

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Теплоенергетичний
Автоматизації теплоенергетичних процесів**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Автоматизоване управління
технологічними процесами»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизація теплофікаційної установки Рівненської АЕС»

Виконав

студент IV курсу, групи ТА-81

Нагорний Владислав Вікторович _____

Керівник:

доцент каф. АТЕП, к.т.н., доцент,

Голінко Ігор Михайлович _____

Консультант з розділу «Охорона праці»:

Доктор технічних наук, професор,

Глива Валентин Анатолійович _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Теплоенергетичний
Автоматизації теплоенергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Автоматизоване управління технологічними процесами»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Нагорний Владислав Вікторович

1. Тема проєкту «Автоматизація теплофікаційної установки Рівненської АЕС», керівник проєкту Голінко Ігор Михайлович, доцент каф. АТЕП, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «8» червня 2022 р. №965-с
2. Термін подання студентом проєкту «16» червня 2022 р.
3. Вихідні дані до проєкту: Автоматизоване підтримання рівня конденсату. Можливість дистанційного спостереження та управління.
4. Зміст пояснювальної записки
1.Огляд теплофікаційної установки Рівненської АЕС. 2. Математичне моделювання об'єкту. 3 Розробка автоматизованої системи регулювання рівня. 4. Програмно-технічні рішення системи регулювання. 5. Економічне обґрунтування. 6. Охорона праці. Висновки. Перелік використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Функціональна схема автоматизації (1 арк. ф. А3); схема принципова електрична (1 арк. ф. А1); креслення загального виду щита автоматизації (1 арк. ф. А4х3); схема з'єднань та підключень зовнішніх проводок (2 арк. ф. А3); специфікація обладнання (3 арк. ф. А3).

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доктор технічних наук, професор, Глива Валентин Анатолійович		
Нормоконтроль	Старший викладач Некрашевич Олена Василівна		

7. Дата видачі завдання 27.04.2022

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Отримання теми дипломного проекту	28.04.2022	
2.	Пошук літератури за темою	02.05.2022	
3.	Огляд існуючих систем та формування функціональної схеми автоматизації	06.05.2022	
4.	Створення математичної моделі об'єкту та розробка автоматизованої системи регулювання	12.05.2022	
5.	Написання програмного забезпечення для реалізації автоматизації	24.05.2022	
6.	Формування принципової електричної схеми, креслення загального виду щита автоматизації та схеми зв'язку та підключення зовнішніх приладів	02.06.2022	
7.	Подання ДП на перевірку	08.06.2022	

Студент

Владислав Нагорний

Керівник

Ігор Голінко

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизація теплофікаційної
установки Рівненської АЕС»**

Київ – 2022 року

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт виконаний на тему: «Автоматизація теплофікаційної установки Рівненської АЕС». В даному проєкті розроблена система керування призначена для підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача.

На початку виконання проєкту було поставлено ряд задач, які в подальшому були виконані: огляд та аналіз об'єкта керування, на основі яких визначено технологічні параметри та засоби автоматизації. Розроблено функціональна схема автоматизації, розширена електрична схема підключень та креслення загального виду щита. Вибрані методи та системи регулювання для контуру регулювання рівня конденсату.

Згідно до властивостей об'єкту було підібрано датчики, електроприводи, контролери та модулі розширення з відповідними характеристиками. Для коректного регулювання об'єктом автоматизації, було створено програму для контролера в середовищу CODESYS та виконано моделювання об'єкту в SCADA системі, яка розроблена в середовищі .

Для перевірки економічної ефективності системи автоматизації теплофікаційної установки Рівненської АЕС було виконано розрахунки техніко-економічних параметрів, на основі яких видно, що система автоматизації є економічно вигідною. Для безпечної експлуатації теплофікаційної установки, було написано рекомендації по експлуатації, при дотриманні яких розроблена система є абсолютно безпечною і готова до впровадження.

Ключові слова: автоматизація, автоматична система регулювання, теплофікаційна установка, підігрівач мережевої води.

ANNOTATION

The diploma project made on the topic: "Automation of district heating plant of Rivne NPP". In this project, the developed control system designed to maintain the level of condensate in the heater housing.

At the beginning of the project, a number of tasks were set, which were subsequently performed: review and analysis of the control object, on the basis of which the technological parameters and means of automation were determined. The functional scheme of automation developed, the electric scheme of connections and drawings of the general look of a board is expanded. Selected methods and control systems for the condensate level control circuit.

Sensors, electric drives, controllers and expansion modules with appropriate characteristics selected according to the properties of the object. To correctly control the object of automation, a program was created for the controller in the CODESYS environment and the modeling of the object in the SCADA system, which was developed in the environment.

To check the economic efficiency of the automation system of the Rivne NPP district heating system, calculations of technical and economic parameters performed, based on which it can be seen, that the automation system is economically profitable. For safe operation of the district heating plant, operating recommendations written, in compliance with which the developed system is absolutely safe and ready for implementation.

Key words: automation, automatic control system, district heating installation, mains water heater.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ОГЛЯД ТЕПЛОФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС.....	10
1.1 Огляд технологічного процесу теплофікації установка.....	10
1.2 Опис обладнання системи теплофікації	11
1.3 Автоматизація існуючих контурів керування	14
1.4 Постановка задачі автоматизації.....	17
2. ОГЛЯД ПІДГРІВАЧА ПМВ-500-3-23.....	19
2.1 Аналітична модель підігрівача ПМВ-500-3-23	19
2.2 Розрахунок коефіцієнтів моделі підігрівача	21
2.3 Моделювання та апроксимація математичної моделі підігрівача.....	24
3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ КОНДЕНСАТУ В КОРПУСІ ПІДГРІВАЧА ПМВ-500-3-23	28
3.1. Структурна схема регулювання рівня конденсату в підігрівачі ПМВ-500-3-23	28
3.2. Визначення періоду дискретизації системи регулювання підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівачі	29
3.3. Розрахунок системи регулювання рівня конденсату в корпусі підігрівачі.....	30
3.4. Розрахунок системи регулювання рівня конденсату в корпусі підігрівачі на грубість	38
4. ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.....	43
4.1 Технічні рішення для системи автоматизації теплофікаційної установки.....	43

<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>					
<i>Автоматизація теплофікаційної установки Рівненської АЕС</i>					
<i>Зм.</i>	<i>Кільк.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ Док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розробив</i>		<i>Нагорний В.В.</i>			
<i>Перевірив</i>		<i>Голінко І.М.</i>			
<i>Т. Контроль</i>					
<i>Н. Контроль</i>		<i>Некрашевич О.В.</i>			
<i>Затвердив</i>		<i>Волощук В.А.</i>			
<i>Пояснювальна записка</i>			<i>Стадія</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
			<i>ДП</i>	<i>6</i>	<i>58</i>
<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ТЕФ, гр.ТА-81</i>					

4.2	Реалізація програмованого керування підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача ПМВ-500-3-23	45
4.3	Реалізація людино-машинного інтерфейсу системи автоматизації теплофікаційної установки	47
5.	РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС.....	49
5.1	Кошторис на придбання та монтаж обладнання системи автоматизації теплофікаційної установки Рівненської АЕС	49
5.2	Розрахунок окупності автоматизації теплофікаційної установки Рівненської АЕС	50
6.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТЕПЛОФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС	53
6.1.	Заходи безпеки для безпечної експлуатації теплофікаційної установки	53
6.2.	Вимоги до безпеки праці, вибухо- і пожежобезпеки.....	56
	ВИСНОВОК	57
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	58

					<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АСК – автоматизована система керування;
АФХ – амплітудно-фазова характеристика;
АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;
АШСП (АБСУ) – автоматичний швидкодіючий скидний прилад;
БНТ – баки нижніх точок;
БЗК (БГК) – бак забрудненого конденсату;
ВХР – водно-хімічний режим;
ЗВТ – засоби вимірювальної техніки;
КГП – конденсат гріючої пари;
НЗБ – начальник зміни блоку;
НЗТЦ – начальник зміни турбінного цеху;
НЗС – начальник зміни станції;
ПЛК – програмно-логічний контролер;
ПМВ (ПСВ) – підігрівач мережевої води;
ПНТ – підігрівач низького тиску;
РАФХ – розширена амплітудно-фазова характеристика;
РОУ – редуційно-охолоджувальна система;
САР – система автоматичного регулювання;
ТГ – турбогенератор;
ТВ (ТО) – турбінне відділення;
ТОК – технологічний об'єкт керування;
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition.

					ТА8117.0007.001.АТХ.ІІ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

З усіх форм виробляючої енергії найбільш широко використовуються два її види - електрична та теплова енергії.

Особливо велике значення організації раціонального теплопостачання для споживачів має система теплофікації, котра є найбільш досконалим методом централізованого постачання теплової енергії, а також одним із основних шляхів зниження питомої витрати палива на вироблення електричної енергії.

Під терміном теплофікація розуміється централізоване теплопостачання з урахуванням комбінованої, тобто. спільного вироблення теплової та електричної енергії. Також в даному принципі закладена і основна відмінність теплофікації від так званого роздільного методу теплоенергопостачання, коли електрична енергія виробляється на конденсаційних теплових електростанціях, а теплова в котельних.

Вироблення теплової енергії на теплових та атомних електричних станціях виробляється для задоволення потреб як промислових, так і побутових споживачів. Відповідно, розрізняють два види теплового навантаження: виробниче, яке необхідне для технологічних процесів промислових підприємств, та опалювальну, що служить для опалення виробничих, громадських та житлових приміщень, а також гарячого водопостачання.

Виробниче теплове навантаження зазвичай забезпечуються паром, яка відпрацювала в турбіні або паром з відборів турбіни. Промислове теплове навантаження також характеризується нерівномірністю протягом доби та відносною рівномірністю протягом року з деяким зниженням в літній період.

Опалювальне навантаження відрізняється від промислового навантаження, своєю рівномірністю протягом доби та великою нерівномірністю протягом року: вона досягає максимуму в періоди низьких температур, а в теплу пору року знижується до нуля.

					<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОГЛЯД ТЕПЛОФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС

1.1 Огляд технологічного процесу теплофікації установка

Основним завданням АЕС являється забезпечення безперебійного постачання споживачам електричної та теплової енергією вироблених з дотриманням вимог правил і норм безпеки в атомній енергетиці.

Теплофікаційна установка призначена для підігріву мережевої води до заданої температури парою від регульованих або нерегульованих відборів турбіни та виконана за груповою схемою підключення з поперечними зв'язками. Система підігріву мережевої води і опалення машзала призначена для підігріву мережевої води до заданої температури та виконується за двонитковою схемою з паралельним зв'язком. Кожна нитка забезпечує зняття теплофікаційного навантаження 100 Гкал/год при графіку 150/50 °С і складається з послідовно встановлених двох основних підігрівачів мережної води та одного пікового підігрівача мережевої води. До складу теплофікаційної установки входять також два мережеві насоси, два конденсатні насоси, трубопроводи, арматура, ЗВТ. Для кращого розуміння технічного процесу теплофікації та опалення машзала розглянемо рис. 1.1.

Зворотна мережева вода, пройшовши механічний фільтр *1*, надходить на вхід мережевих насосів *2*, якими через напірний колектор подається послідовно на ПМВ-І *3*, ПМВ-ІІ *4* ступені, ППМВ *5* і надходить у колектор прямої мережевої води *6*. Пікові ПМВ виконані таким чином, що за необхідності можна відключити від трубопроводу мережної води. Температура прямої мережевої води регулюється шляхом відведення частини води повз пікового або основного ПМВ.

Конденсат гріючої пари ППМВ і ПМВ-ІІ ступені каскадно відводиться в корпус ПМВ-І ступені, а потім через гідрозатвор *7* безпосередньо в конденсатор турбіни SD13 при задовільних показниках ВХР. Передбачено відведення КГП з ПМВ-І ступеня конденсатними насосами *8* у лінію основного конденсату між

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПНТ-2 та ПНТ-3, при незадовільних показниках ВХР конденсат перекачується в напірний колектор насосів БНТ і далі БГК.

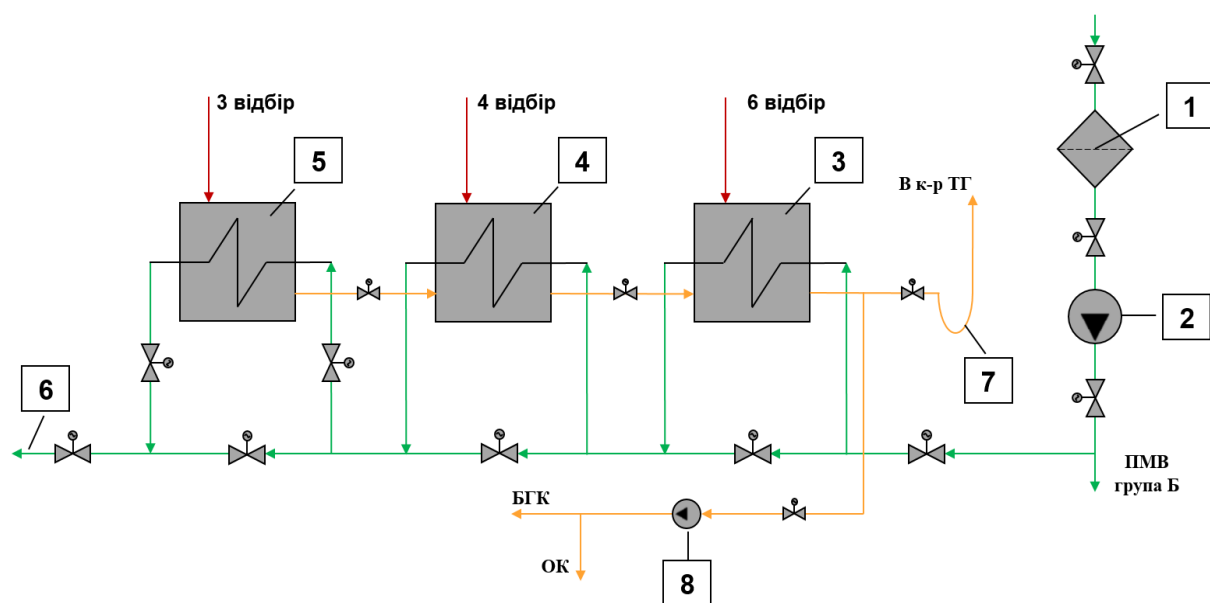


Рисунок 1.1 - Технологічна схема системи підігріву мережевої води

1.2 Опис обладнання системи теплофікації

ПМВ призначені для підігріву мережевої води до заданої температури за допомогою пари з нерегульованих відборів турбіни. Зовнішній вигляд трубної системи підігрівача показано на рис. 1.2, а структурна схема будова ПМВ зображена на рис. 1.3. Також основні технічні характеристики підігрівача показано в таблиці 1.1.

Підігрівач складається з циліндричного корпусу **2**, до нижньої частини якого приварене штамповане еліптичне дно, всередині якого знаходиться нижня водяна камера **б**, а до верхньої частини - фланець для з'єднання з трубною системою **3** і верхньою водяною камерою **1**. У верхній частині корпусу розташований патрубок підведення пари **В**, а нижче розташовується: патрубок підведення КГП з підігрівачів з більш високим тиском пари, що гріє **Г**, патрубок відсмоктування пароповітряної суміші **Е**, муфти для приєднання водовказівного приладу **Є**, а також патрубки для приєднання датчика регулятора рівня в корпусі. До еліптичного днища приварений фланець для приєднання трубопроводу зливу КГП **Д**.

										Арк.
										11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ТА8117.0007.001.АТХ.П

Трубна система складається з двох трубних дошок 7, каркасних труб 5, прямих теплообмінних труб, кінці яких розвальцьовані в трубних дошках. Каркас трубної системи має поперечні сегментні перегородки 9, які направляють потік пари в корпусі і одночасно служать проміжними опорами для теплообмінних трубок. Для захисту теплообмінних трубок від розмивання потоком пари, проти паропідвідного патрубку встановлено відбійний щит 8.

Верхня водяна камера складається з циліндричної корпус, до верхньої частини якої приварене штамповане еліптичне днище, а до нижньої частини приварений фланець для з'єднання з трубною системою та корпусом. Водяна камера забезпечена патрубками підведення *A* та відведення *B* мережевої води.

Внутрішній об'єм камери розділений перегородками на відсіки, завдяки яким вода здійснює необхідну кількість ходів.

У підігрівачах мережева вода рухається по трубках, гріючий пар, який надходить через патрубок у верхній частині – між трубному просторі в якому встановлені сегментні перегородки, що направляють рух парового потоку. Не конденсуючи газу (повітря), які накопичуються в підігрівачах відводяться через штуцер на корпусі апарату.



Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд підігрівача мережевої води ПМВ-500-3-23

					<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики підігрівачів мережевої води

Назва параметру	Одиниця виміру	ПМВ-500-14-23 (ППМВ, ПМВ-II ст.)	ПМВ-500-3-23 (ПМВ-I ст.)
Поверхня нагріву	м ²	500	500
Максимальний надлишковий працюючий тиск в трубній системі	кгс/см ²	23	23
Максимальний надлишковий працюючий тиск в корпусі	кгс/см ²	14	3
Температура води на вході	°С	70	30
Температура води на виході	°С	150	120
Пробний надлишковий гідравлічний тиск при огляді:			
В трубній системі	кгс/см ²	31	30,5
В паровому просторі	кгс/см ²	21	6,0
Витрата мережевої води	м ³ /ч	1800	1150
Гідравлічний опір трубної системи при номінальній витраті води	м вод. Ст	6,0	5,5
Об'єм трубної системи	м ³	3,017	3,017
Об'єм парового простору	м ³	8,342	8,342

1.3 Автоматизація існуючих контурів керування

Головним завданням автоматизації теплофікаційної установки, як об'єкта регулювання є: підігрів прямої мережевої води, підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача на заданому рівні та забезпечення тиску зворотної мережевої води в трубопроводі. Теплофікаційна установка являє собою послідовно під'єднані один до одного ПМВ-I,-II ступені та ППМВ. Дані підігрівачі за схемою будови є ідентичними, таким чином, кожен підігрівач можна розглядати як самостійний об'єкт регулювання. ПМВ має два основних контури регулювання: контур підігріву прямої мережевої води та контур підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача.

										Арк.
										14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>					

Регулювання температури

Розглянемо контур підігріву прямої мережевої води. Температура прямої мережевої води є основною регулюючою величиною підігрівача, яку потрібно підтримувати на заданому рівні з високою точністю, яка диктується в основному умовами економічної роботи теплофікаційних турбін. Регулювання температурою може здійснюватися трьома способами:

При першому способі, регулювання підігрівачем здійснюється за допомогою переміщення регулюючої заслінки на трубопроводі гріючої пари поз. 1в рис. 1.4. Недоліком даного способу є те, що за каналом регулюючого впливу властива значна інерція, де для забезпечення потрібної точності регулюючого значення, можуть знадобитися відносно великі переміщення регулюючої заслінки, що може призвести до суттєвих коливань тиску пари в турбіні. Сигнал з датчика поз. 1а передає значення температури на регулятор поз. 1б, через якого подається сигнал на переміщення регулюючої заслінки 1в.

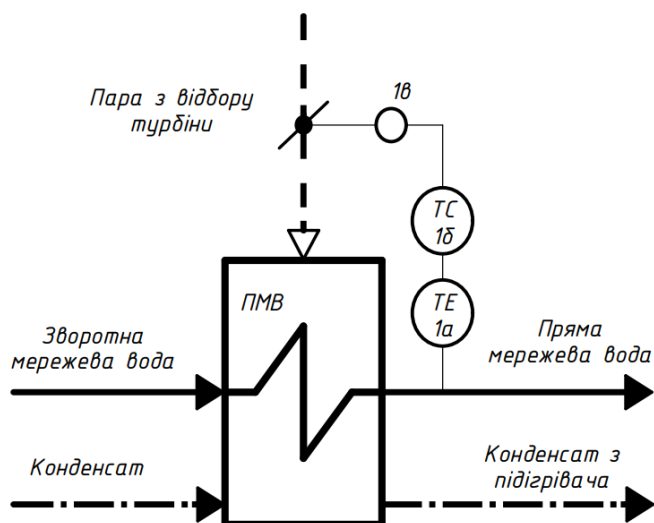


Рисунок 1.4 - Контур регулювання підігріву мережевої води за допомогою гріючої пари

Щоб запобігти суттєвих коливань тиску пари джерела, використовують другий спосіб регулювання температури прямої мережевої води – перепуском частини зворотної мережевої води через клапан в обвід підігрівача в трубопровід прямої мережевої води, тобто, шляхом змішення підігрітого та холодного потоку

										Арк.
										15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ТА8117.0007.001.АТХ.П

мережевої води поз. 1б рис. 1.5. Перевагою даного метода регулювання, крім зменшення інерційності регулюючої ділянки є зберігання незмінної витрати гріючої пари, що тим самим забезпечує стабілізацію тиску в теплофікаційних відборах турбіни. Але даний метод не економічний і має ефективність тільки при значних перепадах температури зворотної та прямої мережевої води. Сигнал з датчика поз. 1а передає значення температури на регулятор поз. 1б, через якого подається сигнал на переміщення регулюючого клапана 1в.

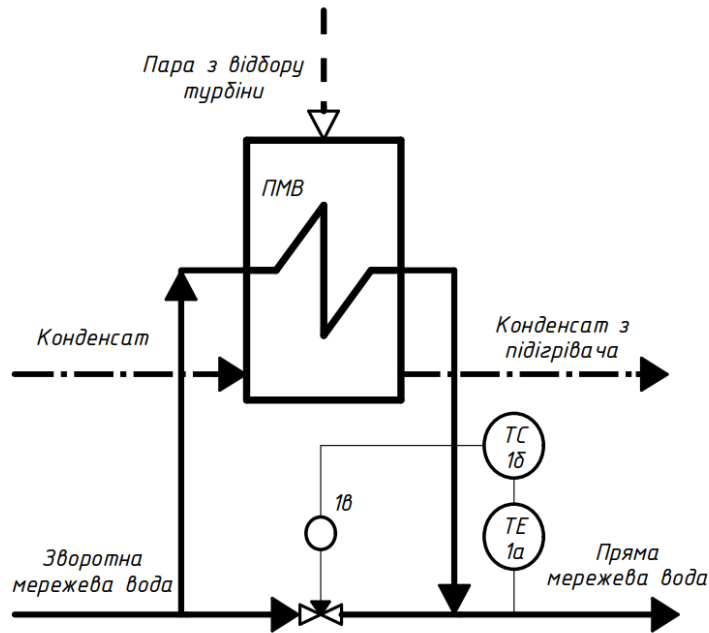


Рисунок 1.5 - Контур регулювання температури мережевої води шляхом змішення підігрітого та холодного потоку води

В третьому способі регулювання $T_{М.В}$ виконується шляхом зміни тиску пари в теплофікаційному відборі при повністю відкритій регулюючій заслінки. Тиск пари у відборі змінюється за допомогою системи регулювання парової турбіни і спеціального автоматичного задатчика температури, діючого в залежності від електричного навантаження турбогенератора і температури навколишнього повітря.

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулювання рівня

Другою регулюючою величиною являється рівень конденсату гріючої пари в корпусі підігрівача. Його слід підтримувати близько середнього значення за умовою оптимального теплообміну в підігрівачі і безпеки заброду води в трубопроводі гріючої пари. Регулювання рівня здійснюється регулятором поз. 1б рис. 1.6, де його вхідними сигналами служать рівень конденсату в корпусі поз. 1а рис. 1.6 та положення регулюючого органу поз. 1в рис. 1.6. Регулятор діє на відкриття/закриття клапана на лінії зливу конденсату.

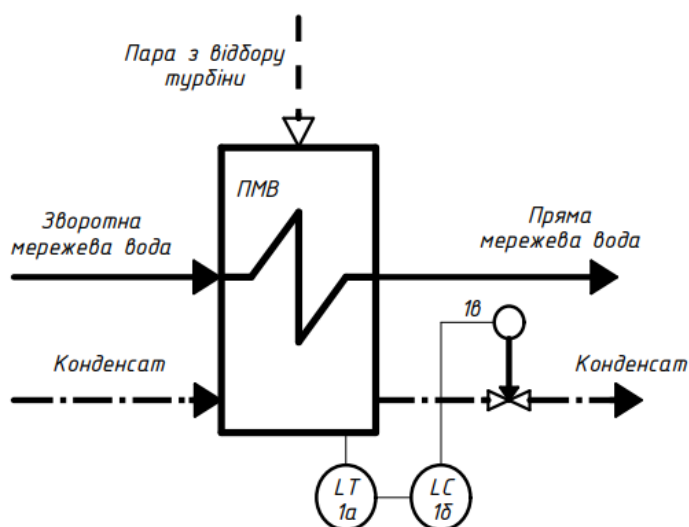


Рисунок 1.6 - Контур регулювання рівня конденсату
в корпусі підігрівача

1.4 Постановка задачі автоматизації

На основі існуючих системах та контурах регулювання з пункту 1.4, в даному проекті буде здійснюватися підтримання заданого рівня конденсату в корпусі підігрівача теплофікаційної установки. Для якісного регулювання рівня конденсату буде використовуватися трипозиційний клапан, керування яким здійснюватиметься контролером.

Для реалізації проекту потрібно виконати наступні поставленні завдання:

- На основі існуючих способах керування рівня конденсату в корпусі підігрівача розробити аналітично-математичну модель ПМВ-500-3-23;

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ТА8117.0007.001.АТХ.П

- Виконати розрахунки параметрів налаштування для системи регулювання підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача;
- Розробити проєктні рішення для системи автоматизації теплофікаційної установки;
- Виконати розрахунки економічної ефективності системи автоматизації теплофікаційної установки;
- Написати рекомендовану інструкцію по охороні праці для безпечної експлуатації та роботи теплофікаційної установки
- Розробити проєктну документацію автоматизації теплофікаційної системи.

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2. ОГЛЯД ПІДГРІВАЧА ПМВ-500-3-23

2.1 Аналітична модель підігрівача ПМВ-500-3-23

Розробимо аналітичну математичну модель підігрівача за рівнем, взявши за основу модель ділянки рівня однорідної рідини [12]. Схема підігрівача, де показані вхідні та вихідні матеріальні потоки, показана на рис. 2.1. Регулювання рівня конденсату в корпусі підігрівача, який потрібно підтримувати в певному діапазоні h , відбувається за допомогою впливу виконавчого механізму на зміну площі поперечного перерізу клапана $f_{кл}$. Змінна рівня в підігрівачі залежить від кількості сконденсованої пари, яка поступає з VI відбору турбіни $G_{in,1}$, конденсату пари, який поступає з ПМВ-II ступені $G_{in,2}$ та конденсату який зливається в КТ або БГК в залежності ВХР G_{out} . Підігрівач має такі розміри: H – висота і D – діаметр.

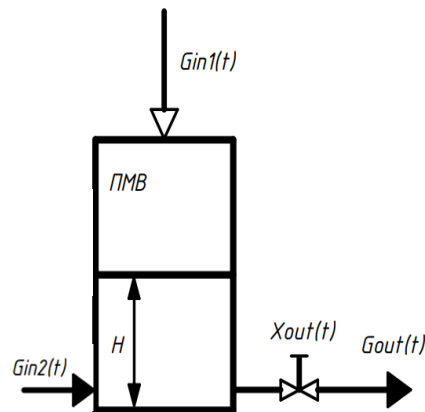


Рисунок 2.1 - Схема ПМВ-I ступені з вхідними та вихідними матеріальними потоками

Запишемо загальний вигляд диференційного рівняння перехідного процесу для підігрівача. За елементарний проміжок часу dt маємо рівняння масового балансу у вигляді:

$$F \cdot \frac{dh(t)}{dt} = G_{in,1}(t) + G_{in,2}(t) - G_{out}(t), \quad (2.1)$$

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

F – площа поперечного перерізу для між трубного простора підігрівача;

$$F = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - nd_2^2), \quad (2.2)$$

d_1 – внутрішній діаметр поперечного перерізу підігрівача;

d_2 – зовнішній діаметр теплообмінних трубок підігрівача;

n – кількість теплообмінних трубок;

$h(t)$ – рівень конденсату в підігрівачі, м;

$G_{in,1}(t), G_{in,2}(t), G_{out}(t)$, – об'ємні витрати матеріальних потоків, м³/с.

Витрата вихідного потоку конденсату залежить від ступеня відкриття клапана і визначається залежністю:

$$G_{out}(t) = \mu \cdot f_{кл} \cdot \sqrt{h(t) - p_{out}(t)}, \quad (2.3)$$

де μ – коефіцієнти витрати; $f_{кл}$ – площа поперечного перерізу клапана.

Як видно, залежність (2.3) є нелінійною, так як параметр регулювання знаходиться під знаком кореня, тому виконуємо лінеаризацію даного виразу при нульових умовах:

$$\begin{aligned} \Delta G_{out} &= \frac{\partial [\mu \cdot f_{кл} \cdot \sqrt{p_{out} - h}]}{\partial h} \cdot \Delta h + \frac{\partial [\mu \cdot f_{кл} \cdot \sqrt{h - p_{out}}]}{\partial f_{кл}} \cdot \Delta f_{кл} = \\ &= \frac{\mu \cdot f_{кл} \cdot \Delta h}{2\sqrt{h - p_{out}}} + \Delta f_{кл} \cdot \mu \cdot \sqrt{h - p_{out}} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Врахуємо (2.4) для (2.1) та отримаємо:

$$F \cdot \frac{d\Delta h}{dt} = \Delta G_{in,1} + \Delta G_{in,2} - \left(\frac{\mu \cdot f_{кл} \cdot \Delta h}{2\sqrt{h - p_{out}}} + \Delta f_{кл} \cdot \mu \cdot \sqrt{h - p_{out}} \right) \quad (2.5)$$

або

$$F \cdot \frac{d\Delta h}{dt} + \frac{\mu \cdot f_{кл}}{2\sqrt{h - p_{out}}} \Delta h = \Delta G_{in,1} + \Delta G_{in,2} - \Delta f_{кл} \cdot \mu \cdot \sqrt{h - p_{out}} \quad (2.6)$$

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приведемо останній вираз до стандартного вигляду:

$$\frac{F}{\frac{\mu \cdot f_{кл}}{2\sqrt{h-p_{out}}}} \cdot \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = \frac{1}{\frac{\mu \cdot f_{кл}}{2\sqrt{h-p_{out}}}} \Delta G_{in,1} + \frac{1}{\frac{\mu \cdot f_{кл}}{2\sqrt{h-p_{out}}}} \Delta G_{in,2} - \frac{\mu \cdot \sqrt{h-p_{out}}}{\frac{\mu \cdot f_{кл}}{2\sqrt{h-p_{out}}}} \Delta f_{кл} \quad (2.7)$$

або остаточно:

$$T \cdot \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = k_1 \cdot \Delta G_{in,1} + k_2 \cdot \Delta G_{in,2} - k_3 \cdot \Delta f_{кл} \quad (2.8)$$

$$\text{де, } T = \frac{2F\sqrt{h-p_{out}}}{\mu \cdot f_{кл}}, k_1 = k_2 = \frac{2\sqrt{h-p_{out}}}{\mu \cdot f_{кл}}, k_3 = \frac{2(h-p_{out})}{f_{кл}} \quad (2.9)$$

Рівняння (2.8) представимо в області Лапласа

$$T \cdot p \cdot \Delta h + \Delta h = k_1 \cdot \Delta G_{in,1} + k_2 \cdot \Delta G_{in,2} - k_3 \cdot \Delta f_{кл} \quad (2.10)$$

З рівняння (2.10) легко визначити передатні функції підігрівача за каналами:

- регулювання $W_{рег.}(p) = -\frac{k_3}{Tp+1} \quad (2.11)$

- та збурення $W_{зб.1}(p) = \frac{k_1}{Tp+1}, W_{зб.2}(p) = \frac{k_2}{Tp+1} \quad (2.12)$

2.2 Розрахунок коефіцієнтів моделі підігрівача

На основі фізико-математичній моделі підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача були визначені перехідні функції за каналами регулювання та збурення в пункті 2.1. Для виконання розрахунків коефіцієнтів для аналітичної моделі підігрівача виду ПМВ-500-3-23 використаємо додаткові технічні параметри, які зазначені в таблиці 2.1 та програмне забезпечення MatLab в якому буде здійснено розрахунки коефіцієнтів.

					ТА8117.0007.001.АТХ.ІІ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Додаткові технічні характеристики підігрівача ПМВ-500-3-23

Назва параметру	Позначення	Числове значення	Розмірність
Габарити підігрівача	$H \times D$	4,2 1,624	м
Рівень конденсату в корпусі підігрівача	h	1	м
Тиск конденсату на виході з підігрівача	p_{out}	0,007	МПа
Номінальна масова витрата пари	$G_{in,1}$	0,0319	м ³ /с
Номінальна масова витрата конденсату на вході в підігрівач	$G_{in,2}$	0,089	м ³ /с
Номінальна масова витрата конденсату на виході з підігрівача	G_{out}	0,175	м ³ /с
Коефіцієнт витрати конденсату на виході	μ_{out}	0.024	м ^{0.5} /с
Внутрішній діаметр поперечного перерізу корпусу підігрівача	d_1	1,6	м
Зовнішній діаметр теплообмінних трубок	d_2	0.012	м
Кількість теплообмінних трубок в корпусі	n	1926	шт
Площа поперечного перерізу клапана	$f_{кл}$	0,0625	м ²

Для виконання розрахунків коефіцієнтів аналітичної моделі, використовуємо перехідні функції за каналами регулювання (2.11) та збурення (2.12) п. 2.1. Розрахунки коефіцієнтів виконуються в коді m файлу програмного забезпечення Matlab, який показаний на рис.2.2, а кінцевий варіант показано на рис. 2.3. Також перед початком виконання розрахунків треба перевести тиск конденсату на виході з підігрівача з МПа в м водяного стовпа, де 0,01 МПа – 1 м водяного стовпа і таким чином знаходимо, що 0.007 МПа – 0.7 м водяного стовпа.

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

%Параметри підігрівача
h=1;
pout=0.7;
d1=1.6;
d2=0.012;
n=1926;
F=pi*(d1^2-n*d2^2)/4;
f_kl=0.0625;
u=0.024;

%Рівняння підігрівача
T=2*F*sqrt(h-pout)/u*f_kl;
k1=2*sqrt(h-pout)/u*f_kl;
k2=k1;
k3=2*(h-pout)/f_kl;

```

Рисунок 2.2 - Код m файлу для розрахунку коефіцієнтів аналітичної моделі підігрівача

d1	1.6000
d2	0.0120
F	1.7928
f_kl	0.0625
h	1
k1	2.8527
k2	2.8527
k3	9.6000
n	1926
pout	0.7000
T	5.1143
u	0.0240

Рисунок 2.3 - Розраховані коефіцієнти аналітичної моделі підігрівача

Виходячи із отриманих розрахунків фізико-математичної моделі підтримання рівня конденсату, які показані на рис. 2.3, підставимо отриманні параметри в перехідні функції за каналами регулювання (2.11) та збурення (2.12) з п. 2.1

В результаті перехідна функція за каналом регулювання:

$$W_{n.p.}(p) = -\frac{9,6}{5,1p+1} \quad (2.13)$$

В результаті перехідна функція за каналом збурення:

$$W_{n.зб.}(p) = \frac{2,9}{5,1p+1} \quad (2.14)$$

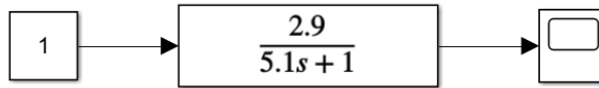


Рисунок 2.6 - Структурна схема за каналом збурення в середовищі Simulink

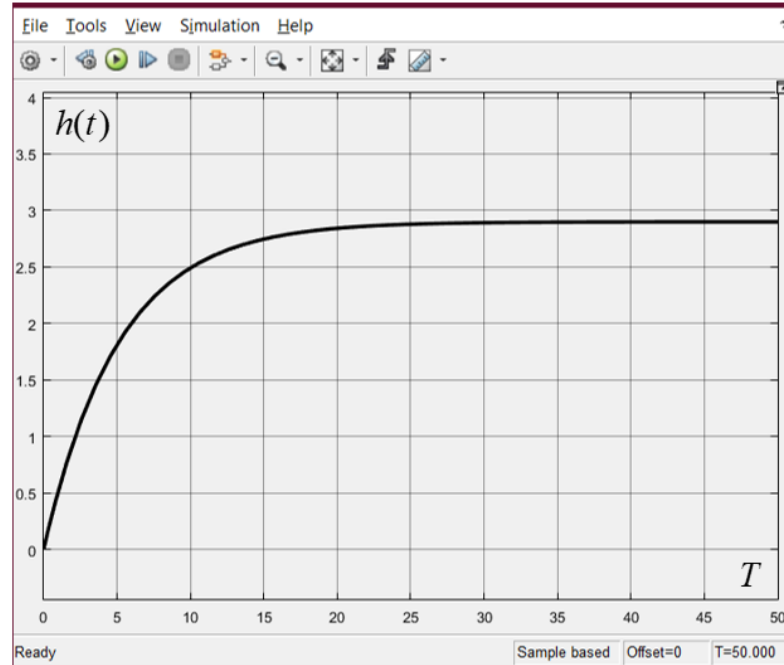


Рисунок 2.7 - Перехідна характеристика моделі підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача за каналом збурення

Якщо розглянути контур регулювання підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача рис. 1.6 на основі якого виконується аналітичне моделювання, у системі окрім підігрівача, використовується датчик рівня та виконавчий механізм. Кожному датчику та виконавчому механізму притаманна певна динамічна властивість (інерційність). Так як датчик рівня являє собою датчик гідростатичного тиску, в якого значення тиску змінюється з великою швидкістю, вважається що інерційність приблизно рівна нулю. Таким чином інерційність датчика не враховуватиметься. В проектних рішеннях із автоматизації рівня використано електромашинний виконавчий механізм із слідкуючою системою переміщення штоку зміна положення штоку складає 150 секунд. Для полегшення виконання

										Арк.
										25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ТА8117.0007.001.АТХ.П

значенню перехідного процесу, становить $K_{об} = -9,6$. Для того, щоб знайти сталу часу об'єкта треба коефіцієнт передачі об'єкта помножити на $\frac{2}{3}$, що приблизно дорівнює 6,4 та провести паралельну пряму до осі абсцис і в точці перетину проведеної прямої та кривої розгону об'єкта, отримуємо сталу часу об'єкта, яка становить $T = 46,8$. Для компенсації впливу коефіцієнта вищого порядку, введемо транспортне запізнення, яке становить $\tau = 4,7$. Отже, апроксимована перехідна функція для каналу регулювання матиме наступний вигляд:

$$W_{об.р.}(p) = -\frac{9,6}{46,8p + 1} \cdot e^{-4,7p} \quad (2.16)$$

Виконаємо побудову перехідного процесу каналу регулювання за апроксимованою перехідною функцією (2.16). Структурна схема апроксимованого об'єкта зображено на рис. 2.10, а крива розгону на рис. 2.11.



Рисунок 2.10 - Структурна схема апроксимованого об'єкту за каналом регулювання в середовищі Simulink

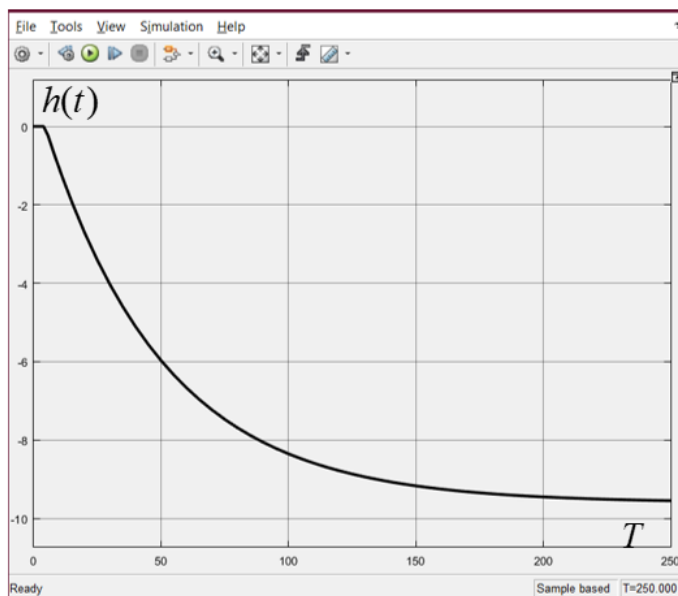


Рисунок 2.11 - Перехідна характеристика апроксимованого об'єкту за каналом регулювання

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ КОНДЕНСАТУ В КОРПУСІ ПІДГРІВАЧА ПМВ-500-3-23

3.1. Структурна схема регулювання рівня конденсату в підігрівачі ПМВ-500-3-23

В попередньому розділі було розраховано аналітичну математичну модель підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача та отримано передатні функції за каналами регулювання (2.13) та збурення (2.14). Враховуючи те, що система має два збурення для моделювання було вибрано найбільш суттєве збурення – збурення від конденсату, який подають на вхід до підігрівача (2.14). Виходячи з вище сказаного, схема регулювання підтримання рівня конденсату матиме наступний вигляд рис. 3.1:

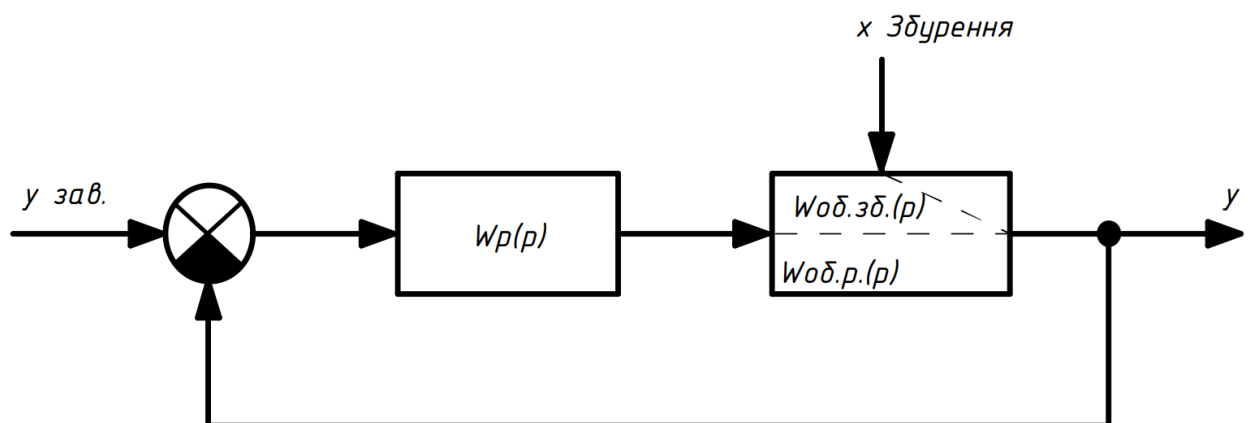


Рисунок 3.1 - Структурна схема САР підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача.

Для підтримання сталого рівня конденсату в корпусі підігрівача, передбачає те, що уставка регулятора буде змінюватися в залежності від навантаження установки. Тому, в основному система регулювання, згідно з структурною САР показаній на рис. 3.1 можна отримати перехідну функцію замкнутої системи (3.1), на основі спрощеної структурної схеми регулювання підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача та перехідної характеристики (2.16):

						<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>	Арк.
							28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$W_{zc}(p) = \frac{W_{об.р.}(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_{об.р.}(p) \cdot W_p(p)} \quad (3.1)$$

3.2. Визначення періоду дискретизації системи регулювання підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівачі

При виборі контролера для коректної роботи системи підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача за неперервною методикою, спочатку необхідно виконати розрахунки максимально допустимого часу дискретизації системи. Даний розрахунок потрібний для того, щоб визначити те, чи підходить період дискретизації контролера для розрахунків коректної роботи регулятора неперервними методами.

Таким чином, використаємо теорему Котельника-Шеннона, яка каже, що частота дискретизації повинна бути більше ніж в два рази за частоту зрізу, для визначення мінімально допустимого часу дискретизації системи. Виконуємо побудову АЧХ перехідної функції регулювання (2.16) для визначення частоти зрізу рис. 3.3. Код m файлу для побудови АЧХ показаний на рис. 3.2.

```
figure %АЧХ
w=0:0.00001:3;
p=1i*w;
W=(-9.6)/(46.8.*p+1).*exp(-4.7.*p);
A=((real(W)).^2+(imag(W)).^2).^(1/2);
plot (w,A,'k','linew',2);
grid on;
title ('\bf\fontsize{12} АЧХ');
xlabel ('\bf\fontsize{12} w');
ylabel ('\bf\fontsize{12} A(w)');
```

Рисунок 3.2 - Код m файлу для побудови АЧХ

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за допомогою регулятора. Для перевірки коректності роботи системи підтримання рівня конденсату проводиться дослідження впливу параметрів налаштувань системи регулювання в області стійкості за допомогою прямих та/або інтегральних показників якості роботи системи керування.

Для виконання якісного регулювання системи буде використано ПІ-регулятор, який забезпечує регулювання без статичної похибки і поєднує в собі переваги П- та І-регулятора. Для коректного регулювання системи підтримання рівня конденсату, треба розрахувати параметри налаштування ПІ-регулятора. Таким чином, розрахунки параметрів для налагодження роботи ПІ-регулятора буде проводитись за допомогою інженерного (експрес) методу Minimum ISE – Zhuang and Atherton (1993) та за допомогою методу РАФХ.

Для початку виконаємо розрахунок параметрів налаштування ПІ-регулятора за допомогою інженерного методу Minimum ISE – Zhuang and Atherton [13], основні коефіцієнти розрахунку якого показані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Коефіцієнти для налаштування регулятора

Експрес метод	K_p	T_i	Критерій використання
Minimum ISE – Zhuang and Atherton (1993)	$\frac{1,279}{K_m} \cdot \left(\frac{T_m}{\tau_m}\right)^{0,945}$	$\frac{T_m}{0,535} \cdot \left(\frac{\tau_m}{T_m}\right)^{0,586}$	$0,1 \leq \frac{\tau_m}{T_m} \leq 1,0$
	$\frac{1,346}{K_m} \cdot \left(\frac{T_m}{\tau_m}\right)^{0,675}$	$\frac{T_m}{0,552} \cdot \left(\frac{\tau_m}{T_m}\right)^{0,438}$	$1,1 \leq \frac{\tau_m}{T_m} \leq 2,0$

Для початку визначимо, який саме критерій треба взяти з таблиці 3.1:

$$\frac{\tau_m}{T_m} = \frac{4,7}{46,8} = 0,1 \leq 0,1 \quad (3.4)$$

Згідно рівнянню (2.16) виконуємо розрахунок параметрів налаштування ПІ-регулятора:

$$K_p = \frac{1,279}{K_m} \cdot \left(\frac{T_m}{\tau_m}\right)^{0,945} = \frac{1,279}{9,6} \cdot \left(\frac{46,8}{4,7}\right)^{0,945} = 1,22 \quad (3.5)$$

$$T_i = \frac{T_m}{0,535} \cdot \left(\frac{\tau_m}{T_m}\right)^{0,586} = \frac{46,8}{0,535} \cdot \left(\frac{4,7}{46,8}\right)^{0,586} = 22,18 \quad (3.6)$$

					<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


```

w=0:0.0000001:0.27;
m=0.5;
p=w.*(i-m);
W=((9.6)./(46.8.*p+1).*exp(-4.7.*p));
Re=real(W);
Im=imag(W);
A=Im.^2+Re.^2;
Kp=-(m.*Im+Re)./(A);
Ki=-w.*(m.^2+1).*Im./A;
plot(Kp,Ki,'k-');
ylabel('Ki');
xlabel('Kp');
grid on;

```

Рисунок 3.6 - Код m файлу для побудови кривої залежності K_i від K_p

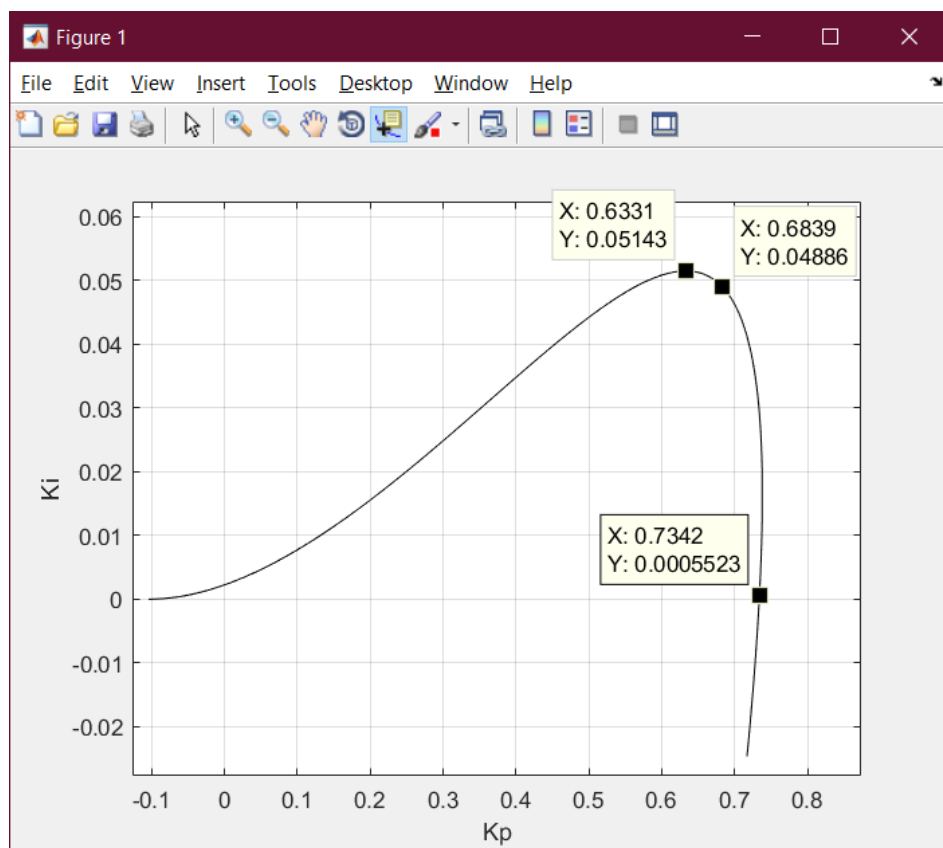


Рисунок 3.7 - Крива залежності K_i від K_p

Згідно кривій на рис. 3.7 вибираємо оптимальний параметр налаштування ПІ-регулятора при $K_i = 0,95 \cdot K_{i(max)}$ (3.9). Таким чином отримуємо наступні параметри: $K_p = 0,6839, K_i = 0,04886$ (3.10). За допомогою рівняння (3.8) визначає $T_i = 14$ (3.11). Для перевірки правильності вибраних параметрів

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>				

налаштування регулятора методом РАФХ, виконуємо побудови годографів АФХ та РАФХ розімкненої системи для контуру з ПІ-регулятором рис. 3.9. Код m файлу для побудови годографів АФХ та РАФХ показано на рис. 3.8.

```
w=0.1:0.00001:1;
m=0.5;
p=w.*i;
Kp=0.6839;
Ti=14;
Wv=((9.6)/(46.8.*p+1).*exp(-4.7.*p));
Wr=Kp*(1+1./(Ti.*p));
W=Wr.*Wv;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im)
grid on;

hold on;
p=w*(1-m);
Wv=((9.6)/(46.8.*p+1).*exp(-4.7.*p));
Wr=Kp*(1+1./(Ti.*p));
W1=Wr.*Wv;
Re=real(W1);
Im=imag(W1);
plot(Re,Im,-1,0,'k.')
xlabel('Re')
ylabel('Im')
```

Рисунок 3.8 - Код m файлу для побудови годографів АФХ та РАФХ

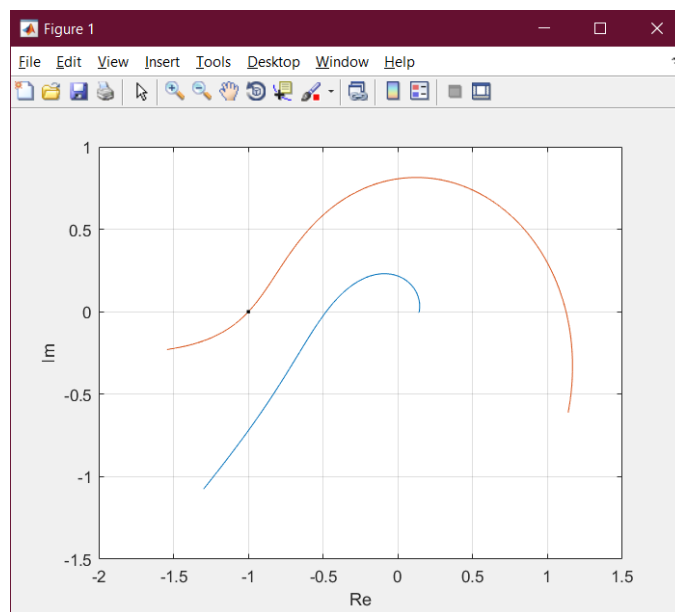


Рисунок 3.9 - Годографи: синій – АФХ та червоний – РАФХ розімкненої системи об'єкта з ПІ-регулятором

Згідно з рис. 3.9 та результатами проходження годографів АФХ та РАФХ розімкненої системи, що проходить через точку $-1;i0$, можна стверджувати, що отримана система повинна мати кореневий показник колювання m , який рівний заданому $m = m^* = 0,5$, а також про те, що обрані налаштування регулятора за методом РАФХ є вірними.

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.6 - Порівняння прямих показників якості експрес методу Minimum ISE – Zhuang and Atherton та методу РАФХ.

Метод	Δy	σ	ψ	T_m	Δst
Minimum ISE – Zhuang and Atherton	0,8	80%	0,6	77,17	0
РАФХ	0,53	53,09%	0,96	39,4	0

Таблиця 3.7 - Порівняння інтегральних показників якості експрес методу Minimum ISE – Zhuang and Atherton та методу РАФХ.

Метод	$I_{лін}$	$I_{лін}^{abc}$	$I_{лін}^{кв}$	$I_{лін}^{швд}$	$I_{лін}^{час}$
Minimum ISE – Zhuang and Atherton	1,8942	20,361	11,080	10,082	1137,2
РАФХ	1,9684	14,569	9,1186	8,1187	1132

Отже, виходячи з порівняння експрес методу Minimum ISE – Zhuang and Atherton та методу РАФХ за рис. 3.12 і табл.3.6, табл. 3.7, видно, що метод РАФХ має кращий перехідний процес. За інтегральними показниками експрес метод є кращим за РАФХ тільки за інтегрально-лінійним критерієм, а в порівнянні з прямими показниками експрес метод Minimum ISE – Zhuang and Atherton є гіршим за метод РАФХ. Таким чином, РАФХ доцільно використати при налаштуванні параметрів ПІ-регулятора для системи підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача.

3.4. Розрахунок системи регулювання рівня конденсату в корпусі підігрівачі на грубість

При експлуатації підігрівача, як об'єкта керування, відбувається зміна параметрів, через що треба виконати перевірку системи на грубість. Для цього систему регулювання підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача перевіримо на грубість змінивши параметри об'єкта в діапазоні 15%. Відмінність

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

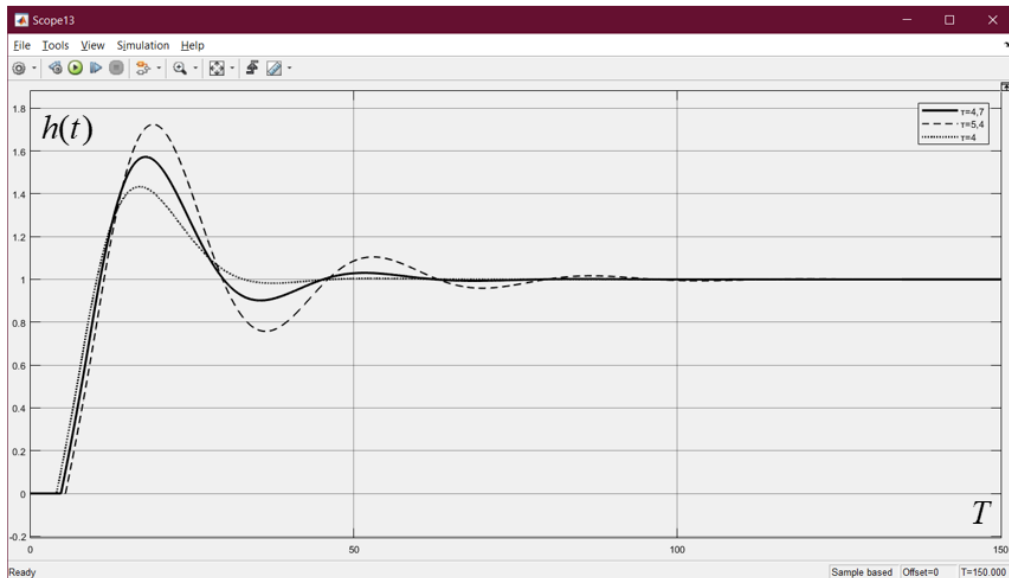


Рисунок 3.15 - Варіація параметру транспортного запізнення системи підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача

Таблиця 3.8 - Варіація параметрів системи підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача

Параметри	K_{ob}	T_{ob}	τ_{ob}	Динамічне відхилення	Час перехідного процесу
Вихідні	-9,6	46,8	4,7	0,53	39,4
K_{var}	-11,4	46,8	4,7	0,65	47,6
	-8,16	46,8	4,7	0,45	33,81
T_{var}	-9,6	53,82	4,7	0,48	33,13
	-9,6	39,78	4,7	0,61	46,5
τ_{var}	-9,6	46,8	5,4	0,67	57
	-9,6	46,8	4	0,40	30,14

Згідно таблиці 3.8, виконаємо розрахунки коефіцієнтів чутливості при змінні параметрів системи регулювання підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача за наступною формулою (3.12).

Розрахунок коефіцієнта чутливості часу перехідного процесу при змінні параметру K :

$$k_{K_{T_{nn,1}}} = \left| \frac{\frac{T_{nn} - T_{nn_{opt}}}{T_{nn_{opt}}}}{\frac{K - K_{opt}}{K_{opt}}} \right| = 1,11, \quad k_{K_{T_{nn,2}}} = \left| \frac{\frac{T_{nn} - T_{nn_{opt}}}{T_{nn_{opt}}}}{\frac{K - K_{opt}}{K_{opt}}} \right| = 0,95,$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості часу перехідного процесу при змінні параметру T :

$$k_{T_{T_{nn,1}}} = \left| \frac{\frac{T_{nn} - T_{nn_{opt}}}{T_{nn_{opt}}}}{\frac{T - T_{opt}}{T_{opt}}} \right| = 1,06, \quad k_{T_{T_{nn,2}}} = \left| \frac{\frac{T_{nn} - T_{nn_{opt}}}{T_{nn_{opt}}}}{\frac{T - T_{opt}}{T_{opt}}} \right| = 1,2,$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості часу перехідного процесу при змінні параметру τ :

$$k_{\tau_{T_{nn,1}}} = \left| \frac{\frac{T_{nn} - T_{nn_{opt}}}{T_{nn_{opt}}}}{\frac{\tau - \tau_{opt}}{\tau_{opt}}} \right| = 2,98, \quad k_{\tau_{T_{nn,2}}} = \left| \frac{\frac{T_{nn} - T_{nn_{opt}}}{T_{nn_{opt}}}}{\frac{\tau - \tau_{opt}}{\tau_{opt}}} \right| = 1,57,$$

Згідно виконаним розрахункам коефіцієнтів чутливості системи, можна стверджувати, що система системи регулювання підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача є не грубою. Отже, зміна параметрів системи регулювання у процесі експлуатації має вплив на якість регулювання.

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

4.1 Технічні рішення для системи автоматизації теплофікаційної установки

Для коректної експлуатації теплофікаційної установки необхідно виконувати контролювання технічних параметрів системи роботи. Якщо параметр не відповідає номінальному режиму, тобто виходить за дозволений діапазон регулювання, це свідчить про те, що система функціонує некоректно.

Для номінальної роботи системи автоматизації теплофікаційної установки, виконується контроль наступних параметрів:

- Температура зворотної мережевої води в трубопроводі (позиція 1а). діапазон зміни температури (30..80 °С). Вимірюється за допомогою термоперетворювача опору Sitrans ТН100.
- Температура мережевої води в трубопроводі після ПМВ-I ступені (позиція 1б). діапазон зміни температури (50..90 °С). Вимірюється за допомогою термоперетворювача опору Sitrans ТН100.
- Температура мережевої води в трубопроводі після ППМВ (позиція 1в). діапазон зміни температури (50..150 °С). Вимірюється за допомогою термоперетворювача опору Sitrans ТН100.
- Температура мережевої води в трубопроводі після ПМВ-II ступені (позиція 2а). діапазон зміни температури (50..125 °С). Вимірюється за допомогою термоперетворювача опору Sitrans ТН100.
- Керування температури мережевої води в трубопроводі за допомогою електроприводу клапана Belimo NVK24A-MP-RE (позиція 2б).
- Рівень конденсату в корпусі ППМВ (позиція 3а). Діапазон зміни рівня конденсату (600..1150 мм). Вимірюється за допомогою датчик гідростатичного тиску Сафір М 5520.
- Рівень конденсату в корпусі ПМВ-II ступені (позиція 4а). Діапазон зміни рівня

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конденсату (600..1150 мм). Вимірюється за допомогою датчик гідростатичного тиску Сафір М 5520.

- Рівень конденсату в корпусі ПМВ-I ступені (позиція 5а). Діапазон зміни рівня конденсату (600..1150 мм). Вимірюється за допомогою датчик гідростатичного тиску Сафір М 5520.
- Керування рівня конденсату в корпусі ПМВ-I ступені відбувається за допомогою електроприводу клапана Belimo NVK24A-MP-RE (позиція 5б).
- Керування рівня конденсату в корпусі ПМВ-II ступені відбувається за допомогою електроприводу клапана Belimo NVK24A-MP-RE (позиція 4б).
- Керування рівня конденсату в корпусі ППМВ відбувається за допомогою електроприводу клапана Belimo NVK24A-MP-RE (позиція 3б).
- Тиск мережевої води в трубопроводі (позиція 11а). Діапазон зміни тиску в трубопроводі (0..1,6 МПа). Вимірюється за допомогою датчик перетворювача тиску Сафір М 5050.
- Перепад тиску на мережевому насосі 1 (позиція 6а). Діапазон зміни перепаду тиску (1,1..1,7 МПа). Вимірюється за допомогою датчик різниці тиску Сафір М 5460.
- Перепад тиску на мережевому насосі 2 (позиція 7а). Діапазон зміни перепаду тиску (1,1..1,7 МПа). Вимірюється за допомогою датчик різниці тиску Сафір М 5460.
- Перепад тиску на конденсатному насосі (позиція 8а). Діапазон зміни перепаду тиску (1,9..2,3 МПа). Вимірюється за допомогою датчик різниці тиску Сафір М 5460.
- Витрата мережевої води в трубопроводі (позиція 9а). Діапазон зміни витрати мережевої води ($750..1500 \frac{m^3}{год}$). Вимірюється за допомогою електромагнітного витратоміра Krohne.
- Електропровідність конденсату пари (позиція 10а). Діапазон зміни електропровідності конденсату ($0..0,03 \frac{мкСм}{см}$).

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Реалізація програмованого керування підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача ПМВ-500-3-23

Для виконання підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача був вибраний контролер *EASY – E4 – UC – 12RC1* компанії Eaton, для реалізації програмованого керування. Програмним середовищем для даного контролера є Codesys V3. Сама програма для підтримання рівня конденсату написана на мовах програмування FBD та ST. Програма, яка виконує підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача складається із функціонального блоку POU_DistrictHelpingPlant рис. 4.1.

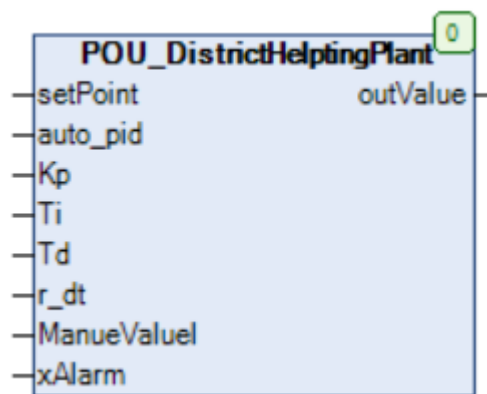


Рисунок 4.1 - Функціональний блок системи підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача

Функціональний блок POU_DistrictHelpingPlant має такі входи та виходи:

- setPoint – параметр завдання, системи підтримання рівня конденсату;
- auto_pid – сигнал про автоматичну роботу регулятора;
- Kp – коефіцієнт підсилення регулятора;
- Ti – коефіцієнт інтегральної складової регулятора;
- Td – коефіцієнт диференційної складової регулятора;
- r_dt – час дискретизації;
- ManualValue – параметр завдання, заданим при ручному режимі роботи
- xAlarm – сигнал аварії системи;

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

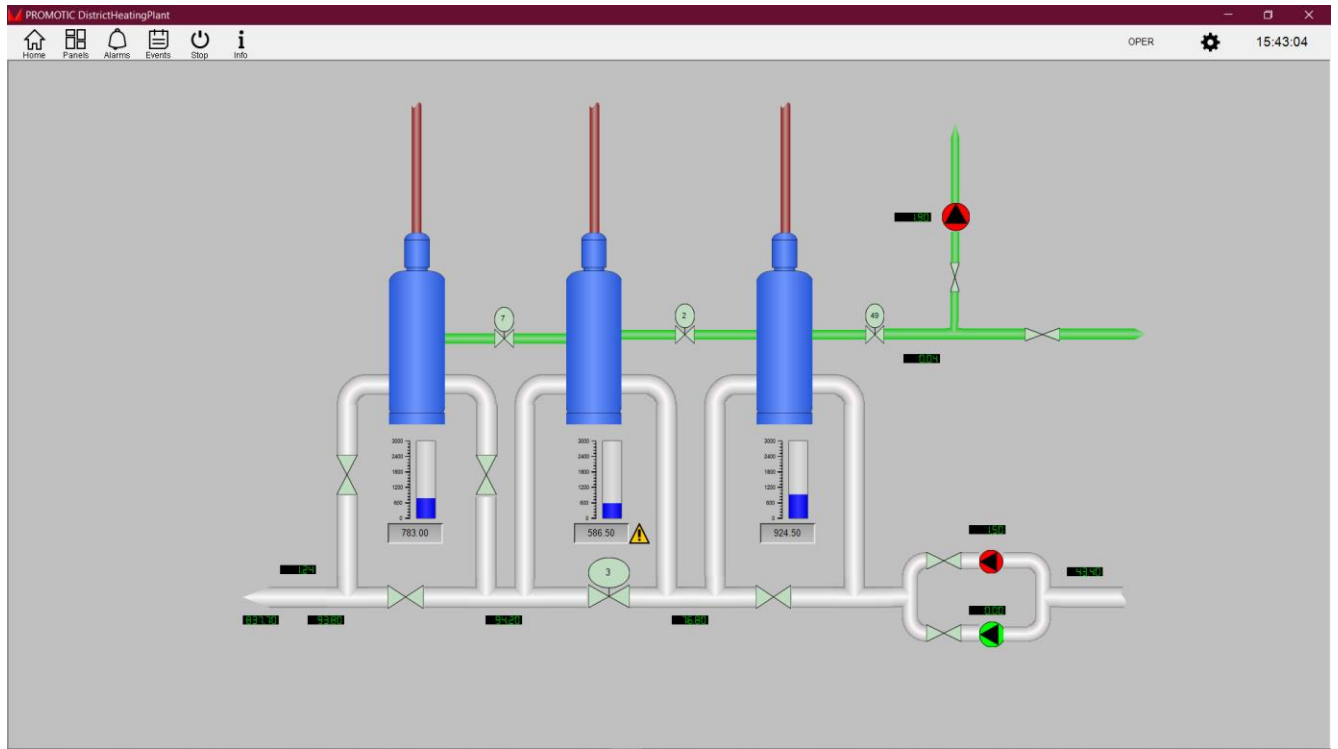


Рисунок 4.5 - Відображення попередження у теплофікаційної установки «низький рівень конденсату»

У вікні аварії відображаються вихід показників за допустимі межі, відображається робота насосів, а також те, що насос стоїть на ремонті. Всі аварії у вікні можна сортувати за пріоритетом та місцем виникнення.

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС

5.1 Кошторис на придбання та монтаж обладнання системи автоматизації теплофікаційної установки Рівненської АЕС

Щоб визначити вигоду придбання та монтажу обладнання системи автоматизації, складається кошторис на придбання та монтажу обладнання. У таблиці 5.1 наведений кошторис системи автоматизації теплофікаційної установки Рівненської АЕС в якому наведені витрати на купівлю обладнання і монтажні роботи.

Таблиця 5.1 - Кошторис на придбання та монтаж обладнання

№ поз.	Шифр та найменування позицій цінника і прейскуранта	Найменування та характеристика обладнання	Од. вим.	Кількість	Маса, кг		Вартість одиниці, грн			Загальна вартість, грн		
					Од.	Загальна	Обладнання	Монтажних робіт		Обладнання	Монтажних робіт	
								Усього	В тому числі зарплата		Усього	В тому числі зарплата
								Основа			Основа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14
1	7NG3211-0NN00	Термоперетворювач опору SITRANS TH100	шт.	4	0,042	0,168	229	34,35	1,37	916	137,40	5,50
2	M 5520	Датчик гідростатичного тиску Сафір	шт.	3	7	21	7500	1125	45,00	22500	3375,00	135,00
3	M 5050	Перетворювач тиску Сафір	шт.	1	7	7	7500	1125	45,00	7500	1125,00	45,00
4	M 5460	Датчик різниці тиску Сафір	шт.	3	7	21	7500	1125	45,00	22500	3375,00	135,00
5	OPTIFLUX 4000 DN 400	Електромагнітний витратомір KROHNE	шт.	1	101	101	246308	36946,2	1477,85	246308	36946,20	1477,85
6	CLS13	Датчик електропровідності Conductax	шт.	1	3	3	37620	5643	225,72	37620	5643,00	225,72
7	A0110010052	Кулачковий перемикач	шт.	3	0,115	0,345	382	57,3	2,29	1146	171,90	6,88
8	EASY-E4-UC-12RC1	Програмований логічний контролер	шт.	1	0,215	0,215	9000	1350	54,00	9000	1350,00	54,00
9	XN-322-8AIO-I	Модуль розширення контролера	шт.	1	0,077	0,077	11243	1686,45	67,46	11243	1686,45	67,46
10	XN-322-8AI-I	Модуль розширення контролера	шт.	2	0,077	0,154	11243	1686,45	67,46	22486	3372,90	134,92
11	XN-322-16DO-P05	Модуль розширення контролера	шт.	1	0,077	0,077	11243	1686,45	67,46	11243	1686,45	67,46
12	6EP1331-1SH03	Блок живлення Siemens LOGO!POWER 24 V	шт.	2	0,17	0,34	1882	282,3	11,29	3764	564,60	22,58
13	PIR6W1PS24V DCO	Реле електромеханічне 24 В	шт.	3	0,045	0,135	641	96,15	3,85	1923	288,45	11,54
14	R500	Резистор на 500 Ом	шт.	18	0,0004	0,0072	3	0,45	0,02	54	8,10	0,32
15	ЩМЛ 900x600x300	Шафний щит малогабаритний	шт.	1	0,95	0,95	2400	360	14,40	2400	360,00	14,40
16	OMEGA 3AF 35x15x1.5	DIN-рейка металічна	шт.	3	0,35	1,05	161	24,15	0,97	483	72,45	2,90

Система автоматизації теплофікаційної установки є ефективною, якщо:

$$T_{ок} < T_{ок}^*, T_{ок}^* = 3 \text{ роки} \quad (5.3)$$

Економія витрат:

$$\Delta U = E_k - \Delta B_{авт} \quad (5.4)$$

де $B_{авт}$ – додаткові витрати на обслуговування;

$E_k = 750000$ - економія від системи автоматизації теплофікаційної установки

Рівненської АЕС.

$\Delta B_{авт}$ знаходиться за наступною формулою:

$$\Delta B_{авт} = B_e + B_a + B_p + B_z, \quad (5.5)$$

де $B_a = 0,12 \Delta K_{авт} = 0,12 \cdot 675140,83 = 81016,9 \text{ грн/рік}$ – амортизаційні відрахування;

$B_p = 0,15 \Delta K_{авт} = 0,15 \cdot 675140,83 = 101271,12 \text{ грн/рік}$ – витрата на ремонт та обслуговування системи;

$$B_z = n \cdot T \cdot ЗП, \quad (5.6)$$

B_z - витрата на заробітну плату, $n=1$ людина, $T=12$ місяць,
 $ЗП = 6700 \text{ грн/міс}$;

З формули (5.6) отримуємо:

$$B_z = 1 \cdot 12 \cdot 6700 = 80400 \text{ грн/рік},$$

$$B_e = C_e \cdot N \cdot T \quad (5.7)$$

B_e - витрата на електроенергію, $C_e = 1,68 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$ – тариф на електроенергію, $N = 11 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ – потужність всього обладнання автоматизації,
 $T = 8400 \text{ год/рік}$ – час роботи системи автоматизації.

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З формули (5.7) отримуємо:

$$B_e = 1,68 \cdot 11 \cdot 8400 = 155232 \text{ зрн/рік}.$$

З формули (5.5) отримуємо:

$$\Delta B_{авт} = 155232 + 81016,9 + 101271,12 + 80400 = 417920,02 \text{ зрн/рік}.$$

З формули (5.4) отримуємо:

$$\Delta U = 750000 - 417920,02 = 332079,98 \text{ зрн/рік}.$$

З формули (5.1) отримуємо:

$$E_{\phi} = 332079,98 - 0,15 \cdot 675140,83 = 230808,86 \text{ зрн/рік}.$$

З формули (5.2) отримуємо:

$$T_{ок} = \frac{675140,83}{332079,98} = 2,03 \approx 2 \text{ роки } 11 \text{ днів}$$

Отже, виходячи з розрахунків, можна стверджувати, що система автоматизації теплофікаційної установки Рівненської АЕС окупиться за 2 роки та 11 днів, що є менше за $T_{ок}^*$ з рівняння (5.3). Таким чином, впровадження системи автоматизації для теплофікаційної установки є економічно вигідним рішенням.

					<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТЕПЛОФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС

6.1. Заходи безпеки для безпечної експлуатації теплофікаційної установки

До обслуговування та експлуатації теплофікаційної установки допускаються особи, які пройшли попередній медичний огляд, що досягли 18-річного віку, знають конструкцію насосів і підігрівачів, вивчили інструкції та склали іспит на право самостійної роботи машиністом-обхідником турбінного обладнання.

Всі гарячі частини обладнання, трубопроводів, дотик до яких може викликати опіки, повинні мати теплову ізоляцію. Температура на поверхні ізоляції за температури навколишнього повітря плюс 25 °С не має перевищувати плюс 45 °С.

Забороняється чистити, обтирати і змащувати частини насосних агрегатів, що обертаються, під час роботи. Забороняється при обтиранні зовнішньої поверхні насосних агрегатів, що працюють намотувати на руку або пальці обтиральний матеріал.

Не допускається робота електродвигунів насосів при незакритій кришці коробки виходів та при несправному заземленні корпусу електродвигуна і кабелю. Ручне закриття арматури з електроприводом проводиться тільки після знеструмлення (розбирання схеми) електродвигуна.

Забороняється усувати будь-які проблеми при працюючому насосі.

Території, небезпечні для проходу та знаходження в них людей (через свищі, течій тощо) повинні огорожуватися канатами або переносними щитами з укріпленими на них знаками безпеки "Обережно, небезпечна зона", "Вхід (прохід) заборонено".

Забороняється експлуатація ПМВ після закінчення терміну чергового огляду або виявлення дефектів, що загрожують порушенням надійної та безпечної роботи, за відсутності та несправності елементів захисту та регуляторів рівня.

					<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При випробуванні та прогріванні трубопроводів після ремонту підтяжку болтів фланцевих з'єднань слід проводити при надмірному тиску не більше 0,5 МПа.

Ремонт ПМВ та насосних агрегатів проводити тільки за нарядом-допуском.

Для проведення ремонтних робіт на насосах, електродвигун повинен бути повністю відключений від джерела електричного струму і вжито заходів проти помилкового або мимовільного включення. На відключених пускових пристроях повинні бути вивішені знаки безпеки, що забороняють подачу напруги, на місці проведення робіт встановити знак безпеки "Працювати тут". При одночасній роботі на насосі та електродвигуні муфта має бути розщеплена.

Підготовка до ремонту обертових механізмів повинна проводитися відповідно до умов виконання робіт, зазначених у наряді. Якщо робота на механізмі пов'язана з можливим дотиком до його обертових частин, кабель живлення електродвигуна слід заземлити відповідно до вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок.

Гасіння загоряння на електрообладнанні проводиться, при знятому електричному живленні, водою із заземленим пожежним стволом або вогнегасниками типу ОУ, ВП.

У разі необхідності закриття (відкриття) корінного вентиля імпульсної лінії, розташованого у важкодоступному або недоступному для оперативного персоналу місці, цю операцію виконує персонал ремонтного підрозділу. Роботи проводити з інвентарних лісів, риштування, приставних сходів з використанням страхувальних поясів.

При випробуванні та прогріванні трубопроводів пари і води дозволяється підтягувати сальники арматури при тиску до 1,2 МПа, де сальники слід підтягувати обережно, щоб не зірвати болти. При застосуванні спеціальних пристроїв сальники дозволяється підтягувати при тиску до 6,0 МПа – за розпорядженням та під керівництвом працівника, який віддав розпорядження на проведення цієї роботи.

					<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При обслуговуванні АШСП профілактичні роботи виконуються при закритій засувці на вході системи.

При пуску, опресовуванні та випробуваннях обладнання та трубопроводів під тиском поблизу них дозволяється перебувати тільки працівникам, що безпосередньо виконують ці роботи.

Розпізнавальне фарбування трубопроводів:

- мережева вода, конденсат – забарвлюються в зелений колір;
- пар до (від) ПМВ– забарвлюється у червоний колір;

Розпізнавальне фарбування трубопроводів, покритих ізоляцією з корозійностійкою металевою обшивкою по всій довжині можна не проводити. При цьому наносять ділянки розпізнавального забарвлення і при необхідності попереджувальні кольорові кільця.

Ширину ділянок розпізнавального фарбування необхідно приймати залежно від зовнішнього діаметра трубопроводів (з урахуванням ізоляції)

- для труб діаметром до 300 мм – понад чотири діаметри;
- для труб діаметром понад 300 мм – понад два діаметри.

Дозволяється наносити ділянки розпізнавального фарбування на трубопроводи діаметром понад 300 мм у вигляді смуг заввишки більше 1/4 кола трубопроводу, ширина смуг повинна відповідати зазначеним розмірам.

На маховиках управління арматурою повинні бути стрілки, що вказують напрямок обертання та літери: «О» (відкрито), «З» (закрито). На органах управління арматурою з електричним приводом повинні наноситися написи про їх призначення та слова, що вказують напрямки ходу: (відкрито, закрито).

Органи аварійного відключення обладнання (кнопки) повинні бути червоного кольору, мати написи про їх призначення та легко доступні для обслуговуючих працівників.

На корпусах електродвигунів і наведених ними механізмах повинні бути нанесені стрілки, що вказують напрямок обертання механізму і електродвигуна.

					<i>ТА8117.0007.001.АТХ.П</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2. Вимоги до безпеки праці, вибухо- і пожежобезпеки

При нещасному випадку черговий персонал повинен:

- негайно надати першу допомогу постраждалому від нещасного випадку;
- викликати швидку медичну допомогу – телефони: 103;
- повідомити НЗТЦ, НЗБ, начальника ТЦ або його заступника.

При виникненні небезпеки нещасного випадку черговий персонал повинен прийняти міри по його попередженню, навіть до відключення обладнання, повідомити НЗТЦ, НЗБ, начальника ТЦ або його заступника.

Слідкувати за наявністю і справністю засобів пожежогасіння, не допускати їх використання для інших цілей.

Не допускати захаращення драбин, майданчиків обслуговування обладнання сторонніми предметами.

При виникненні пожежі черговий персонал зобов'язаний:

- викликати пожежну охорону АЕС по телефону -101;
- повідомити НЗБ, НЗС, начальника ТЦ або його заступника;
- вивести ремонтний персонал з небезпечної зони;
- відключити, при необхідності, обладнання;
- приступити до гасіння пожежі наявними засобами.

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У даному бакалаврському проєкті виконувалося дослідження існуючих систем теплофікаційної установки Рівненської АЕС. Розглянуто контури автоматизації підігрівача мережевої води ПМВ-500-3-23 на основі яких було розроблено аналітична математична модель підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача, що описує канал регулювання та канал збурення, які дають можливість виконувати більш точне автоматичне керування. Параметри налаштування регулятора для системи підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача ПМВ-500-3-23 розраховувалися за двома методами: експрес метод та метод розширеної АФХ. При порівнянні отриманих результатів роботи П-регулятора за експрес та РАФХ методами було вирішено використати метод РАФХ. Потім було проведено перевірку оптимальних параметрів налаштування регулятора системи підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівача на грубість.

В середовищі розробки Codesys V3.5 виконувалося розробка функціонального блоку для контролера EASY-E4-UC-12RC1 компанії Eaton. Функціональний блок для підтримання рівня конденсату був розроблений на мові програмування FBD. Людино-машинний інтерфейс виконаний у програмі PROMOTIC SCADA/HMI system, на якому показана вся інформація про теплофікаційну установку.

Для перевірки економічної ефективності системи автоматизації теплофікаційної установки Рівненської АЕС було виконано розрахунки техніко-економічних параметрів, на основі яких видно, що система автоматизації є економічно вигідною. Для безпечної експлуатації теплофікаційної установки, було написано рекомендації по експлуатації, при дотриманні яких розроблена система є абсолютно безпечною і готова до впровадження.

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інструкція із експлуатації теплофікаційної установки. Система нормальної експлуатації блока.
2. Системи автоматичного регулювання II контуру. Технічний опис.
3. Технічне обслуговування та ремонт ПМВ теплофікаційної установки (ТФУ).
4. Навчальний посібник загального значення по темі: система ПМВ.
5. Ключев А.С. «Автоматическое регулирование». М.: "Высшая школа", 1986.
7. УПО-ЦТАИ-3-454 «Автоматическое регулирование технологических параметров АЭС (ПТК САР)».
8. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 344 с.
9. ДСТУ Б А.2.4-14:2005 Автоматизовані системи технічного діагностування будівельних конструкцій Технічне завдання.
10. Пушкар, М.С. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С.
11. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.
12. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС – Одесса: Астропринт, 2001 – 304 с.
13. PI and PID controller tuning rules for time delay process: a summary. Part 2: PID controller tuning rules, 1999. – 346 с.
14. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Система проектної документації на будівництво. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		