

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра Автоматизованого управління технологічними процесами  
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

Фурсей / Маміславський

(рівень вищої освіти)

на тему Оптимізація роботи системи автоматизації  
автомата турбінного виробника великого  
ембронажу в умовах ВДТ заводів АЕС

Виконав: студент 2 курсу, групи АКІТ-18-143  
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-  
інтегровані технології  
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-  
інтегровані технології  
спеціалізації \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціалізації)

(ініціали та прізвище)

С.О. Власенко

Керівник доц. каф. АУП, проф. С.К. М.М. Ніколаєнко  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент доц. каф. ВЕЧ В.М. Шервон  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя

2020

Закарпатський національний університет  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факт: Механізм

Факультет: Абсолютно автономного управління технологічними процесами

Рівень вищої освіти: Другий (магістерський) рівень

Спеціальність: 151 Абсолютизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Спеціалізація: \_\_\_\_\_

Назва спеціалізації: \_\_\_\_\_

Назва спеціалізаційної програми: Абсолютизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри А.С. Пазюк  
проф., д.т.н.

“ ” 20 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Михайло Владислав Опанасович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Удосконалення роботи системи управління енергетикою підприємства з використанням автоматизованого контролю в умовах ВП „Закарпатська АЕС“

Науковий керівник кваліфікаційної роботи магістра: Михайло Анатолій Миколайович, к.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Відомо, що наказом закладу вищої освіти від “10” вересня 2019 року № 1541-С

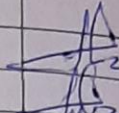



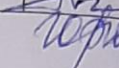
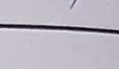
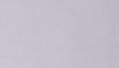
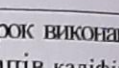
з наказом про подання здобувачем кваліфікаційної роботи магістра “16” грудня 2019

р. надані дані кваліфікаційної роботи магістра у темі роботи „Система автоматизованого управління енергетикою підприємства у ВП „Закарпатська АЕС“

Відомо, що підставою розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розв'язати) є: 1. Невідомі параметри СВР робота та швидкість в енергетичній мережі підприємства. 2. СВР робота та швидкість в енергетичній мережі підприємства. 3. Визначення параметрів проектування системи управління енергетикою підприємства. 4. Розробка системи управління енергетикою підприємства. 5. Розробка системи управління енергетикою підприємства.

Відомо, що додатково до графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація роботи, складена на 15 сторінках

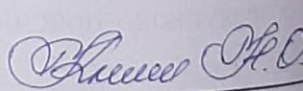
6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра:


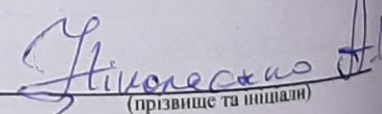
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	Вікторович А.М., професор	 26.12.19
Розділ 2	Вікторович В.М., професор	 26.12.19
Розділ 3	Вікторович Г.М., професор	 26.12.19
Розділ 4	Вікторович Д.М., професор	 26.12.19
Розділ 5	Вікторович Е.М., професор	 26.12.19
Розділ 6	Вікторович З.М., професор	 26.12.19
Розділ 7	Вікторович І.М., професор	 26.12.19
Нормоконтроль Овчинникова Т.А., доцент		 26.12.19

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Прізвище
1.	Аналіз наукової літератури	10.09.19 - 10.09.19	Вікторович
2.	Визначення динамічних властивостей конструкції	10.09.19 - 07.10.19	Вікторович
3.	Аналіз функціональної схеми регулятора	07.10.19 - 21.10.19	Вікторович
4.	Параметризація функцій регулятора та шестерні	21.10.19 - 04.11.19	Вікторович
5.	Структурна діаграма системи автоматичного регулювання	04.11.19 - 11.11.19	Вікторович
6.	Функціональна діаграма системи	11.11.19 - 18.11.19	Вікторович
7.	Вибір параметрів системи	18.11.19 - 13.12.19	Вікторович
8.	Проблемні питання системи	13.12.19 - 26.12.19	Вікторович

Здобувач вищої освіти  (підпис)  (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи магістра  (підпис)  (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

На пояснювальну записку кваліфікаційної роботи на тему: «Удосконалення роботи системи автоматизації деаератора турбінного відділення атомного енергоблоку в умовах ВП «Запорізька АЕС», яка включає 106 стор. машинописного тексту, 30 рисунків, 9 таблиць.

Метою роботи є виявлення недоліків в роботі систем автоматичного регулювання деаераційної установки АСУ ТП АЕС та шляхи їх усунення з метою удосконалення роботи системи автоматизації.

У першому розділі виконано аналіз процесу, основних параметрів, складу системи деаерації та взаємодії деаераційної установки з іншими системами другого контуру.

У другому розділі проведена оцінка динамічних властивостей по каналам збурення в деаераторі, складена математична модель.

У третьому розділі розроблена та описана функціональна схема рівня та тиску в деаераторі.

У четвертому розділі отримано криві розгону, графіки перехідних процесів і визначено настроювальні параметри регуляторів тиску та рівня в деаераторі.

У п'ятому розділі проведений аналіз відмов обладнання системи регулювання рівня в деаераторі пов'язаних з відмовою керування виконуючим механізмом, як в автоматичному режимі керування так і в дистанційному, виявлені причини.

У шостому розділі виконано розрахунок регулюючого органу для заміни клапану основного регулятора рівня в деаераторі, підібраний новий клапан з покращеними характеристиками розвантаженого типу «Диск».

У розділі модернізації АСУ ТП розглянуто питання доцільності наявних ТЗА автоматизованої системи регулювання турбінного відділення з метою покращення якості роботи системи автоматизації деаератора в умовах енергоблоку ВП «Запорізька АЕС»

АЛГОРИТМ, АСР, АСУ ТП, ДЕАЕРАТОР, ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС, РЕГУЛЯТОРИ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, РЕГУЛЮЮЧИЙ КЛАПАН.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	7
Вступ.....	10
1 Опис деаераційної установки.....	12
1.1 Структурна схема турбінного відділення.....	12
1.2 Призначення деаераційної установки.....	14
1.3 Склад системи.....	15
1.4 Призначення основних елементів системи.....	16
1.5 Опис технологічної схеми.....	19
1.6 Взаємодія деаераційної установки з іншими системами енергоблоку.....	20
1.7 Технічні характеристики деаераційної установки.....	21
2 Оцінка динамічних властивостей деаераційної установки.....	23
2.1 Виведення рівняння динаміки в деаераторі по витраті конденсату.....	23
2.2 Виведення математичної моделі ділянки живильного тракту.....	25
2.3 Динамічні властивості деаератора по тиску пари.....	29
3 Опис функціональної схеми регулювання тиску і рівня в деаераційної установки .....	35
3.1 Опис схеми регулювання рівню та тиску в деаераторі.....	35
3.2 Цифрові регулятори рівня в деаераторі.....	36
3.3 Регулятори тиску в деаераторах.....	39
3.4 Захисти і блокування по перевищенню рівня в деаераторі.....	41
3.5 Захисти і блокування по перевищенню рівня в деаераторі.....	43
3.6 Типи вимірювальних перетворювачів, що використовуються для контролю і регулювання технологічних параметрів в деаераторі.....	44
3.7 Об'єм теплотехнічного контролю деаераційної установки.....	44

4	Настройка регуляторів рівня і тиску в деаераторі.....	46
4.1	Вибір настройок регулятора рівня в деаераторі.....	46
4.2	Вибір настройок регулятора тиску в деаераторі.....	51
5	Аналіз якості роботи систем автоматичного регулювання в деаераторі...	58
5.1	Основні показники надійності та якості безпечної експлуатації.	58
5.2	Аналіз відмов в роботі основного регулятора рівня в деаераторі	58
5.3	Основні причини відмов виконавчих механізмів.....	64
6	Розрахунок регулюючого органу.....	67
6.1	Регулюючий клапан рівня в деаераторі (основний).....	67
6.2	Регулюючий клапан рівня в деаераторі (пусковий).....	69
6.3	Розрахунок регулюючого органу.....	69
6.4	Вибір регулюючого клапану для заміни пускового клапану регулятора рівня в деаераторі.....	73
7	Модернізація систем автоматизації.....	78
7.1	Вибір технічних засобів автоматизації.....	78
7.2	Програмно-технічний комплекс автоматизованої системи регулювання турбінного відділення.....	81
7.3	Склад апаратури ПТК АСР ТВ.....	82
	Висновки.....	91
	Додаток А Конструкція деаератора.....	94
	Додаток Б Функціональна схема автоматизації.....	95
	Додаток В Опис відмови основного регулятора рівня в деаераторі, пов'язаної з втратою керування регулюючим клапаном.....	96
	Додаток Г Структурна схема ПТК АСР ТВ.....	104
	Список використаних джерел.....	105

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЕС	- атомна електростанція;
АРМ БЩУ	- автоматизоване робоче місце блокового щита управління;
АРМ ІС	- автоматизоване робоче місце інструментальної системи;
АРМ НС	- автоматизоване робоче місце начальника зміни;
АСР	- автоматична система регулювання;
АСУТП	- автоматизована система управління технологічними процесами;
БРУ	- блок ручного управління;
БУВМ	- блок управління виконавчим механізмом;
БЩУ	- блоковий щит управління;
ВМ	- виконавчий механізм;
ВП	- вимірювальний перетворювач;
ВП	- показчик положення;
ВПЕН	- допоміжний питомий електронасос;
ВР	- верхній рівень;
ГЦН	- головний циркуляційний насос;
Д-7ата	- деаератор;
ДЖЕН	- допоміжний живильний насос;
ЗК	- запобіжний клапан;
ІС САР	- інструментальна система автоматичного регулювання;
КВП	- колектор власних потреб;
КГП	- конденсат гріючої пари;
КЗ	- конденсатозбірник;
КСН	- колектор власних потреб;
МК	- мікропроцесор;
ОК	- основний конденсат;
ОРРД	- регулятор рівня в деаераторі основний;

ПВТ	- підігрівач високого тиску;
ПГ	- парогенератор;
ПЕОМ	- персональна електронно-обчислювальна машина;
ПЗ	- програмне забезпечення;
ПЗПО	- пристрій зв'язку з панеллю оператора;
ПНТ	- підігрівач низького тиску;
ПРРД	- регулятор рівня в деаераторі пусковий;
ПТК АСР ТВ	- програмно-технічний комплекс автоматизованої
ПТК СНЕ ТВ	- програмно-технічний комплекс систем нормальної

експлуатації турбінного відділення;

ПТУ	- паротурбінна установка;
РК	- регулюючий клапан;
РМ САР	- робоче місце систем автоматичного регулювання;
РО	- регулюючий орган;
СВО	- спецводоочистка;
СДА	- сервер діагностики та архівування;

системи регулювання турбінного відділення;

СПП	- сепаратори пароперегрівачі;
СРК	- стопорно - регулюючі клапана;
СУ	- система управління;
СУЗ	- система управління і захисту реактора;
ТАВ	- теплова автоматика і вимірювання;
ТВ	- турбінне відділення;
ТГ	- турбогенератор;
ТЖН	- турбоживильний насос;
ТЗ	- технологічні захисти;
ТП	- турбопровід;
ТУ	- технічні умови;
УЗО	- пристрій зв'язку з об'єктом;
УКТС	- уніфікований комплекс технічних засобів;



УОС	- управляюча обчислювальна система;
ХОВ	- химобессолена вода;
ЦР	- цифрові регулятори;
ШДС	- шафа дискретних сигналів;
ШКм	- шафа комутації;
ШКр	- шафа кросова;
ШР	- шафа розподільча живлення;
ШСРТ	- шафа системи регулювання турбіни;
ШУК	- шафа управління і комутації.

## ВСТУП

Відповідно до ГОСТ 34.003-90 автоматизована система це система, що складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності, та реалізує інформаційну технологію виконання встановлених функцій.

*Актуальність теми* магістерської кваліфікаційної роботи полягає в тому, що сучасна технологія створення багатофункціональних АСУ ТП електростанцій вимагає оцінювати керованість технологічного обладнання, якість та ефективність систем управління через аналіз можливих відмов обладнання та розробки конкретних рішень щодо їх усунення та виключення системного характеру порушень в нормальній експлуатації енергоблоків з метою удосконалення роботи систем автоматизації в цілому.

*Мета і задачі роботи.* Виявлення недоліків в роботі систем автоматичного регулювання деаераційної установки АСУ ТП АЕС та шляхи їх усунення з метою удосконалення роботи системи автоматизації.

*Об'єкт дослідження.* Технологічний процес деаерації в умовах енергоблоку №1 ВП «Запорізької атомної електростанції» з реактором ВВЕР-1000.

*Предмет дослідження.* Система автоматичного управління рівня та тиску деаераційної установки.

*Методи дослідження.* Аналіз діючої системи управління процесом деаерації, динамічних характеристик процесів в деаераторі, можливих відмов системи регулювання рівня та тиску в деаераторі на ЗАЕС.

*Практичне значення одержаних результатів.* Запропонована у роботі система регулювання тиску та рівня в деаераторі розроблена на базі математичного моделювання, розрахунки для заміни регулюючого органа системи автоматичного регулювання рівня в деаераторі, а також підібраний для заміни існуючих технічних засобів автоматизації програмно-технічний комплекс автоматичного регулювання турбінного відділення можуть бути впроваджені при модернізації діючої системи управління.

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

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

1. Книш Н. О. Удосконалення роботи системи автоматизації деаератора турбінного відділення атомного 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.

*Структура та обсяг магістерської роботи.* Робота складається з переліка умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновка, 19 використаних джерел. Текст магістерської кваліфікаційної роботи викладено на 106 сторінках, містить 30 рисунків, 4 таблиці, 48 рівнянь.

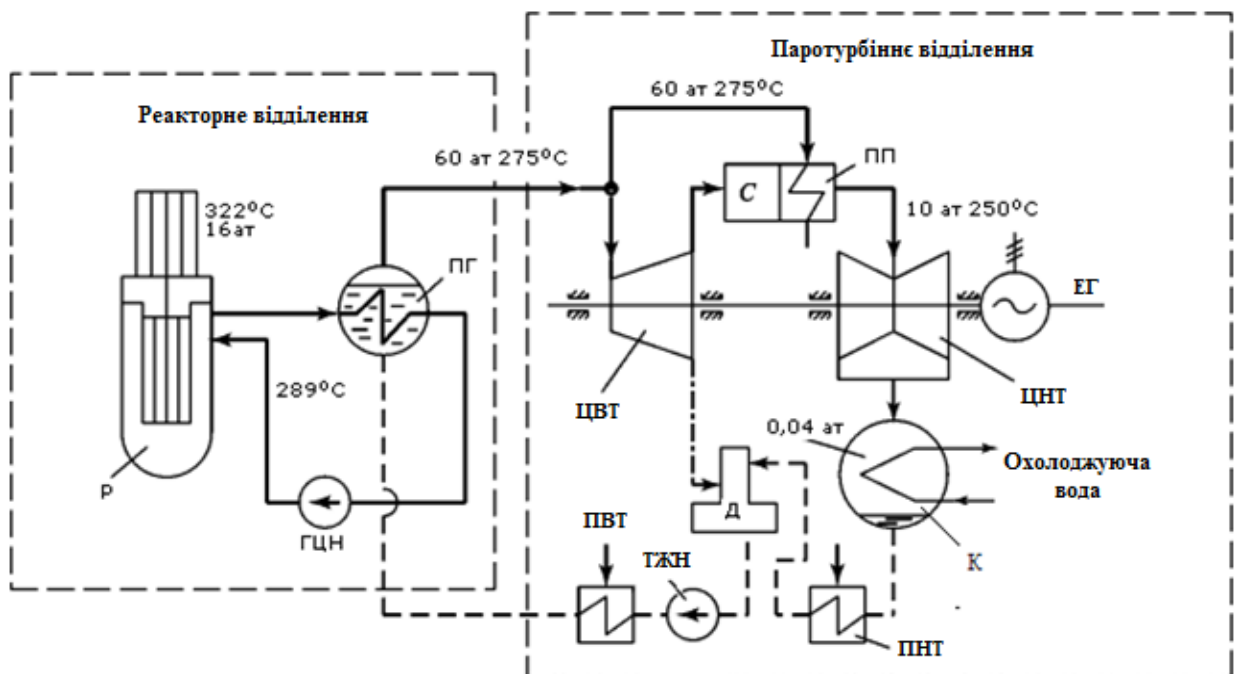
# 1 ОПИС ДЕАЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

## 1.1 Структура турбінного відділення атомного енергоблоку №1 Запорізької АЕС

У другому контурі пар з вологістю 0,5 % з чотирьох парогенераторів по паропроводах через стопорно-регулюючі клапани відводиться в середину двох потокового симетричного циліндра високого тиску (ЦВТ) турбіни, де, після розширення, з тиском 1,2 МПа і вологістю 12 % направляється до чотирьох сепараторів-пароперегрівача (СПП), в яких після осушки пара (конденсат для використання його теплоти відводиться в деаератор) здійснюється його двоступінчастий перегрів, в першій ступені паром першого відбору з тиском 3 МПа і температурою 234 °С, в другій – свіжою паром. Утворився конденсат гріючої пари направляється в підігрівач високого тиску (ПВТ) для передачі його теплоти живильній воді. Основний перегрітий пар при параметрах 1,13 МПа і 250 °С надходить у дві ресиверні труби, розташовані з боків турбіни, а з них – через штопорні поворотні заслінки – в три однакових двох потокових циліндра низького тиску (ЦНТ). Далі з кожного ЦНТ пара надходить у свій конденсатор. Регенеративна система установки складається з чотирьох підігрівачів низького тиску (ПНТ), деаератора і двох груп ПВТ. Живильна вода в ПВД подається двома турбоживильними насосами потужністю близько 12 МВт кожен, їх приводна турбіна живиться перегрітою паром, що відбираються за СПП, і має власний конденсатор. Турбоживильні насоси (їх два на кожен енергоблок) подають живильну воду з деаератора в парогенератори через ПВТ. Кожен насос складається з двох, головного і бустерного, разом вони утворюють єдиний агрегат, що приводиться в дію власною конденсаційною турбіною і має свою масло систему. 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 трубопроводу перед включенням, тому при виході з ладу одного з них потужність енергоблоку знижується на 50%. Для аварійних режимів, режимів пуску і розхолодження передбачені допоміжні живильні насоси.

На рисунку 1.1 показана спрощена схема енергоблоку АЕС.



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

Рисунок 1.1 - Теплова схема енергоблоку АЕС

## 1.2 Призначення деаераційної установки

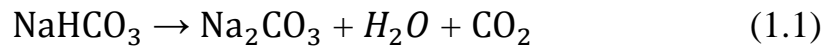
В цілому деаераційна установка призначена для:

- деаерації основного конденсату шляхом нагрівання його до температури насичення, при якій розчинність газів ( $O_2$ ,  $CO_2$  та інших) прагне до нуля;
- створення необхідного запасу води в баках акумуляторах RL21,22B01 для компенсації небалансу між витратою живильної води і витратою основного конденсату на період перехідних режимів;
- використання її як джерела постійного тиску для забезпечення безкавітаційного режиму роботи предвключених насосів і ВПЕН;
- живлення паром основних ежекторів, ежектора ущільнень і подачі пари на кінцеві ущільнення ТГ і ТЖН;
- підігріву живильної води.

У сучасних паротурбінних установках АЕС пред'являються високі вимоги до змісту в живильній воді кисню і вуглекислого газу, тобто агресивних газів, здатних викликати корозію парогенераторів і всього устаткування конденсатно-живильної системи. У живильній воді можуть бути розчинені різні гази: кисень, вуглекислота, азот і аміак. Корозійно-агресивними є кисень і вуглекислота, азот - практично нейтральний, а аміак в певних умовах навіть корисний. Корозійна активність аміаку проявляється в основному щодо мідних сплавів і тільки при наявності у воді певної кількості кисню. Тому видалення з води кисню перешкоджає як загальної кисневої корозії сталей, так і аміачної корозії латуні. Парогенератори АЕС виготовлені з матеріалів нержавіючих аустенітних сталей, які схильні до корозії під напругою, тому видалення кисню з живильної води є актуальною проблемою.

Кисень в конденсат надходить з повітрям в основному через нещільності в елементах ПТУ, які перебувають під вакуумом. Кисень може надходити в конденсат і від системи підживлення конденсаторів і деаераторів хімічищеною водою.

Причиною надходження вільної вуглекислоти в воду другого контуру є розкладання бікарбонатів  $\text{NaHCO}_3$  і карбонатів  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , що надходять з присосом охолоджуючої води в конденсаторах, а також з живильною водою, якщо вона не пройшла повного знесолення. Бікарбонати розкладаються з утворенням карбонатів і вільної вуглекислоти:



Розкладання бікарбонатів і карбонатів відбувається в процесі підігріву води, тобто після конденсатора. Тому в конденсатно-живильній системі встановлюють деаератор, основне призначення якого - видалити з конденсату кисень і вуглекислоту.

В деякій мірі розкладання бікарбонатів з виділенням вільної вуглекислоти продовжували і після деаератора в зв'язку з підвищенням температури живильної води в підігрівачах високого тиску № 6, 7 і в парогенераторах. У цьому причина присутності вуглекислоти в парі, не дивлячись на наявність деаераторів в конденсатно-живильній системі. Однак при відсутності деаераторів або при порушенні оптимального режиму їх роботи корозія елементів живильної системи, парогенераторів та паропроводів з арматурою була б значною.

### 1.3 Склад системи

Деаераційна установка турбіни включає в себе:

- два деаератора;
- насос підживлення деаератора UA20D01;
- регулюючі клапани RQ21S08, RQ22S08, RQ22S09 тиску в деаератори;
- трубопроводи обв'язки і запірну арматуру деаераційної установки;

- контрольно-вимірювальні прилади;
- регулюючі клапани для підтримки рівнів живильної води в деаераційних баках;
- запобіжні клапани RQ20S01 ÷ 12.

Деаератор типу ДП - 3200/185А є теплообмінний апарат підвищеного тиску ( $P = 6$  МПа) з двоступеневою деаерацією води і складається з двох вертикальних деаераційних колонок, які встановлені на баку-акумуляторі.

Цифри і букви в умовному позначенні деаератора вказують:

- ДП - деаератор підвищеного тиску;
- 3200 - максимальна витрата основного конденсату, т/ч;
- 185 - робочий об'єм баку-акумулятора, м<sup>3</sup>;
- Буква «А» в типорозмірі деаератора означає, що він застосовується на АЕС.

Кожен з деаераторів складається з:

- двох деаераційних колонок RL21 (22) W01, RL21 (22) W02;
- деаераційного баку RL21 (22) B01.

#### 1.4 Призначення основних елементів системи

##### Деаераційна колонка

Деаераційна колонка струменево-барботажного типу ДП-1600-2 призначена для двох-ступінчастою деаерації основного конденсату та інших потоків, що надходять в деаераційну колонку, для регенеративного підігріву основного конденсату, а також для безперервного відводу пароповітряної суміші з деаератора.



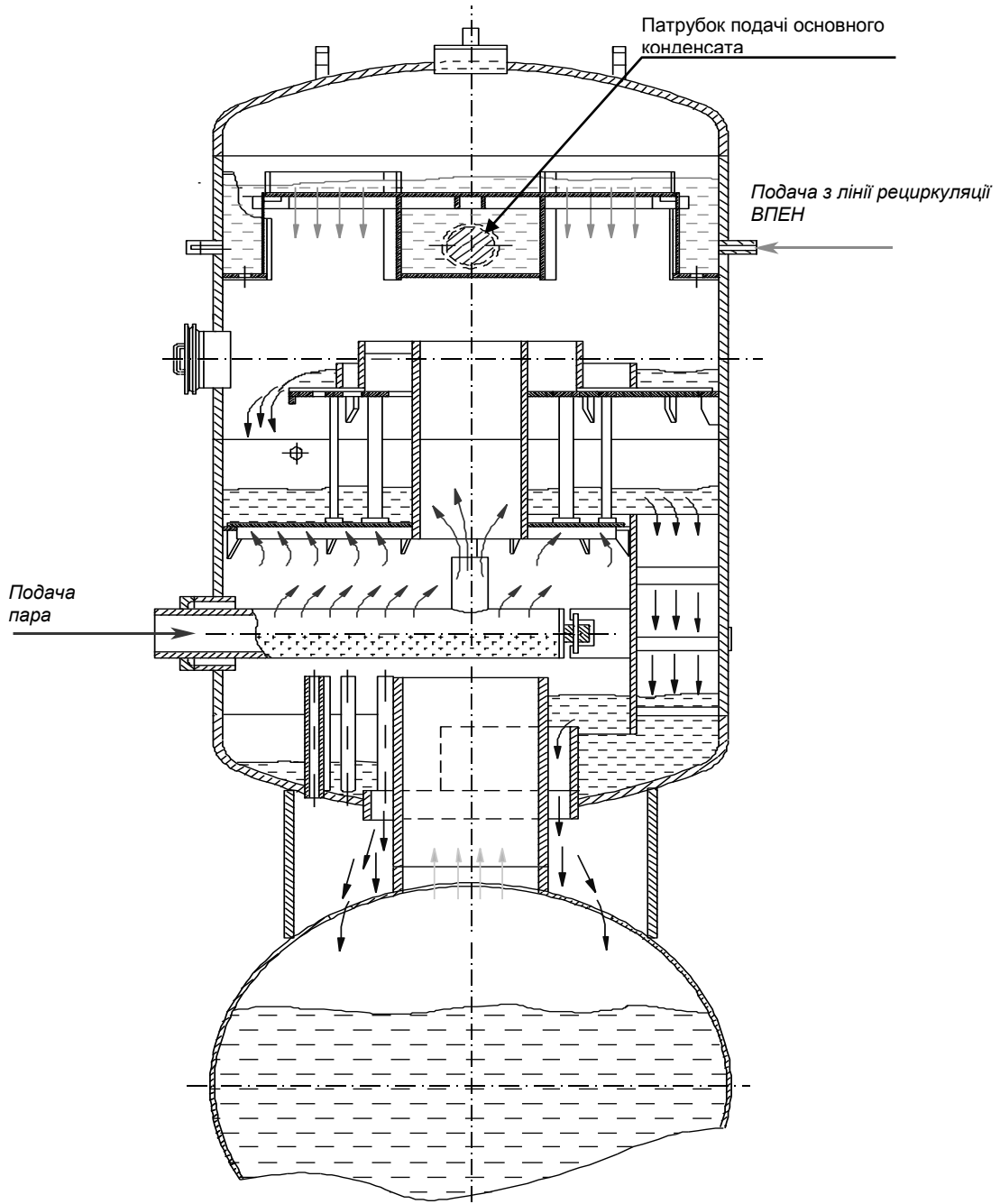


Рисунок 1.2 - Деаераційна колонка

### Деаераційний бак

Баки - акумулятори RL21,22B01 призначені для створення необхідного запасу води з метою компенсації небалансу між витратою живильної води і витратою основного конденсату на період перехідних режимів. Вони служать джерелом постійного тиску для забезпечення безкавітаційного режиму роботи бустерних насосів і ВПЕН. У баках відбувається залишкова деаерація

води, а саме: виділяється дисперсний кисень і відбувається розкладання бікарбонатів.

#### Насос підживлення деаератора

Насос підживлення деаератора UA20D01 використовується для наповнення деаератора хімічною водою від системи UA.

#### Регулюючі клапани тиску в деаератори

Тиск в деаераторі в стаціонарному режимі підтримується впливом на регулятори тиску в Д-7ата RQ21,22S08 на підводі гріючої пари в деаератори.

У режимах пуску і розігрівання тиск підтримується впливом пускового регулятора на РК RQ22S09.

#### Регулюючі клапани рівня живильної води в деаераційних баках

Рівень в баках - акумуляторах підтримується у всьому діапазоні навантажень цифровими регуляторами: основним (ОРРД) RM50C01 і пусковим (ПРРД) RM53C01. Основний регулятор рівня в деаератори (ОРРД) впливає на регулюючий клапан RM50S01, а ПРРД - на клапан RM53S01.

#### Імпульсно-запобіжний пристрій

Для запобігання підвищенню тиску пара в деаераторах вище допустимого на паропроводах гріючого пара встановлено 12 запобіжних клапанів RQ20S01 ÷ 12, які налаштовані на спрацьовування при підвищенні тиску в деаераторі до значення 6,6 МПа.

## 1.5 Опис технологічної схеми

На енергоблоці знаходиться в експлуатації два деаератора RL21,22B01 пов'язаних між собою зрівняльними трубопроводами по пару і воді.

Кожен деаератор типу ДП - 3200/185-А являє собою теплообмінний апарат підвищеного тиску ( $P = 6$  МПа) з двоступеневою деаерацією води і складається з двох вертикальних деаераційних колонок, які встановлені на баку-акумуляторі.

У режимі номінальної потужності основний конденсат після ПНТ-4 з параметрами  $T = 156$  °С,  $P = 20$  МПа надходить у верхню частину деаераційних колонок в змішувальну камеру. Далі конденсат розподіляється по дірчастих тарілках і водонаправляючим листам, проходить через барботажий пристрій і направляється в бак-акумулятор.

Гріючий пар заводиться підводящим колектором в нижню частину деаераційної колонки. У середині деаератора парової колектор перфоровано, і паровий потік прямує з нижньої частини деаераційної колонки в верхню. Пара подається через регулятори тиску пара в деаератор від КСН.

Основний конденсат протivoтоком до основного пару надходить з верхньої частини деаераційної колонки в нижню. Контактуючи безпосередньо з паровим потоком, конденсат нагрівається і досягаючи температури насичення виділяє розчинені у воді гази. Гази разом з паровим потоком через відвідний колектор як робоче тіло направляються в ежектори турбоустановки і потім видаляються в атмосферу через вихлоп ежекторів.

У деаераційні колонки надходять:

- основний конденсат після ПНТ - 4;
- випар розширювача продування (через колектор гріючої пари деаераторів);
- очищене продування ПГ;
- рециркуляція ВПЕН;
- гріюча пара КСН після регуляторів RQ21,22S08;

- конденсат.

У деаераторні баки надходять:

- деаерована вода з деаераційних колонок;
- конденсат грючої пари з ПВД-6;
- рециркуляція ТЖН;
- конденсат з КС -1 і КС -2 ступенів СПП.

З деаераторних баків відводяться:

- живильна вода на всас ТЖН і ВПЕН ;
- злив (спорожнення) деаераторних баків в бак розширювач дренажів;

При номінальному режимі роботи деаератори використовуються як джерела постійного тиску води з  $T = 164 \text{ }^\circ\text{C}$  для бустерних насосів, забезпечуючи їх бескавітаційний режим роботи, як джерела постійного тиску пара  $P = 6 \text{ МПа}$  для ежекторів і кінцевих ущільнень турбіни. Випарування з деаераційних колонок видаляються в атмосферу при розігріві - розхолоджуванні деаератора або подаються на парові ежектори ТГ при  $\text{Ne ТГ}$  більше 30%. Через парорівняльну лінію пар від деаератора подається на ущільнення турбіни при  $\text{Ne ТГ}$  більше 30%.

## 1.6 Взаємодія деаераційної установки з іншими системами енергоблоку

Деаераційна установка пов'язана з наступними системами:

- RM - основний конденсат;
- RQ - пар власних потреб;
- RL - живильна вода;
- RN – конденсат граючого пара ПВД і СПП 1 і 2 ст .;
- RV - конденсат СВО - 3;
- RY - очищена продувка ПГ;
- UA - хімоочищена вода;

- RT - система дренажів машзалу;
- RX - система відбору проб;
- SG - система ущільнень ТГ і паропостачання ежекторів;
- VC - система циркуляційного водопостачання .

### 1.7 Вплив системи на безпеку енергоблоку

Відповідно до класифікації технологічних систем, обладнання та трубопроводів за впливом на безпеку по «Загальних положень забезпечення безпеки атомних станцій» деаераційні установки відносяться до систем нормальної експлуатації, важливих для безпеки.

Режими роботи деаераторів впливають на витрату, тиск і температуру живильної води, яка подається в ТЖН і потім в ПГ, змінюючи умови їх роботи. Це може привести до зміни теплообміну між першим і другим контурами і, отже, в цілому на режим роботи енергоблока.

Перед розігрівом і пуском енергоблоку повинні бути працездатні:

- деаератори живильної води;
- арматура, регулятори, сигналізація захисту і блокування по обладнанню деаераційної установки.

### 1.7 Технічні характеристики деаераційної установки

В таблиці 1.1 представлені технічні характеристики деаераційної установки.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики деаераційної установки

Робочий тиск	0,6±0.1 МПа
Робоча температура	160-165 °С
Допустима температура стінки	172 °С
Тиск, допустимий при роботі ПК	7,5 МПа
Тиск гідровипробувань	9 МПа
Температура води при гідровипробуваннях	10 °С
Геометричний об'єм деаераційної колонки	58 м <sup>3</sup>
Робочий об'єм бака-акумулятора	185 м <sup>3</sup>
Геометричний об'єм бака-акумулятора	208 м <sup>3</sup>

## 2 ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕАЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

### 2.1 Виведення рівняння динаміки в деаераторі по витраті конденсату

Рівняння збереження маси для деаератора:

$$dm/dt = Gn + Gk - Gnv, \quad (2.1)$$

де  $m$  - маса конденсату у деаераторному баку;

$G_n$  – витрата гріючого пару;

$G_k$  – витрата конденсату;

$G_{nv}$  – витрата живильної води.

Зв'язок маси конденсату через об'єм і густину:

$$m = V * \rho. \quad (2.2)$$

У свою чергу:

$$V = F_3 * h, \quad (2.3)$$

де  $F_3$  - площа дзеркала води;

$h$  – висота рівня конденсату.

Тоді:

$$dF_3 * h * \rho / dt = Gn + Gk - Gnv. \quad (2.4)$$

Вважатимемо, що при невеликих відхиленнях рівня від номінального  
 $F_3 = const$

$$F_3 * \rho (dh / dt) = . Gn + Gk - Gne \quad (2.5)$$

Представимо змінні  $h$ ,  $Gn$ ,  $Gk$ ,  $Gne$  у вигляді суми сталих значень і їх відхилень:

$$\begin{aligned} h &= h_0 + \Delta h; \\ Gk &= Gk + \Delta Gk; \\ Gn &= Gn + \Delta Gn; \\ Gne &= Gne + \Delta Gne. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Запишемо рівняння збереження маси у відхиленнях:

$$\begin{aligned} F_3 * \rho * (d\Delta h / dt) &= \Delta Gn + \Delta Gk - \Delta Gne; \\ d\Delta h / dt &= (1 / F_3 * \rho) * ( \Delta Gn + \Delta Gk - \Delta Gne ). \end{aligned} \quad (2.7)$$

Проінтегрував це рівняння отримаємо:

$$\Delta h = (1 / F_3 * \rho) * \int_0^t \Delta Gn + (1 / F_3 * \rho) * \int_0^t \Delta Gk - (1 / F_3 * \rho) * \int_0^t \Delta Gne. \quad (2.8)$$

Отже, деаератор по будь-якому з трьох каналів (по каналу витрати пари, витрати конденсату і витрати живильної води) описується рівнянням інтегральної астатичної ланки з однаковим коефіцієнтом передачі, рівним  $1 / F_3 * \rho$ .

Передавальна функція деаератора по каналу «витрата конденсату  $Gk$  - рівень  $Hd$ »:



$$W(S) = K\partial / S, \quad (2.9)$$

де

$$K\partial = 1 / F_3 * \rho. \quad (2.10)$$

Знайдемо значення  $F_3$ :

- довжина бака-акумулятора  $l=23,415$  м;
- діаметр бака  $d=3,442$  м

$$F_3 = 23,415 * 3,442 = 80,6 \text{ м}^2;$$

$$K\partial = 1 / (80,6 * 903,3) = 1,37 * 10^{-5} \text{ м/кг};$$

$$W(S) = 1,37 * 10^6 / S. \quad (2.11)$$

## 2.2 Виведення математичної моделі ділянки живильного тракту

Рівняння збереження енергії для живильного тракту:

$$P_k - P_\partial + \Delta P_n = \Delta P_l + \Delta P_m, \quad (2.12)$$

де  $P_k$  – тиск в конденсаторі;

$P_\partial$  – тиск в деаераторі;

$\Delta P_n$  - перепад тиску в насосі;

$\Delta P_l$  - втрати тиску по довжині;

$\Delta P_m$  - втрати тиску на РК.

При несталому русі потік води швидшає або сповільнюється, тоді:

$$P_k - P_d + \Delta P_H = \Delta P_l + \Delta P_M + \Delta P_y, \quad (2.13)$$

де  $\Delta P_y$  - втрати тиску на прискорення рідини.

Рівняння збереження енергії у відхиленнях:

$$\Delta P_k - \Delta P_d + \Delta \Delta P_H = \Delta \Delta P_l + \Delta \Delta P_M + \Delta \Delta P_y. \quad (2.14)$$

Розглянемо, від чого залежать змінні рівняння:

$$\begin{aligned} \Delta P_H &= f(G, n); \\ \Delta P_l &= a_l * G^2; \\ \Delta P_M &= a_m * G^2 / F_m^2; \\ \Delta P_y &= K_y * dG / dt, \end{aligned} \quad (2.15)$$

де  $a_l, a_m$  - коефіцієнти пропорційності;

$F_m$  - площа прохідного перетину РК.

$K_y$  - коефіцієнт пропорційності.

$$K_y = L / F_{mp}, \quad (2.16)$$

де  $L$  - довжина трубопроводу;

$F_{mp}$  - площа поперечного перетину трубопроводу:

$$F_{mp} = \pi * d^2 / 4 = 3.14 * 0.7^2 / 4 = 0.385 \text{ м}^2.$$

Для отримання приростів функцій скористаємося розкладанням нелінійної функції в ряд Тейлора:

$$\begin{aligned}
\Delta\Delta P_K &= (\partial P_K / \partial G) * \Delta G = 2a_l * G_0 * \Delta G \\
\Delta\Delta P_M &= (\partial\Delta P_M / \partial G) * \Delta G + (\partial\Delta P_M / \partial F_M) * \Delta F_M = (2a_m * G_0 / F_{M0}^2) * \Delta G - \\
&- (2a_m * G_0^2 / F_{M0}^3) * \Delta F_M = \kappa_{M1} * \Delta G - \kappa_{M2} * \Delta F_M \\
\Delta\Delta P_H &= (\partial\Delta P_H / \partial G) * \Delta G + (\partial\Delta P_H / \partial n) * \Delta n = \kappa_{H1} * \Delta G + \kappa_{H2} * \Delta n
\end{aligned} \tag{2.17}$$

де  $\kappa_{H1}$  і  $\kappa_{H2}$  емпіричні коефіцієнти, які визначаються графічно.

Отримаємо рівняння:

$$K_y * \partial G / \partial t + (\kappa_{M1} + \kappa_l - \kappa_{H1}) * \Delta G = \Delta P_K - \Delta P_D + \kappa_{H2} * \Delta n + \kappa_{M2} * \Delta F_M. \tag{2.18}$$

Одержане рівняння характеризує динаміку зміни витрати води при зміні тиску в конденсаторі і деаэраторі, швидкості обертання насоса і ступеня відкриття клапана.

Якщо швидкість обертання насоса незмінна, а тиск в конденсаторі і деаэраторі постійний, тобто регулювання витрати води здійснюється зміною ступеня відкриття клапана, то можна записати:

$$K_y * \Delta G' + (\kappa_{M1} + \kappa_l - \kappa_{H1}) * \Delta G = \kappa_{M2} * \Delta F_M \tag{2.19}$$

Розділивши обидві частини рівняння на коефіцієнт при  $\Delta G$ , одержимо:

$$T_{CM} * \Delta G' + \Delta G = K_{FG} * \Delta F_M, \tag{2.20}$$

де

$$\begin{aligned}
T_{CM} &= K_y / (\kappa_{M1} + \kappa_l - \kappa_{H1}); \\
K_{FG} &= \kappa_{M2} / (\kappa_{M1} + \kappa_l - \kappa_{H1}).
\end{aligned} \tag{2.21}$$

Передавальна функція ділянки ПНТ по каналу « $F_M - G$ »:

$$W_{FM-G}(S) = K_{FG} / (T_{CM} * S + 1) \quad (2.22)$$

Коефіцієнт передачі можна представити помноженням двох коефіцієнтів  $K_{po} * K_{tr}$ , де  $K_{po}$  - коефіцієнт передачі регулюючого органу,  $\%K_{po} * c/кг$ ,  $K_{tr}$  - коефіцієнт передачі трубопроводу,  $кг * c/кг * c$ . Причому  $K_{tr} = 1$ .

Тоді передавальна функція ділянки ПНТ по каналу «витрата конденсату на вході  $G_k$  - витрата конденсату на виході  $G_k$ »:

$$W_{Gk-Gk}(S) = 1 / (T_{CM} * S + 1). \quad (2.23)$$

Таким чином, ділянка ПНТ по даному каналу описується передавальною функцією інерційної ланки 1-го порядку.

Розрахуємо значення коефіцієнтів:

$$\kappa_{m1} = 2 * a_m * G_0 / F_{m0}^2, \quad (2.24)$$

де

$$a_m = \xi_{\kappa 1} / 2 * \rho = 1 / (\mu^2 * 2 * \rho) = 1 / (0,7^2 * 2 * 965,3) = 1,05 * 10^{-3};$$

$$\kappa_g = 0,99 * 10^{-2} * M / \sqrt{\Delta P_{pk} * \rho} = 0,99 * 10^{-2} * 1500000 / \sqrt{0,417 * 965,3} = 740 \text{ м}^3 / \Gamma;$$

$$F_m = \kappa_g * 10^{-4} / (5,04 * 0,7) = 740 * 10^{-4} / (5,04 * 0,7) = 0,021 \text{ м}^2,$$

$\xi_{\kappa 1}$  - коефіцієнт опору клапана при повному його відкритті.

Тоді:

$$\kappa_{m1} = 2 * 1,05 * 10^{-3} * 416 / 0,021^2 = 1981 \text{ 1/м} * \text{с};$$

$$\kappa_l = 2 * a_l * G_0. \quad (2.25)$$

де  $a_l$  - коефіцієнт пропорційності:

$$a_l = \Delta P_H / M^2 = 276000 / 416^2 = 1,59 \text{ 1/кг*м.}$$

Тоді

$$\kappa_l = 2 * 1,59 * 416 = 1327 \text{ 1/м*с.}$$

Коефіцієнт  $\kappa_{н1}$  знаходимо графічно.  $\kappa_{н1} = 12000 \text{ Па*с/кг}$ :

$$T_{cm} = L / Fmp * (\kappa_{м1} + \kappa_l - \kappa_{н1}) = 286 / 0,385 * (1981 + 1327 + 12000) = 0,165 \text{ с.}$$

### 2.3 Динамічні властивості деаератора по тиску пари

Для виведення рівняння динаміки деаератора по тиску пари запишемо рівняння збереження енергії для парового простору:

$$d[(V_n - V_k) * \rho'' * i''] / dt = M_n * (i_n - i') + Q_u - M_c * i'' - M_k (i' - i_k), \quad (2.26)$$

де  $V_n, V_k$  – об'єм парового простору і водяних крапель в ньому відповідно;

$M_n, M_k, M_c$  – масова витрата пари, конденсату і пароводяної суміші;

$Q_u$  – кількість теплоти, що поступає в паровий простір за рахунок самовипаровування конденсату;

$i'', i', i_n, i_k$  – ентальпія сухої насиченої пари, води на лінії насичення, пари і конденсату;

$\rho''$  – густина насиченої пари.

При цьому акумуляцією теплоти в металі нехтуємо. Оскільки рівень живильної води в баку, як правило, стабілізується автоматичним регулятором,

то впливом рівня води на об'єм  $V_n$  також нехтуємо.

Запишемо рівняння у відхиленнях:

$$\begin{aligned} (V_n - V_k) * d(\rho'' * i'') / dt + \rho'' * i'' * (dV_n / dt) = (i_n - i') * \Delta M_n - \\ - i'' * \Delta M_c - (i' - i_k) * \Delta M_k + M_n * \Delta i_n * (M_n + M_k) * \Delta i' - \\ - M_c * \Delta i'' + M_k * \Delta i_k + Q_u. \end{aligned} \quad (2.27)$$

У цьому рівнянні густина і ентальпія насиченої пари визначаються тиском пари  $P_d$  в деаераторі. Ентальпія пари визначається тиском в камері відбору турбіни. Ентальпія конденсату  $i_k = c * t_k$ , де  $c$  – питома теплоємність конденсату.

Витрата теплоти за рахунок самовипаровування конденсату змінює свою величину і знак залежно від напрямку зміни тиску  $dP_d/dt$ . При підвищенні тиску в деаераторі частина акумульованої пари в ньому конденсується, відносячи в одиницю часу з парового простору у водяне кількість теплоти:

$$\Delta Q_u = (V_6 * \rho' * i' / r) * (di' / dP_d) * dP_d / dt, \quad (2.28)$$

де  $r$  – питома теплота паротворення;

$V_6$  - об'єм перегрітої води.

Отже, можна записати:

$$Q_u = -A * dP_d / dt, \quad (2.29)$$

де

$$A = (V_n - V_k) * \rho'' * di'' / dP_d \text{ при } dP_d / dt > 0; \quad (2.30)$$

$$A = (V_6 * \rho' * i' / r) * (di' / dP_d) \text{ при } dP_d / dt < 0. \quad (2.31)$$

З урахуванням того, що в рівноважних режимах:

$$(i' - i_k) * \overline{Mk} = (i_n - i'') * \overline{Mn}, \quad (2.32)$$

одержимо:

$$T * \Delta P' + \Delta P = Kn * \Delta Mn - Kk * \Delta Mk + Kp * \Delta Pn + Kt * \Delta t_k, \quad (2.33)$$

де

$$T = T \partial \partial' / Z \partial;$$

$$T \partial \partial' = [(Vn - Vk) * \partial(\rho'' * i'') / \partial P + Ai] * \bar{P} / [(i' - i_k) * \overline{Mk}];$$

$$Z \partial = [(Mn + Mk) * \partial i' / \partial P + \partial(Mc * i'') / \partial P] * \bar{P} / [(i' - i_k) * \overline{Mk}];$$

$$Kn = \bar{P} / Z \partial * \overline{Mn};$$

$$Kk = \bar{P} / Z \partial * \overline{Mk};$$

$$Kp = (\partial i_{отб} / \partial P_{отб}) * \bar{P}_{отб} * \overline{Mn} / [(i' - i_k) * \overline{Mk} * Z \partial];$$

$$Kt = i_k * \bar{P} / [(i' - i_k) * Z \partial * \overline{t_k}],$$

де  $i_{отб}$ ,  $P_{отб}$  - ентальпія і тиск пари у відборі турбіни.

Таким чином, динаміка деаератора по всіх чотирьох каналах описується диференціальним рівнянням 1-го порядку.

Знайдемо значення коефіцієнтів передавальних функцій.

Початкові дані:

$$i' (P_d=0,6 \text{ МПа})=616,15 \text{ кДж/кг};$$

$$i'' (P_d=0,6 \text{ МПа})=2761,9 \text{ кДж/кг};$$

$$\rho' (P_d=0,6 \text{ МПа})=908,64 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho'' (P_d=0,6 \text{ МПа})=3,125 \text{ кг/м}^3;$$

$$t' (P_d=0,6 \text{ МПа})=159 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

У першу чергу знайдемо значення приватних похідних, для чого визначимо значення  $i'$ ,  $i''$ ,  $\rho'$ ,  $\rho''$ ,  $t'$  при тиску в деаераторі  $P_{\partial}=0,5$  МПа:

$$i' (P_{\partial}=0,5 \text{ МПа})=641,5 \text{ кДж/кг};$$

$$i'' (P_{\partial}=0,5 \text{ МПа})=2751,6 \text{ кДж/кг};$$

$$\rho' (P_{\partial}=0,5 \text{ МПа})=930 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho'' (P_{\partial}=0,5 \text{ МПа})=2,68 \text{ кг/м}^3;$$

$$t' (P_{\partial}=0,5 \text{ МПа})=152 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Значення  $i_{om\bar{o}}$  при тиску пари в камері відбору турбіни  $P_{om\bar{o}}=0,9$  МПа

$$i_{om\bar{o}} (P_{\partial}=0,9 \text{ МПа})=3325,6 \text{ кДж/кг};$$

$$\begin{aligned} \partial(\rho'' * i'') / \partial P_{\partial} &= [(3,125 * 2761,9) * 10^3 - (2,86 * 2751,6) * 10^3] / \\ & / [(0,6 - 0,5) * 10^6] = 12,57 \text{ Дж/ м}^3 * \text{Па}; \end{aligned}$$

$$di' / dP_{\partial} = [(641,5 - 616,15) * 10^3] / [(0,7 - 0,6) * 10^6] = 0,25 \text{ Дж/кг} * \text{Па};$$

$$di'' / dP_{\partial} = [(2761,9 - 2751,6) * 10^3] / [(0,6 - 0,5) * 10^6] = 0,103 \text{ Дж/кг} * \text{Па};$$

$$\begin{aligned} \partial(Mc * i'') / \partial P_{\partial} &= [(1,27 * 2761,9 - 0,96 * 2751,6) * 10^3] / [(0,6 - 0,5) * 10^6] = \\ & = 8,66 \text{ Дж/с} * \text{Па}; \end{aligned}$$

$$\partial i_{om\bar{o}} / \partial P_{om\bar{o}} = [(3365,4 - 3325,6) * 10^3] / [(1,3 - 0,9) * 10^6] = 0,11 \text{ Дж/кг} * \text{Па};$$

$$\partial t' / \partial P_{\partial} = (164 - 159) / [(0,69 - 0,6) * 10^6] = 5,55 * 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C/Па}.$$



Далі обчислимо значення  $Z\delta$  и  $T\delta$ :

$$Z\delta = [ [(7,83 + 416) * 0,25 + 8,66] * 0,6 * 10^6 ] / [(616,15 - 581,71) * 10^3 * 416] = 4,8.$$

При підвищенні тиску в деаераторі:

$$A = A1 = (14,84 - 0) * 3,125 * 0,103 = 4,78 \text{ Дж/Па.}$$

При зниженні тиску:

$$A = A2 = (1,27 * 908,64 * 616,15 / 2071) * 0,25 = 86 \text{ Дж/Па.}$$

Тоді відповідно при підвищенні тиску:

$$Td1 = [(14,84 * 12,57 - 4,78) * 0,6 * 10^6] / [(616,15 - 581,71) * 10^3 * 416] = 7,6 \text{ с;}$$

$$Td2 = [(14,84 * 12,57 + 85) * 0,6 * 10^6] / [(616,15 - 581,71) * 10^3 * 416] = 11,38 \text{ с.}$$

Розрахуємо значення:

$$d_{2\delta} = i_k / (i' - i_k) = 581,71 / (616,15 - 581,7) = 16,9$$

$$d_{1\delta} = [ ( \partial i_{\text{отб}} / \partial P_{\text{отб}} ) * P_{\text{отб}} * Mn ] / [ (i' - i_k) * Mk ] = \\ = [0,11 * 1,3 * 10^6 * 7,83] / [(616,15 - 581,71) * 10^3 * 416] = 0,078.$$

Постійна часу при підвищенні  $P\delta$  :

$$T = Td1 / Z\delta = 7,6 / 4,8 = 1,6;$$

$$T = Td2 / Z\delta = 11,38 / 4,8 = 2,4 ;$$

$$Kn = 0,6 * 10^6 / (4,8 * 7,83) = 15964 ;$$

$$K_k = 0,6 * 10^6 / (4,8 * 416) = 300,5 ;$$

$$K_p = 0,6 * 10^6 * 0,078 / (4,8 * 1,3 * 10^6) = 0,0075 ;$$

$$K_t = 16,9 * 0,6 * 10^6 / (4,8 * 159) = 13286 .$$

Оскільки постійна часу відрізняється незначно, то можна застосовувати усереднене значення  $T=2$  с.

Передавальні функції деаератора мають вигляд:

– по каналу «витрата пари - тиск»:

$$W_{\Delta G_n - \Delta P}(s) = 15964 / (2 * s + 1); \quad (2.34)$$

– по каналу «витрата конденсата- тиск»:

$$W_{\Delta G_k - \Delta P}(s) = 300 / (2 * s + 1); \quad (2.35)$$

– по каналу «тиск пари - тиск в деаераторі»:

$$W_{\Delta P_n - \Delta P}(s) = 0.075 / (2 * s + 1); \quad (2.36)$$

– по каналу «температура конденсата- тиск»:

$$W_{\Delta k - \Delta P}(s) = 13286 / (2 * s + 1). \quad (2.37)$$

### 3 ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ І ТИСКУ ДЕАЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

#### 3.1 Опис схеми регулювання рівня і тиску деаераційної установки

Для даного об'єкта використовується два регулятори один з яких стежить за відхиленням значення тиску, а другий – за відхиленням рівня. Тобто вони є незалежними по керуючій дії. Така функціональна схема автоматизації деаератора зображена на рисунку 3.1.

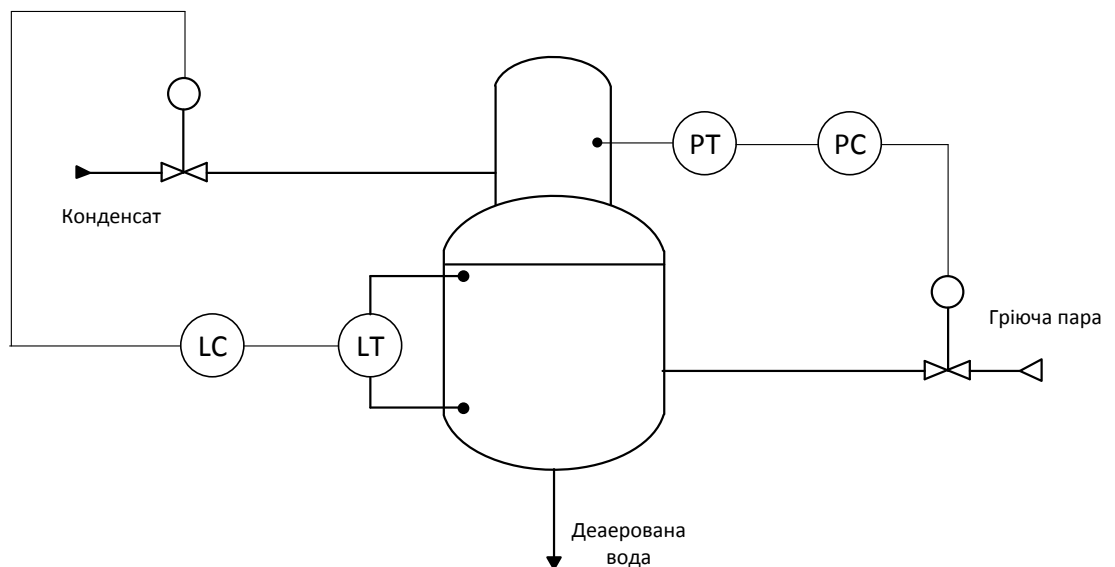


Рисунок 3.1 - Спрощена функціональна схема автоматизації деаератора

Найкраще застосовувати два регулятори, тому що вони забезпечать більшу швидкодію і точність регулювання.

Для деаератора передбачені 2 регулятори рівня, які незалежні один від одного і вмикаються окремо один від одного залежно від режиму роботи. Регулятори будуть впливати на виконавчий пристрій на лінії подачі конденсату і подачі хімічно-знесоленої води.

Регулювання рівня живильної води в баку-акумуляторі здійснюється

зміною витрати основного конденсату шляхом дії на РК подачі конденсату в ПНТ.

Сигнал від ВП вимірювання рівня, гідростатичних рівнемірів, подається на регулятор рівня в деаераторі і порівнюється із завданням. Туди ж поступають сигнали від датчиків вимірювання витрати конденсату в деаераторі, рівня в конденсаторах та витрати живильної води за ТЖН.

Формується сигнал непогодження і команда виконавчому механізму на зміну витрати ОК.

При аварійному пониженні рівня живильної води в деаераторі включається аварійний регулятор подачі ХОВ, який відкриває РК на трубопроводі подачі ХОВ в деаератор.

Регулювання тиску в колонці деаератора здійснюється зміною витрати гріючої пари шляхом дії на РК подачі гріючої пари в деаератор.

Сигнал від ВП вимірювання тиску, діфманометра, поступає на регулятор тиску в деаераторі і порівнюється із завданням. Регулятор формує сигнал непогодження і команду виконавчому механізму на зміну витрати гріючої пари.

### 3.2 Цифрові регулятори рівня в деаераторі

Цифрові регулятори другого контуру призначені для автоматизації управління устаткуванням другого контуру і реалізують функції автоматичного багатозв'язаного регулювання технологічних параметрів, блокувань і контролю справності виконавчих механізмів і інформації, що використовується.

Регулятор рівня в деаераторах РРД (основний)

Регулятор рівня в деаераторах RM50C01 (РРД) призначений для підтримки

рівня живильної води в деаераторах. Даний режим роботи є основним.

Окрім основного, регулятор має два додаткові режими роботи:

- підтримка рівня в конденсаторі;
- підтримка тиску в напірному колекторі КЕН ступеня.

У будь-якому з трьох режимів регулятор впливає на клапан RM50S01.

Регулятор реалізує пропорційний закон регулювання за рахунок обхвату ПІ регулятора зворотним зв'язком по витраті основного конденсату в деаератори в основному режимі і режимі підтримки рівня в конденсаторах, пропорційно-інтегральний - в режимі підтримки тиску в напірному колекторі КЕН ступеня.

Регулятор використовує наступні вхідні сигнали:

- рівень в деаераторах (ВП RL21,22L02B1 - основні і ВП RL21,22L01B1 - контрольні);
- витрата конденсату в деаератори (ВП RM60F01,F02B1) - зворотний зв'язок для формування пропорційного закону регулювання;
- витрата живильної води за ТЖН (ВП RL61,62F01B1) або сумарна витрата пари з ПГ1÷4 (по мережі Ethernet) - задаючий сигнал по тепловому навантаженню;
- рівень в конденсаторах (ВП SD11,12,13L01B1);
- тиск конденсату в напірному колекторі КЕН ст. (ВП RM50P03B1);
- поточне значення електричної потужності (ВП GT01E03B1 (з СРТ), GT01Q10B1, GT01Q11B1) (для формування ознаки скидання потужності).

Залежно від режиму роботи регулятор підтримує:

- рівень в деаераторі, рівний  $(2200 \pm 200)$  мм;
- рівень в конденсаторі, рівний  $(1200 \pm 200)$  мм;
- тиск на натиску КЕН, рівний 16,5 МПа.

Рівень в деаераторах визначається як середньоарифметичне значення свідчень справних ВП RL21L02B1, RL22L02B1, при відмові одного з ВП значення рівня визначається, як свідчення справного ВП. Окрім первинного контролю для робочих ВП рівня в деаераторах (RL21L02B1, RL22L02B1),

здійснюється контроль по розузгодженню значень рівня в деаераторах (RL21L02B1, RL22L02B1) з урахуванням свідчень контрольних ВП (RL21L01B1, RL22L01B1), за умови справності обох контрольних ВП.

У будь-якому з трьох режимів регулятор змінює витрату основного конденсату з конденсатора турбіни в деаератори, імпульсною дією на клапан RM50S01 і засувку RM50S02.

#### Регулятор рівня в деаераторах (пусковий)

Регулятор рівня в деаераторах пусковий RM53C01 (РРДП) призначений для підтримки рівня в деаераторах в пускових режимах роботи енергоблока, а також при роботі енергоблока в стаціонарному режимі на будь-якому із значень рівня потужності у разі відключення основного регулятора рівня в деаераторі.

Регулятор реалізує пропорційний закон регулювання за рахунок обхвату ІІІ-регулятора зворотним зв'язком по положенню РК.

Регулятор використовує наступні вхідні сигнали:

- рівень в деаераторах (ВП RL21,22L02B1 - основні і ВП RL21,22L01B1 - контрольні);
- положення регулюючого клапана RM53S01.

Регулятор RM53C01 підтримує рівень в деаераторі, рівний  $(2200 \pm 200)$  мм.

Управляюча дія - зміна витрати основного конденсату з конденсатора турбіни, дією на клапан RM53S01.

#### Регулятор рівня в деаераторі аварійного підживлення ХОВ

Регулятор UA20C03 призначений для запобігання пониження рівня в деаераторі шляхом дії на РК UA20S03, змінюючий витрату ХОВ в деаератор.

Регулятор реалізує пропорційний закон регулювання за рахунок обхвату ІІІ-регулятора зворотним зв'язком по положенню РК.

Вхідними сигналами для регулятора є:

- рівень в деаераторі (ВП RL21L01B1, RL22L01B1);
- положення РК UA20S03.

Параметр регулювання - рівень в Д-7.

Управляюча дія - зміна витрати хімічно-несоленої води в деаератор, дією на регулюючий клапан UA20S03.

Регулятор підтримує рівень в деаераторі із заданим значенням 1800 мм.

При відмові вимірювання положення РК регулятор переходить на роботу з модельованим значенням положення РК.

### 3.3 Регулятори тиску в деаераторах

Регулятори тиску в деаераторах RQ21C08, RQ22C08, RQ22C09 призначені для підтримки тиску в деаераторах, збільшення тиску в режимі розігрівання деаераторів, зменшення тиску в режимі розхолодження деаераторів.

У статичних режимах в роботі може знаходитися один з регуляторів RQ21C08, RQ22C08, RQ22C09. Решта двох регуляторів знаходиться в режимі, що стереже, при умові що вони включені.

Регулятори реалізують пропорційно-інтегральний закон регулювання.

Вхідними сигналами для регулятора є:

- тиск пари в деаераторах (ВП RL21P01B1, RL22P01B1);
- температура води в деаераторах (ВП RL21T01B1, RL22T01B1);
- положення регулюючого клапана RQ21S08;
- положення регулюючого клапана RQ22S08;
- положення регулюючого клапана RQ22S09;
- поточне значення електричної потужності (ВП GT01E03B1 (від СРТ), GT01Q10B1, GT01Q11B1) (для формування ознаки скидання навантаження).

Регульований параметр - тиск пари в деаэраторах.

Управляюча дія - зміна витрати пари, що подається з КСН в деаератор, дією на РК різної пропускної здатності:

- основний РК тиску RQ21S08, RQ22S08;
- пусковий РК тиску RQ22S09.

Задане значення тиску в деаераторі встановлюється 6 МПа за умови, що у момент включення першого регулятора воно було не менше 5,9 МПа, інакше завданням є поточне значення тиску на момент включення регулятора.

На пульті оператора встановлені кнопки збільшення тиску «Підвищення тиску», зменшення тиску «Пониження тиску» і кнопка «Стоп змін.тиску» для блокування збільшення і зменшення тиску.

Режим збільшення тиску використовується для розігрівання деаератора. Після того, як регулятор вступив в роботу, при необхідності збільшення тиску необхідно натискувати кнопку «Підвищення тиску», при цьому спалахує відповідне табло. Швидкість збільшення тиску забезпечує швидкість розігрівання  $1\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$  при температурі води в деаэраторе більше  $104\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У випадку, якщо температура води в деаераторі менш даної уставки, швидкість прогрівання рівна  $0,25\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$ . При цьому швидкість підйому тиску не перевищує  $0,1\text{ МПа}$  в хвилину (зміна завдання від  $3,5\text{ МПа}$  до  $6,0\text{ МПа}$  складає  $0,1\text{ МПа}$  в хвилину). Щоб припинити розігрівання, необхідно натискувати кнопку «Стоп змін.тиску». Регулятор підтримує поточне значення тиску на момент натиснення кнопки «Стоп змін.тиску». Щоб продовжити розігрівання, необхідно повторним натисненням кнопки «Стоп змін.тиску» відключити блокування. Режим розігрівання відключається повторним натисненням кнопки «Підвищення тиску» або автоматично після досягнення заданого значення тиску  $6\text{ МПа}$ .

При необхідності зменшення тиску необхідно натискувати кнопку «Пониження тиску», при цьому спалахує відповідне табло. Режим зменшення тиску використовується для розхолодження деаератора із швидкістю  $1\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$ .



Режим зменшення тиску автоматично відключається після зменшення завдання по тиску в деаераторі менше 0,4 МПа або повторним натисненням кнопки.

Режими збільшення або зменшення тиску автоматично відключаються при відмові вимірювання температури води в деаераторах (ВП RL21T01B1, RL22T01B1) або при відключенні регуляторів.

### 3.4 Захисти і блокування по перевищенню рівня в деаераторі

При підвищенні рівня в деаераторах автоматично проводяться операції:

а) при підвищенні рівня до 1-ої межі (2700мм):

1) на БЩУ подається попереджувальний сигнал «Захист деаератора 1-а межа»;

2) закриваються із заборною відкриття засувки UA11S01,UA12S01, клапани UA11,12S02 і вентиль UA20S03. Заборна знімається при відновленні нормального рівня.

б) при підвищенні рівня вище за 2-у межу (2870мм):

1) на БЩУ подається аварійний сигнал «Захист деаератора межа»;

2) імпульсний відкриваються із заборною закриття засувки RM52S01, RM52S02. Заборна знімається при відновленні нормального рівня в деаераторі. Закриття засувок проводиться оператором;

3) відкривається засувка SG20S05 (пара на ежектори від РОУ 14/6), після її відкриття закривається засувка SG20S01(пара на ежектори від Д-7ата). Зворотне перемикання проводиться оператором;

4) відкривається засувка SG10S02(пара на ущільнення турбіни від РОУ 14/6), після її відкриття закривається засувка SG10S01 (пара на ущільнення турбіни від Д-7ата). Зворотне перемикання проводить оператор;

5) при підвищенні рівня в деаераторі до 2-ої межі і рівня в конденсаторі до 2200мм відкривається засувка RM31S01 і регулюючий клапан RM31S02 на скиданні ОК в БГК. При відновленні рівня в конденсаторі

1100мм засувка RM31S01 і клапан RM31S02 закривається з витримкою часу 10сек;

б) закривається засувка RT40S03 на лінії скидання з БНТ в конденсатор турбіни і після її закриття відкривається засувка RT40S02 на скиданні конденсату з БНТ в БГК. Зворотний перехід при відновленні рівня проводить оператор;

в) при підвищенні рівня в деаераторі до 3-ої межі (3060мм):

1) на БЩУ подається аварійний сигнал «Захист деаератора - 3-а межа» «Відключення КН»;

2) відключаються всі КН (RM41,42,43D01);

3) подається команда на закриття засувок RM50S02, RM53S02, RM54S01. Після повного закриття засувок допускається включення в роботу КН для подачі конденсату на ПСБУ (пуско-скидні пристрої конденсатора турбіни). Відкриття засувок проводить оператор після відновлення рівня в деаераторі.

При скиданні електричної потужності більше 160 МВт із швидкістю більше 20 МВт/с і рівні в деаераторах більше 200 см RM50S01 (ПК рівня в деаераторі) закривається. При зниженні рівня в Д-7 до 200 см або закритті RM50S01 команда на закриття знімається, і регулятор вступає в роботу на підтримку рівня в Д-7. Дія блокування на закриття RM50S01 автоматично виводиться за відсутності протягом 30 с з моменту скидання потужності підвищення рівня в деаераторі більше 220 см.

При зниженні рівня в конденсаторі турбіни до величини 100 см і рівень в деаераторі більш 190 см РРД перемикається в режим підтримки рівня в конденсаторі. При підвищенні рівня в конденсаторі до величини 110 см РРД перемикається в режим підтримки рівня в деаераторі.

При зниженні тиску на натиску КН на 1 МПа менше уставки АВР (15 МПа) регулятор RM50C01 перемикається в режим підтримки тиску на натиску КН.

Регулятор виходить з режиму підтримки тиску на натиску КН в будь-

якій з режимів підтримки рівня (в деаераторі або конденсаторі) при підвищенні Р на натиску КН вище уставки АВР КН. на 1 МПа і видачі команди на «менше» по функції підтримки рівня.

При підвищенні рівня в будь-кому деаераторі до першої межі (2700 мм) і при включеному регуляторі рівня в деаераторі аварійного підживлення ХОВ РК UA20S03 примусово закривається з переключенням регулятора в режим, що стереже.

### 3.5 Захисти і блокування по перевищенню тиску в деаераторі

Для запобігання аварійного підвищення тиску пари в деаераторах на паропроводах гріючої пари встановлено 12 запобіжних клапанів RQ20S01-12, які налаштовані на спрацьовування при підвищенні тиску в Д-7ата до 6,6 МПа.

При зменшенні тиску в деаераторах на 0,2 МПа від заданого значення і включеному в роботу будь-якому з регуляторів RQ21,22C08, основному і пусковому РРД в режимі підтримки рівня в деаераторах формується заборона команд «більше».

Заборона команд «більше» знімається при одній з умов:

- поява тенденції збільшення тиску (на 0,2 МПа більш мінімально досягнутого тиску);
- зменшення рівня в деаераторі менше 1500 мм;
- різниця заданого і поточного тиску в деаераторі менше 0,2 МПа.

При збільшенні тиску в деаераторах на 0,2 МПа від заданого значення і включеному в роботу будь-якому з регуляторів RQ21,22C08, основному і пусковому регуляторам рівня в деаераторах формується заборона команд «менше».

Заборона команд «менше» знімається при одній з умов:

- збільшення рівня в деаераторі більше 2600 мм;
- різниця поточного і заданого тиску в деаераторі менше 0,2 МПа

3.6 Типи вимірювальних перетворювачів, що використовуються для контролю і регулювання технологічних параметрів в деаeratorі

Типи вимірювальних перетворювачів, що використовуються для контролю і регулювання технологічних параметрів в деаeratorі, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Перелік вимірювальних перетворювачів

Ідентифікатор	Найменування сигналу	Тип ВП
RM60F01B1	F конденсату до Д-7	«Сафір», 2440, 0.5-160 кПа, 4-20 мА
RM60F02B1	F конденсату до Д-7	«Сафір», 2440, 0.5-160 кПа, 4-20 мА
RL61F01B1	F води перед ПВТ	«Сапфір -22ДД», 2440, 0.5-100 кПа, 4-20 мА
RL21L02B1	L води в Д-7	«Сафір», 2440, 0.25-25 кПа, 0-5 мА
RL22L02B1	L води в Д-7	«Сафір», 2440, 0.25-25 кПа, 0-5 мА
RL21L01B3	L води в Д-7	«Сафір», 2440, 0.25-40 кПа, 0-5 мА
RL22L01B3	L води в Д-7	«Сафір», 2440, 0.25-40 кПа, 0-5 мА
RL21P01B1	P в деаeratorі	«Сапфір-22ДИ», 2151, 0.5-1 МПа, 0-5 мА

3.7 Об'єм теплотехнічного контролю деаераційної установки

Об'єм теплотехнічного контролю деаераційної установки приведений в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Об'єм теплотехнічного контролю деаераційної установки

Контрольований параметр	Од. вимірювання	Ідентифі- катор	Ном. значення
Тиск в деаераторном баку	кгс/см <sup>2</sup>	RL21P01	6
Рівень в деаераторном баку	мм	RL21L01	2200
	мм	RL22L01	2200
Температура живильної води на виході з деаератора	°C	RL21T01	156
		RL21T02	156
		RL21T03	156
Температура живильної води на виході з деаератора	°C	RL22T01	165
		RL22T02	165
		RL22T03	165
Температура основного конденсату на вході в деаератори	°C	RM60T07	150
Витрата основного конденсату в деаератор	т/год	RM60F01	2500
		RM60F02	2500
Тиск ХОВ на натиску насоса підживлення деаераторів UA20D01	кгс/см <sup>2</sup>	UA20P02	19
Тиск ХОВ в трубопроводі аварійного підживлення	кгс/см <sup>2</sup>	UA20P01	8

## 4 НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРІВ РІВНЯ І ТИСКУ В ДЕАЕРАТОРІ

### 4.1 Вибір настройок регулятора рівня в деаераторі

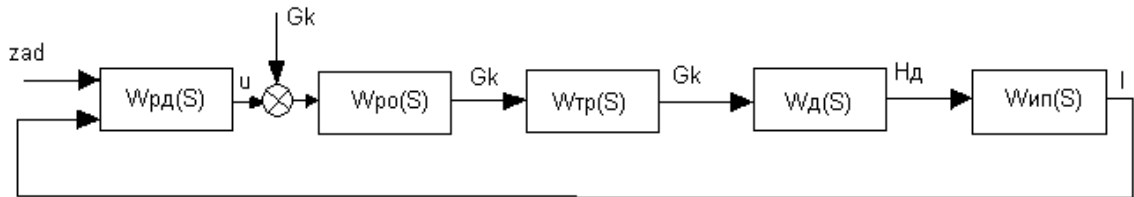


Рисунок 4.1 - Структурна схема АСР рівня в деаераторі

де  $W_{рд}(S)$  - передавальна функція РРД;

$W_{ро}(S)$  - передавальна функція РО;

$W_{тр}(S)$  - передавальна функція трубопроводу;

$W_{д}(S)$  - передавальна функція деаератора;

$W_{вп}(S)$  - передавальна функція вимірювального перетворювача.

Передавальна функція РО:

$$W_{ро}(S) = K_{ро}. \quad (4.1)$$

Коефіцієнт передачі регулюючого органу знайдемо з витратної характеристики РО:

$$K_{ро} = \Delta Gk / \Delta u = 150 / 15,36 = 9,76 \text{ кг/с}^* \% x_{ро}.$$

Передавальна функція ВП:

$$W_{вп}(S) = K_{вп}. \quad (4.2)$$

Як вимірювальний перетворювач використовується «Сафір» - 2440 з вихідним сигналом 0-5 мА.

Максимальний вимірюваний діапазон зміни рівня живильної води – 1,4 м.

Тоді:

$$K_{un} = \Delta I / \Delta H_{\max} = 5 / 1,4 = 3,6 \text{ мА/м.}$$

Для регулятора рівня в деаераторі об'єкт по каналу  $Gk-H\delta$  описується наступною передавальною функцією:

$$W(S) = K\delta / [(T_{cm} * S) * S]. \quad (4.3)$$

$Gk-H\delta$

Побудуємо криву розгону деаератора по рівню.

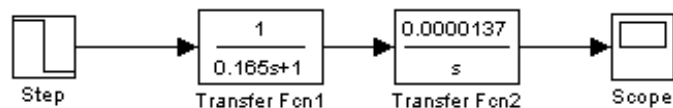


Рисунок 4.2 - Структурна схема об'єкту по каналу  $Gk-H\delta$

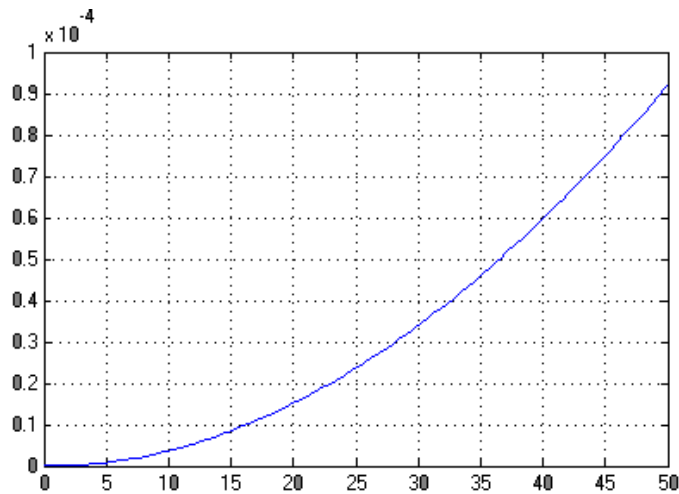


Рисунок 4.3 - Крива розгону об'єкту по каналу Gк-Нд

По кривій розгону визначимо коефіцієнт передачі об'єкту:

$$K_{об} = \Delta H \partial / \Delta t = 0,11 / 5 = 0,022 \text{ м/с};$$

$$T_{об} = 1 / K_{об} = 1 / 0,022 = 45,5 \text{ с};$$

$$\tau = 4 \text{ с.}$$

Підставимо значення у формули Копеловіча для знаходження настройок регулятора:

– для П-регулятора:

$$K_p = 0,7 / \tau * T = 0,7 / [ 4 / 45,5 ] = 8;$$

– для ПІ-регулятора:

$$K_p = 0,7 / \tau * T = 0,7 / [ 4 / 45,5 ] = 8;$$

$$T_i = 3 * \tau = 3 * 4 = 12 \text{ с.}$$



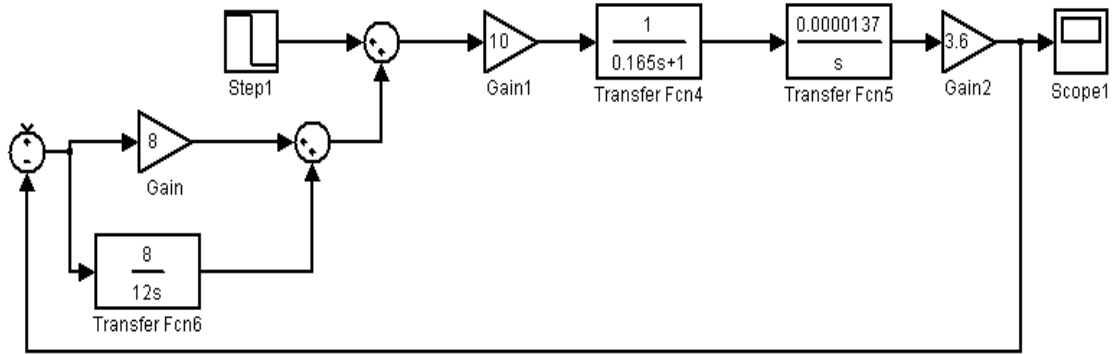


Рисунок 4.4 - Структурна схема замкнутої АСР  
рівня в деаэрації з ПІ-регулятором

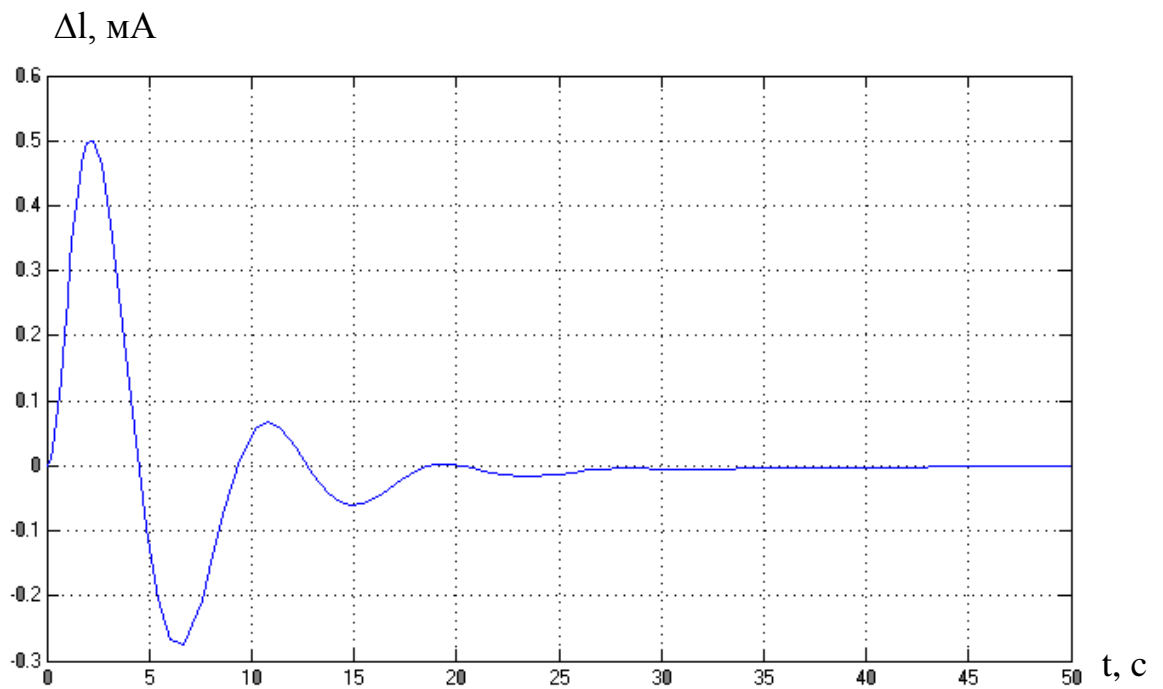


Рисунок 4.5 - Графік перехідного процесу  
регулювання

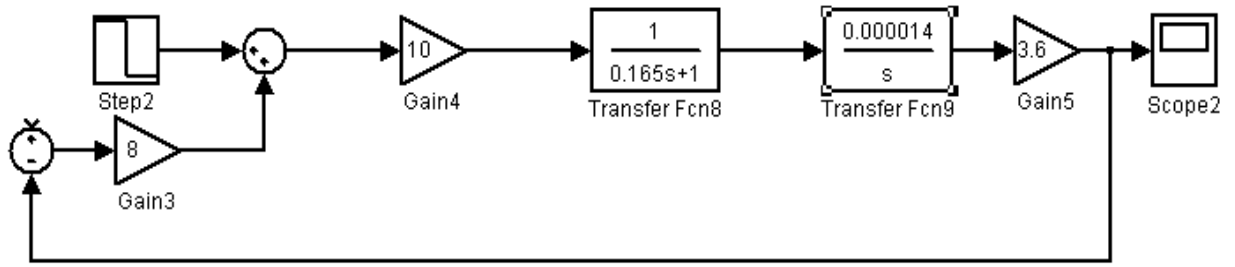


Рисунок 4.6 - Структурна схема замкнутої АСР  
рівня в деаэраторі з П-регулятором

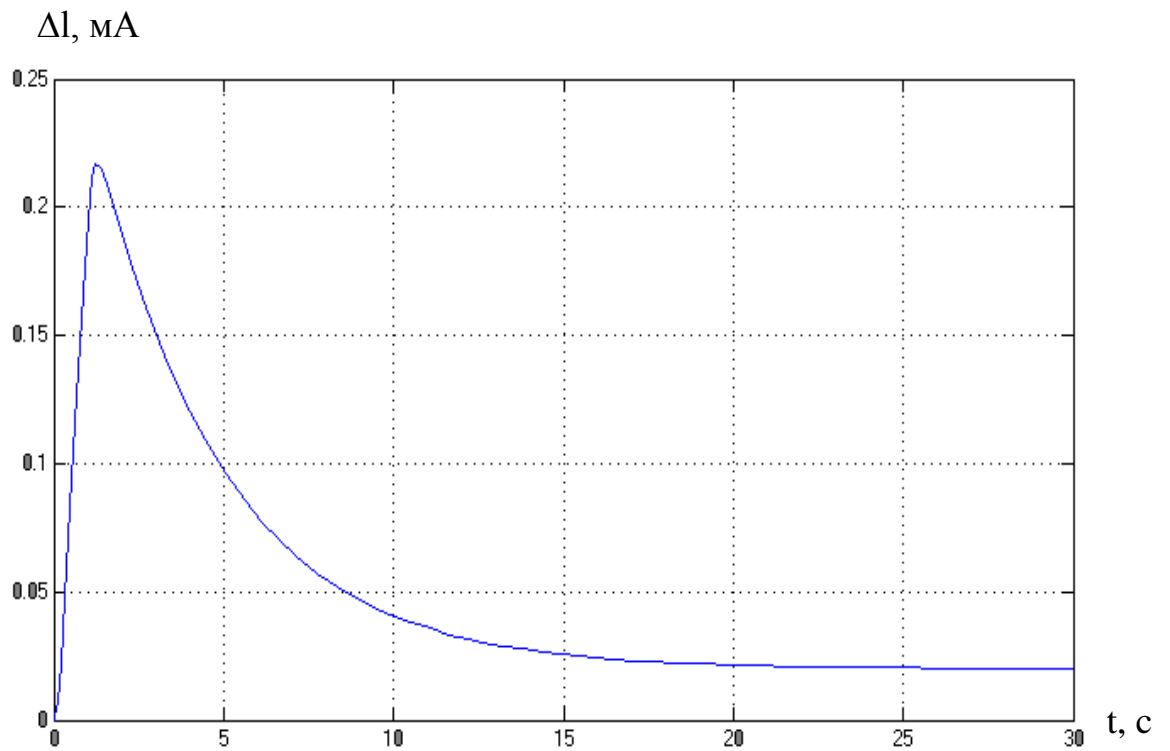


Рисунок 4.7 - Графік перехідного процесу  
регулювання

## 4.2 Вибір настройок регулятора тиску в деаераторі

Розглянемо АСР тиск в деаераторі. Регулюючою дією, як вже указувалося, є витрата пари  $D_p$ . Обурюючими діями на тиск пари є: витрата конденсату  $G_k$ , його температура  $T_k$  і тиск гріючої пари  $P_p$ .

Зміна тиску в паропроводі приводить до зміни витрати пари.

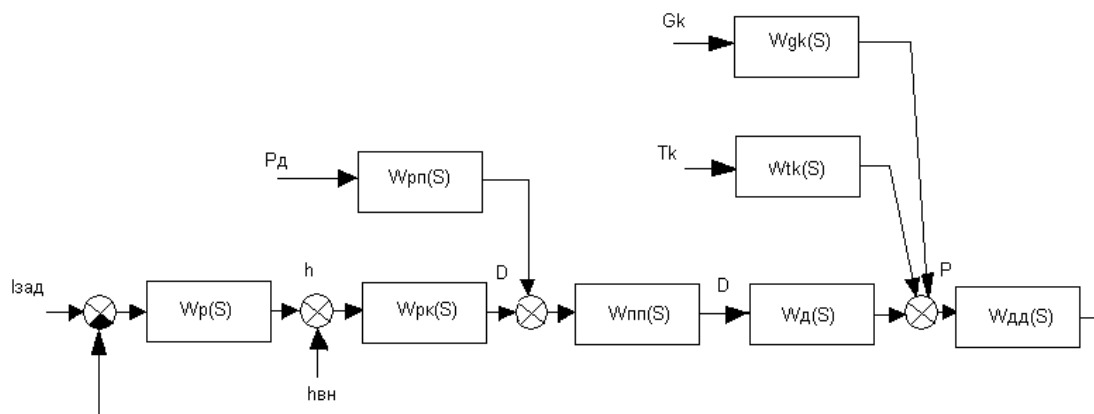


Рисунок 4.8 - Структурна схема АСР тиску в деаераторі

де  $W_p(S)$  – передавальна функція регулятора;

$W_{pk}(S)$  – передавальна функція РК;

$W_{пп}(S)$  – передавальна функція паропроводу;

$W_d(S)$  – передавальна функція деаератора по витраті пари;

$W_{дд}(S)$  – передавальна функція датчика тиску;

$W_{рп}(S)$  – передавальна функція РК по тиску пари;

$W_{gk}(S)$  – передавальна функція деаератора по витраті конденсату;

$W_{tk}(S)$  – передавальна функція по температурі конденсату.

Передавальна функція РК визначається по витратній характеристиці клапана:

$$K_{po} = \Delta G_k / \Delta u = 1,95 / 15 = 0,13 \text{ кг/с}^* \% X_{po}. \quad (4.4)$$

Виведемо передавальну функцію клапана по каналу тиску пари.

Витрата пари через РК визначається виразом:

$$D = \alpha_{кл} * S_{кл} * \sqrt{2 * \rho n (P_n - P_{\partial})} \quad (4.5)$$

Залежність витрати пари від тиску нелінійна. Після лінеаризації одержимо:

$$K_p = \alpha_{кл} * S_{кл} * \sqrt{\rho n} / \sqrt{2 * [P_n - P_{\partial}]} = 0,7 * 19,26 * \sqrt{3,125} / \sqrt{2 * (7 - 6)} = 18.$$

Передавальна функція ВП:

$$W_{un}(S) = K_{un}. \quad (4.6)$$

Як вимірювальний перетворювач використовується «Сапфір-22ДИ», 2151 з вихідним сигналом 0-5 мА.

Максимальний вимірюваний діапазон зміни тиску пари - 0,8 МПа.

Тоді:

$$K_{un} = \Delta I / \Delta H_{\max} = 5 / 0,8 = 6,25 \text{ мА/Мпа.}$$

Динаміка деаератора по всіх каналах описується передавальною функцією інерційної ланки 1-го порядку.

Оскільки регулюючий клапан встановлюється на паропроводі на деякій відстані від колонки деаератора, то ділянка паропроводу від РК до деаератора є динамічною ланкою з передавальною функцією  $W_{nn}(S)$ .

$$W_{nn}(S) = 1 / (TS + 1), \quad (4.7)$$

де

$$T = T_n * \alpha_l * \bar{D} / \bar{Pe}; \quad (4.8)$$

$$\alpha_l = 2 * K_l * D; \quad (4.9)$$

$$K_l = \left( \lambda * L / D_{\text{вв}} + \sum \xi_i \right) * \left( 1 / \left( 2 * 3,125 * 19,6^2 \right) \right) = \\ = (0,0295 * 20 / 0,05 + 1,8) * \left( 1 / \left( 2 * \rho_n * S_{nn}^2 \right) \right) = 0,009.$$

Тоді:

$$\alpha_l = 2 * 0,009 * 7,83 = 0,14 \text{ 1/м}^* \text{с};$$

$$T = 164 * 0,14 * 7,83 / 7 = 25,8 \text{ с.}$$

$$W_{nn}(S) = 1 / (25,8S + 1). \quad (4.10)$$

Побудуємо структурну схему об'єкту і збурюючим каналам.

По кривій розгону об'єкту визначимо  $T_{об}=6 \text{ с}$ ,  $\tau = 1 \text{ с}$ .

Підставимо ці значення у формули Копеловіча для знаходження настройок регулятора:

– для П-регулятора:

$$K_p = 0,7 / \tau * T = 0,7 / [ 1/6 ] = 4,2.$$

– для ПІ-регулятора:

$$K_p = 0,7 / \tau * T = 0,7 / [ 1/6 ] = 4,2;$$

$$T_i = 3 * 1 = 3 * 1 = 3 \text{ с.}$$

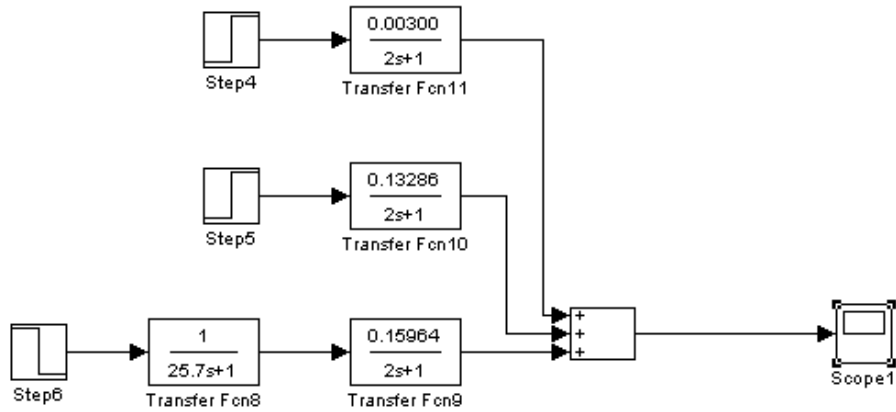


Рисунок 4.9 - Структурна схема об'єкта

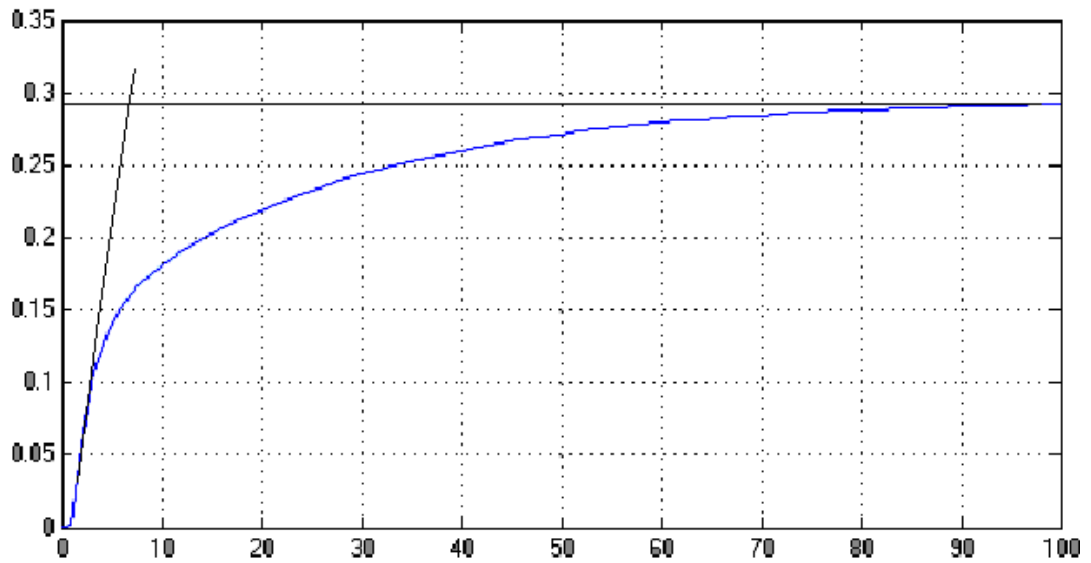


Рисунок 4.10 - Крива розгону об'єкту по каналу Гп-Рд

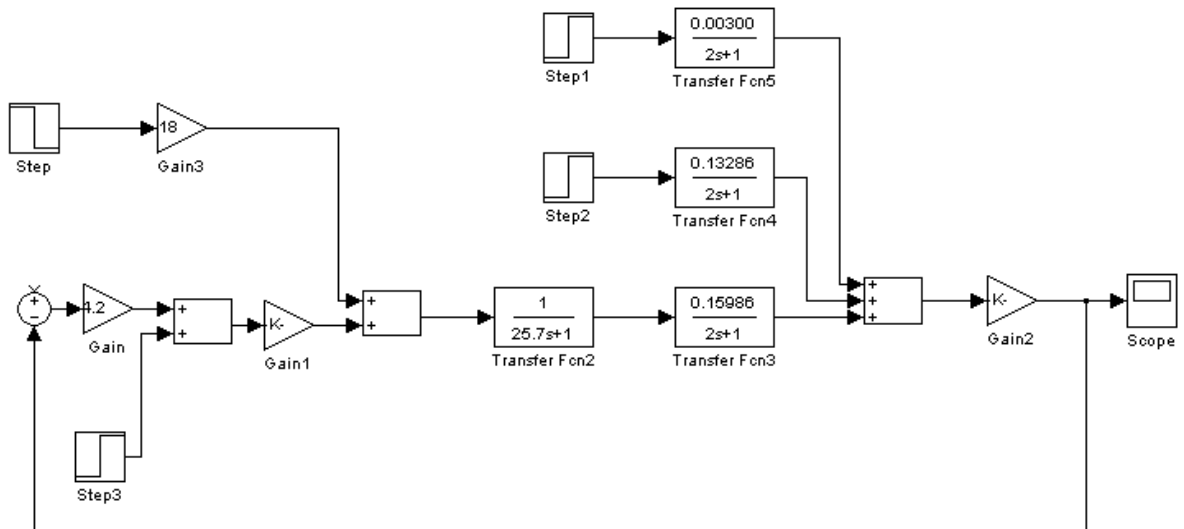


Рисунок 4.11 - Структурна схема замкнутої АСР тиску в деаeratorі з П-регулятором

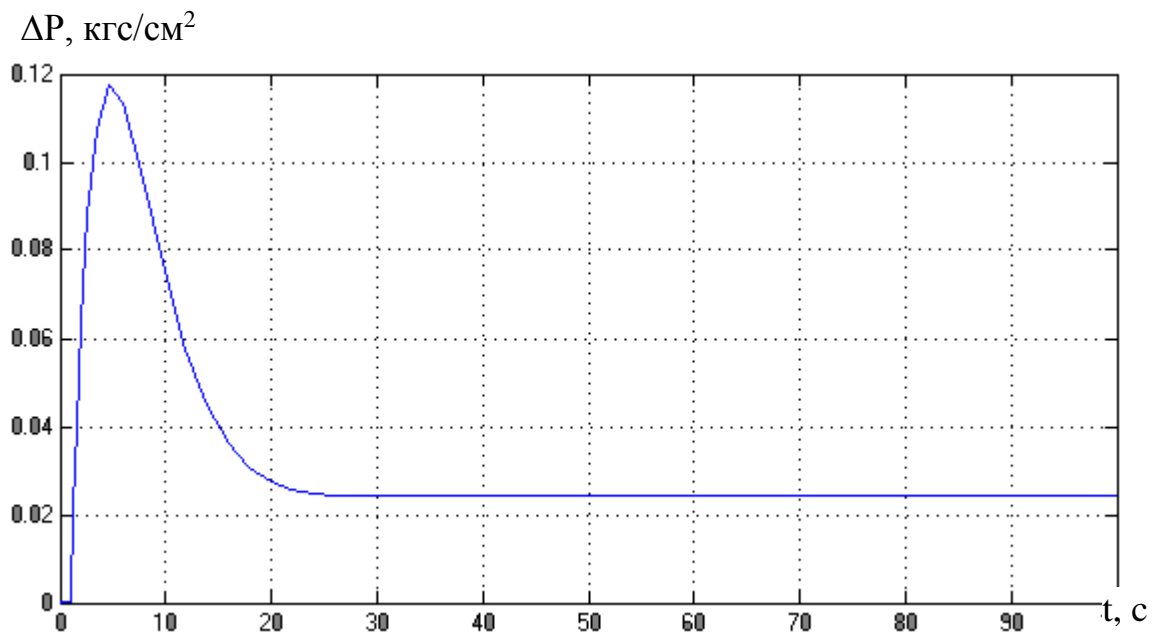


Рисунок 4.12- Графік перехідного процесу регулювання

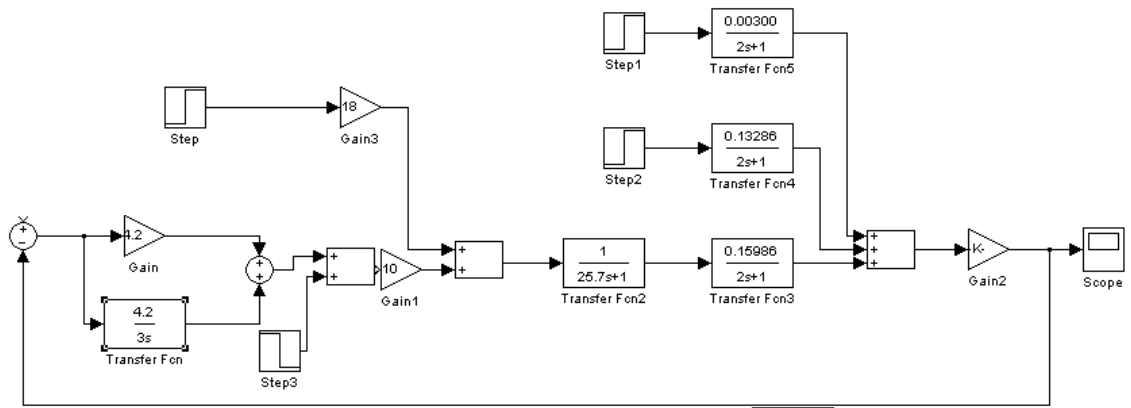


Рисунок 4.13 - Структурна схема замкнутої АСР тиску в деаераторі з ПІ-регулятором

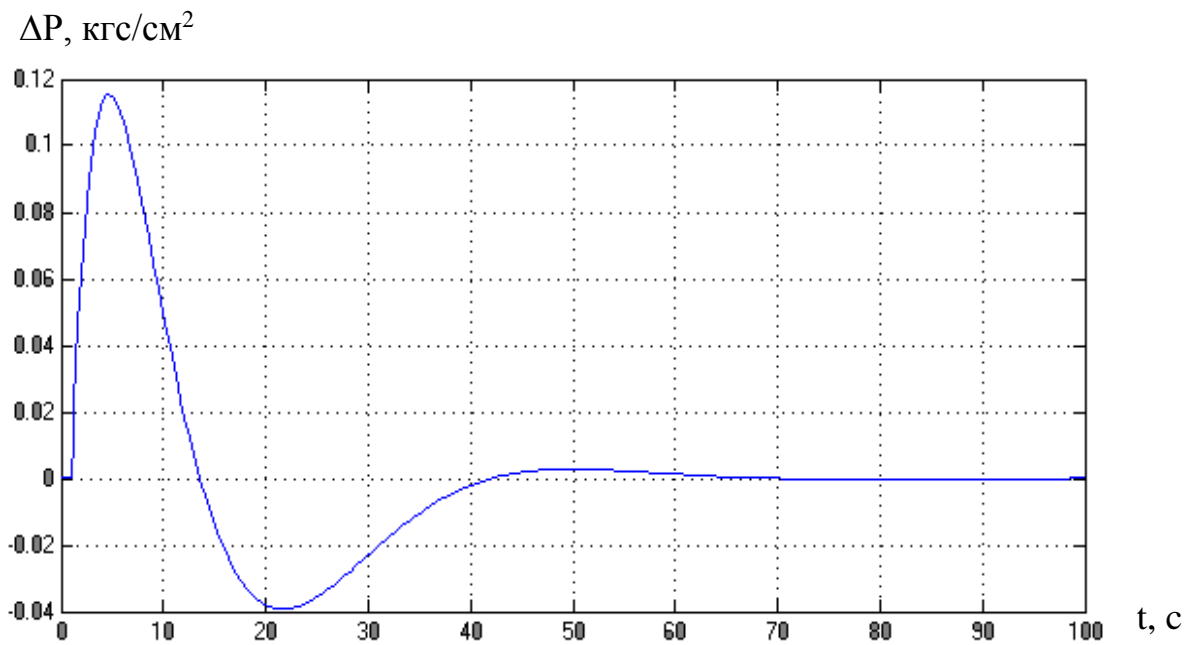


Рисунок 4.14 - Графік перехідного процесу регулювання



У рамках розглянутої математичної моделі були отримані криві розгону, в результаті обробки яких отримані передатні функції. Було визначено з графіку перехідного процесу регулювання рівня в деаераторі, що краще використати П-регулятор, ніж Пі-регулятор, тому що властивості деаератора по каналу «витрата конденсату – рівень» є астатичними, а інтегральна складова в законі регулювання може привести до структурної нестійкості системи. Використавши П-регулятор ми маємо невелике відхилення від номінального значення, яке не є проблемою, а наявність статичної помилки несуттєва для регулювання рівня в деаераторі (рисунок 4.5, 4.7).

Для регулювання тиску, як виявилось, краще застосовувати Пі-регулятор, тому що наявність статичної помилки неприпустима, оскільки, якщо тиск буде вищий за номінальне значення, то збільшиться температура кипіння суміші, відповідно, гази, розчинені у воді, гірше з неї видалятимуться. А якщо тиск буде нижчий, то кипіння води буде інтенсивніше і разом з газами випаровуватиметься частина живильної води, що збільшить її втрати. Крім того, можливе недогрівання живильної води і, відповідно, зниження економічності роботи деаераційно-живильної установки (рисунок 4.12, 4.14).

## 5 АНАЛІЗ ЯКОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ В ДЕАЕРАТОРІ

### 5.1 Основні показники надійності та якості безпечної експлуатації

Надійність - властивість конструкції, системи (елемента) зберігати в часі та в установлених межах значення усіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування.

Якість в умовах безпечної експлуатації енергоблоків і систем автоматичного регулювання будь якого об'єкту на пряму пов'язана з надійністю роботи цих систем. Надійність роботи - це властивість конструкції, системи (елемента) зберігати в часі та в установлених межах значення усіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування.

Основним показником надійності систем та елементів важливих для безпеки є відсутність відмов за загальними причинами, до них також відноситься відмова регулятора пов'язана з неадекватною поведінкою виконуючого механізму, його відмовою пов'язаною зі зривом важелів керування, або самовільне переміщення клапану без видимих на то причин. Для аналізу відмов роботі регулюючого клапану розглянемо технічні заключення експлуатації системи автоматичного регулювання рівня в деаераторі.

### 5.2 Аналіз відмов в роботі основного регулятора рівня в деаераторі

Опис умов виникнення, ліквідації відмови і її наслідків від 10.02.2019:

До виникнення відмови в роботі системи регулювання рівня в деаераторі в 07:32:00 на енергоблоці була потужність 976 МВт. Основний регулятор рівня в деаераторі RM50C01 підтримував рівень в деаераторі в межах 220 см

(відповідно до завдання 220 см з урахуванням зони нечутливості). За вказівниками положення РК основного регулятора RM50C01 був відкритий на 49%, пусковий RM53C01 - 38%.

Після видачі двох команд на «менше» (7:03:50) загальною тривалістю 0,6 с РК RM50C01 (РРД осн.) Відпрацював без зауважень. В 7:32:02 після видачі двох команд на «більше» РК RM50S01 почав переміщатися в бік закриття і надалі (в 7:32:09) при видачі серії імпульсів на «більше» продовжив закриватися.

При різниці показів поточного положення РК RM50S01 і модельованого більше 10% (в 7:32:14) сформувався сигнал «Невідповідність ВП». Через 1 с сформувався сигнал «RM50S01 несправний» і цей сигнал привів до спрацьовування сигналізації «Виклик до ПТК АСР ТВ». Це дозволило ВІУТ встановити аномальне відпрацювання РК RM50S01 керуючих імпульсів регулятора.

В 7:32:39 регулятор RM50C01 був автоматично відключений за кількістю односторонніх команд (понад 10) і невідпрацювання неузгодженості більш  $\pm 2\%$ . При відсутності команд на «більше» регулятора RM50C01 темп закриття РК RM50S01 збільшився. За фактом відключення основного РРД вступив в роботу пусковий РУД RM53C01. РК основного РРД RM50S01 в цей час продовжив закриття до 11% по ВП.

При вступі в роботу пускового РРД його РК RM53S01 безперервною командою від регулятора відкрився до 100%. При повному відкритті пускового РРД і закритті основного до 11% витрата основного конденсату зменшилася з 2000 т/год до 1370 т/год.

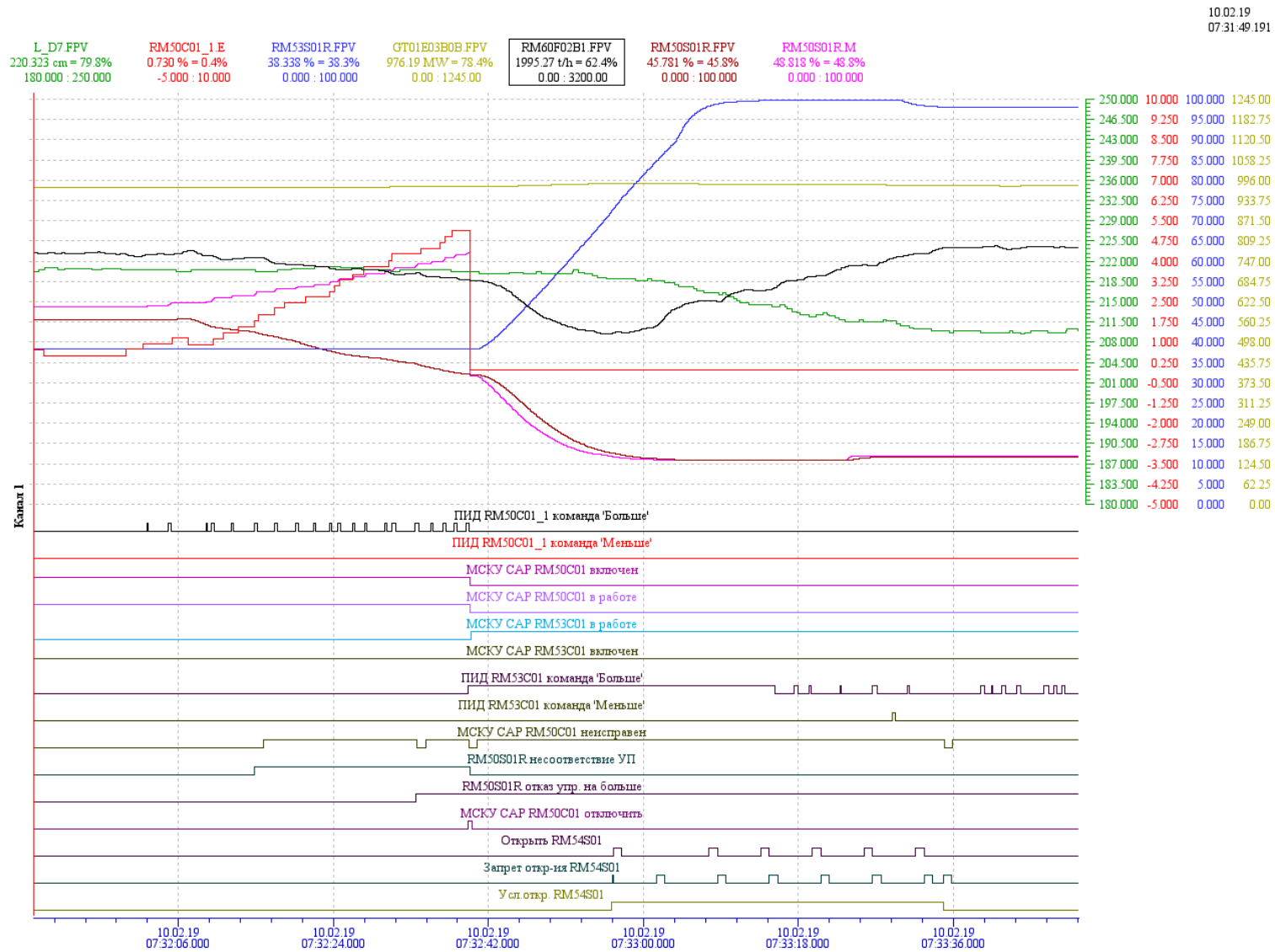


Рисунок 5.1 – Графік роботи системи автоматичного регулювання рівня в деаераторі 10.02.2019. Відмова роботи клапану основного регулятора рівня RM50S03

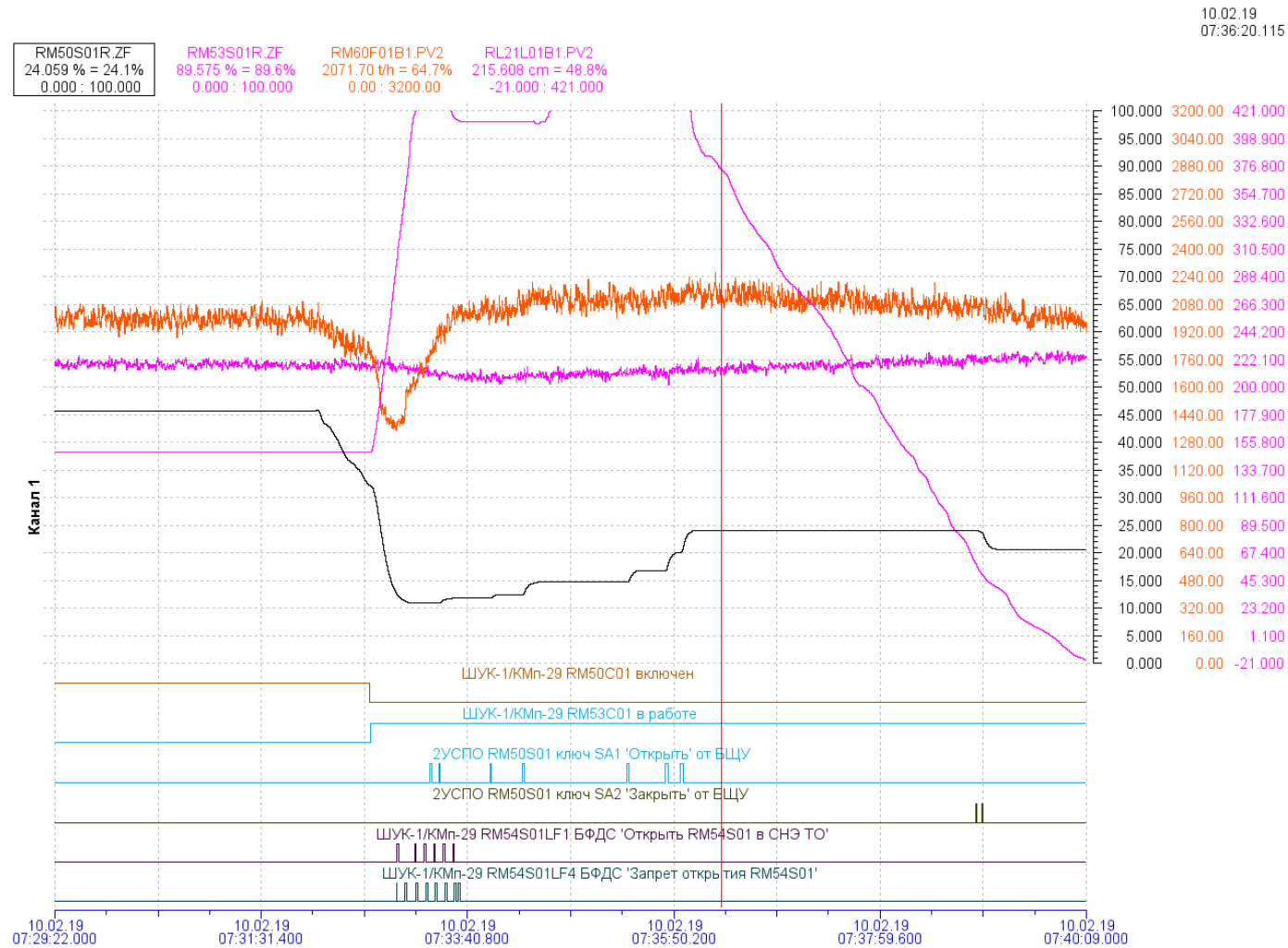


Рисунок 5.2 – Графік роботи системи автоматичного регулювання рівня в деаераторі 10.02.2019. Відмова роботи клапану основного регулятора рівня RM50S03. Команди дистанційного керування з БЩУ

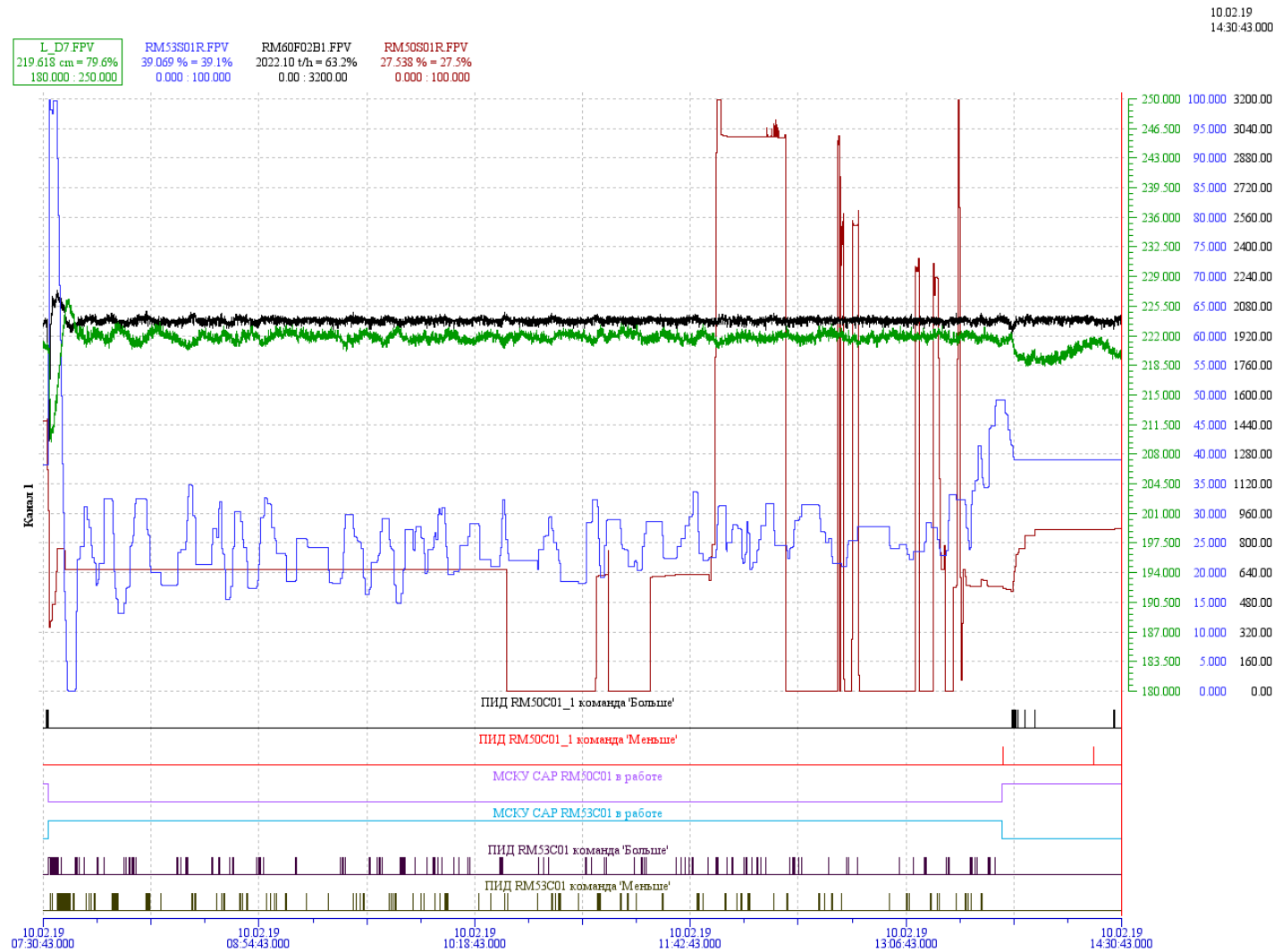


Рисунок 5.3 – Графік роботи системи автоматичного регулювання рівня в деаераторі 10.02.2019. Відмова роботи клапану основного регулятора рівня RM50S03. Постановка регулятора на «автомат» після ремонту ВМ

В 7:32:56 сформувалися умови відкриття засувки RM54S01:

- зменшення витрат основного конденсату на величину більше 300 т/год від значення, зафіксованого за 30 с до моменту початку формування умов для відключення основного РРД за фактом втрати управління ВМ в сторону відкриття (неузгодженість більше 10%, або перша команда на «більше»);

- положення пускового РРД RM53S01 більше 75% при справному ВП або РК відкритий по кінцевих вимикачах.

Засувка RM54S01 в 7:32:56 почала відкриватися в імпульсному режимі (перший хід тривалістю 5 секунд - пауза 5 секунд, далі 1 секунда ходу - пауза 5 секунд - відповідно до передбаченого алгоритма до формування умов заборони відкриття).

В 7:33:34 відкриття засувки RM54S01 припинилося за умовою:

- значення витрати основного конденсату більше зафіксованого за 30 с до моменту початку формування умов для відключення основного руд за фактом втрати управління ВМ в сторону відкриття

Після відновлення витрати конденсату після відкриття засувки RM54S01 ВІУТ вдалося відкрити регулюючий клапан основного РРД до 24%. При цьому пусковий РРД RM53C01 почав закривати свій РК RM53S01. Зміною положення РК RM50S01 шляхом дистанційного керування ВІУТ ввів в регульовальний діапазон пусковий РРД RM53C01.

Надалі підтримку рівня в деаераторі забезпечувалася за допомогою пускового регулятора RM53C01.

В 10:28:00 регулюючий клапан основного РРД був виведений в ремонт.

У 13 год 44 хв після проведення ремонту основний РРД RM50C01 включений автоматичний режим.

Порушення в роботі регулюючого клапана RM50S01 не пов'язані з роботою ПТК АСР ТВ. Робота системи автоматичного регулювання рівня в деаераторі відповідає проектному алгоритму.

Причина порушення в роботі:

Мимовільне закриття регулюючого клапана RM50S01 при видачі команд на відкриття від регулятора через несправність виконавчого механізму основного РРД.

Враховуючи те, що такі відмови основного регулятора підтримання рівня в деаераторі, через відмову керування регулюючого клапану мали непоодинокий характер, а також мали місце відбуватися 29.12.2018, 13.01.2019, можна зробити висновок, що вони мають системний характер і потребують конкретного рішення, щодо заміни регулюючого органу. (Технічні заключення за даними подіями надані в додатку В).

### 5.3 Основні причини відмов виконавчих механізмів

Основними причинами відмов виконавчих механізмів є несправності пов'язані з люфтами регулюючого органу. При використанні клапанів шиберного типу при подачі команд на регулятор відбувається переміщення РО за вказівником положення, але через присутність люфту зміна витрати основного конденсату відбувається з запізненням.

Наявність люфту у виконавчому механізмі, призводить до більшого динамічного закиду за рівнем і зниження якості регулювання.

При системному характері таких несправностей збільшується напрацювання регулюючого органу на відмову, зношуються механізми керування та сам клапан, що в подальшому призводить до відмови системи регулювання.

Робота виконавчого механізму з запізненням показана на рисунку 5.4



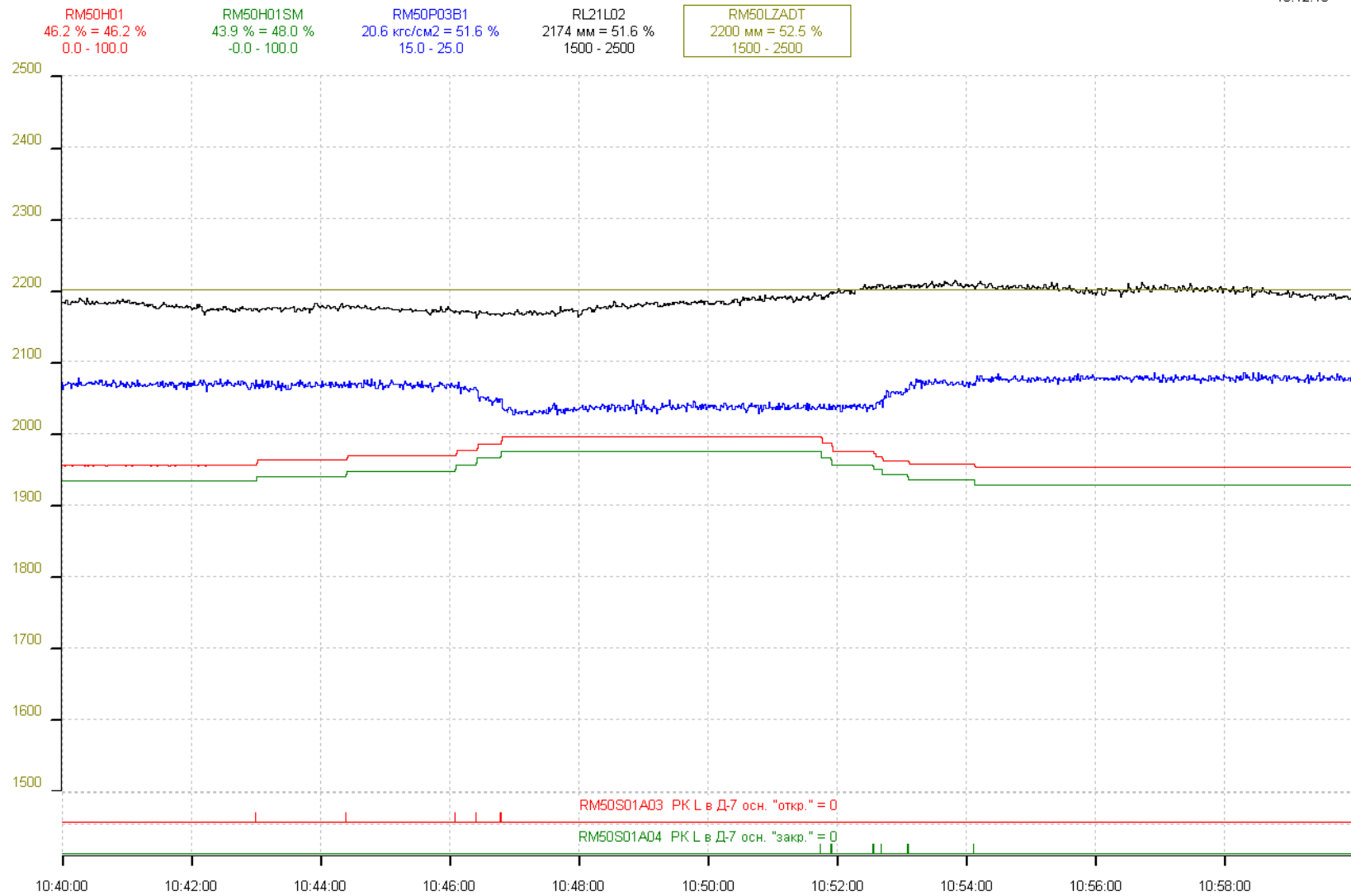
10:44:16.344  
13.12.18

Рисунок 5.4 - Робота виконавчого механізму RM50S01 з запізненням через люфт у клапані

Для вирішення проблеми збільшення коливальності системи регулювання рівня в деаeratorі потрібно провести розрахунки нового регулюючого органу і за витратними характеристиками підібрати клапан іншого типу, через моральне застаріння існуючого.

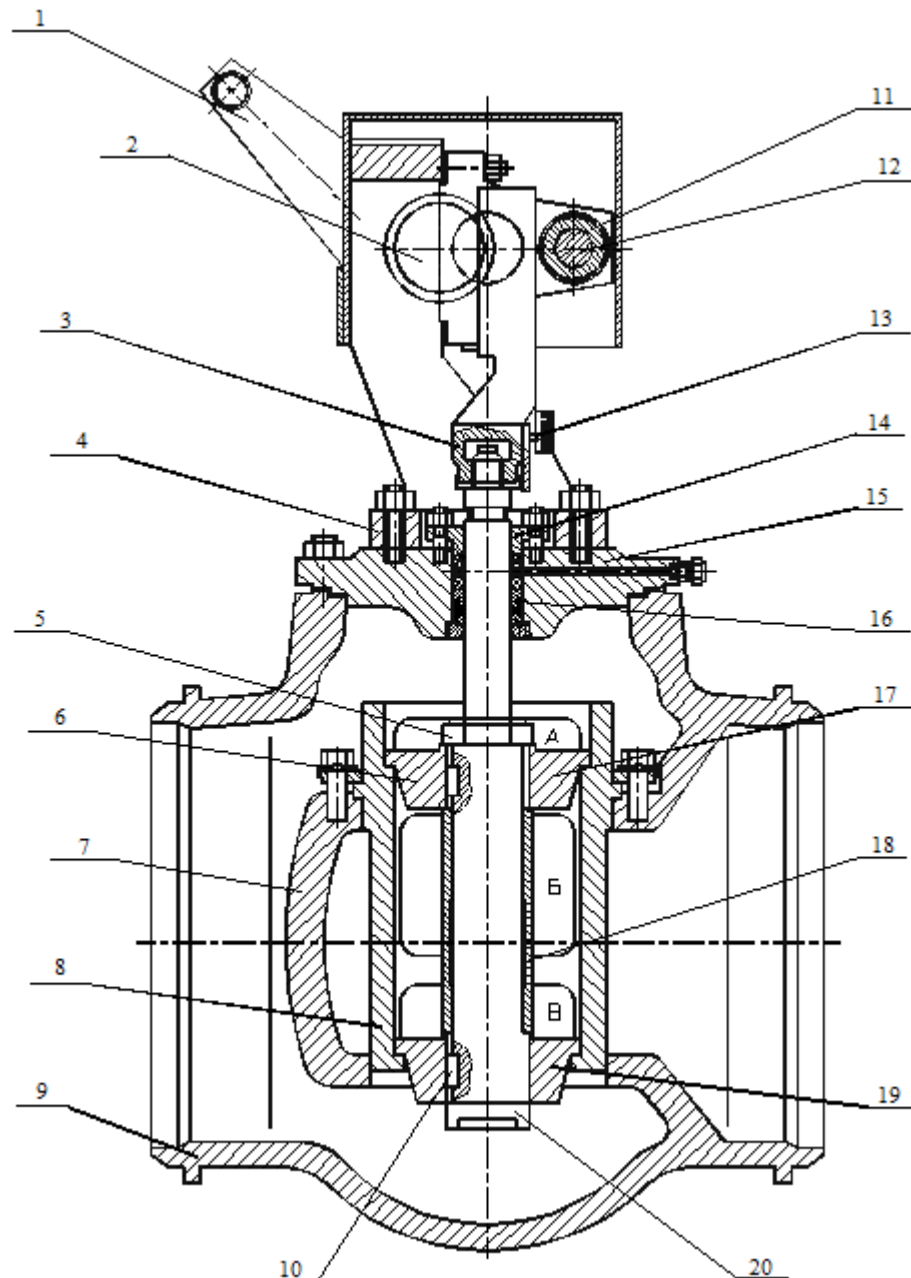
## 6 РОЗРАХУНОК РЕГУЛЮЮЧОГО ОРГАНУ

### 6.1 Регулюючий клапан рівня в деаераторі (основний)

Конструктивне виконання регулюючого клапана рівня в деаераторі (основного) RM50S01 представлено на рисунок 6.1.

Регулюючий клапан складається із зварного корпусу, кришки і кронштейна. В корпусі запресовано сідло з вікнами А, Б, В і двома поясочками запорів. Вікно А сполучено з порожниною підведення основного конденсату до регулюючого клапана. Вікна Б і В сполучені з порожниною відведення основного конденсату з регулюючого клапана. Усередині сідла розміщено два клапани одночасно прилеглих до поясочків запорів. Клапани за допомогою шпонок, дистанціонуючої втулки і гайки закріплені на штоку. Шток сполучений із зубчатою рейкою, яка входить в зачеплення з шестернею. Зубчата рейка спирається на барабан, який встановлений на вісь. Шестерня приводиться в рух через систему важелів за допомогою електродвигуна. Ущільнення штока в корпусі проводиться за допомогою притискної втулки і сальникового набивання. Переміщення клапанів контролюється по покажчику, розміщеному на зубчатій рейці, і лінійці, розміщеній на кронштейні.

Принцип роботи регулюючого клапана наступний. При зміні рівня в конденсаторі включається в роботу електропривод регулюючого клапана і через систему важелів приводить в рух шестерню. Шестерня приводить в рух зубчатую рейку, яка жорстко сполучена з штоком. Шток, рухаючись, переміщає закріплені на ньому клапана, які змінюють зазор між поясочками запорів і клапанами. Зміна цього зазора приводить до зміни витрати основного конденсату, що проходить через регулюючий клапан. Зміна витрати основного конденсату приводить до зміни рівня в деаераторі. Повний хід регулюючого клапана складає 90 мм.



1 - важіль; 2 – шестерня; 3 – рейка зубчаста; 4 – кронштейн; 5 – гайка; 6 – клапан верхній; 7 – ковпак розподільний; 8 – сідло; 9 – корпус; 10 – шпонка; 11 – барабан; 12 – вісь; 13 – вказівник положення; 14 – втулка прижимна; 15 – кришка; 16 – сальникова набивка; 17 – запірний пояс; 18 – втулка дистанційуюча; 19 - нижній клапан; 20 – шток.

Рисунок 6.1 - Клапан регулюючий ДН600 RM50S01

Надійність підтримки рівня в деаераторі Д-7 ата регулюючим клапаном RM50S01 плунжерного двохсідельного типу Б 528-08 СБ DN600 виробництва

ВАТ «Турбоатом» низька через конструктивні недоліки, що призводять до неякісного регулювання в перехідних режимах, а також до мимовільного переміщення (закриття) регулюючого органу при переводі РРД в дистанційний режим управління.

### 6.2 Регулюючий клапан рівня в деаераторі (пусковий)

Клапан, регулюючий Ду-250 серії 810 шибєрного типу, призначений для регулювання рівня в деаераторі в пускових режимах (рисунок 6.2).

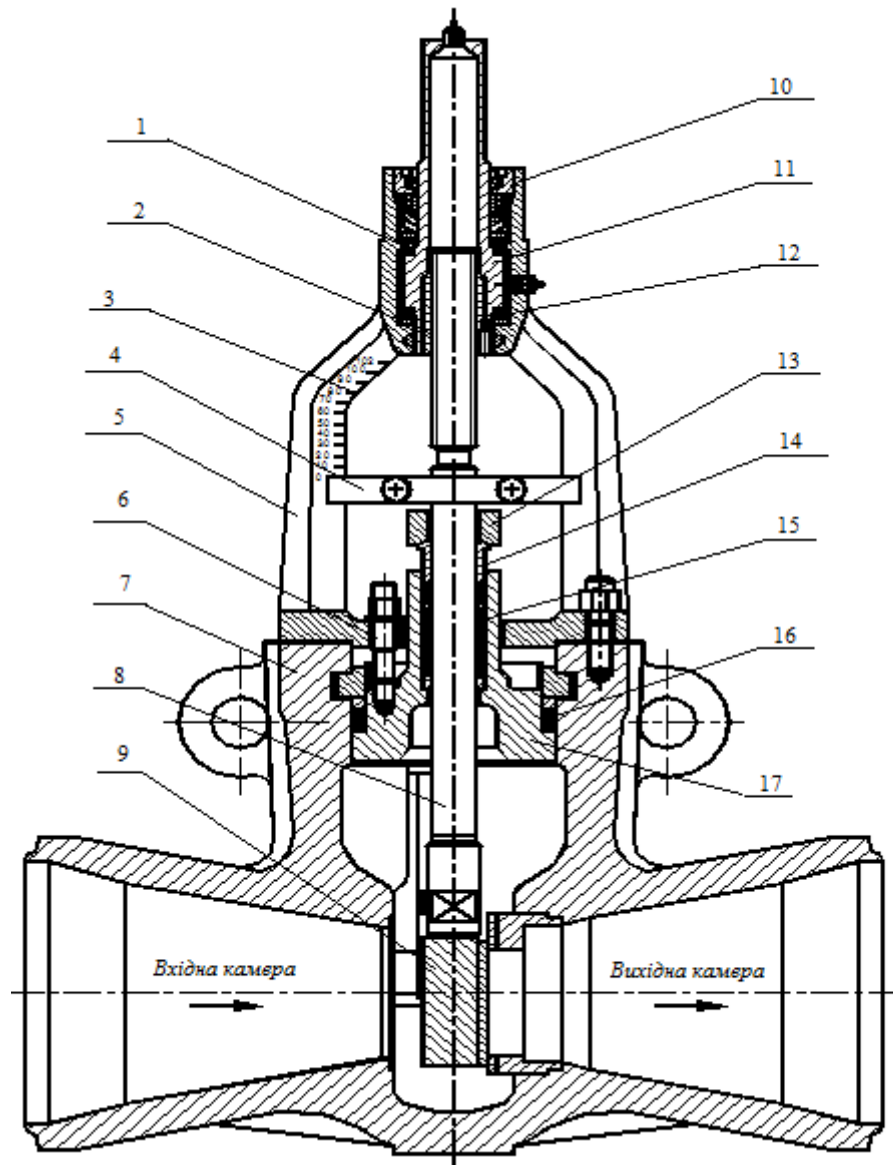
Електродвигун через черв'ячну передачу приводить в обертальний рух втулку бугеля. Втулка бугеля через трапецієдалне різьблення передає обертальний рух в поступальну ходу штока. На штоку закріплений повзун, який перешкоджає обертальному руху штока, забезпечуючи його поступальну ходу. Повзун одночасно є показчиком положення регулюючого органу, пересуваючись під час роботи уздовж шкали, нанесеної на бугелі. На кінці штока закріплений шибєр, яким регулюється витрата основного конденсату.

### 6.3 Розрахунок регулюючого органу

Вхідні дані:

- максимальна витрата води –  $M_{\text{макс}} = 2000$  т/год;
- мінімальна витрата води –  $M_{\text{мін}} = 1088$  т/год;
- тиск в магістралі –  $P_{\text{м}} = P_1 = 1.79$  МПа;
- тиск в деаераторі –  $P_{\text{д}} = P_2 = 0.67$  МПа;
- температура води –  $T = 433$  К;
- внутрішній діаметр паропроводу –  $D = 700$  мм;
- довжина паропроводу –  $L = 50$  м;
- динамічна в'язкість пари –  $\nu = 0.1$  Па\*с;
- густина води –  $\rho_{\text{в1}} = 837,8$  кг/м<sup>3</sup>;

- повороти під прямим кутом – 5 з радіусом вигину 0,7 м;
- запірні заслінки – 4;
- середня частота виступів паропроводу –  $e = 0,1$ .



1 – підшипник радіальний; 2 – втулка різьбова; 3 – шкала; 4 – повзун; 5 – бугель; 6 – шпилька; 7 – корпус; 8 – шток; 9 – шибер; 10 – упорне кільце; 11 – втулка шпинделя; 12 – підшипник упорний; 13 – планка нажимна; 14 – ґрундбуksа; 15, 16 – сальникова набивка; 17 – кришка самоущільнювальна.

Рисунок 6.2 - Клапан регулюючий Ду250 серії 810 RM53S01

Швидкість потоку пари  $\omega$  при  $M_{\text{макс}}$ :

$$\omega = \frac{4 * M_{\text{макс}}}{\rho_{\text{п}} * D^2 * \pi} = \frac{4 * 2000 * 1000}{3600 * 837,8 * 0,700^2 * 3,14} = 1,73 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega * D * \rho_{\text{п}}}{\nu} = \frac{1,73 * 0,700 * 837,8}{0,1} = 10145,758.$$

Визначаємо коефіцієнт  $\lambda$  для  $\text{Re} > 2320$ :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \lg \left[ \frac{e}{3,7} + \left( \frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right] = -2 * \lg \left[ \frac{0,1}{3,7} + \left( \frac{6,81}{10145,758} \right)^{0,9} \right] = 3,01;$$

$$\lambda = 0,11.$$

Втрати тиску на прямих ділянках трубопроводу:

$$\Delta P_{\text{пр}} = \frac{\lambda * \rho_{\text{п}} * L * \omega^2}{2 * D} = \frac{0,11 * 837,8 * 50 * 1,73^2}{2 * 0,700} = 9,85 \text{ кПа}.$$

Коефіцієнт місцевих опорів:

$$\Sigma \zeta = 1,5 + 5 * 0,6 + 2 * 0,15 = 4,8.$$

Втрати тиску в місцевих опорах:

$$\Delta P_{\text{м}} = \frac{\Sigma \zeta * \rho_{\text{п}} * \omega^2}{2} = \frac{4,8 * 837,8 * 1,73^2}{2} = 6,02 \text{ кПа}.$$

Втрати тиску в лінії:

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{пр}} + \Delta P_{\text{м}} = 9,85 + 6,02 = 15,87 \text{ кПа.}$$

Перепад тиску на регулюючому органі:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}} &= P_1 - P_2 - \Delta P_{\text{л}} - \rho_{\text{п}} * g * h = \\ &= 1.79 - 0.28 - 15,87 * 10^{-3} - 837,8 * 9.8 * 10 * 10^{-6} = 1,41 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Так як  $\Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}} < 0.5 * P_1$ , коефіцієнт пропускної здатності розраховується за формулою:

$$K_{\text{вмакс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{33 * \rho_{\text{п1}}} \sqrt{\frac{1}{\rho_{\text{п2}} * \Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}} * 10.2}} = \frac{2000000}{33 * 837,8} \sqrt{\frac{1}{0.67 * 1,41 * 10.2}} = 23,3 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Умовна пропускна здатність:

$$K_{\text{vy}} = 1.2 * K_{\text{вмакс}} = 1.2 * 23,3 = 27,96 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Визначаємо відношення n:

$$n = \frac{\Delta P_{\text{л}}}{\Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}}} = \frac{2,87}{1,41} \approx 2.$$

Максимальна витрата для вибраного РО:

$$M'_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}} * K_{\text{vy}}}{K_{\text{вмакс}}} = \frac{2000000 * 27,96}{23,3} = 2400000 \text{ кг/год.}$$

Відносні значення витрат:



$$\varphi_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M'_{\text{макс}}} = \frac{2000000}{2400000} = 0.83;$$

$$\varphi_{\text{мін}} = \frac{0.3 \cdot M_{\text{макс}}}{M'_{\text{макс}}} = \frac{0.3 \cdot 2000000}{2400000} = 0.25.$$

Враховуючи значення відношення  $n$ , отримуємо витратну характеристику.

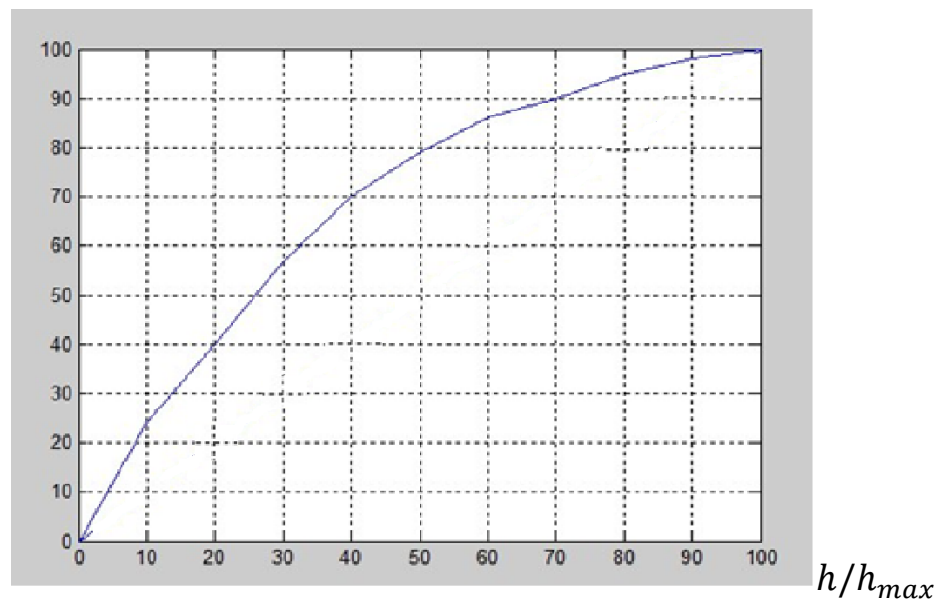


Рисунок 6.3 – витратна характеристика РО

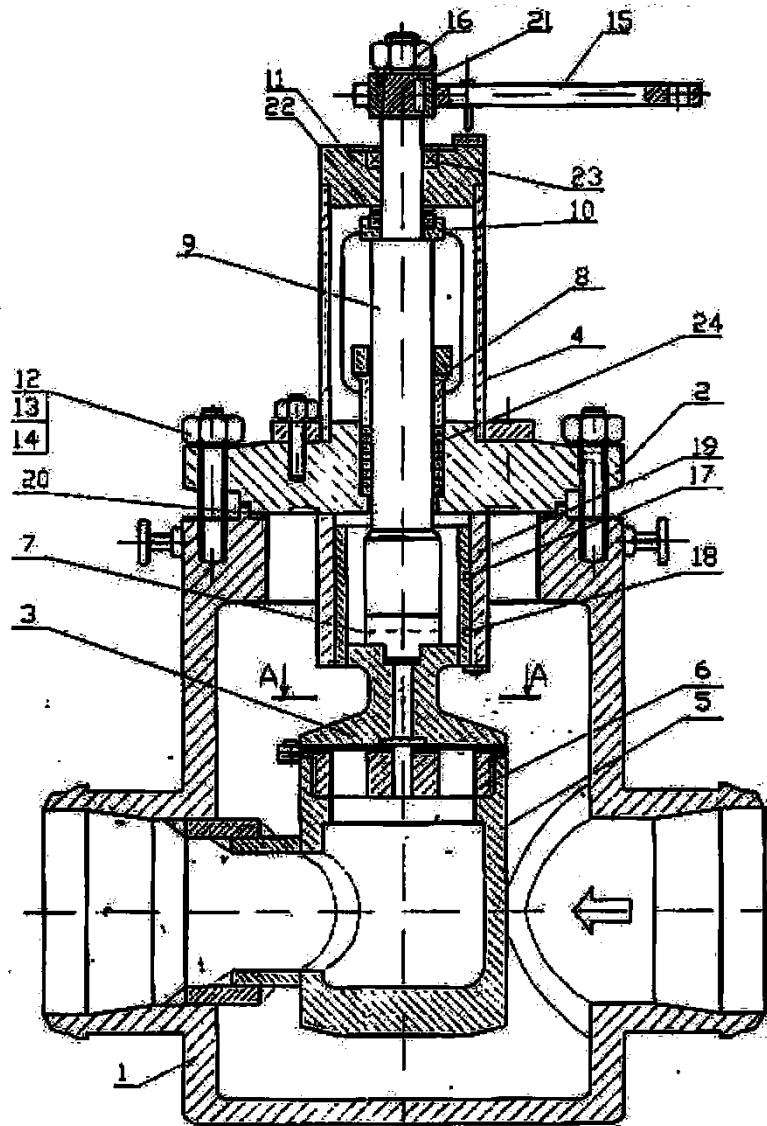
#### 6.4 Вибір регулюючого клапану для заміни пускового клапану регулятора рівня в деаераторі

Для заміни пускового клапану регулятора рівня в деаераторі основного RM50S01 для отриманих витратних характеристик регулюючий клапан більш надійної конструкції типу «Диск» DN700 НОМ-K0026.700.040-01 А-Э<sup>а</sup>, УЗ з електроприводом типу МЕОФ-1600/25-0,25У-01КА потужністю 320 Вт для установки безпосередньо на клапані, ТУ У 29.1-39785896-001:2015 Зм. 1.

Таблиця 6.1 - Технічна характеристика регулюючого клапана  
НОМ-К0026.700.040-01 А-Э<sup>а</sup>

Найменування	Значення
Тип клапана	НОМ-К0026.700.040-01.А-Э <sup>а</sup> , УЗ
Номинальна витрата, $G_{НОМ}$ , т/ГОД	3581,73
Перепад тиску на клапані, $\Delta P_{p\text{omin}}$ , МПа	0,69
Розрахунковий коефіцієнт пропускної здатності, $K'v_{\text{max}}$ , м <sup>3</sup> /ГОД	1788,2
Пропускна здатність, $K_{vy}$ , м <sup>3</sup> /ГОД	2500 м <sup>3</sup> /ГОД
Розрахунковий тиск, МПа	4,0
Температура робочого середовища °С, не більше	250
Матеріал корпусу	сталь 20
Діаметр розточки, мм	678 <sup>+0,97</sup>
Маса (без привода), не більше, кг	1550
Довжина, мм	1300
Тип електропривода	МЭОФ-1600/25-0,25У-01 КА
Максимальний крутний момент, Н*м	1600
Потужність електроприводу, Вт	320

Очікуваним результатом заміни регулюючого клапана RM50S01 рівня живильної води в деаератори на регулюючий клапан типу «Диск» і установки регулюючого клапана RM54S02 типу «Диск» на байпасі РРД на енергоблоці №1 ВП «ЗАЕС» є підвищення надійності роботи системи основного конденсату.



- 1 – корпус; 2 – кришка; 3- золотник; 4 – бугель; 5 – стакан; 6 – сідло;  
 7 – муфта; 8 – грунбуksа; 9 – шпindelь; 10 – корпус підшипника нижній;  
 11 – корпус підшипника верхній; 12- шпилька; 13- гайка; 14 – шайба;  
 15 – важіль; 16 – гайка; 17 – кільце розрізне; 18 - кільце установче;  
 19 – розвантажувальна камера; 20 – прокладка; 21 – шпонка;  
 22 – підшипник упорний; 23 – підшипник опорний; 24 набивка

Рисунок 6.4 – Регулюючий клапан типу «Диск» DN700

НОМ-К0026.700.040-01 А-Э<sup>а</sup>

Метою заходу є:

- підвищення надійної роботи регулюючого клапана рівня живильної води в баках-акумуляторах деаераторів;
- забезпечення безвідмовної роботи в режимі автоматичного регулювання при нормальній експлуатації енергоблоку і в перехідних режимах;
- підвищення надійної роботи систем основного конденсату і живильної води, а також турбінного обладнання в цілому.

В результаті використання регулюючих клапанів сучасного типу «Диск» НОМ-К0026.700.040-01 А-Э<sup>а</sup> електроспоживання знижується.

Аналогічні роботи по заміні плунжерних регулюючих клапанів типу Б 528-08СБ на регулюючі клапани типу «Диск» виконано на енергоблоці №3 ВП РАЕС, енергоблоках № 1,2 ВП ХАЕС. У період промислової експлуатації дискових регулюючих клапанів типу «Диск» підтверджена їх експлуатаційна надійність і незаперечні конструктивні переваги перед регулюючими клапанами плунжерного типу.

Графіки результатів роботи автоматичного регулювання рівня в деаераторі після заміни на регулюючі клапани типу «Диск» показано на рисунку 6.5.

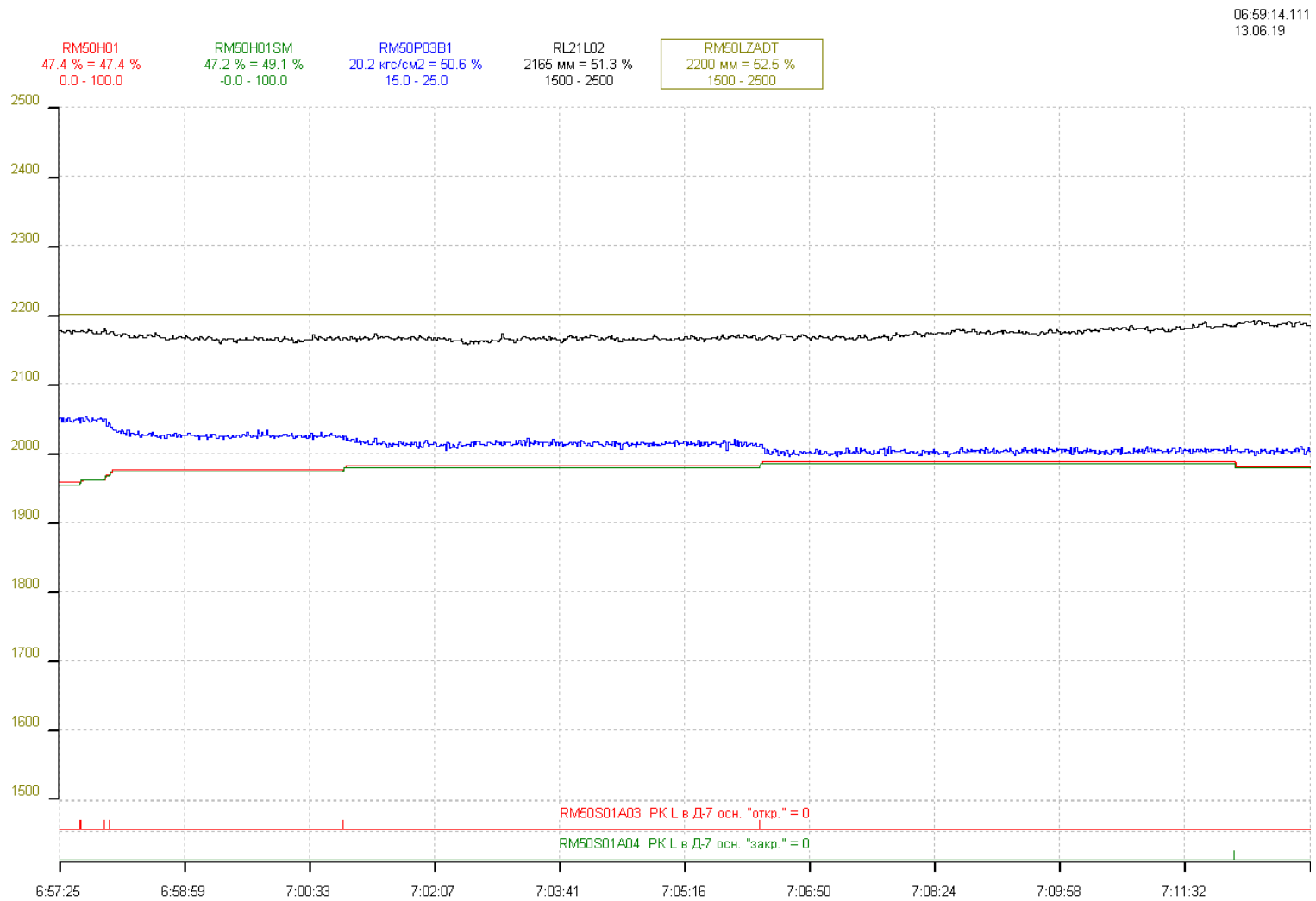


Рисунок 6.5 - Графіки результатів роботи автоматичного регулювання рівня в деаераторі після заміни на регулюючі клапани типу «Диск»

## 7 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 7.1 Вибір технічних засобів автоматизації

Об'єктом модернізації є обладнання системи автоматизації деаератора реалізоване на базі технічних засобів існуючого комплексу АСКТ-1000М, який має багато недоліків.

В існуючому ПТК АСКТ-1000М реалізовані наступні підсистеми управління:

- автоматизовані системи регулювання турбінного устаткування;
- дистанційне керування засувками, які регулюють клапанами з реалізацією блокувань;
- автоматизоване програмне логічне керування пуском і зупинкою (в обсязі АСР).
- автоматизована система регулювання турбіни.

Склад обладнання ПТК АСУТ-1000М на енергоблоці №1 представлений в наступному вигляді:

- стійок керуючого обчислювального комплексу КВК-04 (7 шт.);
- стійок інформаційно-розподільчої системи ІРС-М (2 шт.);
- стійки системи регулювання турбіни СРТ-02 (1 шт.);
- стійок електроживлення ЕП-03 (7 шт.);
- стійки електроживлення ЕП-М (1 шт.);
- стійок узгодження вхідних сигналів СВС (2 шт.);
- шафи розподілу живлення РП (1 шт.);
- панелі управління і індикації Л20 (1шт.).

В якості компонентів ПТК АСКТ-1000М, що виконують інформаційні і сер-висне функції, організовані автоматизовані робочі місця (АРМ).

Основними недоліками існуючої системи є:

- для введення сигналів про стан виконавчих механізмів в складі апаратури передбачені СВС, які перетворюють сигнали положення ВМ рівнем  $\sim 220$  В в напругу постійного струму 24 В для подальшої передачі в стійки НВК-04;

- у стійках НВК-04 відсутня можливість управління ВМ безпосередньо за місцем установки апаратури від кнопок управління, тому що в якості блоків управління ВМ використовуються програмні стандартні модулі;

- при виконанні робіт з усунення несправностей в електронній частині АСУТ-1000М потрібно відключення живлення каналу апаратури, в якому виявлено несправність для заміни несправного субблока. При можливій наявності прихованих дефектів, невиявлених системою діагностики, при трьохканальній побудові апаратури, це може викликати відмову виконання функцій;

- апаратура електронної частини АСУТ-1000М побудована на елементній базі 80-х років з низьким ступенем інтеграції. В результаті чого, в апаратурі використовується велика кількість різновидів субблоків, які вимагають формування великої кількості номіналів напруг живлення. Для здійснення перевірок широкої номенклатури використовуваних субблоків при проведенні регламентних робіт потрібно застосування великої кількості різновидів регламентної апаратури;

- циклічність обробки вхідної дискретної інформації становить 0,1 с, аналогової – 1 с, Рішення завдань регулювання та керування - 1 с. Дискретність обробки вхідних аналогових сигналів 1 с в системах регулювання з використанням регулюючих клапанів з малим часом переміщення регулюючого органу ускладнює реалізацію параметрів настройки регуляторів.

Заміна обладнання АСУТ-1000М на нове модифіковане обладнання передбачається з метою:

- збільшення безпеки і надійності виконуваних функцій

автоматизованою системою регулювання і управління за рахунок використання сучасних технічних і програмних засобів, що мають більш високі технічні та експлуатаційні можливості;

- заміна морально і фізично застарілого, який виробив ресурс і знятого з виробництва обладнання автоматизації;

- вдосконалення структури і номенклатури технічних засобів автоматизації з метою підвищення надійності і безпечної експлуатації відповідно до вимог чинної нормативної документації і енергоблоку в цілому.

- застосування сублоків, що спрощує експлуатацію апаратури при виконанні робіт з ремонту і технічного обслуговування;

- підвищення якості інформаційного забезпечення оперативного і ремонтного персоналу. В апаратурі АСКТ-1000М існують обмеження за обсягами інформації для відображення і реєстрації в системі верхнього рівня;

- підвищення технічного рівня експлуатації;

- поліпшення умов і культури праці обслуговуючого персоналу;

- приведення у відповідність до вимог норм, правил і стандартів з ЯРБ України.

- забезпечення терміну служби керуючого комплексу відповідно з рештою строком експлуатації енергоблоку.

Для модернізації існуючого обладнання пропонується виконати заміною обладнання на опробовані в інших системах технічних засобів виготовлених ПРАТ «СНВО «Імпульс» м. Северодонецьк на базі програмно-технічного комплексу автоматизованої системи регулювання турбінним відділенням.



## 7.2 Програмно-технічний комплекс автоматизованої системи регулювання турбінного відділення

### Призначення ПТК АСР ТВ

ПТК АСР ТВ призначений для автоматизації управління обладнанням другого контуру водо-водяного енергетичного реактора ВВЕР-1000.

ПТК АСР ТВ виконує функції автоматичного управління і багатозв'язаного регулювання технологічних параметрів другого контуру шляхом виконання наступних основних функцій:

а) прийому і первинної обробки аналогової інформації від вимірювальних перетворювачів технологічних параметрів і стану регулюючих клапанів;

б) прийому дискретних сигналів стану виконавчих механізмів (далі - ВМ), технологічного обладнання, захистів беруть участь в алгоритмах блокувань і автоматичного регулювання;

в) автоматичного регулювання технологічних параметрів в різних режимах роботи технологічного обладнання;

г) дистанційного керування ВМ за командою оператора;

д) функціонально-групового управління технологічними процесами в сле-дмуть режимах:

1) підключення підігрівачів високого тиску за парою;

2) режим відключення групи ПВТ за парою;

е) виконання блокувальних дій:

1) блокувань регуляторів (переклад регуляторів в "стерегущий" режим, відключення регуляторів);

2) блокувань регулюючих клапанів (примусове відкриття (закриття) РК з заборонаю закриття (відкриття)).

У ПТК АСР ТВ реалізовані наступні інформаційні функції:

- по формуванню та видачі інформації про роботу задач автоматичного керування і регулювання на ІС САР і РМ САР;
  - по формуванню та видачі інформації про стан системи діагностики компонентів ПТК АСР ТВ на СДА;
  - по формуванню та видачі інформації про стан блокувань регуляторів і ВМ на ІС САР і РМ САР;
  - по формуванню викличної сигналізації з індикацією табло на панелі НУ26, 27 БЩУ;
  - по формуванню та видачі інформації про відмови ВМ, ВП на ІС САР і РМ САР (при первинній обробці вхідної інформації);
  - індикації стану ВМ на мнемосхемі.
- Крім цього ПТК АСР ТВ здійснює:
- підготовку і передачу в УОС енергоблоку даних про значеннях технологічних параметрів, стан блокувань і ВМ;
  - візуалізацію і архівування даних про значення технологічних параметрів, стані ВМ, блокувань, і ТЗА ПТК АСР ТВ.

### 7.3 Склад апаратури ПТК АСР ТВ

До складу апаратури ПТК АСР ТВ входять наступні конструктиви:

- шафа комутації 1ШКм, 2ШКм;
- комплекс керуючий обчислювальний системи авторегулювання 1САР, 2САР;
- шлюз передачі даних 1ШЛЮЗ, 2ШЛЮЗ;
- пристрій зв'язку з панеллю оператора 1ПЗПО, 2ПЗПО, 3ПЗПО;
- робоче місце системи авторегулювання 1РМ САР, 2РМ САР;
- сервер діагностики та архівування 1СДА, 2СДА;
- інженерна станція системи авторегулювання ІС САР;
- шафа управління і комутації 1-6 ШУК;

- шафа дискретних сигналів 1-2 ШДС 1,2,3;
- шафа кросова 1ШКр, 2ШКр, 3ШКр;
- шафа розподільна 1,2 ШР;
- комплекс МСКУ КВП;
- АРМ начальника зміни - АРМ НС1;
- АРМ начальника зміни УОС і АСУТ - АРМ-НС2.

АСР ТВ реалізована на базі розподіленого програмно-технічного комплексу, побудованого за магістрально-модульним принципом з використанням локальних обчислювальних мереж.

ПТК АСР ТВ є дворівневою системою. Нижній рівень (НР) системи реалізує функції введення-виведення інформації, регулювання, управління і контролю, верхній рівень (ВР) - підтримку оперативної бази даних, представлення необхідної інформації (у тому числі діагностичної) на відеотерміналах АРМ, реєстрацію і архівацію інформації, передачу необхідної інформації в ІОС.

Відповідно до структурної схемою (Додаток Г) ПТК АСР ТВ складається з наступних підсистем:

- управління 1-6ШУК;
- автоматичного регулювання 1,2 МСКУ САР, 1,2РМ САР, ІС САР, МСКУ КВП;
- зв'язку з ПТК СНЕ ТВ 1-3ШКр і управління виконавчими механізмами 1,2 ШДС 1,2,3;
- зв'язку з оператором 1,2,3 ПЗПО;
- зв'язку з ПТК СНЕ ТВ 1,2ШЛЮЗ по цифровому каналу;
- комутації 1,2 ШКм для зв'язку між компонентами комплексу;
- технічного діагностування та архівації 1,2 СДА;
- підсистеми верхнього рівня ВУ АСР ТВ (АРМ-НС1, АРМ-НС2).

Підсистема контрольно вимірювальних приладів складається з МСКУ КВП і забезпечує реалізацію функцій прийому і обробки наступних типів сигналів:

- від датчиків положення регулюючих клапанів з виходом 0 - 5 мА;
- прийом аналогових сигналів від ПТК СРТ за поточним значенням потужності, заданому значенню потужності;
- передачу даних про значеннях сигналів і стані технічних засобів підсистеми КВП в підсистему автоматичного регулювання (САР).

7.3.3 Підсистема управління та комутації має шість незалежних каналів (два комплекти по три канали в кожному) реалізованих на базі шаф управління і комутації ШУК ИТКЯ.20.0357 ТЗ. Кожен 1-6ШУК забезпечує виконання для відповідного каналу ПТК АСР ТВ наступних основних функцій:

- прийом в цифровому вигляді даних від 1,2САР;
- прийом значень оперативно-змінних параметрів з 1,2СДА;
- прийом в цифровому вигляді значень дискретних сигналів від апаратури управління ВМ;
- реалізація алгоритмів за функціями блокувань і технологічної сигналізації;
- передача в цифровому вигляді команд блокувань в апаратуру управління ВМ;
- прийом в цифровому вигляді сигналів стану ВМ від апаратури управління ВМ і їх передача в апаратуру сигналізації стану ВМ на БЩУ;
- прийом в цифровому вигляді сигналів дистанційного керування ВМ від апаратури дистанційного керування на БЩУ і їх передача в апаратуру управління ВМ;
- передача даних про значеннях технологічних параметрів, стан блокувань, ВМ і технічних засобів ПТК АСР ТВ в 1,2СДА.

– Тип використовуваного інтерфейсу зв'язку з 1,2ШДС1,2,3 і 1,2,3ПЗПО - цифрові радіальні оптоволоконні лінії зв'язку UART.

Устаткування підсистеми САР складається з двох МСКУ САР (шафи МСКУ 1САР і МСКУ 2САР), інженерної станції ІС САР і робочих місць 1РМ САР, 2РМ САР, встановлених на БЦУ.

У шафі МСКУ 1САР розташовані блоки каналів 1-3 МСКУ САР, в шафі МСКУ 2САР - каналів 4-6 МСКУ САР.

Система авторегулювання забезпечує виконання таких функцій:

- прийом по цифрових лініях зв'язку Ethernet даних від ПТК СНЕ ТВ по аналогової інформації яка бере участь в законі регулювання;

- виконання алгоритмів САР;

- видача команд управління САР по цифрових лініях зв'язку Ethernet в підсистеми управління 1ШУК - 6ШУК через 1ШКм, 2ШКм.

Робочі місця 1РМ САР, 2РМ САР призначені для виконання функцій операторського інтерфейсу САР на БЦУ:

- відображення відеокадрів регуляторів;

- відображення діагностичної інформації про стан вимірювальних перетворювачів і датчиків положення регулюючих клапанів;

- скидання несправностей по датчикам в МСКУ САР;

- відображення графіків параметрів САР за останні 30 хвилин.

ІС САР забезпечує виконання таких функцій:

- відображення відеокадрів регуляторів і діагностичної інформації по САР;

- скидання несправностей по вимірювальних перетворювачів і датчиків положення регулюючих клапанів в МСКУ САР;

- зміна завдання для регуляторів в МСКУ САР;

- зміна в МСКУ САР налаштувань регуляторів і завдання значень імітації вхідних сигналів МСКУ САР;

- висновок в ремонт вхідних вимірювальних каналів або окремих вимірювальних перетворювачів;
- перегляд інформації з архіву параметрів, архіву порушень і подій;
- копіювання інформації з архіву параметрів, архіву порушень і подій на Flash-носії.

Підсистема управління виконавчими механізмами забезпечує виконання функцій управління ВМ і складається з шаф дискретних сигналів 1 (2) ШДС1, 1 (2) ШДС2, 1 (2) ШДС3 і шаф кросових 1ШКр, 2ШКр, 3ШКр.

Шафи дискретних сигналів 1 (2) ШДС1, 1 (2) ШДС2, 1 (2) ШДС3 забезпечують:

- формування сигналів управління і стану ВМ запірної і регулюючої арматури;
- формування дискретних сигналів в суміжні підсистеми.

Кабельні зв'язку сигналів управління і стану ВМ запірної і регулюючої арматури, дискретних сигналів в суміжні підсистеми підключаються до кросовим шаф 1ШКр (сигнали 1 (2) ШДС1), 2ШКр (сигнали 1 (2) ШДС2), 3ШКр (сигнали 1 (2) ШДС3).

Шафа кросова 4ШКр використовується в якості промклемника при передачі аналогових сигналів 0 - 5 мА від ПТК СНЕ РВ в ПТК СНЕ ТВ.

Управління кожним ВМ здійснюється з двох резервних шаф 1ШДС1 - 2ШДС1, 1ШДС2 - 2ШДС2, 1ШДС3 - 2ШДС3 цифровими блоками управління виконавчим механізмом (далі - БУВМ), які забезпечують:

- прийом в цифровому вигляді і логічну обробку команд блокувань, дистанційного і автоматичного управління для одного ВМ по шести каналам з підсистеми управління 1ШУК - 6ШУК;
- введення-виведення фізичних сигналів від одного ВМ.

Кожен з БУВМ призначений для управління одним ВМ і забезпечує:

- прийом команд управління ВМ і їх мажоритарну обробку за логікою «3 з 6»;
- прийом дискретних сигналів від кінцевих вимикачів напругою 220 В змінного струму;
- індикацію положення ВМ на лицьовій панелі блоку;
- видачу дискретних сигналів управління ВМ;
- управління ВМ за місцем за допомогою двох кнопок, що розміщуються на лицьовій панелі;
- контроль справності вихідних дискретних сигналів управління ВМ;
- режим перевірки, з імітацією відпрацювання ВМ вихідних команд БУВМ;
- безперервний автоматичний контроль технічного стану БУВМ з передачею результатів по цифрових лініях зв'язку.

До складу ШДС входять наступні блоки управління ВМ:

- блоки управління ВМ запірної арматури з живлення схем управління напругою 220 В змінного струму;
- блоки управління ВМ регулюючої арматури з живленням схем управління напругою 220 В змінного струму;
- блоки введення дискретних сигналів напругою 220 В змінного струму;
- блоки управління ВМ регулюючої арматури з живленням вихідних дискретних сигналів типу «сухий контакт» напругою від 20 В до 40 В постійного струму;
- блоки введення дискретних сигналів типу «сухий контакт» з опитуванням напругою 24 В постійного струму;
- блоки формування дискретних сигналів типу «сухий контакт».

Підсистема зв'язку з оператором забезпечує виконання функцій дистанційного керування ВМ, індикації стану ВМ.

Підсистема зв'язку з оператором складається з 1 ПЗПО, 2 ПЗПО, 3 ПЗПО і забезпечує:

- прийом сигналів типу «сухий контакт» від ключів БЩУ;
- прийом команд управління індикацією по цифровому інтерфейсу від 1ШУК - 6ШУК;
- передачу по цифровому каналу в 1ШУК - 6ШУК команд дистанційного керування від ключів;
- видачу потенційних сигналів індикації на панелі БЩУ.

У ПЗПО реалізований введення-виведення сигналів від ключів, ламп, табло через резервовані блоки. Видача сигналів кожним блоком здійснюється від 1ШУК - 6ШУК за схемою «3 з 6».

Підсистема зв'язку з ПТК СНЕ ТВ складається з 1ШЛЮЗ, 2ШЛЮЗ і забезпечує:

- прийом даних по цифрових лініях зв'язку Ethernet від шаф КВП-РТ ПТК СНЕ ТВ;
- передачу даних по цифрових лініях зв'язку Ethernet в 1ШКм, 2ШКм.
- у шафі 1ШЛЮЗ реалізований канал 1 - 3 підсистеми зв'язку з ПТК СНЕ ТВ, в шафі 2ШЛЮЗ - канал 4 - 6.

Підсистема комутації має два незалежні канали, реалізованих на базі шаф комутації 1ШКм, 2ШКм.

Шафи 1ШКм, 2ШКм використовуються для організації внутрішньосистемних обмінів повідомленнями між компонентами ПТК АСР ТВ по цифровим радіальним оптоволоконними лініями зв'язку Ethernet.

Обладнання підсистеми технічного діагностування та архівації складається з двох взаєморезервуючих шаф 1СДА, 2СДА.



Шафи 1СДА, 2СДА забезпечують:

- прийом по цифрових каналах, обробку, візуалізацію, архівування даних про стан технологічних параметрів, ВМ і даних технічного діагностування від ТЗА зі складу підсистем ПТК АСР ТВ;
- візуалізацію алгоритмів функціонування блокувань, технологічної сигналізації;
- функції з налаштування оперативно змінюваних параметрів;
- функції з протоколювання результатів діагностування і технічного обслуговування.

Підсистема верхнього рівня складається з автоматизованих робочих місць:

- АРМ-НС1 - АРМ начальника зміни ЦТАВ;
- АРМ-НС2 - АРМ начальника зміни УОС і АСУТ.

АРМ-НС1 забезпечує виконання таких функцій:

- відображення відеокадрів регуляторів, стану блокувань;
- відображення діагностичної інформації про стан компонентів ПТК АСР ТВ;
- відображення графіків зміни технологічних параметрів.

АРМ-НС2 забезпечує виконання таких функцій:

- відображення відеокадрів регуляторів, стану блокувань;
- відображення діагностичної інформації про стан компонентів ПТК АСР ТВ;
- надання архівних даних за параметрами, порушень і подій;
- друк графіків і відомостей.

Підсистема регулювання турбіни призначена для забезпечення безперервної і безвідмовної роботи електрогідравлічної системи регулювання турбіни в складі ПТК АСР ТВ і включає в себе шафу ШСРТ-1.

Підсистема регулювання турбіни забезпечує виконання таких функцій:

а) прийом і первинну обробку безперервних сигналів від аналогових датчиків;

б) прийом і первинну обробку дискретних сигналів стану виконавчих механізмів, технологічного устаткування, захистів, які беруть участь в алгоритмах блокувань і автоматичного регулювання;

в) автоматичне регулювання технологічних параметрів;

г) дистанційне керування регулюючими клапанами турбіни по командам оператора;

д) виконання захисних дій:

- запобігання неприпустимого підвищення частоти обертання турбіни при скидах навантаження;

- переключення турбіни на холостий хід з підтриманням номінальної частоти обертання після скидання навантаження;

- формування команди на закриття стопорних клапанів в систему захистів при перевищенні допустимої частоти обертання турбіни;

- обмеження планових змін потужності;

- останов турбіни.

е) формування діагностичної сигналізації;

ж) діагностика стану і функціонування технічних і програмних засобів ТЗА;

і) обмін технологічними і діагностичними даними по цифровому каналу Ethernet з іншими складовими частинами ПТК СРТ.

## ВИСНОВОК

В процесі виконання кваліфікаційної магістерської роботи була проаналізована робота автоматизованої системи управління технологічними процесами в деаераційній установці. Деаераційна установка є частиною другого контура енергоблока АЕС і призначена для деаерації основного конденсату, створення необхідного запасу води в баках акумуляторів, живлення паром основних ежекторів і підігріву живильної води.

Основними регульованими параметрами в деаераторі є тиск в колонці деаератора і рівень в баку-акумуляторі.

Обурюючими діями на рівень є витрата пари, конденсату і живильної води. Обурюючими діями на тиск пари в деаераторі є витрата пари та конденсату, температура конденсату, тиск пари.

Регулюючою дією для стабілізації рівня є витрата додаткової хімічно обчищеної води, для стабілізації тиску - витрата грюючої пари.

Розроблена функціональна схема регулювання рівня в деаераторі з урахуванням вибраних засобів автоматизації для підтримання заданого рівня, а саме  $2000 \pm 200$  мм; тиск пари в деаераторі, а саме 0,6 МПа; температури конденсату та живильної води; витрата основного конденсату в деаератор; тиск ХОВ на натиску насоса підживлення деаераторів та в трубопроводі аварійного підживлення.

У рамках розглянутої математичної моделі були отримані криві розгону, в результаті обробки яких отримані передатні функції. Було визначено з графіку перехідного процесу регулювання рівня в деаераторі, що краще використати П-регулятор, ніж Пі-регулятор, тому що властивості деаератора по каналу «витрата конденсату – рівень» є астатичними, а інтегральна складова в законі регулювання може привести до структурної нестійкості системи. Використавши П-регулятор ми маємо невелике відхилення від

номінального значення, яке не є проблемою, а наявність статичної помилки несуттєва для регулювання рівня в деаераторі.

Для регулювання тиску, як виявилось, краще застосовувати Пі-регулятор, тому що наявність статичної помилки неприпустимо, оскільки якщо тиск буде вищий за номінальне значення, то збільшиться температура кипіння суміші, відповідно, гази, розчинені у воді, гірше з неї видалятимуться. А якщо тиск буде нижчий, то кипіння води буде інтенсивніше і разом з газами випаровуватиметься частина живильної води, що збільшить її втрати. Крім того, можливе недогрівання живильної води і, відповідно, зниження економічності роботи деаераційно-живильної установки.

Проведений аналіз відмов обладнання системи регулювання рівня в деаераторі пов'язані з відмовою керування виконуючим механізмом, як в автоматичному режимі керування так і в дистанційному, що є важливою проблемою якості систем автоматичного керування експлуатованих на енергоблоці ВВЕР-1000. Запропоновано рішення заміни регулюючого клапану, для розрахунку якого проведено оцінку динамічних властивостей деаераційного процесу.

Проведено розрахунок пропонованої заміни регулюючого органу Для заміни пускового клапану регулятора рівня в деаераторі основного RM50S01 для отриманих витратних характеристик регулюючий клапан більш надійної конструкції типу «Диск» DN700 НОМ-K0026.700.040-01 А-Э<sup>а</sup>, УЗ з електроприводом типу МЕОФ-1600/25-0,25У-01КА потужністю 320 Вт для установки безпосередньо на клапані. Заміна направлена на:

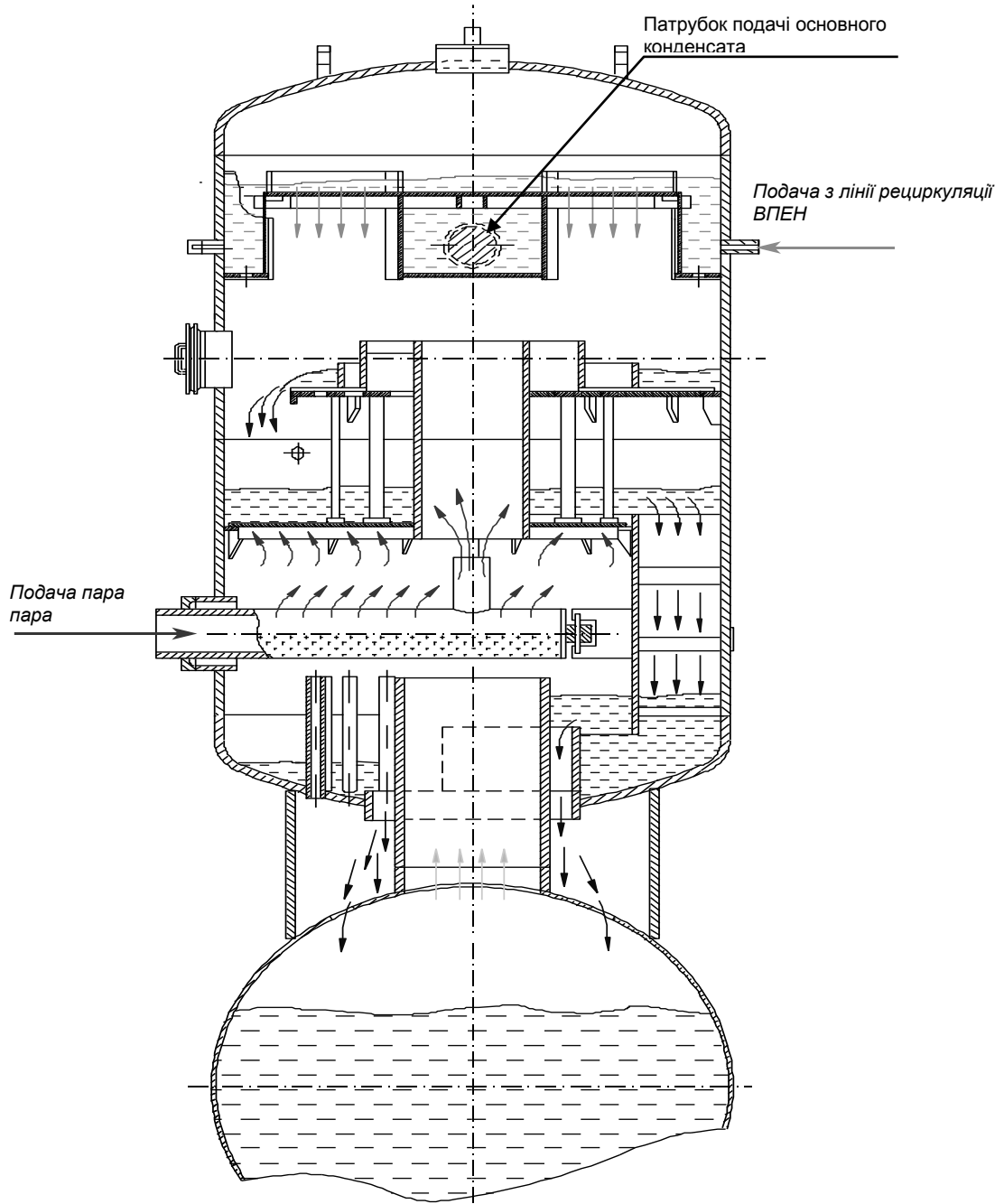
- виключення випадків відмов у роботі вузла РРД, можливих нештатних ситуацій, пов'язаних з розвантаженням енергоблоків;
- підвищення надійності експлуатації трубопроводів системи основного конденсату, живильної води і деаераційної установки в цілому.

Розглянуто питання доцільності заміни наявних технічних засобів автоматизації програмно технічного комплексу АСКТ-1000М в якому

реалізована система автоматизації деаераційної установки на новітні технічні засоби з більшими можливостями прийому, обробки інформації, доступності керування виконавчими механізмами, часовими та тактовими характеристиками обробки інформації та видачі управляючої дії на виконуючі механізми побудовані в програмно-технічний комплекс автоматизованої системи регулювання турбінним відділенням за диференційованим функціональним принципом.

Таким чином удосконалення системи автоматизації деаератора досягається шляхами дослідження та аналізу існуючих систем автоматичного регулювання, параметрів деаераційної установки, аналізом можливих відмов та несправностей обладнання, що викликають погіршення в роботі САР, розробки рішення щодо унеможливлення таких відмов та модернізації за рахунок заміни виконуючих механізмів, регулюючих органів та технічних засобів автоматизації із покращеними експлуатаційними характеристиками, що відповідають вимогам нормативної документації з ЯРБ в Україні.

# ДОДАТОК А КОНСТРУКЦІЯ ДЕАЕРАТОРА





## ДОДАТОК В

ОПИС ВІДМОВИ ОСНОВНОГО РЕГУЛЯТОРА РІВНЯ В ДЕАЕРАТОРІ.  
ПОВ'ЯЗАНОЇ З ВТРАТОЮ КЕРУВАННЯ РЕГУЛЮЮЧИМ КЛАПАНОМ

В.1 Опис умов виникнення відмови і її наслідків від 29.12.18:

До виникнення аномальної події (05:00:22) на енергоблоці була потужність 992 МВт. Основний регулятор рівня в деаератори RM50C01 підтримував рівень в деаератори в межах 220 см (відповідно до завдання 220 см з урахуванням зони нечутливості).

За вказівником положення РК основного регулятора RM50C01 був відкритий на 44%, пусковий RM53C01 - 52%.

Після видачі двох команд на «менше» в 04:56:40 із загальною тривалістю 0,8 с, зі зміною тенденції на зменшення витрати конденсату в деаератор і збільшенням розбалансу до 0,1%, регулятор в 05:00:22 сформував команду на «більше». При цьому регулюючий клапан RM50S01 регулятора RM50C01 після видачі двох команд на «більше» почав закриватися. Надалі в 05:00:31 при видачі серії імпульсів на «більше» РК RM50S01 почав мимовільно переміщатися на закриття. При досягненні РК RM50S01 положення 22%, в 05:02:23 модулем контролю справності РК (МКСК) сформувалася несправність регулятора по відсутності управління на «більше», розрахованого за кількістю імпульсів управління регулятора (розрахункове значення відповідає повному відкриттю регулюючого клапана). Поява викличної сигналізації «Виклик до ПТК АСР ТВ» дозволило оператору встановити аномальне відпрацювання регулюючим клапаном RM50S01 керуючих імпульсів регулятора і в 05:03мін:40 регулятор RM50C01 був відключений оператором. При цьому в роботу вступив регулятор пусковий RM53C01. Побачивши мимовільне закриття РК RM50S01 без видачі команд управління, оператор відразу в 05:03:43 включив регулятор в автоматичний режим. В автоматичному режимі при видачі команд на «більше» мимовільне



закриття РК RM50S01 сповільнилося. При цьому RM53C01 знову перейшов в спостережний режим. Оцінивши ситуацію, оператор в 05:03:55 перевів обидва регулятора в дистанційний режим. Надалі оператор, переконавшись, що основний РК RM50S01 мимовільно більше не закривається, за допомогою дистанційного відкриття RM53S01 спробував зменшити тенденцію зниження рівня в деаераторі. Відкривши пусковий РК RM53S01 до 65% збільшивши витрату конденсату в деаератор, зменшивши, таким чином, перепад тиску середовища на основному РК, оператор о 05:04:34 почав відкривати основний РК RM50S01. Надалі, за допомогою почергового відкриття основного РК до 60% і пускового РК до 85%, забезпечивши, таким чином, витрату конденсату 2300 - 2500 т/год, оператору вдалося відновити рівень в деаераторі до номінального значення.

Після дистанційного закриття оператором пускового РК до 50% в 05:20:37 пусковий регулятор включений в автоматичний режим.

Основний регулюючий клапан виведений в ремонт, в подальшому підтримання рівня в деаераторі забезпечувалося за допомогою пускового регулятора RM53C01.

Порушення в роботі регулюючого клапана RM50S01 не пов'язані з роботою ПТК АСР ТВ. Робота системи автоматичного регулювання рівня в деаераторі відповідає проектному алгоритму.

Причина порушення в роботі:

Мимовільне закриття регулюючого клапана RM50S01 при видачі команд на відкриття, як від регулятора так і в режимі дистанційного керування.

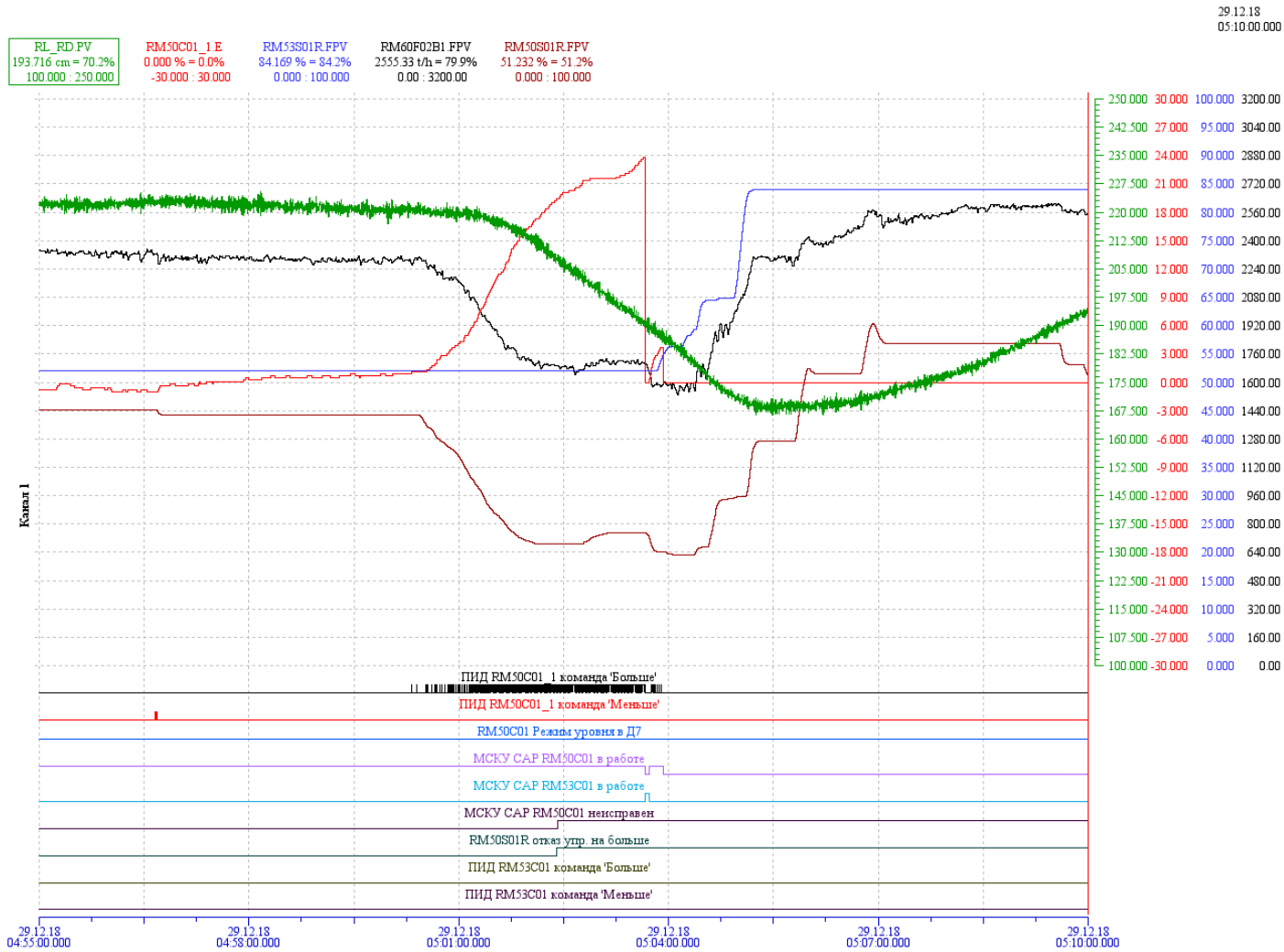


Рисунок В.1 – Графік роботи системи автоматичного регулювання рівня в деаераторі 29.12.2018. Відмова роботи клапану основного регулятора рівня RM50S03

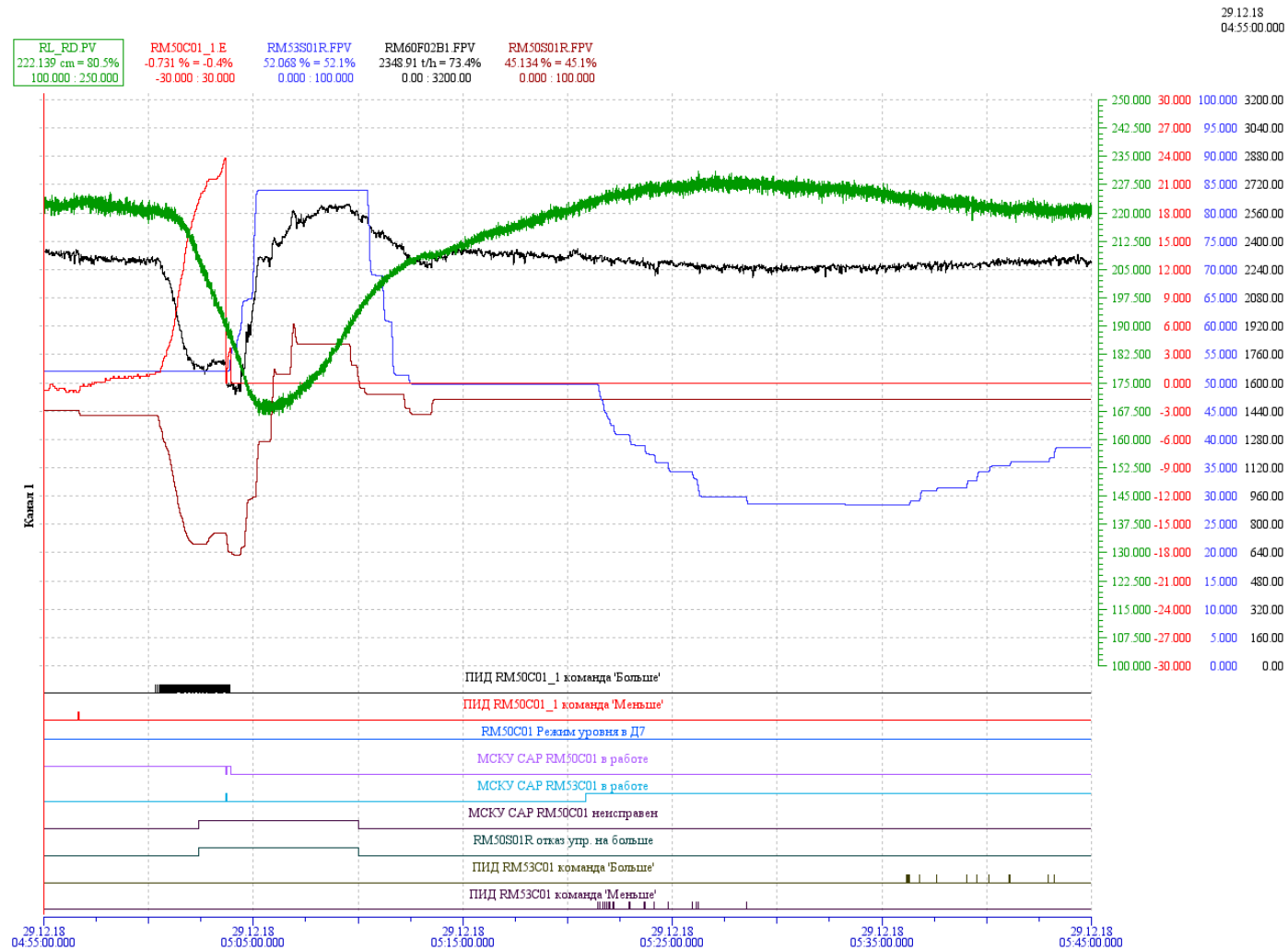


Рисунок В.2 – Графік роботи системи автоматичного регулювання рівня в деаераторі 29.12.2018. Відмова роботи клапану основного регулятора рівня RM50S03. Включення в роботу пускового регулятора RM50C01

## В.2 Опис умов виникнення відмови і її наслідків від 13.01.2019

До виникнення відмови в роботі системи регулювання рівня в деаератори в 04:50:00 на енергоблоці була потужність 984 МВт. Основний регулятор рівня в деаератори RM50C01 підтримував рівень в деаератори в межах 220 см (відповідно до завдання 220 см з урахуванням зони нечутливості).

За вказівниками положення РК основного регулятора RM50C01 був відкритий на 46%, пусковий RM53C01 - 54%.

Після видачі двох команд на «більше» від регулятора RM50C01 (РРД осн.) Загальною тривалістю 0,7 с в 04:50хв:23 регулюючий клапан RM50S01 замість відкриття почав закриватися. Надалі після 04:50:23 при видачі серії імпульсів на «більше» від регулятора РК RM50S01 почав мимовільно переміщатися на закриття. У 04:51:01 сформувався сигнал «Невідповідність ВП», який в свою чергу сформував світлозвукову сигналізацію на панелі НУ26 БЩУ «Виклик до ПТК АСР ТВ», що дало можливість оператору звернути увагу на аномальну роботу РК основного РРД. При досягненні РК RM50S01 положення 36,8%, в 04:51:11с основний РРД був переведений оператором в дистанційне положення.

При цьому в роботу вступив пусковий регулятор RM53C01 (РРД пуск.). Через 5 с пусковий регулятор RM53C01 сформував команду на «більше» тривалістю 1 с, але переміщення РК пускового регулятора не відбулося. Надалі при видачі від регулятора РРД пуск. 18 команд тривалістю по 0,1 с на «більше» регулюючий клапан пускового регулятора не переміщувався.

З 04:51:12 оператор спробував відкрити РК RM50S01 шляхом видачі безперервної команди дистанційного керування на відкриття. Але регулюючий клапан на відкриття не перемістився. А з видачею надалі тривалих команд дистанційного керування на відкриття з частковим зняттям їх, регулюючий клапан RM50S01 закривався до 33%. Після видачі оператором

декількох команд дистанційного керування на відкриття РК RM50S01 зовсім не переміщувався.

У 04:51:28 оператор, побачивши, що РК пускового регулятора при видачі команд від регулятора не відкривається, перевів пусковий регулятор в дистанційний режим. Після цього в дистанційному режимі шляхом видачі оператором безперервної команди на відкриття, РК пускового регулятора був відкритий повністю.

Відкривши пусковий РК RM53S01 до 100% збільшивши витрату конденсату в деаератор, зменшивши таким чином, перепад тиску середовища на основному РК, оператору в 04:51:48 вдалося командами дистанційного керування протягом 2 хв відкрити основний РК RM50S01 до 56%. При цьому в процесі відкриття РК RM50S01 декілька разів мимоволі прикривався.

Після дистанційного закриття оператором основного РК RM50S01 до 54% і пускового РК до 50%, забезпечивши таким чином, початкове положення основного і пускового РК до виникнення відмови, о 05:08:07 пусковий регулятор включений в автоматичний режим.

Основний регулюючий клапан виведений в ремонт. Надалі підтримку рівня в деаератори забезпечувалося за допомогою пускового регулятора RM53C01.

Після заміни виконавчого механізму РК RM50S01 в 14:28:25 основний РРД включений автоматичний режим.

Порушення в роботі регулюючого клапана RM50S01 не пов'язані з роботою ПТК АСР ТВ. Робота системи автоматичного регулювання рівня в деаератори відповідає проектному алгоритму.

Причина порушення в роботі:

Мимовільне закриття регулюючого клапана RM50S01 при видачі команд на відкриття, як від регулятора, так і в режимі дистанційного керування.

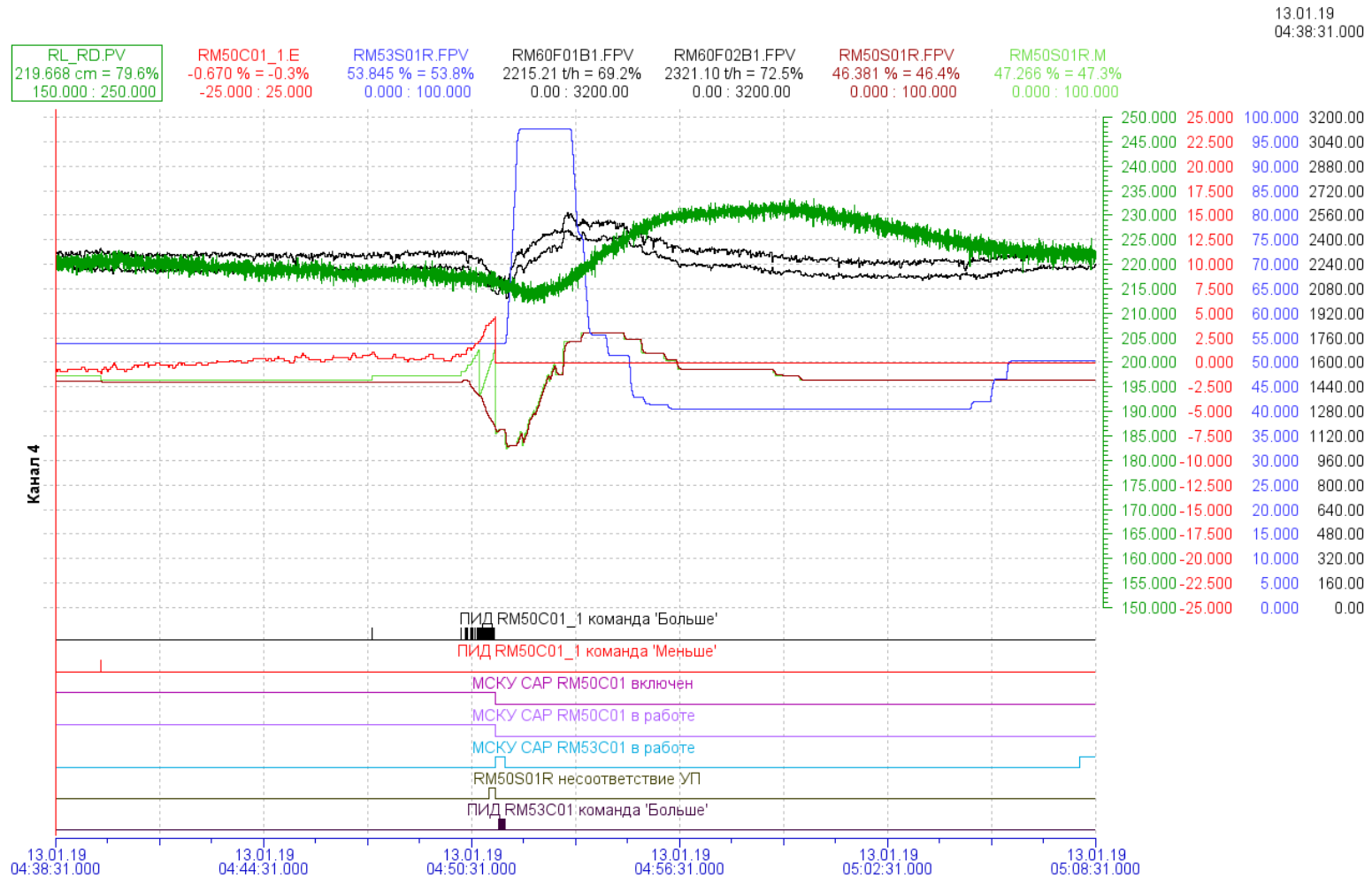


Рисунок В.3 – Графік роботи системи автоматичного регулювання рівня в деаераторі 13.01.2019. Відмова роботи клапану основного регулятора рівня RM50S03

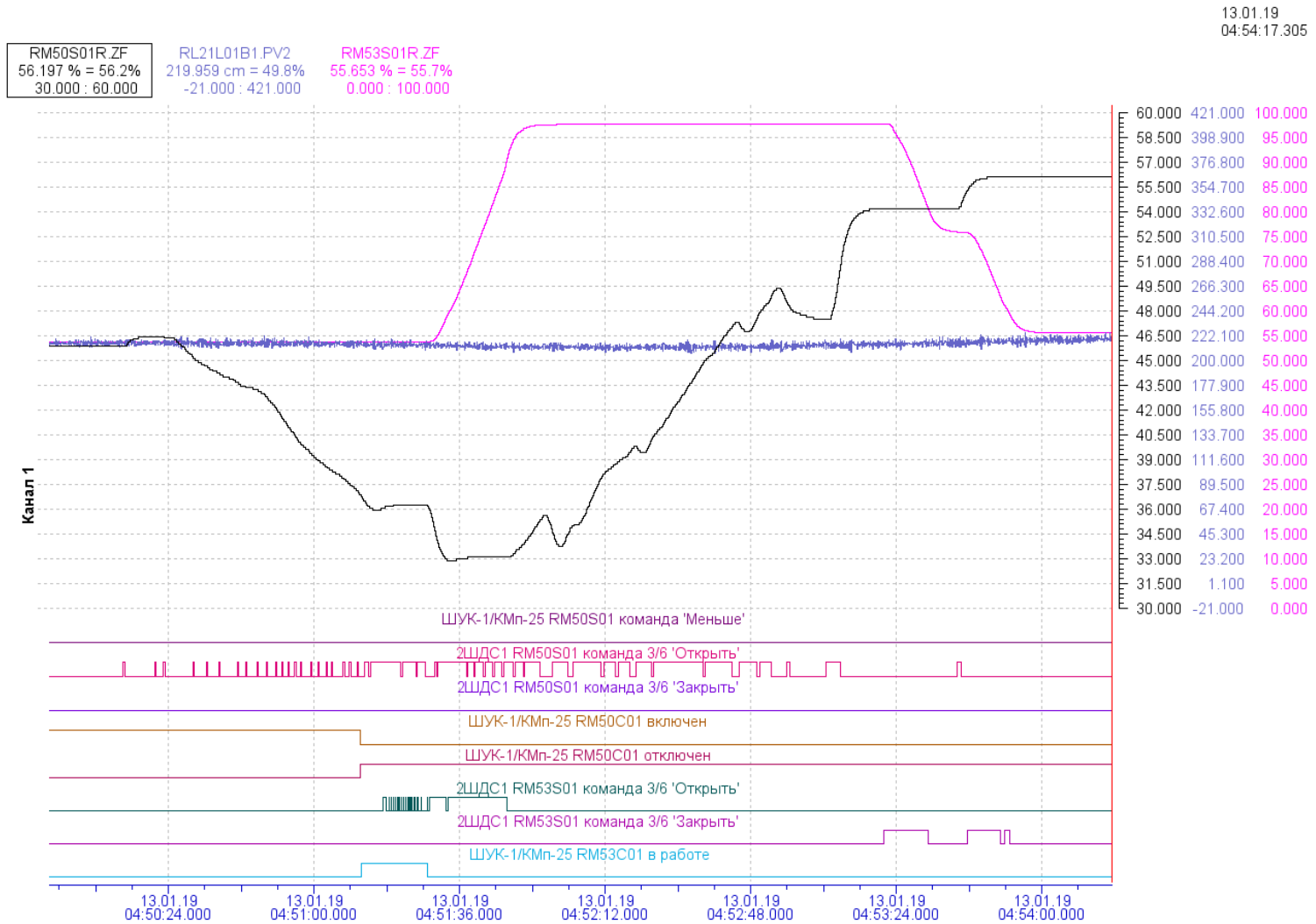
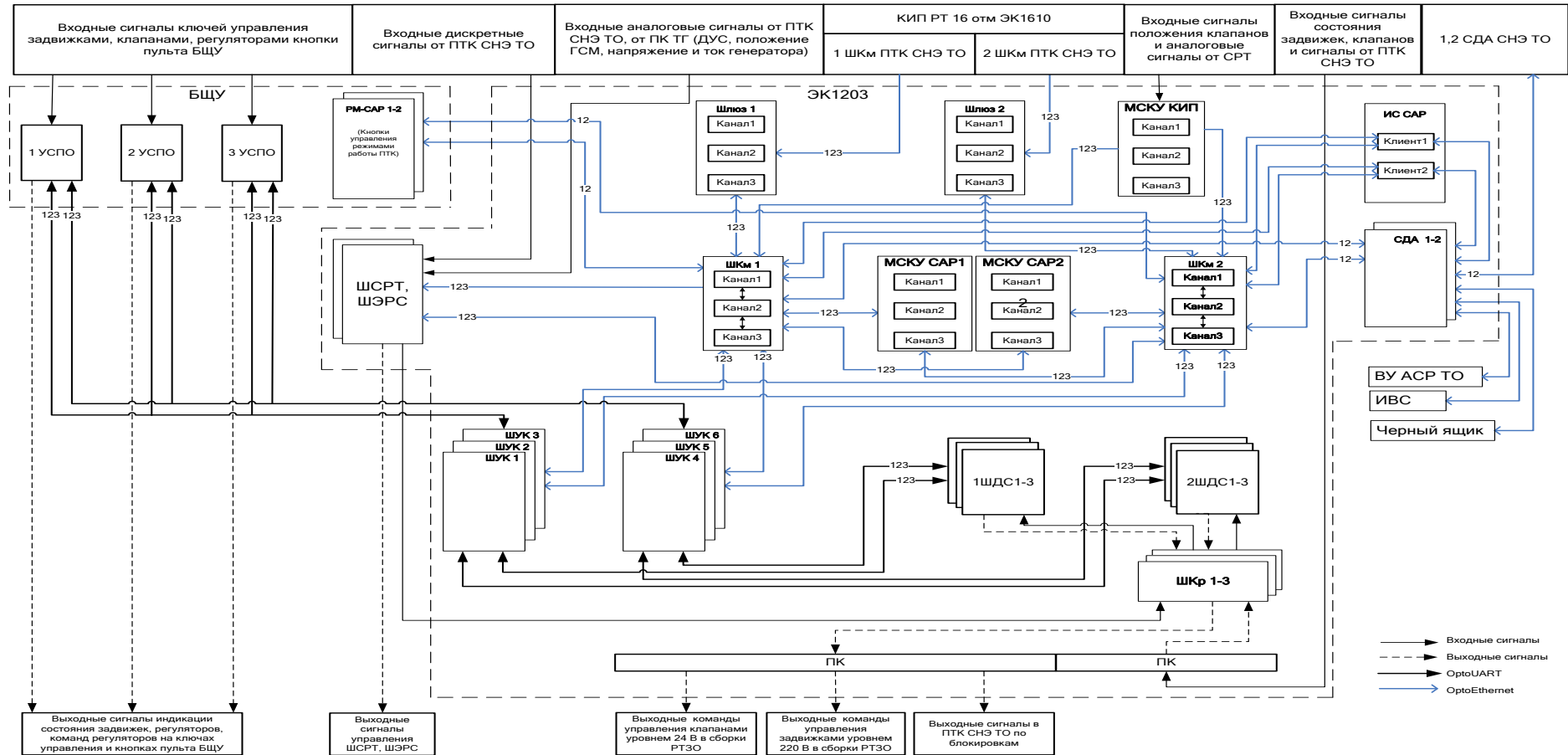


Рисунок В.4 – Графік роботи системи автоматичного регулювання рівня в деаeratorі 13.01.2019. Відмова роботи клапану основного регулятора рівня RM50S03 в дистанційному керуванні

## ДОДАТОК Г

### СТРУКТУРНА СХЕМА ПТК АСР ТВ





## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Демченко В. А. Автоматизация і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЕС. Одеса : Асторпринт, 2001. 385 с.
2. Демченко В. А. Методичні вказівки для практичних занять з дисципліни «Автоматизация безперервних технологічних процесів» для студентів спеціальності 7.09.2501. Одеса : ОДПУ, 2000. 34 с.
3. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. Серия «Библиотека профессионала». Москва : СОЛОН-Пресс, 2005. 576 с.
4. Зорин В. М. Атомные электростанции : учебное пособие. Москва : Издательский дом МЭИ, 2012. 672 с.
5. Лукінюк М. В. Автоматизация типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизация і комп'ют.-інтегр. технології». Київ : НТУУ «КПІ», 2008. 236 с.
6. Маргулова Т. Х. Атомные электрические станции: учебник для вузов. 5-е изд. Москва : ИздАТ, 1994. 289 с.
7. Тевлин С. А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000 : учебное пособие. Москва : МЭИ, 2008. 358 с.
8. Цирлин А. М. Оптимальное управление технологическими процессами : учебное пособие для вузов по специальности «Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов». Москва : Энергоатомиздат, 1986. 400 с.
9. Маргулова Т. Х., Подушко Л. А. Атомные электрические станции : учебник для энерг. и энергостроит. техникумов. Москва : Энергоиздат, 1982. 263 с.
10. Глазов Б. В., Дубровскій А. Х., Ключев А. С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Москва : Вища школа, 1990. 464 с.

11. Голінко І. М. Моделювання та оптимізація систем керування: монографія / за ред. І. М. Голінко, А. І. Кубрак. Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький, 2012. 262 с.
12. Інструкція з експлуатації цифрових регуляторів та систем ФГУ програмно технічного комплексу АСР ТВ. ВП ЗАЕС. Енергодар, 2014. С. 204.
13. Інструкція з експлуатації системи дистанційного управління. ВП ЗАЕС. Енергодар, 2016. С. 237.
14. Інструкція з експлуатації системи автоматичного регулювання. ВП ЗАЕС. Енергодар, 2016. С. 237.
15. ДСТУ Б А.2.4-16:2008 Автоматизація технологічних процесів. Умовні позначення приладів і засобів автоматизації в схемах. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 12 с.
16. Васильченко О. Г. Арматура енергетична для АЕС і ТЕС : каталог-довідник про енергетичну арматуру вироблюваної підприємством. Київ, 1986. 49 с.
17. Бесекерский В. А. Теория систем автоматического управления : бібліогр. покажч. / уклад. В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. Москва : Наука, 1975. 711 с.
18. Морев А. Н. Системи цифрового автоматичного регулювання : реалізація алгоритмів автоматичного управління БалАЕС. *Технічний опис*. Балаково, 2015. №1. С. 8.
19. Морев А. Н. Системи цифрового автоматичного регулювання : призначення САР БалАЕС. *Технічний опис*. Балаково, 2015. №2. С. 8.