.

При вимірюванні параметра дубльованими датчиками, робоче значення визначається як середнє арифметичне значення показань справних датчиків або як значення справного датчика. Крім первинного контролю, здійснюється контроль за неузгодженістю показань датчиків.

Для всіх датчиків передбачена можливість виведення датчика або групи датчиків одного виміру в ремонт.

При відмові вимірювання параметра на пульті передбачена узагальнена світлова сигналізація «Відмова вимірювання» (формується в кожному шафі управління).

При відмові одного з датчиків дубльованого або трьохірованого вимірювання одного параметра, і відсутності відмови вимірювання параметра на пульті передбачена узагальнена світлова сигналізація «Несправність вимірювання» (формується в кожній шафі управління).

Всі відмови резервованих датчиків (дубльованих або трьохірованих) вимірювань запам'ятовуються. Зняття відмов проводиться послідовним натисканням кнопок «деблокування» → «скидання несправності», на сенсорній панелі АРМ ТВ.

Загальна сигналізація формується миготливим світлом при появі кожного нового сигналу, що входить до складу даної сигналізації. Перехід на рівне світіння здійснюється за допомогою кнопки «квотування».

#### 4.3 Цифрові регулятори другого контура енергоблоку АЕС

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).

ЦР другого контура призначені для роботи в максимально можливому діапазоні навантажень технологічного устаткування другого контура. Діапазон теплових навантажень або умов, в яких забезпечується регулювання технологічних параметрів, вказаний в інструкції з експлуатації ЦР. Діапазон регулювання для більшості параметрів складає від 0 % до 100 % номінальної потужності турбоагрегату (ТА).

ПТК САР ТВ є управляючою системою, розрахованою на тривале функціонування в режимі реального часу і забезпечує виконання управляючих і інформаційних функцій.

До управляючих функцій відносяться:

- автоматичне регулювання технологічних параметрів в різних режимах роботи технологічного устаткування;
  - функціонально-групове управління технологічними процесами в режимах підключення і відключення ПВТ-А(Б);
  - робота технологічних захистів і виконання блокувань для РК і арматури, що входить до складу шафи управління (ШУ) (примусове відкриття (закриття) РК із заборонаю закриття (відкриття));
- дистанційне управління ВМ РК і арматурою по команді оператора.

До інформаційних функцій відносяться:

а) первинна обробка вхідної аналогової інформації, обчислення поправок до свідчень ВП для компенсації статичної нерівномірності, масштабування;

б) прийом дискретних сигналів стану ВМ технологічного устаткування, захистів, блокувань, що беруть участь в алгоритмах, і автоматичного регулювання;

в) формування інформації про спрацьовування светозвукової сигналізації на панелі БЦУ:

1) «Аварійне відключення регуляторів» при автоматичному відключенні регуляторів за умовами відповідно до пункту «Контроль справності» для кожного регулятора інструкції з експлуатації ЦР;

2) «Виклик до шаф ШУ001-016, СРТ» за умов формування сигналів згідно інструкції з експлуатації ЦР;

г) формування діагностичної інформації про несправності і відмови апаратних засобів ШУ на відеокадри системи відображення і реєстрації параметрів (СВРП) автоматизованого робочого місця (АРМ);

д) формування інформації про несправності і відмови ВМ, ВП на відеокадри СВРП АРМ;

е) формування інформації про стан блокувань ВМ РК і арматури на відеокадри СВРП АРМ;

ж) формування інформації про роботу завдань управління і регулювання на відеокадри СВРП АРМ;

з) збір і передачу інформації в КОС по цифровому каналу зв'язку;

и) індикація стану ВМ РК і арматури на мнемосхемі БЩК.

ПТК САР ТВ включає декілька підсистем, реалізованих на програмних модулях, що працюють з ФПЗ і виконують динамічне перетворення і первинну обробку аналогових сигналів, завдання автоматичного регулювання технологічного процесу, реалізацію алгоритмів роботи ТЗ і блокувань ВМ РК і арматури, виконання команд ТЗ відповідно до технологічного регламенту, управління ВМ РК і засувки, видачі светозвукової сигналізації на панелі БЩУ і СВРП АРМ БЩУ про роботу САР ТВ.

Інформація в ШУ про технологічні параметри і стан устаткування поступає від:

- ВП з уніфікованим струмовим виходом від 0 мА до 5 мА;
- кінцевих вимикачів (КВ).

Виведення інформації і сигналів управління проводиться:

- уніфікованими струмовими сигналами від 0 мА до 5 мА;
- безконтактними елементами управління на ВМ РК і арматури;
- дискретними сигналами типа «сухий» контакт.

4.4 Призначення і робота регулятора продуктивності турбоживильного насоса автоматичного регулювання турбінного відділення

Регулятор продуктивності ТЖН призначений для регулювання продуктивності живильних насосів в широкому діапазоні зміни навантаження блоку, забезпечення діапазону роботи по витраті живильної води основним регулятором живлення ПГ і синхронізації навантаження паралельно працюють ТЖН.

На блоці встановлений один регулятор продуктивності, що впливає на регулюючі клапани обох ТЖН через схему синхронізації і два регулятора розвороту.

Механізм управління паровпускними клапанами ТЖН управляється від регулятора частоти обертання або від регулятора продуктивності. Вибір режиму управління ТЖН здійснюється за допомогою ключа управління, встановленого на БЩУ на три положення:

- РПР - включення регулятора продуктивності;
- РР - включення регулятора розвороту;
- Н - відключення регуляторів продуктивності, розвороту і включення регулятора частоти обертання від блоку ручного управління.

При включенні регулятора продуктивності в роботу, регулятор частоти обертання перекладається в режим очікування.

Для РПР ТЖН передбачається два основні режими роботи:

- а) підтримка заданого перепаду тиску – «ПП»;
- б) підтримка мінімального перепаду тиску на РПК – «МД» (в даний час не використовується), що включає в себе два підрежиму:

- 1) МДП - «мінімальне дроселювання живлення основного РПК»;
- 2) ОМР - «обмеження максимальної продуктивності ТЖН».

Вибір режиму роботи РПР проводиться на фрагменті РПР ТЖН сенсорного пульта управління кнопками «ПП», «МД» з індикацією вибраного режиму. Для виключення помилкового включення режиму «МД» передбачено додаткову умову за допомогою програмного ключа з АРМ ІС ТВ.

При роботі в режимі «МД» і відключенні РПО проводиться автоматичний перехід в режим «мінімального дроселювання з втратою живлення одного основного РПК» і сигналізацією «МДП». Дозвіл включення режиму МД сигналізується «Дозвіл умов МД», а включення режиму обмеження максимальної продуктивності ТЖН сигналізується

«ОМР». Інформація про режими роботи регуляторів виводиться також на відеокадри регуляторів продуктивності.

Регулятор продуктивності ТЖН (РПР) в режимі «ПП» здійснює управління навантаженням ТЖН при тепловій потужності ПГ в діапазоні від 10% до 100%. РПР в режимі ПП призначений для регулювання постійного перепаду тисків між колектором живильної води і головним паровим колектором, рівного 0,98 МПа з урахуванням гідростатичного тиску 0,15 МПа при середній витраті пара двох найбільш навантажених ПГ менше 1120 т/ч, і підтримки перепаду від 0,98 МПа до 1,57 МПа відповідно до навантаження блоку при витраті пара більше заданого значення.

Регулятори в режимі «ПП» працюють за сигналами гідравлічного опору тракту від колектора живильної води до центрального парового колектора (ЦПК) (відношення різниці перепаду тисків живильної води в колекторі за ПВТ і пара в ЦПК до квадрату середнього значення розрахункової витрати пара двох найбільш навантажених ПГ) і позитивної похідної із зоною нечутливості по середній витраті за ТЖН. Різниця перепаду тисків визначається за сигналами тиску живильної води за ПВТ і тиску пара в ЦПК. Витрата пара розраховується в шафі РПР по різниці температур теплоносія гарячої і холодної ниток (розраховується за показниками аналогових вхідних сигналів) і ентальпії температури живильної води (розраховується за показниками аналогових вхідних сигналів), з урахуванням кількості працюючих циркуляційних петель. Кількість працюючих петель визначається станом ГЦН, а витрата пари визначається з урахуванням збільшення продуктивності ПГ на 10% при трьох працюючих ГЦН і на 21% при двох працюючих ГЦН, зміни коефіцієнта кількості включених ПГ демпфуюча. Температура живильної води визначається як середнє арифметичне значення при справному вимірі обох температур, або рівною справного виміру при несправному одному вимірі, або рівною фіксованому значенню 190 °С при несправності обох вимірів.

Режим «ПП» включається вручну оператором або автоматично з режиму «МД» при зниженні навантаження блоку менше  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\approx 50\% N_{\text{ном}}$ ) або абсолютної різниці температур за ПВТ більше  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta T$  від датчиків температури), або автоматично при повній відмові троїрованого вимірювання різниці температури гарячої та холодної ниток теплоносія в шафі РПО і в шафі РПР або при відмові витрати живильної води будь-якого ПГ в шафі РПО. При відмові мережі також здійснюється автоматично перехід з режиму «МД» в «ПП».

Задане значення, підтримуване РПР на низькому навантаженні (витрата пара менш  $1120\text{ т/ч}$ ) - постійне, зміна витрати живильної води в ПГ забезпечується в основному зміною положення РПК. Задане значення, підтримуване РПР на високому навантаженні, нелінійне (назад квадратичне від значення середньої витрати пара двох найбільш навантажених ПГ), зміна витрати живильної води в ПГ забезпечується в основному зміною навантаження ТЖН.

Величина перепаду тисків обмежується знизу на рівні  $0,98\text{ МПа}$ .

Включення РПР на автоматичне керування відбувається безударно з постійною швидкістю переходу на задане значення.

Включення РПР на автоматичне керування відбувається безударно з постійною швидкістю переходу на задане значення.

Зміна заданого значення перепаду підтримуваного РПР при переході з режиму ПП в МД і навпаки складається з двох частин. Спочатку швидший, потім більш повільний. Швидкість зміни заданого значення на другому етапі переналаштовується в залежності від навантаження блоку.

В режимі ПП РПР ТЖН підтримують рівну нулю помилку регулювання:

$$\mathcal{E} = SE50RPRZAD - SE50GSOPR - RL40F0V + RL70S02ERZV,$$

де  $SE50RPRZAD$  - задане значення гідравлічного опору пароводяного тракту;

$SE50GSOPR$  - гідравлічного опору пароводяного тракту;



RL70S02ERZV - максимальне значення похідної помилково регулювання в ППГ;

RL40F0V - позитивна похідна середньої витрати живильної води за ТЖН.

РПР в режимі «МД» призначений для регулювання продуктивності ТЖН на мінімально можливому рівні, який забезпечує подачу необхідної витрати живильної води в ПП з повністю відкритим одним  $d ((FTЖН1 + FTЖН2) \cdot 2)/dt$  враховується у формулі помилки регулювання тільки при зростанні витрат, при його зменшенні - значення  $d ((FTЖН1 + FTЖН2) \cdot 2)/dt$  приймає нульове значення.

Режим «МД» включається оператором ключем управління або з сенсорного пульта управління при включених всіх РПО на автоматичне управління, при середній різниці температур гарячої та холодної ниток теплоносія  $\geq 18^{\circ}\text{C}$ , абсолютна різниця температур за ПВД  $\leq 15^{\circ}\text{C}$ . На фрагменті РПР ТЖН сенсорного пульта передбачається сигналізація «Наявність умов МД».

У режимі «МД» РПР працюють за такими сигналами:

- максимальне неузгодженість РПО (сигнали неузгодженості передаються по мережі з шаф РПО);
- похідна гідравлічного опору тракту від колектора живильної води до ЦПК;
- середня витрата пара двох найбільш навантажених ПП - для автопідстроювання динамічної параметрів настройки від навантаження.

При роботі РПР ТЖН в режимах «ПП» і «МД» проводиться автоматична зміна параметрів динамічної настройки  $K_p$  і  $T_i$  при переведенні живлення ТЖН паром від КСН або від СПП, при зростанні помилки регулювання регулятора ( $\varepsilon_{ТЖН} > 4\%$ ), а також при відключенні одного з регуляторів продуктивності.

У режимі «МД» РПР підтримують рівну нулю помилку регулювання:

$$\varepsilon = SE50GSOPV - KEPSMD \cdot RL70S02ERZM1,$$

де SE50GSOPV - похідна коефіцієнта гідравлічного опору, що забезпечує стійкість системи;

KEPSMD-коефіцієнт гідравлічного опору;

RL70S02ERZM1-максимальне значення помилки регулювання РПО.

В режимі «ПП» і «МД» при втраті живлення ВМ відключається відповідний регулятор. В режимі «ПП» і «МД» при відмові ВП тиску пара в ЦПК (датчики виходять за діапазон від 3,92 МПа до 9,32 МПа, або швидкість зміни сигналу більше 2,94 МПа/сек, або неузгодженість більше 0,98 МПа) або відмову ВП тиску живильної води (датчики виходять за діапазон від 0,98 МПа до 11,77 МПа, або швидкість зміни сигналу більше 2,94 МПа/сек, або неузгодженість більше 0,98 МПа) обидва РПР відключаються. При відмові ВП витрати живильної води за ТЖН (датчики виходять за діапазон від 0 т/ч до 4800 т/ч, або швидкість зміни сигналу більше 2000 т/ч/с, або неузгодженість > 1000 т/ч) або зниженні витрат живильної води за ТЖН до 500 т/год і відкритому стопорному клапані (СК) ТЖН відповідний РПР ТЖН відключається. При відсутності режиму «Динаміка» і включених обох РПР в регуляторах РПР здійснюється контроль справності ВМ за кількістю односторонніх спрацьовувань (34 рази) з відключенням відповідного регулятора.

У режимі «МД» при втраті живлення одного РПК або при ручному відключення автоматичного режиму одного РПО, РПР перемикається в режим «МДП» і здійснює регулювання рівня в ПГ з несправним РПК за допомогою РППО. Забезпечення регульовального діапазону іншим РПК здійснюється повним відкриттям у них пуско-остановчих РПК. При відновленні справності управління РПК і включення регулятора на автоматичне керування здійснюється зворотний перехід в режим МД з переводом пуско-остановчих РПК в проміжне положення (від 45% до 55%). У режимі МДП РПР отримують сигнали, аналогічні сигналам режиму МД з тією різницею, що замість максимальної помилки регулювання РПО

використовується помилка регулювання по тому ПГ, в якому відмовив РПК. У разі відмови (відключення) двох РПК РПР автоматично відключаються.

Відключення режиму «МДП» проводиться при відновленні живлення РПК. У режимі «МДП» при відключенні більш ніж одного РПО, РПР автоматично відключаються. У режимі «МД» при відключенні хоча б одного з РПО щодо відмови вимірювання рівня, витрати живильної води, різниці температур гарячої та холодної ниток теплоносія, перевищенні помилки регулювання обидва РПР автоматично відключаються. Режим МДП не включається в разі втрати живлення РПК парогенератора, в якому відключено ГЦН - в цьому випадку в роботі зберігається режим МД.

При відключенні ГЦН на петлі з відключеним РПО, помилка регулювання РПР розраховується за складовими режиму «МД». Режим «МДП» при цьому зберігається, перехід з режиму «МДП» в режим «ПП» дозволений. Перехід з режиму «МДП» в режим «ПП» програмно заблокований, якщо працює ГЦН на циркуляційній петлі з відключеним РПО.

РПР здійснюють паралельну синхронізацію ТЖН за витратами живильної води. У разі рівного розподілу витрат води ТЖН команди регуляторів надходять синхронно на обидва ТЖН. При неузгодженості витрат, більше заданого (150 т/год, в динамічних режимах – 300 т/ч), блокується проходження команд на навантаження більш навантаженого ТЖН і на розвантаження менш навантаженого. При відключенні одного з РПР і при переході ТЖН на рециркуляцію - синхронізація ТЖН блокується. Команди регулятора розвороту ТЖН і регулятора ОМР впливають на управління ТЖН без схеми синхронізації.

При зменшенні навантаження блоку для запобігання одночасного виходу обох ТЖН на рециркуляцію при витраті за ТЖН-2 менш 1300 т/ч, команди на розвантаження ТЖН-2 блокуються. Подальша розвантаження проводиться впливом на ТЖН-1.

Режим «Динаміка» використовується в схемах контролю справності РПО і формується для ідентифікації різкозмінних режимів роботи технологічного обладнання блоку протягом 10 хвилин за такими сигналами:

- зміна навантаження турбіни зі швидкістю понад 20 МВт/с (навантаження турбіни визначається по тиску масла в лінії управління сервомотором – 0,03 МПа);
- зміна тиску пара ТЖН перед ГПЗ ТЖН зі швидкістю понад 0,1 МПа за секунду (при переключенні живлення ТЖН паром з відбору на КСН і назад);
- зміна навантаження ТЖН понад 200 т/ч в будь-яку сторону (визначається за швидкістю зміни витрати живильної води за ТВП);
- збільшення тиску пара в ЦПК більш 6,13 МПа;
  - зміна тиску пара в ЦПК зі швидкістю понад 0,1 МПа за секунду;
  - відкриття або закриття рециркуляції ТЖН (визначається побічно за видатками живильної води);
  - зміна режиму «ПП», «МД» або «МДП»;
  - спрацьовування захисту по відключенню будь-якої групи ПВТ;
  - включення і відключення будь-якого ГЦН.

Режим «Динаміка» відключається при відключеному стані всіх РПО. При появі повторного ознаки «Динаміка» і включеному режимі «Динаміка» лічильник часу дії режиму перезапущається.

Регулятор включається в режим ОМР безударно, при одночасному збільшенні витрат води за одним ТЖН більш 3750 т/ч і зменшенні витрат за іншим ТЖН менша за 1700 т/ч. У режимі ОМР РПР підтримує витрата води за рештою в роботі ТЖН на 3900 т/ч. Режим ОМР відключається при формуванні негативної помилки регулювання по двом РПО і включається режим ПП або режим МД. При відмові мережі регулятор ОМР відключається вручну.

При відключенні одного з двох працюючих ТЖН для того насоса що залишився в роботі виконується також обмеження в сторону «більше» по

частоті обертання більше 3500 об/хв. При перевищенні уставки регулятор розвантажує ТЖН до зняття обмеження.

У режимі ОМР регулятор продуктивності ТЖН підтримує рівний нулю помилку регулювання:

$$\mathcal{E} = SE51S11MRXU - RL4iF0D,$$

де  $i = 1, 2$  – номер ТЖН;

SE51S11MRXU - заданий максимальний витрата за ТЖН;

RL4iF0D - витрата води за робочим ТЖН.

У шафі РПП формуються сигнали:

–  $\Delta T_{ср}$  і відмова  $\Delta T_{ср}$  - для регулятора заповнення і регуляторів рівня в ПНД-2 (передається по мережі в шафи РППО);

– сумарна витрата пара з ПГ для регуляторів рівня в Д-7.

#### 4.5 Склад апаратури програмно-технічного комплексу системи автоматичного регулювання турбінного відділення

У таблиці 4.1 наведено перелік субблоків, їх характеристики і призначення.

Таблиця 4.1-Перелік субблоков, їх призначення та характеристики

Позначення субблока	Призначення субблока	Характеристика субблока
МК-187 (Субблок мікроконтролера)	Призначений для збору і обробки інформації, видачі керуючих впливів, проведення контролю функціонування модулів зв'язку з об'єктом за заданою програмою, а також для обміну інформацією по мережі Ethernet з верхнім рівнем.	Субблок має: - одноплатний мікрокомп'ютер РС-104; - до 64 Мбайт ОЗУ; - до 16 Мбайт ППЗУ типу FLASH; - один канал зв'язку RS-232; - шість гальванічно розв'язаних каналів зв'язку RS-485 (дуплекс); - тактова частота 133 МГц; - вісім незалежних входів і вихідних прийому і видачі дискретних сигналів;

## Продовження таблиці 4.1

Позначення субблока	Призначення субблока	Характеристика субблока
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- два незалежні входи прийому синхронізації;</li> <li>- два незалежних виходу видачі</li> </ul>
КСК-124 (Субблок контролю стану обладнання шафи)	Призначений для контролю опору ізоляції між корпусом і джерелами живлення секцій обтікання датчиків типу "сухий" контакт, контролю стану технічних засобів шафи, управління вентилятором і елементами індикації шафи, видачі сигналу "Відмова", а також обміну інформацією по дубльованій локальній шині послідовного каналу обміну інформацією.	КСК забезпечує контроль: <ul style="list-style-type: none"> <li>- основних і резервних фідерів електроживлення;</li> <li>- основного і резервного ІВЕР;</li> <li>- подачі живлення і контролю роботи БВ;</li> <li>- температури повітря всередині шафи;</li> <li>- стану дверей;</li> <li>- зв'язку з корпусом кожного полюса джерел обтікання дискретних сигналів;</li> <li>- управління світловою сигналізацією на двері ШУ.</li> </ul>
ПАВС-112 (Перетворювач аналогових вхідних сигналів)	Призначений для перетворення сигналів напруги та / або струму в код і обміну інформацією по дубльованій локальній шині послідовного каналу обміну.	Субблок має: <ul style="list-style-type: none"> <li>- вісім незалежних входів прийому струмових вхідних сигналів від 4 мА до 20 мА (або від 0 мА до 5 мА);</li> <li>- програмно-який встановлюється діапазон вимірювання.</li> </ul> Споживана потужність не більше 2,5 Вт.
ДВВ-189 (Субблок дискретного введення і виведення)	Призначений для прийому і видачі дискретних сигналів і обміну цією інформацією з зовнішніми контролерами за допомогою послідовного інтерфейсу RS-422/485.	Субблок має: <ul style="list-style-type: none"> <li>- шістнадцять входів прийому сигналів 24 В;</li> <li>- вісім дубльованих виходів з комутуючою здатністю до 60 В, 300 мА.</li> </ul> Споживана потужність не більше 1,5 Вт.
МР-195 (Субблок регулятора)	Призначений для прийому і видачі дискретних сигналів і обміну цією інформацією з зовнішніми контролерами	Субблок має: <ul style="list-style-type: none"> <li>- дванадцять незалежних дискретних входів 24 В;</li> <li>- дев'ять дискретних виходів з навантажувальною здатністю 300 мА, 60 В;</li> </ul>

## Продовження таблиці 4.1

Позначення субблока	Призначення субблока	Характеристика субблока
	посередством послідовного інтерфейсу RS-422/485.	- чотири дискретних виходу для управління виконавчими механізмами (ВМ) 300 мА, 60 В з контролем спрацьовування ключів управління. Споживана потужність не більше 1,5 Вт.
ПСРТ-125 (Субблок прийому і розмноження струмових сигналів)	Призначений для прийому і перетворення по двох каналах сигналів напруги або струму в код, видачі прийнятої інформації в будь-якому порядку в шість каналів перетворення коду в струм або напруга.	Субблок здійснює: - прийом двох сигналів струмових від -20 мА до 20 мА або напруга від 0 В до 10 В; - програмне підключення входів до виходів.
ПВС-118 (Перетворювач сигналів напруги 220 В в напрузі 24 В)	Призначений для прийому високовольтних сигналів "220 В" змінного струму і перетворення їх в сигнали "24 В" для видачі в субблок МР-195.	Субблок має чотири тракту перетворення сигналів 220В / 24 В: - чотири входи для сигналів змінного струму напругою 220 В; - чотири виходи 24 В. Споживана потужність від джерела живлення 24 В не більше 0,2 Вт.
ПВ-120 (Перетворювач сигналів напруги 220 В в напругу 24 В)	Призначений для когось мутації ланцюгів управління виконавчими механізмами з напругою живлення 220 В змінного струму з контролем виконання і прийому високовольтних сигналів "220 В" змінного струму, перетворення їх в сигнали "24 В" для видачі в субблок МР-195.	Субблок має: - два тракту перетворення сигналів 220 В / 24 В: - два входи змінного струму напругою 220 В; - два виходи 24 В; - два тракту 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); - чотири входи прийому команд послідовного управління ключами (24 В). Споживна потужність від джерела живлення 24 В не більше 1,2 Вт.

Цикли опитування, первинної обробки та видачі команд такі:

- ініціативні вхідні дискретні сигнали - 0,01 с;
- вхідні дискретні сигнали, що не належать до ініціативним- 0,1; 1 с;
- вхідні аналогові сигнали - 0,1; 0,2; 0,5; 1; 10 с;
- дискретність видачі команд управління - 0,1 с;
- час реакції на ініціативний сигнал з видачею управляючого впливу - не більше 0,01 с;
- час реакції на вхідні дискретні сигнали, що не належать до ініціативним не більше 1,0 с.



## 5 ВИМОГИ ДО ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТУРБІННОГО ВІДДІЛЕННЯ

### 5.1 Вимоги до системи в цілому

ПТК САР ТВ, що розроблена у роботі, повинна вважатися відповідного її призначенню при задоволенні наступних показників:

- забезпечення в регульовальному діапазоні роботи енергоблоку автоматичного регулювання технологічних параметрів і управління обладнанням;

- забезпечення автоматизації найбільш трудомістких, пов'язаних з безперервним контролем і регулюванням, процесів управління пуско-зупинкою технологічного обладнання;

- забезпечення в усіх режимах роботи енергоблоку достовірного відображення і реєстрації інформації;

- забезпечення діагностики несправностей технічних і програмних ПТК САР ТВ, що запобігає видачі неправдивих команд управління технологічним обладнанням і дозволяє своєчасно усувати несправності;

- забезпечення видачі інформації про протікання технологічних процесів, достатньою за обсягом і швидкодією для реєстрації та подання на БЩУ.

### 5.2 Вимоги до надійності

Показники надійності задаються виходячи з того, що:

- ПТК САР ТВ є багатофункціональною системою, функції якої мають істотно різну значимість і характеризуються різним рівнем вимог до надійності їх виконання;

- у функціонуванні системи беруть участь різні види забезпечення і персонал, які в тій чи іншій мірі впливають на рівень надійності;

– при функціонуванні системи можливе поєднання відмов і помилок.

Вимоги до показників надійності встановлюються окремо по кожній функції управління та інформації, з урахуванням контролю, відновлення і незалежності відмов каналів у багатоканальній системі, а також надійності периферійних пристроїв, включаючи датчики, котрі взаємодіють із ПТК САР ТВ. Вимоги до показників надійності задані без урахування надійності ВМ і кабелів. Оцінка ступеня їх впливу на надійність, як і ступінь впливу персоналу повинна проводитися на стадії техноробочого проекту. При визначенні показників надійності, функціональні підсистеми ПТК САР ТВ розглянуті як сукупність технічних елементів. Для опису безвідмовності безперервно-виконуваних функцій (Н функцій) прийнята середня напрацювання системи до виникнення відмови -  $T_{ср}$ . Для опису безвідмовності дискретно-виконуваних функцій (Д функцій) прийнята ймовірність успішної роботи під час вступу запиту -  $L$  і параметр потоку відмов типу "помилкове спрацьовування" -  $W$ .

Для опису надійності ПТК САР ТВ з аварійних ситуацій прийнята середня напрацювання системи до виникнення в ній аварійної ситуації при нормальних умовах функціонування системи -  $T_{ав}$ .

Задані показники надійності для керуючих та інформаційних функцій ПТК САР ТВ наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Показники надійності для функцій ПТК САР ТВ і СНЕ РВ

Показники надійності	Функції ПТК САР ТВ и СНЕ РВ								
	Н – функції авторегулювання		Д – функції блокувань, стерегущих та пускових регуляторів		Д – функції дистанційного управління		Н-функції передачі інформації в ИВС	Н-функції обміну інформацією між ШУ	Н- функції формування «складних сигналів»
	Клас 3	Клас 4	Клас 3	Клас 4	Клас 3	Клас 4			
$T, ч$	$2.5 \cdot 10^5$	40000	$2.5 \cdot 10^5$	40000	$2.5 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^4$	-	-	-
$W, 1/ч$	-	-	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	-	-	-
$L$	-	-	0.999	0.999	0,99	0.95	-	-	-
$T_{ср}, ч$	$1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^4$	-	-	-	-	$1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$

Під безперервно-виконуваними (Н-функція) розуміються функції, які в нормальних умовах експлуатації енергоблоку знаходяться в роботі. Під дискретно-виконуваними (Д-функція) розуміються функції, які в нормальних умовах експлуатації енергоблоку знаходяться в режимі очікування і вступають в роботу при певній технологічній ситуації - запиті на спрацьовування (блокування, що стерегли регулятори, пускові регулятори).

Для функцій блокувань основного обладнання слід розуміти:

- під аварійною ситуацією - відмова ШУ;
- під хибним спрацьовуванням - помилкове спрацьовування будь-який з технологічних блокувань, для яких помилкове спрацьовування може призвести до подальшої роботи захистів і останову технологічного обладнання;
- під ймовірністю успішної роботи - ймовірність успішної роботи на вимогу будь-якої з технологічних блокувань, для яких неспрацювання на вимогу може привести до пошкодження технологічного обладнання.

Перелік блокувань, для яких повинні задовольнятися критерії W і L, повинен встановлюватися на стадії техноробочого проектування.

Для функцій авторегулювання приймаються наступні показники:

- середнє напрацювання на відмову будь-якої системи автоматичного регулювання (Н-функція), що знаходиться в нормальних умовах експлуатації енергоблоку в роботі;
- ймовірність успішної роботи на вимогу будь-якого з очікуючих або пускових регуляторів (Д-функція);
- помилкове спрацьовування будь-якого з очікуючих або пускових регуляторів (Д-функція).

Для функцій дистанційного керування слід розуміти:

- під відмовою - відмова резервованого МСО, що реалізує функцію дистанційного керування конкретного ВМ;

– під хибним спрацьовуванням - видачу неправдивої команди на ВМ.

Для функції обміну інформацією між ШУ під відмовою слід розуміти неможливість виконання функції через відмову мереж.

Для функції формування «складних сигналів» під відмовою слід розуміти неможливість виконання функції через відмову субблока.

Ознаками відмов за зовнішніми по відношенню до ШУ каналах є:

- відмови або втрата живлення датчиків;
- невиконання команди управління, сформованої ШУ, виконавчим органом;
- невиконання команди управління з БЩУ.

Перераховані вимоги до надійності повинні бути забезпечені відповідним вибором і розробкою сукупності технічних, програмних і інформаційних засобів і регламентом їх обслуговування з урахуванням використання ШУ ПТК САР ТВ.

Повинна бути передбачена апаратна і функціональна надлишковість, що забезпечує працездатність системи при одиничних відмовах.

Забезпечення заданих показників надійності апаратури повинно виконуватися при відповідності показників електроживлення і стану навколишнього середовища технічними умовами складових частин ПТК САР ТВ.

Середній термін служби ПТК с урахуванням проведення ремонтних і регламентних робіт повинен бути не менше 30 років за умови заміни складових частин, що виробили свій ресурс.

Середній час відновлення працездатності ПТК САР ТВ по системам управління третього класу безпеки не повинно перевищувати 1 годину, а по іншим не повинно перевищувати 2 години.

Оцінка ремонтпридатності повинна проводитися на стадії проектування і за результатами дослідно-промислової експлуатації головного зразка протягом 12-ти місяців.

На стадії проектування оцінка показників надійності в частині безвідмовності повинна проводитися аналітичним методом.

На стадії експлуатації оцінка показників надійності повинна проводитися ЗАЕС статистичним методом.

На етапі техноробочого проектування допускається уточнення заданих значень показників надійності. Повинні бути визначені кількісні характеристики за відповідними критеріями відмов.

Програма забезпечення надійності на всіх стадіях створення ПТК САР ТВ повинна включати наступні заходи:

- забезпечення якості розробки математичного і програмного забезпечення;

- якісний аналіз структурної схеми системи з точки зору виключення відмов із загальної причини, аналіз реакції системи на можливі відмови, розподіл об'єктів управління на класи по їх ступеня впливу на безпеку і недовиробіток електроенергії;

- кількісний аналіз надійності ТСА ПТК САР ТВ і функцій управління та інформації ПТК САР ТВ, перевірка відповідності розрахункових показників надійності вимогам ТЗ, розробка рекомендацій щодо підвищення надійності;

- кількісний аналіз реакції систем управління на можливі відмови і розробка рекомендацій щодо усунення помилкової роботи систем управління;

- розробка системи подання інформації про роботу систем управління і комплексу технічних і програмних засобів, розробка інструкцій щодо усунення несправностей;

- розробка системи санкціонованого доступу до інформаційного і математичного забезпечення.

### 5.3 Вимоги до безпеки

ПТК САР ТВ повинна відповідати вимогам ДСТУ «Автоматизовані системи управління. Загальні вимоги». При проектуванні технологічних приміщень для установки ТСА ПТК САР ТВ повинні виконуватися вимоги «Інструкції з проектування будівель і приміщень для електронно-обчислювальних машин», вимоги «Інструкції з проектування протипожежного захисту енергетичних підприємств» і «Протипожежні норми проектування будівель і споруд» та вихідні дані проєктанта.

Приміщення установки ТСА ПТК САР ТВ повинні бути обладнані системами електроживлення 36 В і 220 В змінного струму.

Розміщення обладнання в приміщенні установки ТСА має проводитися таким чином, щоб ширина проходу була не менше 1,5 м.

ТСА ПТК САР ТВ за вимогами захисту людини від уражень електричним струмом відносяться до I-го класу безпеки.

Конструкція і розміщення шаф ПТК САР ТВ повинні задовольняти вимогам електробезпеки відповідно до «Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж», вимогам правил пожежної безпеки.

Шафи повинні бути оснащені механічними блокувальними пристроями дверей, що виключають їх самовільне відкриття.

Конструктивні елементи шаф повинні виключати можливість дотику до високовольтних струмоведучих частин, виключати замикання на корпус струмоведучих частин, мати попереджувальні написи і гравіювання.

Шафи повинні розташовуватися так, щоб освітленість і доступність дозволяли оперативне і безпечне їх обслуговування.

У приміщенні установки ТСА ПТК САР ТВ повинна бути передбачена система пожежогасіння та сигналізації.

Для захисту обслуговуючого персоналу і ТСА ПТК САР ТВ від виникнення різниці потенціалів на контурі заземлення в місцях установки рознесеного обладнання, викликаній короткими замиканнями в електричній

частині, атмосферними розрядами, протіканням зрівняльних струмів по контуру заземлення і т.п. повинні передбачатися такі заходи:

– шафи ПТК САР ТВ повинні ізолюватися від загальностанційного контуру заземлення, конструкцій будівлі і ін. устаткування, встановленого в ньому;

– повинно бути організовано окреме заземлення пристроїв ТСА ПТК САР ТВ, до якого підключається корпус окремих конструктивів. Ці заземлення пристроїв повинні підключатися до загальностанційного заземлювального пристрою в одній точці (спецконтур заземлення);

– шафи ПТК САР ТВ повинні приєднуватися до спецконтуру заземлення за допомогою ізолюваної шини (мідного кабелю);

– повинно виконуватися приєднання екранів і оболонки кабелів до спецконтуру заземлення тільки з боку шаф ПТК САР ТВ. Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування [10].

Апаратура ПТК САР ТВ повинна бути стійкою:

а) до зовнішніх чинників з параметрами, тип атмосфери - II, при цьому, робочі значення температури повітря від 10 до 35° С:

1) нижнє значення 3° С;

2) верхнє значення 50° С протягом не більше 2 годин;

3) граничне значення відносної вологості 98% при температурі 35 °С протягом 2 годин;

4) граничне значення швидкості зміни температури 5,0 °С/год;

5) при сейсмічній дії з параметрами, пред'явленими для категорій сейсмостійкості II по ПНАЕ Г-5-006 інтенсивністю 7 балів за шкалою MSK-64 при висоті установки над нульовою позначкою до 70 метрів.

б) до впливу гамма-випромінювання, потужність поглиненої дози якого становить:

1) при нормальній експлуатації -  $1,2 * 10^{-3}$  мГр/год (протягом всього терміну служби);

2) при аварійному режимі -  $2,5 * 10^{-2}$  мГр/год (протягом одного місяця сумарно за термін служби);

3) зміст корозійно-активних агентів в атмосфері приміщення не більше 60% від зазначеної кількості для даного типу атмосфери.

Апаратура ПТК САР ТВ повинна зберігати працездатність і бути стійкою до впливу електромагнітних зовнішніх чинників, встановлених для групи виконання ПЗ (для апаратури класу безпеки ДТ) і П2 (для апаратури класу безпеки 4) по НП 306.5.02 / 3.035-2000.

Рівень випромінюваних апаратурою ПТК САР ТВ перешкод по ланцюгах первинного живлення не повинні перевищувати значень, встановлених в документі «Норми 8-72».

Критерій якості функціонування при випробуваннях на стійкість перед перешкодами – «А» по ГОСТ 29073.

Імовірність пожежі -  $1 * 10^{-6}$  на рік.

Рівень шуму - менше 80 дБ.

#### 5.4 Вимоги до збереження інформації при аваріях

Захист інформації від руйнування при аваріях і збоях в електроживленні системи повинна включати:

– пристрої зовнішньої пам'яті, що гарантують безпеку програмного забезпечення та його відновлення відповідно до регламенту;

– наявність блоків живлення типу UPS для ПЕОМ, АРМ та інструментальної системи, що забезпечують електроживлення ПЕОМ при відключенні зовнішніх джерел живлення на час не менше 7 хв.;

– регламент копіювання та зберігання ПЗ і БД на магнітних носіях інформації.

При втраті живлення одного каналу для його запуску при відновленні живлення не повинно вимагатися втручання персоналу.



5.5 Вимоги до запобігання помилок персоналу і зменшення можливості прийняття неправильних рішень.

Складові частини ПТК САР ТВ, що відносяться до різних незалежних резервованих каналах, повинні мати маркування, що дозволяє при технічному обслуговуванні і відновленні безпомилково ідентифікувати їх належність до відповідного каналу.

Проведення технічного обслуговування та відновлення в одному з резервованих каналів системи не повинні перешкоджати виконанню системою своїх функцій.

Модулі та блоки, що входять до складу ПТК САР ТВ, повинні бути взаємозамінними, а так само повинні застосовуватися конструктивні рішення, що запобігають можливості помилок при заміні модулів і блоків ПТК САР ТВ.

Аварійна і попереджувальна інформація повинна виводитися оперативному персоналу в узагальненому вигляді, що приваблює увагу.

Обсяг і форма подання інформації в неоперативному контурі повинні забезпечити обслуговуючому персоналу виконання наладки, пошуку несправності та контролю працездатності ПТК САР ТВ.

Використовувані кольору на дисплеях повинні бути помітні. Для індикації аварійної та попереджувальної сигналізації повинні бути використані спеціально обумовлені кольору.

Інформація, що виводиться на АРМи, повинна дозволяти проводити детальний аналіз роботи систем управління і стану ПТК САР ТВ і не повинна дублювати інформацію про хід технологічного процесу.

Повинен бути забезпечений зручний вибір відеокадрів і перегляд відомостей з використанням скролінгу і перегортання.

Конструкція стійок з апаратурою повинна передбачати можливість обслуговування і безперешкодний доступ до всіх елементів, що вимагають обслуговування.

Керуючі функції ШУ повинні забезпечувати:

- формування на ВМ керуючих впливів для підтримки технологічних параметрів відповідно до заданих алгоритмів регулювання;
- реалізацію технологічних блокувань авторегуляторів;
- дистанційне керування ВМ.

### 5.6 Вимоги до управління регулюючими клапанами

Блок управління регулюючим клапаном БРУ-32 може знаходитися в двох положеннях: «автоматичне» і «дистанційне».

При положенні БРУ-32 «дистанційне» команди на клапан формуються за сигналами кнопок «Додати» («Зменшити») індивідуального блоку ручного управління (БРУ).

При положенні БРУ-32 «автоматичне» авторегулятор може бути у включеному або відключеному стані. Регулятор повинен відключатися автоматично по командам захистів або відмови виміру регульованого параметра (інші умови відключення обумовлюються для кожного регулятора окремо).

У включеному стані регулятор повинен знаходитися в роботі або в режимі очікування. Включення-відключення режиму очікування здійснюється по командам блокувань.

Індикація стану авторегуляторів на мнемосхемі реалізується засобами ПТК САР ТВ наступним чином:

- регулятор в роботі - постійним світінням ЛЧ;
- при положенні БРУ-32 «дистанційне» - постійним світінням ЛЗ;
- регулятор в режимі очікування - постійним світінням обох ламп;
- при автоматичному відключенні регулятора - миготливим світінням ЛЗ і постійним - ЛЧ;
- при відключеному електроживленні - відсутністю світіння ламп;
- при включенні регулятора в роботу з стереже режиму - миготливим світінням протягом 15 секунд з переходом на рівне світіння ЛЧ;

– команди управління ВМ авторегуляторів - світінням індикаторних ламп (світлодіодів) блоку ручного управління.

Зняття миготіння повинно проводитися переключенням БРУ-32 в положення «Дистанційне». Частота миготіння 1 Гц. Повинна забезпечуватися мінімальна пауза між командами управління тривалістю 0,2 с. Повинно бути передбачено ремонтний стан РК. Завдання ремонтного стану повинно проводитися з інструментальної системи з реєстрацією в АРМ. При включенні ремонтного стану повинно відключатися вплив на РК захистів і блокувань, регулятор повинен автоматично вимикатися, управління повинно здійснюватися тільки по командам оператора. Дії пов'язаних зі станом ремонтується РК блокувань інших ВМ повинні визначатися в технологічних алгоритмах.

### 5.7 Вимоги до автоматичних регуляторів

Програмне забезпечення завдань автоматичного регулювання повинно будуватися за модульним принципом. При реалізації функцій регулювання повинно забезпечуватися:

– включення регулятора в роботу шляхом переводу оператором в режим автоматичного керування регулюючого клапана, керованого даними регулятором;

– відключення регулятора вручну переводом оператором РК в режим дистанційного керування або автоматично по командам захистів або відмови виміру регульованого параметра (інші умови відключення обумовлюються для кожного регулятора окремо);

– безударне включення регуляторів у роботу на поточне значення регульованого параметра, безударна зміна складової зворотного зв'язку при відмові датчиків параметрів, що забезпечують її формування, безударна, ручна або автоматична зміна настроювальних коефіцієнтів регулятора;

- формування неузгодженості регулятора з урахуванням зони нечутливості і зони повернення;
- формування величини керуючого впливу відповідно до заданого (П-, ПІ-, ПІД) законами регулювання або заданих іншим алгоритмом в реальному масштабі часу і видачу керуючих команд на виконавчі механізми;
- формування величини коригуючого сигналу відповідно до заданих П-, ПІ-, ПІД- законів регулювання;
- формування команд управління регулюючими клапанами з урахуванням їх люфтів;
- видача керуючих команд на регулюючі органи з урахуванням обмеження по мінімальній тривалості імпульсу;
- автоматична компенсація статичної помилки регулювання;
- контроль справності датчиків;
- контроль справності виконавчих механізмів;
- фільтрація аналогових сигналів, що надходять в регулятори;
- обчислення температури насиченої пари по його тиску і тиску насиченої пари по його температурі в діапазоні від 0,1 МПа до 10,0 МПа методом кусково-лінійної апроксимації;
- обчислення швидкості зміни параметра.

Для реалізації логічних програм, що розробляються індивідуально для кожного конкретного регулятора і відображають його технологічні особливості (вибір режимів роботи, формування уставок за заданою програмою і ін.) повинні використовуватися стандартні арифметичні і логічні операції і бібліотечні модулі. Параметри настройки регуляторів повинні вводитися в діалоговому режимі з АРМ-ІС в десятковому кодi в фізичних величинах:

- коефіцієнт посилення -  $K_p, \% / \%$ ;
- постійна часу інтегрування -  $T_i, c$ ;
- величина зони нечутливості помилкового регулювання -  $ДТ, \%$ ;

- величина зони повернення помилково регулювання -  $ЗВ, \%$ ;
- величина зони нечутливості по вихідній команді -  $ЗНЗР, \%$ ;
- величина зони повернення по вихідній команді -  $ЗВЗР, \%$ ;
- величина люфту на відкриття і закриття РК -  $NLO, NLZ, с$ ;
- час ходу ІМ -  $ТХ, с$ ;
- темп встановлення заданого значення параметра при безударном включенні і зміни завдання -  $V, \%$  / с.

### 5.8 Вимоги до якості управління

Максимальні відхилення параметрів систем регулювання при порушенні умов нормальної експлуатації, відключенні елементів основного і допоміжного обладнання, а також при стрибкоподібній 100% зміні навантаження турбогенератора, не повинні перевищувати меж, при яких відбувається спрацьовування захистів. Ступінь загасання перехідного процесу в усіх режимах експлуатації енергоблоку повинна бути не менше  $\Psi \geq 0,9$ , нове регулювання по регулюючому органу не повинно перевищувати 50%. У статичних режимах роботи енергоблоку повинна забезпечуватися стійка робота (відсутність автоколивань) і обмежена частота включень регуляторів, яка при постійно заданому навантаженні не повинна перевищувати, в середньому, 6 включень в 1 хвилину. Зазначені значення повинні зберігатися у всьому діапазоні навантажень і при зміні умов експлуатації технологічного обладнання.

### 5.9 Вимоги до реалізації команд захистів і блокувань, що формуються програмно-технічним комплексом системи автоматичного регулювання турбінного відділення

Реалізація виконання команд захистів і блокувань повинна перевірятися в програмних модулях управління по часу переміщення ВМ.

Блокування повинні мати сигналізацію спрацювання і можуть мати автоматичне і ручне введення і виведення з пріоритетом ручного введення-виведення. Введення-виведення блокувань повинен реєструватися.

Повинна бути передбачена реєстрація спрацювання захистів і блокувань за інформацією ПТК САР ТВ.

Похибка формування порогових і заданих значень повинна бути не гірше точності перетворення аналогових сигналів в цифровий код. Збір і первинна обробка вхідної аналогової і дискретної інформації повинні включати:

- прийом електричних сигналів і перетворення їх в фізичні одиниці;
- лінеаризація характеристик ВП (датчиків) аналогової інформації, завдання поправок в показаннях ВП, обробка зворотних шкал, масштабування;
- контроль справності нерезервовані ВП (датчиків);
- контроль справності трьох каналних вимірювань, вибір за медіанне значення з визначенням відмови одного або декількох датчиків;
- контроль справності двох каналних вимірювань, визначення відмови одного з ВП (датчиків), обчислення середнього значення;
- фільтрацію сигналів і значень вимірів.

Повинна проводитися діагностика, збір і обробка даних про стан і функціонування технічних і програмних засобів ПТК САР ТВ з видачею інформації про несправності і відмови.

#### 5.10 Вимоги до збирання та первинної обробки аналогових сигналів

Інформаційні функції ПТК САР ТВ:

- збір інформації про стан об'єктів автоматизації та передача інформації;
- виявлення, фіксація несправностей і відмов ТСА ПТК САР ТВ і завдань управління ПТК САР ТВ;

- завдання поправок в показаннях датчиків, обробка зворотних шкал, масштабування;
- надання інформації про роботу ПТК САР ТВ;
- збір і обробку даних про стан і функціонування технічних і програмних засобів ТСА ПТК САР ТВ;
- контроль і реєстрацію достовірності вхідної інформації;
- контроль за реалізацією команд управління;
- збір і первинна обробка вхідної аналогової і дискретної інформації.

Вимоги до збирання та первинної обробки аналогових сигналів:

- вимірювання параметрів для відповідальних контурів управління і регулювання повинно виконуватися трьох канальним;
- вимірювання параметрів, втрата інформації від яких не призводить до порушення основного технологічного процесу, має виконуватися одним ВП (датчиком);
- датчики аналогової інформації повинні застосовуватися з уніфікованим сигналом від 0 мА до 5 мА (4-20) мА на навантаження до 2,5 кОм (1 кОм);
- трьохканальні вимірювання, які використовуються для відповідальних споживачів ПТК САР ТВ, повинні бути розв'язані між собою по імпульсним лініям, кабелям зв'язку і електроживлення. Допускається розмноження струмових сигналів в релейно-струмових шафах;
- при вимірюванні параметрів за схемою «один з одного» розмноження струмових сигналів для ПТК САР ТВ, та приладів БЩУ має здійснюватися розмножувачами токового сигналу РС. Схеми виконуються проектантом;
- застосування ВП з класом точності нижче 1,0 допускається тільки в технічно обґрунтованих випадках;

- межа допустимого значення основної зведеної похибки при розмноженні струмових сигналів засобами ПТК САР ТВ повинен бути не гірше 0,4% діапазону вимірювання ВП;

- точність перетворення аналогових сигналів в цифровий код повинна бути не гірше 0,5% діапазону вимірювання ВП;

- похибка формування порогових рівнів повинна бути не гірше точності перетворення аналогових сигналів в цифровий код;

- контроль джерел аналогової інформації повинен виконуватися в два етапи.

На першому етапі повинна здійснюватися первинна обробка кожного вхідного сигналу з контролем на мінімальне, максимальне значення і допустиму швидкість зміни. При спрацьовуванні контролю справності ВП (датчика) повинен формуватися і запам'ятовуватися відмова ВП (для одно-канального вимірювання при цьому формується відмова вимірювання).

Другий етап виконується для двоканальних і трьохканальних вимірювань:

- для двоканального вимірювання значення визначається як середнє арифметичне значення показань двох справних ВП (датчиків) або як показання справного ВП, при відмові другого. Несправність двоканального вимірювання повинна формуватися при відмові одного ВП (датчика). Відмова двоканального вимірювання повинна формуватися і запам'ятовуватися при відмові двох ВП (датчиків) або при неузгодженості показань ВП більш допустимої величини в разі, якщо обидва справні;

- для трьохканального вимірювання значення визначається як середнє (медіанне) значення показань ВП (датчиків). При неузгодженості одного з ВП щодо середнього значення більше встановленої величини або при відмові одного ВП повинна формуватися ознака несправності трьохканального вимірювання. Ознака несправності повинна автоматично зніматися при відновленні показань ВП. При неузгодженості двох, що залишилися ВП більше встановленого значення або при відмові двох ВП,



повинна формуватися і запам'ятовуватися відмова трьохканального вимірювання. Узагальнена інформація про наявність несправностей і відмов повинна представлятися оператору і реєструватися. Зняття відмови повинно здійснюватися оператором натисканням кнопки «Зняття відмови» на панелі управління;

– повинен бути передбачений ремонтний стан ВП (датчиків) і вимірювань. Завдання ремонтного стану повинно проводитися з інструментальної системи з реєстрацією в АРМ. При завданні ремонтного стану ВП (датчика) повинна формуватися ознака відмови ВП для одноканального вимірювання (для двоканального і трьохканального вимірювань формується ознака несправності). При завданні ремонтного стану вимірюванням повинно фіксуватися значення параметра на момент переведення в ремонтний стан і формуватися ознака відмови вимірювання.

– повинна бути передбачена можливість відключення функції первинної обробки аналогових сигналів (контроль на мінімальне, максимальне значення і допустиму швидкість зміни) і контролю двоканальних і трьохканальних вимірювань (для кожного датчика і вимірювання окремо). При цьому на момент відключення функцій контролю повинні фіксуватися значення ВП та вимірювань з можливістю зміни даних параметрів з інструментальної системи з реєстрацією в АРМ.

### 5.11 Вимоги до збирання та первинної обробки дискретних сигналів

Вимоги до збирання та первинної обробки дискретних сигналів:

а) введення дискретної інформації в ПТК САР ТВ повинен здійснюватися:

1) «сухими» контактами з комутаційної здатністю по напрузі від 24 В до 2,4 В і по току 5 мА до 50 мА;

2) потенційними сигналами змінного струму напругою (220 + 22,33) В, 50 Гц при струмі споживання не більше 40 мА. Введення дискретних сигналів від кнопок пульта БЦУ в ПТК САР ТВ повинен

здійснюватися "сухим" контактом в кожен ШУ від окремих кнопок. Ввід дискретних сигналів в ПТК САР ТВ повинен здійснюватися окремим "сухим" контактом в кожен ШУ. Обтікання резервуючих контактів повинно здійснюватися відповідно до проекту;

б) інформація про стан ІМ повинна формуватися наступним чином:

- 1) для запірної арматури - розмикаються від кінцевих вимикачів;
- 2) для регулюючої арматури - розмикаються від кінцевих вимикачів;
- 3) для двигунів - замикаються контактами по спрацьовуванню блок-контактів комутаційних апаратів;

в) інформація про стан кінцевих вимикачів ВМ, моментних муфт і т.п. повинна вводитися в ПТК САР ТВ через кросові шафи УКТС рівнем напруги від  $\sim 185$  В до 242 В. Обтікання кінцевих вимикачів повинно проводитися від фази А джерела електроживлення двигуна ВМ;

г) інформація від ключів управління повинна вводитися обтіканням контакту ключа напругою ШУ – споживача;

д) контроль джерел дискретної інформації повинен проводитися шляхом програмної обробки в ФПЗ сигналів від парних кінцевих вимикачів «не відкрите» і «не закрита», «включено» і «відключено».

## 5.12 Вимоги до подання інформації на блоковий щит управління

Команди включення табло сигналізації про відключення регуляторів і несправності і відмови ПТК САР ТВ повинні формуватися ШУ ПТК САР ТВ і передаватися в УКТС шляхом розмикання "сухих" контактів і безконтактних реле.

Команди включення індикаторних ламп мнемосхеми повинні формуватися ШУ ПТК САР ТВ.

Час запізнювання виведення інформації на мнемосхему не повинно перевищувати 1 с.

Включення світлових табло і подача звукових сигналів повинні забезпечити сигналізацію про зміни стану обладнання і відхиленнях найбільш важливих параметрів.

Організація живлення світлових табло постійного струму 48 В повинна виконуватися відповідно до проекту.

Вимоги до індикації стану ВМ наведені у вимогах до управління ВМ.

Вимоги до реєстрації мають реєструватися:

- спрацьовування блокувань;
- зміна стану ВМ;
- втрата живлення і відмови спрацьовування ВМ.

Перераховані сигнали повинні формуватися ПТК САР ТВ.

Засобами ВР ПТК САР ТВ повинно реєструватися:

- основні входні, вихідні, програмні аналогові й дискретні сигнали;
- стан ВМ і команди дистанційного керування;
- інформація про роботу ПТК і технологічних систем управління;
- директиви ІС.

Реєстрація інформації здійснюється з циклом виконання завдань управління і регулювання.

### 5.13 Вимоги до взаємодії з блочною інформаційно-обчислювальною системою

Передача необхідної інформації в ІОС повинна забезпечуватися:

- по аналоговій інформації - існуючими стійками РТ;
- по ключам дистанційного керування - введенням інформації від контактів ключів;
- за матеріальним становищем ВМ і блокувань - ПТК САР ТВ по цифрових каналах зв'язку з ІОС.

Обмін інформацією ПТК САР ТВ з ІОС повинен здійснюватися по дубльованій обчислювальній мережі типу Ethernet з використанням з боку

ІОС шлюзів віддаленого доступу. Обсяги інформації, що передається, її формати, протокол обміну визначаються на стадії робочого проекту.

До програмного забезпечення згідно НП 306.5.02 / 3.035-2000 ставляться такі вимоги:

- до структури і елементів ПЗ;
- до діагностування та самоконтролю;
- до забезпечення захисту від відмов, спотворень, помилкових і несанкціонованих дій;
- до процесу розробки ПЗ;
- до верифікації ПЗ.

Вимоги до діагностування та самоконтролю:

- ПЗ має здійснювати безперервний автоматичний контроль технічного стану ТЗА в процесі роботи;
- ПЗ має забезпечувати технічне діагностування ТЗА з глибиною до конструктивно-з'ємного блоку із забезпеченням можливості реєстрації та передачі на верхній рівень інформації про результати технічного діагностування;
- ПЗ має забезпечувати самодіагностування (самоконтроль) програмних засобів з використанням методів:
  - контролю даних в постійній пам'яті;
  - контролю тривалості виконання завдань.

Реалізація програм безперервного автоматичного контролю, технічного діагностування та самоконтролю не повинна впливати на виконання програм основних інформаційних і керуючих функцій або приводити до погіршення їх характеристик вище допустимих меж.

#### 5.14 Вимоги до забезпечення захисту від відмов, спотворень, помилкових і несанкціонованих дій

ПЗ повинно здійснювати контроль достовірності та захист від спотворень вхідної інформації, що надходить від суміжних систем і вводяться операторами. Повинна формуватися інформація про недостовірний стані вхідних параметрів.

Має бути передбачений захист від введення помилкових даних (з виведенням повідомлень на екран і установкою значення «за замовчуванням»), повинен бути передбачений захист від виконання дій, неприпустимих в даний момент (шляхом присвоєння стану «неактивності» кнопок, полів введення і інших елементів управління віконної системи). Всі помилкові дії персоналу повинні супроводжуватися висновком повідомлень на екран і в журнал дій оператора.

## ВИСНОВОК

В процесі виконання кваліфікаційної роботи магістра ознайомились з засобами автоматизації живильних насосів, розглянули патенти на винаходи у галузі автоматизації живильних насосів, ознайомились з загальною схемою атомної електростанції з реактором ВВЕР-1000, також розглянули перший та другий контури АЕС, ознайомились з головним турбоживильний насосом ПТА 3750-75 та регулюванням продуктивності турбоживильного насоса, а саме схемою, що реалізує спосіб підтримки постійного, близького до повного відкриття, положення РПК в діапазоні навантажень 50 - 100%  $N_{ном}$ .

Також описані режими роботи регуляторів продуктивності ТЖН і представлений існуючий стан автоматизації живильних насосів в умовах Запорізької АЕС.

Розробили АСУ ТП ЕБ і провели аналіз відповідності спроектованої АСУ ТП вимогам керівних документів з безпеки. Провели аналіз відповідності спроектованої АСУ ТП вимогам керівних документів з безпеки.

При розробці електроживлення АСУ ТП визначені: споживачі першої, другої, третьої групи; умови стійкості ЕБ при короткому замиканні; споживачі системи безпеки САОЗ; зроблений вибір схеми електропостачання власних потреб АЕС.

У спеціальній частині кваліфікаційної роботи магістра виконано розробку та проведено аналіз регулятора продуктивності ТЖН. Зроблено розрахунок надійності спроектованої системи та її складових. В результаті розрахунків визначено, що при збільшенні часу роботи системи ймовірність виникнення відмов збільшується, але застосування резервування значно збільшує ймовірність безвідмовної роботи системи, при цьому зменшується кількість відмов.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. Принципіальна 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 (ЕГСП). 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. *Электрич. ст.* - 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. №22.5. С. 53-56.

14. Особливості теплових схем і турбоустановок АЕС. URL: <https://poznayka.org/s93829t1.html> (дата звернення: 20.11.2019).

15. Характеристика основного обладнання атомної електростанції. Парогенератор ПГВ-1000М. URL: <https://www.goodstudents.ru/organization-examples/800-parogenerator.html> (дата звернення: 20.11.2019).

16. Способ автоматического регулирования производительности питательного насоса энергетического блока URL: <http://www.findpatent.ru/patent/70/709914.html> (дата звернення: 20.11.2019).

17. Система регулирования питательных турбонасосов URL: <http://www.findpatent.ru/patent/104/1043418.html> (дата звернення: 20.11.2019).

18. Способ автоматического регулирования производительности питательного насоса URL: <http://www.findpatent.ru/patent/34/347512.html> (дата звернення: 20.11.2019).