

**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 системи охолодження струмопроводів на
Рівненський АЕС»**

Виконав
студент IV курсу, групи ТО-81
Шкарлат Віктор Сергійович

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

Шкарлат Віктор Сергійович

1. Тема проєкту «Автоматизація системи охолодження струмопроводів на Рівненський АЕС», керівник проєкту Голінко Ігор Михайлович, доцент каф. АТЕП, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «8» червня 2022 р. No965-с
2. Термін подання студентом проєкту «15» червня 2022 р.
3. Вихідні дані до проєкту Автоматизоване охолодження струмопроводів. Можливість дистанційного спостереження та управління.
4. Зміст пояснювальної записки 1.Опис системи охолодження струмопроводів 2. Математичне моделювання об'єкту. 3 Розробка автоматизованої системи регулювання нагріву. 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); специфікація обладнання (3 арк. ф. А3);

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доктор технічних наук, професор, Глива Валентин Анатолійович		

7. Дата видачі завдання _____ 27.04.2022 _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Отримання теми дипломного проєкту	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 схеми підключень приладів систем автоматизації до контролера та зображення загального виду щита автоматизації	02.06.2022	
7.	Подання ДП на перевірку	08.06.2022	

Студент

Віктор, Шкарлат

Керівник

Ігор, Голінко

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект виконаний на тему: «Автоматизація системи охолодження струмопроводів на Рівненський АЕС». В даному проєкті розроблена система керування призначена для підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі.

Перед виконанням проєкта було розроблено ряд задач, які були виконані: аналіз об'єкта керування на основі якого визначено технологічні параметри та засоби автоматизації. Розроблено функціональну схему автоматизації, розширену електричну та креслення загального щита.

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. Для правильної побудови розширеної електричної схеми спочатку було обрано контролер, датчики та виконавчі механізми. Для регулювання об'єктом автоматизації було розроблено програму для даного контролера та розроблено SCADA систему.

Для перевірки доцільності введення даного типу автоматизації було розраховано кошторис та розраховані техніко-економічні параметри. Для безпечної експлуатації було написано рекомендації для експлуатації даної системи.

Ключові слова: автоматизація, автоматична система регулювання, система охолодження струмопроводів, повітроохолоджувач.

ANNOTATION

The diploma project was made on the topic: "Automation of the cooling system of power lines at Rivne NPP". In this project, a developed control system is designed to maintain the air temperature in the air cooler.

Prior to the implementation of the project, a number of tasks were developed, which were performed: analysis of the control object on the basis of which the technological parameters and means of automation were determined. The functional scheme of automation, the expanded electric and drawings of the general board are developed.

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 is 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. For the correct construction of the extended electrical circuit, the controller, sensors and actuators were first selected. To control the object of automation, a program was developed for this controller and a SCADA system was developed.

To verify the feasibility of introducing this type of automation, an estimate was calculated and technical and economic parameters were calculated. For safe operation, recommendations for the operation of this system have been written.

Keywords: automation, automatic control system, cooling system of power lines, air cooler.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизація системи охолодження
струмопроводів на Рівненський АЕС»

Київ – 2022 року

ЗМІСТ

Вступ	10
1. ОГЛЯД СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СТРУМОПРОВОДА, ЯК ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ	11
1.1 Огляд технологічного процесу	11
1.2 Опис існуючих рішень із автоматизації процесу охолодження струмопровода по замкненому контурі.....	13
1.3 Технологічні параметри повітроохолоджувача ВО-280/2510/250 .	15
1.4 Постановка задачі автоматизації	16
2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА..	17
2.1 Аналітична модель повітроохолоджувача ВО-280/2510/250.....	17
2.2 Розрахунок коефіцієнтів аналітичної моделі повітроохолоджувача	20
2.3 Апроксимація математичної моделі	23
3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ В ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧІ ВО-280/2510/250	26
3.1. Структурна схема регулювання температури повітря в повітроохолоджувачі.....	26
3.2. Визначення періоду дискретизації системи регулювання підтримання рівня конденсату в корпусі підігрівачі	27
3.3. Розрахунок системи регулювання температури для повітроохолоджувачі.....	29
3.4. Розрахунок системи регулювання температури повітря в повітроохолоджувачі на grubість.....	38
4. ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ З АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДТРИМАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ В ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧІ	43
4.1. Технічні рішення з контролю та регулювання підтримання температури в повітроохолоджувачі Во-280\2510\250	43
4.2. Реалізація програмного керування підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі	43
4.3. Людино-машинний інтерфейс підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі.....	45

						ТО7159.0016.001.АТХ.П			
						Автоматизація системи охолодження струмопроводів на Рівненський АЕС			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ Док.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив		Шкарлат В.					ДП	7	63
Перевірів		Голінко І.М.							
Т. Контроль									
Н. Контроль		Некрашевич					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ТЕФ, гр.ТО-81		
Затвердив		Волощук В.А.							

5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОСТІ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СТРУМОПРОВODІВ НА РІВНЕНСЬКІЙ АЕС	48
5.1. Кошторис на закупівлю та монтаж обладнання системи охолодження струмопроводів Рівненської АЕС	48
5.2. Розрахунок окупності автоматизації системи охолодження струмопроводів на Рівненській АЕС	49
6. ОХОРОНА ПРАЦІ	52
6.1. Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні наукової-дослідницької роботи	52
6.2. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії	53
6.2.1. Електробезпека	53
6.2.2. Вимоги щодо організації робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ	55
6.2.3. Вимоги до освітлення робочих місць	56
6.2.4. Виробничий шум	57
6.3. Пожежна безпека	58
ВИСНОВОК	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АСК – автоматизована система керування;

АФХ – амплітудно-фазова характеристика;

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

РАФХ – розширена амплітудно-фазова характеристика;

САР – система автоматичного регулювання;

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Вступ

Електричну та теплову енергію найбільш використовують з усіх форм виробляючої енергії.

Правильна передача електричної енергії може дуже заощадити використання пального на підприємствах. Для цього використовують системи охолодження струмопроводів. Вироблення теплової енергії на теплових та атомних електричних станціях виробляється для задоволення потреб як промислових, так і побутових споживачів. Тому передача електроенергії має в допустимих межах, адже при перебоях передачі електроенергії має бути зупинений весь блок, що призведе до втрат та обезточення не тільки міст а й самої електростанції.

Тому при великих вироблення електроенергії струмопроводи нагріваються що призводить до зміни їх фізичних властивостей, особливо змінюється передача електроенергії. Дана система забезпечує підтримання температури струмопроводів за допомогою повітря. Оскільки повітря рухається по замкнутому циклу, то за його охолодження відповідають повітроохолоджувачі. Ключовою відмінністю даної системи охолодження від інших систем охолодження є її закритість, на відмінну від припливно-витяжних систем.

У даній роботі представлено систему охолодження струмопроводів на Рівненській АЕС. Дана система підтримує необхідне значення повітря для коректної роботи системи охолодження струмопроводів та безперебійної роботи системи.

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

1. ОГЛЯД СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СТРУМОПРОВОДА, ЯК ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ

1.1 Огляд технологічного процесу

Однією з основних задач АЕС являється забезпечення електрикою як міст так і самої себе з дотриманням норм безпеки та правил в атомній енергетиці.

Система охолодження струмопроводів складається з двох частин:

- Система охолодження струмопроводів по замкнутому контурі;
- Припливно-витяжна система охолодження струмопроводів.

Система охолодження струмопроводів по замкнутому контурі призначена охолодження для струмопроводів, які знаходяться в машинному залі, при струмовому навантаженні струмових генераторів більше ніж 16000 А, за допомогою повітря, яке проходить по замкнутому циклу, та охолоджує струмопровід до температури 90°C . Повітря охолоджується в повітроохолоджувачах за допомогою води. Повітроохолоджувачі в даній системі призначені для охолодження повітря з 70°C до 40°C за допомогою води яка надходить з температурою 10°C . Дана система охолодження складається з вентиляторів, повітроохолоджувачів, трубопроводів, повітропроводів та арматур. Технологічний процес системи охолодження розглянемо на рис.1.1.

Дана система охолодження струмопроводів складається з двох вентиляторів типу ВДН-17 необхідною продуктивністю до $54000\text{ м}^3/\text{год}$, які працюють по чергово. Кількість повітря регулюється за допомогою заслінок. Дана кількість повітря спочатку спрямовується на фази А та С, а потім об'єднуючись спрямовується на повітроохолоджувач 4QW03 типу ВО-280/2510/250 для додаткового охолодження водою і вже до охолоджене повітря охолоджує фазу В. Після фази В стоять два основних повітроохолоджувача 4QW01 та 4QW02 типу ВО-280/2510/250, які можуть працювати в по чередному режимі а при недостатньому охолодженні працюють разом. Після цього повітря знову спрямовується на вентиляторі.

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		11

Повітроохолоджувачі ВО-280/2510/250 забезпечують передачу тепла від повітря до води. Гаряче повітря проходячи через повітроохолоджувач віддає тепло воді яка має набагато меншу температуру. За допомогою цим приборам саме відводиться тепло з системи.

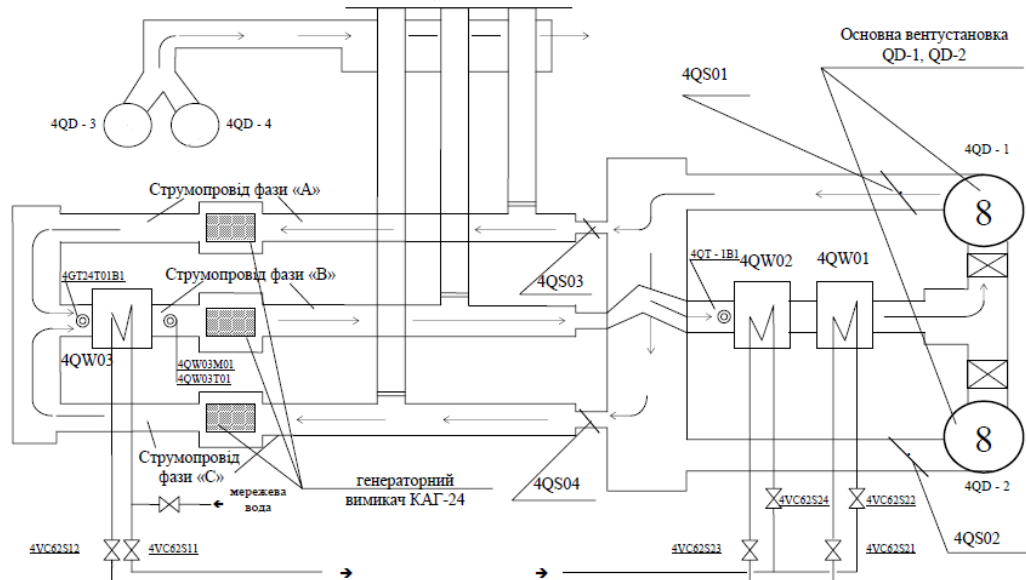


Рис.1.1 Технологічна схема системи охолодження струмопровода ТГ-6

Після простою системи повинна бути підігріта та просушена за допомогою подачі мережевої води (70..130 °C) на повітроохолоджувач 4QW03. Ця дія виконується для контролювання вологості внутрішньої поверхні струмопроводів.

Припливно-витяжна система охолодження струмопроводів (охолодження по розімкненому циклу) поза приміщень охолоджує струмопроводи, які знаходяться на вулиці, за допомогою повітря з температурою навколишнього середовища. До складу даної системи відносяться вентилятори 4QD-3 та 4QD-4 типу ВЦ4-70 (основний та резервний), повітропроводи, фільтри (металеві сітки на всасі у вентилятор) та клапани.

1.2 Опис існуючих рішень із автоматизації процесу охолодження струмопроводу по замкненому контурі

На даний момент на підприємстві не існує даних систем з автоматизацією. В даній системі реалізовано зняття показань датчиків, а всі впливи виконуються в ручному режимі, за допомогою клапанів 4QS03 та 4QS04 регулюється кількість повітря яке прямує на струмопроводи. Кількість води яка надходить в повітроохолоджувачі є постійним. Оскільки ступінь відкриття заслінок є однаковою то датчик температури розташований перед та після повітроохолоджувачем фази В, а також датчик температури знаходиться перед основними повітроохолоджувачами. за допомогою цього можна визначити перепад температури повітря на повітроохолоджувачі, перепад температури на струмопроводі фази В. за цими показаннями ми змінюємо ступінь повороту заслінки або температуру води при необхідності.

Розглянувши дану систему з точки автоматизації можна виділити два контури регулювання:

- Керування температурою струмопроводу

Оскільки основна частина даної системи є струмопровід тому має бути забезпечена правильна його температура. Оскільки при неточності змінюються фізичні показники струмопроводу і це негативно впливає не тільки на струмопровід а й на наступні елементи до яких він підключений.

- Керування температурою повітря

Повітря це невід’ємна частина даної системи, адже саме ним ми охолоджуємо повітря. Повітря в даній системі виступає посередником теплообміну між водою на струмопроводами. Тому всі датчики вимірюють показання повітря для коректного охолодження струмопроводів.

Розглянемо контур охолодження повітря. Температура повітря є однією з важливих параметрів системи, яку потрібно вимірювати досить точно. Регулювання температури може здійснюватися двома методами:

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

У першому способі змінюється витрата повітря за допомогою переміщення регулюючої заслінки перед повітроохолоджувачем для забезпечення необхідної температури повітря. Цей метод не можна вважати економічним оскільки витрата води є сталим параметром. Сигнал з датчика поз. 1а передає значення температури на регулятор поз. 1б, через якого подається сигнал на переміщення регулюючої заслінки 1в.

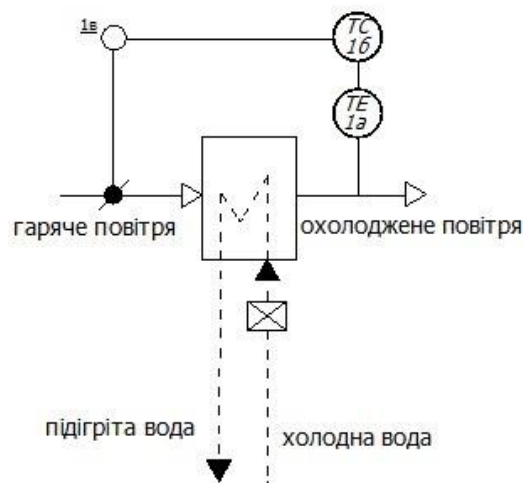


Рис. 1.4 Контур регулювання охолодження повітря
за допомогою зміни його витрати

У другому способі змінюється витрата води за допомогою переміщення регулюючої заслінки перед повітроохолоджувачем для забезпечення необхідної температури повітря. Цей метод можна вважати більш економічним ніж перший оскільки керування здійснюється за допомогою витрати води . Сигнал з датчика поз. 1а передає значення температури на регулятор поз. 1б, через якого подається сигнал на переміщення регулюючої заслінки 1в.

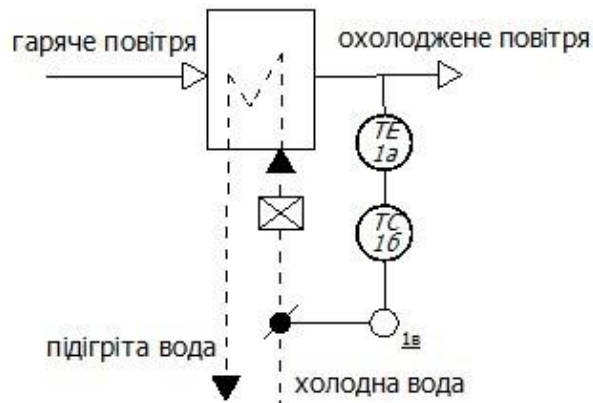


Рис. 1.4 Контур регулювання охолодження повітря
за допомогою зміни витрати води

1.3 Технологічні параметри повітроохолоджувача ВО-280/2510/250

Розглядаючи системи охолодження струмопроводів одним з основних елементів цієї системи є повітроохолоджувач ВО-280/2510/250. Задачею повітроохолоджувача є охолодження відбір тепла в повітря за допомогою води, до необхідної температури повітря. Технологічні параметри повітроохолоджувача приведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики повітроохолоджувачів

Назва параметру	Одиниця виміру	ВО-280/2510/250
Температура повітря на вході	°C	70
Температура повітря на виході	°C	40
Температура води на вході	°C	10
Температура води на виході	°C	38
Номінальна холодопродуктивність	кВт	280
Витрата води	кг/с	12
Витрата повітря	кг/с	14
Кількість теплообмінних труб	шт	110
Діаметр теплообмінних труб	м	0,019
Маса води в повітроохолоджувачі	кг	70
Маса повітря в повітроохолоджувачі	кг	0,608

1.4 Постановка задачі автоматизації

На основі аналізу існуючих систем та контурів регулювання, в даному проєкті буде здійснюватися підтримання заданого рівня температури повітря в системі охолодження струмопроводів по замкнутому циклі.

Для автоматизації процесу охолодження струмопроводу по замкнутому циклі необхідно виконати наступні поставленні завдання.

- Розробити аналітичну модель керування температури повітря в повітроохолоджувачі ВО-280/25110/250 та виконати апроксимацію даної моделі
- Виконати розрахунки параметрів налаштування регулятора, для коректної роботи системи підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі;
- Розробити програмно-технічне забезпечення системи керування, для роботи контролера;
- Виконати розрахунки економічної ефективності системи автоматизації системи охолодження струмопроводів;
- Написати рекомендовану інструкцію по охороні праці для безпечної експлуатації та роботи теплофікаційної установки

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА

2.1 Аналітична модель повітроохолоджувача ВО-280/2510/250

Розробимо аналітичну математичну модель повітроохолоджувача, взявши за основу модель з статті [2]. Схема охолоджувача та його матеріальні потоки вказані на рис 2.1.

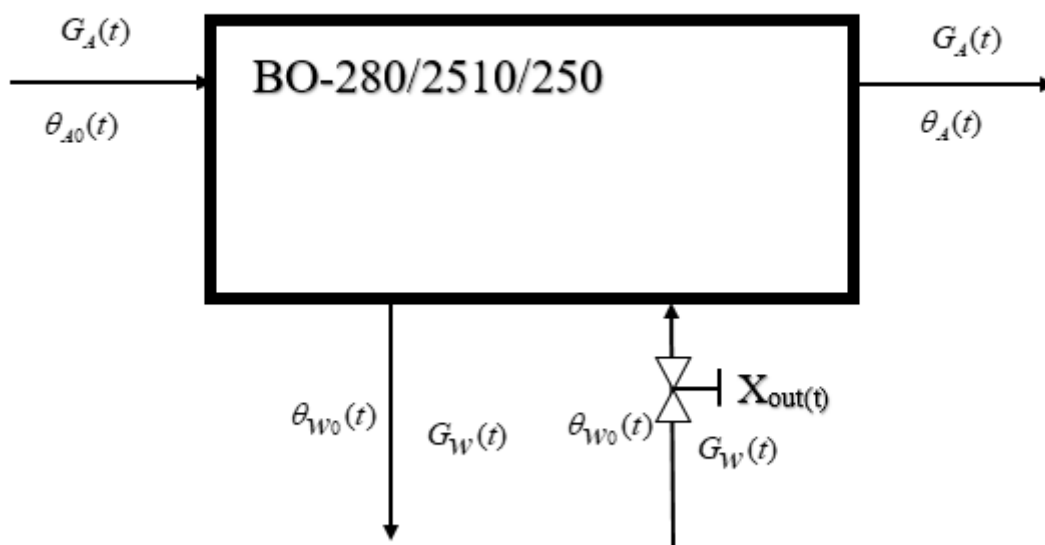


Рис 2.1 Схема повітроохолоджувача з входними та вихідними матеріальними потоками

Розглянемо тепловий баланс у динаміці для кожного динамічного елемента.

$$G_w c_w (\theta_{w0} - \theta_w) - \alpha_0 F_0 (\theta_w - \theta_M) = M_w c_w \frac{d\theta_w}{dt}; \quad (2.1)$$

$$\alpha_0 F_0 (\theta_w - \theta_M) - \alpha_1 F_1 (\theta_M - \theta_A) = M_M c_M \frac{d\theta_M}{dt}; \quad (2.2)$$

$$G_A c_A (\theta_{A0} - \theta_A) - \alpha_1 F_1 (\theta_M - \theta_A) = M_A c_A \frac{d\theta_A}{dt}, \quad (2.3)$$

					<i>TA8117.0007.001.ATX.II</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

Теплоносієм є повітря із витратою $G_A(t)$, температура теплоносія на вході $\theta_{A0}(t)$, на виході $\theta_A(t)$. повітроохолоджувач містить n трубок довжиною H . Теплоносієм нагріває теплообмінні трубки, усереднена температура яких $\theta_M(t)$. Перехресно до руху теплоносія у повітроохолоджувач надходить вода по трубках із витратою $G_W(t)$. Вхідна температура води – $\theta_{W0}(t)$, вихідна – $\theta_W(t)$. Геометричні розміри теплообмінника: L , C , H , – глибина, ширина та висота повітроохолоджувача, c_w – теплоємність охолоджуючого теплоносія; c_M – теплоємність металу; c_A – теплоємність повітря; α_0 – коефіцієнт тепловіддачі між теплоносієм та внутрішньою поверхнею труб; α_1 – коефіцієнт тепловіддачі між повітрям та зовнішньою поверхнею трубки; F_0 – площа внутрішньої поверхні усіх труб, $F_0 = nL\pi d$, d_0 – внутрішній діаметр труб; F_1 – площа зовнішньої поверхні трубки теплообміну повітроохолоджувача; M_w – маса теплоносія в усіх трубах повітроохолоджувача, $M_w = n\rho_w L\pi d_0^2 / 4$, ρ_w – густина теплоносія; M_M – маса металу теплообмінної поверхні; M_A – маса повітря у об'ємі $H \times L \times C$ повітроохолоджувача.

Формула (2.1) – тепловий баланс холодоносія що протікає в трубках; (2.2)

– тепловий баланс для теплообмінної поверхні повітроохолоджувача; (2.3)

тепловий баланс для повітряного простору повітроохолоджувача.

Після спрощення та лінеаризації рівнянь (2.1), (2.2) та (2.3) отримаємо диференціальні рівняння у приростах:

$$T_W \frac{d\Delta\theta_W}{dt} + \Delta\theta_W = k_0\Delta\theta_{W0} + k_1\Delta\theta_M + k_2\Delta G_W; \quad (2.4)$$

$$T_M \frac{d\Delta\theta_M}{dt} + \Delta\theta_M = k_3\Delta\theta_W + k_4\Delta\theta_A; \quad (2.5)$$

$$T_A \frac{d\Delta\theta_A}{dt} + \Delta\theta_A = k_5\Delta\theta_{A0} + k_6\Delta\theta_M + k_7\Delta G_A, \quad (2.6)$$

де $K_W = c_w G_W + \alpha_0 F_0$; $T_W = \frac{c_w M_w}{K_W}$; $k_0 = \frac{c_w G_W}{K_W}$; $k_1 = 1 - k_0$; $k_2 = \frac{c_w(\theta_{W0} - \theta_w)}{K_W}$;

$K_M = \alpha_0 F_0 + \alpha_1 F_1$; $T_M = \frac{c_M M_M}{K_M}$; $k_3 = \frac{\alpha_0 F_0}{K_M}$; $k_4 = 1 - k_3$; $K_A = c_A G_A + \alpha_1 F_1$; $T_A = \frac{c_A M_A}{K_A}$;

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$k_5 = \frac{c_A G_A}{K_A}; \quad k_6 = 1 - k_5; \quad k_7 = \frac{c_A (\theta_{A0} - \theta_A)}{K_A}.$$

Математичну модель теплообміну повітроохолоджувача представимо системою звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} T_w \frac{d\Delta\theta_w}{dt} + \Delta\theta_w = k_0 \Delta\theta_{w0} + k_1 \Delta\theta_M + k_2 \Delta G_w; \\ T_M \frac{d\Delta\theta_M}{dt} + \Delta\theta_M = k_3 \Delta\theta_w + k_4 \Delta\theta_A; \\ T_A \frac{d\Delta\theta_A}{dt} + \Delta\theta_A = k_5 \Delta\theta_{A0} + k_6 \Delta\theta_M + k_7 \Delta G_A. \end{cases} \quad (2.7)$$

Представимо (2.7) системою алгебраїчних рівнянь в області Лапласа.

$$\begin{cases} \Delta\theta_w (T_w p + 1) = k_0 \Delta\theta_{w0} + k_1 \Delta\theta_M + k_2 \Delta G_w; \end{cases} \quad (2.8)$$

$$\begin{cases} \Delta\theta_M (T_M p + 1) = k_3 \Delta\theta_w + k_4 \Delta\theta_A; \end{cases} \quad (2.9)$$

$$\begin{cases} \Delta\theta_A (T_A p + 1) = k_5 \Delta\theta_{A0} + k_6 \Delta\theta_M + k_7 \Delta G_A. \end{cases} \quad (2.10)$$

З (2.8) знаходимо $\Delta\theta_w(p)$; з (2.9) визначимо $\Delta\theta_M(p)$, враховуючи $\Delta\theta_w(p)$; знайдене $\Delta\theta_M(p)$ підставляємо у (2.10), після групування подібних та спрощення отримаємо:

$$\Delta\theta_A = \frac{1}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1} \left[(b_2 p^2 + b_1 p + b_0) \Delta\theta_{A0} + (b_5 p^2 + b_4 p + b_3) \Delta G_A + b_6 \Delta\theta_{w0} + b_7 \Delta G_w \right] \quad (2.11)$$

$$\text{де} \quad a_3 = \frac{T_w T_M T_A}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6}; \quad a_2 = \frac{T_w T_M + T_w T_A + T_M T_A}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6};$$

$$a_1 = \frac{T_w + T_M + T_A - k_1 k_3 T_A - k_4 k_6 T_w}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6}; \quad b_0 = \frac{k_5 (1 - k_1 k_3)}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6}; \quad b_1 = \frac{k_5 (T_w + T_M)}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6};$$

$$b_2 = \frac{k_5 T_w T_M}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6}; \quad b_3 = \frac{k_7 (1 - k_1 k_3)}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6}; \quad b_4 = \frac{k_7 (T_w + T_M)}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6}; \quad b_5 = \frac{k_7 T_w T_M}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6};$$

$$b_6 = \frac{k_0 k_3 k_6}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6}; \quad b_7 = \frac{k_2 k_3 k_6}{1 - k_1 k_3 - k_4 k_6}.$$

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

З рівняння (2.11) отримаємо передаточну функцію повітроохолоджувача за каналом регулювання, тобто зміна витрати води:

$$W_{к.р} = \frac{b_7}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1} \quad (2.12)$$

З рівняння (2.11) отримаємо передаточну функцію повітроохолоджувача за каналом збурення, тобто зміна температури води:

$$W_{к.р} = \frac{b_2 p^2 + b_1 p^1 + b_0}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1} \quad (2.13)$$

2.2 Розрахунок коефіцієнтів аналітичної моделі повітроохолоджувача

Використавши зворотне перетворення Лапласа, знаходимо аналітичний розв'язок за каналами регулювання та збурення. За динамічною моделлю зробимо моделювання перехідних процесів для повітроохолоджувача ВО-280/2510/250, який виготовлений фірмою Атоменергомаш. У табл. 1 подано теплофізичні величини для повітроохолоджувача ВО-280/2510/250.

Таблиця 2.1. Теплофізичні параметри повітроохолоджувача ВО-280/2510/250

Назва параметра	Позначення	Числове значення	Розмірність
Габарити водяного калорифера	$H \times C \times L$	2.51×1.25×0.25	м
Витрата води	G_w	7	кг/с
Густина води	ρ_w	986	кг/м ³
Теплоємність води	c_w	4185	Дж/(кг оС)

Маса води у повітроохолоджувачі	M_w	70	кг
Площа внутрішньої поверхні теплообміну	F_0	18,5	м ²
Коефіцієнт тепловіддачі для внутрішньої поверхні	α_0	410	Вт/(м ² °С)
Густина металу трубчатки	ρ_M	8900	кг/м ³
Теплоємність металу	c_M	400	Дж/(кг °С)
Маса теплообмінної трубчатки	M_M	286	кг
Площа зовнішньої поверхні теплообміну	F_1	200,5	м ²
Коефіцієнт тепловіддачі для зовнішньої поверхні	α_1	160	Вт / (м ² · °С)
Витрата повітря через повітроохолоджувач	G_A	6	кг / с
Густина повітря	ρ_A	1,2	кг / м ³
Теплоємність повітря	c_A	1010	Дж / (кг · °С)
Маса повітря у повітроохолоджувачі	M_A	0,608	кг
Вхідна температура води	θ_{w0}	10	°С
Вихідна температура води	θ_w	38	°С
Вхідна температура повітря	θ_{A0}	70	°С
Вихідна температура повітря	θ_A	40	°С

Розрахуємо коефіцієнти за допомогою Matlab R2017b. Код m-файла:

```

1 - Gw=7;
2 - pw=986;
3 - cw=4185;
4 - Mw=70;
5 - F0=18.6;
6 - A0=410;
7 - pM=8900;
8 - cM=400;
9 - MM=286;
10 - F1=200.5;
11 - A1=160;
12 - Ga=6;
13 - pa=1.2;
14 - cA=1010;
15 - MA=0.608;
16 - tW0=10;
17 - tW=38;
18 - tA0=70;
19 - tA=40;
20
21 - KW=cw*Gw+A0*F0;
22 - TW=cw*Mw/KW;
23 - k0=cw*Gw/KW;
24 - k1=1-k0;
25 - k2=cw*(tW0-tW)/KW;
26 - KM=A1*F1+A0*F0;
27 - TM=cM*MM/KM;
28 - k3=A0*F0/KM;
29 - k4=1-k3;
30 - KA=cA*Ga+A1*F1;
31 - TA=cA*MA/KA;
32 - k5=cA*Ga/KA;
33 - k6=1-k5;
34 - k7=cA*(tA0-tA)/KA;
35
36 - q=(1-k1*k3-k4*k6);
37 - a3=TW*TM*TA/q;
38 - a2=(TW*TM+TW*TA+TM+TA)/q;
39 - a1=(TW+TM+TA-k1*k3*TA-k4*k6*TW)/q;
40 - b0=k5*(1-k1*k3)/q;
41 - b1=k5*(TW+TM)/q;
42 - b2=k5*TW*TM/q;
43 - b3=k7*(1-k1*k3)/q;
44 - b4=k7*(TW+TM)/q;
45 - b5=k7*TW*TM/q;
46 - b6=k0*k3*k6/q;
47 - b7=k2*k3*k6/q;
48

```

Рис. 2.2 Код m файлу для розрахунку коефіцієнтів
аналітичної моделі повітроохолоджувача

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

Отже коефіцієнти дорівнюють:

$$a_3 = 1.311;$$

$$a_2 = 92.1977;$$

$$a_1 = 19.3726;$$

$$b_0 = 0.5435;$$

$$b_1 = 6.1209;$$

$$b_2 = 12.9373;$$

$$b_3 = 2.7173;$$

$$b_4 = 30.6038;$$

$$b_5 = 64.6862;$$

$$b_6 = 0.4564;$$

$$b_7 = -1.8261;$$

Підставивши в рівняння (2.12) отримаємо передаточну функцію повітроохолоджувача за каналом регулювання:

$$W_{\kappa,p} = \frac{-1.8261}{1.311p^3 + 92.1977p^2 + 19.3726p + 1} \quad (2.14)$$

Підставивши в рівняння (2.13) отримаємо передаточну функцію повітроохолоджувача за каналом збурення, тобто зміна температури води:

$$W_{\kappa,z} = \frac{12.9373p^2 + 6.1209p^1 + 0.5435}{1.311p^3 + 92.1977p^2 + 19.3726p + 1} \quad (2.15)$$

2.3 Апроксимація математичної моделі

На основі спрощеної структурної схеми температурного режиму в системі охолодження побудовано схему в Simulink за каналом регулювання. Для цього до передаточної функції за каналом регулювання додамо математичну модель ВМ :

$$W_{BM}(p) = \frac{1}{37,5p + 1} \quad (2.16)$$

Враховуючи що датчик температури має інерцію додамо ще модель датчика температури:

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$W_{BM}(p) = \frac{1}{10p + 1} \quad (2.17)$$

Об'єднаємо необхідні математичні моделі в одну структурну схему (2.4) та побудуємо перехідний процес (рис 2.2):

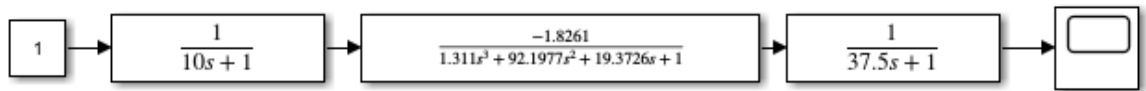


Рис 2.3 Структурна схема в Simulink за каналом регулювання вихід

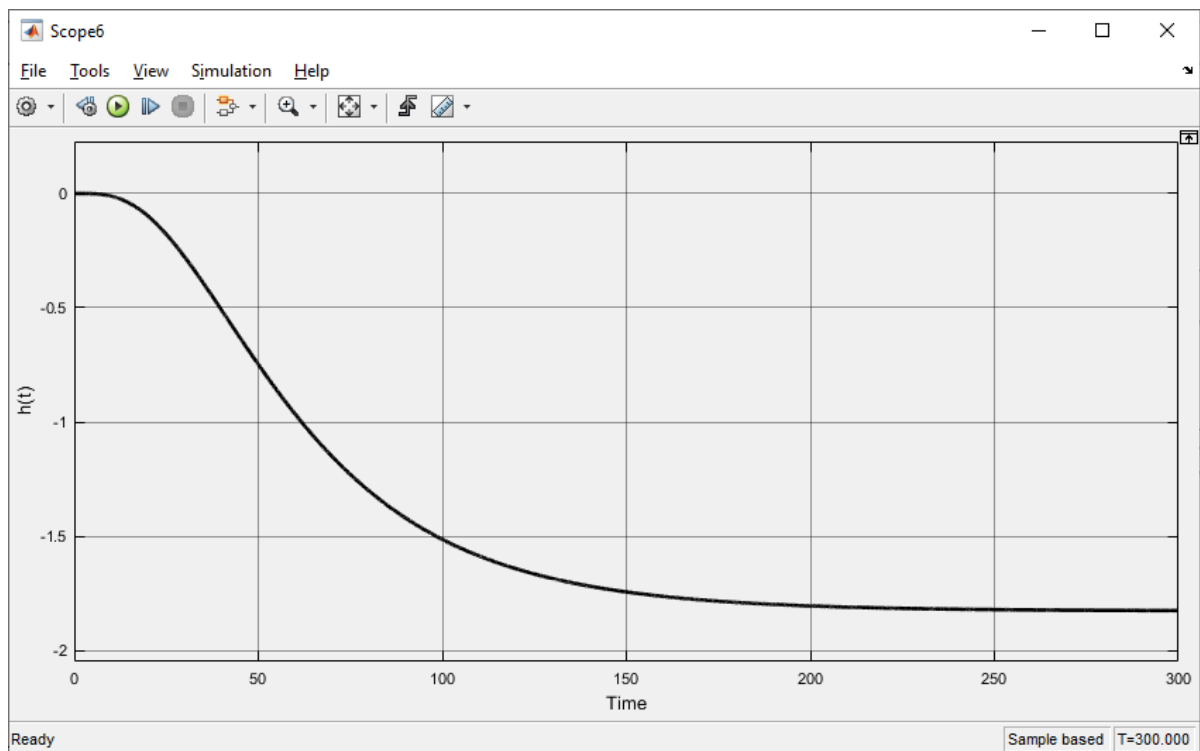


Рис 2.4 Перехідна характеристика моделі

Виконаємо апроксимацію методом 2/3 передаточної функції за каналом регулювання. Коефіцієнт передачі об'єкта відповідає максимальному значенню ординати (тобто k) і становить $k = -1.8261 \frac{^{\circ}\text{C} \cdot \text{с}}{\text{кг}}$. Для знаходження сталої часу дане k помножимо на 2/3 і отримаємо ординату сталої часу яка дорівнює $k_1 = -1.217 \frac{^{\circ}\text{C} \cdot \text{с}}{\text{кг}}$. Провівши на рис 2.2 перпендикуляр з осі $h(t)$ при $h = -1.217$ та опустивши ще один перпендикуляр на вісь часу ми отримаємо що $T = 75$ с. Для компенсації коефіцієнтів

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		24

більший ніж перший було добавлено запізнення $\tau=10$. Після апроксимації передаточна функція за каналом регулювання має вигляд:

$$W_{об.р} = \frac{-1.8261}{75p+1} \cdot e^{-10p}; \quad (2.16)$$

Передаточна характеристика апроксимованої передаточної функції за каналом регулювання має вигляд:

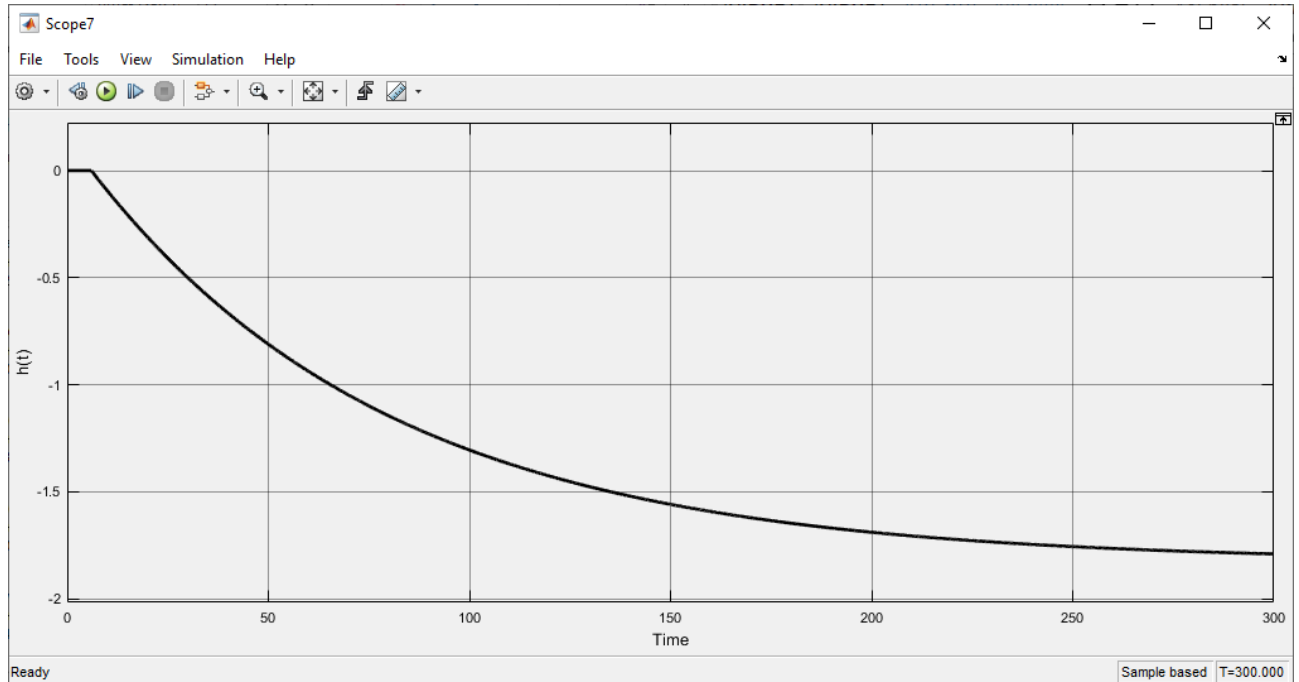


Рис 2.5 Передаточна характеристика апроксимованої функції

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		25

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ В ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧІ ВО-280/2510/250

3.1. Структурна схема регулювання температури повітря в повітроохолоджувачі

Оскільки в минулому розділі було розраховано аналітичну модель підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі та отримані передатні функції по каналах регулювання та збурення. В даній системі є три збурення але для моделювання вибрано найбільше збурення – збурення по зміні витрати повітря в повітроохолоджувач, яке проходить через нього. Отже побудуємо схему регулювання температури в повітроохолоджувачі рис 3.1.

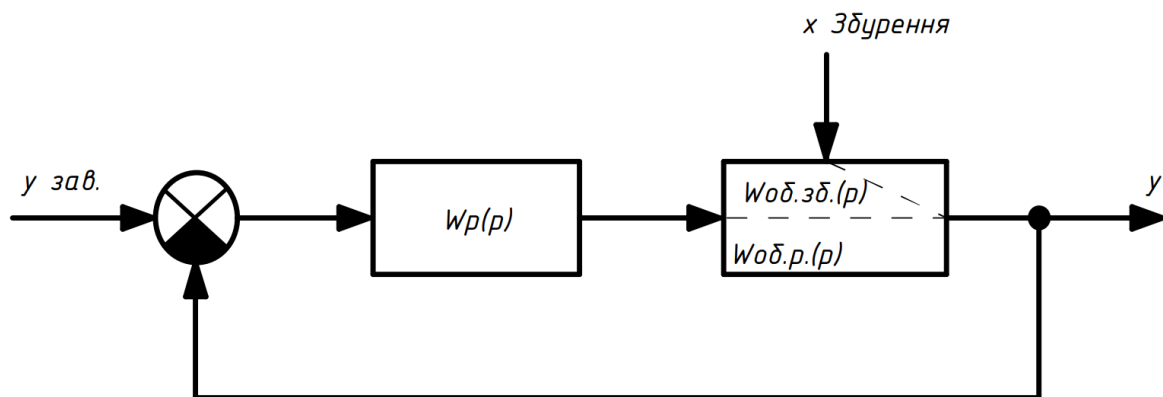


Рис. 3.1 Структурна схема САР температури
повітря в повітроохолоджувачі.

Для підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі вибрано режиму регулювання за контуром витрати води. Тому система регулювання по рис 3.1 отримуємо перехідну функцію замкнутої системи (3.1):

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

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

Сучасні контролери працюють з певним періодом дискретизації. Правильно вибраний контролер дає можливість правильно виконувати поставлені задачі. Тому період дискретизації контролера був менший мінімального допустимого часу дискретизації системи.

Для цього 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.

```
1 - figure % АЧХ
2 - w = 0:0.00001:1;
3 - p = 1j*w;
4 - W=(-1.8621)./(75.*p+1)).*exp(-10.*p);
5 - A = ((real(W)).^2+(imag(W)).^2).^(1/2);
6 - plot (w,A);
7 - title ('\bf\fontsize{12} АЧХ');
8 - ylabel('A(w)')
9 - xlabel('w')
10 - grin on
```

Рис. 3.2 Код m файлу для побудови АЧХ

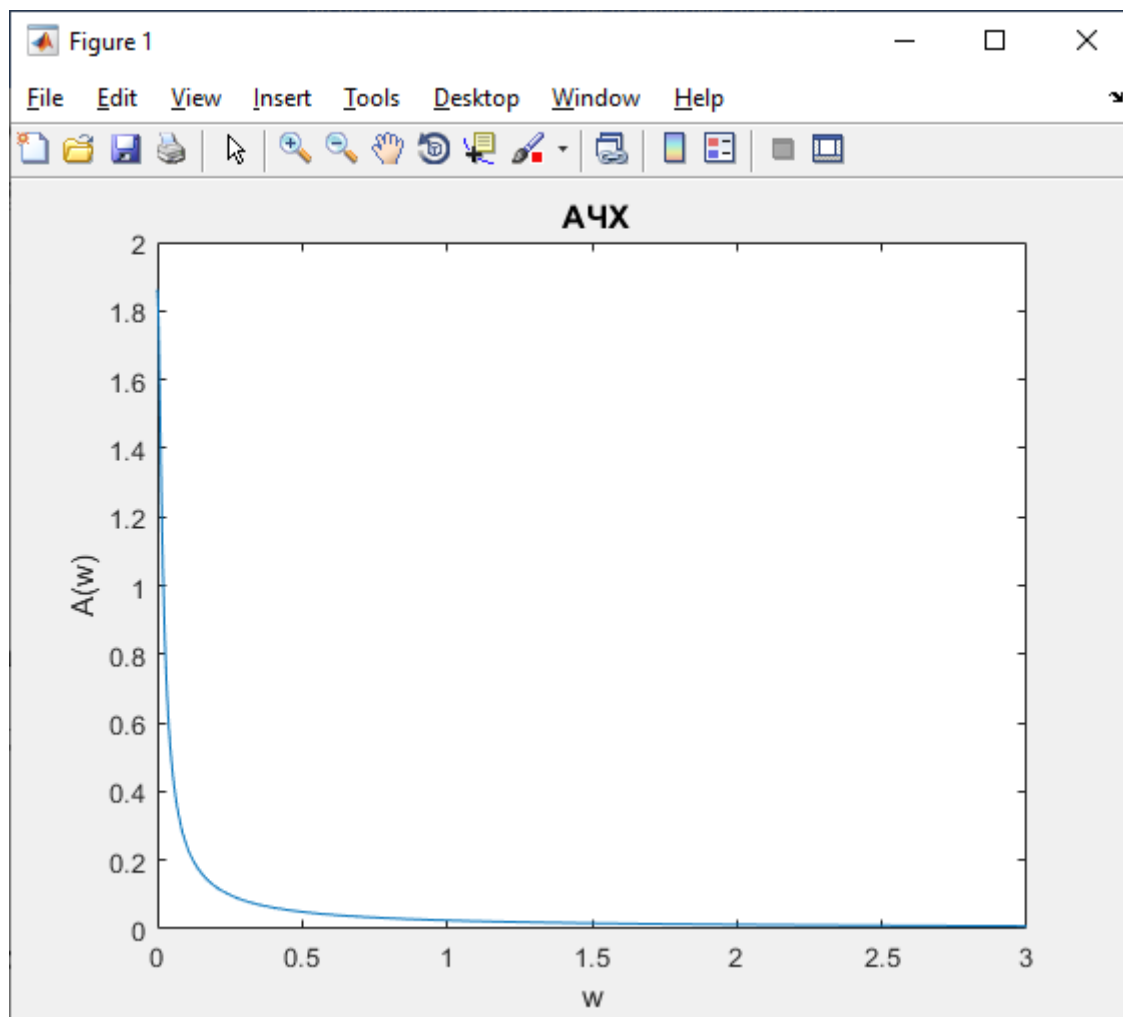


Рис. 3.3. АЧХ перехідної функції регулювання системи підтримання температури повітря

За рис. 3.3 знаходимо частоту зрізу, яка рівна $\omega = 2.4 \text{ рад/с}$ та обраховуємо період дискретизації системи за формулою (3.2):

$$T = \frac{\pi}{2 \cdot \omega_s} \quad (3.2)$$

З формули (3.2) отримуємо період дискретизації для системи підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі (3.3):

$$T = \frac{\pi}{2 \cdot 2.4} = 0.65 \text{ с.} \quad (3.3)$$

Виходячи з результатів рівняння (3.3) можна сказати, що час дискретизації роботи контролера має бути меншим за 0.65 секунди, для коректного регулювання

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		28

системою. Для системи був вибраний контролер EASY-E4-UC-12RC1 компанії EATON, період дискретизації якого складає 0,01 секунди, що повністю задовольняє для коректної роботи системи підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі

3.3. Розрахунок системи регулювання температури для повітроохолоджувачі

Як вже було описано в пункті 3.1 про систему регулювання температури в повітроохолоджувачі, за допомогою регулятора має бути забезпечена компенсація збурень. За допомогою прямих або інтегральних показників якості роботи системи керування, буде проведена перевірки коректності роботи системи регулювання температури повітря, на дослідження впливу параметрів налаштування системи регулювання в області стійкості.

В даній роботі буде використано ПІ регулятор, що забезпечує регулювання без статичної похибки. Для правильного регулювання системи підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі, розраховано параметри налаштування ПІ-регулятора за допомогою експрес метода ВТІ [2] та метода РАФХ.

Розрахуємо параметри налаштування ПІ-регулятора. Для цього спочатку використаємо експрес метод ВТІ. В таблиці 3.1 вказано розрахунок коефіцієнтів ПІ-регулятора

Таблиця 3.1 Коефіцієнти для налаштування регулятора

Експрес метод	K_p	T_i	Критерій використання
ВТІ(2)	$\frac{0.9}{K_{об}} \cdot \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$3.3 \cdot \tau_{об}$	$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \leq 0,2$
	$\frac{0.38}{K_{об}} \cdot \frac{\frac{\tau_{об}}{T_{об}} + 0,6}{\frac{\tau_{об}}{T_{об}} - 0,08}$	$0.8 \cdot T_{об}$	$0,2 \leq \frac{\tau_{об}}{T_{об}} \leq 1,5$

Відповідно до таблиці 3.1 спочатку розрахуємо критерій використання:

$$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} = \frac{10}{75} = 0.13 \leq 0.2 \quad (3.4)$$

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

$$K_p = \frac{0.9}{K_{об}} \cdot \frac{T_{об}}{\tau_{об}} = \frac{0.9}{1.8621} \cdot \frac{75}{10} = 3.6 \quad (3.5)$$

$$T_i = 3.3 \cdot \tau_{об} = 3.3 \cdot 10 = 33 \quad (3.6)$$

Знайшовши параметри налаштування регулятора (3.5) та (3.6) за допомогою метода ВТІ(2), побудуємо структурні схеми САР підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі використовуючи ПІ-регулятор рис 3.4 та отримуємо криву перехідного процесу рис 3.5 . В таблиці 3.2 та 3.3 заносимо показники якості роботи системи керування за експрес методом.

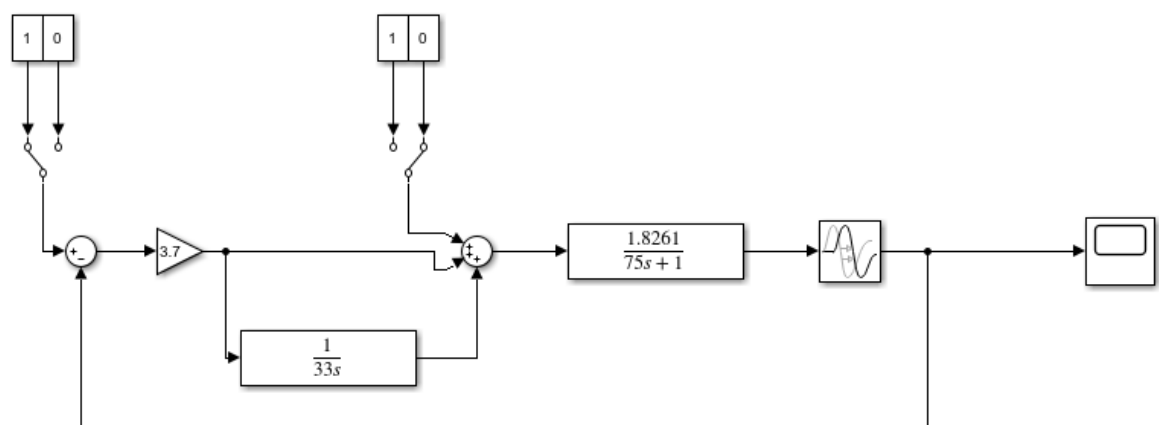


Рис 3.4 Структурна схема САР підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі середовищі Simulink

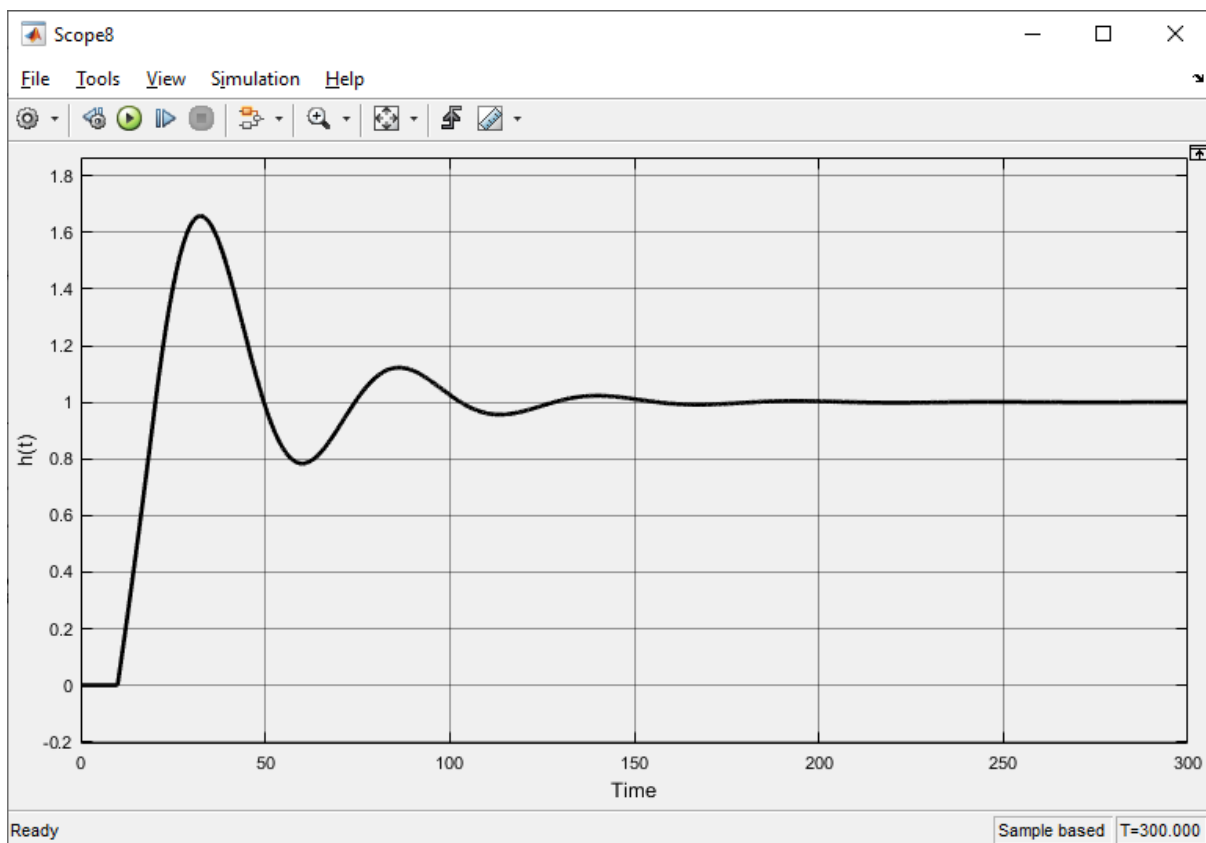


Рис. 3.5 Перехідний процес одноконтурної САР з ПІ-регулятором підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі

Таблиця 3.2 Прямі показники якості роботи системи керування при налаштуванні регулятора за інженерним методом ВТІ(2).

Δy	σ	ψ	T_m	Δct
0.658	65.8%	0.815	97.472	0

Таблиця 3.3 Інтегральні показники якості роботи системи керування при налаштуванні регулятора за інженерним методом ВТІ(2)

$I_{\text{лін}}$	$I_{\text{лін}}^{\text{абс}}$	$I_{\text{лін}}^{\text{кв}}$	$I_{\text{лін}}^{\text{швд}}$	$I_{\text{лін}}^{\text{час}}$
295.1	295.1	310.7	311.7	9081

Отримавши показники якості за експрес методом перейдемо до розрахунків параметрів налаштування ПІ-регулятора за методом РАФХ. Для цього метода використаємо $\psi = 0,95$, $m = 0,5$. (3.7) дають можливість розрахувати K_p та K_i .

Побудуємо криву залежності K_i від K_p рис 3.7, код m-файлу для побудови кривої залежності K_i від K_p показано на рис. 3.6.

$$\begin{cases} K_p = -\frac{m \cdot Q_{ob}(m, \omega) + P_{ob}(m, \omega)}{A_{ob}^2(m, \omega)}, \\ K_i = -\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \frac{Q_{ob}(m, \omega)}{A_{ob}^2(m, \omega)}; \end{cases} \quad (3.7)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}, A_{ob}(m, \omega) = \sqrt{P_{ob}^2(m, \omega) + Q_{ob}^2(m, \omega)}. \quad (3.8)$$

```

1 - m=0.5;
2 - w=0.:0.0001:0.13;
3 - p=w.*(j-m);
4 - W=(-1.8621)./(75.*p+1)).*exp(-10.*p);
5 - Re=real(W);
6 - Im=imag(W);
7 - Kp=(m*Im+Re)./(Im.^2+Re.^2);
8 - Ki=w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
9 - plot(Kp,Ki)
10 - ylabel('Ki')
11 - xlabel('Kp')
12 - grid on

```

Рис. 3.6 Код m файлу для побудови кривої залежності K_i від K_p

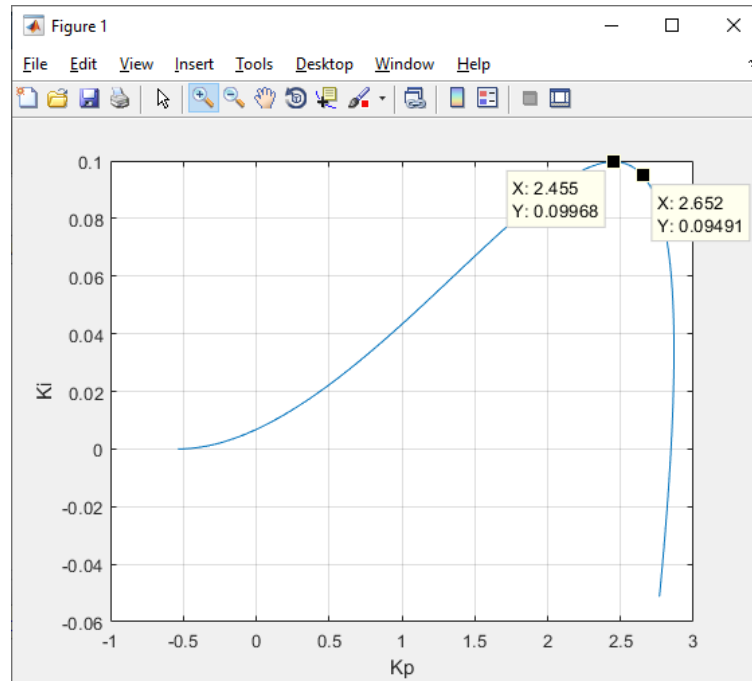


Рис. 3.7 Крива залежності K_i від K_p

На даній кривій отримано максимальне значення $K_{p\max} = 0.09496$. Згідно цього значення ми визначаємо $K_i = 0.95 \cdot K_i(\max)$ (3.9), правіше від максимуму та отримуємо оптимальні значення параметра ПІ-регулятора $K_p = 2.652, K_i = 0.09496$ (3.10). За допомогою рівняння 3.8 отримаємо $T_i = 27.9275$ (3.11). Перевірити отримані значення за допомогою метода РАФХ на правильність можна за допомогою годографів АФХ та РАФХ розімкнутої системи для контуру з ПІ-регулятором рис 3.9. Код m-файлу для побудови годографів АФХ та РАФХ показано на рис 3.8.

```

1 - w = 0.06: 0.0001:0.5;
2 - M = 0.5;
3 - Kp = - 2.652;
4 - Ti = 27.9275;
5 - p = w.*1j;
6 - Wob = ((-1.8621)./(75.*p+1)).*exp(-10.*p);
7 - Wr = Kp*(1+1./(Ti.*p));
8 - W = Wr.*Wob;
9 - Re= real(W);
10 - Im=imag(W);
11 - plot(Re,Im);
12 - grid on;
13 - |
14 - hold on;
15 - p = w.*(1j-m);
16 - Wob = ((-1.8621)./(75.*p+1)).*exp(-10.*p);
17 - Wr = Kp*(1+1./(Ti.*p));
18 - W = Wr.*Wob;
19 - Re= real(W);
20 - Im=imag(W);
21 - plot(Re,Im);
22 - grid on;
23 - ylabel('Im');
24 - xlabel('Re');

```

Рис. 3.8 Код m файлу для побудови годографів АФХ та РАФХ

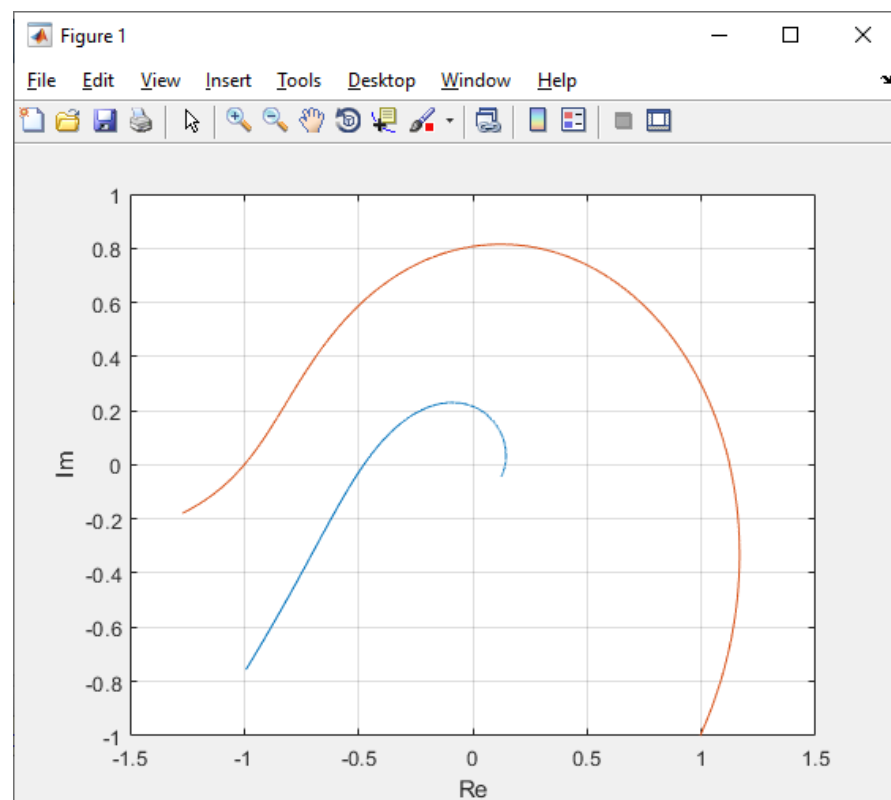


Рис. 3.9 Годографи: синій – АФХ та червоний – РАФХ
розімкненої системи об'єкта з ПІ-регулятором

Відповідно рис 3.9 та результатам проходження годографів АФХ та РАФХ розімкненої системи, що проходить через точку $-1; i0$, можна сказати що дана система має кореневий показник коливання $m = m^* = 0,5$, а також ж те що налаштування ПІ-регулятора за методом РАФХ є вірним.

Впевнившись що знайдені параметри налаштування регулятора (3.10) та (3.11) за допомогою методу РАФХ, побудуємо структурні схеми САР підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі з використанням ПІ-регулятора рис 3.10 отримуємо криву перехідного процесу рис 3.11 . В таблиці 3.4 та 3.5 заносимо показники якості роботи системи керування за методом РАФХ.

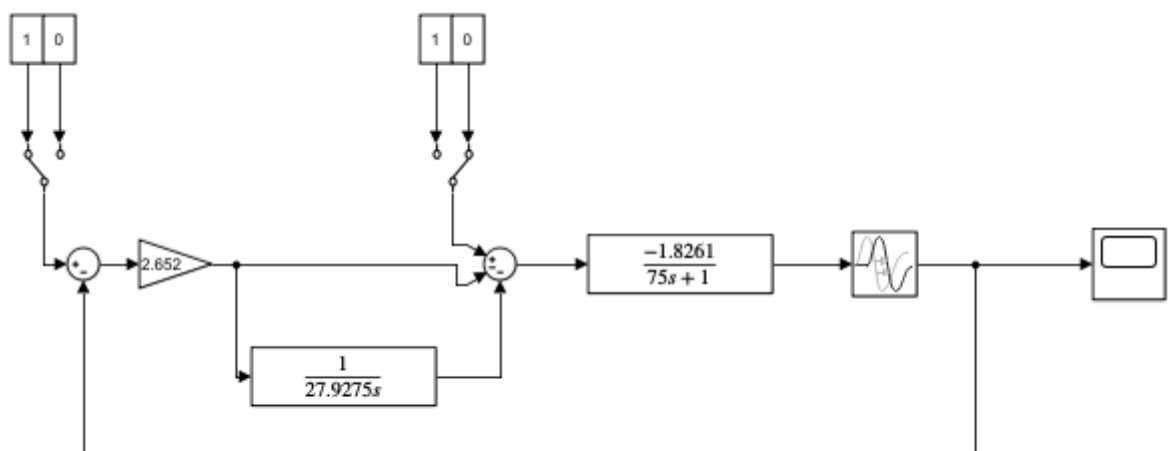


Рис. 3.10. Структурна схема САР підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі в середовищі Simulink

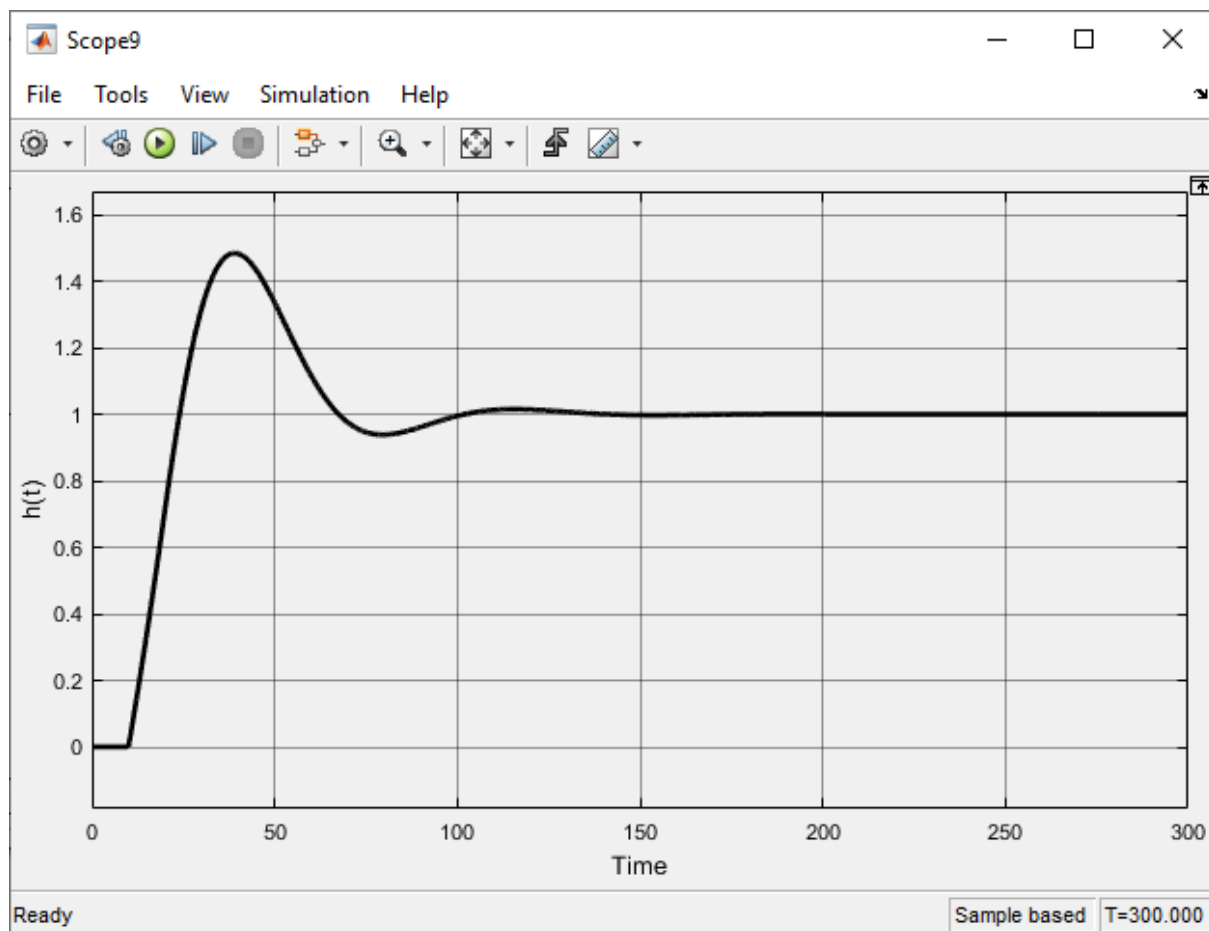


Рис. 3.11 Перехідний процес одноконтурної САР з ПІ-регулятором підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі

Таблиця 3.4 Прямі показники якості роботи системи керування при налаштуванні регулятора за методом РАФХ.

Δy	σ	ψ	T_m	Δst
0.485	48.5	0.89	86.425	0

Таблиця 3.5 Інтегральні показники якості роботи системи керування при налаштуванні регулятора за методом РАФХ.

$I_{лін}$	$I_{лін}^{абс}$	$I_{лін}^{кв}$	$I_{лін}^{швд}$	$I_{лін}^{час}$
294.2	294.2	307.9	308.9	9090

Отримавши дві криві перехідного процесу за експрес та РАФХ методами, порівнюємо їх рис 3.12 , для вибору кращого метода розрахунків параметрів регулювання. Також порівнюємо показники якості в таблиці 3.6 та 3.7.

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		36

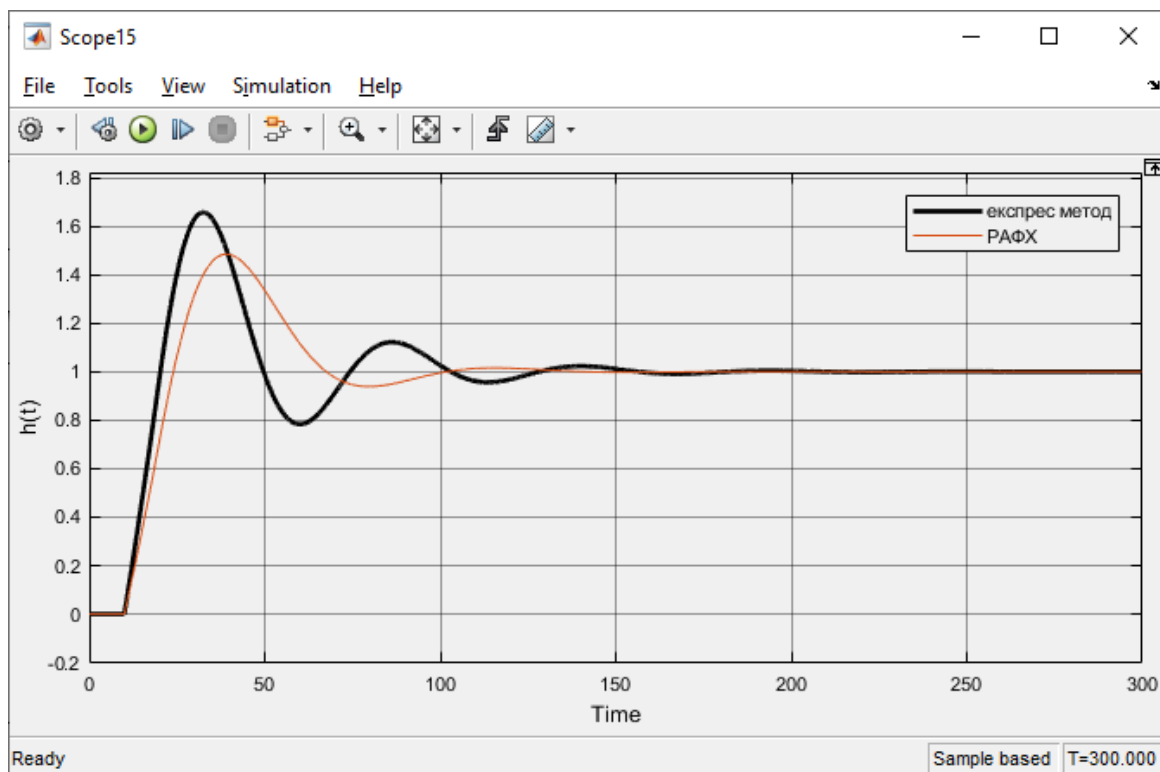


Рис. 3.12 Порівняння перехідних процесів експрес методу
ВТІ(2) та методу РАФХ

Таблиця 3.6 Порівняння прямих показників якості експрес методу ВТІ(2) та
методу РАФХ.

Метод	Δy	σ	ψ	T_{nn}	$\Delta_{ст}$
ВТІ(2)	0.658	65.8%	0.815	97.472	0
РАФХ	0.485	48.5	0.89	86.425	0

Таблиця 3.7 Порівняння інтегральних показників якості експрес методу ВТІ(2) та
методу РАФХ.

Метод	$I_{лін}$	$I_{лін}^{абс}$	$I_{лін}^{кв}$	$I_{лін}^{швд}$	$I_{лін}^{час}$
ВТІ(2)	295.1	295.1	310.7	311.7	9081
РАФХ	294.2	294.2	307.9	308.9	9090

Проаналізувавши таблиці 3.6 та 3.7 можна побачити що метод РАФХ показує себе краще ніж експрес метод ВТІ(2). Прямі показники якості метода РАФХ кращі ніж прямі показники якості експрес метода, окрім показника перерегулювання кращий у РАФХ ніж експрес метода. По інтегральним показникам якості ці два

методи майже однакові, але метод РАФХ більш кращий. Тому надалі буде взято параметри налаштування регулятора по РАФХ.

3.4. Розрахунок системи регулювання температури повітря в повітроохолоджувачі на грубість

Під час використання повітроохолоджувача змінюються параметри, тому потрібно перевірити систему на грубість. Для цього змінимо параметри об'єкта в діапазоні 15%, щоб перевірити систему регулювання повітря в повітроохолоджувачі на грубість. Зміну перехідних характеристик при зміні параметрів об'єкта показано на рис 3.12-3.15, а в таблиці 3.8 вказані варіації параметрів об'єкта та показники якості системи регулювання підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі.

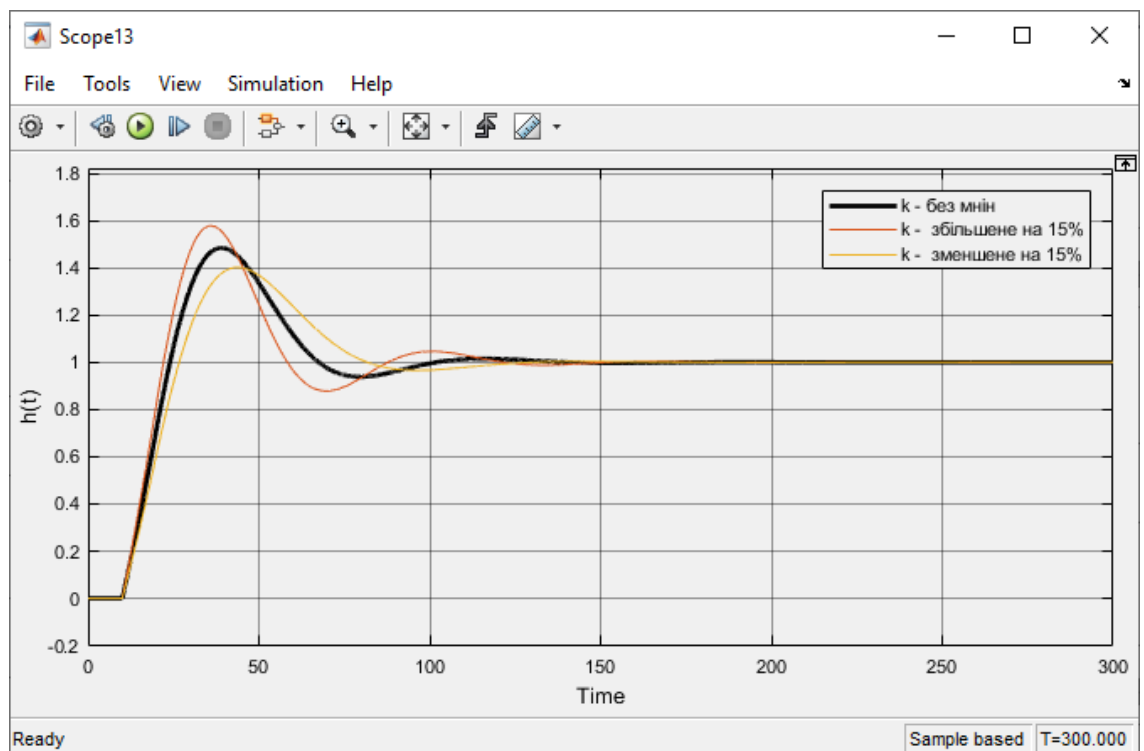


Рис. 3.13 Варіація параметру передачі системи підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі

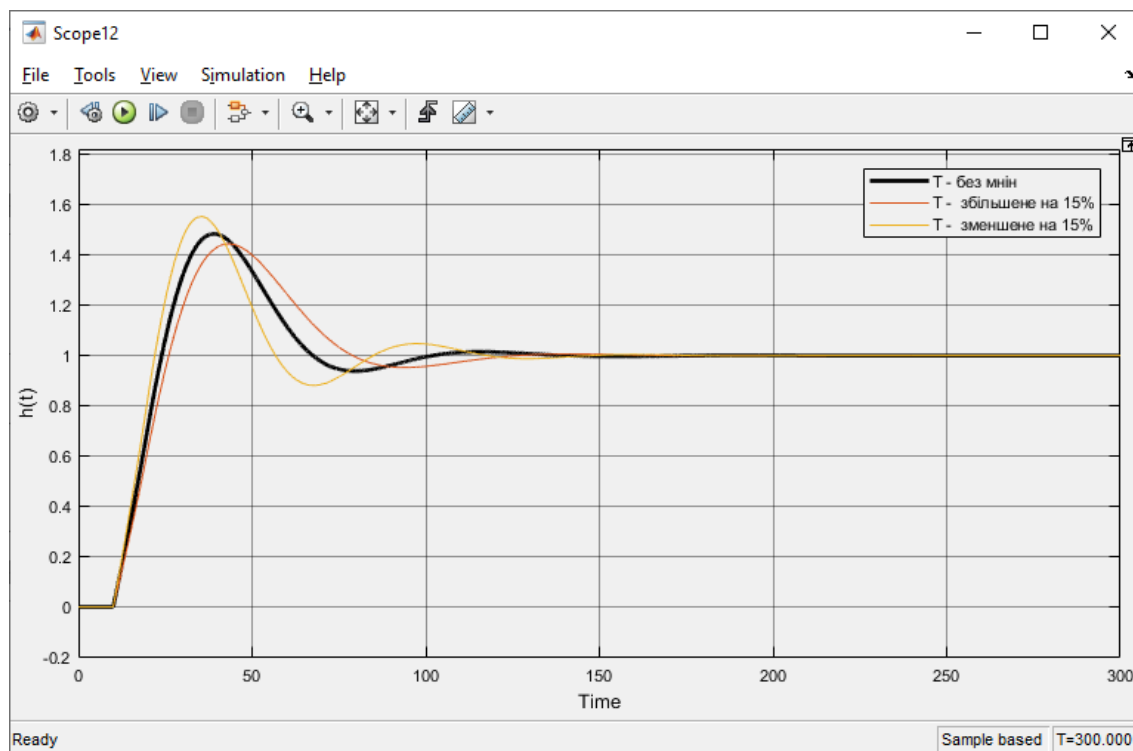


Рис. 3.14 Варіація параметру постійного часу системи підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі

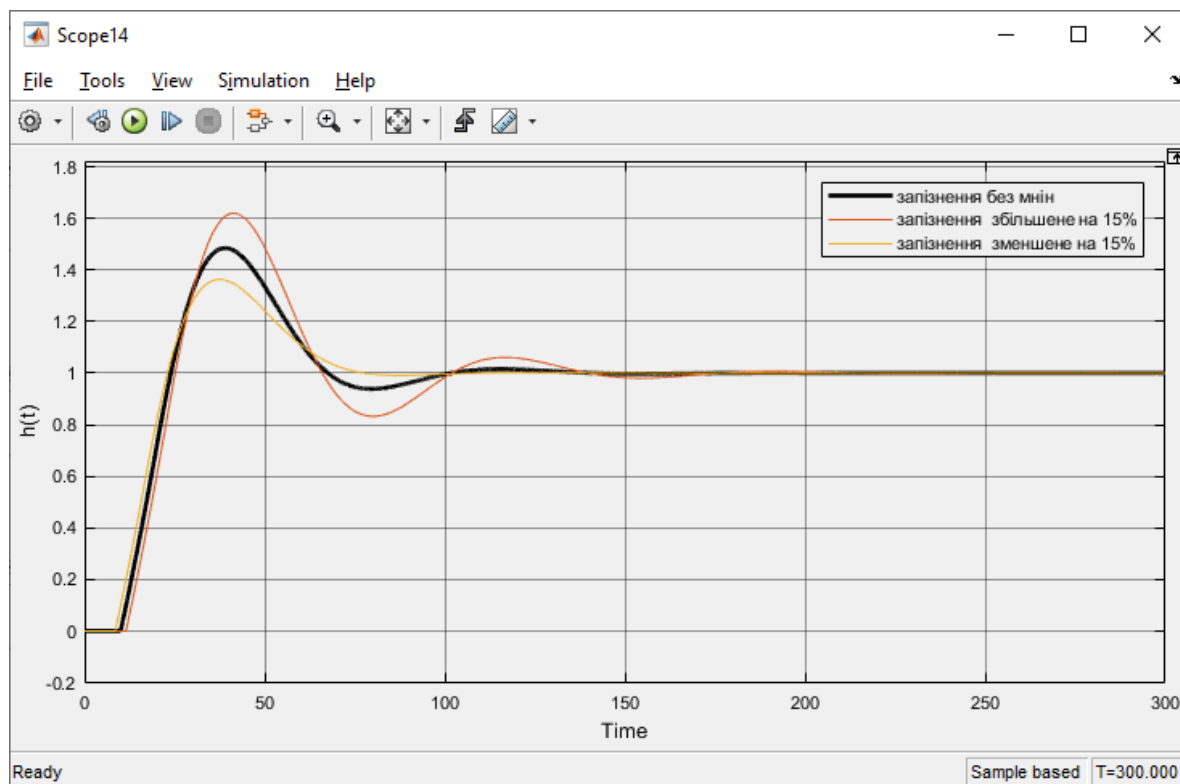


Рис. 3.15 Варіація параметру транспортного запізнення системи підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ТА8117.0007.001.АТХ.ІІ

Арк.

39

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	2.8621	75	10	0.485	86.425
K_{var}	2.14142	75	10	0.577	81.717
	1.58279	75	10	0.402	74.813
T_{var}	2.8621	86.25	10	0.444	73.399
	2.8621	63.75	10	0.553	79.053
τ_{var}	2.8621	75	11.5	0.619	124
	2.8621	75	8.5	0.363	63.43

Відповідно таблиці 3.8. розрахуємо коефіцієнти чутливості при зміні параметрів системи регулювання підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі за формулою (3.12).

$$k_y = \left| \frac{\frac{R - R_{opt}}{R_{opt}}}{\frac{y - y_{opt}}{y_{opt}}} \right|, \quad (3.12)$$

де k_y – відносний коефіцієнт чутливості для параметра ;

y – поточний параметр;

y_{opt} – оптимальне значення параметра;

R – поточне значення критерія якості;

R_{opt} – відповідне значення за оптимальними параметрами.

Розрахунок коефіцієнта чутливості динамічної похибки при змінні параметру K :

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$k_{K_{\Delta\text{дин},1}} = \left| \frac{\frac{\Delta\text{дин} - \Delta\text{дин}_{\text{opt}}}{\Delta\text{дин}_{\text{opt}}}}{\frac{K - K_{\text{opt}}}{K_{\text{opt}}}} \right| = 1.2646, \quad k_{K_{\Delta\text{дин},2}} = \left| \frac{\frac{\Delta\text{дин} - \Delta\text{дин}_{\text{opt}}}{\Delta\text{дин}_{\text{opt}}}}{\frac{K - K_{\text{opt}}}{K_{\text{opt}}}} \right| = 1.141.$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості динамічної похибки при змінні параметру T :

$$k_{T_{\Delta\text{дин},1}} = \left| \frac{\frac{\Delta\text{дин} - \Delta\text{дин}_{\text{opt}}}{\Delta\text{дин}_{\text{opt}}}}{\frac{T - T_{\text{opt}}}{T_{\text{opt}}}} \right| = 0.56, \quad k_{T_{\Delta\text{дин},2}} = \left| \frac{\frac{\Delta\text{дин} - \Delta\text{дин}_{\text{opt}}}{\Delta\text{дин}_{\text{opt}}}}{\frac{T - T_{\text{opt}}}{T_{\text{opt}}}} \right| = 0.934.$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості динамічної похибки при змінні параметру τ :

$$k_{\tau_{\Delta\text{дин},1}} = \left| \frac{\frac{\Delta\text{дин} - \Delta\text{дин}_{\text{opt}}}{\Delta\text{дин}_{\text{opt}}}}{\frac{\tau - \tau_{\text{opt}}}{\tau_{\text{opt}}}} \right| = 1.84, \quad k_{\tau_{\Delta\text{дин},2}} = \left| \frac{\frac{\Delta\text{дин} - \Delta\text{дин}_{\text{opt}}}{\Delta\text{дин}_{\text{opt}}}}{\frac{\tau - \tau_{\text{opt}}}{\tau_{\text{opt}}}} \right| = 1.67.$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості часу перехідного процесу при змінні параметру K :

$$k_{K_{T_{nn},1}} = \left| \frac{\frac{T_{nn} - T_{nn_{\text{opt}}}}{T_{nn_{\text{opt}}}}}{\frac{K - K_{\text{opt}}}{K_{\text{opt}}}} \right| = 0.36, \quad k_{K_{T_{nn},2}} = \left| \frac{\frac{T_{nn} - T_{nn_{\text{opt}}}}{T_{nn_{\text{opt}}}}}{\frac{K - K_{\text{opt}}}{K_{\text{opt}}}} \right| = 0.9,$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості часу перехідного процесу при змінні параметру T :

$$k_{T_{T_{nn},1}} = \left| \frac{\frac{T_{nn} - T_{nn_{\text{opt}}}}{T_{nn_{\text{opt}}}}}{\frac{T - T_{\text{opt}}}{T_{\text{opt}}}} \right| = 1, \quad k_{T_{T_{nn},2}} = \left| \frac{\frac{T_{nn} - T_{nn_{\text{opt}}}}{T_{nn_{\text{opt}}}}}{\frac{T - T_{\text{opt}}}{T_{\text{opt}}}} \right| = 0.56,$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості часу перехідного процесу при змінні параметру τ :

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		41

$$k_{\tau_{Tnn,1}} = \left| \frac{\frac{Tnn - Tnn_{opt}}{Tnn_{opt}}}{\frac{\tau - \tau_{opt}}{\tau_{opt}}} \right| = 2.9, \quad k_{\tau_{Tnn,2}} = \left| \frac{\frac{Tnn - Tnn_{opt}}{Tnn_{opt}}}{\frac{\tau - \tau_{opt}}{\tau_{opt}}} \right| = 1.77,$$

Згідно виконаним розрахункам коефіцієнтів чутливості системи, можна стверджувати, що система системи регулювання підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі є грубою. Отже, зміна параметрів системи регулювання у процесі експлуатації не має впливу на якість регулювання.

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4. ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ З АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДТРИМАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ В ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧІ

4.1. Технічні рішення з контролю та регулювання підтримання температури в повітроохолоджувачі Во-280\2510\250

Для правильної роботи системи регулювання підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі потрібно вимірювати та контролювати технічні параметри. Некоректне значення параметру означає про неправильне функціонування системи.

Для роботи системи регулювання підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі контролюються наступні параметри:

- Температуру повітря на вході в повітроохолоджувач (позиція 1а, 3а). Вимірювання виконується за допомогою датчика термоопору Sitrans TH100. Діапазон вимірювання температури (0..200°С).
- Температуру повітря на виході в повітроохолоджувач (позиція 5а). Вимірювання виконується за допомогою датчика термоопору Sitrans TH100. Діапазон вимірювання температури (0..200°С).
- Тиск води після повітроохолоджувача (позиція 6а). Вимірювання виконується за допомогою датчика тиска Сафір М5050. Діапазон вимірювання тиску (0..40 кПа). Похибка вимірювання $\pm 0,2$ кПа.
- Керування витратою води на повітроохолоджувач здійснюється за допомогою Belimo NV230A-TCP (позиція 11а).

4.2. Реалізація програмного керування підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі

Для виконання задачі по керуванню підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі був використаний контролер EASY-E4-UC-12RC1 від фірми EATON. Даний контролер підтримує середовище розробки CodeSys. Тому напишемо програму для керування підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі в даному середовищі за допомогою мови FBD та ST.

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

Підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі виконується за допомогою Belimo, який розташований на трубопроводі води та змінює його витрату. Програма підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі складається з блока Cooling_Control рис 4.1

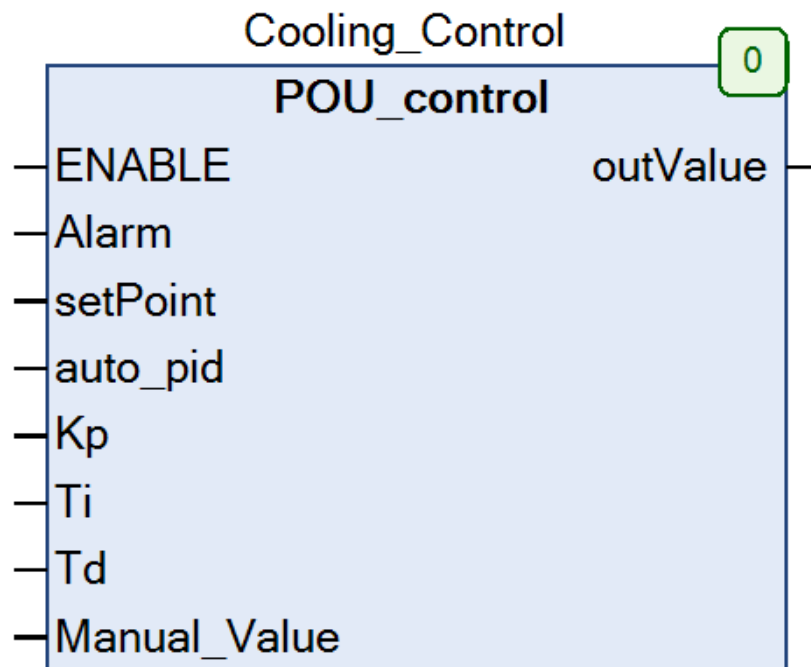


Рис 4.1 Функціональний блок керування температурою повітря

Блок Colling_Control має наступні входи:

ENABLE – сигнал на дозвіл роботи

Alarm – сигнал про аварію

setPoint – значення уставки

auto_pid – дозвіл на автоматичну роботу систему

Kp – значення коефіцієнта підсилення регулятора

Ti – значення коефіцієнта інтегральної складової регулятора

Td – значення коефіцієнта диференціальної складової регулятора

Manual_Value – значення виходу при ручному режимі

Блок Cooling_Control складається з блока ПІД-регулятора та додаткових блоків для правильної роботи системи:

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



POU_Delay_0 – блок затримки об'єкта.

На головному вікні є можливість зайти в систему або змінити користувача, подивитися показання датчиків на схемі та перейти у вікно аварій. Без входу в систему немає можливостей подивитися на інші вікна. На рис 4.3 показано головне вікно після запуску програми, рис 4.4 показано вхід у систему.

					<div style="text-align: center;"> <i>TA8117.0007.001.ATX.II</i> </div>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		45



Рис 4.3 Головне вікно

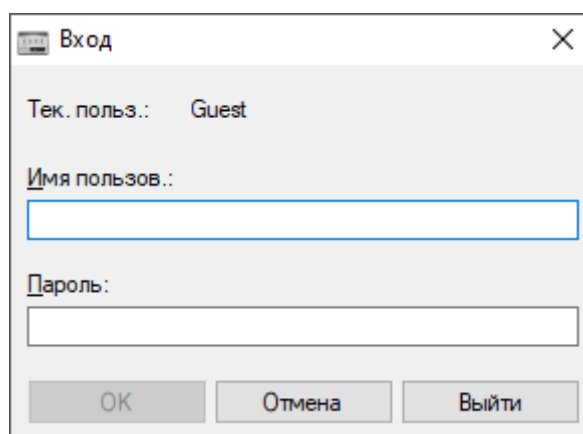


Рис 4.4 Вхід в систему

Процес роботи системи охолодження струмопроводів показаний у вікні системи, рис 4.5. у даному вікні можна побачити контроль необхідних параметрів для системи охолодження: покази температури, роботу вентиляторів та ступінь відкриття електроприводів.

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		46

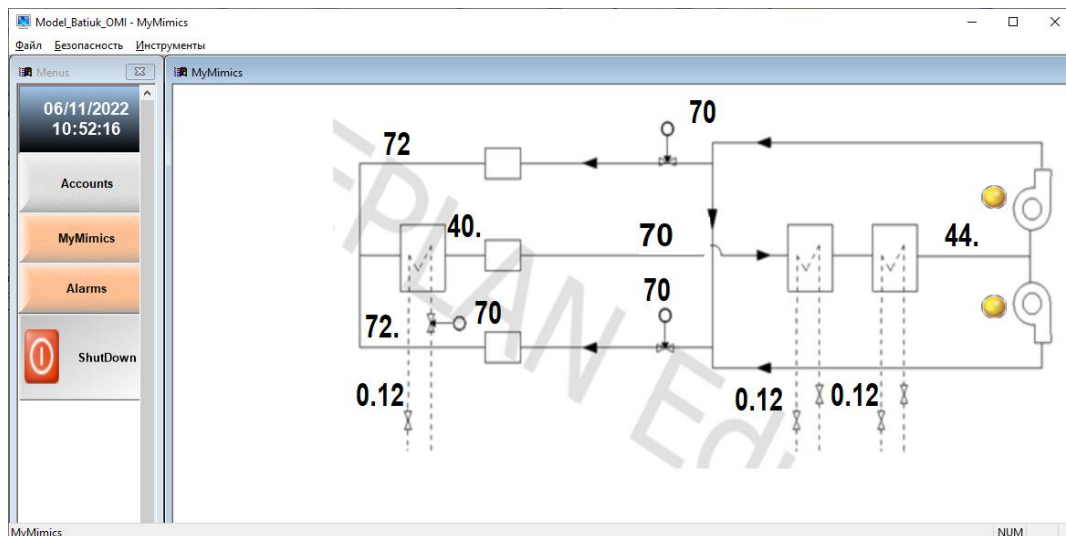


Рис 4.5 Відображення роботи системи охолодження струмопроводів

У вікні аварій показується на якому датчику є помилка, коли ця помилка виникла, повідомлення яке говорить що потрібно зробити. Після вирішення проблеми датчика повідомлення зникає.

Tag Name	Display ...	Activation Ti...	Message	Ack Time	Event Time
T14	44.000000	06/11/2022 10:52:59	недостатнє охолодження ...		06/11/2022 10:52:59

Рис 4.6 Вікно аварій

5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОСТІ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СТРУМОПРОВОДІВ НА РІВНЕНСЬКІЙ АЕС

5.1. Кошторис на закупівлю та монтаж обладнання системи охолодження струмопроводів Рівненської АЕС

Щоб зрозуміти чи доцільно автоматизувати дану систему, потрібно скласти кошторис на придбання обладнання та його монтаж. У таблиці 5.1 вказано кошторис для автоматизації даної системи.

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
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14
1	7NG3211-ONN00	Термоперетворювач опору SITRANS TH100	шт	4	0,04	0,168	229	34,35	1,37	916	137,40	5,50
2	M5050	Перетворювач тиску "САФІР"	шт	3	7	21	7500	1125	45,00	22500	3375,00	135,00
3	EASY-E4-UC-12RC1	Програмно-логічний контролер	шт	1	0,22	0,215	9000	1350	54,00	9000	1350,00	54,00
4	EASY-E4-DC-12TC1	Модуль розширення контролера	шт	2	0,77	1,54	11243	1686,5	67,46	22486	3372,90	134,92
5	EASY-E4-DC-16TE1	Модуль розширення контролера	шт	1	0,77	0,77	11243	1686,5	67,46	11243	1686,45	67,46
7	PSU300S	Блок живлення для 3-х фазної лінії	шт	1	1,6	1,6	3360	504	20,16	3360	504,00	20,16
8	AD16-16DS	Свідлоподібний індикатор ABB	шт	7	0,02	0,14	37	5,55	0,22	259	38,85	1,55
9	309071-01	Короб пластиковий перфорований 20х20 мм	м	2,3	0,08	0,184	48,8	7,32	0,29	112,24	16,84	0,67
10	YDN10-0025	DIN-рейка	шт	4	0,6	2,4	36,26	5,439	0,22	145,04	21,76	0,87
11	KXA0412	Силовий клемник 3-х контактний	шт	15	0,1	1,5	161,64	24,246	0,97	2424,6	363,69	14,55
12	LXB50A	Клема 24В	шт	50	0,02	0,75	14,04	2,106	0,08	702	105,30	4,21

Продовження таблиці 5.1

13	ETIMAT 63p D	Вимикач автоматичний 3-х полюсний	шт	3	0,35	1,035	501	75,15	3,01	1503	225,45	9,02
14	0 362 34/56/76	Щит 720 x 510 x 250	шт	1	12,3	12,3	2000	300	12,00	2000	300,00	12,00
15	NV230A-TCP	Електричний винювчий мезаніх Belimo	шт	2	1,32	2,64	8876	1331,4	53,26	17752	2662,80	106,51
16	NM230A	Електричний винювчий мезаніх Belimo	шт	1	1,32	1,32	8876	1331,4	53,26	8876	1331,40	53,26
17	ВВГ	Кабель силовий	м	70	0,27	18,83	41,25	6,1875	0,25	2887,5	433,13	17,33
18	КВВГ	Кабель контрольний 2х1	м	90	0,08	7,2	35	5,25	0,21	3150	472,50	18,90
19	КВВГ	Кабель контрольний 3х1,5	м	50	0,09	4,7	73	10,95	0,44	3650	547,50	21,90
20	КВВГ	Кабель контрольний 4х1,5	м	30	0,12	3,63	98	14,7	0,59	2940	441,00	17,64
		Усього				81,922				115906,38	17385,96	695,44
		Транспортні витрати								229,38		
		Комплектація обладнання								1159,06		
		Заготівельно-складські витрати								1390,88		
		Тара та упакування								2318,13		
		Планові накопичення									2260,17	
		Напередбачені витрати								11590,64	1738,60	
		Усього по кошторису								132594,47	21384,73	
		Загальна вартість								153979,19		

5.2. Розрахунок окупності автоматизації системи охолодження струмопроводів на Рівненській АЕС

Щоб визначити чи доцільна дана система потрібно розрахувати показники ефективності для даної системи:

Річний економічний ефект:

$$E_{\phi} = \Delta U - E_n \cdot \Delta K_{авт} \quad (5.1)$$

де E_n - коефіцієнт ефективності,

ΔU - економія експлуатаційних витрат,

$\Delta K_{авт}$ - капіталовкладення на створення системи автоматизації системи охолодження струмопроводів.

Капіталовкладення в систему охолодження струмопроводів становити:

$$\Delta K_{авт} = 153749.81 \text{ грн}$$

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K_{авт}}{\Delta U} \quad (5.2)$$

Автоматизація системи охолодження струмопроводів є ефективною якщо:

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

Економія витрат:

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

де $\Delta B_{авт}$ - додаткові витрати на обслуговування;

$E_{\kappa} = 250000$ - економія від автоматизації системи охолодження струмопроводів Рівненської АЕС

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

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

$B_a = 0.12 \cdot \Delta K_{авт} = 0.12 \cdot 153749.81 = 18500 \text{ грн/рік}$ - амортизаційні відрахування

$B_p = 0.15 \cdot \Delta K_{авт} = 0.15 \cdot 153749.81 = 23062.47 \text{ грн/рік}$ - витрати на ремонт та обслуговування системи

$$B_z = n \cdot T \cdot 3П \quad (5.6)$$

B_z - витрата на заробітну плату, $n = 1$ людина, $T = 12$ місяців, $3П$
 $= 6700 \text{ грн/міс}$

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

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

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

B_e - витрата на електроенергію, $C_e = 1.68 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$ - тариф на електроенергію, $N = 9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ - потужність всього обладнання автоматизації, $T = 3960 \frac{\text{год}}{\text{рік}}$ - час роботи системи автоматизації;

З формули (5.7) отримуємо:

$$B_e = 1.68 \cdot 9 \cdot 3960 = 59875.2 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

З формули (5.5) отримуємо:

$$\Delta B_{\text{авт}} = 59875.2 + 80400 + 23062.47 + 18500 = 181837.67 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

З формули (5.4) отримуємо:

$$\Delta U = 250000 - 181837.67 = 68162.33 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

З формули (5.1) отримуємо:

$$E_{\phi} = 68162.33 - 0.15 \cdot 153749.81 = 45100 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

З формули (5.2) отримуємо:

$$T_{\text{ок}} = \frac{153749.81}{68162.33} = 2.25 \text{ роки}$$

Оскільки отримане значення часу окупності системи дорівнює 2 роки та 3 місяців, то згідно формулі (5.3), це означає що дана система автоматизації струмопроводів на Рівненській АЕС є економічно вигідною.

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

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Оскільки дана робота має суто теоретичний характер і пов'язана із дослідженням впливу передачі тепла від повітря до води для системи охолодження струмопроводів, що потребує використання засобів обчислювальної техніки, то у даному розділі з охорони праці з урахуванням вимог ДСанПін 3.3.2-007-98 «Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та діючого Положення «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» визначені основні заходи щодо забезпечення комфортних та безпечних умов праці користувача ВДТ ПЕОМ при виконанні науково-дослідної роботи.

Основна увага приділена питанням відповідності умов праці існуючим санітарним нормам, визначені основні заходи з електробезпеки, запропоновані відповідні технічні рішення та організаційні заходи із гігієни праці і виробничої санітарії, а також визначені основні заходи з пожежної безпеки та профілактики.

6.1. Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні наукової-дослідницької роботи

При використанні засобів обчислювальної техніки, користувач ВДТ ПЕОМ може піддаватися впливу наступних шкідливих і небезпечних виробничих факторів:

- небезпека ураження електричним струмом;
- електромагнітні випромінювання ВДТ ПЕОМ;
- електростатичне поле між екраном монітору і оператором;
- невідповідність освітлення робочих місць санітарним нормам – умови освітленості повинні задовольняти нормам, відзначеним у ДБН В.2.5-28-2018;
- невідповідність параметрів мікроклімату та складу повітря існуючим санітарним нормам ;
- підвищена напруженість електричного поля промислової частоти на робочому місці (ДСНіП № 239);

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		52

- підвищений рівень виробничого шуму (ДСН 3.3.6.037-99).
- можливість виникнення пожежі тощо.

6.2. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1. Електробезпека

Згідно з НПАОП 40.1-1.21-98 приміщення науково-дослідної лабораторії відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки ураження персоналу електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, матеріал підлоги – неструмопровідний (лінолеум вкритий ковраліном), температура повітря не перевищує 35°C, відсутні хімічно агресивні середовища, також відсутня можливість одночасного торкання людини до металоконструкцій будови, апаратам, механізмам, металічним корпусам, які мають з'єднання з землею – з одного боку, та до електропровідних частин електрообладнання з іншого боку.

Живлення засобів обчислювальної техніки та контрольно-вимірювальної апаратури здійснюється в лабораторії від 5-ти провідної електромережі змінної напруги (220 В), із зануленням (система заземлення TN-S)/ Використовується пристрій максимального струмового захисту, що забезпечує захисне відключення напруги живлення мережі при аварійному режимі роботи електрообладнання.

Відповідно до ДСТУ ІЕС 61140:2015 основне електроустаткування у робочому приміщенні (крім ВДТ ПЕОМ - II клас) відноситься за електрозахистом до I класу, так як воно має робочу ізоляцію і підключається до електромережі за допомогою трьохконтактних вилок, один з виводів яких підключений до заземленого виводу розетки. Підключення устаткування виконане відповідно до вимог ПУЕ-2017 та НПАОП 40.1-1.21-98.

Виконаємо розрахунок ланцюга захисного відключення фазного проводу при короткому замиканні.

Струм короткого замикання можна обчислити за формулою:

$$I_{KZ} = \frac{U_F}{R_0 + R_F + Z_{TR/3}} \quad (A)$$

					ТА8117.0007.001.АТХ.ІІ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

де: $U_F = 220 \text{ В}$ — величина фазної напруги;

$R_F = 3 \text{ Ом}$ — опір фазного проводу;

$R_0 = 3 \text{ Ом}$ — опір нульового проводу;

$Z_{TR/3} = 0,12 \text{ Ом}$ — еквівалентний опір трансформатора.

$$I_{KZ} = \frac{220}{3 + 3 + 0.12} = 35.95 \text{ (А)}$$

Для надійної роботи автомату максимального струмового захисту з електромагнітним розчеплювачем струм спрацьовування (I_C) повинен бути в 1,4 рази менше струму короткого замикання (при струмі короткого замикання до 100 А).

$$I_C < \frac{35.95}{1.4} = 25.68 \text{ (А)}$$

Таким чином, струм спрацьовування автомату максимального струмового захисту повинен бути менше 25.68 А. Цим умовам відповідають сучасні автомати зі струмом спрацьовування 15 А та часом спрацьовування близько 0,1 с., які встановлені у робочому приміщенні.

Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при короткому замиканні (I_{K3}):

$$U_{\text{дот}} = I_{K3} \cdot R_3 = 25.68 \cdot 3 = 77.04 \text{ (В)}$$

Відповідно до ПУЕ-2017 (див. таблицю 6.1) максимально допустима напруга дотику при часі спрацьовування автомату струмового захисту $< 0,1 \text{ с}$ дорівнює 500 В.

Таблиця 6.1 Допустимі значення напруг

t (сек)	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	>1 сек. до 5 сек.
$U_{\text{доп.дот}}$ (В)	500	400	200	130	100	65

Опір заземлюючого пристрою повинен бути: $R_3 < 4 \text{ Ом}$, що відповідає вимогам ПУЕ-2017. В робочому приміщенні виконуються всі вимоги з електробезпеки. Гранично допустимі значення струмів і напруг дотику при нормальному і аварійному режимах роботи електрообладнання відповідають вимогам ПУЕ-2017.

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		54

Таким чином, нема необхідності у прийнятті в робочому приміщенні лабораторії додаткових заходів з електробезпеки.

6.2.2. Вимоги щодо організації робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

Облаштування робочих місць, обладнаних ЕОМ, ВДТ, повинно виконуватись з урахуванням вимог:

- ДСТУ ISO 9241-3-2001_Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 3. Вимоги до відеотерміналів (ISO 9241-31992, IDT);
- ДСТУ ISO 9241-62004_Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 6. Вимоги до робочого середовища;
- ДСанПін 3.3.2.007-98_Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин;

Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ЕОМ та виконуються їх обслуговування, налагодження і ремонт, повинні відповідати вимогам: СНиП 2.09.02-85 “Производственные здания”, СНиП 2.09.04-87 “Административные и бытовые здания”, “Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей”, затверджених Головдерженергонаглядом з доповненнями, затвердженими наказом Держкоммістобудування України від 29.12.94 № 106, СН 512-78 “Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин”, ДСанПін 3.3.2.-007-98 “Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин“, затверджених МОЗ України 10.12.98.

Приміщення мають бути обладнані системами водяного опалення, кондиціонування або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5 – 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» та СНиП 2.04.05-91.

Згідно з “Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями” площу приміщень визначають із розрахунку, що на одне робоче місце вона має становити не менше ніж 6 м², а об’єм не менше ніж 20 м³ з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні. Приміщення являє собою кімнату розміром 6 х 6 м., висотою 4 м. Розмір дверного

профізу	1,5м.				ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		55

6.2.3. Вимоги до освітлення робочих місць

Приміщення повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5–28–2018. Природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %. Розрахунки коефіцієнта освітленості проводяться відповідно до ДБН В.2.5–28–2018.

Приміщення (робоча кімната), площею 8 х 5 м, має бічне природне та штучне освітлення. Природне світло проникає через бічні світлопрорізи - два вікна розміром 1.5х1.3м кожне. В якості джерела штучного світла використовується люмінесцентні лампи низького тиску ARS/R418, розміщені по 4 шт. в 8 світильниках, розташованих на поверхні підвісної стелі у 2 ряди.

Перевіримо освітленість, що забезпечується загальним рівномірним штучним освітленням.

Для визначення освітленості застосуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку:

$$E = N \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta / (S \cdot K_3 \cdot Z)$$

де: $N = 8$ – кількість світильників у приміщенні;

$\Phi_{\text{л}} = 1150 \cdot 4 = 4600$ (Лм) – світловий потік світильника. (Світильники чотирилампові, марка лампи вказана вище, світловий потік однієї лампи 1150 Лм.)

$S = 40 \text{ м}^2$ – площа освітлюваного приміщення;

η – коефіцієнт використання світлового потоку. Визначається в залежності від індексу приміщення і коефіцієнтів відображення відповідно стелі, стін та підлоги, $\rho_1=0.7$; $\rho_2=0.5$; $\rho_3=0.2$.

$$\text{Індекс приміщення: } \phi = S / (h \cdot (a+b)) = 40 / (2.3 \cdot (5+8)) = 1.34$$

По таблиці вибираємо: $\eta = 0.75$

$K_3 = 1.4$ – коефіцієнт запасу, при використуванні люмінесцентних ламп в приміщеннях з повітряним середовищем, використовуємих як приміщення управління(робочі кімнати).

$Z = 1.2$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення.

$$E = 8 \cdot 4600 \cdot 0.75 / (40 \cdot 1.4 \cdot 1.2) = 410.7 \text{ (Лм)}$$

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Відповідно до ДБН В.2.5–28–2018, для розряду зорових робіт IVв необхідно, щоб комбінована освітленість була не менше 400 Лм. Ця умова виконується.

6.2.4. Виробничий шум

Для умов і характеру робіт у приміщенні, останнє можна класифікувати як приміщення управління (робочі кімнати), рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот наведені у таблиці нижче.

Таблиця-6.2 Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму.

Робочі місця	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньгеометричними значеннями (Гц)									Допустимий рівень звуку (дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Адміністративно - керівна діяльність	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Максимальний рівень шуму, що коливається у часі та передається, не повинен перевищувати 110 дБА. Максимальний рівень для імпульсного шуму не повинен перевищувати 125дБА.

Основними джерелами шуму в лабораторії є вентилятори охолодження внутрішніх систем персональних ЕОМ, система кондиціонування повітря.

Рівні звукового тиску та рівні звуку цих джерел складають:

- рівень шуму, створюваний внутрішніми елементами ПК дорівнює 35 дБ;
- рівень шуму системи кондиціонування повітря на низьких та високих частотах лорівнює 25 та 30 дБ -відповідно.

Визначені рівні звуку потенційних джерел шуму в лабораторії значно нижчі за допустимі значення, що повністю відповідає існуючим санітарним нормам.

6.3. Пожежна безпека

Усі заходи по пожежній безпеці в робочому приміщенні здійснюються згідно з вимогами НАПБ Б.01.014-2007. Правила пожежної безпеки при експлуатації атомних станцій.

Виникнення пожежі можливе у наступних випадках:

- порушення ізоляції струмоведучих дротів;
- КЗ та перевантаження в електромережі;
- порушення правил користування електроінструментом;
- порушення правил експлуатації ПЕОМ та іншої РЕА;
- перевантаження обмоток силового трансформатора;
- аварійної роботи приладів і обладнання, які живляться від даної мережі;
- порушення норм протипожежної безпеки;
- куріння в невстановлених місцях.

Аналіз режиму перевантаження електромережі при КЗ:

- *Термічна дія струмів короткого замкнення*

Температуру провідника (t_{np}), °С, при КЗ в електромережі рахують за формулою:

$$t_{np} = t_n + \frac{I_{к.з}^2 \cdot R \cdot T_{к.з}}{C_{np} m_{np}},$$

де: t_n — початкова температура провідника, °С;

$I_{к.з}$ — струм короткого замкнення, А;

R — опір провідника, Ом; для міді: $R_0 = 0.0175$ (Ом/мм²·м);

$T_{к.з}$ — час короткого замкнення, с;

C_{np} — теплоємність провідника, Дж·кг⁻¹·К⁻¹; для міді: $C_{np} = 380$ Дж·кг⁻¹·К⁻¹;

m_{np} — маса провідника, кг.; питома вага міді = 8.96 кг·дм³;

Проведемо розрахунок:

- електропроводку приміщення виконано мідним провідником з перерізом:

$$S_{nep} = 2.5 \text{ мм}^2 = 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; \quad \text{для міді: } r_0 = 0.0175 \text{ (Ом/мм}^2 \cdot \text{м)},$$

$$R_{np} = r_0 / S_{nep} = 0.0175 / 2.5 = 0.007 \text{ (Ом)},$$

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

$$t_n = 20^{\circ}\text{C}, \quad I_{к.з} = 35.95 \text{ A}, \quad C_{np} = 380 \text{ Дж}\cdot\text{K}^{-1}, \quad T_{к.з} = 0.1 \text{ с},$$

$$\rho_{\text{міді}} = 8.96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3,$$

$$m_{np} = \rho_{\text{міді}} \cdot S_{np} \cdot l_{np} = 8.96 \cdot 10^3 \cdot 2.5 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0.0224 \text{ (кг/м)},$$

$$t_{np} = t_n + I_{к.з} \cdot R_{np} \cdot T_{к.з} / (C_{np} \cdot m_{np}) = \\ = 20 + 35.95 \cdot 0.007 \cdot 0.1 / (380 \cdot 0.0224) = 20.11^{\circ}\text{C}.$$

Робимо висновок, що за час спрацювання запобіжного автомату максимального струмового захисту нагрівання провідників від короткого замкнення проводки в приміщенні майже невідчутне.

- Вогнезаймистість кабелю й провіднику з ізоляцією залежить від значення кратності струму короткого замкнення $I_{к.з}$, (від значення відношення $I_{к.з}$ до тривало-допустимого струму в кабелі або провіднику). Якщо ця кратність більше за 2.5, але менше за 18 - для кабелю і менше за 21 - для провідника, тоді проходить займання полівінілхлоридної ізоляції.

Проводку в приміщенні виконано мідним проводом перерізом: $S = 2.5 \text{ мм}^2$.

Допустима щільність тривалого струму через провідник: $J \leq 3.5 \text{ А/мм}^2$.

Допустимий струм проводки приміщення: $I_{np} \leq 3.5 \cdot 2.5 = 8.75 \text{ А}$.

Вище розрахований струм короткого замкнення: $I_{к.з} = 35.95 \text{ А}$.

Відношення $I_{к.з} / I_{np} = 35.95 / 8.75 = 4.11$. - Одержане в розрахунку значення означає можливість займання ізоляції провідників проводки *при довготривалій дії струму короткого замкнення*.

Захист від займання проводки у випадку короткого замкнення забезпечено встановленням автоматичних запобіжників перевищення струму, з часом зпрацьовування $T \leq 0.1 \text{ с}$, тому умови займання ізоляції проводки - не виконуються (проводка не встигне нагрітись до температури займання).

Пожежа, що може виникнути в приміщенні, відноситься до класу „Е” – так, як в ньому розташоване електрообладнання.

Відповідно до ДСТУ 3675-98, ISO 3941-2007 та НАПБ Б.01.008-2004 "Правила експлуатації вогнегасників" в приміщенні знаходиться вогнегасник: вуглекислотний типу ВВ-5 для гасіння електроустановок під напругою. ВВ-5

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

розташований на висоті 1,5 м від підлоги поруч із вихідним дверним блоком. Розміщення і умови зберігання вогнегасника відповідають вимогам.

В коридорі знаходяться коробка, де є пожежний кран та рукав, а також перебуває вогнегасник типу ВХП-10, пожежний інвентар відповідно до ГОСТ 12.4.009-83.

Телефонний апарат знаходиться в кімнаті секретаря організації. Поруч з ним знаходиться список номерів телефонів виклику міської пожежної охорони.

Приміщення попередньо обладнане датчиками диму та вогню згідно вимог ДБНВ.2.5.-56:2014, у кількості 2 шт, розміщеними на нижній поверхні підвісної стелі. Датчики підключені до станції автоматичної пожежної сигналізації, а також на пульт міської пожежної охорони.

На випадок виникнення пожежі, забезпечена можливість безпечної евакуації людей. Значення основних параметрів шляхів евакуації з робочого приміщення приведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Характеристики і норми еваковиходів.

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	0,85 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	1,4 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	2 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходового маршу	1,3 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1.1 м	Не менше 0,9 м

Дотримано усі вимоги ДБН В.1.1-7-2016 та СНиП 2.09.02-85 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні. Евакуація людей з приміщення проводиться через вихід. В приміщенні є план евакуації людей на випадок виникнення пожежі, де показано розташування пожежних кранів, вогнегасників, телефону. Мінімальний час евакуації відповідає вимогам ДБН В.1.2-7-2008.

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		60

Таким чином в приміщенні лабораторії виконуються всі вимоги з пожежної безпеки згідно з вимогами НАПБ А.01.001-14 «Правил пожежної безпеки в Україні».

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВИСНОВОК

У даній бакалаврському проекті було проведено дослідження існуючих системи охолодження струмопроводів на Рівненській АЕС. Розглянуто контури автоматизації повітроохолоджувача ВО-280/2510/250, на основі якого було розроблено аналітичну модель підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі, за каналами регулювання та збурення для більш точнішого автоматичного керування. Обрахування параметрів налаштування регулятора проводилось за допомогою метода РАФХ та експрес метода ВТІ(2). При порівнянні отриманих результатів роботи ПІ-регулятора за експрес та РАФХ методами було вирішено використати метод РАФХ. Після цього було проведено перевірку оптимальних параметрів налаштування регулятора системи підтримання температури повітря в повітроохолоджувачі на грубість.

В середовищі розробки Codesys V3.5 виконувалося розробка функціонального блоку для контролера EASY-E4-DC-12TC1 компанії Eaton. Функціональний блок для підтримання рівня конденсату був розроблений на мові програмування FBD. Для людинно-машинного інтерфейсу було використано Web studio, де показано інформація системи в дану секунду.

Для перевірки економічної ефективності автоматизації системи охолодження струмопроводів на 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.

					ТА8117.0007.001.АТХ.П	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інструкція з експлуатації. Система вентиляції обдуву струмопроводів ТГ-6.
2. ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМІНУ ДЛЯ ВОДЯНОГО КАЛОРИФЕРА У ПРОСТОРІ СТАНІВ Динамічна модель теплообміну для водяного калорифера у просторі станів. І. М. Голінко, І. Є. Галицька. 2010р.
3. Інструкція з експлуатації. Струмопроводи генераторної напруги пофазно екрановні. Система нормальної експлуатації Блок №3.
4. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС – Одесса: Астропринт, 2001 – 304 с.
5. PI and PID controller tuning rules for time delay process: a summary. Part 2: PID controller tuning rules, 1999. – 346 с.
6. ГОСТ 34.601-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания.

					<i>TA8117.0007.001.ATX.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		63