

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

”Допущено до захисту”
Завідувач кафедри автоматизації
виробничих процесів
к.т.н., доцент
_____ Олександр ДІДИК
“ ____ ” _____ 2023 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему

“ Розробка автоматичної системи регулювання живлення
парогенератора атомної електростанції”

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи АК-19
ОПП «Автоматизація та комп’ютерно-
інтегровані технології»
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп’ютерно-інтегровані технології»
_____ Кущенко П.В.
« ____ » _____ 2023 р.

Керівник проекту
доктор технічних наук, професор
_____ Кондратець В.О.
« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра Автоматизації виробничих процесів

Рівень вищої освіти бакалавр

Галузь знань. 15 “Автоматизація та приладобудування”

Спеціальність 151 “Автоматизації та комп’ютерно-інтегровані технології”

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма “Автоматизації та комп’ютерно-інтегровані технології”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

К.Т.Н., доц.

Олександр

ДІДИК

“ ”

2023 року

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Куценко Павлу Валентиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка автоматичної системи регулювання
живлення парогенератора атомної електростанції

2. Керівник роботи Кондратець Василь Олександрович, докт. техн. наук,
професор

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 3 ” 03 2023 року № 104-02

3. Строк подання роботи до захисту 26.05.2023 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розробка
автоматичної системи живлення парогенератора атомної електростанції

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) _____

1. Призначення та область використання.

2. Перегляд аналогічних існуючих систем.

3. Опис і обґрунтування проектних рішень.

4. Розробка схеми моделювання системи автоматичного регулювання.

5. Висновки

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) _____

7. Дата видачі завдання «__» _____ 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти	Строк виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти	Примітка
1.	Аналіз існуючих систем	10.03.2023 р.	
2.	Постановка задачі, оформлення ТЗ	15.03.2023 р.	
3.	Пошук шляхів моделювання САР	20.03.2023 р.	
4.	Розробка моделі компонента	25.03.2023 р.	
5.	Розробка функціональної схеми САР	30.03.2023 р.	
6.	Моделювання САР живлення парогенератора	10.04.2023 р.	
7.	Оформлення ПЗ	17.05.2023 р.	

Дата видачі завдання
«__» _____ 2023р.

Підпис керівника
_____ Кондратець В.О.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«__» _____ 2023р.

Підпис здобувача

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кущенко П. В. Розробка автоматичної системи регулювання живлення парогенератора атомної електростанції. 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2023.

В даній бакалаврській роботі зроблено аналіз роботи парогенератора та методів регулювання рівня живильної води в ньому. Розглянуто одно-, двох-, трьохімпульсні системи автоматичного регулювання живлення парогенератора та засобів його реєстрації. Досліджено шляхи побудови функціональної схеми діючої системи автоматичного регулювання. Розроблено електричну модель роботи системи автоматичного регулювання рівня води в парогенераторі, призначену для дослідження та вдосконалення роботи діючої САР.

Ключові слова: система автоматичного регулювання, парогенератор, моделювання, атомна енергетика.

ABSTRACT

Kushchenko P. V. Development of an automatic power supply control system for a steam generator of a nuclear power plant. 151 Automation and computer-integrated technologies. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2023.

In this bachelor's work, an analysis of the operation of the steam generator and methods of regulating the level of feed water in it is made. One-, two-, and three-pulse systems of automatic power regulation of the steam generator and means of its registration are considered. Ways of constructing a functional scheme of an active automatic regulation system have been investigated. An electrical model of the system of automatic regulation of the water level in the steam generator has been developed, intended for research and improvement of the operation of the current SAR.

Keywords: automatic regulation system, steam generator, modeling, nuclear energy.

Зміст

Вступ.....	3
1 Призначення та область використання автоматизованої системи регулювання рівня води в парогенераторі.....	4
1.1 Сучасний стан атомної енергетики.....	4
1.2 Роль і місце парогенераторів в технології роботи АЕС.....	11
1.3 Обґрунтування необхідності регулювання рівня теплоносія в парогенераторі.....	22
2 Аналіз існуючих засобів автоматизації регулювання живлення парогенератора.....	22
2.1 Класифікація парогенераторів.....	22
2.2 Дослідження систем автоматичного регулювання живлення парогенератора.....	25
3 Пошук шляхів моделювання САР живлення парогенератора.....	41
3.1 Вибір датчика рівня води в парогенераторі.....	41
3.2 Датчик положення регулюючого клапану.....	49
3.3 Вибір мікроконтролера.....	50
3.4 Шляхи передачі даних.....	54
3.5 Аналого-цифровий перетворювач.....	59
3.6 Розробка схеми клавіатури.....	61
3.7 Шляхи реалізації виконавчого механізму.....	62
4 Розробка схеми моделювання системи автоматичного регулювання рівня води в парогенераторі.....	64
4.1 Аналіз регульованих параметрів при роботі парогенератора.....	64
4.2 Розробка функціональної схеми САР аварійного живлення парогенератора.....	
4.3 Моделювання САР живлення парогенератора на електричній принциповій схемі.....	72
Висновок.....	77
Список літератури.....	78

ВСТУП

У зв'язку з глобальним скороченням природних енергоресурсів (вугілля, нафта, газ) людство постає перед проблемою їх глобального вичерпання. З 40-вих років минулого сторіччя воно освоїло нове джерело енергії – атомну енергетику. Незважаючи на ризикованість її виробництва (Чорнобиль, Фокусіма1), атомна енергетика продовжує свій розвиток, так як використання альтернативних джерел електроенергії поки що не забезпечує усі потреби людства електроенергії.

В процесі своєї експлуатації технологія виробництва атомної електроенергії постійно вдосконалюється, а автоматизовані системи контролю, регулювання та захисту стають більш досконалыми і надійними. Тому задачі подальшого вдосконалення автоматизованих систем регулювання процесами виробництва атомної енергії є актуальними.

В даній роботі головна увага приділяється питанням автоматизації процесів роботи парогенератора, як основного джерела енергії турбогенератора. Технологія роботи ядерного реактора та формування електроенергії не розглядається.

Основними параметрами регулювання в парогенераторі є: витрати пару; витрати живильної води; температура в ядерному реакторі; витрати на продувку, рівень води в парогенераторі. В даній роботі розглядаються питання забезпечення стабільності рівня живильної води в парогенераторі, на зміну якого впливають в якості збурюючих факторів інші параметри регулювання: витрати пару; витрати живильної води; температура в ядерному реакторі; витрати на продувку.

Метою даної роботи є ознайомлення з технологією функціонування атомних електростанцій, існуючими системами автоматичного регулювання та контролю технологічних параметрів, а також засобів їх реєстрації. Оскільки системи автоматичного регулювання та безпеки, що встановлюються на АЕС повинні мати високу надійність уже на виході з виробництва на підприємстві, бути відразу пристосованими до конкретної

атомної електростанції і забезпечувати стислі терміни їх монтажу і наладки під час регламентних робіт на окремому енергоблоці АЕС, то бажано було б здійснювати їх кінцеве налагодження на виробництві в умовах близьких та експлуатаційних на конкретній атомній електростанції. Це досягається шляхом створення електронних моделей дії збурюючих факторів, аналогічних реальним при роботі систем автоматичного регулювання на АЕС. Тому кінцевою метою даної роботи є створення електронної моделі роботи трьохімпульсної системи автоматичного регулювання живлення парогенератора.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ В ПАРОГЕНЕРАТОРІ

1.1 Сучасний стан атомної енергетики

Атомна енергетика(АЕ) – енергетика, зв’язана з проблемами виробітку та використання атомної енергії. АЕ стала окремою галуззю енергетики після Другої світової війни. Сьогодні вона відіграє важливу роль в електроенергетиці України. Це зумовлено тим, що Україна належить до держав, недостатньо забезпечених власним енергоресурсом.

Окремими видами палива країна забезпечена лише на 20-30% і тільки вугіллям на 100%. Водночас Україна має найбільш енергомістку економіку: споживання умовного палива на душу населення у нас становить приблизно 6,5 т. Тоді як у США, Японії та країн західної Європи тільки 4,2-5,5 т.

Запаси горючих копалин в Україні обмежені, вони здатні задовольнити потреби на протязі всього 100-150 років, тоді як атомні енергоносії (уран, торій, літій), та використання реакторів нового покоління сприяють тому, що запаси атомної енергетики стануть безмежними.

Використання транспортабельного палива дає змогу розташовувати АЕС незалежно від паливно-енергетичного фактора та орієнтувати на споживача у районах з напруженим паливно-енергетичним балансом. Процеси, що відбуваються в ядерному реакторі, можна описати як безупинний поділ ядер. При цьому маса цілого ядра до поділу більша за масу осколків, що вийшли. Різниця становить приблизно 0.1 % маси ядра, що розділилося. Зрозуміло, до повного перетворення маси в енергію ще дуже далеко, але вже така, що не виявляється звичайними вагами, зміна маси палива в реакторі дозволяє отримувати гігантську кількість енергії.

Зміна маси палива за рік безупинної роботи в реакторі РБМК-100 становить приблизно 0.3 г, але енергія, що виділилася при цьому, така ж, як при спалюванні 3000000 (три мільйони) тон вугілля. Можливості щодо

перетворення та використання енергії є показником технічного розвитку людства. Винахід і впровадження парової машини зробило справжню революцію в техніці. Парові машини на фабриках і заводах різко підвищили продуктивність праці. Паровози і теплоходи зробили перевезення по суші і морю більш швидкими і дешевими.

Широке впровадження електричних машин, двигунів, що перетворюють електричну енергію в механічну, і генераторів для виробництва електроенергії з механічної енергії, ознаменувало собою новий стрибок у розвитку техніки. На поточний момент створено велику кількість приладів, призначених як для перетворення електроенергії в будь-який вид енергії, необхідний для життєдіяльності людини: електромотори, електронагрівники, лампи для освітлення, так і ті, що використовують безпосередньо електроенергію: телевізори, приймачі і т.п.

Як було зазначено вище, виробництво електроенергії є окремою галуззю промисловості. В даний час найбільшу частку електроенергії виробляють на трьох видах електростанцій:

- ГЕС (гідроелектростанція);
- ТЕС (теплоелектростанція);
- АЕС (атомна електростанція).

Теплова енергія - це енергія хаотичного руху молекул атомів у рідинах і газах і коливальному руху молекул або атомів у твердому тілі. Чим вища швидкість цього руху, тим більшою тепловою енергією володіє тіло. Усі ми стикаємося в повсякденному житті з процесами передачі теплової енергії від одного тіла до іншого, (гарячий чай нагріває склянку, радіатор опалення в квартирі нагріває повітря і т.д.). Виходячи з визначення теплової енергії, можна дати визначення теплообміну. Процес передачі енергії в результаті обміну хаотичним рухом молекул, атомів або мікрочастинок називається теплообміном.

Відомо, що теплова енергія або тепло передається від більш гарячого тіла більш холодному, і здається, цілком логічним взяти за мірило теплової енергії температуру, однак це найгрубіша помилка. Температура тіла є

мірилом здатності до теплообміну з оточуючими тілами. Знаючи температури двох тіл, ми можемо сказати тільки про напрямок теплообміну. Тіло з більшою температурою буде віддавати тепло й охолоджуватися, а тіло з меншою температурою приймати тепло і нагріватися, однак визначити кількість енергії, що передається, виходячи тільки з температури, неможливо. Для нагрівання різних речовин до однакового рівня температури необхідна різна кількість теплової енергії, кожна речовина має свою теплоємність.

Як правило, в промислових енергоустановках процес перетворення енергії джерела в теплову енергію відбувається в одному місці (реактор для АЕС), а процес перетворення теплової енергії в механічну, а потім в електричну - в іншому.

Розглянемо, що відбувається в об'ємі холодної води, коли гарячі камені нагрівають її частину навколо себе. З фізики відомо, що тіла нагріваючись - розширюються, іншими словами збільшують свій об'єм, а оскільки маса залишається постійною, щільність знижується. Відповідно до щільності знижується. Відповідно до закону Архімеда, тіло зі щільністю більшою, ніж щільність рідини занурюється у рідину, а з меншою - спливає. Те саме можна сказати про нагріту рідину, маючи меншу щільність, вона почне підніматися, перемішуючись з холодними шарами у верхній частині судини, що, у свою чергу, почнуть опускатися, і через певний час температура по всьому об'ємі стане однаковою.

Конвективний теплообмін – перенесення теплоти при переміщенні і перемішуванні більш нагрітих часток середовища з менш нагрітими. У прикладі, наведеному вище, рухи було спричинено різницею рівнів щільностей гарячих і холодних частин рідини. Така конвекція називається природною або вільною. Якщо рух спричинено роботою насоса чи вентилятора, тоді конвекція називається змушеною. Конвективний теплообмін відбувається в газах так само, як і в рідинах.

У багатьох сучасних АЕС відведення теплоти з реактора відбувається шляхом примусового прокачування води, газу чи рідкого металу через активну зону.

Світова атомна енергетика. Атомна енергетика відіграє важливу роль у сучасному енерговиробництві – частка виробітку електроенергії на АЕС в світі перебуває на рівні 16%.

У таких країнах як Франція, Бельгія, Швеція, Японія, Південна Корея, Фінляндія, що не мають у своєму розпорядженні достатніх власних запасів органічного палива, АЕС стали основним джерелом електричної енергії, забезпечили їм енергетичну стабільність та успішний економічний розвиток. Першу в світі атомну електростанцію потужністю 5 МВт було запущено у 1954 році в СРСР, у місті Обнінськ (Калужська область, Росія). За межами колишнього СРСР першу АЕС промислового призначення потужністю 46 МВт було введено в експлуатацію у 1956 році в Колдер-Холлі (Великобританія). Через рік стала до ладу АЕС потужністю 60 МВт у Шиппінгпорте (США).

Найбільша АЕС у світі - Касівадзакі-Каріва (м. Касівадзакі, префектура Ніїгата, Японія). Її встановлена потужність — 8,2 ГВт. У експлуатації знаходяться сім ядерних реакторів. Найбільша АЕС у Європі — Запорізька АЕС у м. Енергодар (Запорізька область, Україна). У експлуатації знаходяться шість атомних реакторів сумарною встановленою потужністю 6 ГВт. За інформацією Міжнародного агентства по атомній енергетиці (МАГАТЕ) стан атомної енергетики в світі на 2019 рік представляє наступну картину (рис. 1.1).

Таблиця 1. Частка виробництва електроенергії на АЕС станом на 2019 рік

Країни	Частка виробництва електроенергії на АЕС, %
Франція	74
Словатчина	52
Бельгія	51
Україна	48

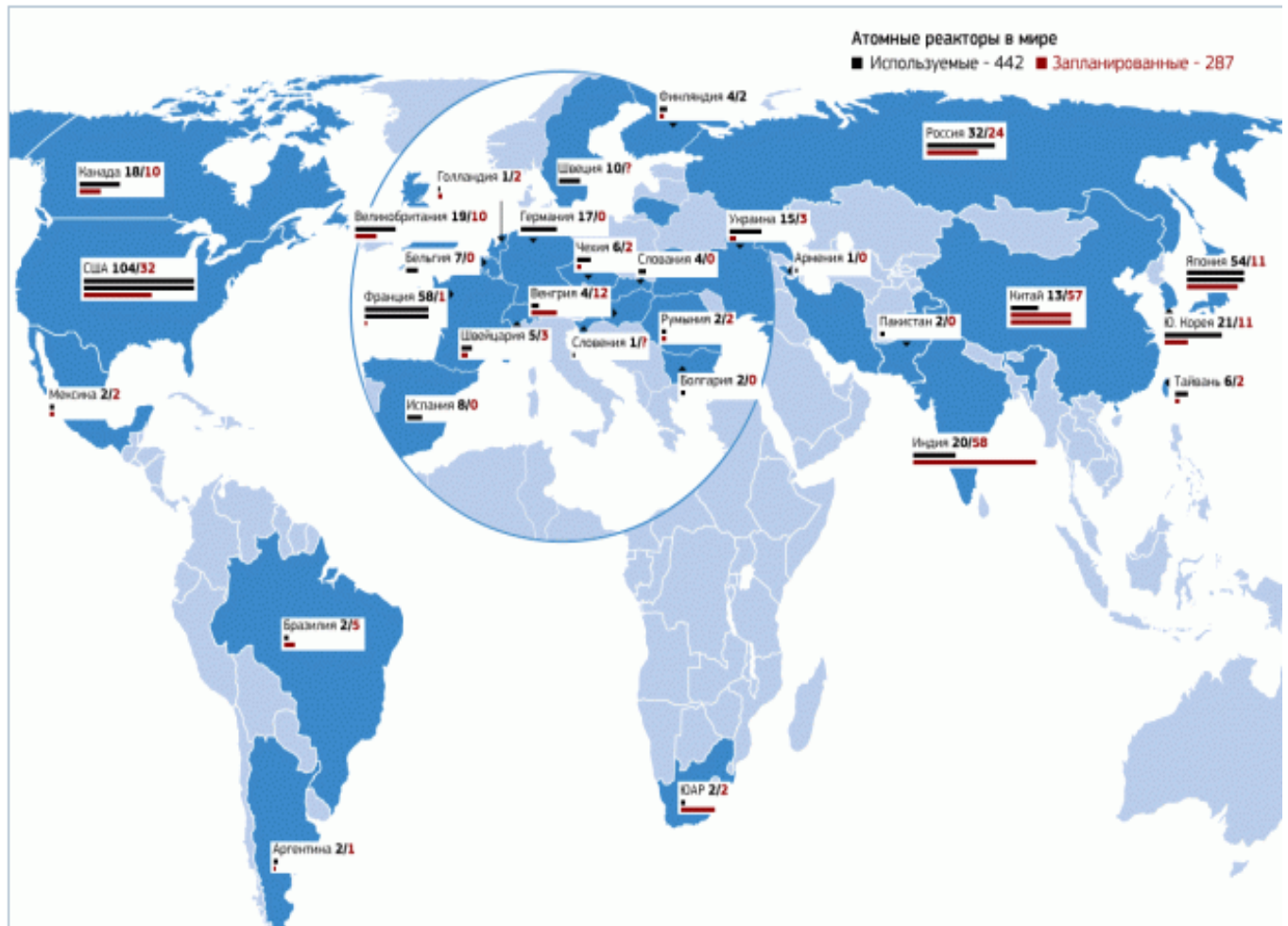


Рисунок 1.1 - Стан атомної енергетики у світі за 2019 рік

Таблиця 2. Стан атомної енергетики у світі за 2019 рік

Країна	Діючі енергоблоки		Енергоблоки, що споруджуються	
	Кількість	Потужність	Кількість	Потужність
Аргентина	2	935	1	692
Бельгія	7	5927	0	0
Болгарія	2	1906	2	1906
Бразилія	2	1884	1	1245
Великобританія	18	9920	0	0
Вірменія	1	376	0	0
Індія	20	4391	6	4194
Іран	1	915	0	0
Іспанія	8	7567	0	0
Канада	18	21569	0	0
Китай	15	11078	27	27230
Литва	0	0	0	0
Мексика	2	1300	0	0
Нідерланди	1	482	0	0
Німеччина	9	12068	0	0
Пакистан	3	725	1	315
Росія	32	22693	11	9153
Румунія	2	1300	0	0
Словатчина	4	1816	2	782
Словенія	1	688	0	0
США	104	101240	1	1165
Тайвань	6	4982	2	2600
Угорщина	4	1889	0	0
Україна	15	13107	2	1900
Фінляндія	4	2716	1	1600

Франція	58	63130	1	1600
Чехія	6	3678	0	0
Швейцарія	5	3263	0	0
Швеція	10	9298	0	0
Японія	50	44215	2	2650
Всього:	433	366555	65	62592

Атомна енергетика України. Для України атомна енергетика є стратегічно важливим елементом енергозабезпечення: сьогоднішній і прогнозований внесок її складає близько 50% електроенергії, що виробляється в країні.

Успішне функціонування атомної енергетики – одна з необхідних умов забезпечення національної безпеки країни.

Структура енергетичної бази України формувалася протягом багатьох десятиліть і визначалася енергетичною політикою колишнього СРСР та використанням єдиної енергетичної системи. Україна належала до енергодефіцитних республік, маючи змогу покрити свої потреби у вугіллі лише на 50 %, у нафті — на 10—12 %, у природному газі — на 20—25 %. Тому було взято курс на розвиток на її території атомної енергетики. Протягом 70—80-х років у республіці розгорнулося будівництво мережі АЕС. Першою з них була Чорнобильська (ЧАЕС), блок №1 якої було введено в роботу в 1977 р. У наступні роки розгорнулося будівництво Рівненської, Запорізької та Хмельницької станцій. У таблиці нижче наведено дані щодо діючих АЕС України.

Сьогодні в Україні працює чотири АЕС, на яких діють 15 енергоблоків типу ВВЕР (водо-водяний енергетичний реактор) загальною потужністю 13880 МВт. За останнє десятиліття загальне щорічне виробництво електроенергії в Україні збільшилось, зросла й частка енерговиробітку на атомних електростанціях. Тобто, атомна енергетика перетворилася на основний стабілізуючий фактор енергетичної системи країни. Усі ці факти, а також аналіз енергетичних потреб країни та можливостей їх задоволення

свідчать про доцільність і необхідність розвитку в Україні атомної енергетики. Вибір саме такого шляху відповідатиме і світовій тенденції.

1.2 Роль і місце парогенераторів в технології роботи АЕС

В системі будь-якої теплової електростанції розділяють теплоносій і робоче тіло. Для атомних станцій робочим тілом, так як і в сучасних потужних теплових станцій на органічному паливі, є водяний пар.

Вимоги до чистоти робочого тіла настільки високі, що можуть бути задоволені з економічно проблемними показниками тільки при конденсації всього пару і повернення конденсату в цикл. Тому контур робочого тіла для конденсаційних електростанцій повинен бути завжди замкнутий і додаткова вода надходить до нього лише в невеликих кількостях для відновлення протічок і деяких інших втрат конденсату.

Призначення теплоносія - відводити тепло, виділене в реакторі при генеруванні внутрішньоядерної енергії. Для запобігання будь-яких відкладень на тепловиділяючих елементах необхідно доволі висока чистота теплоносія, тому для нього також потрібен замкнений контур. Але є набагато вагоміша причина того, чому контур теплоносія повинен бути замкнений: в результаті проходження через реактор теплоносія активізується і його втрати, могли би призвести до серйозної радіаційної небезпеки. Тому основна класифікація атомних електростанцій залежить від числа контурів у ній.

Виділяють АЕС: одноконтурні, двохконтурні, неповністю двохконтурні, трьохконтурні.

Одноконтурні АЕС. Якщо контури теплоносія і робочого тіла співпадають, то таку АЕС називають **одноконтурною** (рис 1.2).

В реакторі 1 відбувається пароутворення, пар направляється в турбіну 2, де, розширюючись, виконує роботу, перетворювану в генераторі в електроенергію. Після конденсації всього пару в конденсаторі 4 конденсат насосом подається знову в реактор. Таким чином, контур робочого тіла являється одночасно контуром теплоносія, а іноді і уповільнювача, і виходить замкненим. Реактор може працювати як і з природною, так і з

штучною циркуляцією теплоносія по додатковому внутрішньому контуру реактору, на котрому встановлений відповідний насос.

Недоліки: в одно контурних схемах все обладнання працює в радіаційних умовах, що в свою чергу робить його експлуатацію тяжчою.

Переваги: простота; велика економічність, в порівнянні з двоконтурними системами, так як параметри пару перед турбіною і в реакторі відрізняються лише на величину витрат в паропроводах

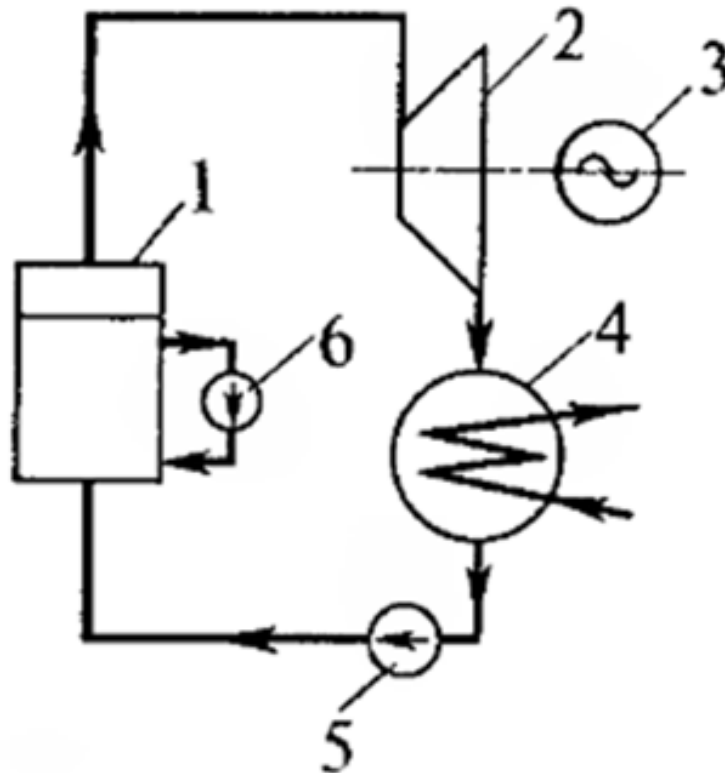


Рисунок 1.2 - Схема роботи одно контурної АЕС:

1. реактор; 2. парова турбіна; 3. електричний генератор; 4. конденсатор;
5. живильний насос; 6. циркулярний насос

Якщо контури теплоносія і робочого тіла розділені, то таку АЕС називають **двохконтурною** (рис. 1.3). Відповідно контур теплоносія називають *першим*, а контур робочого тіла – *другим*. В таких схемах реактор 1 охолоджується теплоносієм, прокачуваним через нього в парогенератор 7 циркулярним насосом 6.

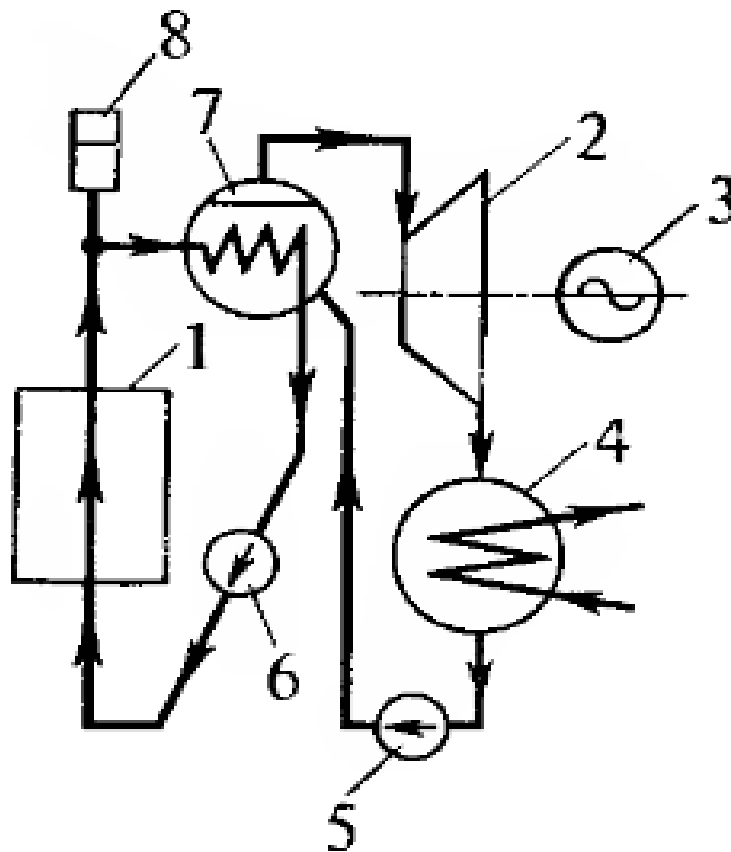


Рисунок 1.3 - Схема роботи двохконтурної АЕС:

1. реактор; 2. парова турбіна ; 3. електричний генератор; 4. конденсатор;
5. живильний насос; 6. циркулярний насос; 7. парогенератор; 8.компенсатор об'єму.

Створений таким способом контур теплоносія являється радіоактивним, але він включає в себе не все обладнання станції, а лиш його частину. Якщо пароутворення теплоносія в реакторі відсутнє, то в систему першого контуру вводиться компенсатор об'єму, так як об'єм теплоносія залежить від його температури, яка змінилася в процесі роботи. Пар з парогенератора надходить у турбіну 2, потім в конденсатор 4, а конденсат з нього насосом подається в парогенератор 7. Створений таким шляхом другий контур включає обладнання, що працює у відсутності радіаційної активності, що в свою чергу спрощує експлуатацію станції.

На двохконтурній станції обов'язкова парогенеруюча установка - елемент розділяючий два контура, тому вона в різній степені належить як першому, так і другому контурам. Передача тепла через поверхність нагріву потребує перепаду температур між теплоносієм і кип'ячою водою в парогенераторі. Для водного теплоносія це потребує підтримування в

першому контурі більш високого тиску, ніж тиск пару, який передається на турбіну. Бажання уникнути в першому контурі закипання теплоносія в каналах реактора, призводить до до необхідності мати тут тиск, який набагато перевищує тиск в другому контурі. Відповідно теплова економічність такої станції завжди менше, ніж одно контурної з тим же тиском у реакторі.

На початку вважалось, що двохконтурна АЕС буде суттєво відрізнятися від одно контурної по капіталовкладенням. Але визначена необхідність виконання всіх генеративних підігрівачів з аустенітних нагріваючих сталей для зменшення концентрації корозій живильній воді призвела до того, що такому важливому показнику, як вартість установленого кіловата потужності, одно контурні станції майже не мають переваг перед двохконтурними.

В якості теплоносія в схемі АЕС на рис 1.2, можуть бути використані також будь-які органічні рідини, або газ. Газовий теплоносій прокачується через реактор і парогенератор газодувкою, граючи роль, що і циркулярний насос. В відміні від водного для органічних і газових теплоносіїв тиск в першому контурі може бути нижчим, ніж у другому.

Переваги:

- можливість роботи на органічних і газових теплоносіях;
- частина устаткування незабруднена радіаційно;
- вартість установленого кіловатта потужності, одноконтурні станції майже не мають переваг перед двохконтурними.

Недоліки:

- складніша в експлуатації, ніж одно контурна система;
- теплова економічність завжди менша, ніж в одно контурній системі з таким же тиском в реакторі.

Атомна станція може працювати як **неповністю** або **частково двохконтурна** (рис. 1.4).

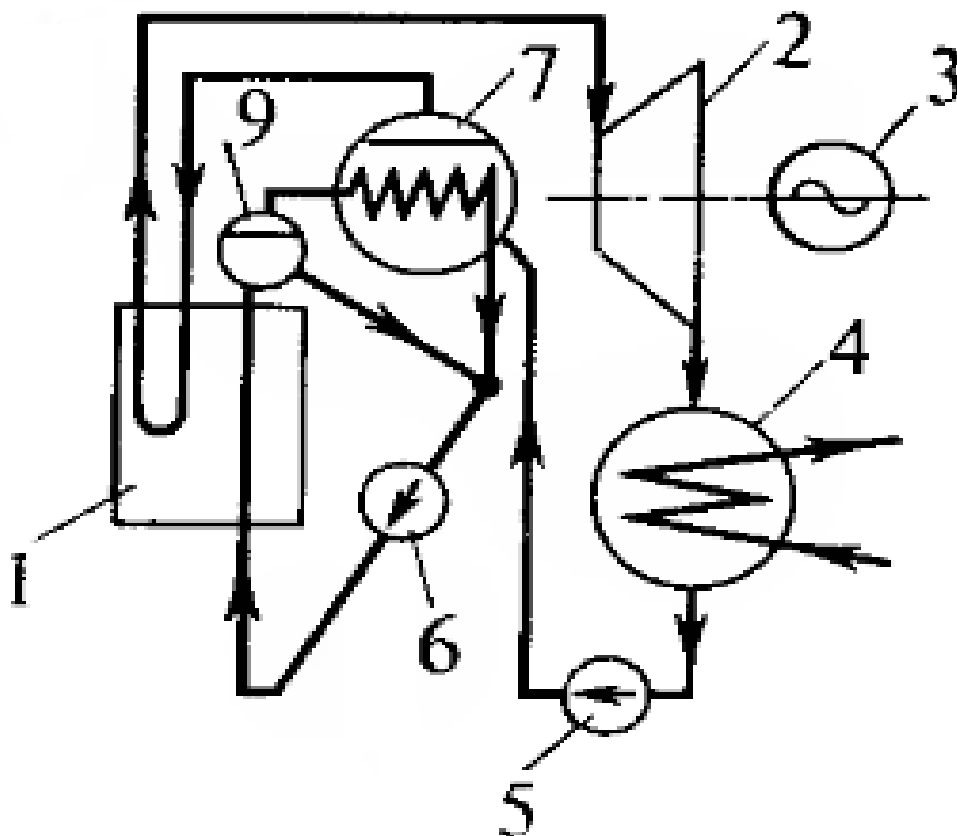


Рисунок 1.4 - Схема роботи неповністю двохконтурної системи:
 1. реактор; 2. парова турбіна; 3. електричний генератор; 4. конденсатор;
 5. живильний насос; 6. циркулярний насос; 7. парогенератор; 9. барабан-сепаратор.

В цьому випадку маємо як самостійний перший контур теплоносія, так і сполучений контур теплоносія з другим контуром. Пар який утворився в реакторі, осушується в барабані-сепараторі, надходить в парогенератор, конденсується в ньому і змішується з реакторною водою. Циркуляційний насос повертає теплоносій в реактор. Утворена в парогенераторі насичений пар надходить для перегріву в реакторі тому являється не тільки теплоносієм, а також і робочим тілом. Далі пар проходить по всьому другому контуру, котрий тим самим є сполучений з першим, але тільки в паровій, найменш радіоактивній, частині. Тому обладнання другого контуру працює в умовах малої радіоактивності, що спрощує його експлуатацію в порівнянні з одноконтурною системою. Неповністю двохконтурна система виникла в зв'язку з відмовою від перегріву пару в окремому поверхневому пароперегрівачі, так як при цьому тиск і температура перегріву в першому контурі вийшла би

недопустимо високою для матеріалів оболонок тепловиділяючих елементів, а теплообмінник (пароперегрівач)- досить дорогим.

В процесі експлуатації можливо виникнення нещільності на окремих ділянках парогенератора, частіше всього в місцях вальцьовок парогенераторних трубок або корозійних пошкоджень. Якщо тиск в першому контурі вищий ніж у другому, то виникає перетік теплоносія, викликаючи радіоактивність другого контуру . Таке може виникнути при використанні в якості теплоносія води під тиском. При застосуванні газового або органічного теплоносія виникнення нещільностей може визвати перетікання води (пару) з другого контуру в перший. Це погіршує чистоту теплоносія і викликає корозію обладнання.

Існують теплоносії, попадання в які пару або води викликає хімічну реакцію. Це може викликати небезпеку викиду радіаційно-активних речовин с першого контуру в приміщення. Таким теплоносієм являється рідкий натрій, який реагує с водою і паром. Тому створюють додатковий контур, з тим щоб запобігти контакту радіоактивного натрію з водою або паром. Такі АЕС називають **трьохконтурними** (рис 1.5).

Радіоактивний рідко металевий теплоносій насосом прокачується через реактор і проміжний теплообмінник, в якому віддає тепло нерадіоактивному рідко металевому теплоносію. Останній прокачується через парогенератор по схемі, яка утворює проміжний контур. При виникненні нещільності між проміжним і другим контуром контакт води або пару буде мати сенс тільки с нерадіоактивним натрієм.

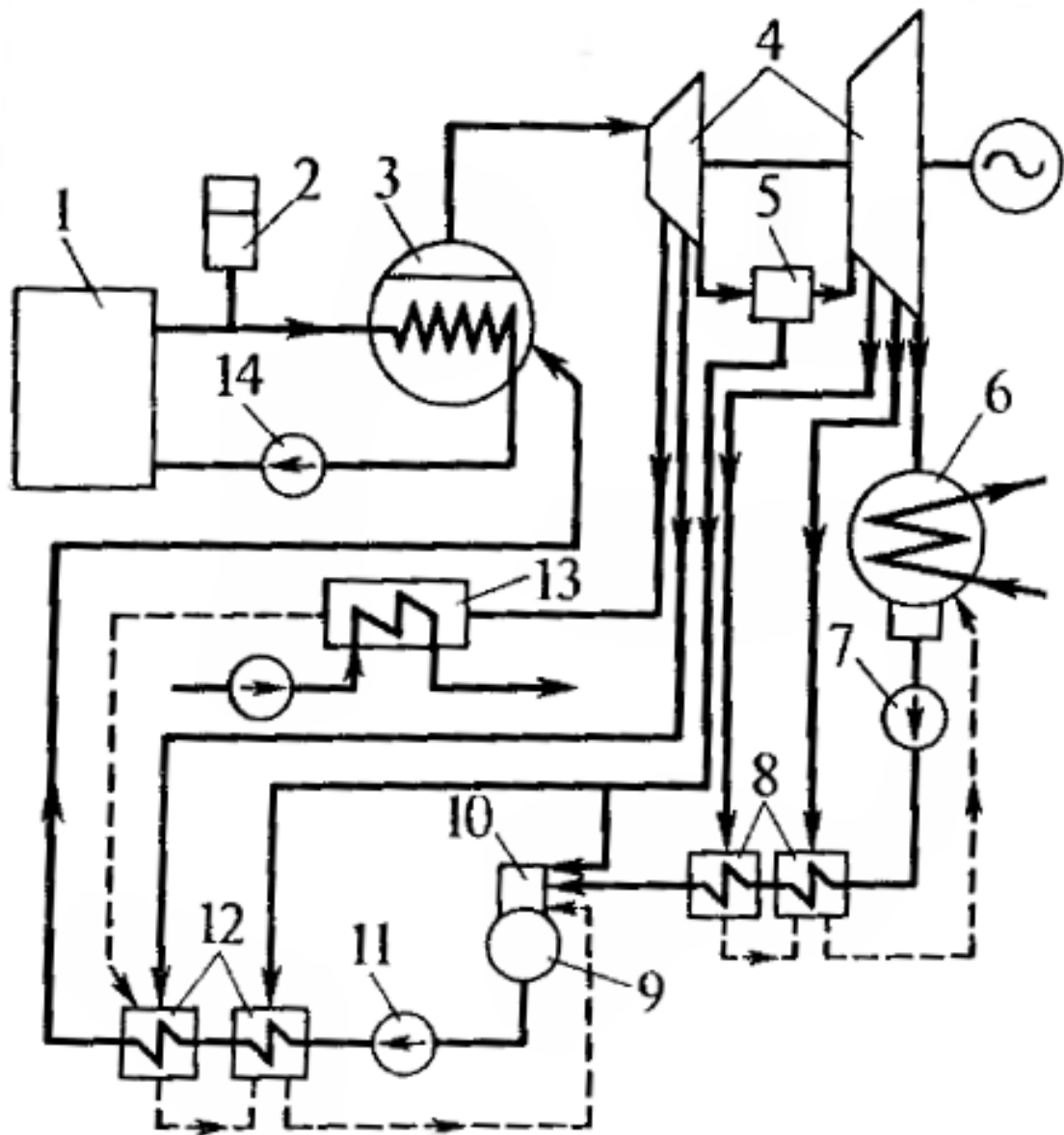


Рисунок 1.6 - Теплова схема роботи двохконтурної АЕС:

1. реактор; 2. компенсатор об'єму; 3. парогенератор 4. парова турбіна; 5. турбінний сепаратор; 6. конденсатор; 7. конденсатний насос; 8. підігрівачі низького тиску; 9. деаераторний бак; 10. деаераторна колонка; 11. живильний насос; 12. підігрівачі низького тиску; 13. мережний підігрівач; 14. циркуляційний насос; 15. конденсатоочистка.

Реакторна установка – джерело тепла. В парогенераторі за рахунок теплопередачі від теплоносія до робочого тіла виробляється пар для роботи в турбіні. В турбіні проводиться розширення пару. Так як початковий підігрів пару буває незначний, а в багатьох випадках, і також для двохконтурних систем з водяним теплоносієм, пар поступає в турбіну насиченим, то, розширюючись в турбіні, він швидко зволожується. Гранично допустима норма вологості пару звичайно не повинна перевищувати 8-12%, щоб

запобігти інтенсивного зносу лопатного апарату краплями води. При досягненні граничної вологості весь пар виводиться з циліндру високого тиску і пропускається через сепаратор, звідки він поступає в циліндр низького тиску. Тут пар в процесі розширення знову зволожується і поступає в конденсатор. Намагання отримати від кожного кілограму пару можливу більшу роботу і тим самим підвищити к.п.д. змушує підтримувати в конденсаторі більш глибокий вакуум. В зв'язку з цим конденсатори більша частина циліндру низького тиску турбіни знаходиться під розрідженням.

Так як цикл робочого тіла замкнений, то весь турбінний конденсат повинен бути поданий в парогенератор. За рахунок роботи насосів тиск збільшується по величині, характерній для конденсатора, до тиску в парогенераторі, з розрахунком необхідності долати опір тракту від конденсатора до парогенератора. Взагалі цей тракт ділять на 2 частини. Конденсатний насос забирає конденсат з водяного об'єму конденсатора і прокачує його через регенеративні підігрівачі, які називаються підігрівачами низького тиску, до живильного баку.

В живильному баку, тиск в якому вищий атмосферного, створюється деякий запас води. Насосом, який забезпечує послідовне збільшення тиску до робочого в парогенераторі, вода з живильного баку прокачується через регенеративні підігрівачі – підігрівачі високого тиску. Весь тракт від конденсатора до парогенератора називають конденсатно – живильним, а його частини до і після живильного баку – конденсатним і живильними трактами відповідно.

В регенеративних підігрівачах конденсат і живильна вода підігріваються відбірним паром турбін, конденсат якого повертається в систему (рис.1.5). Так як циліндр низького тиску турбіни працює в області вакууму, то трубопроводи від відбірного пара до підігрівача низького тиску, самі підігрівачі по стороні гріючого пару і лінії конденсату гріючого пару знаходяться в стані розрідження. Підігрівачі високого тиску, встановлені на живильному тракті, знаходяться під тиском по обидві сторони поверхні нагріву, так як вони обігріваються паром, який відбирається з циліндру

високого тиску турбіни. З циліндра високого тиску відбір пару проводиться також і для підігріву води в мережному підігрівачі для опалення, вентиляції і гарячого водопостачання.

Таким чином, по конденсаційно-живильному тракту відбувається збільшення тиску і ентальпії робочого тіла. В парогенеруючій установці ентальпія пару збільшується при постійному тиску до максимальної величини даного циклу. Далі в паровій турбіні ентальпія і тиск пари неперервно зменшується до тиску в конденсаторі, де в зв'язку з конденсацією пару при постійному тиску ентальпія зменшується до мінімального значення для даного циклу.

Для схеми приведеної на рис. 1.6 та 1.7, парогенератор утворює насичений або трохи перегрітий пар одного тиску. В аналогічній двохконтурній системі з газовим або рідкометалевим теплоносієм парогенеруюча установка другого контуру звичайно видає перегрітий пар, при чому для газового теплоносія іноді двох тисків. Наявність підігріву для таких систем дозволяє мати допустиму вологість на вході в конденсатор, не використовуючи турбінного сепаратора.

Якщо теплоносій – вода, але станція одно контурна, то немає необхідності мати окрему парогенеруючу установку. Задача реакторної установки при цьому – не тільки тепловиділення, але і виробництво пару, частіше всього насиченого. Якщо для подібної схеми циркуляційну воду реактора пропустити через поверхню нагріву додаткового парогенератора, то отримаємо схему, аналогічну показаній на рис. 1.6. тут контур робочого тіла співпадає з контуром теплоносія. Відмінність цієї схеми від приведеної на рис. 1.5- суттєве збільшення внутрішнього контуру штучної циркуляції.

В парогенераторі відбувається додаткове охолодження реакторної води, що збільшує теплову потужність реактора, хоча і зменшує кількість пару який видається самим реактором.

Так як для теплопередачі в парогенераторі необхідно температурний напір між граючою і обігрівуючою середовищами, то генеруючий в ньому насичений пар має тиск менший ніж в реакторі.

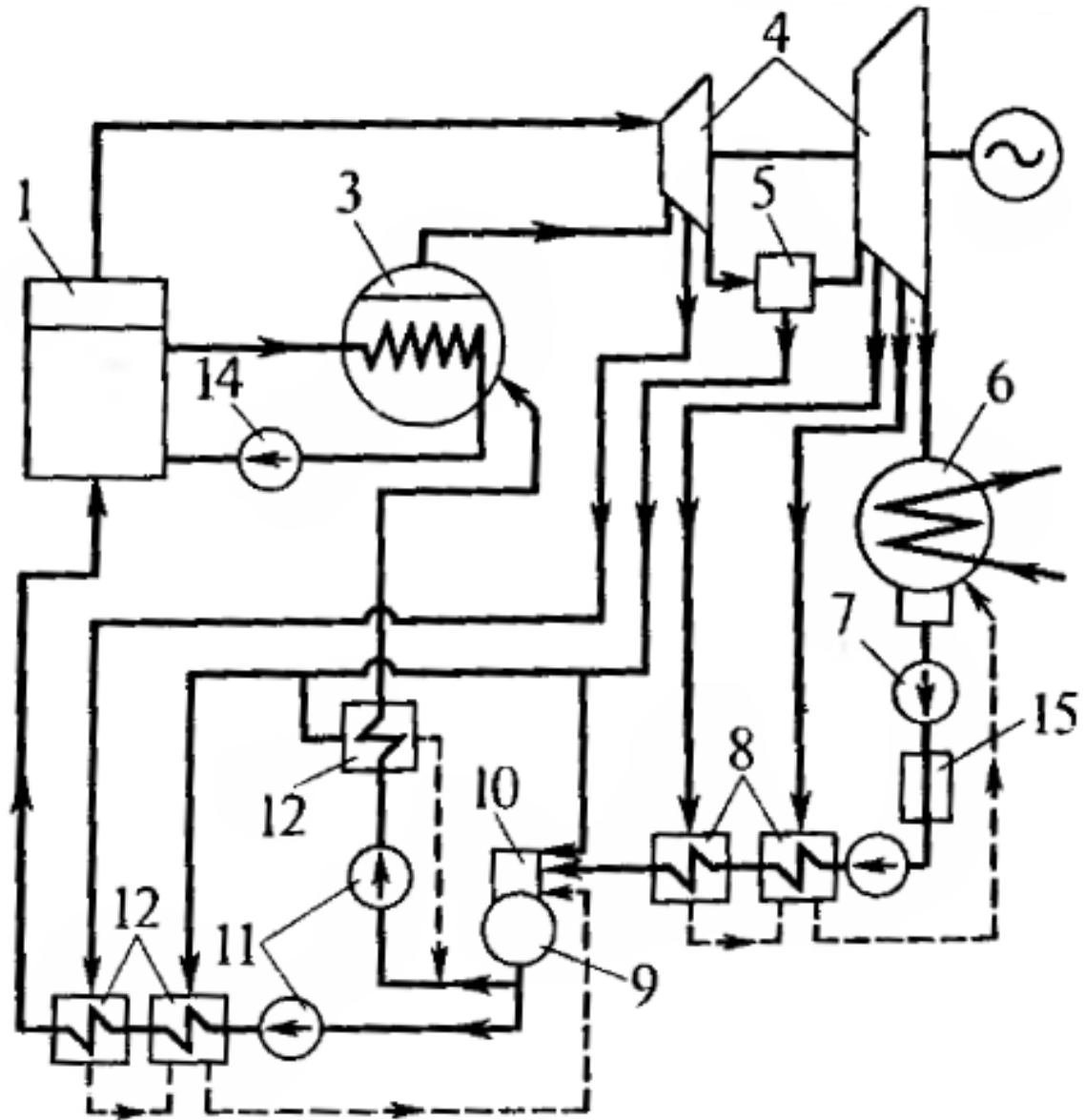


Рисунок 1.7 - Теплова схема роботи вдосконаленої двохконтурної АЕС

1. реактор; 3. парогенератор; 4. парова турбіна; 5. турбінний сепаратор;
6. конденсатор; 7. конденсатний насос; 8. підігрівачі низького тиску;
9. деараторний бак; 10. деараторна колонка; 11. живильний насос;
12. Підігрівачі високого тиску; 14. Циркуляційний насос;
15. Конденсатоочиска.

Тому пар від парогенератора повинен подаватися не в головну частину турбіни, а в її проміжну ступень. Тому, турбінна установка для схеми приведеної на рис. 1.7, повинна працювати на двох тисках. Інше обладнання станції обох типів (рис. 1.6 і 1.7) однакове, але різниця тисків в реакторі і в парогенераторі, потребує виконання двох самостійних живильних трактів. Така схема була використана, наприклад, на першій черзі Дрезденської АЕС(США). В подальшому одноконтурні схеми будувались без додаткового

парогенератора, так як він значно збільшив вартість АЕС.

1.3 Обґрунтування необхідності регулювання рівня теплоносія в парогенераторі.

Розглянувши всю систему АЕС, видно що парогенератор співпрацює майже зі всіма елементами електростанції, тому він є одним із самих головних елементів системи. Підтримання оптимальної його роботи є особливо важливою задачею. Режим оптимальної роботи в свою чергу зводиться до підтримання балансу між виводом пару і подачею живильної води. Адже, якщо рівень води в парогенераторі сильно підвищиться – то можливе попадання води в турбіну, а якщо зменшиться - то це призведе до оголення поверхні нагріву.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ ЖИВЛЕННЯ ПАРОГЕНЕРАТОРА

2.1 Класифікація парогенераторів

Перш ніж підійти до аналізу існуючих систем автоматичного регулювання живлення, треба ознайомитись із самою структурою і різновидами об'єкту – парогенераторами.

Парогенератори класифікуються:

- по вигляду первинного теплоносія: з водним, рідинно-металевим, газовим і др.; по організації руху робочого тіла: у випарнику з багатократною природною циркуляцією, з багатократною примусовою циркуляцією, прямоточні.
- по кількості корпусів (корпусні) — однокорпусні, багатокорпусні (окремі елементи мають власні корпуси), секційні (розділені на декілька секцій, що мають загальні системи регулювання витрати теплоносія і робочого тіла), секційно-модульні (секції складаються з окремих модулів, в яких розташовуються різні елементи);
- по особливостях компоновки — горизонтальні (радянський і російський напрям розвитку) і вертикальні (західний).

Горизонтальні парогенератори (рис.2.2) мають ряд серйозних переваг перед вертикальними (рис. 2.1) в плані надійності, «живучості», простоти забезпечення необхідних параметрів пари і ін., що доведене досвідом експлуатації. При цьому вони мають меншу вартість за рахунок матеріалу трубчатки. Перевага вертикальних парогенераторів полягає в приблизно на 7% більшій тепловій ефективності (зменшення теплопередаючої поверхні), яка досягається за рахунок довгих теплообмінних труб (близько 20 метрів, в ПГВ-1000 — 11 метрів). Кількість труб в пучку менша, а швидкість теплоносія по першому контуру приблизно в 1,5 разу вище. Проте перше знижує «живучість», оскільки потрібний більший конструктивний запас

поверхні з розрахунку на глушення окремих трубок. Швидкість по другому контуру у вертикальних ПГ також вище, що може привести до вібрації і пошкодження трубчатки в результаті попадання сторонніх предметів з боку 2-го контура (жодного подібного випадку з ВВЕР не зафіксовано). Крім того, у вертикальних ПГ приблизно в 1,7 разу тонше за стінку трубок, що позитивно позначається на тепловій ефективності, проте негативно — на надійності і безпеці, із-за збільшення вірогідності їх розриву. Найбільш серйозний і неусувний концептуальний недолік вертикальних ПГ — наявність горизонтальної трубної дошки, де скупчується шлам, що надзвичайно підсилює корозію теплообмінних труб. У горизонтальних парогенераторах шлам осідає в нижній частині корпусу, де відсутня трубчатка і легко організувати його видалення за допомогою постійного і періодичного продування. Найбільше поширення знайшло використання горизонтального парогенератора типу ПГВ-1000, так як його конструктивні особливості і принцип роботи повністю задовольняють існуючу систему АЕС.

Регулювання живлення парогенератора зводиться до підтримання матеріального балансу між відводом пару, продувкою і подачею живильної води. Параметром, який характеризує матеріальний баланс є рівень води в парогенераторі.

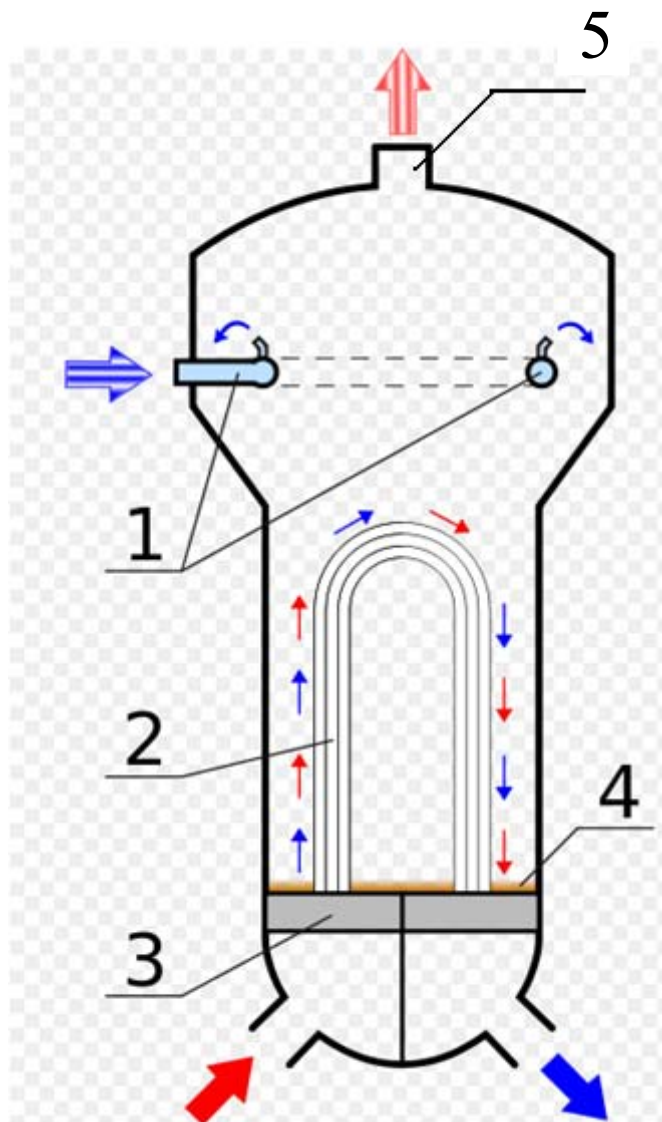


Рисунок 2.1 - Вертикальний парогенератор:

1. колектор живильної води; 2. теплообмінні трубки; 3. горизонтальна трубна дошка, вхід і вихід теплоносія 1-го контуру; 4. найбільш вірогідні місця скупчення шлаків; 5. паропровід.

2.2 Дослідження систем автоматичного регулювання живлення парогенератора

До стабілізації рівня пред'являються високі критерії. Для парогенератора с реактором ВВЕР-1000 номінальний рівень $L_{\text{ном}}$ складає 2450 мм. (рис 2.1). Точність підтримання рівня в статичних режимах складає 50 мм. від $L_{\text{ном}}$, а в динамічних 150 мм. від $L_{\text{ном}}$. Збільшення рівня води від $L_{\text{ном}}$ не допускається із-за затоплення і порушення роботи сепараційних пристроїв (потрапляння води в турбіну), а зниження рівня – із-за оголення поверхні нагріву.

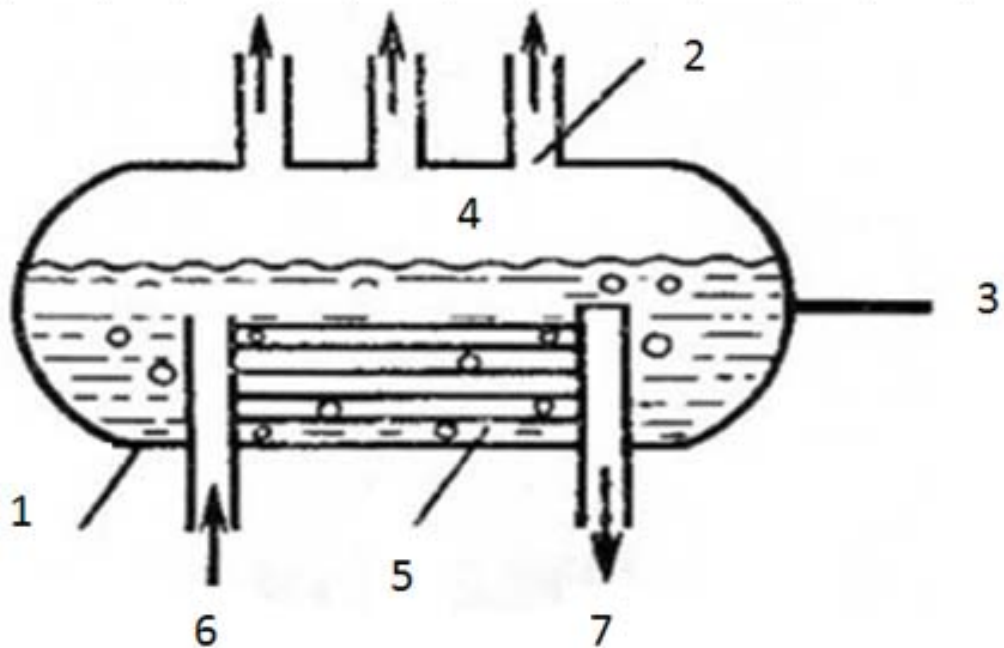


Рисунок 2.2 - Схема барабанного парогенератора АЕС с ВВЭР-1000:
 1. корпус парогенератора; 2. паропроводи; 3. – канал подачі живильної води;
 4. паровий простір; 5. трубчатка; 6. вхідний патрубок; 7. вихідний патрубок

В корпусі парогенератора 1 знаходиться вода другого контуру. Нагрів води здійснюється трубчаткою 8, через котру прокачується гарячий теплоносій першого контуру, який надходить в патрубок 9 і виводиться через патрубок 10. Пар який виділився в корпусі сепарується від вологи в паровому просторі 7 і по паропроводам 4 направляється на турбіну. Живильна вода подається по паропроводу 6.

Збурення які впливають на рівень води в парогенераторі:

- Витрати пару (навантаження);
- Зміна витрат живильної води;
- Зміна температури живильної води;
- Зміна витрат продувки;
- Зміна тепловідводу з сторони першого контуру (зміна середньої температури першого контуру або вимкнення головного насосу).

На даний час існують 3 види систем, які регулюють ці збурення:

- одно імпульсна система;
- двох імпульсна система;
- трьох імпульсна система.

Одноімпульсна система автоматичного регулювання. При поступових навантаженнях, майже статичних режимах, задачу регулювання успішно вирішили «автоматика по Ползунову» – поплавковий датчик змінював подачу живильної води переміщенням живильного клапану.

У стаціонарних умовах подача живильної води має дорівнювати витраті пари (якщо з регульованої ємкості частина води забирається на продування, то витрата живильної води має бути відповідно збільшена). Регулювання в змінних режимах ускладнюється із-за наявності так званого «набухання». Наприклад, якщо збільшити приплив теплоти до рідини при постійній витраті живильної води, то це приводить до тимчасового підйому рівня, а потім до його падіння. Через такий характер зміни рівня, регулювання рівня одинімпульсним регулятором Р (рис. 2.3), що збільшує витрату живильної води при зниженні рівня і зменшує витрату при підйомі рівня, неефективно.

Такий регулятор при збільшенні теплової потужності із-за спухання рівня в перший момент зменшить витрату води, що через деякий час приведе до падіння рівня, більшого чим без регулювання. З іншого боку при збуренні зміною витрати живильної води (наприклад, при зміні режиму роботи насосів) сигнал на вхід одинімпульсного регулятора прийде із значним запізненням.

Якщо розглянути динамічні характеристики парогенератора при деяких збуреннях (рис. 2.4-2.5), стає зрозуміло, що вони є дуже складними з точки зору стабілізації рівня. Цим пояснюється той факт, що для автоматичного регулювання одно імпульсні системи не можуть бути використанні в динамічних режимах, а тільки в статичних.

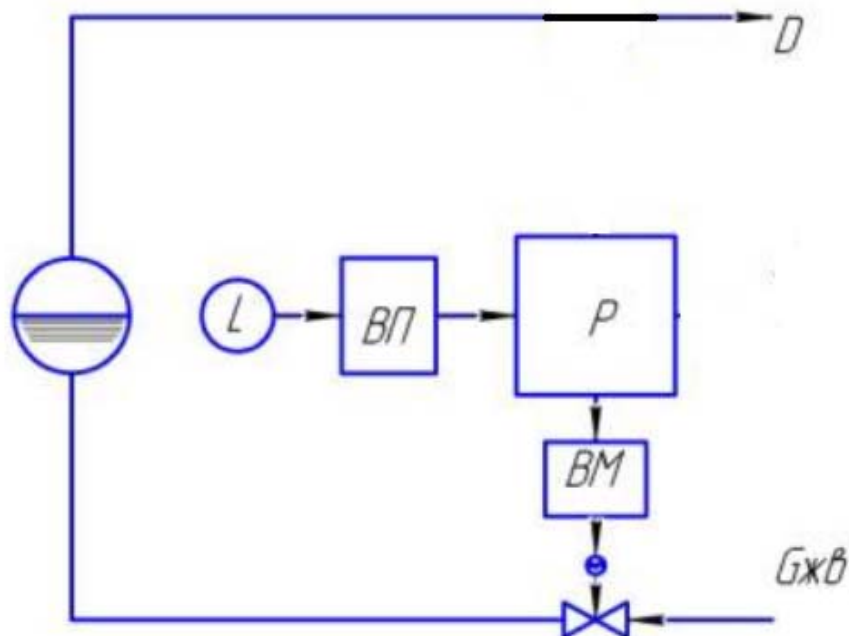


Рисунок 2.3 - Принципіальна одноімпульсна схема регулювання рівня води в парогенераторі : ВП – вимірювач перетворювач; ВМ – виконавчий механізм; Р – регулятор; $G_{жв}$ – витрата живильної води; D – витрата пари; L – датчик рівня; $L_{зад}$ – заданий рівень.

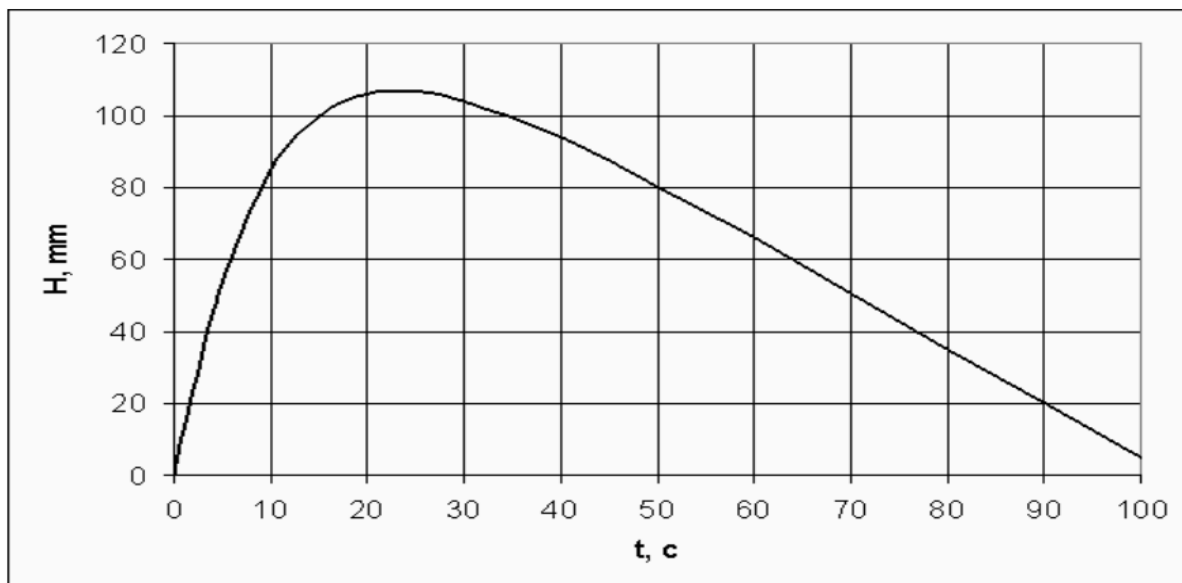


Рисунок 2.4 - Крива розгону ПГ по рівню при збуренні витратою пари 150 т/год (при збільшенні температури в першому контурі)

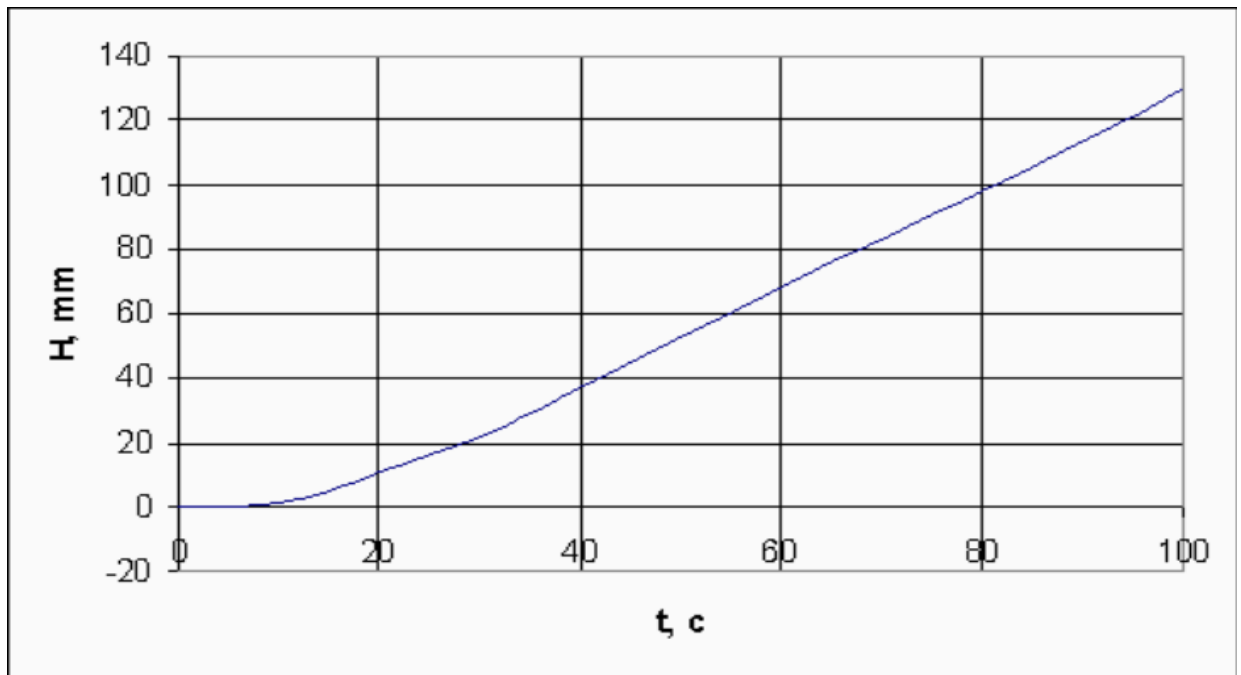


Рисунок 2.5 - Крива розгону ПГ по рівню при збуренні витратою живильної води 150 т/год

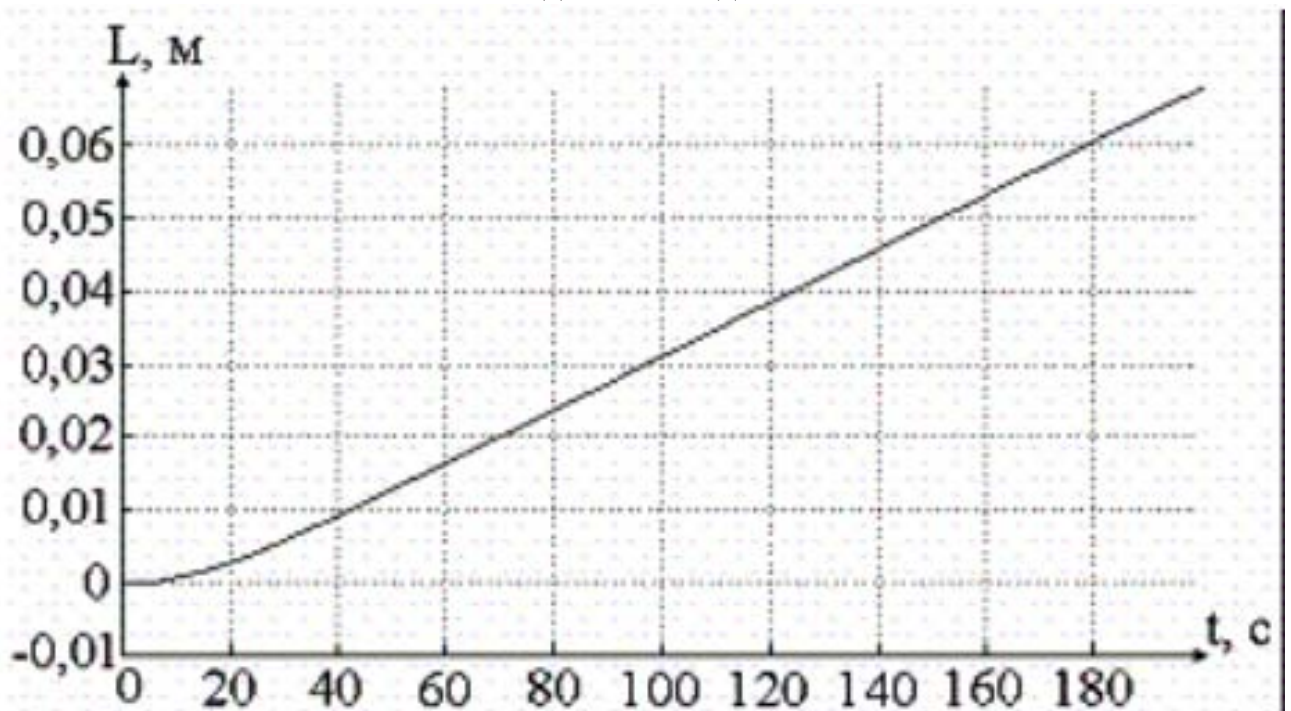


Рисунок 2.6 - Крива розгону ПГ за рівнем при подачі стрибкоподібного збурення витратою живильної води 10 кг / с

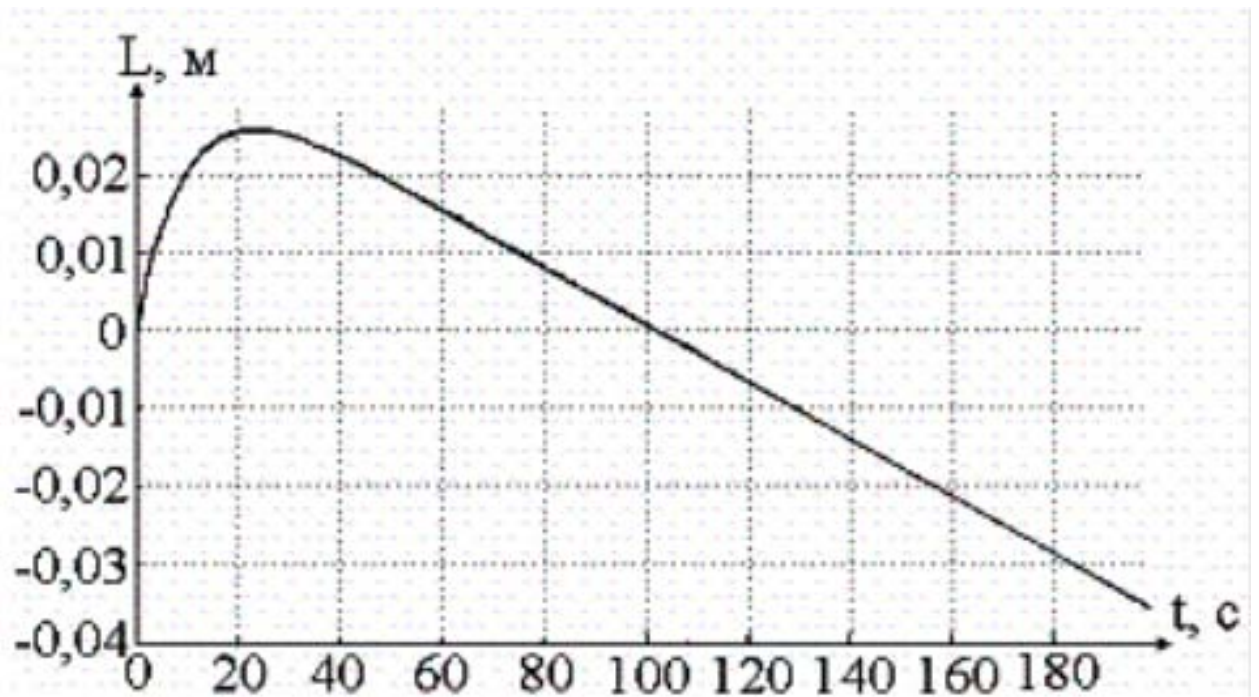


Рисунок 2.7 - Крива розгону ПГ за рівнем при подачі стрибкоподібного збурення витратою пари 10 кг / с

Двохімпульсна САР рівня живильної води з пристроєм введення по збуренню. Застосування пропорційно П закону регулювання в одноімпульсних систем для астатичного об'єкту з явищем "набухання" не забезпечувало необхідної якості регулювання. Тому для регулювання рівня в ПГ застосовують комбіновані САР; регулювання по відхиленню з П-регулятором і контуром інваріантності по основній збурюючій дії - витраті пару.

У такій схемі виконавчий механізм живильного клапана ВМ управляється регулятором Р, на вхід якого подаються сигнали поточного рівня води L , витрати пари D сигнал задаючого рівня води L_3 (рис. 2.8).

Сигнал по рівню води в ПГ L компенсується сигналом завдання L_3 . При зміні рівня води в парогенераторі змінюється відповідний сигнал на вході в регулятор і останній пропорційно змінює витрату живильної води (реалізується П-закон регулювання). Статична нерівномірність П-регулятора усувається корегуючим сигналом по витраті пару.

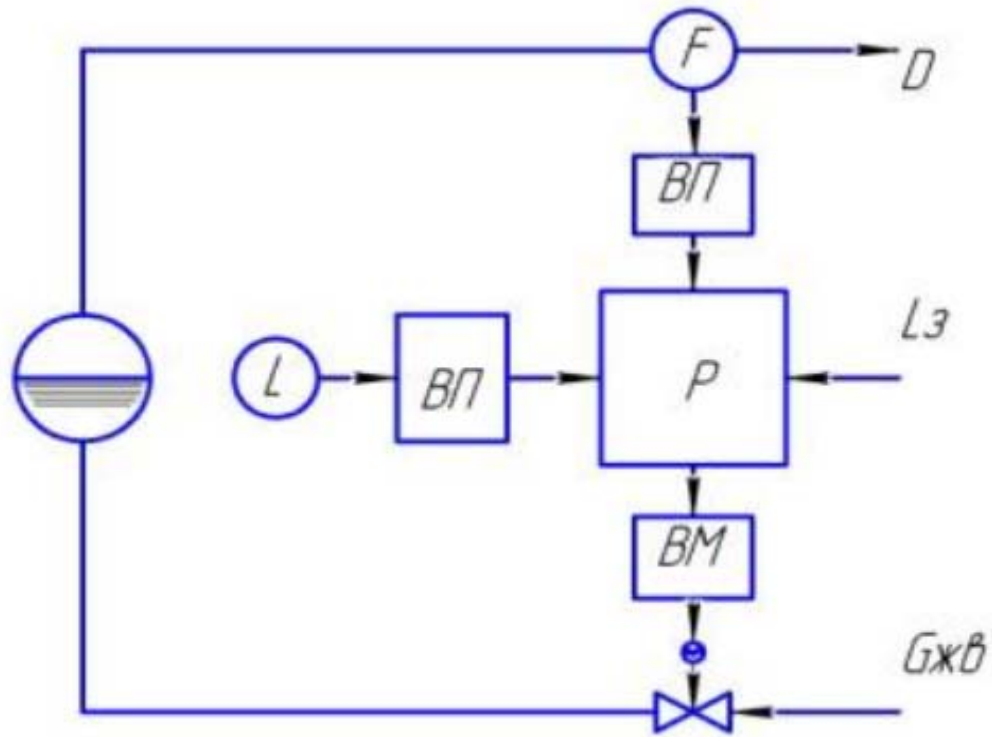


Рисунок 2.8 - Принципова двохімпульсна схема регулювання рівня води в парогенераторі: ВП – вимірюючий перетворювач; ВМ – виконавчий механізм; Р – регулятор; $G_{жв}$ – витрата живильної води; L_3 – заданий рівень води; D – витрати пару; L – поточний рівень води в парогенераторі; F – датчик витрати пару.

Визначимо передаточну функцію об'єкта регулювання по збуренню $D - L$ та регулюючому каналу $L_{зад} - L$:

$$\begin{cases} L = D_2 + L_1 \\ \varepsilon = L_{зад} - L + D_1 \end{cases} \dots\dots\dots (2.1),$$

де, $L_1 = W_p(S) * W_{op}(S) * \varepsilon$;

$$D_1 = W_y(S) * D;$$

$$D_2 = W_{об}(S) * D;$$

Підставимо L_1, D_1, D_2 в рівняння 2.1:

$$L = W_{об}(S) * D + W_p(S) * W_{op}(S) * [L_{зад} - L + W_y(S) * D]$$

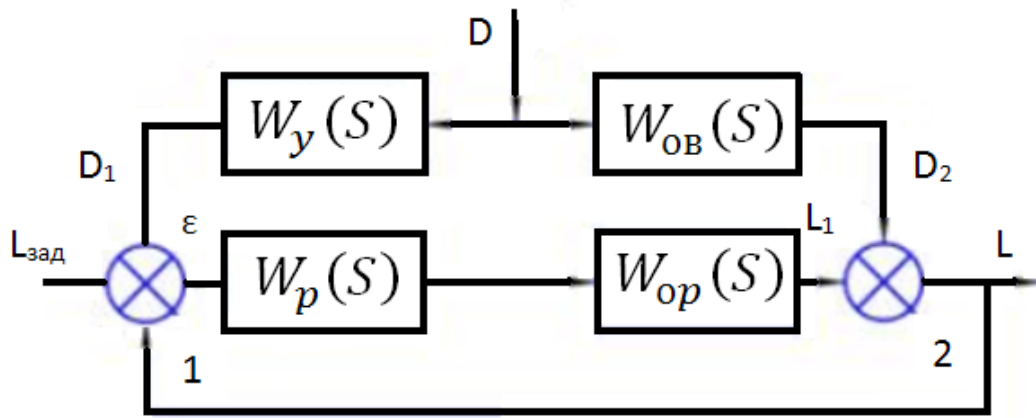


Рисунок 2.9 – Структурна схема САР рівня з пристроєм введення по збуренню

$W_{об}(S)$, $W_{op}(S)$ – передаточні функції об'єкта по збуренню і регулюючому каналу відповідно; $W_y(S)$ – передаточна функція пристрою вводу (з вимірювальним перетворювачем); $W_p(S)$ – передаточна функція регулятора. Розглянемо його відносно каналів $D - L$ (збурення – рівень води) та $L_{зад} - L$ (заданий, поточний рівень води):

$$[1 + W_p(S) * W_{op}(S)] * L = W_p(S) * W_{op}(S) * L_{зад} + W_y(S) * W_p(S) * W_{op}(S) * D + W_{об}(S) * D$$

Звідки:

$$L = \frac{W_p(S) * W_{op}(S)}{1 + W_p(S) * W_{op}(S)} * L_{зад} + \left[\frac{W_{об}(S)}{1 + W_p(S) * W_{op}(S)} + \frac{W_p(S) * W_{op}(S) * W_y(S)}{1 + W_p(S) * W_{op}(S)} \right] * D =$$

$$= W_{L_{зад}-L}(S) * L_{зад} + W_{D-L}(S) * D \quad (2.2)$$

Де,

$$W_{L_{зад}-L}(S) = \frac{W_p(S) * W_{op}(S)}{1 + W_p(S) * W_{op}(S)}$$

- передаточна функція по каналу $L_{зад} - L$;

$$W_{D-L}(S) = \left[W_y(S) + \frac{W_{об}(S)}{W_p(S) * W_{op}(S)} \right] * W_{L_{зад}-L}(S) = W_{L_{зад}-L}(S) * W_D(S)$$

– передаточна функція по каналу $D - L$

$$W(S) = W_y(S) + \frac{W_{об}(S)}{W_p(S) * W_{op}(S)}$$

Згідно з отриманим виразом (2.2) структурну схему системи автоматичного регулювання можна представити у формі рис. 2.9.

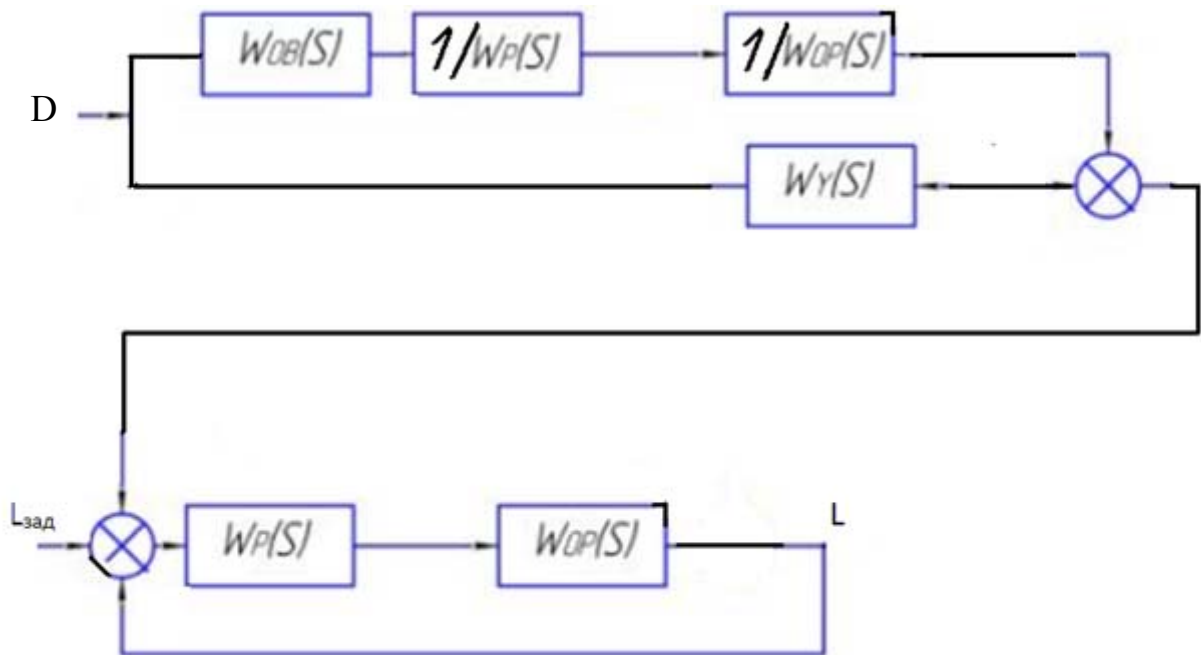


Рисунок 2.9 - Структурна схема САР рівня води з урахуванням дії збурення «витрати пари»

Для того щоб система була інваріантною до збурення по витраті пара D, повинна виконуватись умова:

$$W_D(S) = 0 \quad (2.3)$$

При цій умові ми отримаємо:

$$W_y(S) = -\frac{W_{об}(S)}{W_p(S) * W_{оп}(S)}$$

Якщо припустити, що динамічні властивості ПГ по збуренню і регулюючим каналам рівні, але протилежні за знаком, тобто

$$W_{об}(S) = -W_{оп}(S) \quad (2.4)$$

То,

$$W_y(S) = \frac{1}{W_p(S)} \quad (2.5)$$

Оскільки для П-регулятора $W_p(s) = K_p$ то отримаємо:

$$W_y(s) = \frac{1}{K_p} = K_y \quad (2.6)$$

Таким чином в припущенні (2.5) пристрій вводу повинен описуватись рівнянням пропорційної ланки з коефіцієнтом передачі K_y . Однак в такому випадку необхідність в спеціально створеному пристрої вводу відпадає, так як перетворювачі витрати (дифманометри) описуються рівнянням пропорційної ланки, а необхідний коефіцієнт передачі K_y можна отримати за допомогою ручки «чутливості» в самому регуляторі.

Однак розглянута 2-імпульсна система регулювання в промисловості не використовується з наступних причин:

1. Витрата живильної води через регулюючий клапан залежить не тільки від положення клапану, але і від перепаду тиску на ньому, котрий в процесі експлуатації змінюється.
2. В дифманометрах минулих років вихідний сигнал був пропорціональний коренню квадратному від перепаду тиску.

Трьох імпульсна система. Вказані недоліки двохімпульсної системи вирішуються введенням в регулятор третього імпульсу по витраті живильної води від дифманометра. Така 3-імпульсна система зображена на рис. 2.11.

Принцип роботи системи автоматичного регулювання наступний: сигнали по витраті пару й живильної води вводяться в регулятор із протилежними знаками. У сталому стані ці сигнали рівні, протилежні за знаком, отже, компенсують один одного. Сигнал за рівнем води в парогенераторі компенсується сигналом завдання.

При зміні витрати пари миттєво змінюється відповідний сигнал на вході в регулятор та останній, пропорційно змінює витрату живильної води, не чекаючи зміни рівня.

Використовується ПП-закон регулювання, однак внаслідок введення в регулятор практично безінерційного негативного зворотного зв'язку по витраті живильної води, в ньому реалізується П-закон регулювання (аналогія

жорсткого зворотного зв'язку за положенням регулювального органа). Статична нерівномірність П-регулятора усувається корегуючим сигналом по витраті пару.

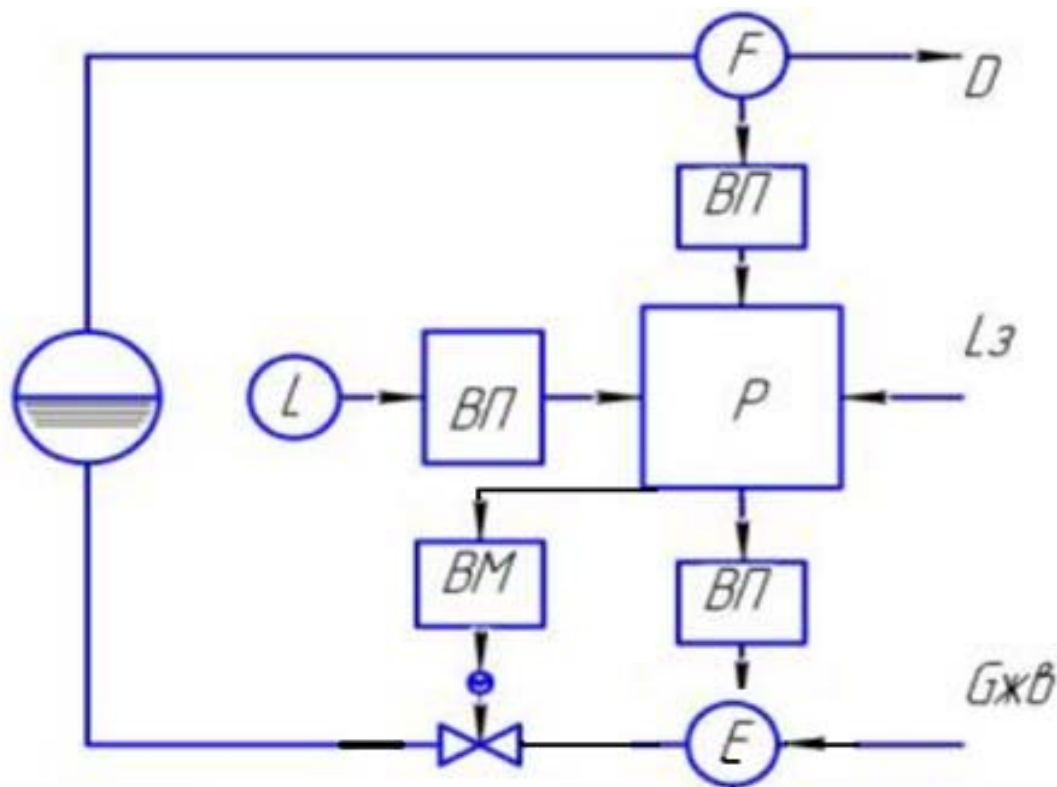


Рисунок 2.11 - Структурна тьохімпульсна схема САР рівня води в парогенераторі:

ВП – вимірюючий перетворювач; ВМ – виконавчий механізм; Р – регулятор;
 $G_{\text{жв}}$ – витрата живильної води; L_3 – заданий рівень води в ПГ;
 D – витрати пару; L – поточний рівень води в об’єкті регулювання;
 F – датчик витрат пару; E – датчик витрат живильної води.

Використання 3-імпульсної АСР рівня води в ПГ з П- та ПІ-регулятором дозволяє з імпульсами по витраті живильної води і пари дозволяє регулювати об'єкт з ефектом "набухання". Таким чином, можливо придушення стрибкоподібних обурень витратою пари величиною до 18 кг/с без виходу рівня з 50-міліметрової зони. Обурення ж витратою живильної води практично будь-якої величини (до 510 кг / с), що подаються на ПГ не призводять до виходу рівня з 50-міліметрової зони.

Розглянемо методику розрахунку 3-імпульсної САР з імпульсом по витраті пари:

Визначаємо коефіцієнти передачі дифманометра-рівнеміра K_1 мА/м,

витрати пару K_d мА*с/кг, витрати живильної води K_g мА*с/кг.

Визначаємо передаточну функцію об'єкту по каналу регулювання «витрата живильної води $G_{жв}$ – поточний рівень L »:

$$W_{G_{жв}-L}(S) = \frac{K_2}{S} * e^{-\tau S}, \quad K_2 = \frac{dH / dt}{\Delta G_{жв}} \quad (2.7)$$

Коефіцієнти K_2 , м/кг і τ , з передаточної функції визначаються по апроксимованій кривій розгону.

Визначаємо передаточну функцію умовного об'єкту:

$$W_{об} = W_{G-H}(S) * W_L(S) = \frac{K_2}{S} * e^{-\tau S} * K_L = \frac{K^*}{S} * e^{-\tau S} \quad (2.8)$$

Знаходимо по номограмам або формулам коефіцієнт передачі K_p^* , кг/(мА*с)

умовного П-регулятора. Також можна використати формули

А.П. Копеловича.

Для аперіодичного процесу:

$$K_p^* = \frac{0.4}{K^* * \tau}$$

Для процесу з 20% пере регулювання:

$$K_p^* = \frac{0.7}{K^* * \tau}$$

Визначають потрібний коефіцієнт передачі дифманометрів-витратомірів:

$$K_G^{TP} = K_D^{TP} = \frac{1}{K_p^*} \quad (2.9)$$

Визначають настройки ПІ-регулятора контуру стабілізації витрати живильної води. Передаточна функція цього об'єкту по регулюючому каналу:

$$W_{вн}(S) = W_{ро}(S) * W_{тр}(S) * W_g(S)$$

Де $W_{ро}(S)$, $W_{тр}(S)$, $W_g(S)$ – передаточні функції регулюючого живильного клапану, трубопроводу по каналу «витрата-витрата» і дифманометра-витратоміра.

Остання, як правило, невідома, однак внаслідок великої довжини трубопроводу такий об'єкт практично без інерційний. Для настройок регулятора можна задати:

$$W_{TP}(S) = \frac{1}{T_{TP} * S + 1} * e^{-\tau_{TP} S} \quad (2.10)$$

Змодельована САР рівня, дає змогу моделювати вхідні збурення по витраті пари D, та води G (рис. 2.12).

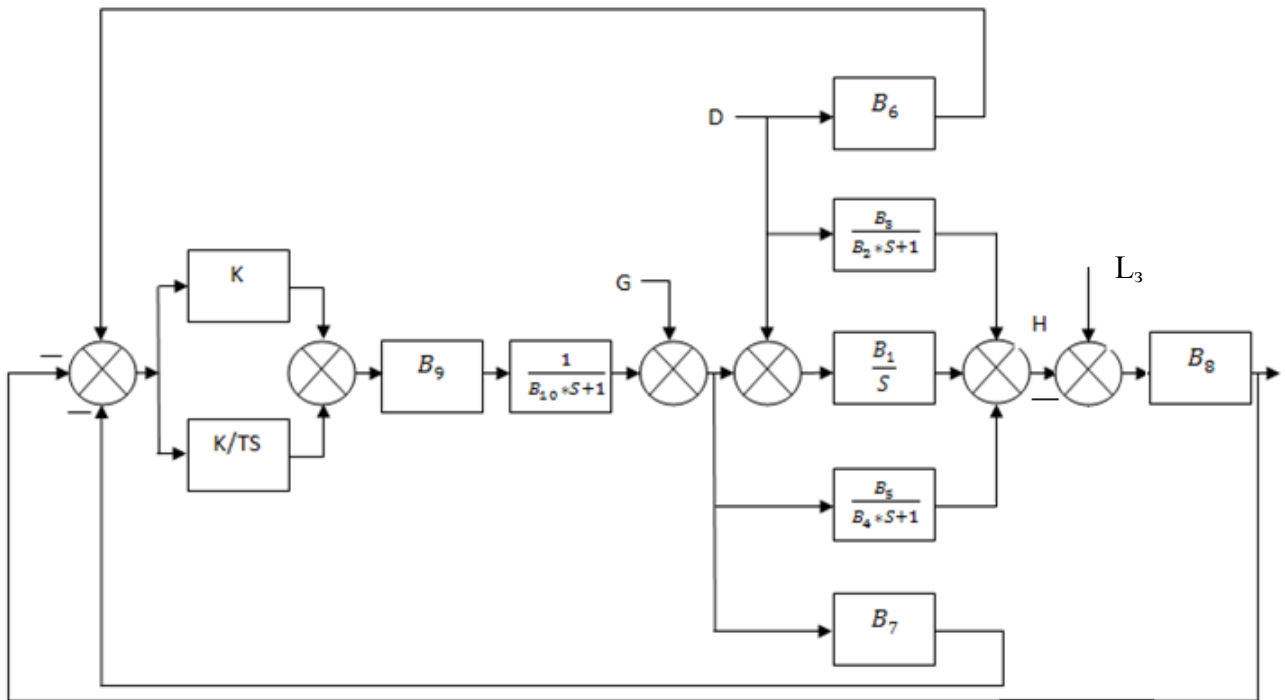


Рисунок 2.12 - Структурна схема 3-імпульсної САР живлення парогенератора

Об'єкт по каналу регулюючої дії моделюється паралельно ввімкненими ланками з передаточними функціями B_1/S і $B_5/(B_4S + 1)$, а по каналу витрати пари D - B_1/S і $B_2/(B_2S + 1)$.

Таким чином, астатизм об'єкта моделюється загальним для обох каналів інтегральною ланкою, знак дії на рівень води при збуренні витратою пару D і води G враховуються в суматорі перед вказаною ланкою.

Ланки з коефіцієнтами B_6 , B_7 і B_8 моделюють динаміку відповідних дифманометрів по витраті пару, води і рівню води. Коефіцієнт B_9 - коефіцієнт передачі регулюючого органу, кг/(с*%).

Частина живильного трубопроводу від регулюючого органу до звужуючого пристрою моделюється інтегральною ланкою з передаточною функцією $1/(B_{10} * S + 1)$.

Поява мікропроцесорної техніки, яка має низьку вартість, малі розміри, високу надійність і універсальність в функціональному відношенні, відкриває нові можливості для модернізації систем контролю і керування технологічними процесами на атомних електростанціях.

З появою мікропроцесорної техніки з'явилися можливості:

- Реалізація складних, в тому числі і нових алгоритмів регулювання і управління, переходу до цифрового управління;
- Побудова більш надійних розподільних систем управління і обробки інформації на основі принципу децентралізації, яка в свою чергу дає ряд суттєвих переваг перед централізованими системами;
- Високій степені паралельності обробці інформації, переходу до систем багатопроцесорної і мережної обробки інформації.

В наш час на АЕС проводиться модернізація систем контролю і управління технологічними процесами. Однак така модернізація систем керування зводиться, як правило, до зміни застарілих технологічних засобів з обмеженими функціональними можливостями і низькою надійністю на мікропроцесорні засоби зі збереженням старих алгоритмів. Це відноситься і до систем управління живленням парогенератора, в яких збережена трьох імпульсна система регулювання рівня води в парогенераторі.

У структурну схему ділянки живлення барабанних парогенераторів входять такі елементи: парогенератор, що враховує динаміку зміни рівня пароводяної суміші при зміні витрат живильної води та пари, живильний трубопровід, що є сполучним елементом ділянки живлення і враховує динаміку зміни витрати живильної води в результаті зміни положення регулюючого органу.

Математична модель цієї системи буде представлятись системою різниці рівнянь з періодом дискретизації $\Delta t = 1s$

$$\begin{cases} x_{i+1} = A * x_i + B * (u_i + f_i) \\ y_i = C * x_i \end{cases} \quad (2.11)$$

Де x_i - вектор внутрішнього збурення системи; y_i - вихід системи (змінення рівня води); u_i - зміна положення регулюючого органу; f_i - вектор

збурень (витрата пари ΔD і живильної води ΔW); A , B , C – матриці параметрів моделі; i - номер такту часу.

При моделюванні врахована реальна швидкість переміщення штоку регулюючого живильного клапану, котра рівна одному відсотку в секунду.

Введемо змінні $du_i = u_i - u_{i-1}$, $e_i = z - y_i$ (z - сигнал задання). Позначивши $dx_{i+1} = x_{i+1} - x_i$, рівняння системи (2.11) можна представити в наступному виді:

$$\begin{cases} dx_{i+1} = A * dx_i + B * du_i \\ dy_i = C * dx_i \end{cases} \quad (2.12)$$

Записавши $e_{i+1} = e_i - C * dx_{i+1}$ і введучи вектор $s_i = [e_i, dx_i]^*$, отримаємо систему в стандартній формі запису, але вже зі змінними s і du

$$\begin{cases} ds_{i+1} = \bar{A} * ds_i + \bar{B} * du_i \\ e_i = \bar{C} * ds_i \end{cases}, \quad (2.13)$$

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

Приведений критерій слід мінімізувати на траєкторіях руху системи з врахуванням обмежень швидкості зміни керуючої дії і величину динамічного відхилення регулюючого параметру.

Внаслідок рішення стандартної задачі конструювання отримуємо регулятор стану вида $du_i = K * ds_i$, матриця K може бути розділена на блоки $K = [K_1 \quad K_2]$, а регулятор стану переписаний в виді $du_i = -K_2 * dx_i - K_1 e_i$, або $u_i = -K_2 * x_i - K_1 * \sum_{j=0}^i e_j$, що відповідає структурі ПІ-регулятора, який забезпечує астатичність системи. Коефіцієнт при інтегральній складовій являється скалярною величиною, а коефіцієнт пропорційної складової являється вектором, розмір якого визначається кількістю диференціальних рівнянь першого порядку, необхідних для описання регулюючого клапану.

Так як в рівняння перетворень не залежать від векторів z, f , то для відновлення невисначаючих координат можна скористатись наглядом стану (наглядач Луенбергера повного порядку)

$$d\bar{x}_{i+1} = \bar{A} * d\bar{x}_i + \bar{B} * du_i + L * (dy_i - \bar{C} * d\bar{x}_i), \quad (2.14)$$

де L - матриця наглядач стану системи.

Особливістю синтезованої системи керування (рис.2.13) являється використання лише одного сигналу по рівню води, замість трьох в типовій системі.

Перехідні процеси регулювання по рівню води H в синтезованій цифровій системі порівнюємо з перехідними процесами в типовій трьох імпульсний систем з імпульсом по витраті пару (рис.2.14). Оптимальним вибраний аперіодичний процес регулювання, як це прийнято для АЕС. Стрибкоподібне збурення по витраті пари було прийнято рівним 10% від номінальної витрати пару, тобто 40.8 кг/с. Як видно з результатів моделювання, оптимальний цифровий ПІ-регулятор забезпечує на 10% менший динамічний скид по рівню води і менший час регулювання(рис. 2.14). Використання для керування лиш одного сигналу від дифманометра-рівнеміра збільшує надійність системи і робить її дешевшою, оскільки при цьому непотрібні дифманометри-витратоміри свіжого пару і живильної води.

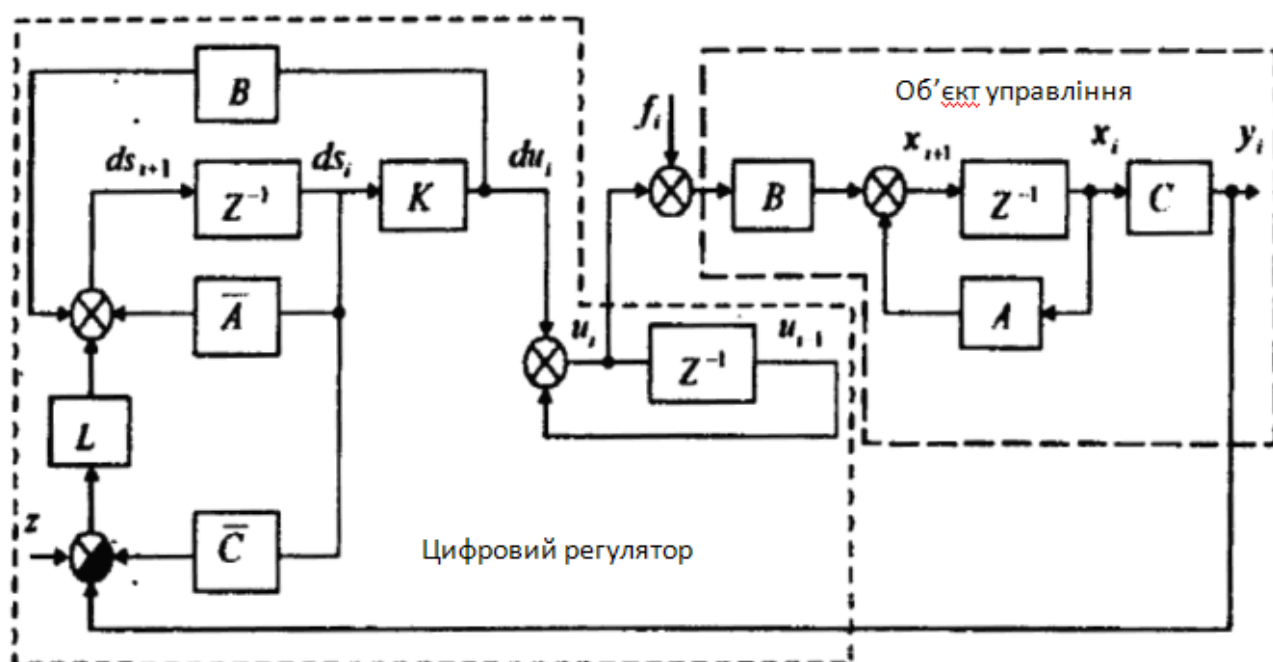


Рисунок 2.13 - Структурна схема дискретної оптимальної з наглядачем стану САР рівня води в парогенераторі.

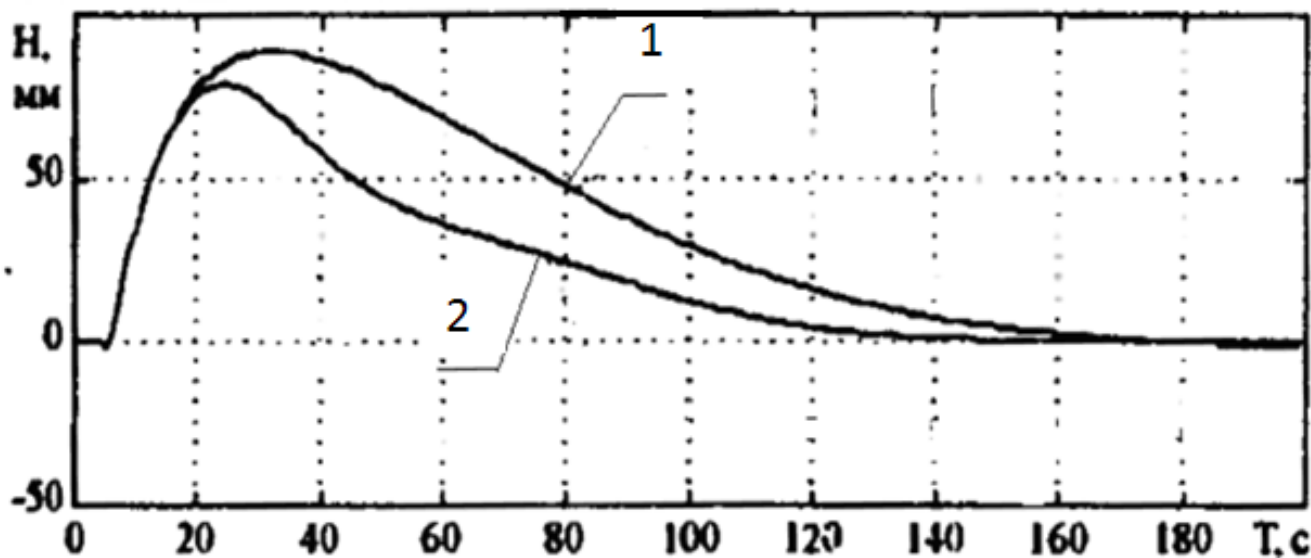


Рисунок 2.14 - перехідний процес по зміні рівня (збурення – витрата пари):
1. Типова трьох імпульсна САР; 2. Оптимальний ПІ-регулятор рівня

3 ПОШУК ШЛЯХІВ МОДЕЛЮВАННЯ САР ЖИВЛЕННЯ ПАРОГЕНЕРАТОРА.

3.1 Вибір датчика рівня води в парогенераторі.

Поплавкові рівнеміри застосовують для виміру рівня рідини у відкритих резервуарах з низьким внутрішнім тиском. Ці прилади виготовляють з поплавцями, котрі легше або важче за рідину. Робота перших заснована на слідкуванні за поведінкою поплавця, плаваючого на поверхні рідини, а других — на зміні маси поплавця, зануреного в рідину. Поплавець може бути розташований у середині резервуару (рівнемір внутрішнього монтажу) або у виносній камері (камерні рівнеміри), сполучений з апаратом за допомогою труб.

Діапазон зміни рівня, вимірюваний камерними рівнемірами, 250 мм. Їх

застосовують рідко. У рівнемірі внутрішнього монтажу (рис. 3.1) поплавець 1, який пов'язаний з мірним шківом 5 перфорованою стрічкою 2, перекинutoю через ролики 3 і 4, плаває на поверхні рідини у резервуарі. Контрвантаж 7 врівноважує масу поплавця. При зміні рівня рідини змінюється і положення поплавка, шків повертається і стрічка намотується або змотується з нього. На осі шківів закріплена стрілка 6, що повертається разом з ним.

Прилад розрахований так, що на 1 м зміни рівня стрілка здійснює один оберт. Від осі шківів обертання передається через зубчасту передачу на шестерню шкали метрів, яка здійснює $1/24$ оберту при одному оберті шківів. Метри відлічують по шкалі метрів, яка обертається, а сантиметри — за нерухомою шкалою за допомогою стрілки. Одночасне обертання шківів передається на дистанційну приставку, яка має реохорд з щітками і контактну систему для сигналізації крайніх положень рівня.

Рівнеміри-дифманометри. Для спостереження за рівнем води в баках і барабанах парових котлів широко застосовують дифманометри, які працюють за принципом різниці тиску, який створюється постійним стовпом води в зрівняльній ємкості і стовпом води в барабані парового котла.

Рівнемір для виміру рівня води в барабані парового котла (рис. 3.2) включає зрівняльну ємкість 5 і дифманометр.

Зрівняльна судина складається з двох камер: труби 6 діаметром 40 мм і вставленої в неї труби 4 діаметром 10 мм. Верхня частина труби 6 закінчується циліндричною ємкістю 5, з'єднану штуцером 3 з паровим простором казана 2. Труба 4 через штуцер 1 з'єднується з водяним простором котла.

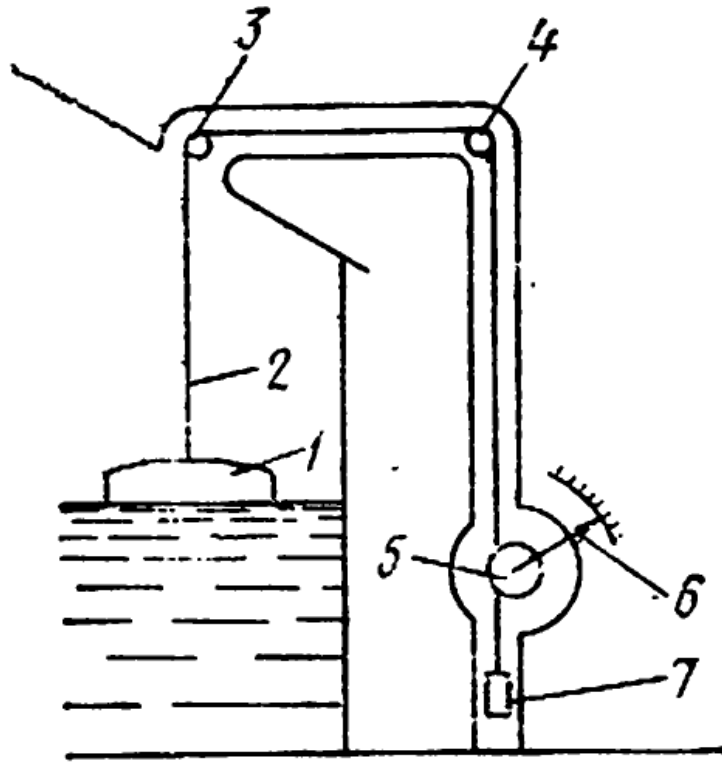


Рисунок 3.1 - Принципова схема поплавкового рівнеміра внутрішнього монтажу:

- 1- поплавок; 2. стрічка; 3,4. ролик; 5. шків; 6. стрілка рівнеміру;
- 2- 7. контр вантаж

Коли вентилі 8 відкриті, рівень води в трубі 4 згідно з правилом сполучених посудин встановлюється на тій же висоті, що і в барабані котла. У трубі 6 і в судині 5 пар конденсуватиметься, конденсат заповнить весь простір до отвору штуцера 3, після чого рівень води в судині 5 залишиться постійним, оскільки надлишок конденсату через штуцер 3 зливатиметься в котел. Внаслідок різниць рівнів в трубах 6 і 4 в дифманометрі виникає різниця тисків, під дією якої стрілка приладу відхилятиметься.

Якщо рівень води в барабані казана досягне максимальної висоти, тобто дійде до отвору штуцера 3, то в трубах 6 і 4 рівні рідини знаходитимуться на одній висоті і перепад тиску в дифманометрі дорівнюватиме нулю. При зниженні рівня води в барабані котла рівень води в трубі 4 знижується, у наслідок чого перепад тиску збільшується.

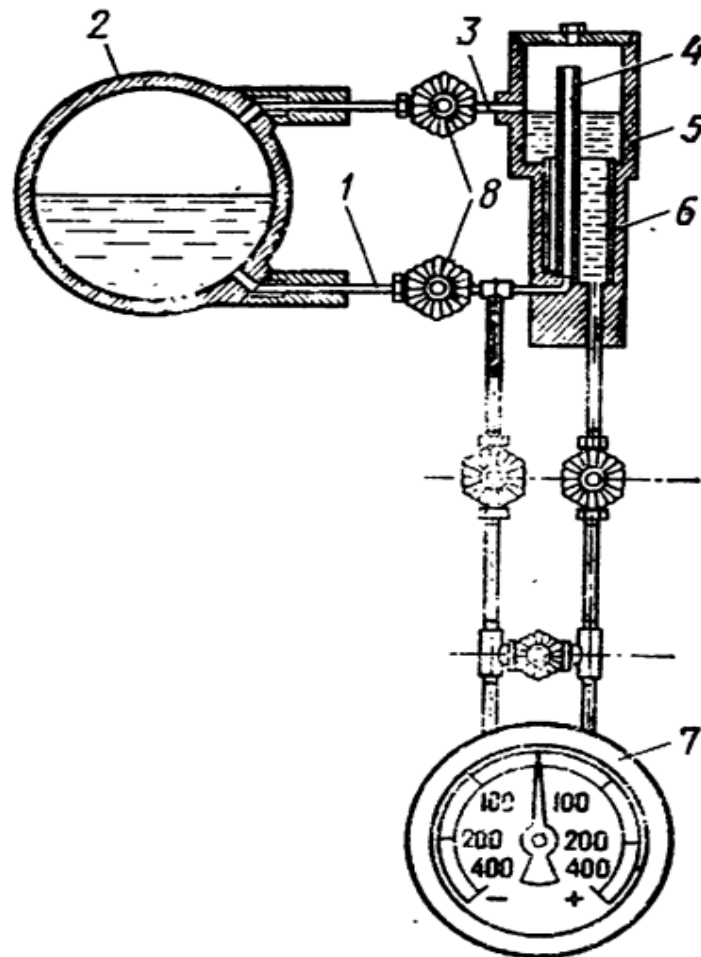


Рисунок 3.2 - Вимірювання рівня води в барабані парового котла:
 1,3 . штуцер; 2. котел; 4,6. труби; 5. порівняльна ємність;
 7. дифманометр; 8. вентиля.

П'єзометричні рівнеміри. Рівень в'язких або агресивних рідин у відкритих або закритих резервуарах визначають методом продування стислого повітря або інертного газу через шар вимірюваної рідини. Пристрої, що діють по цьому методу, називаються п'єзометричними рівнемірами. Вони набули поширення при вимірі рівня киплячого шару в апаратах каталітичного крекінгу на нафтопереробних заводах.

Повітря продувають через трубку 1 (рис. 3.3), опущену в резервуар до максимальної глибини передбачуваного діапазону зміни рівня. Кінець трубки не повинен доходити до дна резервуару приблизно на 75 мм. Манометр 5, який служить для виміру тиску повітря, яке подається в резервуар, приєднується до верхнього кінця трубки 1. Стисле повітря подається через редуктор 2 і діафрагму 4.

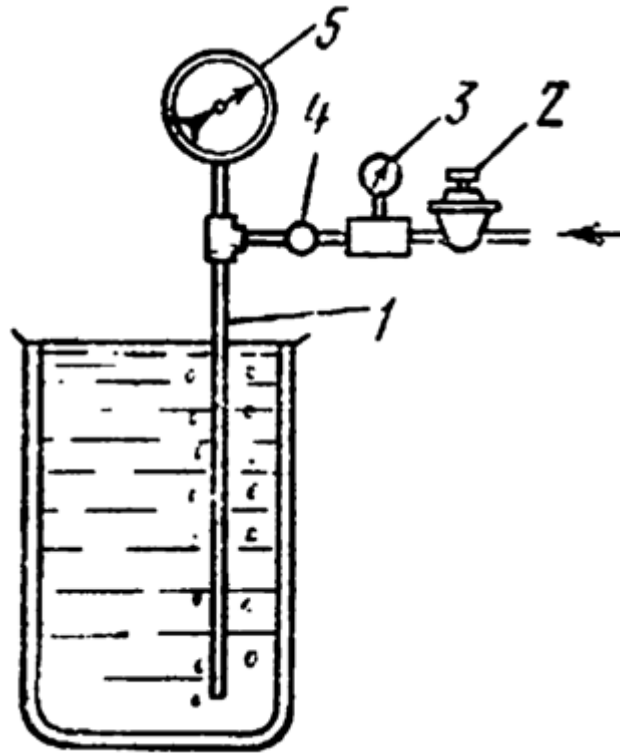


Рисунок 3.3 – Вимір методом безперервного продування:

1. трубка; 2. редуктор; 3,5 – манометри; 4. діафрагма

Тиск стислого повітря регулюють редуктором за свідченнями манометра 3 і встановлюють таким, щоб при максимальній глибині занурення трубки і максимальній висоті рівня рідини з її нижнього кінця виходили бульбашки повітря. Показання манометра 5 залежать від рівня рідини в резервуарі: чим вище цей рівень, тим більший він показує тиск. Манометр 5 градуйований в одиницях рівня рідини. Він може бути віддалений від резервуару на відстань до 150 м. Важливою умовою для правильного виміру рівня рідини цим способом є повна герметичність всіх з'єднань. Щоб зменшити вплив змінних опорів з'єднувальних трубопроводів на точність виміру, швидкість повітря, яке протікає на ділянці від місця приєднання повітропроводу до

резервуару, встановлюють мінімальним. Недоліком п'єзOMETричних рівнемірів є залежність їх показань від щільності рідини і її температури. Ознайомившись з існуючими методами виміру рівня рідини, був зроблений вибір на користь рівнеміра-дифманометра, так як його особливість роботи при високому тиску і температурі, задовольняє вимогам нашої системи. Одним з представників цього методу виміру являється датчик «Сапфир 22ДД»(рис.3.4).



Рисунок 3.4 - Датчик виміру рівня рідини Сапфир-22ДД

Технічні параметри датчика:

- живлення від зовнішніх джерел	15-42 В
- вибухозахист	1ExsdllBT4/H2
- ступінь захисту від дії пилу і води	IP54
- вібростійкість, група	L3
- габаритні розміри, мм	125*223*265
- маса кг, не більше	11.9
- виготовляються по	ТУ 25-02.100431-2007
- допустима температура навколишнього середовища, градуси	від -40 до 75

Дію вимірюваної різниці тиску викликає прогин мембран, вигин мембрани тензоперетворювача і зміна опору тензорезисторів. Чутливим елементом тензоперетворювача є пластина з монокристалічного сапфіра з кремнієвими плівковими тензорезисторами, що міцно з'єднується з металевою мембраною тензоперетворювача. Тензоперетворювач типу мембранного важеля розміщений усередині підстави в замкнутій порожнині, заповненою органічною для кремнію рідиною, і відокремлений від вимірюваного середовища металевими гофрованими мембранами.

Мембрани приварені по зовнішньому контуру до підстави і сполучені між собою центральним штоком, який пов'язаний з кінцем важеля тензоперетворювача за допомогою тяги. Фланці ущільнені прокладками. Дію вимірюваної різниці тиску викликає прогин мембран, вигин мембрани тензоперетворювача і зміна опору тензорезисторів.

Конструктивно тензорезистор представляє собою пластину або ґрати, виготовлену з дроту або фольги або пластинку з напівпровідника.

Функціонал тензодатчика ґрунтується на найпростіших принципах механіки. Якщо на механічну конструкцію впливають зовнішні сили, вона змінює свою форму так, щоб протистояти впливу цих сил.

Тензодатчики виготовляються з нержавіючої сталі і абсолютно герметичні, що дозволяє забезпечити їх довготривалу експлуатацію практично при всіх зовнішніх умовах, включаючи прямі сонячні промені, пряме попадання води, сніг, високу температуру і високу вологість. Тензодатчики можуть працювати при температурі від -40° до 80° С, з мінімальними температурними змінами характеристик. Використовуючи відповідний вторинний прилад, тензовимірювач, за допомогою тензодатчиків можна вимірювати вагу, деформацію, обсяг та інші фізичні параметри.

Переваги таких датчиків:

- достатньо велика чутливість
- простота конструкції
- мала інерційність

Недоліки датчиків:

- великий внутрішній опір
- необхідність джерел напруги високої частоти
- великий вплив зовнішніх факторів(температури, вологості) на показання датчика.

Похибки тензорезисторів залежать від зміни температури (рис.3.5), вологостійкості, якості наклеювання та наявності поперечної деформації (для наклеюваних перетворювачів). Зміни температури можуть нести особливо великі похибки. Це пов'язано як зі зміною питомого опору тензорезистора, так і з появою додаткових механічних напруг через різницю температурних розширень матеріалів тензорезисторів та деталі, деформація якої вимірюється. Тому часто застосовують тензорезистори з дротом із константану, що володіє малим температурним коефіцієнтом опору.

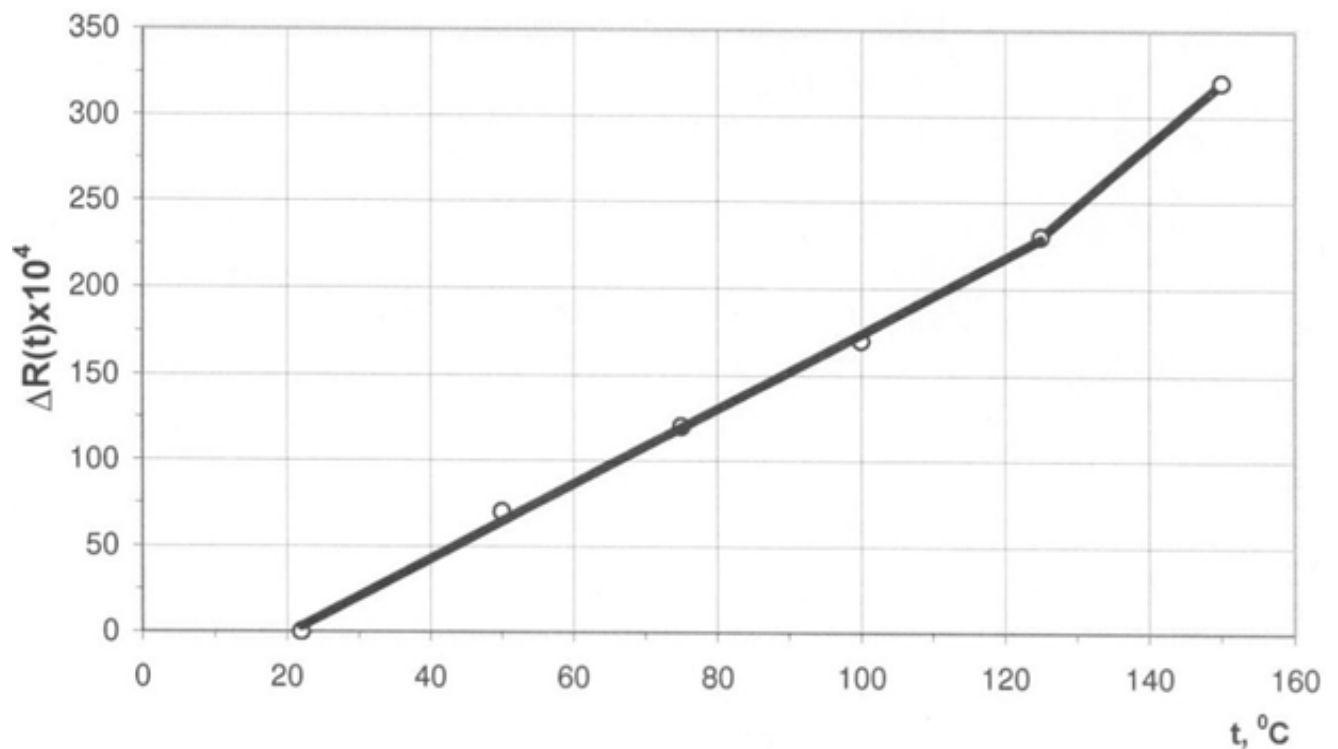


Рисунок 3.5 - Графік залежності опору тензорезистора від температури

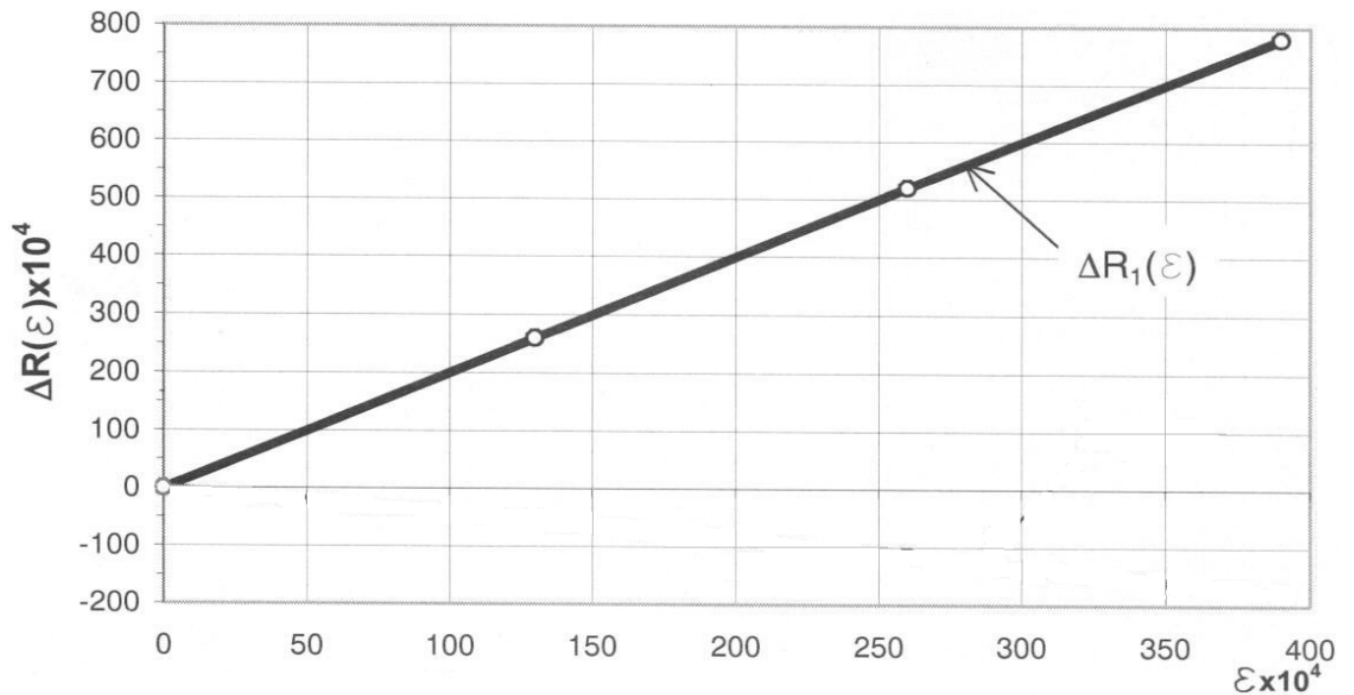


Рисунок 3.6 - Графік залежності опору тензорезистора від деформацій деталі
Схема включення датчика вибрана типу міст (міст Уїтстона)

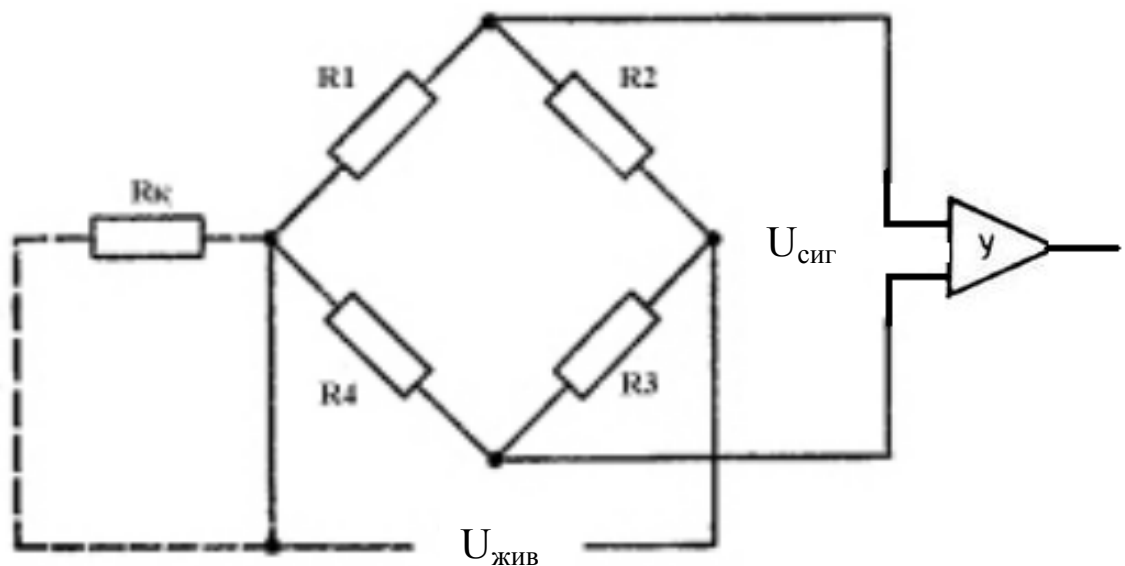


Рисунок 3.7 - Схема включення двох тензорезисторів в мостикове коло:
R1 — опір тензорезистора; R2, R3, R4 — опори звичайних резисторів; Rк —
додатковий опір необхідний для компенсації зміни температури
навколишнього середовища; U_{жив} — напруга живильної діагоналі моста
(постійного струму); U_{сиг} — напруга вимірювальної діагоналі моста; У —
підсилювач.

Місткова схема з двома тензорезисторами дозволяє підвищити

чутливість тензодатчика в 2 рази, а з чотирма - в 4 рази в порівнянні с колом с одним тензорезистором і забезпечує повну термокомпенсацію.

3.2 Датчик положення регулюючого клапану

Датчиком положення регулюючого клапану являється **реохорд**. Реохорд представляє з себе однорідний провідник в виді металевої проволочки, або струни с рухомим контактом (рис.3.8). Рухомий контакт закріплюється з регулюючим клапаном так, що при русі клапану, рухається рухомий контакт реохорда по провіднику.

При переміщенні цього контакту можливо змінити величину силу струму або напруги в колі. Реохорд вмикають в місток Уїтстона (рис. 3.9).

Міст Уїтстона (Wheatstone bridge) – електричне коло з чотирьох опорів, з'єднаних квадратом, в одну з діагоналей моста вмикається джерело живлення, а в іншу реєструючий прилад.



Рисунок 3.8 - Реохорд РП160-10А

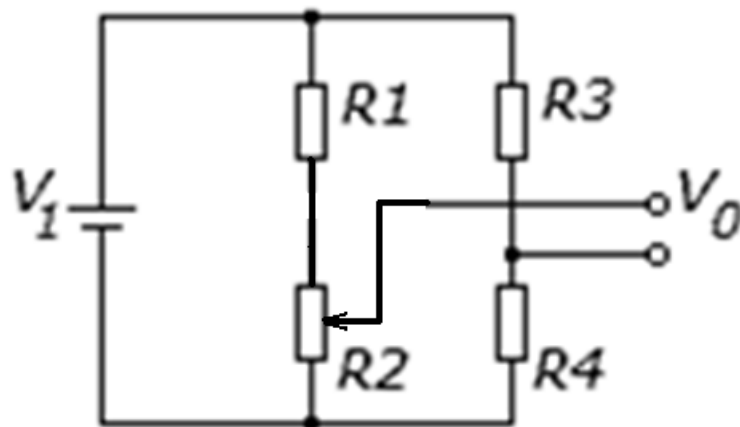


Рисунок 3.9 - Схема включення реохорду в мостикове коло:

$R1, R3, R4$ - опори звичайних резисторів; $R2$ - опір реохорда.

V_1 - напруга живлення мосту; V_0 – напруга вимірювання моста.

3.3 Вибір мікроконтролера

Представники базової серії AVR. У табл. 3.1 перераховані характеристики представників базової серії мікроконтролерів сімейства AVR. Порівнявши ці характеристики, можна швидко визначити елементну базу для кожного конкретного випадку застосування.

Таблиця 3.1. Відмітні ознаки чотирьох представників базової серії мікроконтролерів AVR.

Характеристика	AT90S8515	AT90S4414	AT90S2313	AT90S1200
Кількість команд	118	118	118	89
Флеш-епром	8 Кбайт	4 Кбайта	2 Кбайта	1 Кбайт
Програмування через інтерфейс SPI	так	так	так	так
EEPROM	512 байт	256 байт	128 байт	64 байти
SRAM	512 байт	256 байт	128 байт	тільки стек
Робочі регістри	32	32	32	32
Контакти вводу/ виводу	32	32	15	15
Приймач UART	так	так	так	немає
Інтерфейс SPI	так	так	немає	немає
Сторожовий таймер	так	так	так	так
8-розрядний	так	так	так	так

16-розрядний	так	так	так	немає
ШИМ-модулятор	2	2	1	немає
Джерела переривання	12	12	10	3
Аналоговий компаратор	так	так	так	так
Режим, що чекає	так	так	так	так
Режим зниженого	так	так	так	так
Робоча напруга	2,7...6 У	2,7...6 У	2,7...6 У	2,7...6 У
Тактова частота при $V_{CC} = +5\text{ В}$	0...8МГц	0...8МГц	0...10МГц	0...12МГц
Тактова частота при V_{CC} = +3 В	0...4МГц	0...4МГц	0...4МГц	0...4МГц
Корпус	PDIP40 PLCC44	PDIP40 PLCC44	PDIP20 SOIC20	PDIP40 SOIC20

З перерахованих преставників базової серії мікроконтролерів сімейства AVR був вибраний *AT90S8515*, який саме краще зарекомендував себе на ринку і є найпоширенішим мікроконтролером на даний час і по характеристикам повністю задовольняє систему.

AT90S8515 забезпечує продуктивність 1 млн. оп. за секунду на 1 МГц синхронізації за рахунок виконання більшості інструкцій за один машинний цикл і дозволяє оптимізувати споживання енергії за рахунок зміни частоти синхронізації. Володіє наступними можливостями: 8 кбайт внутрішньосхемної програмованої флеш-пам'яті з можливістю читання під час запису, 512 байт статичного ОЗП, зовнішній інтерфейс пам'яті, 35 ліній введення-виводу, 32 робочих регістрів загального призначення, вбудована система відладки і програмування, два універсальні таймери-лічильники з режимами компаратора, внутрішні і зовнішні запити на переривання, програмований сторожовий таймер з внутрішнім генератором, послідовний порт SPI і 2 режими управління енергоспоживанням, що програмно настраюються. Режим холостого ходу (Idle) зупиняє ЦПУ, але залишає в роботі статичне ОЗП, таймери-лічильники, порт SPI і систему переривань.

Режим зниженого споживання (Power-down) зберігає вміст регістрів, але зупиняє генератор, вимикає всі вбудовані функції до появи наступного запиту на переривання або апаратного скидання.

Пристрій випускається за розробленою Atmel технологією незалежної пам'яті високої ємкості. Вбудована флеш-пам'ять ISP може внутрішньосхемно перепрограмуватися через послідовний інтерфейс SPI, звичайним програматором незалежної пам'яті або запущеною програмою в секторі початкового завантаження AVR ядра. Програма в секторі початкового завантаження може використовувати будь-який інтерфейс для запису програми.

Програма в секторі початкового завантаження виконується навіть при оновленні флеш-пам'яті застосування, забезпечуючи дійсну можливість читання під час запису. За рахунок комбінування 8-розрядного RISC ЦПУ з внутрішньосхемною самопрограмуючою флеш-пам'яттю на одному кристалі, дозволило бути могутнім мікроконтролером, що забезпечує високу універсальність і володіє низькою вартістю, що робить його застосування ідеальним для побудови вбудованих систем управління.

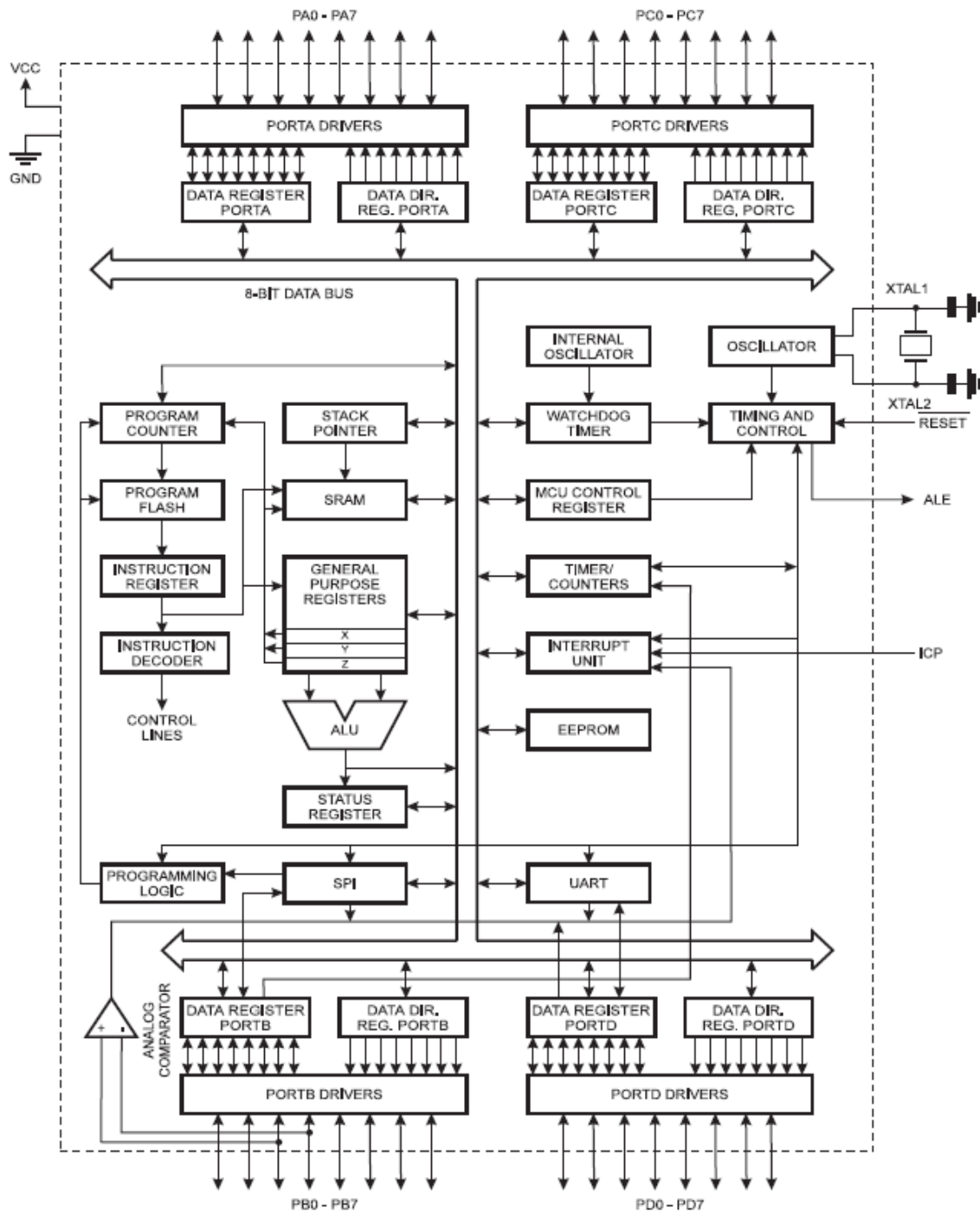


Рисунок 3.10 - Блок схема мікроконтролера AT90S8515

3.4 Шляхи передачі даних

Для даної системи був обраний канал RS-485, так як він дає змогу обмінюватися даними між декількома пристроями по одній двохпровідній лінії зв'язку в напівдуплексному режимі на відстані до 3 км.

RS-485 - полудуплексний інтерфейс. Прийом і передача ідуть по одній

парі проводів с різницею в часі. В мережі може бути багато передатчиків, так як вони можуть вмикатися в режимі прийому.

Забезпечує передачу даних зі швидкістю до 10 Мб/с. Максимальна довжина залежить від швидкості: при швидкості 10 Мб/с максимальна довжина лінії — 120 м, при скорості 100 кб/с — 1200 м. При великих відстанях між пристроями, з'єднаних на витій парі та при високих швидкостях передачі починають з'являтися так звані ефекти довгих ліній. Причина того - кінцевість швидкості розповсюдження електромагнітних хвиль в провідниках. Ця швидкість суттєво менша швидкості світла в вакуумі і складає трохи більше 200 мм/нс. Електричний сигнал також має властивість відбиватись від відкритих кінців лінії передачі. Приклад - жолоб, наповнений водою. Хвиля ,створена на одному кінці, іде по жолобу і відбившись від стінки вкінці, іде назад, відбиваючись знову і т.д., поки незатухне. Для коротких ліній і малих швидкостей передачі цей процес проходить так швидко, що залишається непоміченим.

Однак, час реакції приймачів - десятки/сотні нс. В такому масштабі часу декілька десятків метрів електричний сигнал проходить далеко не відразу. І якщо відстань велика, то фронт сигналу, відбившись в кінці лінії і повернувшись назад, може спотворити сигнал. В таких випадках потрібно якимсь чином подавляти ефект відбивання.

Наука Електротехніка пропонує вирішення цієї проблеми. В будь-якій лінії зв'язу є такий параметр, як хвильовий опір Z_v . Він залежить від характеристик використаного кабелю, а не від його довжини. Для витої пари він складає $Z_v=120$ Ом. Виявляється, що якщо на віддаленім кінці лінії , між провідниками витої пари включити резистор з номіналом рівним хвильовому рівню, то електромагнітна хвиля прийшовши до "глухого кута" поглинається на резисторі. Звідки і назва резистору - узгоджуючий або термінатор.

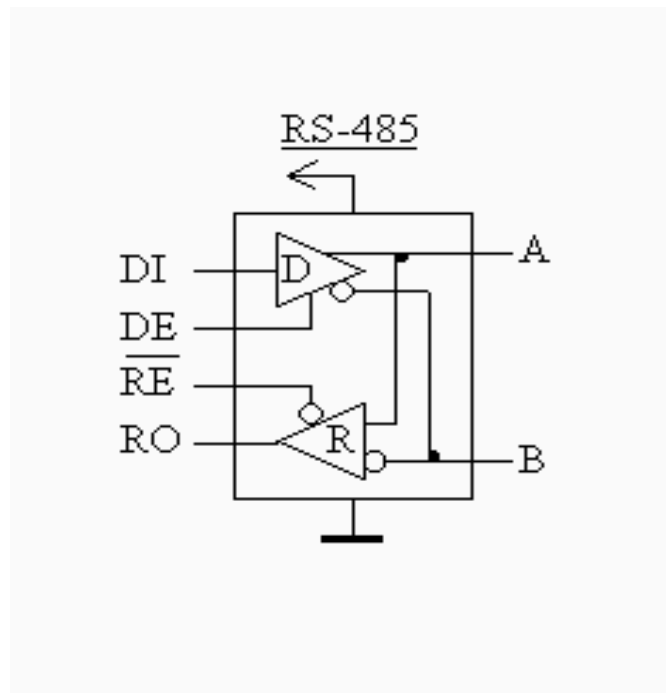


Рисунок 3.11 - Схема RS-485:

DI (driver input) - цифровий вхід передавача; RO (receiver output) - цифровий вихід приймача; DE (driver enable) – дозвіл роботи передавача; RE (receiver enable) – дозвіл роботи приймача; A – прямий диференціальний вхід/вихід; B - інверсний диференціальний вхід/вихід.

Великий мінус узгодження на резисторах – підвищене споживання струму передавачем, адже в лінію вмикається низькоомне навантаження. Тому рекомендується вмикати його на час відправлення посилки. Є способи зменшити споживання струму, вмикаючи послідовно с термінатором конденсатор для розв’язки по постійному струму. Однак, такий спосіб має деякі недоліки. Для коротких ліній (декілька десятків метрів) і низьких швидкостях узгодження можливо взагалі не робити.

Лінія зв’язу повинна представляти собою один кабель витої пари. До цього кабелю підключається всі приймачі і передатчики. Відстань від лінії до мікросхеми інтерфейсу RS-485 повинна бути якомога коротша, так як довгі витки вносять розузгодження і викликають відображення.

В обидва найбільш віддалених кінці кабелю ($Z_b=120\text{ Ом}$) вмикають узгоджуючі резистори R_t по 120 Ом (0.25 Вт). Якщо в системі тільки один передавач і він знаходиться в кінці лінії, то достатньо одного узгоджуючого резистору на протилежному кінці лінії.

На фізичному рівні лінія зв'язку готова до роботи, але, потрібен ще протокол - домовленість між пристроями системи про формат повідомлень. По природі інтерфейсу RS-485 прилади не можуть передавати одночасно повідомлення – буде конфлікт передавачів. Отже, потрібно розділити між приладами право на передачу приладами. Звідки основне ділення: централізований обмін і децентралізований.

В централізованій мережі один прилад завжди керуючий(мастер).

Він генерує запити і команди іншим приладам. Ці прилади можуть передавати тільки по команді керуючого. Як правило, обмін між приладами іде тільки через керуючого, хоча для прискорення обміну можливо організувати передачу даних від одного приладу до іншого по команді керуючого.

В децентралізованій мережі роль ведучого може передаватися від приладу до приладу або по деякому алгоритму послідовності, чи по команді від одного ведучого до наступного. При цьому прилад може у своїй відповіді ведучому передати запит на перехід в режим ведучого і чекати дозволу або відмови.

Послідовний канал по міркам контролера – річ повільна. На швидкості 9600 бод передача одного символу займає більше мілісекунди. Тому, коли контролер щільно завантажений операціями і не повинен їх зупиняти на час обміну по UART, потрібно використовувати переривання по завершенню прийому і передачі символу. Можна виділити місце в пам'яті для формування повідомлення на передачу і збереження прийнятої повідомлення, а також показник на позицію даного символу. Переривання по завершенню прийому або передачі символу викликають потрібні підпрограми, котрі передають або зберігають відповідний символ зі здвигом показника і перевіркою знака кінця повідомлення, після чого повертають управління основній програмі до наступного переривання. По завершенню відправки або прийому всього повідомлення або формують користувацький прапорець, відпрацьований в основному циклі програми чи одразу викликають програму обробки повідомлення.

Протоколів існує безліч і можливо придумати ще більше, але найкраще використовувати найбільш розповсюдженими. Одним зі стандартних протоколів послідовної передачі являється MODBUS, його підтримку забезпечують багато виробників промислових контролерів.

Основне завдання в організації протоколу – змусити всі прилади розрізняти керуючі байти і байтів даних. Приклад, відомий прилад, який отримує по лініям зв'язку потік байтів, повинен зрозуміти де початок повідомлення, де його кінець і кому вона адресована.

1). Часто зустрічаються протоколи на основі ASCII-кода. Керуючі символи і данні передаються в виді ASCII символів. На початку керуючий символ початку, наступні цифри - адреса одержувача, потім символи даних (RS485) і в кінці – керуючий символ кінця. Всі прилади прийнявши символ початку повідомлення, починають записувати в пам'ять данні до символу кінця повідомлення. Потім порівнюють адресу посилки зі своєю. Прилад зі співпавшою адресою оброблює данні, а інші - ігнорують посилку. Данні можуть вміщати будь-які символи, окрім керуючих.

Переваги даного протоколу в зручності відладки системи і простоті синхронізації посилки. Можливо через RS485-RS232 підключити лінію док COM-порта комп'ютера і в будь-якому терміналі побачити всю прохідну інформацію. Недоліки – відносно великий розмір повідомлення при передачі великої кількості двійкової інформації, адже на передачу кожного байту потрібно ASCII символ. (7Fh - "7", "F"). Крім того, потрібно перетворювати данні з двійкового в ASCII код і заново.

2) Можливо організувати протокол з передачу двійкових даних. При цьому керуючі символи і байти даних відрізняють з допомогою настройки додаткового дев'ятого біту в UART. Для керуючих символів цей біт встановлюється "1". Першим в повідомленні передається керуючий символ з одиничним дев'ятим бітом – інші його «нормальні» біти можуть мати адресу пристрою-отримувачу, ознаку початку/кінця посилки. Потім передаються байти з нульовим дев'ятим бітом. Всі приймачі визначають по дев'ятому біту керуючий символ і по змісту його інших бітів визначають, кому адресовані

наступні дані. Прилад, у якого співпадає адреса приймає дані, а всі інші ігнорують їх до наступного керуючого символу.

UART деяких контролерів, наприклад C167 (Infineon) може в особливому режимі (wakeur) автоматично розпізнавати в отриманому байті дев'ятий біт і генерувати переривання при отриманні тільки управляючого символу. Пристрій одержувач при цьому потрібно перемикає в режим буденного прийому до наступного керуючого символу. Це дозволяє іншим приладам зекономити час на обробці переривань при отриманні байтів даних, адресованих не їм.

Якщо потрібно спряження системи і комп'ютера з Windows, такий протокол краще не використовувати, так як у Windows можуть бути проблеми з розпізнаванням дев'ятого біту UART.

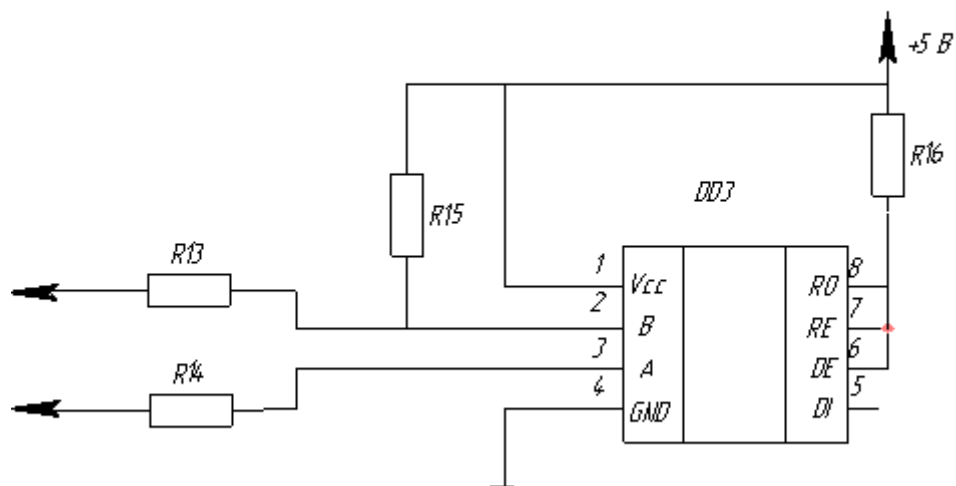


Рисунок 3.12 - Схема підключення MAX485 до мікроконтролера.

3) Протокол може бути "чисто" двійковим, тобто якщо без виділення спеціальних управляючих символів. Синхронізація повідомлень в такому випадку може виконуватись за рахунок відслідковування паузи між прийнятими байтами. Приймач відраховує час з моменту останнього прийому байту до наступного, і якщо пауза буде більшою деякої встановленої (наприклад, 1.5 - 3.5 байта), робиться висновок про втрату попередньої посилки і початку нової. Навіть якщо попередня посилка була незакінченою – приймач-буфер спрацьовує. Можливо навіть синхронізувати

посилки по унікальній стартовій послідовності бітів (по аналогії зі стартовим символом в ASCII протоколі). В таких протоколах треба приймати особливі міри для захисту від прийому хибної посилки, початої по причині перешкод.

3.5. Аналого-цифровий перетворювач

ADC0838 фірми National Semiconductor це восьмибітний, восьмиканальний, апроксимуючий АЦП послідовного приближення та комутацією каналів. Представлення вхідних аналогових величин відбувається в послідовній формі, рівень сигналів TTL рівнів. Канали 2-, 4-, та 8 мультиплексовані між собою, для підключення як диференціальні входи.

Основні характеристики:

- розрядність – 8 біт;
- загальна похибка – $\pm 1/2$ LSB і ± 1 LSB;
- напруга живлення – 5 В;
- споживана потужність – 15 мВт;
- час перетворення – 32 μ с;

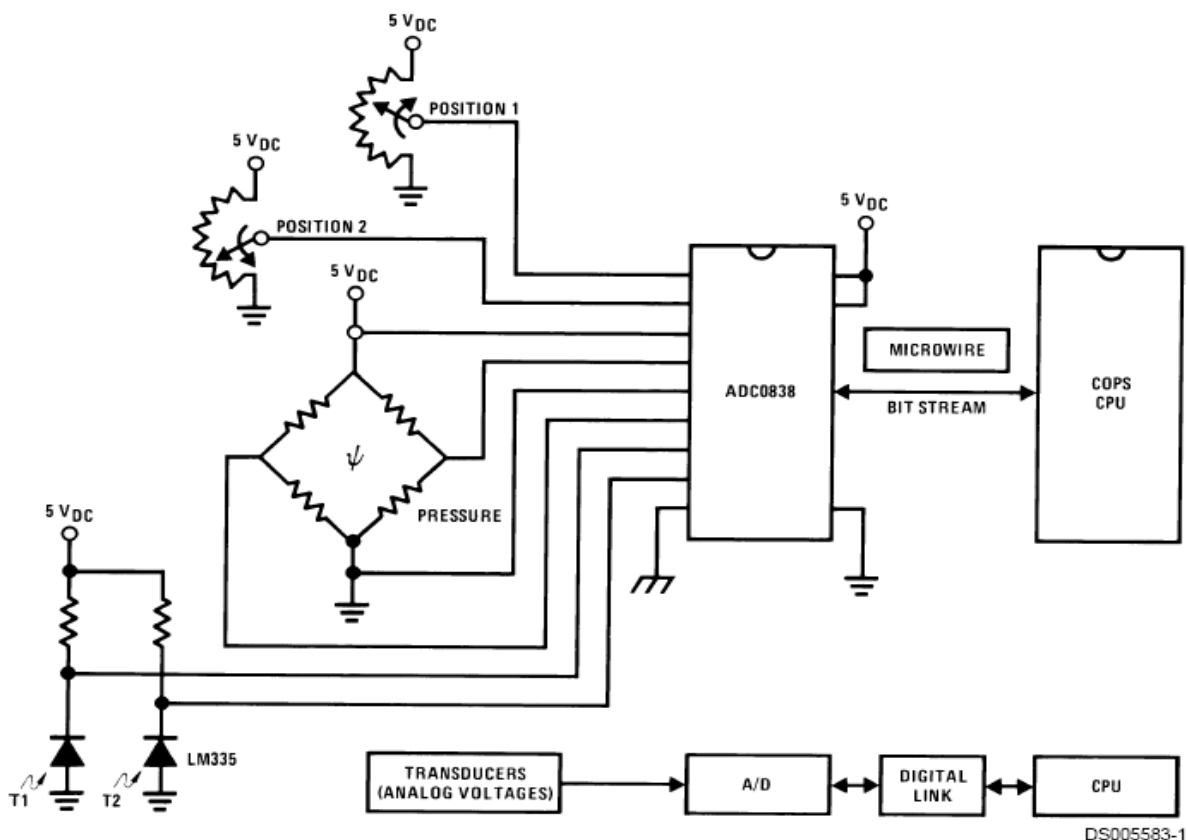


Рисунок 3.13 - Структурна схема включення АЦП ADC0838.

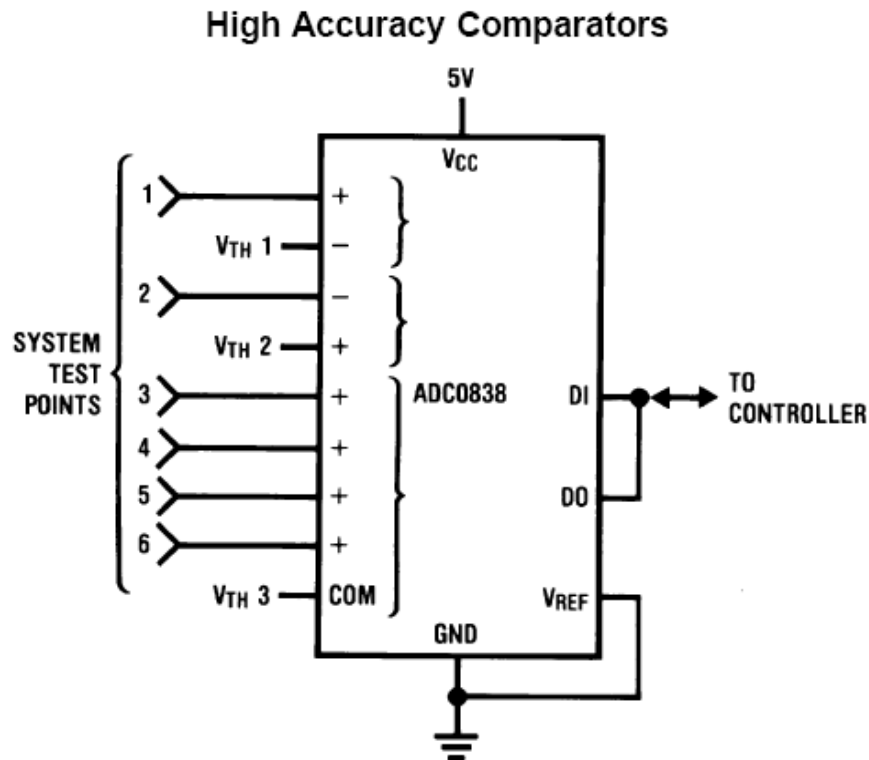


Рисунок 3.14 - Принципова схема конфігурації виводів ADC0838.

3.6. Розробка схеми клавіатури

Клавіатура розроблена для безпосереднього управління положенням регулюючого клапану.

Принцип роботи полягає в наступному: в початковому стані контакти розімкнені, тоді на RA0 буде логічна «1», а якщо клавіша замкнена то на RA0 буде логічний нуль. Підключення відбувається за допомогою матриці 20 клавіш, з використанням 4 виводів МК. В даному випадку RA0- RA3 працює на ввід інформації, а PC3 – PC7 на вивід. В початковому стані на PC4 – PC7 подається сигнал логічної одиниці, на виводи порта RA теж подані логічні одиниці, для того щоб забезпечити можливість роботи ліній в режимі вводу. МК періодично опитує стан клавіш, шляхом зміни сигналів на виводах PC4 – PC7 і зчитування стану RA. В разі виявлення замикання в одній із клавіш програма виконує закріплені за цією клавішою дії.

Процедура опитування клавіш по черзі переводить лінії портів PC4 – PC7 в логічний нуль і зчитує стан на порті RA. В залежності від натиснутої

клавiши фурмується її код з комбiнацiй PC4 – PC7 та PA0-PA3.

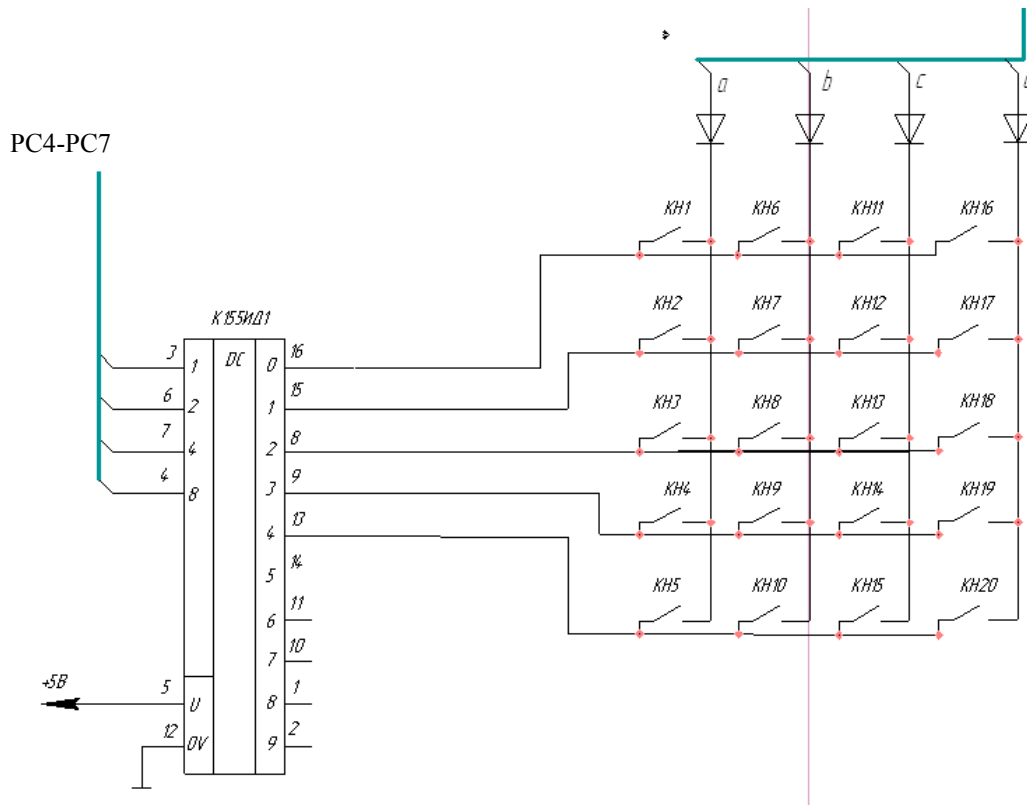


Рисунок 3.15 - Схема підключення клавіатури.

3.7 Шляхи реалізації виконавчого механізму

Виконавчим механізмом слугує трьохфазний електричний двигун АДА71В6. Двигун асинхронний трьохфазний з короткозамкненим ротором, гальмами стопорного типу і додатковою обмоткою теплового контролю серії АДА, які призначені для використання на атомних електростанціях.

Двигуни призначені для роботи від джерела трьохфазної напруги 380 В і частотою 50 Гц в режимі S1 по ГОСТ 183-74, і в режимах S3 і S8 при живленні від статичних перетворювачів частоти на базі інверторів напруги. Двигуни серії АДА відповідають технічним вимогам ТАИК.525222.001 ТУ.



Рисунок 3.17 - Трьохфазний електричний двигун АДА71В6

Характеристики двигуна:

потужність , КВт	-	0.55;
частота обертання,об/хв	-	1000;
ККД ,%	-	63;
ковзання,%	-	8.5;
тип гальм	-	T14;
маса,кг	-	16.

Команди на керування двигуном виконується вузлом силового ключа (рис. 3.18). Принцип дії : з мікроконтролера подається команда на RS-тригер DD8. При подачі логічної одиниці, на виході RS-тригеру встановлюється 0, чим замикає коло живлення фотоізолятора DA3, який вже в свою чергу замикає ключі виконані на транзисторах VT1 і VT2, і тим самим подає напругу на виконачий механізм. Ця система дублюється на 2 рівнях : на першому дублюється сигнал с мікроконтролера на мікросхему DD8; на другому – всього

вузла.

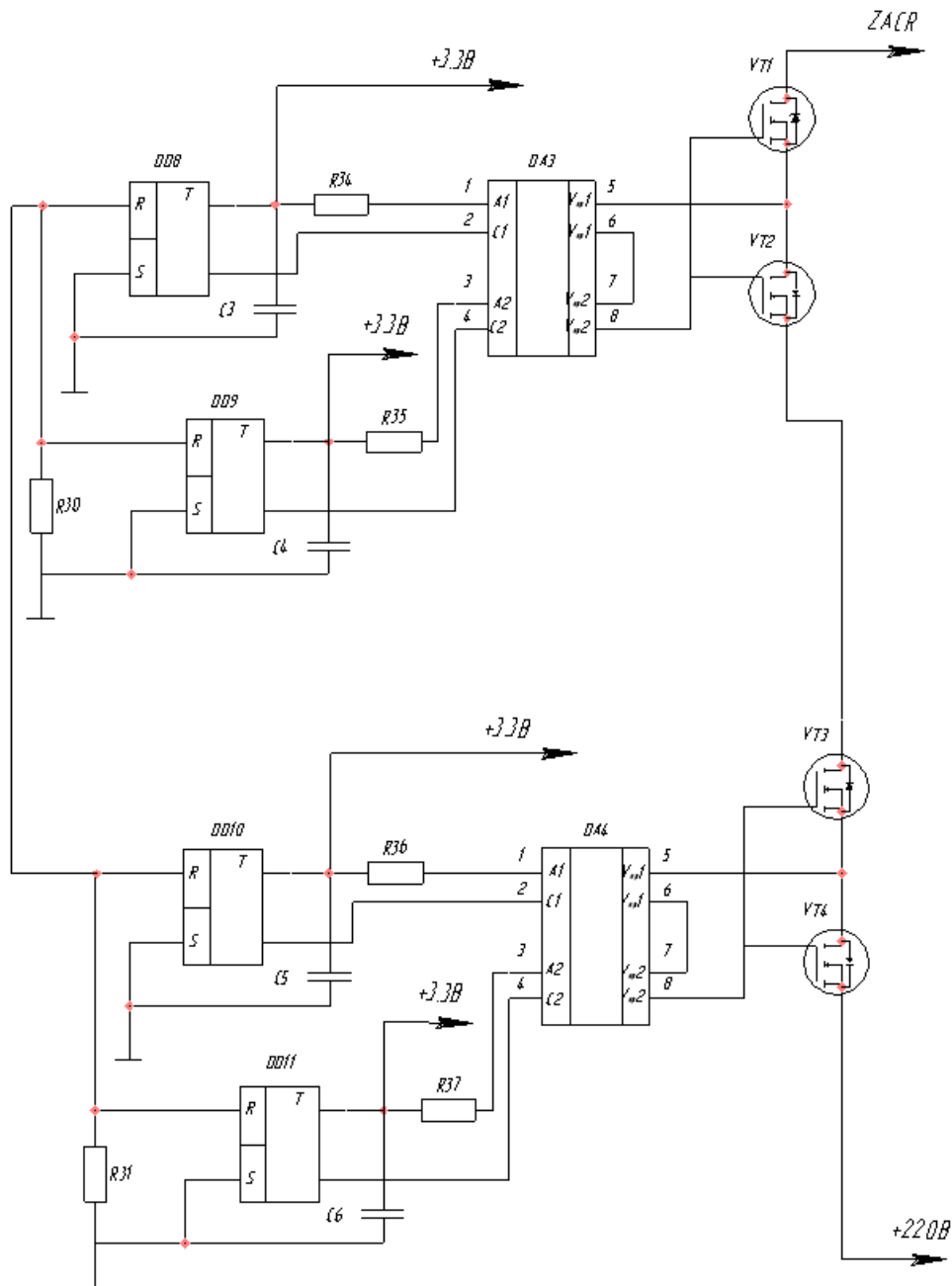


Рисунок 3.18 - Принципова схема вузла силового колюча

4 РОЗРОБКА СХЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ В ПАРОГЕНЕРАТОРІ

4.1 Аналіз регульованих параметрів при роботі парогенератора

Як показали результати попередніх досліджень, при регулюванні рівня води в парогенераторі за трьохімпульсною системою, що є базовою в системі автоматичного регулювання атомних електростанцій, на величину зміни

параметра регулювання впливають чотири фактори: зміна тиску пару в барабані парогенератора D, нерегулярність тиску живильної води на вході регульованого клапану F, коливання температури в теплообміннику першого контуру реактора T та поточний рівень води в парогенераторі. Кожний із вказаних факторів підтримується своєю системою автоматичного регулювання, тому ми дамо їх короткі характеристики.

Швидкодіюча установка скидування пару в атмосферу (**регулятор тиску пари**). Ця система призначена для запобігання підвищення тиску пари в парогенераторі за допустимі межі шляхом скидування надлишкового пару в атмосферу; охолодження реакторної установки зі швидкістю 20 град/год або 60 град/год. При нормальному тиску в парогенераторі регулятор повинен знаходитись в режимі очікування. Задане значення тиску повинно бути 68 кг*с/см^2 . Регулюючий клапан повинен бути закритим з заборонаю відкриття. Відкриватись клапан повинен при підвищення тиску пари в парогенераторі вище 74 кг*с/см^2 . Система працює з параметрами: тиск пару в парогенераторі, положення регулюючого клапану. Може працювати в двох режимах: підтримання тиску та охолодження.

Система **охолодження першого контуру через теплообмінник аварійного охолодження**. Система призначена для підтримання заданої швидкості зниження температури теплоносія першого контуру на другому етапі охолодження і підтримання заданої температури теплоносія в режимі відводу залишкових тепловиділень реактора. Система діє на регулюючі клапани на підводі до теплообмінника та на басейні теплообмінника. В початковому стані клапан на підводі до теплообмінника повинен бути закритий, клапан на басейні – повністю відкритий. Регулятор повинен діяти одночасно на обидва регулюючі клапани по схемі крокової синхронізації при умові, що обидва регулюючі клапани працюють.

Система витрати технічної води через теплообмінник аварійного охолодження. Призначена для підтримання заданої витрати технічної води через теплообмінник аварійного охолодження. Система працює з сигналом витрати води. Регулятори діють на клапани встановлені на басейні технічної

води. Він повинен підтримувати задане значення витрати технічної води через теплообмінник аварійного охолодження $3000\text{м}^3/\text{год}$ з точністю $\pm 200\text{м}^3/\text{год}$. Регулятори повинні підтримувати рівним нулю розузгодження:

$$EPS = F_{\text{зад}} - F_{\text{пот}}, \quad (4.1)$$

де EPS – розузгодження регулятора;

$F_{\text{зад}}$ - задане значення витрати води;

$F_{\text{пот}}$ - поточне значення витрати води.

Система регулювання рівня в баці організованих протічок. Система діє на регулюючі клапани, встановлені на самовсмоктуючій насосній установці. Система працює з сигналами: рівень в приймачі вимірювального перетворювача та положення регулюючого клапану.

Система тиску газу на всмоктуванні газодувок. Регулятори тиску призначені для підтримання заданого тиску на всмоктуванні газодувок. На кожні дві газодувки встановлений один регулятор. Він діє на регулюючі клапани, встановлені на повітровідводі з приміщення газодувок. Вхідними сигналами системи є тиск на всмоктуванні газодувок. Регулятор повинен підтримувати задане значення розрідження на всмоктуючому колекторі газодувок 0.7 кг*с/см^2 з точністю $\pm 0.02 \text{ кг*с/см}^2$ та підтримувати рівним нулю розузгодження

$$EPS = P_{\text{зад}} - P_{\text{пот}}, \text{ де} \quad (4.2)$$

EPS – розузгодження регулятора;

$P_{\text{зад}}$ - задане значення розрідження;

$P_{\text{пот}}$ - поточне значення розрідження.

Система регулювання рівня в деаераторі живлення. Система призначена для підтримання заданого рівня в деаераторі живлення зміною витрати води на злив. Система працює з сигналами: рівень в деаераторі живлення; витрати живильної води; положення регулюючого клапану.

Вплив кожного з розглянутих факторів інтегрально враховується центральним мікроконтроллером при роботі системи автоматичного регулювання рівня води в парогенераторі.

4.2 Розробка функціональної схеми САР аварійного живлення парогенератора

Система аварійного живлення парогенератора призначена для підтримки заданого рівня води в парогенераторі. Регулятор діє на регулюючий клапан, встановлений на трубопроводі до парогенератора. Вхідними сигналами для регуляторів рівня є: рівень води в парогенераторі (трёхканальне вимірювання), положення регулюючого клапану (одноканальне вимірювання). Регулятор отримує основний сигнал по рівню води в парогенераторі і сигнал оберненого зв'язку по положенню регулюючого клапану. Задача регулятора – підтримання заданого значення рівня води 2250мм з точністю ± 300 мм.

Головною задачею досліджуваної САР є підтримка заданого рівня води в парогенераторі $L_{\text{зад}}$, згідно якого відхилення EPS поточного рівня L від $L_{\text{зад}}$ повинно прямувати до нуля. Виходячи з цього зрозуміло, що значення поточного рівня води в парогенераторі виміряне в довільний момент часу неявно вміщує в собі результати впливу усіх означених збурюючих факторів. При цьому величину відхилення регульованого параметру EPS можна представити у вигляді (4.3), визначене на підставі співвідношення (2.14) розглянуте в розділі 2:

$$EPS = L_{\text{зад}} - L - \alpha * (H_{\text{рк}} - H_{\text{рко}}) + delL \quad (4.3)$$

EPS – розузгодження регулятора;

L – поточне значення рівня води в парогенераторі, мм;

$L_{\text{зад}}$ - задане значення рівня води в парогенераторі, мм;

$H_{\text{рк}}$ – положення регулюючого клапану, %;

$H_{\text{рко}}$ - положення регулятора на момент включення регулятора, %;

$delL$ - компенсація нерівномірності;

α - коефіцієнт пропорційності, що враховує дію зовнішніх збурюючих факторів D, F, T.

Реалізація САР рівня води в парогенераторі, яка враховує методику

визначення величини її відхилення *EPS* відповідно виразу (4.3) в діючих АЕС здійснюється на основі приведеної функціональної схеми (рис. 4.1)

$$EPS = L_{зад} - L - KH * (X - X_0) + delL \quad (4.4)$$

Головними елементами функціональної схеми є компенсація нерівномірності, модель регулюючого клапану, ПД-регулятор.

Елемент **«компенсація нерівномірності»** реалізує функцію компенсації статичної помилки регулювання при використанні в системі регулювання П-закону. При відхиленні регулюючої величини від заданого значення з установленою елементі витримкою часу формується вихідний сигнал заданої величини в сторону зменшення статичної помилки регулювання, саме тому він подається на суматор зі знаком «+».

Входи і виходи елементу є:

- Z+ - вхід заданого значення рівня води в парогенераторі;
- L- - вхід поточного значення рівня води в парогенераторі;
- ВКЛ – вхід включення в роботу елементу;
- NO – вхід кінцевого вимикача регулюючого клапану «не відкрито»;
- NZ – вхід вимикача регулюючого клапану «не закрито»;
- Вих – вихідний сигнал елементу.

Н – нечутливість компенсації по верху;
 ΔL – приріст компенсації на менше;
 ΔH – приріст компенсації на більше;
Max – верхнє обмеження вихідного сигналу;
Min – нижнє обмеження вихідного сигналу;
 ν – час затримки на спрацювання компенсації.

Елемент «**модель РК**» реалізує формування модельного значення, показника положення регулюючого клапану і контролю роботи показника положення.

Признаки несправності показника положення: А) закритий стан регулюючого клапану і положення показника положення більше 5%; Б) відкритий стан регулюючого клапану і положення показника положення менше 95%; В) відхилення модельованого положення регулюючого клапану від реального більше 3%.

Перехід регулятора на роботу з модельованим положенням регулюючого клапану здійснюється по відмові показника положення. Перехід регулятора на роботу з реальними показаннями показника положення здійснюються при відсутності відмови показника положення. Переходи здійснюються безударно, з врахуванням різниці значень показника положень і моделі.

Входи і виходи елементу є:

Н – вхід показника положення регулюючого клапану;
Відмова – вхід відмови показника положення;
КБ – вхідна команда відкрити регулюючий клапан;
КМ – вхідна команда закрити регулюючий клапан;
 $H_{\text{дост}}$ – вихід положення регулюючого клапану;
Раб. Мод – вихід признак роботи по моделі;
Неиспр. – вихід поломка показника положення;
 $H_{\text{мод}}$ – вихід модельованого положення регулюючого клапану.

Настройки елементу:

Т – час повного ходу регулюючого клапану, сек.;

L_{δ} – люфт на більше, сек.;

$L_{\text{м}}$ – люфт на менше, сек.;

N_{hz} – допустиме значення показання положення показника, % при закритому регулюючому клапані;

$N_{\text{но}}$ – допустиме значення показання положення показника, % при відкритому регулюючому клапані.

Елемент «ПД- регулятор» реалізує ПД-закон регулювання з імпульсними командами на виконавчий механізм. Елемент виконує наступні функції: розрахунок довжини по часу керуючих команд на виконавчий механізм; безударне включення; формування компенсації люфтів виконавчого механізму. Представлений у виді передаточної функції:

$$W(p) = K_{\text{п}} * ((1 + 1/T_i * p) + K_{\text{д}} * p / (T_{\text{д}} * p + 1)) \quad (4.5)$$

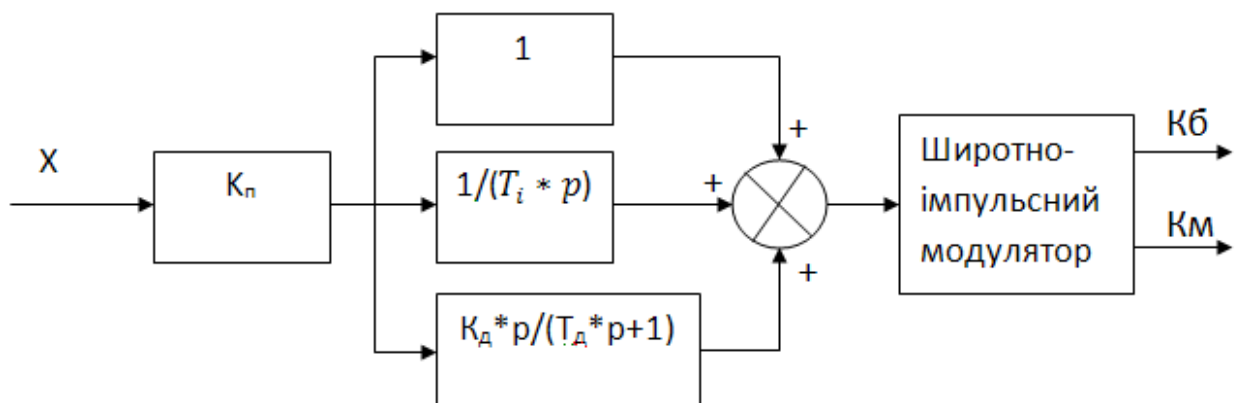


Рисунок 4.2 - Схема ПД-регулятора

Входи і виходи елементу:

X – вхідна регульована величина;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт пропорційності;

T_i – час інтегрування;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт диференціювання;

$T_{\text{д}}$ – час диференціювання;

H – зона нечутливості;

B – зона повернення;

ν мин – мінімальна довжина команди;

Пр.Раб. – включення регулятора в роботу;

EPS – розузгодження регулятора;

Кб – команда відкрити;

Км – команда закрити.

Настройки елемента:

$N_{\text{ком}}$ - нечутливість по виходу регулятора;

Lб – люфт на більше;

Lм – люфт на менше.

Принцип роботи полягає в тому, що на суматор подаються сигнали: різниці заданого рівня води і поточного рівня води в парогенераторі, і з оберненим зв'язком різниця положень заданого і поточного положень регулюючого клапану, та елемент компенсації нерівномірності, кожен з яких в свою чергу вже представлений в єдиній системі виміру - %. Після суматора сигнал подається на ПІД-регулятор, котрий видає команду на виконавчий механізм. Ця команда крім виконавчого механізму іде ще на «модель РК», котрий в свою чергу по цьому коду модулює положення регулюючого клапану, і цим самим впевнюється в правильності роботи показника положення регулюючого клапану.

З метою підвищення надійності діючої САР виміри усіх параметрів неодноразово дублюються за допомогою трьох або шестиканальних ліній виміру.

Блокування закриття регулюючого клапану і включення/виключення регуляторів в роботу приведені в таблиці 4. Умови спрацювання блокувань зв'язані з умовами роботи блокувань засувки і насосів системи аварійного живлення парогенератора. Під вимкненням регулятора слід розуміти вивід регулятора з роботи, а не автоматичне відключення по командам захисту.

Таблиця 4. Захист і блокування.

Умови захисту і блокувань	Дії захисту і блокувань
1. При рівні в парогенераторі менше 1200мм, відповідному режиму протічки з ПГ і витраті води 75м ³ /год	Вимкнення регулятора аварійного живлення парогенератора
2. При рівні в парогенераторі менше 1150 мм і температурі теплоносія першого	Вимкнення регулятора аварійного живлення парогенератора

контур 100°C.	
3. При теплоносія першого контуру 100°C і рівня в парогенераторі більше 1150 мм.	Вимкнення регулятора аварійного живлення парогенератора, закриття РК.
4. При рівні в парогенераторі менше 1500 мм і температурі теплоносія більше 100°C.	Вимкнення регулятора аварійного живлення парогенератора.
5. При рівні в парогенераторі більше 1500 мм і температурі теплоносія більше 100°C.	Вимкнення регулятора аварійного живлення парогенератора, закриття РК.

4.3 Моделювання САР живлення парогенератора на електричній принциповій схемі

В зв'язку зі складністю і доскональністю САР живлення парогенератора, було прийнято рішення, змодельовати роботу даної системи на електричній принциповій схемі.

В ролі датчиків в даній системі відіграють роль реохорд R2 і тензорезистори R8-R11 та R13, R15, які ввімкнуті в мостикове коло Уїтстона. В мостикові кола також було ввімкнені резистори R3-R5, які компенсують зміну температури. При зміні опору одного з вказаних датчиків, сила струму на діагоналі мосту змінюється, що реєструється мікроконтроллером DD3. Але для того, щоб мікроконтроллер зрозумів показання мостикового кола, силу струму потрібно підсилити підсилювачем на основі мікросхем DA1, DA2 та перевести в двійковий 8-бітний код за допомогою АЦП DD1. Мікроконтроллер керує АЦП за допомогою портів clk – тактової синхронізації та CS – дозволу роботи, і отримує інформацію в виді послідовного ряду з двійкового 8-бітного коду з виводів D0-D1. Мікроконтроллер обробляє отриману інформацію згідно запрограмованого алгоритму і видає на виході команду на вузол силового ключа, принцип роботи якого представлено у пункті 3.

Для зручності експлуатації замість типового вузла передачі даних RS-232, був застосований для програмування мікроконтролера вузол RS-485, на основі мікросхеми DD3. Це пояснюється тим, що в процесі налаштування

системна програма може змінюватись, а допустима відстань використання RS-232, як правило не дає змоги підключитись до ПК. Тому вузол RS-485 є в цьому випадку оптимальним рішенням проблеми, так як відстань його передачі може сягати до 3 км.

Також використана клавіатура с 20 клавіш, яка в дистанційному режимі управляє роботою регулюючого клапану. Мікроконтроллер періодично опитує стан клавіш, шляхом зміни сигналів на входах PC4 – PC7 і зчитування стану PA мікросхеми DD6. В разі виявлення замикання в одній із клавіш програма виконує закріплені за цією клавішою дії. Процедура опитування клавіш по черзі переводить лінії портів PC4 – PC7 в логічний нуль і зчитує стан на порті PA. В залежності від натиснутої клавіші формується її код з комбінацій PC4 – PC7 та PA0-PA3.

ВИСНОВОК

В даній роботі було розглянуто сучасний стан атомної енергетики, проаналізовано типи діючих АЕС: одноконтурна, двохконтурна, частково двохконтурна, трьохконтурна технології виробництва електроенергії.

Досліджено принцип роботи парогенератора та фактори впливу на зміну рівня води в ньому. Досліджено одно-, двох-, та трьохімпульсні системи автоматичного живлення парогенератора і визначено функціональну залежність розбіжності рівня води від тиску пари, тиску живильної води, що подається в парогенератор, та поточного рівня води в парогенераторі.

В якості датчиків виміру рівня води в парогенераторі обраний дифманометр Сапфир 22-ДД, а в якості виміру положення регулюючого клапану застосований реохорд РП160-10А.

В результаті аналізу роботи діючої системи автоматичного регулювання рівня води в парогенераторі було розроблено модель системи автоматичного регулювання рівня води в парогенераторі, яка відтворює залежність зміни рівня води в парогенераторі від дії збурюючих факторів. Дана модель дозволяє проаналізувати роботу діючої системи автоматичного регулювання живлення парогенератора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Воронов А.А., Титов В.К., Новогранов Б.Н. Основы теории автоматического регулирования и управления. - М.: Высшая школа, 1977.- 310 с.
2. Губський А.І. Цивільна оборона. -К.: Міністерство освіти, 1995. -216 с.
3. Емельянов А.И., Каиник О.В.Проектирование систем автоматизации технологических процессов. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 400 с.
4. Корячко В.П. Микропроцессоры и микроЭВМ в радиоэлектронных средствах. - М.: Высшая школа, 1990. -320 с.
5. Сальников Р.И. Автоматизация проектирования систем автоматического управления. - М.: Высшая школа, 1991. -335 с.

6. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирм Atmel.-М.: ИП РадиоСофт, 2002.-176с.
7. Лебедев О.Н. Микросхемы памяти и их применение. -М.: Радио и связь, 1990, -160с
8. Евстифеев А. В. « Микроконтроллеры симейства AVR » -М.: Додека XXI, Москва 2007. -230с.
9. Белов А. В. « Конструирование устройств на микроконтроллерах » - М.: Наука и техника, Санкт-Петербург 2005, -320с.
10. Новиков В. М., Радовский Н.С. Расчет парогенераторов для АЭС М.: МИФИ, 2001, - 180с.
11. В.А. Демченко Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС.-М: Астропринт, Одесса 2001, - 160с.
12. Маргулова А.В. Атомные электрические станции. -М.: Енергоатомиздат, Москва 1998, -188с.
13. Аминов Р.З., Хресталев В.А. АЕС с ВВЕР -М.: Енергоатомиздат, Москва 2003, -260с.
14. Каминский М.Л., Каминский В.М. Монтаж приборов -М.: Высшая школа, 1983.- 248 с.
15. Фомін Г. С. Вода. Контроль хімічної, бактеріальної й радіаційної безпеки за міжнародними стандартами. Енциклопедичний довідник. - 2-і изд. перераб. і доп. - М.: Видавництво "Протектор", 1995. - 624 с., іл., с. 95-96.
16. Тунік А.А., Абрамович О.О. Основи сучасної теорії управління: Навч. посібник – К.: НАУ, 2010. – 260с.
17. Методи сучасної теорії управління: Підручник./ А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, Н.М. Луцька, В.В. Іващук. –К.: Вид-во Ліра, 2018. – 368с.
18. Онисик С. Б. Моделювання об'єктів керування: навчальний посібник / С. Б. Онисик. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. – 292 с.
19. Семенов, Г. Н. Автоматизація неперервних технологічних процесів. Регулятори : навч. посіб. / Г. Н. Семенов. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2016. - 201 с.
20. Демченко, В. А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / В. А. Демченко. – Одесса : Астропринт, 2001. – 308 с.
21. Ковриго Ю. М. Методи забезпечення стійкості систем регулювання на базі ПІ та ПІД регуляторів / Ю. М. Ковриго, Т. Г. Баган, О. С. Бунке //

Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – No 3/3 (63). – С. 58-63.

22. Коновалов, М. А. Проблемы автоматизации инерционных теплоэнергетических объектов / М. А. Коновалов. – Киев : Феникс, 2009. – 312 с.

1. Антоненко В. М. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями : навчальний посібник / В. М. Антоненко, С. Д. Мамченко, Ю. В. Рогушина. – Ірпінь : Національний університет ДПС України, 2016. – 212 с.
2. Тунік А.А., Абрамович О.О. Основи сучасної теорії управління: Навч. посібник – К.: НАУ, 2010. – 260с.
3. Методи сучасної теорії управління: Підручник./ А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, Н.М. Луцька, В.В. Іващук. –К.: Вид-во Ліра, 2018. – 368с.
4. Онисик С. Б. Моделювання об'єктів керування: навчальний посібник / С. Б. Онисик. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. – 292 с.
5. Семенцов, Г. Н. Автоматизація неперервних технологічних процесів. Регулятори : навч. посіб. / Г. Н. Семенцов. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2016. - 201 с.
6. Ершова Н.М. Современные методы теории проектирования и управления сложными динамическими системами : монография. Днепропетровск : ПГАСА, 2016. 272 с.
7. Сучасна теорія керування: навч. посіб. / І.В. Новицький, С.А. Ус, м-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 263 с.
8. Демченко, В. А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / В. А. Демченко. – Одесса : Астропринт, 2001. – 308 с.
9. Ковриго Ю. М. Методи забезпечення стійкості систем регулювання на базі ПІ та ПІД регуляторів / Ю. М. Ковриго, Т. Г. Баган, О. С. Бунке // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – No 3/3 (63). – С. 58-63.
10. Коновалов, М. А. Проблемы автоматизации инерционных теплоэнергетических объектов / М. А. Коновалов. – Киев : Феникс, 2009. – 312 с.
11. Шаруда В.Г. Методи аналізу і синтезу систем автоматичного керування: Навч. посіб./ Шаруда В.Г., Ткачов В.В., Фількін М.П. – Д.: Нац. гірнич.у-тет, 2008. — 543 с.

