НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____Володимир ВОЛОЩУК
«___»_____20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

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

на тему: «Автоматична система керування теплопунктом багатоквартирного будинку»

Виконав:
студент IV курсу, групи ТА-92
Ткач Тарас Миколайович _____

Керівник:
доцент к.т.н
Голінко Ігор Михайлович _____

Консультант з охорони праці:
доцент к.т.н
Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент:

_____

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

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики
Кафедра автоматизації енергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Володимир ВОЛОЩУК
«___»_____20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Ткачу Тарасу Миколайовичу

1. Тема проєкту «Автоматична система керування теплопунктом багатоквартирного будинку», керівник проєкту Голінко Ігор Михайлович, доцент, к.т.н, затверджені наказом по університету від «29» травня 2023 р. №2039-с

2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2023

3. Вихідні дані до проєкту Тепловий пункт у підвальному приміщенні з тепловою мережею 150х90°С

4. Зміст пояснювальної записки
Опис теплопункту як об’єкта автоматизації. Розробка математичної моделі системи опалення. Розробка автоматизованої системи керування погодозалежної системи опалення. Технологічні рішення з проектування

системи автоматизації інженерного обладнання будівлі. Охорона праці. економічний розрахунок. Висновки. Список використаних джерел

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

Схема автоматизації функціональна; схема принципова електрична; креслення загального виду щита автоматизації; Схема з'єднань та підключень зовнішніх проводок; Специфікація обладнання.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З питань охорони праці	Каштанов С.Ф.		

7. Дата видачі завдання 22 травня 2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Пояснювальна записка. Розділ 1. Опис теплопункту як об'єкта автоматизації. Схема автоматизації функціональна; Специфікація обладнання.	26.05.2023	
	Пояснювальна записка. Розділ 2. Розробка математичної моделі системи опалення	30.05.2023	
	Пояснювальна записка. Розділ 3. Розробка автоматизованої системи керування погодозалежної системи опалення	02.06.2023	
	Пояснювальна записка. Розділ 4. Технологічні рішення з проектування системи автоматизації інженерного обладнання будівлі.	05.06.2023	
	Схема принципова електрична; креслення загального виду щита автоматизації; Схема з'єднань та підключень зовнішніх проводок;	10.06.2023	
	Пояснювальна записка. Розділ 5. Охорона праці.	11.06.2023	
	Пояснювальна записка. Розділ 6. Економічний розрахунок. Висновки	13.06.2023	
	Нормконтроль	15.06.2023	
	Попередній захист дипломного проєкту	16.06.2023	
	Захист	21.06.2023	

Студент Тарас ТКАЧ
Керівник Ігор ГОЛІНКО

АНОТАЦІЯ

У дипломному проекті було розроблено систему автоматичного керування теплопунктом багатоквартирного будинку. У ході виконання проекту, було ознайомлено з об’єктом автоматизації та з його основними характеристиками. Було розроблено такі креслення: функціональна схема автоматизації, принципова електрична схема, підключення зовнішніх проводок та креслення загального виду щита.

Також була створена пояснювальна записка, яка складається з 6 розділів: Опис теплопункту як об’єкта автоматизації та постановка задачі, розробка математичної моделі системи опалення, розробка автоматизованої системи керування погодозалежної системи опалення, технологічні рішення з проектування системи автоматизації інженерного обладнання будівлі, охорона праці та економічний розрахунок.

У першому розділі було розглянуто можливі варіанти підключення теплопунктів до центральної мережі та розглянуто існуючі варіанти автоматизації. Також було поставлено задачу автоматизації.

Другий розділ складається з отримання експериментальних даних, їх згладжування, нормування та апроксимації.

В третьому розділі було розроблено структурну схему АСР, розраховано регулятор та проведено перевірку системи на грубість.

В четвертому розділі було обрано ПЛК та проведено розробку контуру управління температурою зворотного теплоносія. Також розроблено SCADA систему.

П’ятий розділ присвячено охороні праці. Особливу увагу приділено пожежобезпеці та електрозахисту.

В шостому розділі було складено кошторис проекту.

ABSTRACTS

In the thesis project, a system of automatic control of the heating station of an apartment building was developed. In the course of the project, the automation object and its main characteristics were studied. The following drawings were developed: a functional automation diagram, a schematic electrical diagram, external wiring connections, and a general view of the panel.

An explanatory note consisting of 6 sections was also created: Description of the heating station as an automation object and task statement, development of a mathematical model of the heating system, development of an automated control system for a weather-dependent heating system, technological solutions for designing an automation system for building engineering equipment, occupational safety and economic calculation.

The first section discussed possible options for connecting heating stations to the central network and reviewed existing automation options. The automation task was also set.

The second section consists of obtaining experimental data, smoothing, normalizing and approximating them.

In the third section, we developed a structural diagram of the automatic control system, calculated the controller, and tested the system for roughness.

In the fourth section, a PLC was selected and a control loop for the return coolant temperature was developed. The SCADA system was also developed.

The fifth section is devoted to labor protection. Particular attention is paid to fire safety and electrical protection.

In the sixth section, the project cost estimate was made.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ОК – об’єкт керування;

АСР – автоматична система регулювання

ВМ – виконавчий механізм;

РО – регулюючий орган;

ПЛК – програмований-логічний контролер;

ПЗ – програмне забезпечення;

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition;

РАФХ – розширена аплітудо-фазо-частотна характеристика;

АФЧХ РС – амплітудо-фазо-частотна характеристика розімкненої системи.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматична система керування теплопунктом багатоквартирного будинку»

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ВСТУП 10

РОЗДІЛ 1. ОПИС ТЕПЛОПУНКТУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ . 11

1.1. Огляд технологій 11

1.2. Огляд існуючих систем автоматизації системи 14

1.3. Основні технічні характеристики системи 18

1.4. Постановка задачі автоматизації 18

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ 20

2.1. Отримання експериментальних даних для обраної системи 20

2.2. Згладжування експериментально отриманих даних 24

2.3. Нормування розгінних характеристик 29

2.4. Апроксимація розгінних характеристик 32

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОГОДОЗАЛЕЖНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ 35

3.1. Структурна схема АСР 35

3.2. Розрахунок параметрів регулятора методом РАФХ 36

3.4. Розрахунок параметрів налаштування інженерним методом 38

3.5. Аналіз отриманих налаштувань регулятора 39

3.6. Розрахунок АСР на грубість 43

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ З ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ БУДІВЛІ 47

4.1. Вибір ПЛК для автоматизації інженерного обладнання будівлі 47

4.2. Програмування ПЛК 49

4.3. Людино-машинний інтерфейс для керуванням теплопунктом 56

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ 60

5.1. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації 60

5.1.1 Електробезпека 60

5.2. Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії 63

5.2.1. Мікроклімат 63

5.2.2. Виробниче освітлення 63

5.2.3. Виробничий шум 64

5.3. Пожежна безпека та профілактика 64

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК 68

ВИСНОВКИ 72

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 73

ВСТУП

Одним із найважливіших об’єктів у сучасному будинку є тпловий пукт. У тепловому пункті відбувається підключення будинку до центральної тепломережі. Також в тепловому пункті ведеться контроль за спожитою теплоенергією та за параметрами прямої та зворотної води.

На сьогоднішній час автоматизація теплопункту є дуже важлива. В Україні більшість будинків побудовані ще за часів СРСР, де не було жодної автоматизації і ефективність опалення була дуже низькою. Автоматизація дозволить таким будинкам раціонально використовувати тепло, що знизить витрати на опалення будинку.

РОЗДІЛ 1. ОПИС ТЕПЛОПУНКТУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Огляд технологій

Тепловий пункт – це спеціальне приміщення, яке використовується для підключення систем опалення, гарячого водопостачання та вентиляції будинків до теплової мережі. З точки зору технологічного процесу системи опалення поділяються на залежні системи без змішування води, залежні зі змішуванням та незалежні системи опалення. Технологічна схема залежного опалення без змішування води представлена на рисунку 1.1.

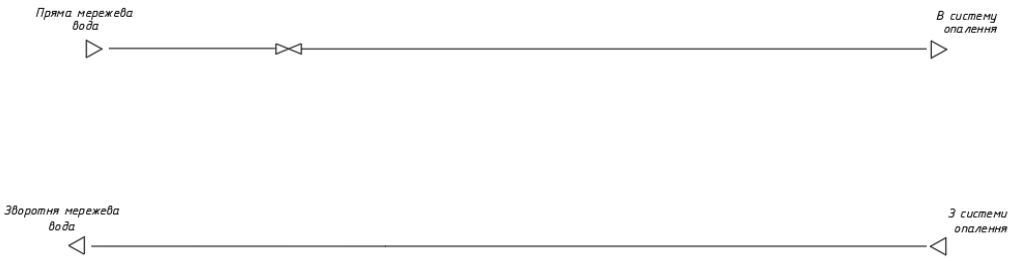

Рисунок 1.1 - Залежна система опалення без змішування

Якщо використовується таке підключення, то теплоносій з тепломережі напряму, без змішування, поступає у систему опалення споживача, після чого, по зворотному трубопроводі повертається до котельні. Така система рахується найбільш простою та зручною у використанні. Застосовують таку систему, якщо температури теплоносія в системі опалення та в тепломережі співпадають. Температура теплоносія, як правило, не повинна перевищувати 95°С. [1]

Якщо температура теплоносія в мережі перевищує 95°С, то потрібно її понижувати. Для зниження температури теплоносія можуть бути використані різні варіанти підключення.

Підключення за допомогою вузла змішування, з використанням елеватора. Технологічна схема такого підключення зображена на рисунку 1.2. Елеватор використовується для змішування прямої води 1 зі зворотною (2),

цим самим зменшуючи температуру води (3), яка поступає в систему опалення (5).

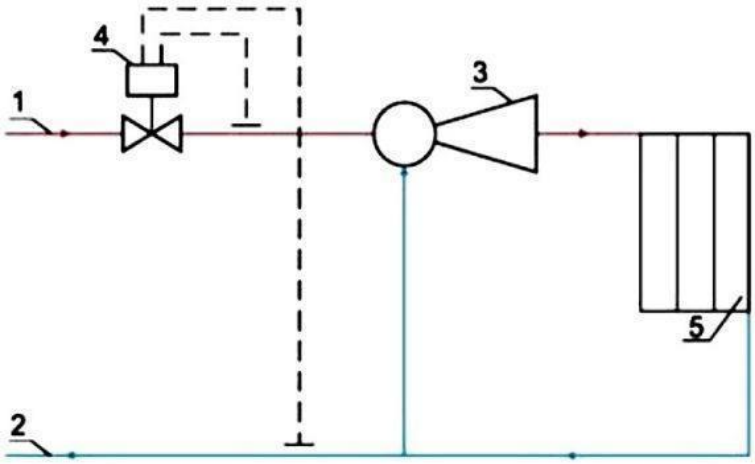

Рисунок 1.2 - Схема підключення елеватора

Встановлення перемички з циркуляційним насосом між подачею та зворотною водою.

Встановлення циркуляційного насоса на зворотному трубопроводі і регулятором теплового потоку з трьох ходовим або одноходовим клапаном. Регулювання температури відбувається за допомогою відкриття чи закриття клапана, цим самим змінюється пропорція подачі прямої та зворотної води у систему опалення.

У всіх схемах підключення здійснюється контроль температури прямої та зворотної води. Також вимірюється температура повітря. На основі отриманих даних здійснюється регулювання температури води, яка постачається у систему опалення.

Отож можна навести такі переваги індивідуального теплового пункту, який підключений за залежною схемою опалення:

1) менша вартість встановлення;
2) простота налаштування;
3) стабільність тиску в середині трубопроводу;

4) наявність ходового клапана, що дозволяє подавати мережеву воду без змішування.

Варіанти схем підключень зображено на рисунку 1.3.

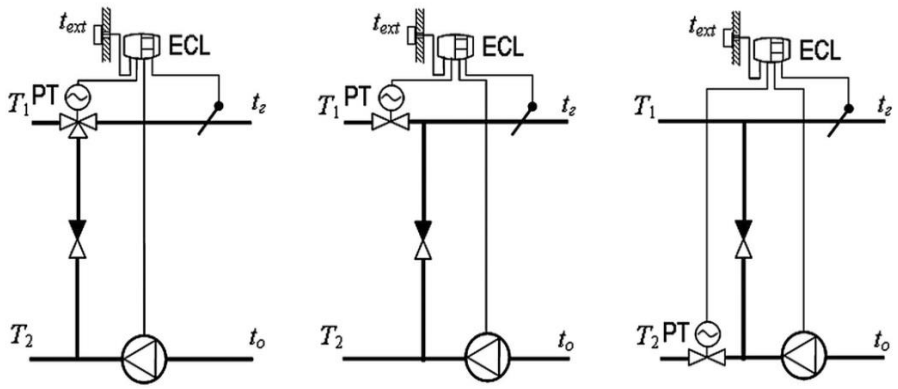

Рисунок 1.3 - Схеми підключення з використанням циркуляційного насоса на клапану

Індивідуальний тепловий пункт багатоквартирного будинку може бути підключений за незалежною схемою опалення. Таке підключення використовується для висотних будинків. В даній схемі немає змішування мережевої води та води, яка циркулює в системі опалення. Для передачі тепла, використовується теплообмінник. Найчастіше використовуються пластинчасті теплообмінники через свою ефективність. Циркуляція води у внутрішньому контурі здійснюється за допомогою насосів. Регулювання температури води здійснюється на основі отриманих даних з давачів температури води внутрішнього та зовнішнього контору, а також температури зовнішнього повітря. В залежності від отриманих даних, клапан, який знаходиться перед теплообмінником змінює своє положення. Схема підключення незалежної системи опалення зображена на рисунку 1.4.

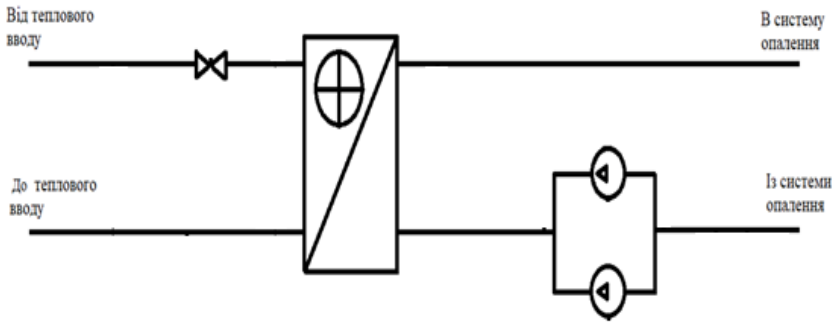

Рисунок 1.4 - Незалежна система опалення

Отож можна навести такі переваги незалежної системи:

1) хороша якість води, тому, що вода з магістралі не подається на пряму в систему опалення;
2) незалежність контурів опалення від перепаду тиску в тепломагістралі та гідроударів;
3) можливість подавати тепло у багатоповерхівки (9 та більше поверхів).

1.2. Огляд існуючих систем автоматизації системи

Для того, щоб економічно-ефективно використовувати теплоенергію, потрібно автоматизувати теплопункти. Автоматизація дозволить працювати об’єкту безперебійно та без втручання людини.

Можна виділити наступні задачі автоматизації теплопункту:

1) контроль температури прямої води (опалення);
2) контроль температури навколишнього середовища;
3) контроль теплоспоживання за допомогою теплолічильника;
4) регулювання температури зворотної води;
5) регулювання тиску води;
6) регулювання температури гарячої води (в системі ГВП).

Регулювання температури води, потрібне для того, щоб споживач, не залежно від температури зовнішнього повітря, отримував воду заданої

температури. Регулювання температури зворотної води, здійснюється за допомогою відкриття, або закриття клапана, що подає мережеву воду.

Розглянемо одноконтурну схему керування, схема якої зображена на рисунку 1.5.

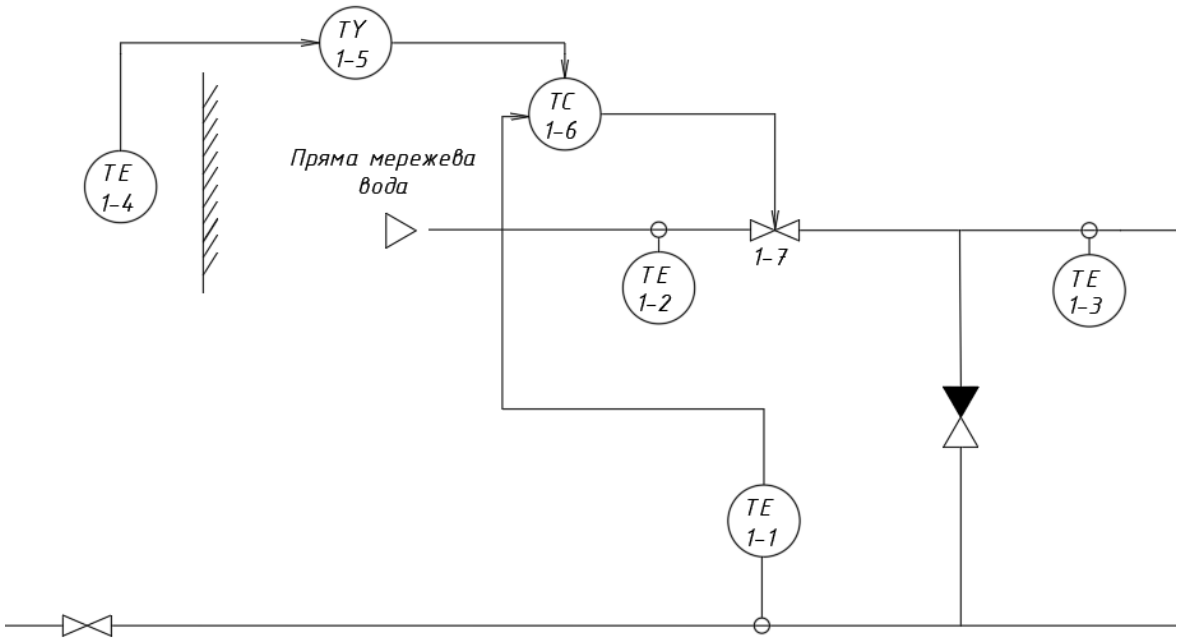

Рисунок 1.5 - Одноконтурна система керування

Для автоматизації залежної системи опалення, де потрібно регулювати температуру зворотного теплоносія можна використовувати одноконтурну систему керування. Контроль температури зворотного теплоносія здійснюється датчиком температури (поз. 1-1). Сигнал з датчика температури надходить на регулятор (поз. 1-6), також на регулятор (поз. 1-6) надходить інформація про температуру зовнішнього повітря, яка вимірюється датчиком температури (поз. 1-4). Інформація з датчика (поз. 1-4) використовується для програмного отримання мережевого графіка (поз. 1-5), який являє собою завдання для цього контору регулювання. Дійсне значення температури зворотного теплоносія порівнюється з завданням, і в разі розбалансу, розраховується регулюючий сигнал, який подається на регулюючий клапан (поз. 1-6).

Для автоматизації системи опалення, може бути використана каскадна схема керування. Вона використовується, якщо довжина трубних ліній системи опалення є дуже великою. Каскадна система керування в такому випадку дає можливість компенсувати нелінійності та велике транспортне запізнення, яке виникає в системі залежного опалення. Недолік каскадної системи регулювання є в тому, що потрібно розраховувати два регулятори, що є значно складнішим ніж в одноконтурній системі. Схема каскадної системи регулювання зображена на рисунку 1.6.

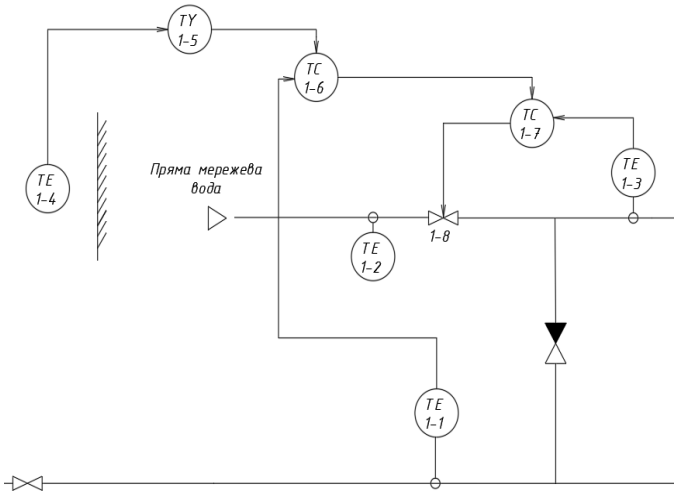

Рисунок 1.6 - Каскадна система керування

В даній системі регулятор (поз. 1-6) отримує сигнал від датчика температури води на виході з системи (поз.1-1). Також на регулятор (поз. 1-5) поступає сигнал від датчика температури зовнішнього повітря (поз. 1-4) у вигляді завдання. Інформація з датчика (поз. 1-4) використовується для програмного отримання мережевого графіка (поз. 1-5), який являє собою завдання для цього контору регулювання. Вихід з регулятора (поз. 1-6) є завданням для внутрішнього контуру регулювання. Завдання зі зовнішнього контуру регулювання поступає на регулятор (поз. 1-7). Також на регулятор (поз. 1-7) поступає інформація з датчика температури води, після змішування (поз. 1-3). Дійсне значення температури води порівнюється з уставкою, і в

разі розбалансу, розраховується регулюючий сигнал, який подається на регулюючий клапан (поз. 1-8).

Для нормальної циркуляції води у системі використовується насосна група, яка включає в тебе два циркуляційні насоси, що підключені паралельно і працюють по черзі. Насосна група може розміщуватися як на прямому трубопроводі, так і на зворотному. Схема автоматичного керування насосною групою зображена на рисунку 1.7.

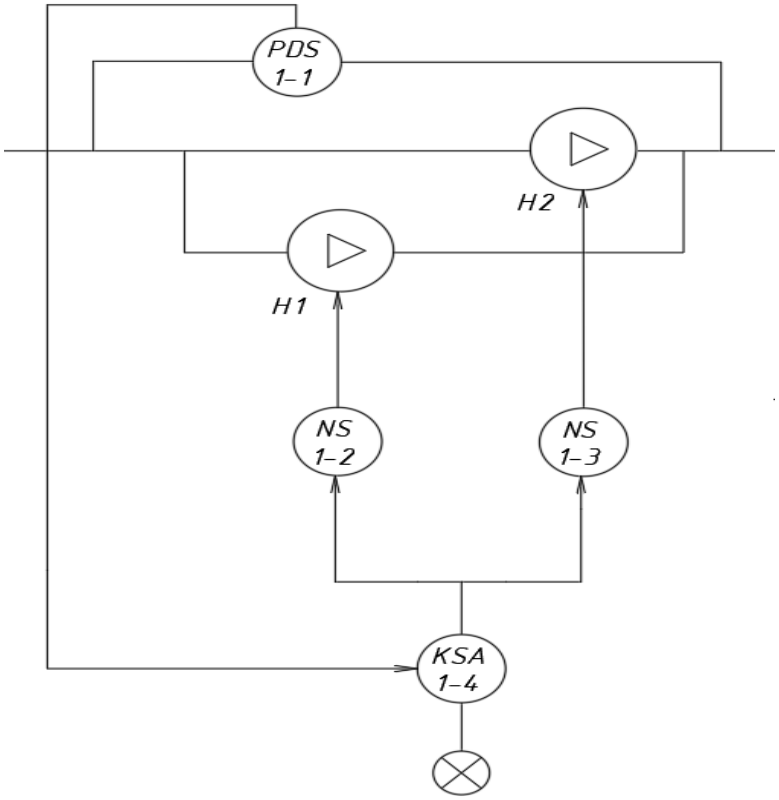

Рисунок 1.7 - Підключення насосів

На насосній групі встановлений датчик перепаду тиску (поз. 1-1), який показує чи є перепад на насосній групі. Відсутність перепаду тиску, може значити, що насос має несправність. При надходженні такої інформації один насос стає в аварійний режим, а інший постійно працює, забезпечуючи циркуляцію води в системі. Вмикання насосів відбувається за допомогою магнітних пускачів (поз. 1-2, 1-3). Для того, щоб відбувалося перемикання між насосами використовується реле часу (поз. 1-4). На реле часу приходить

інформація про перепад тиску, в разі несправності вмикається світлова сигналізація і система переходить в аварійний режим роботи. Якщо все працює штатно, то насоси почергово перемикаються через заданий проміжок часу.

1.3. Основні технічні характеристики системи

В даному дипломному проекті розглядається залежна система опалення. Основні технічні характеристики даної системи наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні технічні характеристики індивідуального теплового пункту

Режимний параметр	**Значення**	**Відхилення**
Температура прямої води в трубопроводі	150 °С	+-5°С
Температура прямого теплоносія мережі опалення	80 °С	+-3°С
Температура зворотного теплоносія мережі опалення	50 °С	+-3°С
Перепад тиску на насосах	100 кПа	+-20кПа
Температура прямої води в систему ГВП	70 °С	+-2°С
Витрата теплоносія	16 м3/год	
Тиск у прямому трубопроводі	0.65 МПа	+-0.5МПа
Тиск у зворотному трубопроводі	0.31 МПа	+-0.5 МПа

1.4. Постановка задачі автоматизації

Автоматизація теплопунктів багатоповерхівок є дуже важливою задачею в наш час. Системи опалення поділяються на два типи: залежна система та незалежна система опалення. Найбільше розповсюдження отримала залежна система опалення. В Україні багато будинків часів СРСР, в які встановлювалися теплопункти без будь-якої автоматизації, тому зараз дуже важливо впроваджувати в такі будинки автоматизацію, що дозволить

ефективно використовувати теплоенергію та заощадити кошти мешканців будинку. Автоматизація повинна бути виконана на сучасному рівні, з використанням контролера та погодного регулювання температури зворотного теплоносія.

Для автоматизації теплопункту потрібно вирішити наступні завдання:

1) визначити динамічні характеристики об’єкта керування експериментальним шляхом;
2) розрахувати контур регулювання температури зворотного теплоносія;
3) розробити проектну документацію (функціональну схему автоматизації, електричну схему, схему щита, підключення зовнішніх проводок). Також розробити програмне забезпечення для контролера та верхнього рівня керування (SCADA - систему);
4) розробити рішення по техніці безпеки теплопункту;
5) розрахувати економічну доцільність системи автоматизації теплопункту багатоквартирного будинку.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

2.1. Отримання експериментальних даних для обраної системи

Найбільш поширеним методом експериментального визначення динамічних властивостей об’єкта керування є метод часових характеристик [2]. Для використання даного методу потрібно нанести тестові збурення та дослідити після цього поведінку об’єкта керування.

Для дослідження динамічних властивостей незалежної системи опалення спочатку систему вивели на статичний режим роботи, після цього система була переведена в ручний режим керування. Шляхом ступінчатого впливу на регулюючий клапан з’являється можливість зняття розгінних характеристик температури зворотного теплоносія в системі опалення.

Було проведено три експерименти, де кожен тривав доти, поки вихідна величина не вийде на уставлений режим. Упродовж кожного експерименту, з періодичністю 2 хвилини, були зняті експериментальні дані, які записано у таблиці 2.1. В першому експерименті проводилося закриття клапана подачі мережевої води з 90% до 60%, другому — відкриття клапана з 60% до 70%, третьому — відкриття клапана з 70 до 85%.

Таблиця 2.1 - Експериментальні дані трьох експериментів

	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3
t, хв	$T_{зв}$, ºС	$T_{зв}$, ºС	$T_{зв}$, ºС
0,0	69,7	46,4	54,2
2,0	70,7	46,2	54,1
4,0	71,0	46,1	54,3
6,0	70,5	46,5	54,2
8,0	70,1	46,5	54,2
10,0	69,9	46,1	54,1
12,0	69,5	46,1	54,2
14,0	70,1	46,3	54,1
16,0	69,5	46,5	54,1
18,0	70,7	46,6	54,1
20,0	70,0	47,0	54,6

Продовження таблиці 2.1

t, хв	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3
22,0	67,4	47,2	55,1
24,0	66,8	48,1	55,8
26,0	64,8	48,3	56,7
28,0	63,5	48,7	57,3
30,0	62,5	48,9	57,9
32,0	61,7	49,3	58,3
34,0	59,9	49,3	59,0
36,0	58,7	49,8	59,1
38,0	59,2	50,3	59,7
40,0	58,8	50,2	60,2
42,0	56,9	50,7	60,5
44,0	56,9	50,7	61,0
46,0	55,1	51,1	61,1
48,0	54,7	51,0	61,4
50,0	55,0	51,4	61,6
52,0	53,6	51,8	62,0
54,0	54,4	51,8	62,4
56,0	52,5	52,0	62,5
58,0	53,0	52,0	62,7
60,0	51,7	52,3	62,9
62,0	51,8	52,5	63,3
64,0	51,9	52,5	63,3
66,0	51,3	52,5	63,6
68,0	50,3	52,6	63,7
70,0	51,2	52,8	63,9
72,0	49,5	52,7	64,1
74,0	49,8	52,9	64,1
76,0	49,6	53,0	64,3
78,0	49,3	53,0	64,5
80,0	49,9	52,8	64,7
82,0	49,3	53,5	64,3
84,0	49,1	53,3	64,6
86,0	47,8	53,6	64,7
88,0	48,5	53,3	64,8
90,0	47,8	53,7	64,8

Кінець таблиці 2.1

t, хв	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3
92,0	48,0	53,8	65,1
94,0	47,6	53,6	65,3
96,0	48,0	53,7	65,2
98,0	47,3	53,7	65,3
100,0	47,9	53,5	65,0
102,0	47,2	53,6	65,3
104,0	47,9	53,8	65,5
106,0	46,6	53,8	65,3
108,0	47,9	54,0	65,3
110,0	46,5	54,0	65,5
112,0	46,8	53,8	65,8
114,0	46,0	54,0	65,2
116,0	47,0	54,2	65,5
118,0	47,8	54,2	65,8
120,0	46,4	53,7	65,7
122,0	46,0	53,9	65,6
124,0	46,6	53,9	65,8
126,0	45,9	53,8	65,7
128,0	47,0	54,0	65,5
130,0	47,3	54,4	65,7
132,0	46,3	54,1	66,1
134,0	47,4	53,9	65,8
136,0	46,4	54,2	65,6

На основі отриманих даних, побудуємо графік перехідного процесу температури зворотної води для першого експерименту.

На рисунку 2.1. зображено графік перехідного процесу при закритті клапана подачі мережевої води від 90% до 60% його максимального ходу

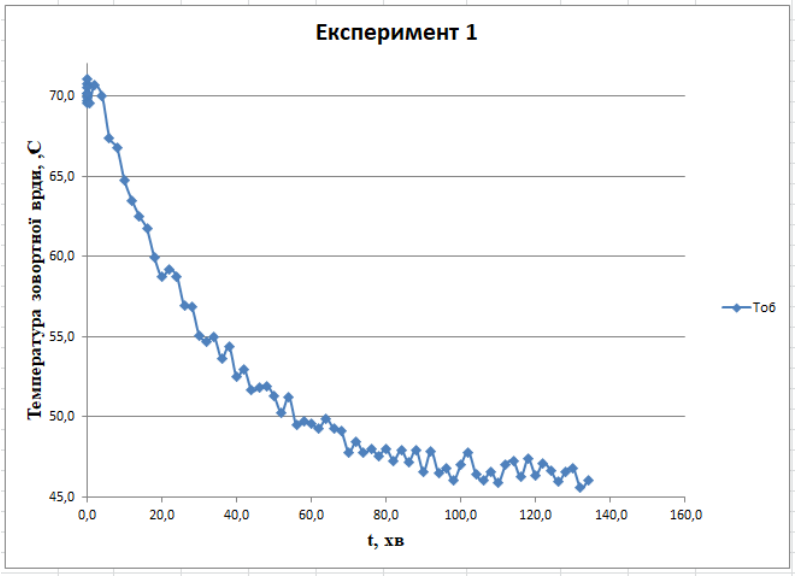

Рисунок 2.1 - Зміна температури зворотної води при закритті клапана подачі мережевої води з 90% до 60%

Для проведення другого експерименту було змінено положення клапана подачі мережевої води від 60% до 70% його максимального ходу. Результати другого експерименту наведено у таблиці 2.1 колонка 2. Графік перехідного процесу на основі отриманих даних зображено на рисунку 2.2.

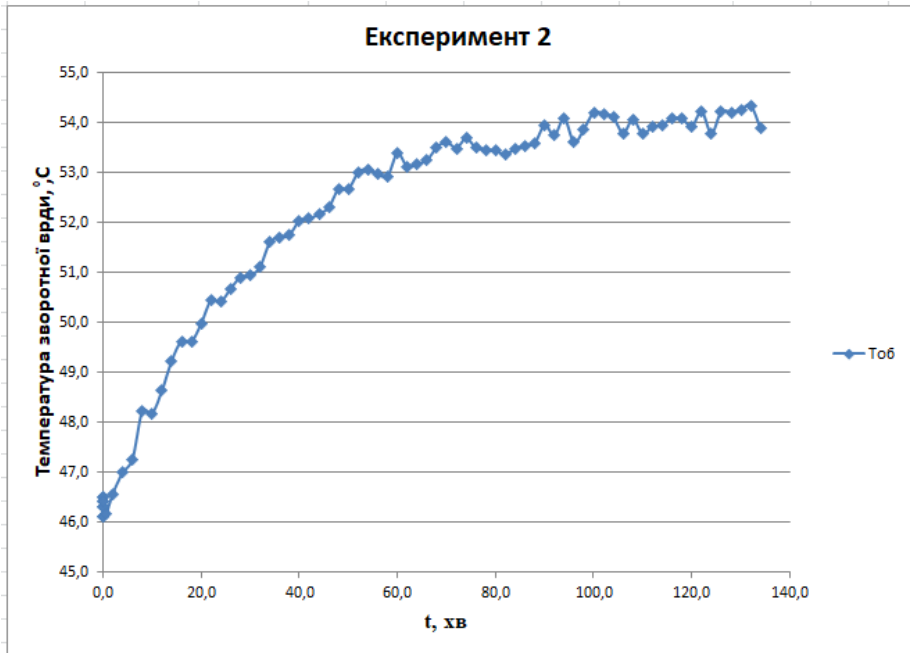

Рисунок 2.2 - Зміна температури зворотної води при зміні положення клапана подачі мережевої води з 60% до 70%

Для проведення третього експерименту було змінено положення клапана з 70% до 85% від максимального положення. Результати третього експерименту наведено у таблиці 2.1 колонка 3.

На основі отриманих даних побудуємо графік перехідного процесу, який зображено на рисунку 2.3.

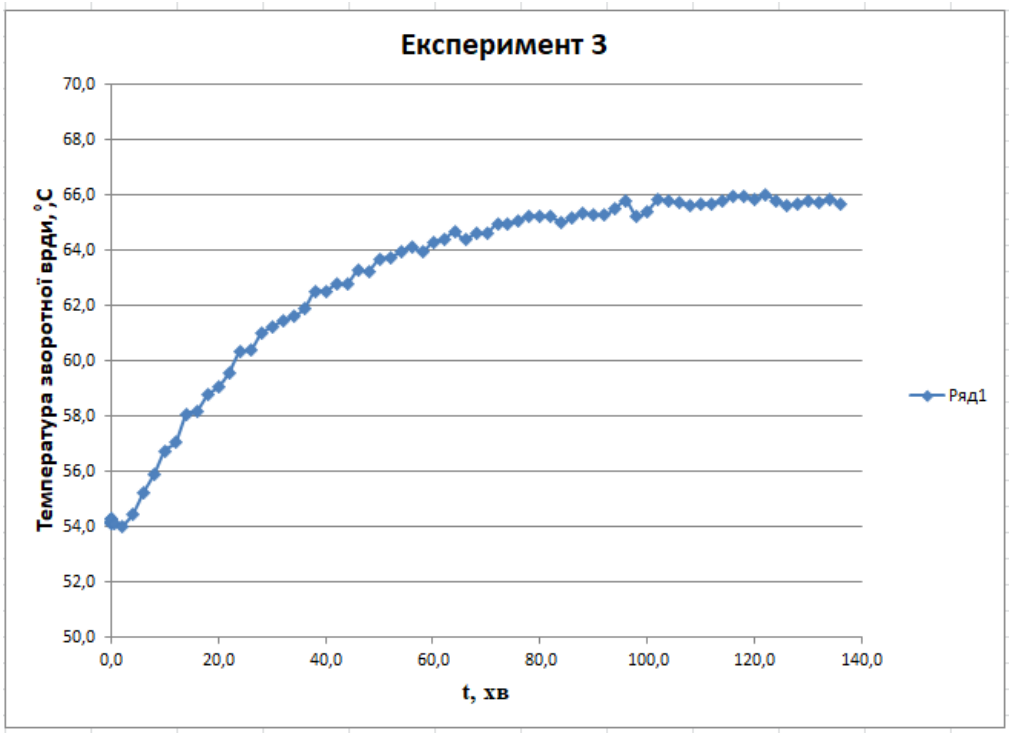

Рисунок 2.3 - Зміна температури зворотної води при зміні положення клапана подачі мережевої води з 70% до 85%

2.2. Згладжування експериментально отриманих даних

Для того, щоб відокремити перехідну характеристику від шумів використаємо експоненціальне згладжування. Цей метод базується на припущенні, що ОК має значно більшу інерційність порівняно із завадою (на один або декілька порядків) [2]. Формула даного фільтра представлена нижче:

$$y_{\phi i+1} = \alpha y_i + (1-\alpha) y_{\phi i} \qquad (2.1)$$

де y_i – фактичне значення; $y_{\phi i}$ – згладжене значення; α - коефіцієнт згладжування, 0< ⟨<1. Чим більший коефіцієнт, тим слабше згладжування. Для сильного згладжування використовуються значення від 0.01 до 0.3

Використаємо даний фільтр для наших експериментальних даних. Використаємо коефіцієнт згладжування α = 0.3 Результати згладжування для трьох експериментів наведено нижче у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати трьох експериментів після застосування експоненціального фільтра

	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3
t, хв	$T_{зв}$, ºС	$T_{зв}$, ºС	$T_{зв}$, ºС
0,0	69,83	46,42	54,09
2,0	69,89	46,39	54,09
4,0	70,11	46,40	54,15
6,0	70,12	46,37	54,16
8,0	70,27	46,39	54,17
10,0	70,23	46,33	54,15
12,0	70,23	46,39	54,16
14,0	70,32	46,40	54,14
16,0	70,21	46,30	54,13
18,0	69,97	46,41	54,13
20,0	69,87	46,64	54,25
22,0	69,40	46,80	54,52
24,0	68,41	47,17	54,90
26,0	67,73	47,50	55,46
28,0	66,49	47,93	56,00
30,0	65,53	48,20	56,58
32,0	64,18	48,54	57,10
34,0	63,09	48,89	57,66
36,0	61,99	49,19	58,08
38,0	60,98	49,57	58,56
40,0	60,08	49,85	59,07
42,0	59,31	50,16	59,49
44,0	58,57	50,42	59,95
46,0	57,71	50,69	60,30
48,0	56,81	50,82	60,62
50,0	56,26	51,00	60,92
52,0	55,59	51,24	61,24

Кінець таблиці 2.2

	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3
54,0	55,26	51,37	61,60
56,0	54,61	51,51	61,88
58,0	53,70	51,74	62,12
60,0	53,24	51,96	62,35
62,0	52,78	52,13	62,64
64,0	52,41	52,20	62,82
66,0	52,17	52,31	63,06
68,0	51,60	52,46	63,24
70,0	51,43	52,59	63,45
72,0	50,88	52,59	63,66
74,0	50,61	52,72	63,78
76,0	50,32	52,86	63,94
78,0	50,31	52,91	64,11
80,0	50,10	52,93	64,28
82,0	49,58	53,06	64,28
84,0	49,49	53,07	64,39
86,0	49,23	53,12	64,49
88,0	49,00	53,23	64,58
90,0	48,93	53,34	64,63
92,0	48,86	53,45	64,77
94,0	48,45	53,52	64,92
96,0	48,29	53,56	65,01
98,0	48,23	53,50	65,10
100,0	48,23	53,50	65,08
102,0	48,22	53,57	65,14
104,0	47,80	53,64	65,24
106,0	47,60	53,62	65,26
108,0	47,62	53,72	65,27
110,0	47,44	53,86	65,35
112,0	47,19	53,76	65,48
114,0	47,17	53,79	65,41
116,0	46,98	53,86	65,45
118,0	46,84	53,84	65,57
120,0	46,66	53,89	65,61
122,0	46,62	53,92	65,62
124,0	46,85	53,94	65,68
126,0	46,92	53,95	65,69
128,0	46,93	54,01	65,63
130,0	46,63	54,06	65,65
132,0	46,49	54,04	65,77
134,0	46,79	53,99	65,78
136,0	46,91	53,98	65,74

Далі побудуємо графік перехідного процесу на основі отриманих згладжених даних для першого експерименту. Для порівняння побудуємо графік використовуючи не оброблені дані на одній площині.

На рисунку 2.4. зображено графіки перехідних процесів на основі згладжених та не згладжених даних, які отримані при зміні положення клапана подачі мережевої води від 90% до 60% від його максимального ходу.

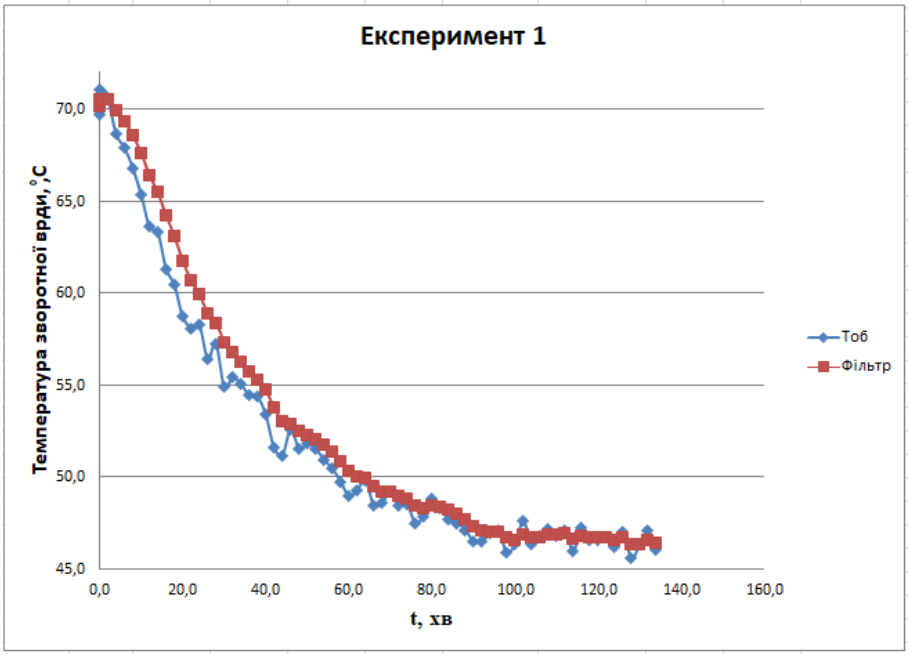

Рисунок 2.4 - Графіки перехідних процесів першого експерименту, що побудований на основі експериментальних та згладжених даних

Далі, побудуємо графік перехідного процесу на основі отриманих згладжених даних для другого експерименту. Для порівняння побудуємо графік використовуючи не оброблені дані на одній площині.

На рисунку 2.5. зображено графіки перехідних процесів на основі згладжених та не згладжених даних, які отримані при зміні положення клапану подачі мережевої води від 60% до 70% від його максимального ходу.

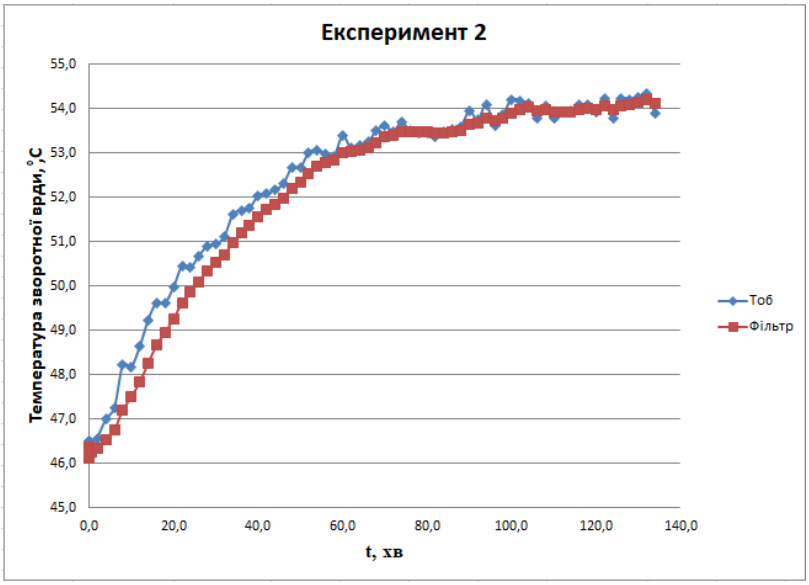

Рисунок 2.5 - Графіки перехідних процесів другого експерименту, що побудований на основі експериментальних та згладжених даних

Побудуємо графік перехідного процесу на основі отриманих згладжених даних для третього експерименту. Для порівняння побудуємо графік використовуючи не оброблені дані на одній площині.

На рисунку 2.6. зображено графіки перехідних процесів на основі згладжених та не згладжених даних, які отримані при зміні положення клапана подачі мережевої води від 70% до 85% від його максимального ходу.

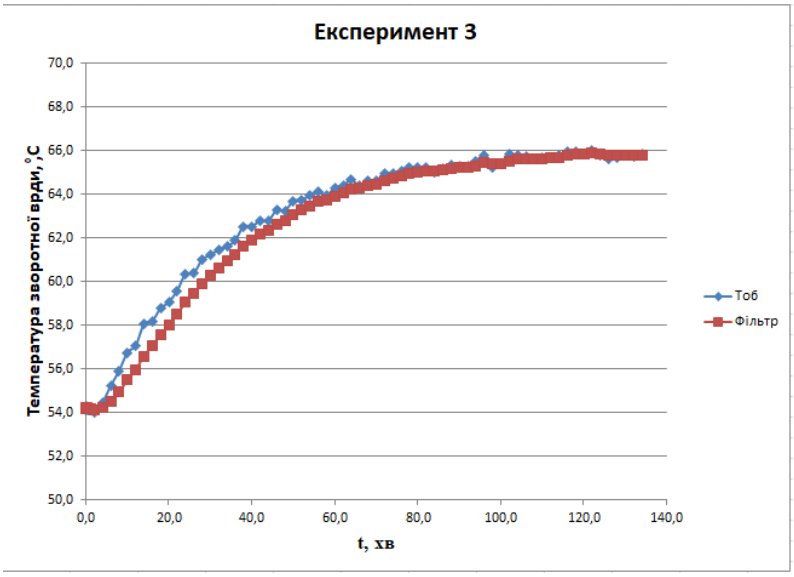

Рисунок 2.6 - Графіки перехідних процесів третього експерименту, що побудований на основі експериментальних та згладжених даних

2.3. Нормування розгінних характеристик

Наступним етапом буде нормування отриманих згладжених перехідних характеристик. Використаємо наступну формулу [3]:

$$y_i^н = \frac{y_i^з - y_0^з}{x_n - x_0}, i \in [0; n]; \quad (2.2)$$

$y_i^з$ – ординати відфільтрованої точки, $y_0^з$ – ординати відфільтрованої точки в нульовий момент часу, x_0 – значення вхідного впливу на об'єкт керування в нульовий момент часу, x_n – значення вхідного впливу на об'єкт керування після нанесення збурення.

Застосуємо дану формулу для отримання нормованих перехідних характеристик для кожного експерименту.

Нижче у таблиці 2.3 наведено нормовані перехідні характеристики зворотної води

Таблиця 2.3 - Нормовані перехідні характеристики температури зворотної води для трьох експериментів

t, хв	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3	Середнє значення
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
2,0	0,00	0,00	0,00	0,01
4,0	-0,01	0,00	0,00	0,00
6,0	-0,01	0,00	0,00	0,00
8,0	-0,01	0,00	0,01	0,00
10,0	-0,01	-0,01	0,00	0,01
12,0	-0,01	0,00	0,00	0,00
14,0	-0,02	0,00	0,00	0,00
16,0	-0,01	-0,01	0,00	0,00
18,0	0,00	0,00	0,00	0,00
20,0	0,00	0,02	0,01	0,02
22,0	0,01	0,04	0,03	0,04
24,0	0,05	0,08	0,05	0,07
26,0	0,07	0,11	0,09	0,10
28,0	0,11	0,15	0,13	0,14
30,0	0,14	0,18	0,17	0,18

Продовження таблиці 2.3

t, хв	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3	Середнє значення
32,0	0,19	0,21	0,20	0,21
34,0	0,22	0,25	0,24	0,25
36,0	0,26	0,28	0,27	0,28
38,0	0,30	0,32	0,30	0,31
40,0	0,33	0,34	0,33	0,34
42,0	0,35	0,37	0,36	0,37
44,0	0,38	0,40	0,39	0,39
46,0	0,40	0,43	0,41	0,42
48,0	0,43	0,44	0,44	0,45
50,0	0,45	0,46	0,46	0,47
52,0	0,47	0,48	0,48	0,49
54,0	0,49	0,50	0,50	0,51
56,0	0,51	0,51	0,52	0,53
58,0	0,54	0,53	0,54	0,55
60,0	0,55	0,55	0,55	0,56
62,0	0,57	0,57	0,57	0,57
64,0	0,58	0,58	0,58	0,59
66,0	0,59	0,59	0,60	0,60
68,0	0,61	0,60	0,61	0,62
70,0	0,61	0,62	0,62	0,63
72,0	0,63	0,62	0,64	0,64
74,0	0,64	0,63	0,65	0,65
76,0	0,65	0,64	0,66	0,67
78,0	0,65	0,65	0,67	0,67
80,0	0,66	0,65	0,68	0,68
82,0	0,68	0,66	0,68	0,68
84,0	0,68	0,67	0,69	0,69
86,0	0,69	0,67	0,69	0,70
88,0	0,69	0,68	0,70	0,70
90,0	0,70	0,69	0,70	0,71
92,0	0,70	0,70	0,71	0,72
94,0	0,71	0,71	0,72	0,72
96,0	0,72	0,71	0,73	0,73
98,0	0,72	0,71	0,73	0,73
100,0	0,72	0,71	0,73	0,74
102,0	0,72	0,72	0,74	0,74
104,0	0,73	0,72	0,74	0,74
106,0	0,74	0,72	0,74	0,74
108,0	0,74	0,73	0,75	0,75
110,0	0,75	0,74	0,75	0,75

Кінець таблиці 2.3

t, хв	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3	Середнє значення
112,0	0,75	0,73	0,76	0,75
114,0	0,76	0,74	0,75	0,75
116,0	0,76	0,74	0,76	0,76
118,0	0,77	0,74	0,77	0,76
120,0	0,77	0,75	0,77	0,77
122,0	0,77	0,75	0,77	0,77
124,0	0,77	0,75	0,77	0,77
126,0	0,76	0,75	0,77	0,77
128,0	0,76	0,76	0,77	0,77
130,0	0,77	0,76	0,77	0,77
132,0	0,78	0,76	0,78	0,78
134,0	0,77	0,76	0,78	0,78
136,0	0,76	0,76	0,78	0,78

На рисунку 2.7. зображено нормовану перехідну характеристику для трьох експериментів, використовуючи дані з таблиці 2.7.

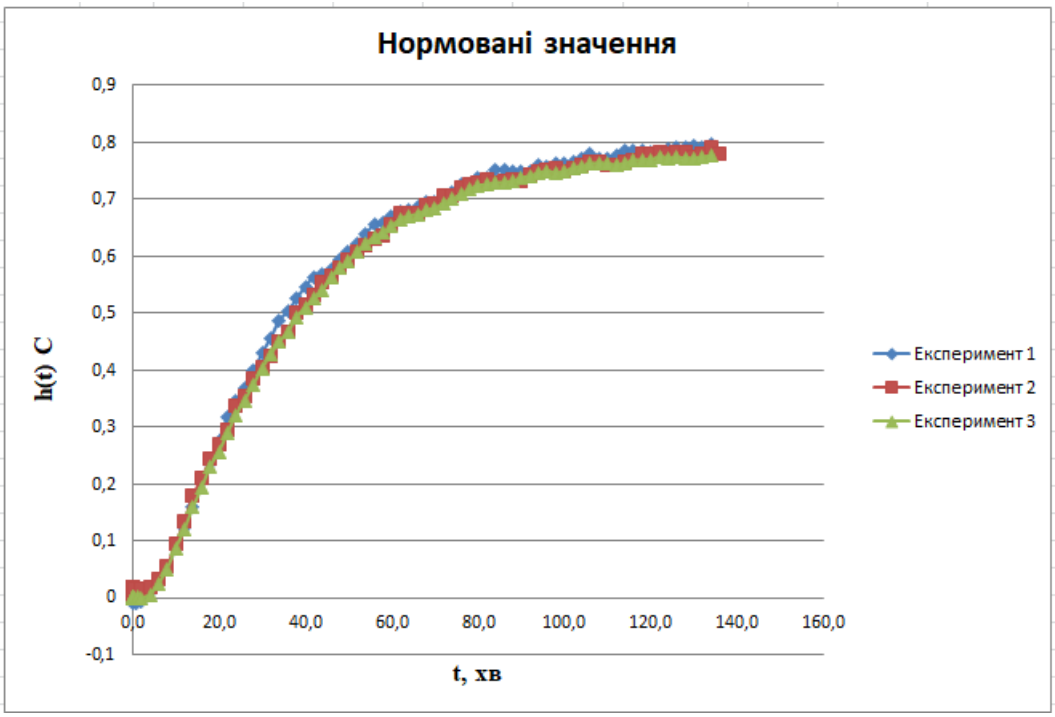

Рисунок 2.7 - Нормована перехідна характеристика для трьох експериментів

Отримані нормовані перехідні характеристики відрізняються не більше ніж на 5% одна від одної, тому отримані експериментальні дані можна використовувати для подальшої апроксимації [2].

Також побудуємо нормовану перехідну характеристику використовуючи усереднені дані трьох експериментів, рисунку 2.8. Дану нормовану перехідну характеристику будемо використовувати для подальшої апроксимації.

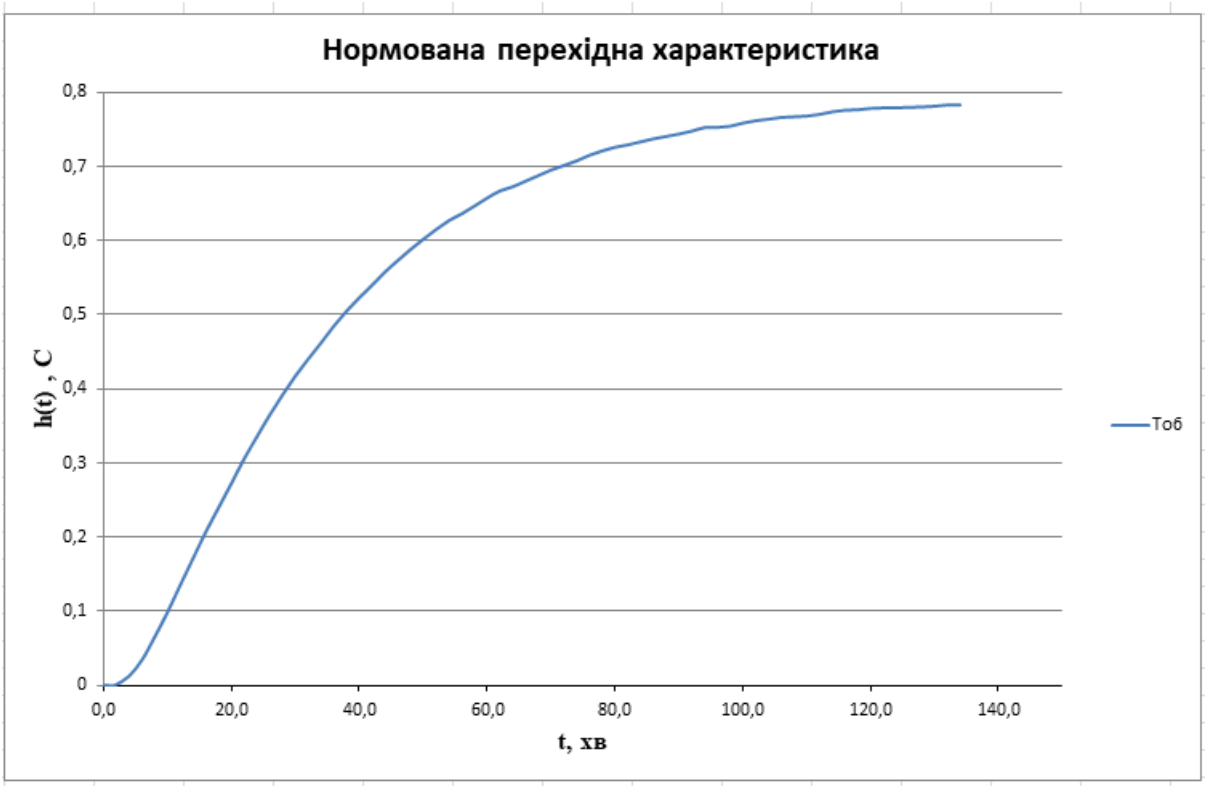

Рисунок 2.8 - Нормована перехідна характеристика для трьох експериментів побудована на усереднених даних

2.4. Апроксимація розгінних характеристик

Першим кроком апроксимації розгінних характеристик буде аналіз вигляду кривої. З рисунку 2.8. ми бачимо, що досліджуваний об’єкт має властивість самовирівнювання, отже об’єкт статичний. Для апроксимації статичного ОК використаємо аперіодичну ланку із запізненням [3]:

$$W_{OK}(p) = \frac{K_{OK}}{T_{OK}p+1} e^{-p\tau_{OK}}; \quad (2.3)$$

$$K_{OK} = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (2.4)$$

K_{OK} – коефіцієнт підсилення, T_{OK} – стала часу, τ_{OK} – транспортне запізнення, Δy – приріст вихідної величини, Δx – ступінчате збурення вхідного впливу

Для апроксимації використаємо модифікований метод логарифмування [3]. Ідея даного методу полягає у виборі точок – *A, B* на перехідній характеристиці об'єкта керування, які визначають 30% та 70% від усталеного режиму. На рисунку 2.8 зображено графічне представлення апроксимації для обраного методу.

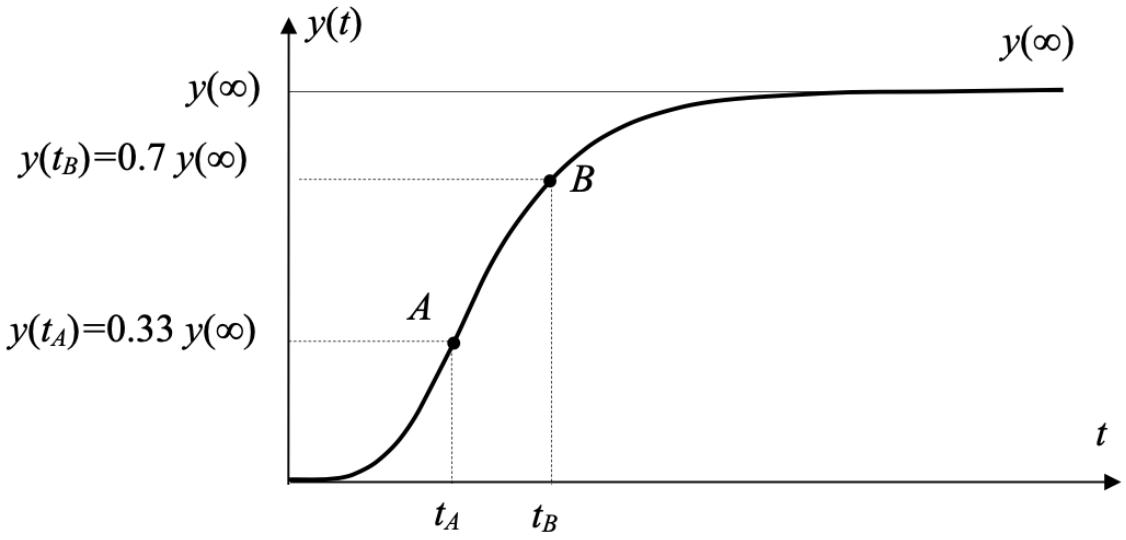

Рисунок 2.9 - Графічне представлення апроксимації

Згідно з методом стала часу T_{OK} та час запізнювання τ_{OK} визначається за залежностями:

$$T_{OK} = 1{,}25 \cdot (t_B - t_A); \quad (2.5)$$

$$\tau_{OK} = 0{,}5 \cdot (3t_A - t_B); \quad (2.6)$$

де t_A– час, коли $yA(tA) = 0{,}33 \cdot y(\infty)$,

t_B – час, коли $yB(tB) = 0{,}7 \cdot y(\infty)$.

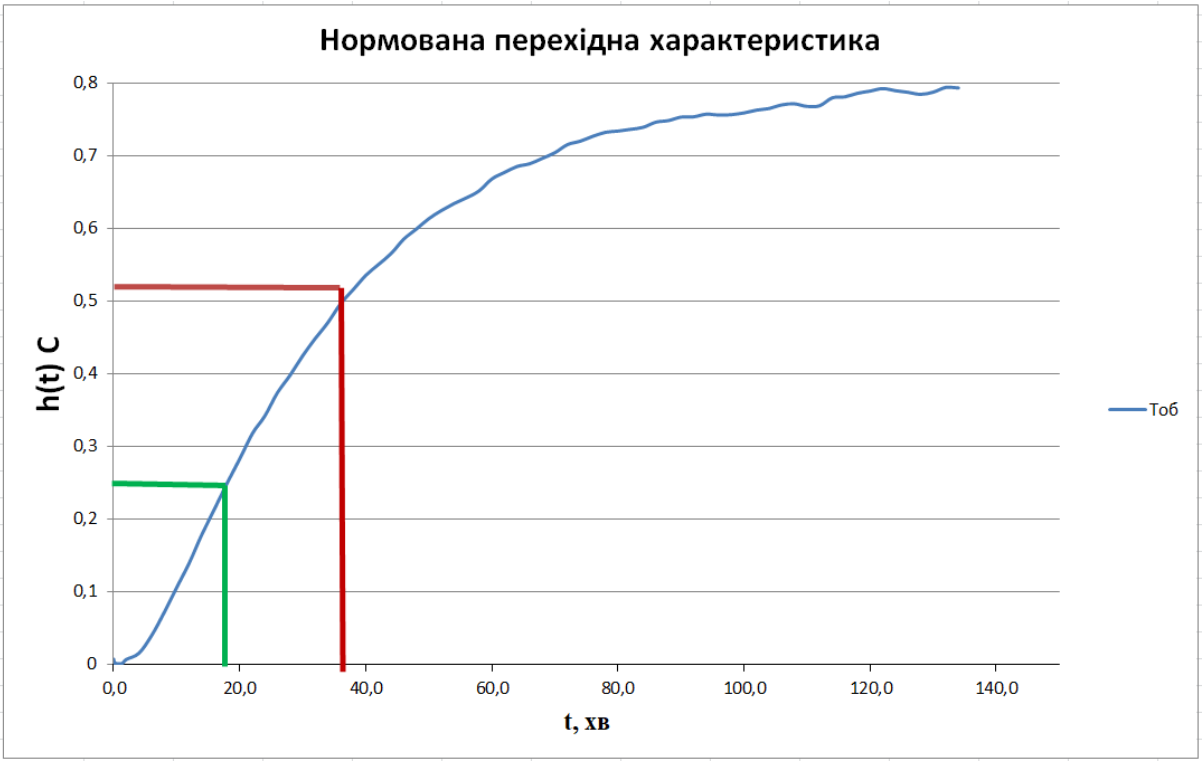

Рисунок 2.10 - Апроксимація отриманих даних

З рисунку 2.10 визначимо $t_A = 19хв$; $t_B = 44хв$.

Підставимо наші значення у формули (2.5) та (2.6) і розрахуємо параметри

$$T_{ОК} = 1{,}25 \cdot (44 - 19) = 31{,}25хв\ ;$$

$$\tau_{ОК} = 0{,}5 \cdot (3*19 - 44) = 6{,}5хв;$$

Визначимо коефіцієнт передачі К за формулою (2.4)

$$K=0.78\ °C/\%$$

За формулою (2.3) отримаємо передавальну функцію об'єкта керування

$$W_{21} = \frac{0{,}78}{31{,}25p+1} e^{-6{,}5p}. \qquad (2.7)$$

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОГОДОЗАЛЕЖНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

3.1. Структурна схема АСР

В першому розділі було розглянуто одноконтурну та каскадну систему керування для системи опалення рисунку1.5 та 1.6. Виходячи з проведеного експерименту, було визначено, що відношення часу транспортного запізнення до сталої часу об'єкта керування є малим, тому достатньо використовувати однокотурну систему регулювання

$$\frac{\tau_{ОК}}{T_{ОК}} \leq 0.2$$

$$\frac{6.5}{31.25} \leq 0.2$$

Відповідно до функціональної схеми автоматизації, яка зображена на рисунку 1.5, структурна схема одноконтурної АСР буде мати вигляд рисунку 3.1.

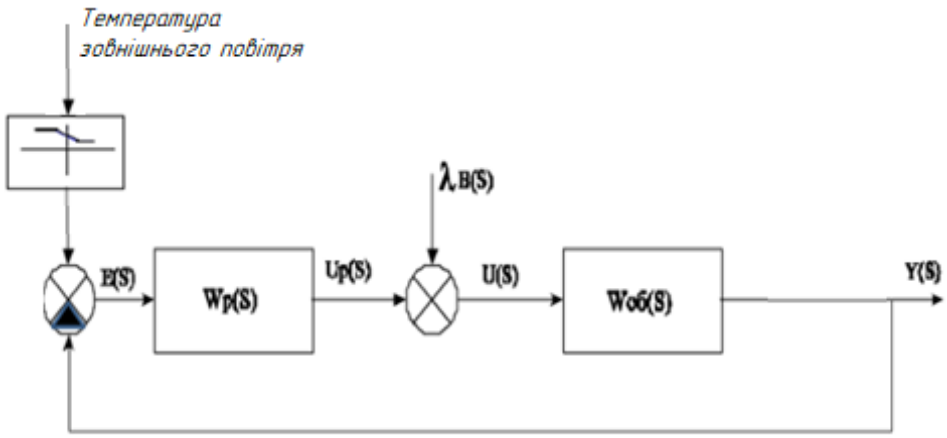

Рисунок 3.1 - Структурна схема однокнуторної АСР

Одноконтурна АСР складається суматора, на який поступає завдання від температурного графіка та зворотній зв'язок; далі знаходиться регулятор ($W_p(S)$), після регулятора знаходиться ще один суматор, на який заходить сигнал від регулятора ($U_p(S)$) та збурення від температури води тепломережі. Після суматора знаходиться об'єкт керування ($W_{об}(S)$) на який приходить сигнал U(S). Y(S) – вихідний сигнал об'єкта керування. В даній схемі не

враховується інерційність датчиків, виконавчого механізму та об'єкта керування, тому що експериментальні дані знімалися з реального об'єкту і ці параметри вже враховано.

3.2. Розрахунок параметрів регулятора методом РАФХ

В даній системі керування регулювання було використано ПІ-регулятор. Було обрано саме цей регулятор тому, що інтегральна складова компенсує статичну похибку та через простоту налаштування регулятора. Для того, що налаштувати регулятор потрібно розрахувати лише два параметри: коефіцієнт підсилення *Kp* і постійна часу інтегрування *Ti*. Також цей регулятор є малочутливим до шумів і спроможній дати нульову статичну помилку. ПІД регулятор не було використано тому, що в системі наявне транспортне запізнення і він би дав погані результати.

Для розрахунку налаштувань регулятора за методом розширеної амплітудно-фазової характеристики (РАФХ), спочатку було обрано ступінь коливальної стійкості m, при якому ступінь згасання Ψ=0.95. Для розрахунків скористаємося формулою (3.1).

$$m = \frac{ln(1-\Psi)}{2\pi} = \frac{ln(1-0.95)}{2*3.14} = 0.476 \qquad (3.1)$$

Розрахунок проведено у середовищі Matlab 2020b та використано код програми, що наведено нижче

```
w=0:0.00001:0.23;
m=0.476;
p=w.*(1j-m);
Wob=(0.78.*exp(-6.5.*p))./(31.25.*p+1);
Re=real(Wob);
Im=imag(Wob);
Kp=-(m*Im+Re)./(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki);
xlabel('Kp');
ylabel('Ki');
grid on;
```

Після виконання даного коду, було отримано криву степеня коливальності m=0.476, яка зображена на рисунку 3.2.

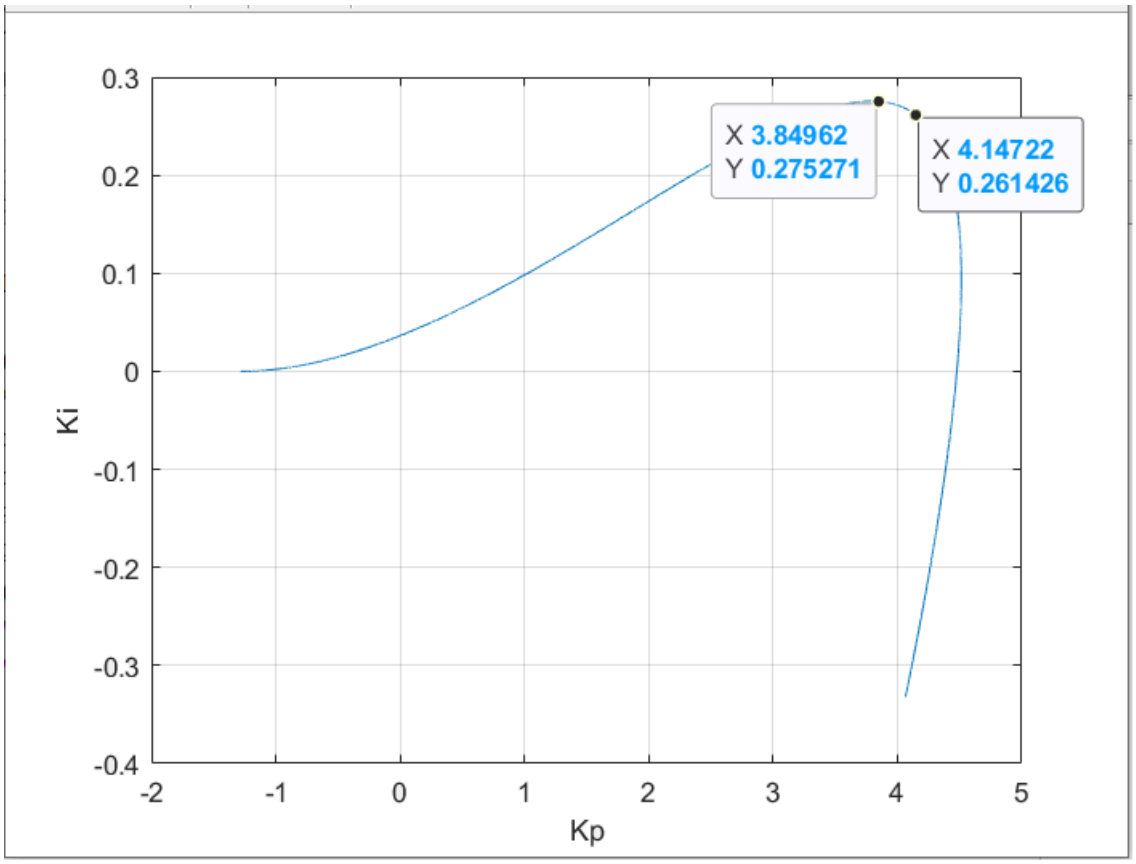

Рисунок 3.2 - Крива заданого степеня коливальності з позначенням точки Ki_max і 0.95Ki_max

Визначимо наші коефіцієнти:

Кр=4.14 $\frac{°C}{PO\%}$

Кі=0.26 хв.

Ті=15.92 хв.

Для перевірки розрахунків побудовано АФХ та РАФХ розімкненої системи. Використаємо написаний код в matlab для цього. На рисунку 3.3. зображено амплітудно-фазову характеристику (АФХ) та РАФХ розімкненої системи РС.

```
w=0.02:0.0001:0.3;
m=0.476;
p=1j*w;
Wob=(0.78.*exp(-6.5.*p))./(31.25.*p+1);
Wr=4.14.*(1+1./(15.92.*p));
W=Wob.*Wr;
Re=real(W);
Im=imag(W);
p=w*(1j-m);
Wob1=(0.78.*exp(-6.5.*p))./(31.25.*p+1);
Wr1=4.14.*(1+1./(15.92.*p));
W1=Wob1.*Wr1;
Re1=real(W1);
Im1=imag(W1);
plot(Re,Im,Re1,Im1);
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid on;
hold on;
plot(-1,0,'ko');
legend('АФХ','РАФХ');
```

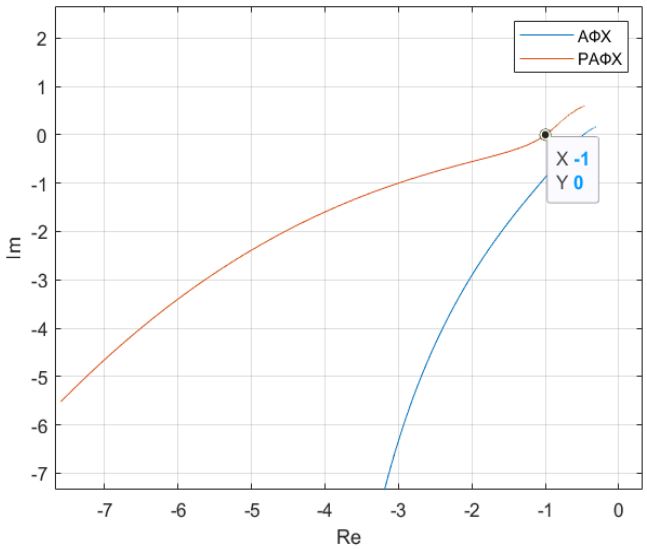

Рисунок 3.3 - АФХ та РАФХ розімкненої системи

На рисунку видно, що графік РАФХ проходить через точку (−1; 0j), отже розрахунок було зроблено правильно.

3.4. Розрахунок параметрів налаштування інженерним методом

Дуже часто для розрахунку параметрів регулятора використовують інженерні методи. Розрахунки за інженерними методами є дуже простими,

тому що для цього потрібні лише визначальні параметри об’єкта керування, такі, як коефіцієнт підсилення, стала часу та час транспортного запізнення. Найчастіше проводяться розрахунки на отримання мінімального квадратичного відхилення або абсолютного відхилення. Для такого розрахунку розроблено багато формул, однією з них є формула Minimum IAE - Shinskey (1988) [5], яка на націлений на отримання мінімального квадратичного відхилення. За цією формулою, розрахунок коефіцієнта підсилення проводиться за залежністю (3.2).

$$Kp = \frac{0.95\mathrm{T_{об}}}{K_{obj}*\tau_{\mathrm{об}}} \tag{3.2}$$

Для розрахунку сталої часу інтегрування використовують залежність (3.3.)

$$Ti = 2.9 * \tau_{\mathrm{об}} \tag{3.3}$$

Розрахуємо коефіцієнт підсилення та сталу часу інтегрування за наведеними вище формулами:

$$Kp = \frac{0.95 * 31.25}{0.78 * 6.5} = 5.85$$

$$Ti = 2.9 * 6.5 = 18.85$$

3.5. Аналіз отриманих налаштувань регулятора

В середовищі Simulink проведено моделювання розрахованої раніше системи та визначимо прямі показники якості для налаштувань регулятора які визначено у пункті 3.3 та 3.4. Для цього побудовано схему, яка зображена на рисунку 3.4.

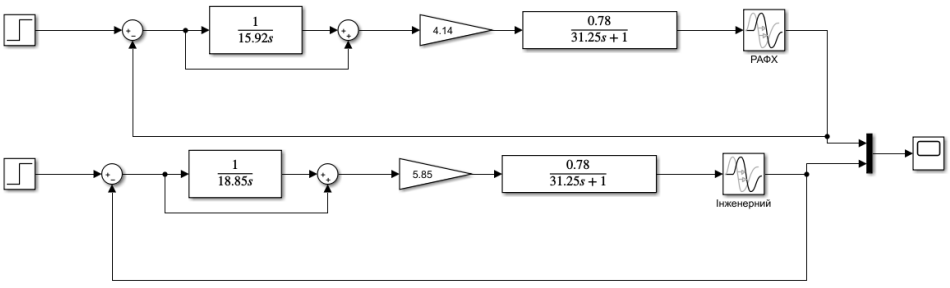

Рисунок 3.4 - Система для отримання перехідних характеристик для двох методів розрахунку за каналом «завдання-вихід»

За проведеним моделюванням в Simulink отримані графіки перехідних процесів, які зображено на рисунку 3.5.

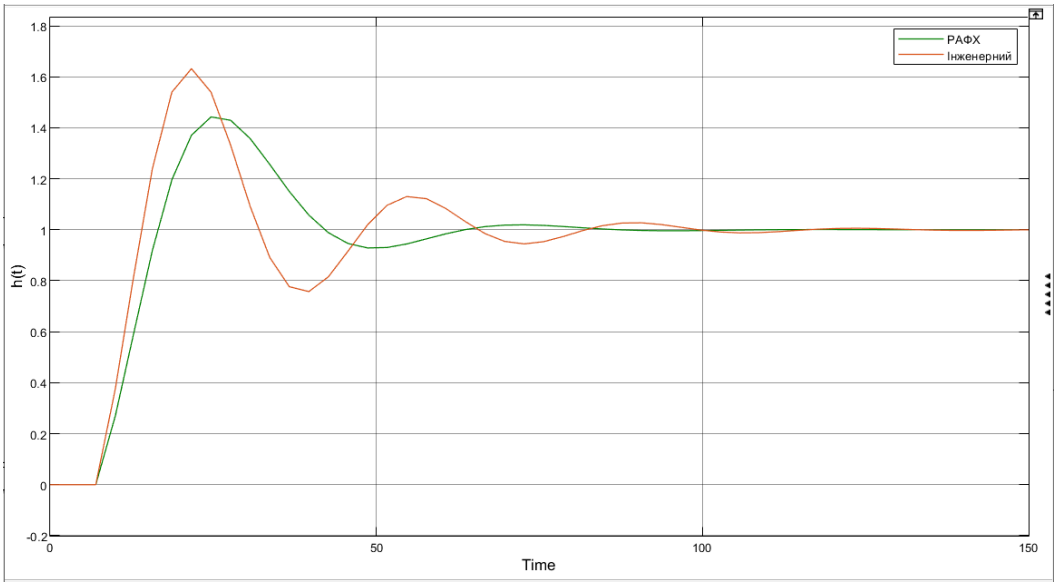

Рисунок 3.5 - Графіки перехідних процесів систем, які розраховані різними методами

В таблиці 3.1 розраховано прямі показники якості для двох методів налаштування регулятора.

Таблиця 3.1 - Порівняння показників якості одноконтурної системи за каналом «завдання-вихід» розрахованої різними методами

	РАФХ	Інженерний
Значення *Кр*	4.14	5.85
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0.445	0.629
Перерегулювання	44.5%	62.9%
Степінь затухання	0,95	0.8
Час перехідного процесу	55	75

Отже, порівнявши дані показники якості за каналом «завдання-вихід», можна зробити висновок, що дані, які розраховані за інженерним методом є кращими за всіма показниками.

Далі побудуємо систему для отримання перехідних характеристик за каналом «збурення-вихід». Вигляд цієї системи зображено на рисунку 3.6, графіки перехідних процесів зображено на рисунку 3.7.

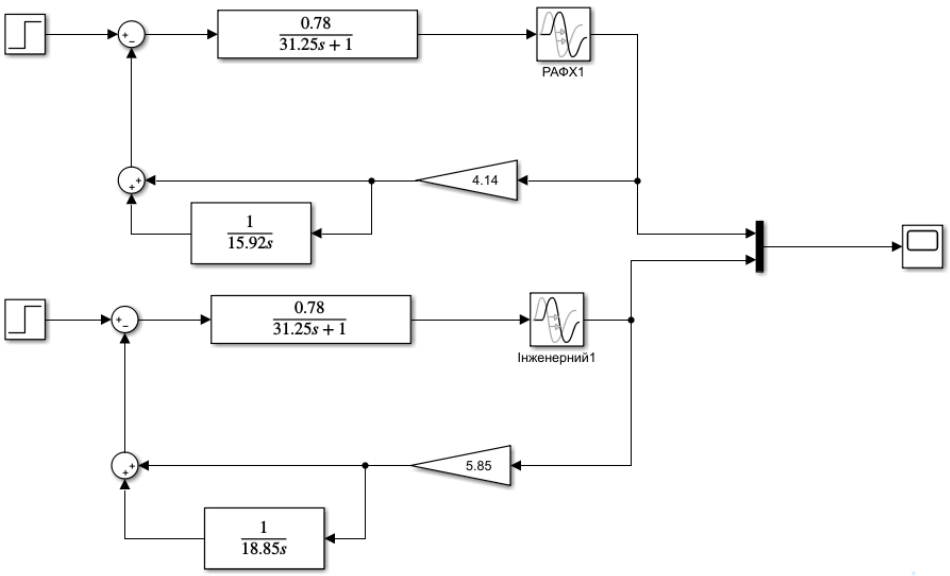

Рисунок 3.6 - Система для отримання перехідних характеристик для двох методів розрахунку за каналом «збурення-вихід»

За проведеним моделюванням в Simulink отримані графіки перехідних процесів за каналом «збурення-вихід» зображено на рисунку 3.6.

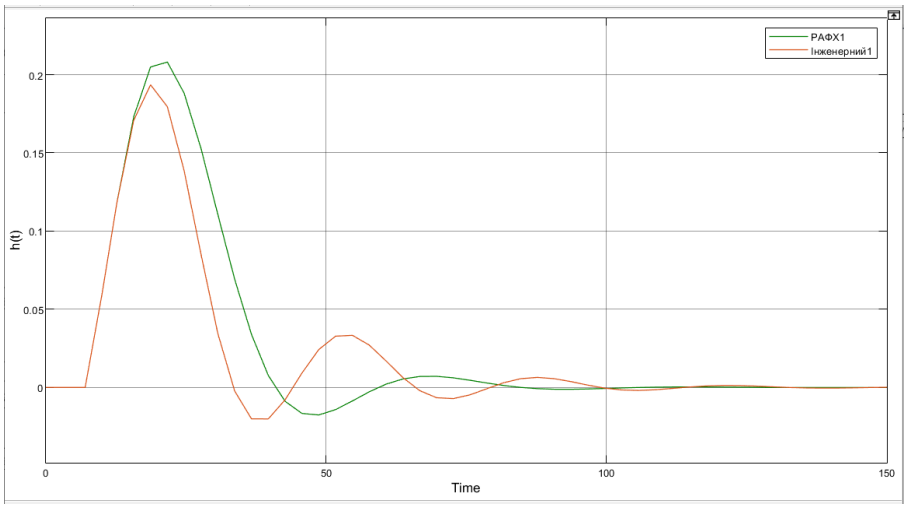

Рисунок 3.7 - Графіки перехідних процесів систем, які розраховані різними методами за каналом «збурення-вихід»

Розраховано прямі показники якості системи за каналом «збурення-вихід» та порівняємо їх. У таблиці 3.2. представлені прямі показники якості систем

Таблиця 3.2 - Порівняння показників якості одноконтурної системи за каналом «збурення-вихід» розрахованої різними методами

	РАФХ	Інженерний
Значення Кр	4.14	5.36
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0.2094	0.1930
Перерегулювання	8.1%	10.43%
Степінь затухання	0,96	0.83
Час перехідного процесу	53	63

Отже, порівнюючи розраховані показники якості за каналом «завдання-вихід» та «збурення-вихід» можна зробити наступні висновки:

- система розрахована за методом РАФХ має кращі всі показники якості за каналом «завдання-вихід», ніж система, що розрахована інженерним методом;
- за каналом «збурення-вихід» система, яка розрахована методом РАФХ має кращий степінь затухання та час перехідного процесу.

Порівнюючи показники якості, можна сказати, що метод РАФХ дав кращі результати за всіма каналами, тому в наступних розрахунках будемо використовувати такі налаштування: Кр=4.14 Ті=15.92

3.6. Розрахунок АСР на грубість

Під час використання системи відбувається зміна параметрів налаштувань, саме тому потрібно проводити розрахунки системи на грубість. Для того, щоб розрахувати систему на грубість, потрібно змінити параметри об’єкта керування на +-15% . Нижче на рисунку 3.8-3.10 представлені графіки перехідних процесів при варіації параметрів об’єкта керування.

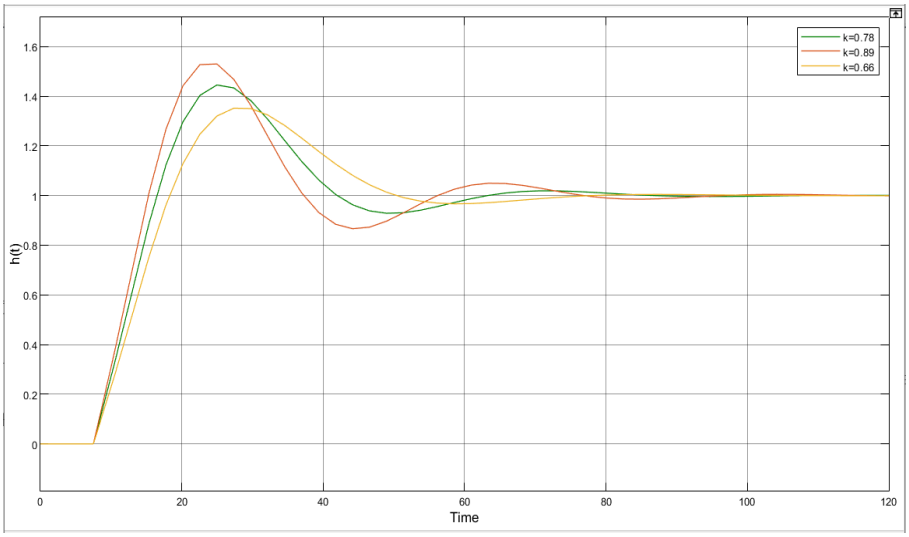

Рисунок 3.8 - Перехідна характеристика при варіації коефіцієнта підсилення

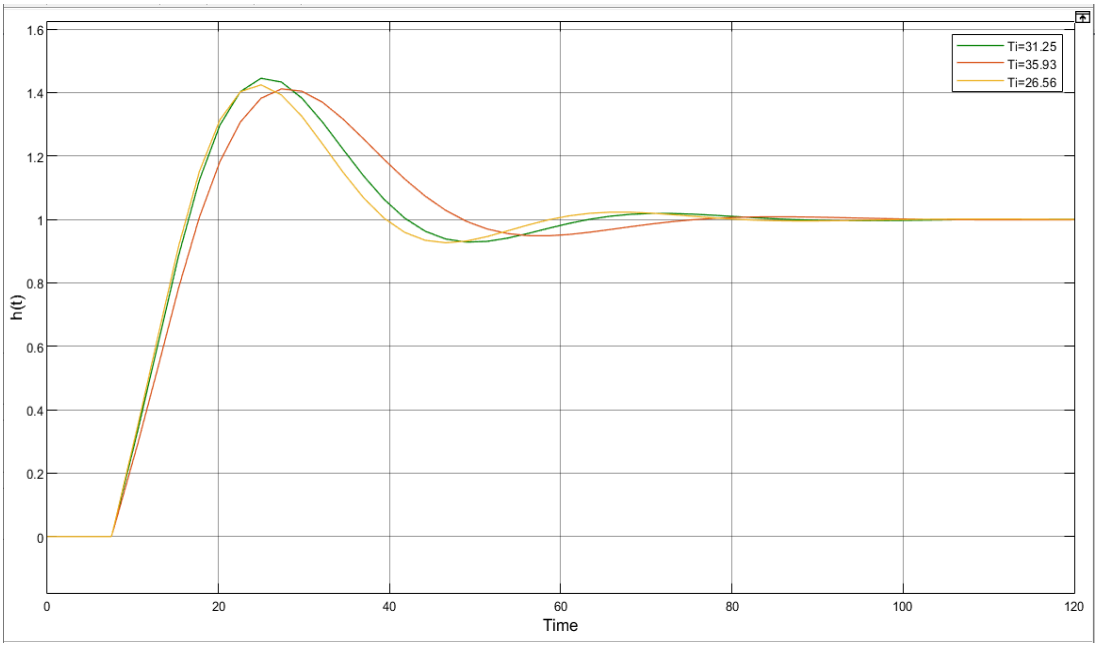

Рисунок 3.9 - Перехідна характеристика при варіації сталої часу

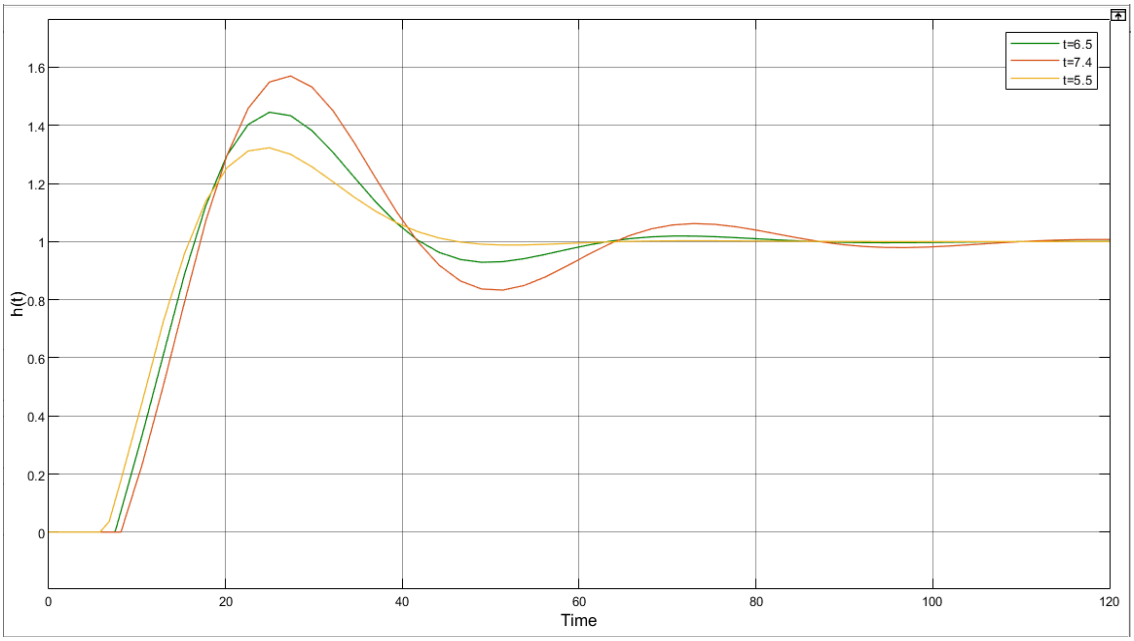

Рисунок 3.10 - Перехідна характеристика при варіації транспортного запізнення

Нижче у таблиці 3.3 показано показники якості системи в залежності від варіації параметрів.

Таблиця 3.3 - Прямі показники якості при варіації параметрів об’єкта

Параметри	K_{ob}	T_{ob}	τ_{ob}	Динамічне відхилення	Час перехідного процесу
Вхідні	0.78	31.25	6.5	0.445	55 с
K_{var}	0.89	31.25	6.5	0.530	64 с
	0.66	31.25	6.5	0.352	46 с
T_{var}	0.78	35.93	6.5	0.411	59 с
	0.78	26.56	6.5	0.424	52 с
τ_{var}	0.78	31.25	7.4	0.568	78 с
	0.78	31.25	5.5	0.322	40 с

Для розрахунку коефіцієнта чутливості скористаємося формулою (3.4).

$$k_y = \left| \frac{\frac{R - R_{opt}}{R_{opt}}}{\frac{y - y_{opt}}{y_{opt}}} \right|, \qquad (3.4)$$

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 зміні коефіцієнта підсилення *K:*

$$k_{K_{\text{дин},1}} = \left| \frac{\frac{\text{Δдин} - \Delta_{opt}}{\text{Δдин}_{opt}}}{\frac{K - K_{opt}}{K_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{0.530 - 0.445}{0.445}}{\frac{0.89 - 0.78}{0.78}} \right| = 1.35$$

$$k_{K_{\text{дин},2}} = \left| \frac{\frac{\text{Δдин} - \Delta_{opt}}{\text{Δдин}_{opt}}}{\frac{K - K_{opt}}{K_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{0.352 - 0.445}{0.445}}{\frac{0.66 - 0.78}{0.78}} \right| = 1.35$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості динамічної похибки при зміні сталої часу *T:*

$$k_{\text{T}_{\text{дин},1}} = \left| \frac{\frac{\text{Δдин} - \Delta_{opt}}{\text{Δдин}_{opt}}}{\frac{\text{T} - \text{T}_{opt}}{\text{T}_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{0.411 - 0.445}{0.445}}{\frac{35.93 - 31.25}{31.25}} \right| = 0.51$$

$$k_{\text{T}_{\text{дин},2}} = \left| \frac{\frac{\text{Δдин} - \Delta_{opt}}{\text{Δдин}_{opt}}}{\frac{\text{T} - \text{T}_{opt}}{\text{T}_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{0.424 - 0.445}{0.445}}{\frac{26.56 - 31.25}{31.25}} \right| = 0.31$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості динамічної похибки при зміні транспортного запізнення *τ:*

$$k_{\tau_{\text{дин},1}} = \left| \frac{\frac{\text{Δдин} - \Delta_{opt}}{\text{Δдин}_{opt}}}{\frac{-\tau_{opt}}{\tau_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{0.568 - 0.445}{0.445}}{\frac{7.4 - 6.5}{6.5}} \right| = 1.99$$

$$k_{\tau_{\text{дин},2}} = \left| \frac{\frac{\text{Δдин} - \Delta_{opt}}{\text{Δдин}_{opt}}}{\frac{-\tau_{opt}}{\tau_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{0.322 - 0.445}{0.445}}{\frac{5.5 - 6.5}{6.5}} \right| = 1.79$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості часу перехідного процесу при зміні коефіцієнта підсилення *K:*

$$k_{K_{Tn,1}} = \left| \frac{\frac{Tn - Tn_{opt}}{Tn_{opt}}}{\frac{K - K_{opt}}{K_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{64 - 55}{55}}{\frac{0.89 - 0.78}{0.78}} \right| = 1.16$$

$$k_{K_{Tn,2}} = \left| \frac{\frac{Tn - Tn_{opt}}{Tn_{opt}}}{\frac{K - K_{opt}}{K_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{46 - 55}{55}}{\frac{0.66 - 0.78}{0.78}} \right| = 1.06$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості часу перехідного процесу при зміні сталої часу *T:*

$$k_{T_{Tn,1}} = \left| \frac{\frac{Tn - Tn_{opt}}{Tn_{opt}}}{\frac{T - T_{opt}}{T_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{59 - 55}{55}}{\frac{35.93 - 31.25}{31.25}} \right| = 0.48$$

$$k_{T_{Tn,2}} = \left| \frac{\frac{Tn - Tn_{opt}}{Tn_{opt}}}{\frac{T - T_{opt}}{T_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{52 - 55}{55}}{\frac{26.56 - 31.25}{31.25}} \right| = 0.36$$

Розрахунок коефіцієнта чутливості часу перехідного процесу при зміні транспортного запізнення *τ:*

$$k_{\tau_{Tn,1}} = \left| \frac{\frac{Tn - Tn_{opt}}{Tn_{opt}}}{\frac{-\tau_{opt}}{\tau_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{78 - 55}{55}}{\frac{7.4 - 6.5}{6.5}} \right| = 3.02$$

$$k_{\tau_{Tn,2}} = \left| \frac{\frac{Tn - Tn_{opt}}{Tn_{opt}}}{\frac{-\tau_{opt}}{\tau_{opt}}} \right| = \left| \frac{\frac{40 - 55}{55}}{\frac{5.5 - 6.5}{6.5}} \right| = 1.7$$

Ґрунтуючись на отриманих розрахунках, можна сказати, що система керування температурою зворотного теплоносія є грубою.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ З ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ БУДІВЛІ

4.1. Вибір ПЛК для автоматизації інженерного обладнання будівлі

Для автоматизації теплопункту багатоквартирного будину було обрано контролер TM172PDG42SI від виробника Schneider Electric. Даний контролер має 12 дискретних входів та 12 виходів, а також 12 аналогових входів та 6 виходів. Кількості аналогових входів та виходів повинно вистачити для реалізації задачі. Також обраний ПЛК має можливість розширення за допомогою додаткових модулів. ПЛК живиться від 24V змінного струму. Обраний ПЛК має місцеву сигналізацію та розміщується на DIN рейці. Також в ПЛК є дисплей, куди можна вивести основні дані, такі як: температура мережевої води, температура прямого та зворотного теплоносія та інші. Програма для обраного ПЛК буде написана у середовищі розробки CODESYS, це стає можливим завдяки стандартизованості мов IEC 61131. Обраний контролер спеціально розроблений для управління системами опалення, вентиляції та кондиціонування. Також для даного контролера вже є доступі бібліотеки для даних систем.

Зв’язок з персональним комп’ютером диспетчера відбувається за допомогою сервера SmartX AS-P, а сам контролер з'єднаний за допомогою Ethernet.

Вигляд обраного ПЛК можна побачити на рисунку 4.1. Детальні характеристики контролера наведені у таблиці 4.1.

Рисунок 4.1 - Контролер TM172PDG42SI

Таблиця 4.1 - Основні технічні характеристики контролера

Загальна кількість входів/виходів	42
Кількість дискретних входів	12
Типи дискретних виходів	2 для релейні виходи SPDT із незалежною загальною точкою 3 для релейні виходи SPST з однією загальною точкою; 2 для релейні виходи SPST з однією загальною точкою; 2 для напівпровідниковий, з розв'язкою SPST із незалежною загальною точкою;

Кінець таблиці 4.1

Струм дискретного виходу	3 А для реле SPDT; 3 А для реле SPST; 0.5 А для напівпровідниковий, з розв'язкою;
Кількість аналогових входів	12
Кількість аналогових виходів	4 напруга 0...10 В -2 напруга/струм, діапазон: (4...20) mA or (0...10) V або ШІМ(до2kHz).
Порти	1 порт CAN - клемний блок з гвинтовими затискачами; 1 USB типу A - USB тип A female; 1 USB типу міні B - USB порт Mini-B; 2 RS485 - клемний блок з гвинтовими затискачами (послідовнашинаModbus RTU або BACnet MS/TP); 1 Ethernet - RJ45 (Modbus TCP та BACnet IP з вебсервером);
Живлення	24 В +/- 10 % Змінний струм 20...38 V Постійний струм
Місцева сигналізація	Програмований червоний, жовтий та зелений світлодіод Зелений світлодіод живлення

4.2. Програмування ПЛК

Розробка контуру управління температурою зворотного теплоносія була проведена в середовищі розробки CODESYS, для цього була використана CFC мова програмування. Основним блок регулювання

температури є ПІД-регулятор, який було використано з бібліотеки Util рисунку 4.2.

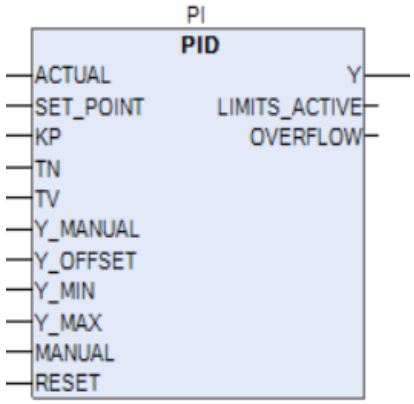

Рисунок 4.2 - Вигляд ПІД-регулятора

На вхід даний регулятор приймає наступні дані:

Actual – актуальне значення температури зворотного теплоносія

Set_point – значення температури, на яке повинно бути – уставка

Kp – коефіцієнт підсилення

Tn – стала часу

Tv – диференційна складова, в даному випадку вона рівна 0, і ПІД регулятор працює як ПІ

Y-manual – значення, яке встановлює оператор при увімкненні ручного режиму, тобто, якщо вхід Manual прийме значення TRUE

Y_offset – значення, яке встановиться, якщо на змінну Reset прийде TRUE

Y_min – мінімальне значення відкриття клапана

Y_max – максимальне значення відкриття клапана

Manual – увімкнення ручного режиму

Reset – встановлення значення при виникненні помилки

Для вимірювання температури зворотнього теплоносія використаний термометр опору з уніфікованим вихідним сигналом 4…20 мА, для того, щоб

перетворити вихідний сигнал в інженерну величину було написано блок ADC (Analog-to-digital converter), вигляд якого зображено на рисунку 4.3.

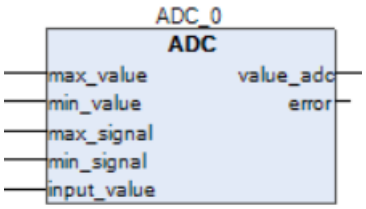

Рисунок 4.3 - Блок аналого-цифрового перетворювача

На вхід цей блок приймає мінімальне та максимальне значення (діапазон) температури, яку може вимірювати датчик, мінімальний та максимальний сигнал датчика та значення вихідного сигналу з датчика. В середині блок має наступну реалізацію, рисунку 4.4.

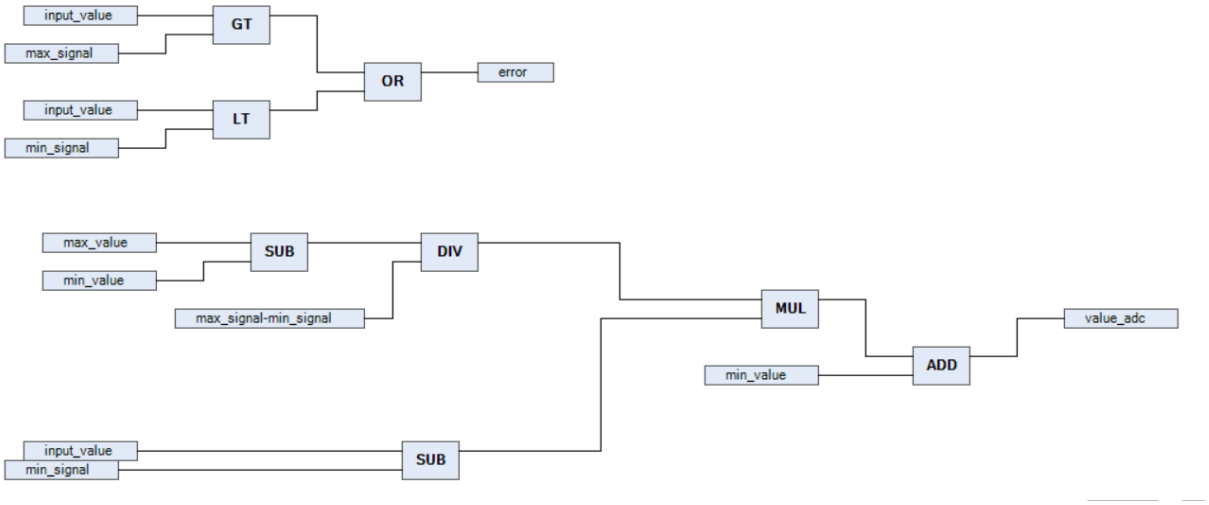

Рисунок 4.4 - Реалізація блоку ADC

В блоці ADC вхідний сигнал (input_value) проходить перевірку, для того, щоб дізнатися чи він є коректним і, чи датчик справний. Якщо сигнал відрізняється від діапазону мінімального (min_signal) та максимального (max_signal) сигналу, то це може свідчити про поломку датчика, тому на виході з блоку подаємо сигнал про помилку «error».

Також в даному блоці проходить конвертація сигналу від датчика в інженерну величину. В даному випадку це температура, але блок є універсальний і це може бути будь-яка інженерна величина.

Змінним min_value та max_value присвоюється діапазон виміру датчика, в даному випадку, використовується Emerson 2000, який має діапазон -50…180°C.

На виході з блоку ми отримуємо наше переведене значення в інженерну величину (value_adc).

Для того, щоб передбачити роботу системи в аварійних ситуаціях (вихід з меж перевищення-зниження контрольованої величини) було написано блок Emergency рисунку 4.5.

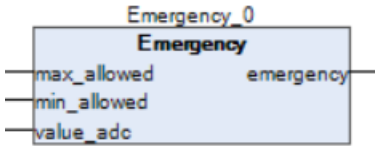

Рисунок 4.5 - Блок надзвичайної ситуації

В середині блоку реалізований наступний код рисунку 4.6.

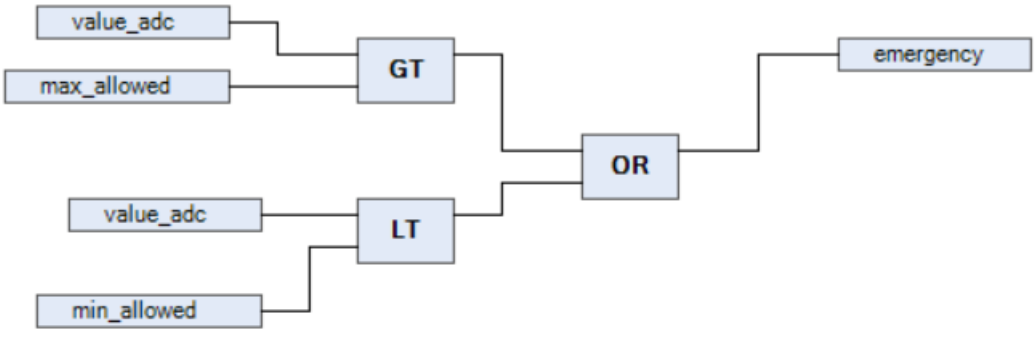

Рисунок 4.6 - Реалізація блоку надзвичайної ситуації

На вхід блок отримує поточне значення температури зворотної води (value_adc), далі він її порівнює з критичним мінімальним (min_allowed) та максимальним (max_allowed) значенням температури, яка може бути в

системі. На виході блок має змінну emergency, яка отримує значення TRUE в разі настання критичної ситуації.

Для реалізації температурного графіка було розроблено блок Temperature_chart, який зображено на рисунку 4.7. та реалізація на рисунку 4.8.

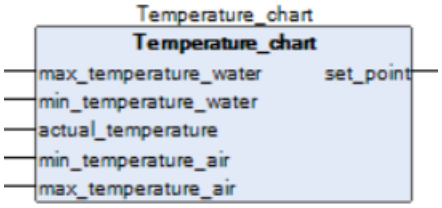

Рисунок 4.7 - Блок температурного графіка

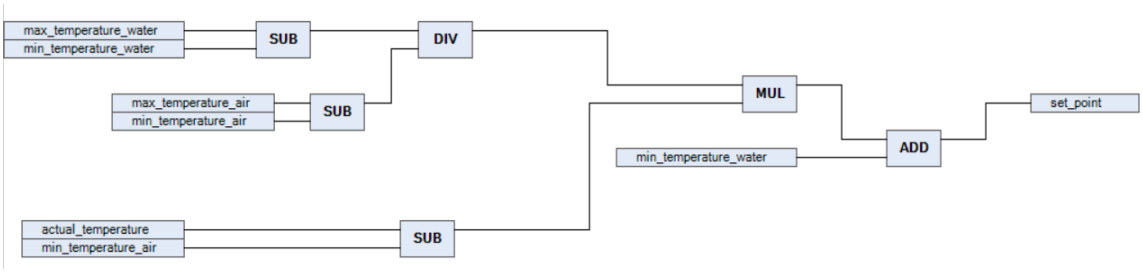

Рисунок 4.8 - Реалізація температурного графіка

На вхід блоку отримує діапазон температури зворотної води, мінімальне та максимальне її значення (min_temperature_water і max_temperature_water) також блок отримує діапазон температур зовнішнього повітря (max_temperature_air та min_temperature_air) та актуальну температуру зовнішнього повітря. На виході з блоку реалізована змінна set_point, яка і є уставкою для регулятора.

Для керування виконавчим механізмом, було створений блок digital to analog converter (DAC), який перетворює інженерну величину у сигнал. Вигляд блоку зображено на рисунку 4.9 та реалізація на рисунку 4.10.

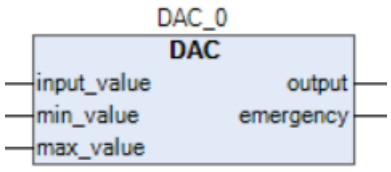

Рисунок 4.9 - Вигляд блоку цифро-аналогового перетворювача

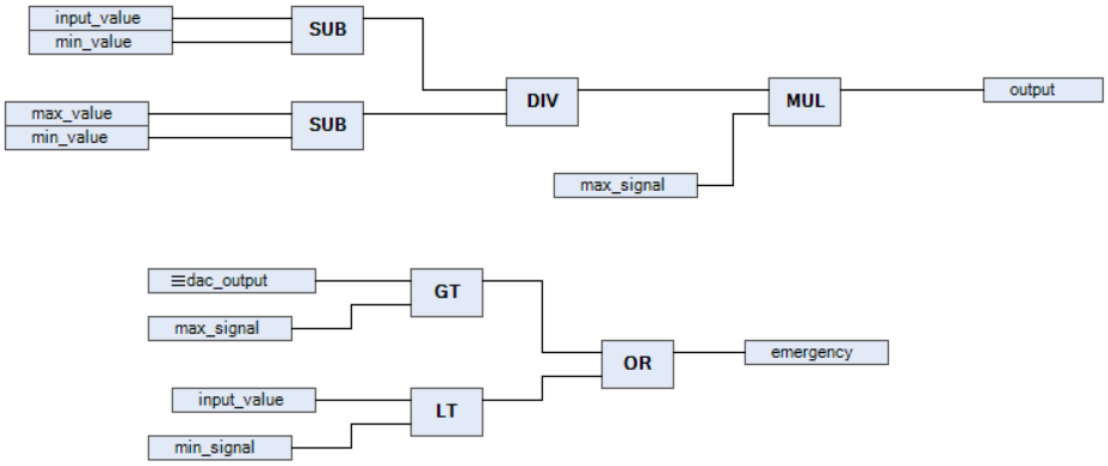

Рисунок 4.10 - Реалізація блоку DAC

На вхід блок отримує значення, на яке потрібно повернути виконавчий механізм (ВМ) (input_value) в інженерній величні. Також на вхід він отримує межі відкриття/закриття (min_value та max_value).

Якщо на виході з перетворювача виходить відмінне значення від значення, за яким працює ВМ то це аварійна ситуація і система повинна видати помилку.

Вихід з блоку output - це конвертоване значення в робочий діапазон, яке потрібно подати на ВМ.

Для аварійних ситуацій передбачений блок TON, який дає затримку сигналу, так як може бути помилка короткострокова, хибне значення яке зміниться через заданий проміжок часу (Time_err).

Загальний вигляд програми представлений на рисунку 4.11.

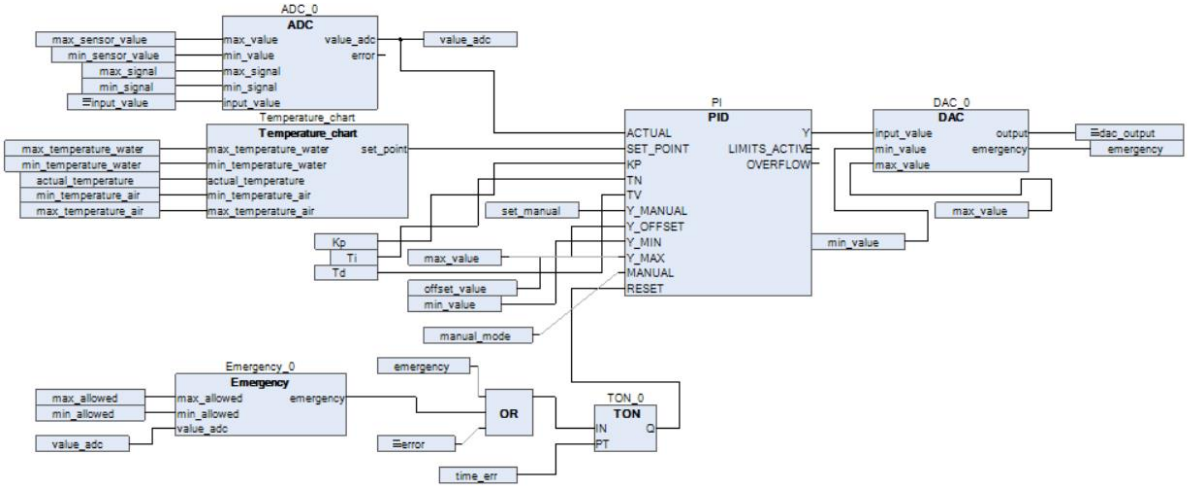

Рисунок 4.11 - Вигляд програми для автоматичного керуванням температурою зворотної води теплопункту

Ініціалізація програми, з використанням розрахованих параметрів

```
PROGRAM PDDPRG
VAR
        ADC_0: ADC;
        set_point: REAL:=80;
        Kp: REAL:=0.78;
        max_value: REAL:=100;
        min_value: REAL:=0;
        input_value: REAL;
        Ti: REAL:=1875;
        Td: REAL:=0;
        max_sensor_value: REAL:=180;
        min_sensor_value: REAL:=-50;
        manual_mode: BOOL;
        set_manual: REAL;
        Emergency_0: Emergency;
        max_allowed: REAL:=80;
        min_allowed: REAL:=30;
        emergency:BOOL;
        DAC_0: DAC;
        value_adc: REAL;
        TON_0: TON;
        Time_err: TIME:=T#8s;
        PI: PID;
        offset_value: REAL:=80;
        max_signal: REAL:=20;
        min_signal: REAL:=4;
        max_temperature_water: REAL:=80;
```

```
        min_temperature_water: REAL:=50;
        actual_temperature: REAL:=5;
        min_temperature_air: REAL:= -20;
        max_temperature_air: REAL:=20;
    END_VAR
```

Отже, робота даної програми така:

ADC отримує сигнал з датчика температури води після підмішування -> Перевіряється чи не є цей сигнал хибним, чи датчик не поломаний -> якщо сигнал не коректний подається TRUE на RESET і подається команда на відкриття (80%, величина може бути змінена інженером)-> якщо сигнал коректний то він поступає на ACTUAL і в разі потреби відбувається регулювання за температурним графіком -> вихід з ПІД регулятора поступає на перетворювач -> перетворений сигнал в діапазоні 0…10В поступає на ВМ

4.3. Людино-машинний інтерфейс для керуванням теплопунктом

Для створення SCADA системи було обрано середовище розробки Indusoft Web Studio. В даній програмі можна будувати свою scada систему використовуючи вже готові блоки, що є дуже зручним.

Для зручності користування та орієнтування було розроблено меню, яке в собі містить наступні вікна:

- Account – вхід до акаута, адже доступ повинні мати лише люди, які мають на це право
- MyMimics – вікно програми, на якому відображаються всі основні параметри роботи системи
- Alarms – вікно аварій, де знаходяться всі повідомлення про помилки.

На рисунку 4.12. зображено загальний вид головного меню

Рисунок 4.12 - Меню SCADA – системи

Перейшовши у вікно Account, користувач побачить спливаюче вікно, де потрібно ввести свою облікові дані для подальшої роботи з системою. Вигляд вікна доступу у систему зображено на рисунку 4.13.

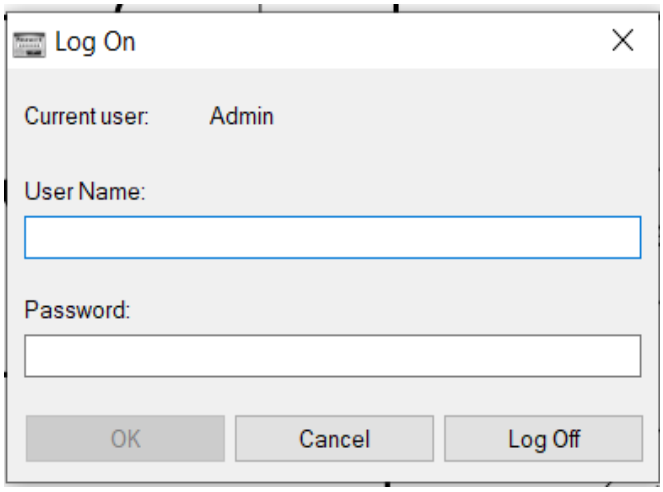

Рисунок 4.13 - Вхід до системи

У вікні MyMimics було реалізовано мнемосхему роботи теплопонкуту, на ній виведені наступні основні параметри роботи: температура прямої та зворотної води, відсоток відкриття клапанів, робота насосів та перепад тиску

на насосних групах (відображається лампочками, ламочка світиться на тому насосі, який працює в даний момент) та лічильник теплоенергії. Вигляд мнемосхеми зображено на рисунку 4.14.

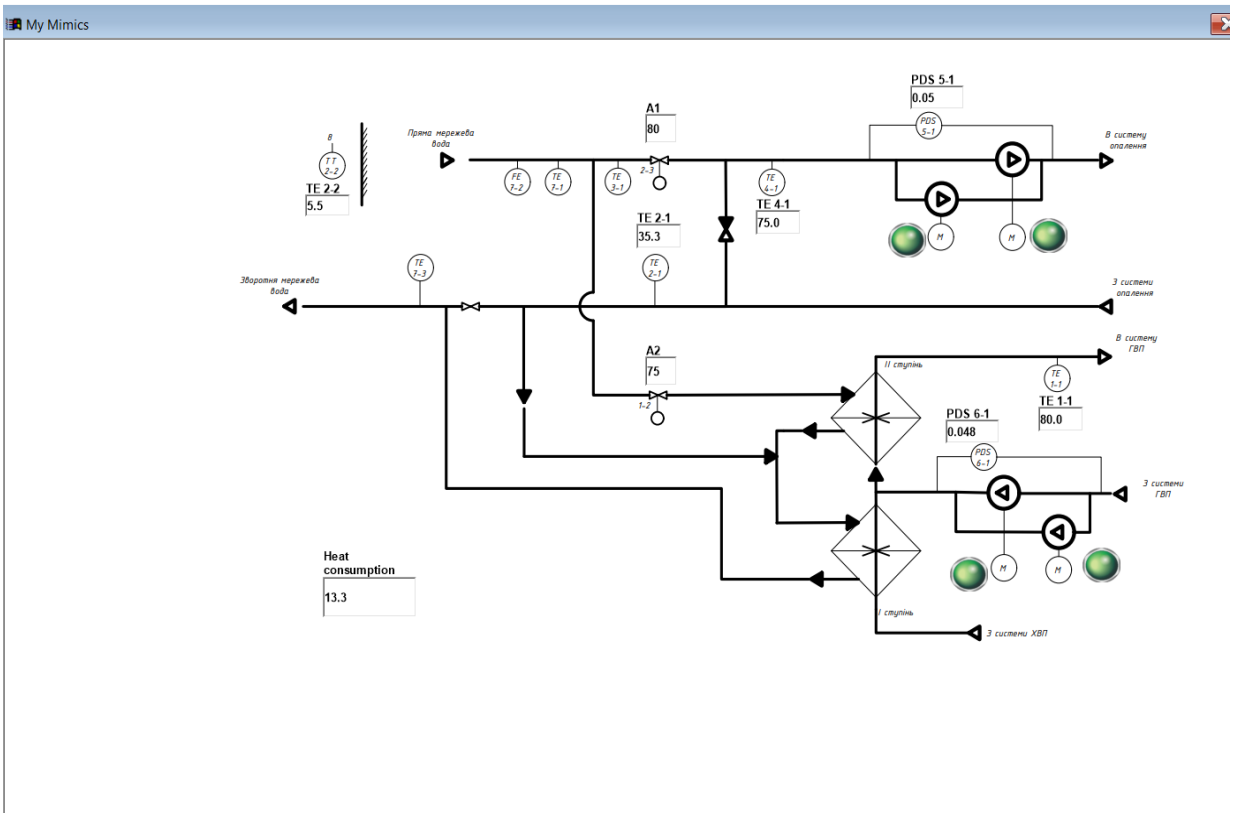

Рисунок 4.14 - Вигляд схеми контролю параметрів теплопункту

Також було реалізовано вікно Аварій, вигляд його зображено на рисунку 4.15.

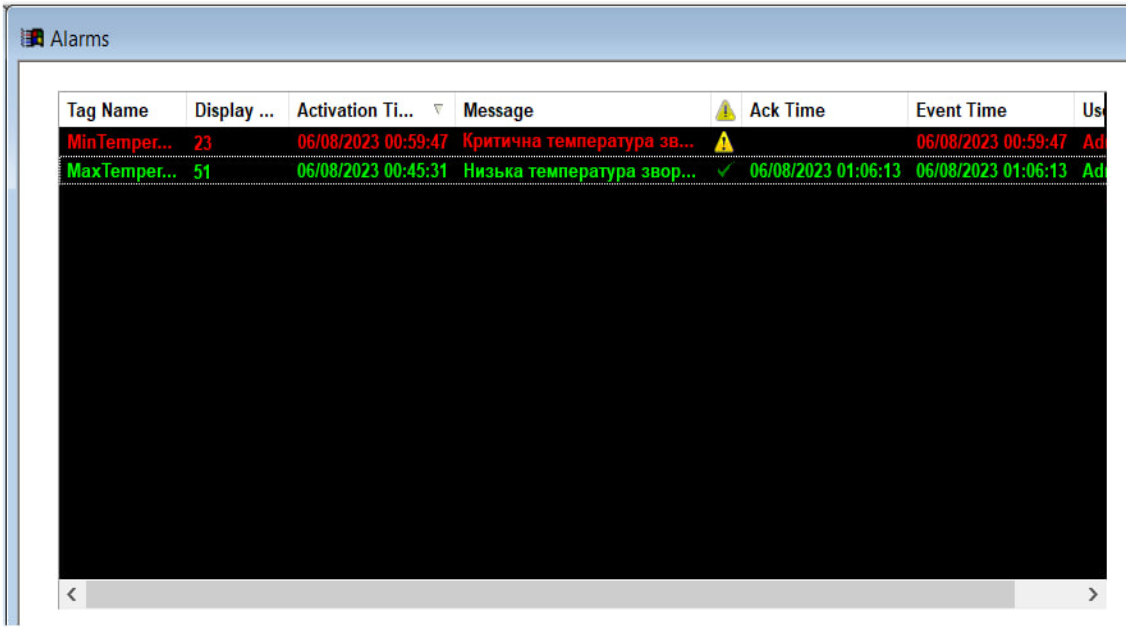

Рисунок 4.15 - Вікно аварій

В даному вікні можна побачити всі аварії, які відбулися на об’єкті. Кожна аварія має тег, дату, час, опис та відображення параметру, який викликав цю аварію. Також після перегляду аварії, її можна відмітити. Вирішивши аварію, помилка зникне з основного вікна, про те залишиться у базі даних, де її можна буде переглянути в разі потреби.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є дуже важливою складовою при розробці будь-якого технологічного проекту. Недотримання правил та рекомендацій, які розробляються фахівцями з охорони праці, може нести дуже тяжкі наслідки: травмування або навіть смерті робочого персоналу.

Основне завдання охорони праці – створення безпечних умов для персоналу, що обслуговує об’єкт.

Тема дипломного проекту «Автоматична система керування теплопунктом багатоквартирного будинку», дана система призначена для того, щоб всі жителі будинку отримували безперебійну подачу тепла в систему опалення на ГВП. Теплопункт розміщується у підвалі багатоквартирного будинку. У підвалі відбувається приєднання теплопункту до мережі та розміщуються циркуляційні насоси та виконавчі механізми, датички тиску та датчики температури. Керування теплопунктом відбувається зі щита, в якому розміщений ПЛК та теплолічильник.

5.1. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації

Для розміщення засобів автоматизації, було обрано щит зі ступенем захисту IP54. Усі кабелі та дроти вкладено в короби, що розміщуються по краях щита. Також кожен кабель маркується, це облегшує комутацію та подальше обслуговування щита. Щит має замок з ключем, адже важливо, щоб доступ до нього мали лише люди, які обслуговують засоби автоматизації.

5.1.1 Електробезпека

Основні нормативні документи, за якими регламентується вимога з електробезпеки це – ПУЕ-2017, НПАОП 40.1-1.21- 98, НПАОП 40.1-1.01097, НПАОП-40.1-1.32-01, ДСТУ 7237:2011.

Згідно ДСТУ 7237:2011 для забезпечення захисту від випадкового дотику людини до струмовідних частин ЕУ рекомендовано застосовувати такі види захисту:

- основне (робоче) ізолювання струмовідних частин (захисне ізолювання);
- додаткове, посилене, подвійне ізолювання струмовідних частин;
- захисні оболонки;
- захисні огорожі (тимчасові або стаціонарні);
- безпечне розташування струмовідних частин;
- ізолювання робочого місця;
- мала напруга; захисне вимкнення;
- попереджувальна сигналізація (звукова, світлова тощо);
- блокування;
- встановлення знаків безпеки;
- електрозахисні засоби; засоби індивідуального захисту.

Для запобігання ураженню електричним струмом під час дотику до металевих неструмовідних частин, які можуть бути під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, необхідно застосовувати окремо або в поєднанні наступні види захисту:

- захисне заземлення;
- автоматичне вимкнення живлення;
- зрівнювання потенціалів;
- застосування обладнання відповідного класу за електрозахистом;
- захисний електричний поділ кіл;
- ізолювальні (непровідні) приміщення, зони, майданчики;
- системи наднизької напруги (безпечної, захисної).

Для живлення щитового та технологічного обладнання ТП використовується трифазна електромережа з заземленою нейтраллю, з робочою напругою 220/380 В та частотою 50 Гц. Застосована система захисного заземлення TN (підсистема TN-C-S).

Дана система захисного заземлення виключає можливість ураження персоналу електричним струмом при пробої на корпус ЕУ однієї з фаз електромережі, що забезпечується завдяки швидкому вимиканню ділянки електромережі, на якій виникло замикання фази на корпус, за рахунок використання пристроїв максимального струмового захисту.

Для виконання діючих вимог з електробезпеки, все технологічне електроустаткування згідно з ДСТУ IEC 61140:2015 має 0I та I класи за електрозахистом, а засоби автоматизації (блоки контролерів, екранні пристрої, давачі, виконавчі пристрої, блоки живлення тощо) системи управління мають відповідно I, II та III класи.

Передбачена проектом апаратура АСК та силове електротехнічне устаткування повинні експлуатуватися відповідно до паспортних даних, які визначають номінальні значення струмів і напруг живлення.

ЕУ мають затискачі заземлювальні та відповідні знаки заземлення. Значення опору між заземлювальним затискачем та кожною доступною до дотику металевою неструмовідною частиною ЕУ, яка може опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції, не повинно перевищувати 0,1 Ом.

Клемні колодки у щитовому обладнанні мають бути захищеними спеціальними щитками, електрокабелі мати різнокольорову ізоляцію провідників та відповідне кольорове маркування комутаційних елементів БЩУ, таблички та написи з позначенням робочих напруг, попереджувальні знаки.

Використано контролер від фірми Schneider electric, який має зовнішній блок живлення від фірми Schneider electric (24В постійного струму).

Живлення кожного приладу системи автоматизації відбувається через щит, де встановлено комутуюче та захисне обладнання (автомати максимального струмового захисту, ПЗВ тощо).

Для уникнення ураженням струму персоналу всі елементи електроприладів щитового обладнання АСК виконані з дотриманням зазначених вище норм з електробезпеки.

Електромонтажні роботи повинні виконуватися у відповідності з [4]. Ремонт та обслуговування автоматизованої системи керування повинен проводитися людьми, які мають відповідну кваліфікацію та тільки після того, як буде розірвано лінію живлення.

5.2. Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1. Мікроклімат

Відповідно до діючих санітарних норм [5], нормуються оптимальні та допустимі значення наступних параметрів мікроклімату виробничих приміщень; температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в залежності від категорії тяжкості праці та пори року. Нормовані оптимальні значення цих параметрів для ТП наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Параметри мікроклімату

Період року	Температура повітря	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий року	22-24 °С	60-40%	0.2 м/сек
Холодний	21-23 °С	60-40%	0.1 м/сек

Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщені ТП, це приміщення повинно бути обладнане системою опалення, вентиляції та кондиціонування, що виконуються відповідно до [6].

Опалення приміщення відбувається за рахунок тепла, яке виділяється з поверхні обладнання теплового пункту.

Для того, щоб забезпечити оптимальну вологість у приміщенні, слід використовувати зволожувачі повітря.

5.2.2. Виробниче освітлення

Приміщення де розташовано тепловий пункт має штучне освітлення за допомогою світлодіодних ламп. Для забезпечення безпеки освітлювальних

приборів, ведеться постійне обслуговування, та в разі виходу зі строю, заміна компонентів освітлення. Рівень освітленості робочих місць відповідає вимога ДБН В.2.5-28-2018.

5.2.3. Виробничий шум

Згідно з ДСН 3.3.6.037-99 допустимий рівень звуку на робочих місцях ТП – 65 ДБА. Основним джерелом шуму є циркуляційні насоси з рівнем шуму <60 ДБА, що відповідає нормам [7].

Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкополосного (тонального) шуму наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 5.2 - Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкополосного (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньогеометричними частинами (Гц)								Допус-тимий рівень звуку, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробниче приміщення	99	92	86	80	75	76	74	72	80
Приміщення управління, робочі кімнати	79	70	63	63	55	52	50	49	60

5.3. Пожежна безпека та профілактика

Відповідно до [9] підвальне приміщення теплопункту за пожежною небезпекою відноситься до категорії Д (пожежобезпечні приміщення, в яких знаходяться негорючі рідини). Основна речовина в теплопункті – це вода, яка не відноситься до горючих речовин. Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою наведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) у приміщенні
А вибухопожежо небезпечна	Горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху не вище ніж 28 °С у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні, який перевищує 5 кПа, і/або речовини і матеріали, здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, у такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа
Б вибухопожежо небезпечна	Горючі пил і/або волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху вище ніж 28 °С, горючі рідини у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пило-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа

Продовження таблиці 5.3

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) у приміщенні
В пожежо небезпечна	Горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини і матеріали (включно горючий пил і/або волокна), за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м2 кожна перевищує 180 МДж-м-2. Якщо питома пожежна навантага не перевищує 180 МДж-м-2, то приміщення відноситься до категорії Д за умови виконання вимог пунктів 7.6.1, 7.6.5 та 7.6.8
Г помірнопожежо небезпечна	Негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я; горючі гази, рідини і/або тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо

Кінець таблиці 5.3

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) у приміщенні
Д зниженопожежо небезпечна	Речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорії приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В

Ступінь вогнестійкості будинку, яка повинна бути забезпечена – III [9], мінімальна допустима межа вогнестійкості несучих стін 2 години, міжповерхових перекриттів 0,75 години.

У приміщенні самого теплопункту, де розміщується обладнання, застосовані наступні технічні рішення:

- згідно вимог ДБН В.2.4-56-2014 встановлена система автоматичної пожежної сигналізації;
- при гасінні пожежі використовуються вогнегасники ВХП-10 та ВВ-7, всі вогнегасники розташовані в легкодоступному місці;
  Кількість, розташування та умови зберігання вогнегасників відповідає вимогам [10] та ISO 3941-2007.

Всьому задіяному в обслуговуванні персоналу проведено протипожежний інструктаж.

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Кошторис складений в цінах 2023 року.

Кошторисна вартість: 404277 грн

У тому числі:

- Обладенення 382645,46 грн
- Монтажні роботи 19132 грн

Таблиця 6.1 - Кошторис (вартість обладнання)

№ поз.	Шифр та найменування позицій цінника і прейскуранта	Найменування та характеристика обладнання	Од. вим.	Кількість.	Вартість	
					Од.	Загальна
1.	Emerson 2700, HCX 50M	Термометр опору	шт.	4	3000.00 грн	12000.00 грн
2.	TM1STNTCW69755	Датчик температури повітря	шт.	1	957.22 грн	957.22 грн
3.	Ranco 016-H6703	Реле перепаду тиску	шт.	2	1163.00 грн	2326 грн
4.	СВТУ-10М-RP	Тепло-лічильник	комплект	1	30000 грн	30000 грн
5.	TM172PDG42SI	ПЛК	шт.	1	19544,80 грн	19544,80 грн
6.	YASKAWA TP 304-SM	Промисловий ком’ютер	шт.	1	22172 грн	22172 грн

Продовження таблиці 6.1

№ поз.	Шифр та найменування позицій цінника і прейскуранта	Найменування та характеристика обладнання	Од. вим.	Кількість.	Вартість	
					Од.	Загальна
7.	E.Next e.industrial.ukc-50.24	Контактор	шт.	4	1399,38 грн	5597,52 грн
8.	Belimo GV12-24-SR-T	Виконавчий механізм	шт.	2	6040 грн	12080 грн
9.	Maxwell MS-1DA4825	Твердотільне реле	шт.	4	576,18 грн	2304,72 грн
10.	SA10	Вимикач	шт.	1	150 грн	150 грн
11.	ABLS1A24050	Блок живлення	шт.	1	2702 грн	2702 грн
12.	Schneider Easy9 32A	Вимикач автоматичний	шт.	1	391 грн	391 грн
13.	Короб пластиковий 40x40	Короб пластиковий	м.	3	60 грн	180 грн
14.	DIN-рейка 35мм	DIN-рейка	м.	3	67 грн	201 грн
15.	Enext p049006	Клема	шт.	10	42,19 грн	421,9 грн
16.	e.tc.din.pro.2.5	Колодки клемні набірні	шт.	10	31 грн	310 грн
17.	ЩШМ-600x600x300	Щит	шт.	1	1300 грн	1300 грн

Кінець таблиці 6.1

№ поз.	Шифр та найменування позицій цінника і прейскуранта	Найменування та характеристика обладнання	Од. вим.	Кількість.	Вартість	
					Од.	Загальна
18.	ВВГ 3х6	Кабель силовий	м.	10	91,39 грн	913,9 грн
19.	КВВБГ 3х1	Кабель контрольний	м.	20	34,24 грн	684,8 грн
20.	КВВБГ 2х1	Кабель контрольний	м.	70	28,7 грн	2009 грн
21.	ВВГ 3х4	Кабель силовий	м.	40	71,69 грн	2867,6 грн
22.	Saperoni S 65-200 C	Насос циркуляційний	шт.	4	65883 грн	263532 грн
					Усього	382645,46

Таблиця 6.2 – Кошторис (підсумок)

	Вартість	
	Обладнення	Монтажні роботи
Усього	382645,46	19132 грн
Транспортні витрати	2500,50	
Загальна вартість	385145,5 грн	19132 грн
Загальна вартість кошторису	404277 грн	

У кошторис враховано все обладнання разом зі встановленням. Загальна вартість встановлення автоматизованого теплопункту в будинок

складає 450432 грн, що становить відносно не багато, з урахуванням того, що жителі будинку будуть отримувати безперебійне постачання тепла, яке буде регулюватися в залежності від температури зовнішнього повітря, а отже використувати тепло раціонально, тим самим, буде відбуватися економія споживання.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломного проекту було розробленно автоматичну систему керування теплопунктом багатоквартирного будинку. Було розглянуто різні варіанти підключень будинку до мережі, але вибрано саме залежну систему опалення, через те, що більшість старих будинків мають саме її, і автоматизація таких теплопунктів на даний момент є важливою задачею.

Для регулювання температури води, було обрано одно контурну систему регулювання з регулюванням температури зворотної води за температуриним графіком.

Було знято перехідні характеристики об'єкта керування, далі їх було згладжено, нормовано та апроксимовано. Для апроксимації було використано модифікований метод логарифмування та визначено передавальну функцію об'єкта. Після цього було розраховано налаштування ПІ-регулятора за допомогою метода РАФХ та за інженененрним методом. Порівнявши прямі показники якості, з'ясувалося, що метод РАФХ дав кращі результати, тому в подальших розрахунках було використано коефіцієнти за методом РАФХ. Далі було проведено розрахунок АСР на грібсть, для цього була проведена варіація параметрів на ±10%. Розрахунок показав, що система є грубою.

Також було реалізовано програмування ПЛК для контуру управління температурою зворотного теплоносія. Програмування було проведено в середовищі CODESYS на мові CFC.

Була розроблена SCADA система з вікнами контролю параметрів та помилками.

Було створено кошторис для автоматизації теплопункту багатоквартирного будинку, який склав 450432 грн з урахуванням роботи та облденення станом на 2023 рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пырков В.В. : Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. Київ : ДАНФОСС ТОВ, 2007. 250 с.
2. Остапенко Ю.А. Экспериментальные методы исследования объектов управления химических производств: учеб. пособие. / за ред. Ю. А. Остапенко, М.З. Кваско, В.М. Ковалевський. Киев: КПИ, 1981. 111с.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу "Автоматизація технологічних процесів галузі" для студентів спеціальності "Автоматизація технологічних процесів та виробництв" / Самсонов В.О., Бунь В.П.. Київ: КПІ, 1992. 24 с. – рос. мовою
4. Остапенко Ю.О. Ідентифікація та моделювання технологічних об’єктів керування. Київ: Задруга, 1999. –424с., іл..
5. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
6. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляції та кондиціонування.
7. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
8. ДБН В.2.5-23:2010. Проєктування електрообладнання об’єктів цивільного призначення. [Введений 01.10.2010]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2010. 52с
9. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
10. ДСТУ 3675-98. Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.