

**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: «Автоматизована система керування індивідуального тепlopункту житлового
комплексу»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-13

Ганжа Владислав Олександрович _____

Керівник:

Старший викладач

Гікало Павло Валерійович _____

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 – 2025 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

Ганжа Владислав Олександрович

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування індивідуального тепlopункту житлового комплексу», керівник проєкту старший викладач, Гікало Павло Валерійович, затверджені наказом по університету від «02» червня 2025 р. №1875-с
2. Термін подання студентом проєкту
3. Вихідні дані до проєкту: Літературні джерела, Інтернет-джерела, Переддипломна практика
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Проєктування АСУТП, Інженерний розрахунок САР, Опис графічної частини проєкту, Програмування ПТКЗА,

Імітаційне моделювання АТК, Охорона праці, Техніко-економічний розрахунок, Результати і Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації функціональна, Схема принципова електрична, Креслення загального виду щита, 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
Охорона праці	Доцент, к.т.н. Каштанов Сергій Федорович		

7. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації ТОУ	14.05.2024	
2	Проектування АСУ ТОУ	20.05.2024	
3	Інженерні розрахунки САР	27.05.2024	
4	Імітаційне моделювання і аналіз функціонування АТК	03. 06.2024	
5	Охорона праці і техніко-економічна ефективність АСУ	05. 06.2024	
6	Висновки	08.06.2024	
7	Попередній захист дипломного проєкту	13.06.2024	
8	Захист дипломного проєкту	19.06.2024	

Студент

Владислав ГАНЖА

Керівник

Павло ГІКАЛО

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт виконано на тему «Автоматизована система керування індивідуального теплопункту житлового комплексу».

Для проєкту автоматизації були розроблені наступні креслення: функціональна схема автоматизації, принципова електрична схема, а також креслення загального виду щита.

В процесі роботи було виконано всі поставлені задачі. В результаті, було оформлено пояснювальну записку, яка включає в себе сім розділів.

В першому розділі було наведено характеристики технологічного об'єкту, технологічні параметри АСУТП ТОУ, а також її функції. Описано та обґрунтовано структуру АСУТП ТОУ.

В другому розділі було проведено розрахунок регуляторів і моделювання САР для контуру ГВП, а також метрологічний розрахунок вимірювальних каналів.

Третій розділ вмістив в себе опис всіх креслень, а також специфікацію.

В четвертому розділі було виконано програмування функціональності ПЛК, а також програмування функціональності SCADA.

В п'ятому розділі було реалізовано контролерну функціональність САР в софтПЛК CoDeSys, а також супервізорну HMI-Standard функціональність в HMI/SCADA-системі WebStudio.

Шостий розділ описує охорону праці, в якому зазначені всі необхідні вимоги для безпечної експлуатації та обслуговування об'єкту, згідно всіх діючих норм.

Сьомий розділ складається з розрахунку фінансової доцільності автоматизації нашого об'єкту.

Ключові слова: теплова енергія, індивідуальний тепловий пункт, гаряче водопостачання, Freemax Middle, автоматизація індивідуального теплового пункту, SCADA-інтерфейс, технічна реалізація, цифрове керування.

ANNOTATION

The diploma project was carried out on the topic "Automated control system of an individual heating point of a residential complex".

The following drawings were developed for the automation project: a functional automation diagram, a schematic electrical diagram, and a drawing of a general type of shield.

In the process of work, all the tasks were completed. As a result, an explanatory note was drawn up, which includes seven sections.

The first section provided the characteristics of the technological object, technological parameters of the ACS of the ACS, as well as its functions. The structure of the ACS of the ACS of the ACS was described and justified.

In the second section, the calculation of regulators and ACS modeling for the DHW circuit were carried out, as well as the metrological calculation of the measuring channels.

The third section contained a description of all drawings, as well as a specification.

In the fourth section, the programming of the PLC functionality was performed, as well as the programming of the SCADA functionality.

In the fifth section, the controller functionality of the ACS was implemented in the CoDeSys softPLC, as well as the supervisory HMI-Standard functionality in the WebStudio HMI/SCADA system.

The sixth section describes labor protection, which specifies all the necessary requirements for the safe operation and maintenance of the facility, in accordance with all applicable standards.

The seventh section consists of calculating the financial feasibility of automating our facility.

Keywords: thermal energy, individual heating point, hot water supply, Freemax Middle, automation of individual heating point, SCADA interface, technical implementation, digital control.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЛ – аперіодична ланка;

АСК – автоматична система керування;

АТК – автоматизований технологічний комплекс;

ВК – вимірювальний канал;

ВМ – виконавчий механізм;

ГВП – гаряче водопостачання;

ДБН – державні будівельні норми;

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор;

ПК – персональний комп'ютер;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПТК – програмно-технічний комплекс;

ПЗ – програмне забезпечення;

РАФХ – розширена амплітудно-фазова характеристика;

РО – регулюючий орган;

САР – система автоматичного регулювання;

ISO - Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization) ;

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition.

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування
індивідуального теплопункту житлового комплексу»**

Київ – 2025 року

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП	11
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління	11
1.2. Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОВ	13
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОВ	15
1.4 Функції АСУТП ТОВ	15
1.5 Схема автоматизації функціональна	17
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу	18
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ	19
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	22
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР	22
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів	22
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів	22
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів	27
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів	27
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК	33
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР	34
2.2. Інженерний розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР	35
2.2.1. Перелік систем автоматичного регулювання	35
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР контуру ГВП	36
2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР контуру ГВП	37
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР контуру ГВП	37
2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР	38
2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР контуру ГВП	39
2.2.7 Розрахунок регуляторів і моделювання САР для контуру ГВП	39
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ	52
3.1. Схема функціональна автоматизації ТОВ	52
3.2. Схема структурна ПТК	52

						ТА-13439.0006.001 АТХ.П			
						<i>Автоматизована система керування індивідуального тепlopункту житлового комплексу</i>			
Зм..	Кільк..	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				
Розробив	Ганжа В.О.					<i>Пояснювальна записка</i>	Стадія..	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Гікало П. В.						ДП	8	
Н. контр.							<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, НН ІАТЕ, гр. ТА-13</i>		
Затвердив	Волощук В.А.								

3.3. Схема принципова електрична АСП.....	53
3.4. Креслення загального виду щита.....	53
3.5. Схема монтажна щита.....	53
3.6. Специфікація обладнання.....	54
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА.....	55
4.1 Програмування функціональності ПЛК.....	55
4.2 Програмування функціональності SCADA.....	57
РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК.....	59
5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОВ.....	59
5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ MATLAB Simulink.....	59
5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys.....	60
5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio.....	62
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	64
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....	70
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74

ВСТУП

На нинішньому етапі розвитку житлово-комунальної сфери особливої ваги здобувають питання енергоефективності, економічності й надійності теплопостачання житлових споруд. Постійне зростання ціни енергоресурсів, а також необхідність дотримання екологічних норм зумовлюють потребу у впровадженні інноваційних рішень, зокрема автоматизації індивідуальних теплових пунктів (ІТП), що забезпечують теплову енергію для багатоквартирних будинків.

Індивідуальний тепловий пункт є важливим елементом локальної системи теплопостачання, де здійснюється розподіл теплової енергії на потреби опалення, гарячого водопостачання та вентиляції конкретного житлового об'єкта. Впровадження автоматизованої системи керування ІТП дозволяє оптимізувати його роботу, гарантувати стабільний температурний режим у приміщеннях, зменшити теплові втрати, зменшити витрати на обслуговування та підвищити загальний рівень комфорту мешканців.

Практика по цьому дипломному проєкту націлена на розробку системи автоматизованого управління індивідуальним тепловим пунктом житлового комплексу з використанням сучасних засобів вимірювання, регулювання й мікропроцесорної техніки. У роботі розглядаються головні принципи побудови такої системи, обґрунтовується вибір апаратного забезпечення, розробляється функціональна структура системи керування, а також аналізується її робота в різних режимах експлуатації.

Актуальність теми полягає у потребі модернізації наявних теплових вузлів, інтеграції енергоощадних технологій та впровадженні ефективного управління тепловими ресурсами в умовах щільної міської забудови.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Одним із ключових напрямків енергозбереження в системах централізованого теплопостачання є модернізація схем автоматизованих індивідуальних теплових пунктів (ІТП) будівель і споруд із застосуванням сучасних енергозберігаючих технологій.

ІТП відіграють важливу роль [1] у системах теплопостачання будівель, оскільки від їх характеристик залежить ефективність регулювання опалення та гарячого водопостачання, а також оптимальне використання теплової енергії. Саме тому у процесі термомодернізації будівель приділяється особлива увага вдосконаленню теплових пунктів, масштабні проєкти яких планується реалізувати в різних регіонах України найближчим часом.

Дослідження режимів роботи ІТП [2], які є сполучною ланкою між споживачами тепла та тепломережами, сприяє розробці ефективних, економічно вигідних і швидкоокупних проєктних та технологічних рішень, що забезпечують раціональне використання теплової та електричної енергії.

Перехід від централізованих теплових пунктів до індивідуальних, оснащених енергозберігаючим обладнанням нового покоління, дозволяє значно підвищити ефективність систем теплопостачання. Це сприяє поступовому відмовленню від традиційних розподільних мереж, покращенню регулювання потреб у теплі, зменшенню втрат під час транспортування теплоносія та скороченню витрат електроенергії.

Використання ІТП передбачає [3] розміщення центрів теплопостачання безпосередньо у конструкції будівлі, що дозволяє мінімізувати енергетичні втрати та покращити якість теплопостачання. Зростаюча популярність таких рішень зумовлена тим, що ІТП суттєво перевершують застарілі центральні теплові пункти (ЦТП) за всіма ключовими параметрами.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 — Індивідуальний тепловий пункт

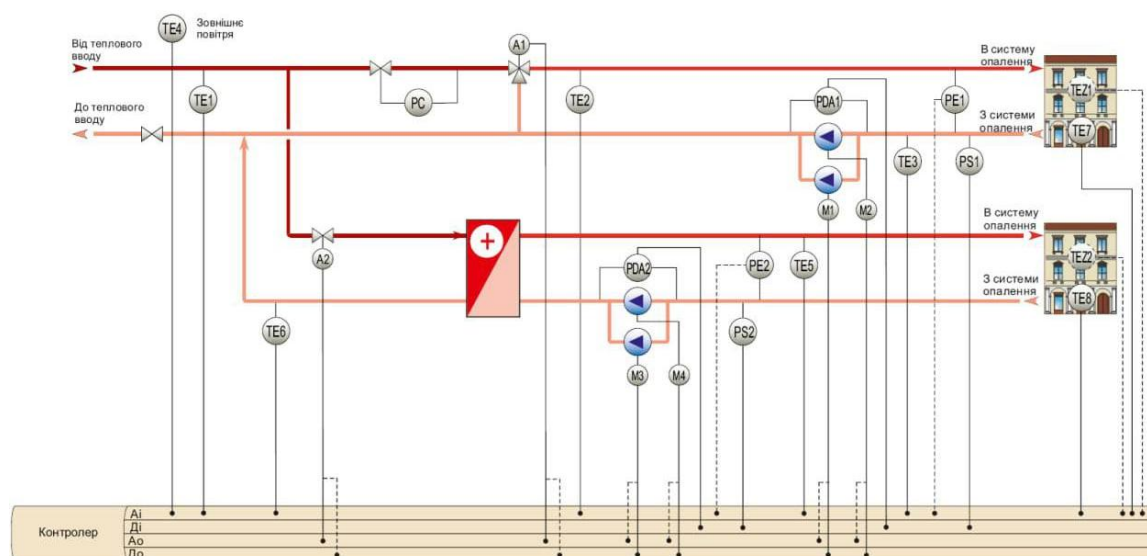


Рисунок 1.2 — Спрощена функціональна схема ітп

Основні технічні параметри системи гарячого водопостачання вказані у таблиці 1.1. [6]

Таблиця 1.1 — Технічні параметри системи ГВП індивідуального тепlopункту житлового комплексу

Параметр	Номинальний параметр	Діапазон допустимих значень	Необхідна точність
Температура води на вході в систему тепlopостачання	70 °C	65-80 °C	+1 °C
Температура води на виході з системи тепlopостачання	50 °C	45-55 °C	+1 °C
Тиск в трубопроводі	0.6 МПа	0.4-0.7 МПа	+0.05 МПа
Тиск в зворотному трубопроводі	0.3 МПа	0.2-0.4 МПа	+0.05 МПа
Температура води на вході в систему ГВП	60 °C	55-65 °C	+1 °C
Температура води на виході з системи ГВП	50 °C	45-55 °C	+1 °C

1.2. Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Головне призначення індивідуального теплового пункту (ІТП) полягає в перетворенні теплової енергії, регулюванні параметрів теплоносія та розподілі тепла між внутрішніми інженерними системами житлового комплексу — опаленням, гарячим водопостачанням і вентиляцією. ІТП містить в собі комплекс технічних засобів, серед яких теплообмінники, насосне устаткування, регулювальні клапани, датчики, контролери, керувальні блоки та запірно-регулювальна арматура.

У складі ІТП також передбачено встановлення вузлів комерційного обліку теплової енергії, що дозволяє точно визначати витрати тепла за окремими напрямками — на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання.

Такий облік забезпечує прозорі розрахунки з теплопостачальними організаціями та заохочує ощадливе використання ресурсів та оновлення застарілих систем.

Ключовим елементом автоматизації ІТП є погодозалежне регулювання, що здійснюється за допомогою електронного контролера та виконавчого механізму (електроприводу), встановленого на регулювальному клапані. Система реагує на зміни зовнішніх погодних умов і відповідно коригує температуру теплоносія на вході до споживачів, орієнтуючись на сигнали від таких датчиків:

- температури зовнішнього повітря;
- температури теплоносія на подачі;
- температури зворотного теплоносія;
- температури повітря в приміщенні (опційно).

Принцип дії ІТП можна розглядати в розрізі двох контурів:

Первинний контур з'єднаний із централізованою тепломережею та передає тепло у внутрішню систему — через теплообмінник (незалежна схема) або безпосередньо з підмішуванням зворотного теплоносія (залежна схема). Температура теплоносія регулюється мікропроцесорним контролером відповідно до встановленого температурного графіка з урахуванням погодних умов.

Вторинний контур забезпечує розподіл тепла всередині будівлі. Насоси, встановлені у цьому контурі, підтримують необхідний тиск і забезпечують безперебійну циркуляцію теплоносія.

ІТП має ряд вагомих переваг [4] у порівнянні з центральними системами опалення та гарячого водопостачання:

- підвищена енергоефективність завдяки погодозалежному регулюванню;
- можливість гарячого водопостачання незалежно від сезону;
- висока якість води без домішок теплоносія;
- точний облік спожитої енергії;

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- стабільний мікроклімат у приміщеннях;
- гнучкість у модернізації та інтеграції з сучасними системами автоматизації.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Режимні параметри:

- Температура повітря жилого комплексу (22÷28) °С.

Захисні параметри:

- Диференціальний тиск води з системи опалення 0.6МПа;
- Диференціальний тиск води з системи ГВП 0.6МПа;

Контрольні параметри:

- Температура зовнішнього повітря (-20÷35) °С
- Температура поданої в систему ГВП води 58 °С
- Вихідна температура води з системи ГВП 48 °С
- Температура теплоносія в подаючій магістралі системи опалення 70 °С
- У зворотному трубопроводі системи опалення температура теплоносія 50 °С
- Температура подачі теплоносія в ІТП 85 °С
- Тиск води у контурі системи опалення 0.4МПа
- Тиск води у контурі ГВП 0.4МПа

1.4 Функції АСУТП ТОУ

Управляючі функції:

- Автоматичне регулювання температури теплоносія в подаючому та зворотному трубопроводах відповідно до погодних умов і заданого температурного графіка.
- Керування насосним обладнанням систем опалення та гарячого водопостачання з урахуванням режимів роботи та навантаження.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Управління електроприводами регулювальних клапанів для точного підтримання витрат і температури.
- Підтримання тиску в системі відповідно до заданих параметрів із динамічною адаптацією до змін гідравлічного режиму.

Захисні функції

- Автоматичний захист від перевищення гранично допустимих значень тиску та температури.
- Виявлення та сигналізація несправностей у роботі основного обладнання (насоси, клапани, датчики тощо).
- Аварійне відключення системи або окремих вузлів при виникненні критичних відхилень.
- Захист теплообмінного обладнання від замерзання в умовах низьких температур зовнішнього повітря.
- Контроль стану зв'язку з ключовими датчиками та активація резервних сценаріїв у разі його втрати.

Інформаційні функції

- Моніторинг у реальному часі всіх технологічних параметрів і стану обладнання.
- Ведення архівів даних (температури, тиску, стану виконавчих механізмів) для подальшого аналізу.
- Формування журналу подій, включно з аварійними сповіщеннями та змінами режимів.
- Інтерактивний інтерфейс візуалізації на основі SCADA-систем для оперативного керування та діагностики.
- Генерація звітів і побудова графіків для технічного персоналу та аналітиків.
- Прогнозування теплового навантаження на основі історичних даних і математичних моделей споживання.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Схема автоматизації функціональна

Через трубопровід 1 здійснюється подача води з теплового вузла, температуру якої ми вимірюємо за допомогою датчика TE(2a), температура навколишнього середовища вимірюється за допомогою датчика TE(1a). За допомогою датчиків TE(4a) та TE(7a) вимірюється температура води для опалювальної системи та з опалювальної системи відповідно. Для регулювання температури води в системі опалення використовується 3-ходовий сідельний клапан, положення якого змінюємо за допомогою електроприводу 3a. Датчик PS(8a) використовується для виміру диференціального тиску води з системи опалення, а датчик PDS(5a) для перепаду тиску між насосами Н1, Н2 у контурі системи опалення.

В системі ГВП за допомогою датчика TE(11a) ми вимірюємо температуру поданої води в систему ГВП, а датчик TE(13a) вимірює температуру вихідної води з системи ГВП. Датчиком PS(14a) та PDS(12a) вимірюємо диференціальний тиск води з системи ГВП та перепад тиску між насосами Н3, Н4 в контурі ГВП відповідно. За допомогою електроприводу 10a ми змінюємо положення клапана і таким чином регулюємо температуру прямої води яка подається в теплоаккумулятор, який має вбудований теплообмінник і виконує функцію нагріву води для системи ГВП, а розширювальний бак задіяний для регулювання тиску в

системі ГВП, тим самим виконуючи захисну функцію, адже приймає на себе надлишковий об'єм води стабілізуючи тиск у системі. Через трубопровід 7 здійснюється підживлення системи, для підтримки тиску, а також об'єму води в системі ГВП

Циркуляційні насоси Н1, Н2 та Н3, Н4 виконують функцію циркуляції води в системі опалення та ГВП відповідно.

Реле тиску 5a і 12a, виконують функцію ввімкнення/вимкнення подачі води до системи.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перетворювач тиску 14а і 8а, здійснюють вимірювання тиску та контролюють наявність теплоносія в системі ГВП та опалення відповідно.

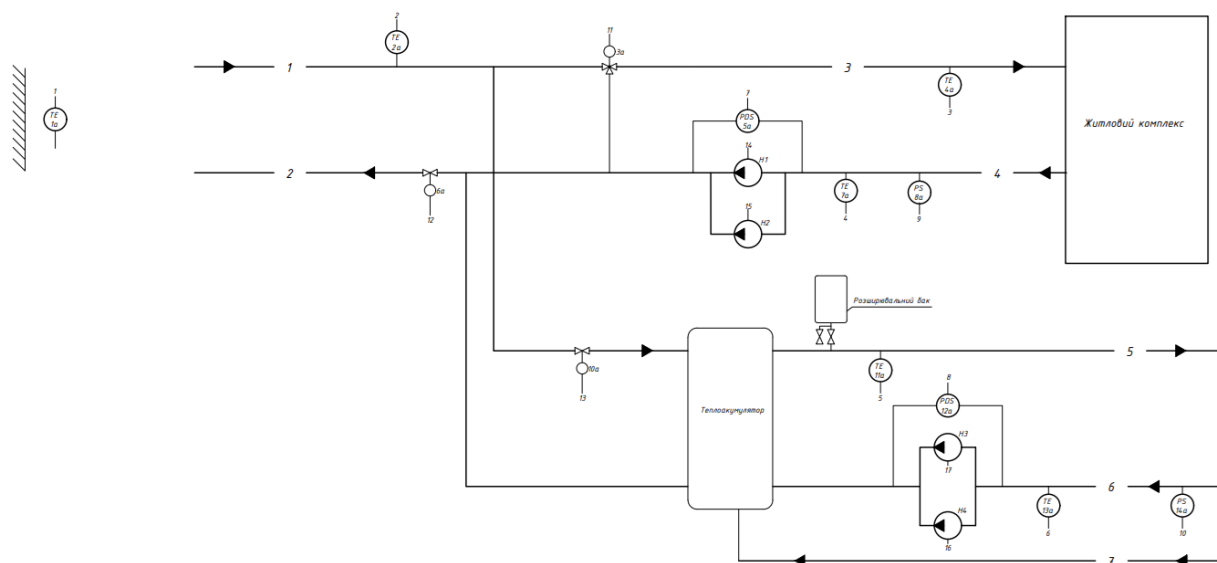


Рисунок 1.2 — Функціональна схема автоматизації

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

У складі автоматизованої системи керування тепловим пунктом багатоповерхового житлового будинку передбачено застосування вільно конфігурованого програмованого логічного контролера Freemax middle призначеного для управління двома незалежними системами — опаленням та/або гарячим водопостачанням у різних конфігураціях.

Обмін інформацією між контролером і центральним сервером здійснюється через мережевий інтерфейс Ethernet із використанням промислового протоколу Modbus RTU, що забезпечує надійність і стабільність комунікації. Зв'язок між сервером і операторською станцією реалізовано по каналу зв'язку з інтерфейсом RS-485, який також працює за протоколом Modbus RTU.

Контролер Freemax middle [5] виконує функції автоматичного регулятора, обробляючи інформацію, що надходить із датчиків температури та тиску, та формуючи команди для виконавчих механізмів: насосного обладнання, електроприводів регулюючих клапанів тощо. Усі дії контролера

реалізуються відповідно до заданих алгоритмів управління, що дозволяє підтримувати оптимальні параметри роботи тепlopункту в різних режимах.

Для віддаленого керування, моніторингу та аналізу роботи ІТП використовується SCADA-система, яка виконує збір, архівування та візуалізацію даних у реальному часі. Такий підхід дає змогу обслуговуючому персоналу оперативно реагувати на зміну параметрів, своєчасно виявляти несправності та здійснювати точне налаштування обладнання.

Інтерфейс Ethernet забезпечує високу швидкість обміну даними (до 1 Гбіт/с), що гарантує безперебійну роботу системи навіть у складних умовах. Його основними перевагами є:

- масштабованість (можливість розширення системи без повної заміни обладнання),
- універсальність (сумісність із широким спектром пристроїв автоматизації),
- простота інтеграції у наявну ІТ-інфраструктуру.

Протокол Modbus RTU є одним із найпоширеніших у сфері промислової автоматизації завдяки своїй простоті, гнучкості, широкій підтримці з боку виробників і здатності забезпечити якісну взаємодію між різними пристроями в єдиній мережі.

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ

Джерела техніко-економічної ефективності автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУ ТП)

Для керуючих функцій:

- Підвищення енергоефективності системи завдяки автоматичному регулюванню температури та тиску теплоносія відповідно до погодних умов і фактичного теплового навантаження.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Оптимізація роботи насосного обладнання, що сприяє зниженню споживання електроенергії та забезпечує безперебійну подачу тепла з мінімальними витратами.

- Зменшення теплових втрат шляхом точного підтримання параметрів у мережах опалення й гарячого водопостачання, що дозволяє уникати перегрівів і перевитрат енергії.

Для захисних функцій:

- Запобігання аварійним ситуаціям, пов'язаним із перевищенням допустимих значень температури або тиску, що дозволяє уникнути пошкоджень трубопроводів, арматури й теплообмінників.

- Своєчасна діагностика несправностей насосів, датчиків, клапанів та іншого обладнання забезпечує оперативне технічне обслуговування і скорочення часу простою системи.

- Захист від нештатних режимів експлуатації сприяє продовженню ресурсу роботи обладнання та зниженню загальних витрат на ремонт і заміну компонентів.

Для інформаційних функцій:

- Безперервний моніторинг технологічних параметрів у реальному часі дозволяє швидко виявляти й усувати відхилення від нормального режиму роботи.

- Зменшення витрат на обслуговування завдяки можливості впровадження профілактичного обслуговування на основі аналізу даних про стан обладнання.

- Оперативне реагування на аварійні події через автоматичні сповіщення персоналу, що дозволяє мінімізувати наслідки аварій.

- Покращення умов експлуатації системи завдяки зручному операторському інтерфейсу та графічній візуалізації процесів у SCADA-середовищі.

- Рационалізація енергоспоживання через автоматичну адаптацію режимів роботи обладнання до реального споживання в будинку.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів

Перелік вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальної системи автоматизованої системи керування технологічними процесами:

- Температура подачі теплоносія в ІТП
- Температура теплоносія в подаючій магістралі системи опалення
- У зворотному трубопроводі системи опалення температура теплоносія
- Температура поданої в систему ГВП води
- Вихідна температура води з системи ГВП
- Температура зовнішнього повітря
- Температура повітря жилого комплексу
- Тиск води у контурі системи опалення
- Тиск води у контурі ГВП
- Диференціальний тиск води з системи опалення
- Диференціальний тиск води з системи ГВП

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

Вимірювальний канал температури:

Інформаційно-вимірювальна система температури містить датчик і регулятор. Як датчики використовуються термоперетворювачі опору МВТ 3560.

Одиниці виміру температури: градуси Цельсія (°C).



Рисунок 2.1 — Структурна схема вимірювального каналу інформаційно-вимірювальної системи температури

Вхідні та вихідні сигнали датчика й приладів вимірювального каналу інформаційно-вимірювальної системи температури:

- Вхідний сигнал датчика MBT 3560: температура, градуси Цельсія (°C)
- Вихідний сигнал датчика MBT 3560: аналоговий сигнал
- Вхідний сигнал контролера (ПЛК): аналоговий сигнал

Датчики температури Danfoss MBT 3560 [5] розроблені для ретельного вимірювання температури повітря у системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC). Ці термометри славляться надзвичайною точністю показань, довговічністю та надійністю. Вони здатні функціонувати в широкому температурному діапазоні та просто інтегруються в уже наявні системи автоматизації. Датчик оптимально підходить для сфер застосування, де необхідний точний моніторинг температури води.

Прилад має діапазони вимірювань від -50 до +150 °C та від 0 до +100 °C при різних модифікаціях, клас точності становить 0.5, MBT 3560 встановлюється всередині трубопроводів.

Вимірювальний канал тиску:

Інформаційно-вимірювальна система тиску складається з датчика та контролера. Давач тут представлений перетворювачем тиску Danfoss MBS 3200 [5].

Одиниці вимірювання тиску: Паскаль (Па).



Рисунок 2.2 Структурна схема вимірювального каналу інформаційно-вимірювальної системи тиску

Вхідні та вихідні сигнали давача і контролера вимірювального каналу інформаційно-вимірювальної системи тиску:

- Вхідний сигнал датчика MBS 3200: тиск, Па
- Вихідний сигнал датчика MBS 3200: релейний

- Вхідний сигнал контролера (ПЛК): уніфікований сигнал напруги, 0-10 В

2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

Належне підключення температурних і тискових сенсорів є критично важливим для забезпечення точної, стабільної та надійної роботи автоматизованої системи теплопостачання. При реалізації схем з'єднання необхідно враховувати технічні характеристики сенсорів, тип сигналу, вимоги до живлення, а також рівень електромагнітних завад у середовищі експлуатації.

Основні типи сенсорів, що використовуються в системі:

- Датчики температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах, такі як: ;
- Датчики тиску в теплопостачальному контурі, такі як: .

Підключення аналогових сенсорів:

- Типові сигнали в нашій системі: Pt1000 і 0–10 В;
- Сенсори отримують стабільне живлення 24 В DC;
- Виконуємо попереднє калібрування та вводимо коефіцієнти перетворення у ПЗ контролера;
- Дотримуємось правильної полярності підключення та навантажувального опору, відповідно до технічної документації на прилад.

Підключення цифрових сенсорів:

- Використовуються інтерфейси RS-485 з підтримкою протоколу Modbus RTU;
- Потрібно забезпечити коректне завершення шини зв'язку, уникати надмірної довжини кабелів або використовувати репітери у разі значних відстаней;
- Необхідна правильна адресація пристроїв та узгодження параметрів обміну: швидкості передачі, кількості бітів, парності тощо.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дотримання технічних вимог до підключення вимірювальних каналів є ключовим фактором для надійного функціонування алгоритмів управління, точного вимірювання параметрів теплоносія та стабільної роботи всієї системи. Це безпосередньо впливає на ефективність, надійність і довговічність роботи індивідуального теплового пункту.

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Монтаж пристроїв для вимірювання температури та тиску є ключовим етапом у впровадженні автоматизованої системи управління індивідуальним тепловим пунктом. Від правильності монтажу залежить точність показників, стабільна робота автоматики та довговічність обладнання. Нижче розглянуто основні вимоги та етапи встановлення вимірювальних каналів у тепловий пункт.

Підготовчі роботи

Вибір місця для встановлення:

- Датчики мають монтуватися у технологічно доцільних точках трубопроводів для забезпечення точного контролю параметрів теплоносія.
- Важливо враховувати чинники, що можуть вплинути на точність вимірів: гідроудари, температурні коливання, вібрації.
- Монтажна зона повинна бути зручною для обслуговування та заміни приладів.

Підготовка обладнання та поверхні:

- Поверхня для монтажу очищається від забруднень, іржі та залишків ізоляції.
- Перевіряється наявність усіх необхідних елементів: кріплень, ущільнень, кабелів, захисних кожухів.

Ознайомлення з технічною документацією:

- Монтаж виконується згідно з паспортом обладнання та рекомендаціями виробника, з урахуванням електричних і гідравлічних характеристик пристроїв.

Встановлення датчиків

Температурні давачі:

- Монтуються у спеціальні гільзи, вбудовані у трубопровід, що дає змогу замінювати їх без зливу теплоносія.
- Забезпечується щільний контакт з робочим середовищем для точних і швидких вимірювань.

Датчики тиску:

- Встановлюються в зонах із мінімальними вібраціями, подалі від насосів і місць зі звуженням труб.
- Підключення здійснюється через фітинги з ущільненням для запобігання витокам. Додатково застосовується запірна арматура для зручного демонтажу без зупинки системи.

Правильне встановлення давачів температури та тиску мінімізує похибки, забезпечує безперебійну роботу автоматизації та дозволяє своєчасно реагувати на зміну параметрів. Це сприяє підвищенню енергоефективності та знижує ризик аварійних ситуацій у тепlopункті.

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

Надійність функціонування вимірювальних каналів у системі управління тепlopунктом значною мірою залежить від ефективного захисту від електромагнітних і імпульсних завад. Такі перешкоди можуть спотворювати сигнали з датчиків температури та тиску, що ускладнює точне регулювання теплових режимів.[9]

Використання екранованих кабелів:

- Для зменшення впливу високочастотних перешкод використовують сигнальні кабелі з алюмінієвим або мідним екраном.
- Екран підключається до заземлення лише з одного боку, щоб уникнути заземлювальних петель.
- Кабелі добираються відповідно до типу сигналу Pt1000.
- Для диференційованих сигналів використовують виту пару, що покращує захист від зовнішніх завад.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система заземлення:

- Усі металеві частини приладів, корпуси автоматики, екрани кабелів та кожухи мають бути надійно заземлені.
- Не допускається утворення заземлювальних контурів, які можуть викликати паразитні струми та електромагнітні перешкоди.

Дотримання цих вимог забезпечує електромагнітну сумісність системи, підвищує точність вимірювань і сприяє безпечній експлуатації обладнання. [9]

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

Структурна або блок-схема надійності — це графічне зображення, яке демонструє взаємозв'язки між складовими системи та ілюструє вплив кожного елемента на загальну надійність її роботи.

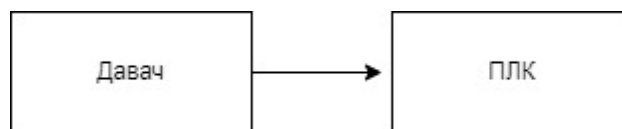


Рисунок 2.3 Структурна схема надійності для управляючої функції

Структурна схема надійності вимірювального каналу відображає усі елементи, що мають вплив на загальну надійність вимірювальної системи. До складу цієї схеми входять давач і програмований логічний контролер (ПЛК).

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Нам важливо, аби рівень точності відповідав допустимим значенням. Таким чином точність вимірювання — це основний чинник, яким ми і визначаємо правильність даних. Для точності вимірювань нам потрібно слідувати за наступними вимогами:

- Формулювання вимог до точності вимірювань для кожного контрольованого параметра, що включає визначення допустимих меж похибки та необхідної роздільної здатності відповідно до технічних характеристик системи.
- Підбір сенсорів та вимірювальних пристроїв, які забезпечують задану точність і стабільну роботу в умовах експлуатації. Також при виборі враховується діапазон вимірювань, чутливість, довготривала стабільність і метрологічні параметри.

- Аналіз чинників, що впливають на точність вимірювань, з урахуванням впливу зовнішніх завад, таких як температурні коливання, вібрації, електромагнітні поля тощо. Розглядаються як систематичні, так і випадкові похибки, що можуть впливати на результативність вимірювань.

Для початку розрахуємо абсолютну похибку кожного компонента, за наведеними нижче формулами:

Температура зовнішнього повітря:

$$\begin{aligned}\Delta_{T_{\text{зп}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{д}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(50 - (-40))}{100} = 0.45^{\circ}\text{C} \\ \Delta_{T_{\text{зп}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{плк}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(50 - (-40))}{100} = 0.45^{\circ}\text{C}\end{aligned}\quad (2.1)$$

Температура теплоносія на вході в ІТП:

$$\begin{aligned}\Delta_{T_{\text{ітп}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{д}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(95 - 0)}{100} = 0.475^{\circ}\text{C} \\ \Delta_{T_{\text{ітп}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{плк}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(95 - 0)}{100} = 0.095^{\circ}\text{C}\end{aligned}\quad (2.2)$$

Температура теплоносія в подачі системи опалення:

$$\begin{aligned}\Delta_{T_{\text{оп}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{д}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(95 - 0)}{100} = 0.475^{\circ}\text{C} \\ \Delta_{T_{\text{оп}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{плк}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(95 - 0)}{100} = 0.095^{\circ}\text{C}\end{aligned}\quad (2.3)$$

Температура зворотного теплоносія системи опалення:

$$\begin{aligned}\Delta_{T_{\text{зоп}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{д}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(95 - 0)}{100} = 0.475^{\circ}\text{C} \\ \Delta_{T_{\text{зоп}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{плк}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(95 - 0)}{100} = 0.095^{\circ}\text{C}\end{aligned}\quad (2.4)$$

Температура води на вході в систему ГВП:

$$\begin{aligned}\Delta_{T_{\text{ВхГВП}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{д}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(95 - 0)}{100} = 0.475^{\circ}\text{C} \\ \Delta_{T_{\text{ВхГВП}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{плк}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(95 - 0)}{100} = 0.095^{\circ}\text{C}\end{aligned}\quad (2.5)$$

Температура води на виході з системи ГВП:

$$\begin{aligned}\Delta_{T_{\text{ВихГВП}}} &= \frac{\varepsilon_d(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(95 - 0)}{100} = 0.475^\circ\text{C} \\ \Delta_{T_{\text{ВихГВП}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{ПЛК}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(95 - 0)}{100} = 0.095^\circ\text{C}\end{aligned}\quad (2.6)$$

Диференціальний тиск води в системі опалення:

$$\begin{aligned}\Delta_{dP_{\text{оп}}} &= \frac{\varepsilon_d(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(1 - 0)}{100} = 0.005\text{МПа} \\ \Delta_{dP_{\text{оп}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{ПЛК}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(1 - 0)}{100} = 0.001\text{МПа}\end{aligned}\quad (2.8)$$

Диференціальний тиск води в системі ГВП:

$$\begin{aligned}\Delta_{dP_{\text{ГВП}}} &= \frac{\varepsilon_d(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(1 - 0)}{100} = 0.005\text{МПа} \\ \Delta_{dP_{\text{ГВП}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{ПЛК}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(1 - 0)}{100} = 0.001\text{МПа}\end{aligned}\quad (2.9)$$

Тиск води у контурі системи опалення:

$$\begin{aligned}\Delta_{P_{\text{оп}}} &= \frac{\varepsilon_d(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(1 - 0)}{100} = 0.005\text{МПа} \\ \Delta_{P_{\text{оп}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{ПЛК}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(1 - 0)}{100} = 0.001\text{МПа}\end{aligned}\quad (2.10)$$

Тиск води у контурі ГВП:

$$\begin{aligned}\Delta_{P_{\text{ГВП}}} &= \frac{\varepsilon_d(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(1 - 0)}{100} = 0.005\text{МПа} \\ \Delta_{P_{\text{ГВП}}} &= \frac{\varepsilon_{\text{ПЛК}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(1 - 0)}{100} = 0.001\text{МПа}\end{aligned}\quad (2.11)$$

Далі розрахуємо абсолютну похибку кожного вимірювального каналу:

Температура зовнішнього повітря:

$$\Delta_{T_{\text{ЗП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.45^2 + 0.09^2} = 0.458^\circ\text{C}\quad (2.12)$$

Температура теплоносія на вході в ІТП:

$$\Delta_{T_{\text{ІТП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.475^2 + 0.095^2} = 0.484^\circ\text{C}\quad (2.13)$$

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Температура теплоносія в подачі системи опалення:

$$\Delta_{T_{\text{оп}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.475^2 + 0.095^2} = 0.484^\circ\text{C} \quad (2.14)$$

Температура зворотного теплоносія системи опалення:

$$\Delta_{T_{\text{зоп}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.475^2 + 0.095^2} = 0.484^\circ\text{C} \quad (2.15)$$

Температура води на вході в систему ГВП:

$$\Delta_{T_{\text{вхГВП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.475^2 + 0.095^2} = 0.484^\circ\text{C} \quad (2.16)$$

Температура води на виході з системи ГВП:

$$\Delta_{T_{\text{вихГВП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.475^2 + 0.095^2} = 0.484^\circ\text{C} \quad (2.17)$$

Диференціальний тиск води в системі опалення:

$$\Delta_{dP_{\text{оп}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.005^2 + 0.001} = 0.0051\text{МПа} \quad (2.19)$$

Диференціальний тиск води в системі ГВП:

$$\Delta_{dP_{\text{ГВП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.005^2 + 0.001} = 0.0051\text{МПа} \quad (2.20)$$

Тиск води у контурі системи опалення:

$$\Delta_{P_{\text{оп}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.005^2 + 0.001} = 0.0051\text{МПа} \quad (2.21)$$

Тиск води у контурі ГВП:

$$\Delta_{P_{\text{ГВП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.005^2 + 0.001} = 0.0051\text{МПа} \quad (2.22)$$

Тепер, маючи межі допустимих похибок кожного вимірювального каналу, ми можемо порівняти їх з отриманими вище значеннями абсолютних похибок:

Температура зовнішнього повітря:

$$0.459^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

Температура теплоносія на вході в ІТП:

$$0.459^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

Температура теплоносія в подачі системи опалення:

$$0.459^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

Температура зворотного теплоносія системи опалення:

$$0.484^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

Температура води на вході в систему ГВП:

$$0.484^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

Температура води на виході з системи ГВП:

$$0.484^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

Диференціальний тиск води в системі опалення:

$$0.484^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

Диференціальний тиск води в системі ГВП:

$$0.484^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

Тиск води у контурі системи опалення:

$$0.484^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

Тиск води у контурі ГВП:

$$0.484^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Для розрахунку надійності нам необхідні значення середнього часу напрацювання на відмову. Необхідні значення наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Середній час напрацювання на відмову

Найменування ВК	Найменування приладу	Тср (год)
Температура зовнішнього повітря	ESMT	50000
Температура теплоносія на вході в ІТП	ESMU-100	100000
Температура теплоносія в подачі системи опалення	ESMU-100	100000
Температура зворотного теплоносія системи опалення	ESMU-100	100000
Температура води на вході в систему ГВП	ESMU-100	100000
Температура води на виході з системи ГВП	ESMU-100	100000
Диференціальний тиск води в системі опалення	MBS 3000	250000
Диференціальний тиск води в системі ГВП	MBS 3000	250000
Тиск води у контурі системи опалення	KPS39	85000
Тиск води у контурі ГВП	KPS39	85000

Середній час напрацювання на відмову вимірювального каналу:

$$T_{\text{плк}} = 100000 \text{ год}$$

Температура зовнішнього повітря:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{50000 * 100000}{50000 + 100000} = 33333,3 \text{ год} \quad (2.23)$$

Температура теплоносія на вході в ІТП:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{100000 * 100000}{100000 + 100000} = 50000 \text{ год} \quad (2.24)$$

Температура теплоносія в подачі системи опалення:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{100000 * 100000}{100000 + 100000} = 50000 \text{ год} \quad (2.25)$$

Температура зворотного теплоносія системи опалення:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{100000 * 100000}{100000 + 100000} = 50000 \text{ год} \quad (2.26)$$

Температура води на вході в систему ГВП:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{100000 * 100000}{100000 + 100000} = 50000 \text{ год} \quad (2.27)$$

Температура води на виході з системи ГВП:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{ПЛК}}}{T + T_{\text{ПЛК}}} = \frac{100000 * 100000}{100000 + 100000} = 50000 \text{ год} \quad (2.28)$$

Диференціальний тиск води в системі опалення:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{ПЛК}}}{T + T_{\text{ПЛК}}} = \frac{250000 * 100000}{250000 + 100000} = 71428,57 \text{ год} \quad (2.30)$$

Диференціальний тиск води в системі ГВП:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{ПЛК}}}{T + T_{\text{ПЛК}}} = \frac{250000 * 100000}{250000 + 100000} = 71428,57 \text{ год} \quad (2.31)$$

Тиск води у контурі системи опалення:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{ПЛК}}}{T + T_{\text{ПЛК}}} = \frac{85000 * 100000}{85000 + 100000} = 45945,95 \text{ год} \quad (2.32)$$

Тиск води у контурі ГВП:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{ПЛК}}}{T + T_{\text{ПЛК}}} = \frac{85000 * 100000}{85000 + 100000} = 45945,95 \text{ год} \quad (2.33)$$

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

У складі автоматизованої системи керування тепlopунктом багатоповерхового житлового будинку програмований логічний контролер (ПЛК) відіграє ключову роль у первинній обробці даних, що надходять з вимірювальних каналів. Від якості цієї обробки залежить точність регулювання температурних і гідравлічних характеристик теплоносія, а також загальна стабільність і енергоефективність роботи системи.

До основних завдань ПЛК на етапі первинної обробки належать:

1. Фільтрація сигналів

Застосування цифрових фільтрів низьких частот дозволяє усунути вплив високочастотних перешкод, що виникають через електромагнітні завади чи коливання напруги. Додатково використовується усереднення кількох значень для зменшення впливу випадкових відхилень та отримання стабільних даних для подальшого керування.

2. Калібрування

ПЛК виконує корекцію вимірювань відповідно до калібрувальних коефіцієнтів, враховуючи технічні характеристики сенсорів. Також може реалізовуватись температурна компенсація для чутливих до зовнішнього середовища датчиків. Калібрування може відбуватися автоматично або вручну на основі результатів періодичного технічного обслуговування.

3. Нормалізація та масштабування

Оброблені сигнали переводяться у зручні для інтерпретації одиниці (наприклад, градуси Цельсія чи мегапаскалі), адаптуються під робочі діапазони приладів і стандарти алгоритмів управління. Це забезпечує правильну роботу ПІД-регуляторів, аварійної сигналізації та систем віддаленого моніторингу.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Робочий стан вимірювальних каналів системи автоматичного регулювання (САР) тепловпункту багатопверхового житлового будинку визначається шляхом всебічного аналізу даних, отриманих після первинної обробки в програмованому логічному контролері (ПЛК). Основними показниками ефективності є точність вимірювання температури, тиску та витрати теплоносія, стабільність сигналів, відсутність шумів і відповідність отриманих значень встановленим нормативам.

Завдяки функціям фільтрації, калібрування, нормалізації та масштабування в ПЛК підвищується достовірність інформації, що надходить до алгоритмів управління. Це забезпечує коректну роботу теплообмінного обладнання, насосів і регулювальної арматури, сприяючи оптимальному керуванню теплопостачанням.

Постійний моніторинг стану сенсорів, а також своєчасне регламентне обслуговування дають змогу оперативно виявляти відхилення — зокрема, дрейф показників, втрату зв'язку або проблеми з живленням. Це дозволяє

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримувати безперервність керування, економне використання енергоносіїв і комфортний мікроклімат у приміщеннях.

Отже, наявність ефективної системи первинної обробки даних у складі ПЛК є ключовим чинником забезпечення надійності, точності та стабільної роботи автоматизованої системи теплопостачання.

2.2. Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1. Перелік систем автоматичного регулювання

Для забезпечення економічно ефективного використання теплоенергії необхідно автоматизувати роботу теплових пунктів. Автоматизація дозволяє об'єкту функціонувати безперебійно та без участі оператора.

Основні завдання автоматизації теплових пунктів:

1. контроль температури подаючої води в системі опалення;
2. моніторинг температури зовнішнього середовища;
3. регулювання температури зворотної води;
4. підтримка необхідного рівня тиску води;
5. регулювання температури гарячої води в системі ГВП.

Система регулювання температури гарячого водопостачання (ГВП) забезпечує подачу води стабільної температури до споживачів, незалежно від змін зовнішніх умов та коливань витрати.

Керування здійснюється через регулюючий клапан, який змінює кількість гарячої мережевої води, що подається у теплообмінник. Це дозволяє підтримувати необхідну температуру води, яка надходить у крани, душові та інші точки споживання.

Існує кілька способів управління температурою ГВП:

За температурою води на виході – автоматичне коригування подачі теплоносія для підтримання заданого рівня нагріву.

За температурою зворотного потоку – контроль витрати теплової енергії для економного використання ресурсів.

Комплексне управління – поєднання кількох параметрів, наприклад, температури води, її витрати та зовнішніх факторів.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Такий підхід дозволяє уникнути перегріву або охолодження води, забезпечуючи комфорт користувачів та раціональне використання енергії.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР контуру ГВП

Датчик температури фіксує параметри води на вході та виході системи, після чого сигнал проходить аналого-цифрове перетворення (АЦП), переводячи його у цифровий формат. Далі обчислюється різниця між фактичним і заданим значенням температури, і цей сигнал надходить на регулятор. Регулятор, впливаючи на виконавчий механізм, змінює витрату води в гарячому контурі теплообмінника, що дозволяє підтримувати необхідну температуру прямої води в системі ГВП.

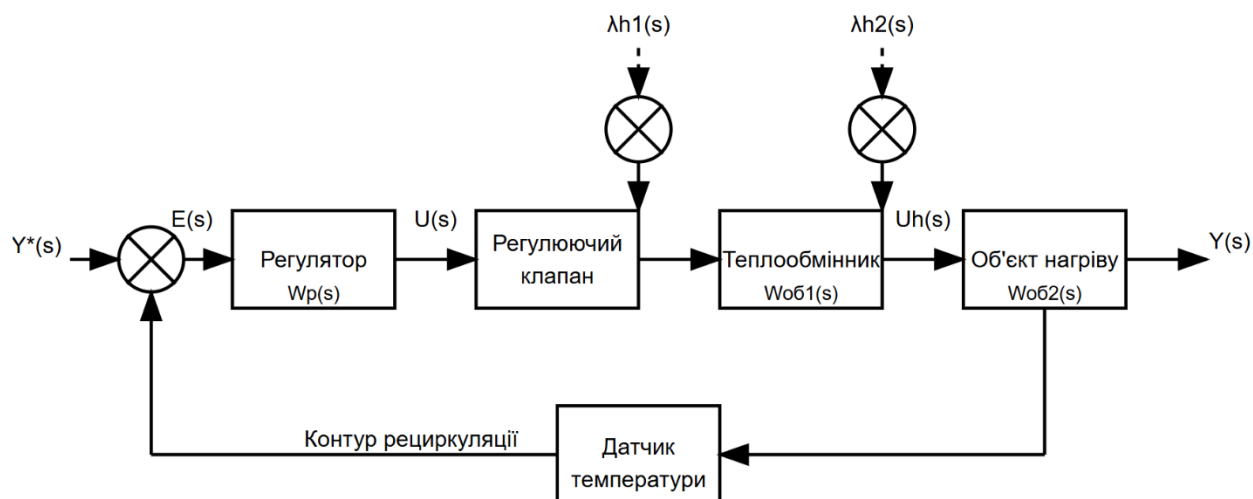


Рисунок. 2.4 — Схема структурна одноконтурної САР контуру регулювання температури гарячої води в системі ГВП

- Y^* – уставка температури гарячої води;
- $E(s)$ – похибка регулювання (різниця між заданою та фактичною температурою);
- $W_p(s)$ – передавальна функція регулятора;
- $U(s)$ – керуючий вплив на виконавчий механізм;
- $U_h(s)$ – вплив на об'єкт нагріву (воду);
- $W_{об}(s)$ – передавальна функція теплообмінника;
- $\lambda_{h1}(s)$ – збурення в подачі теплоносія;
- $\lambda_{h2}(s)$ – збурення в температурі навколишнього середовища;

- $y(s)$ – вихідна величина, фактична температура гарячої води, яка подається споживачеві.

2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР контуру ГВП

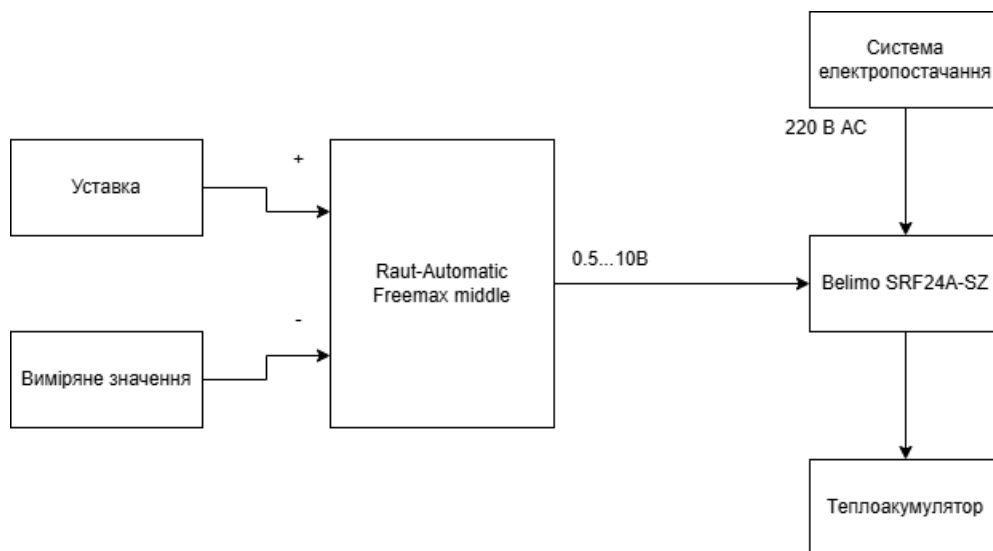


Рисунок 2.5 — Схема структури регульовально-виконавчого каналу САР

У склад регульовально-виконавчого контуру САР входять такі компоненти: ПЛК Raut-Automatic Freemax middle, виконавчий механізм Belimo SRF24A-SZ та теплоаккумулятор. Завдяки аналоговому керуючому сигналу 0–10 В забезпечується плавне регулювання роботи виконавчих пристроїв.

Оптимальна робота теплоаккумулятора досягається шляхом регулювання швидкості подачі води до резервуара.

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР контуру ГВП

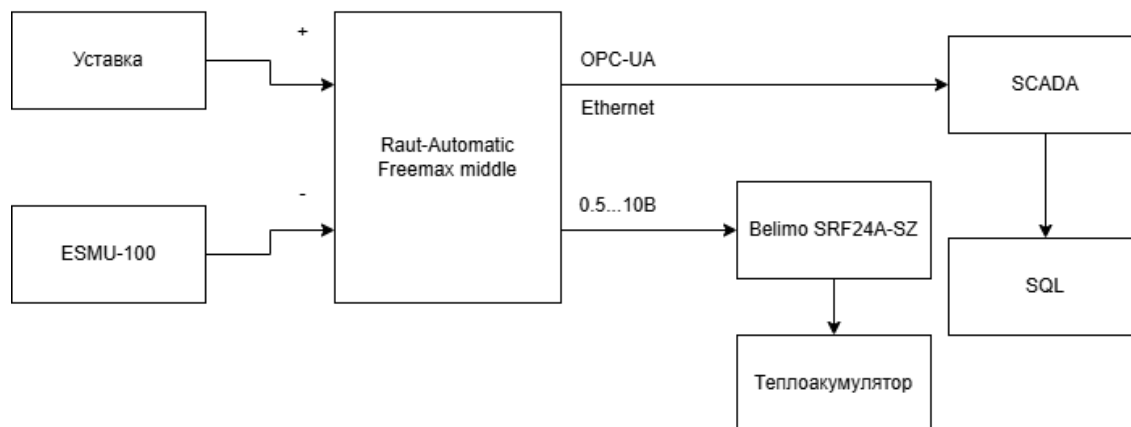


Рисунок 2.6 — Схема структури програмно-технічних засобів САР

Термоперетворювач опору Danfoss ESMU-100 виконує вимірювання температури в трубопроводі та передає аналоговий сигнал, що відповідає її значенню. Завдяки сумісності характеристик датчика і ПЛК, сигнал надходить безпосередньо на контролер. ПЛК здійснює порівняння поточної температури з заданим значенням і формує керуючий сигнал для виконавчого механізму. Виконавчий пристрій, отримавши сигнал, регулює роботу відповідного елемента.

Інформація про температуру та стан виконавчих механізмів передається до SCADA-системи, де вона візуалізується та архівується. Уся інформація разом із журналом подій зберігається в базі даних SQL.

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції CAP

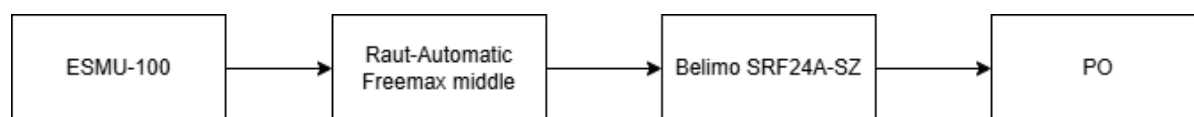


Рисунок 2.7 — Структурна схема надійності.

Структурна схема надійності керуючої функції CAP включає чотири основні компоненти: термоперетворювач опору ESMU-100, програмований логічний контролер (ПЛК) Raut-Automatic Freemax middle, виконавчий механізм Belimo SRF24A-SZ і регулюючий орган. Датчик здійснює вимірювання фізичного параметра, формує відповідний сигнал, який проходить обробку (перетворення та лінеаризацію) і надходить на аналоговий вхід контролера. ПЛК опрацьовує цей сигнал та формує керуючий сигнал у діапазоні 0...10В, який подається на електропривід з функцією повернення за допомогою. Це дозволяє змінювати швидкість насосів для досягнення оптимального змішування води та підтримки заданої температури в баку теплоаккумулятора.

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР контуру ГВП

Таблиця 2.2 — Середній час безвідмовної роботи компонентів САР

Назва елементу	Т _{ср} , год
Термоперетворювач опору, ESMU-100	100000
ПЛК, Freemax middle	100000
Електропривід шарового клапану, Belimo SRF24A-SZ	120000
Теплообмінник	90000

Оцінимо середній термін безвідмовної експлуатації:

$$T_{\text{ср системи}} = \frac{1}{100000} + \frac{1}{100000} + \frac{1}{120000} + \frac{1}{90000} = 25356 \text{ год}$$

2.2.7 Розрахунок регуляторів і моделювання САР для контуру ГВП

Під час практики була розрахована наступна передавальна функція:

Передавальна функція об'єкту управління:

$$W = \frac{0.9}{70p + 1} e^{-20p} \quad (2.34)$$

Дослідницька частина



Рисунок 2.8 — Схема побудови перехідного процесу об'єкту управління

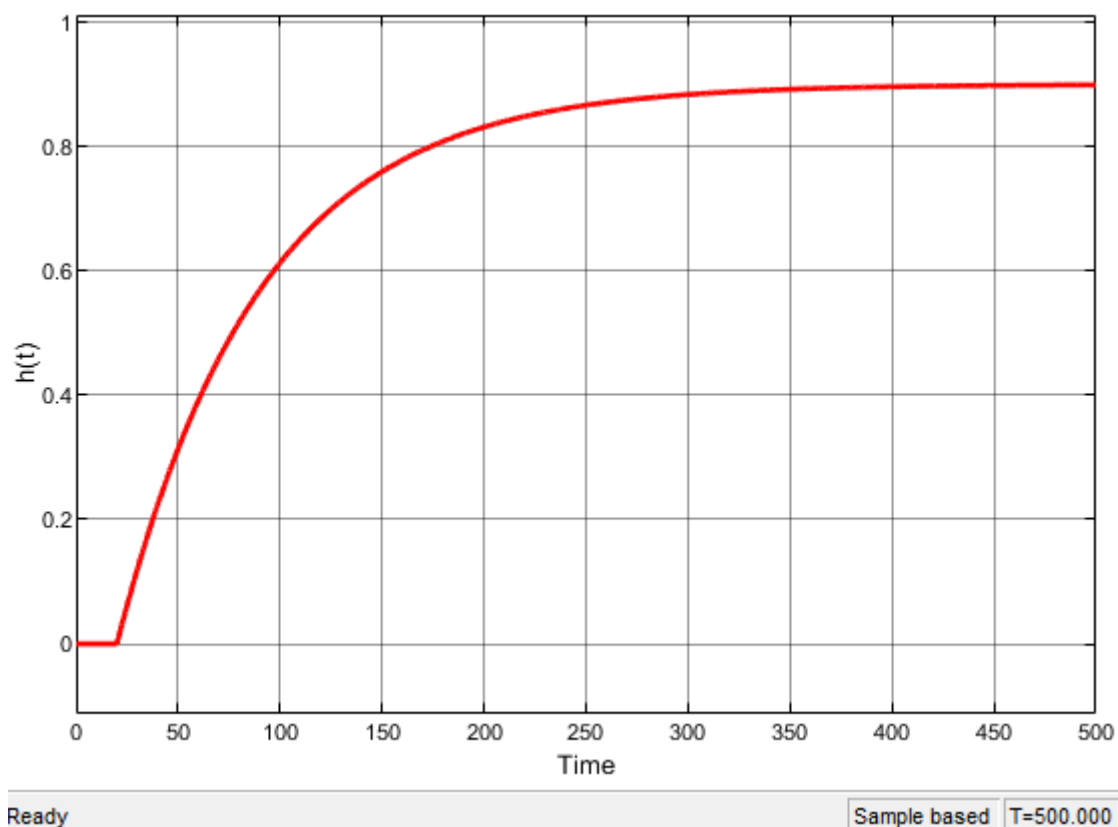


Рисунок 2.9 — Перехідний процес

Метод РАФХ

Розрахуємо налаштування регулятора методом РАФХ. Ступінь коливальної стійкості буде: $m = 0.365$.

$$K_P = - \frac{m Q_{об}(m, \omega) + P_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)} \quad (2.35)$$

$$K_I = -\omega(m^2 + 1) \frac{Q_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)},$$

$$\text{де } K_I = \frac{K_P}{T_{II}}, A_{об}(m, w) = \sqrt{P_{об}^2(m, w) + Q_{об}^2(m, w)} \quad (2.36)$$

Код в Matlab:

```
w=0:0.00001:0.07;
m=0.365;
p=w.*(1j-m);
Wo=(0.9.*exp(-20.*p))./(70.*p+1);
Re=real(Wo);
Im=imag(Wo);
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=Kp/Ti');
hold on;
grid on;
Kimax=max(Ki);
Kpmax=Kp(Ki==Kimax);
plot(Kpmax,Kimax,'ob');
Ki_095=max(Ki)*0.95;
z=find(abs(Ki-Ki_095)<0.0001);
Kp1=Kp(z);
plot(Kp1,Ki_095,'ob');

```

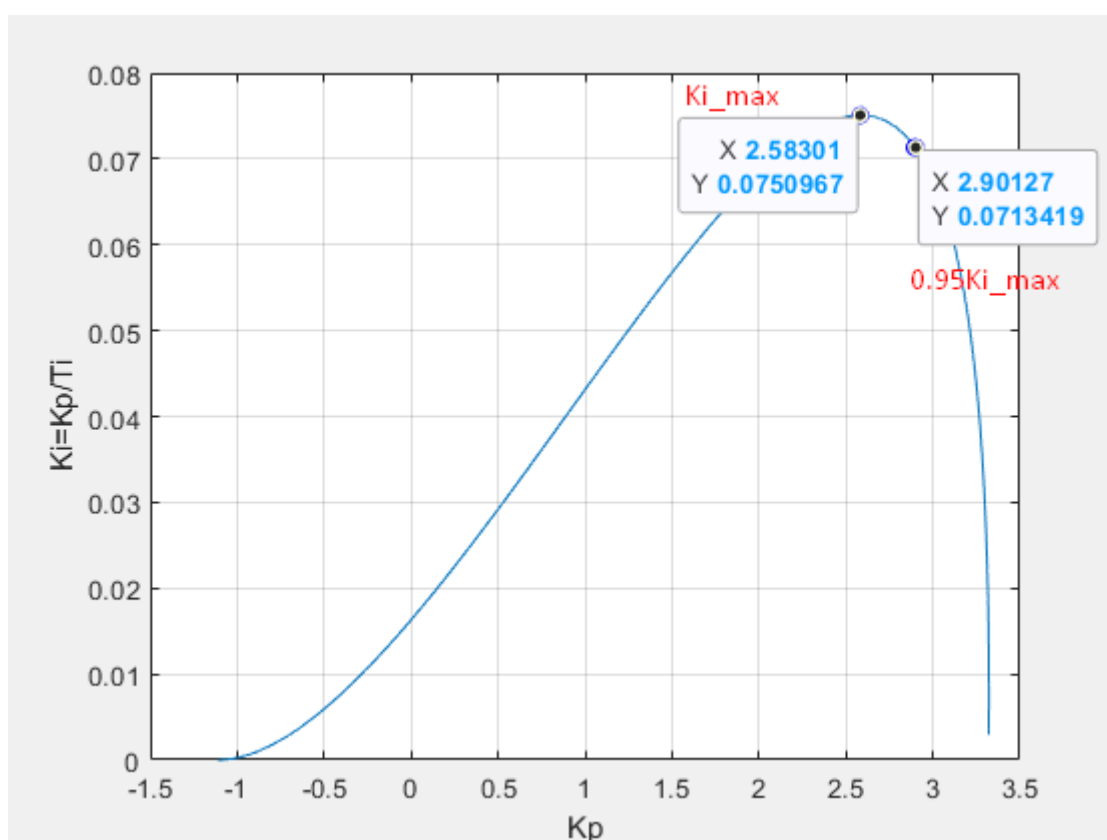


Рисунок 2.10 – Крива заданого степеня коливальності

На кривій позначено точку $Ki_max \cdot 0.95$. Отримаємо налаштування ПІ-регулятора:

$$K_p = 2.901$$

$$K_i = 0.071$$

$$T_i = K_p / K_i = 40.86$$

Побудуємо моделі схеми та перехідні процеси по каналам «завдання-вихід» та «збурення-вихід»:

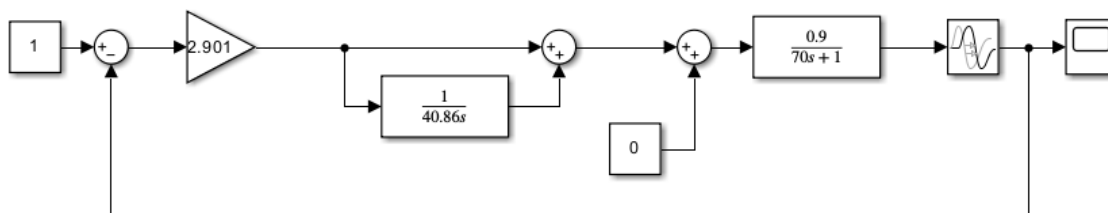


Рисунок 2.11 – Модель по каналу «завдання-вихід»

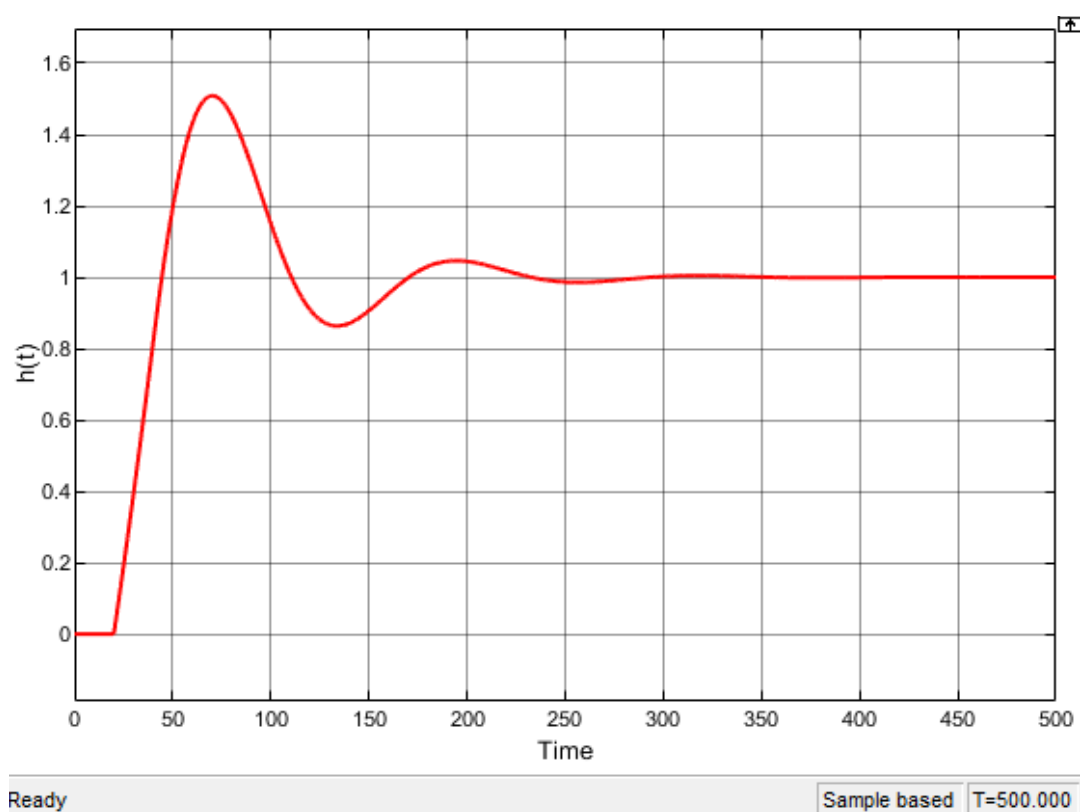


Рисунок 2.12 – Перехідний процес по каналу «завдання-вихід»

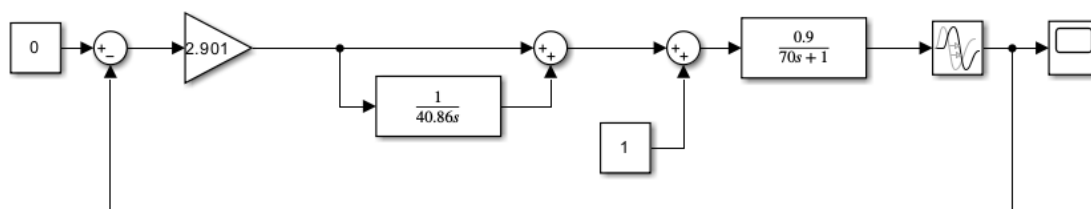


Рисунок 2.13 – Модель по каналу «збурення-вихід»

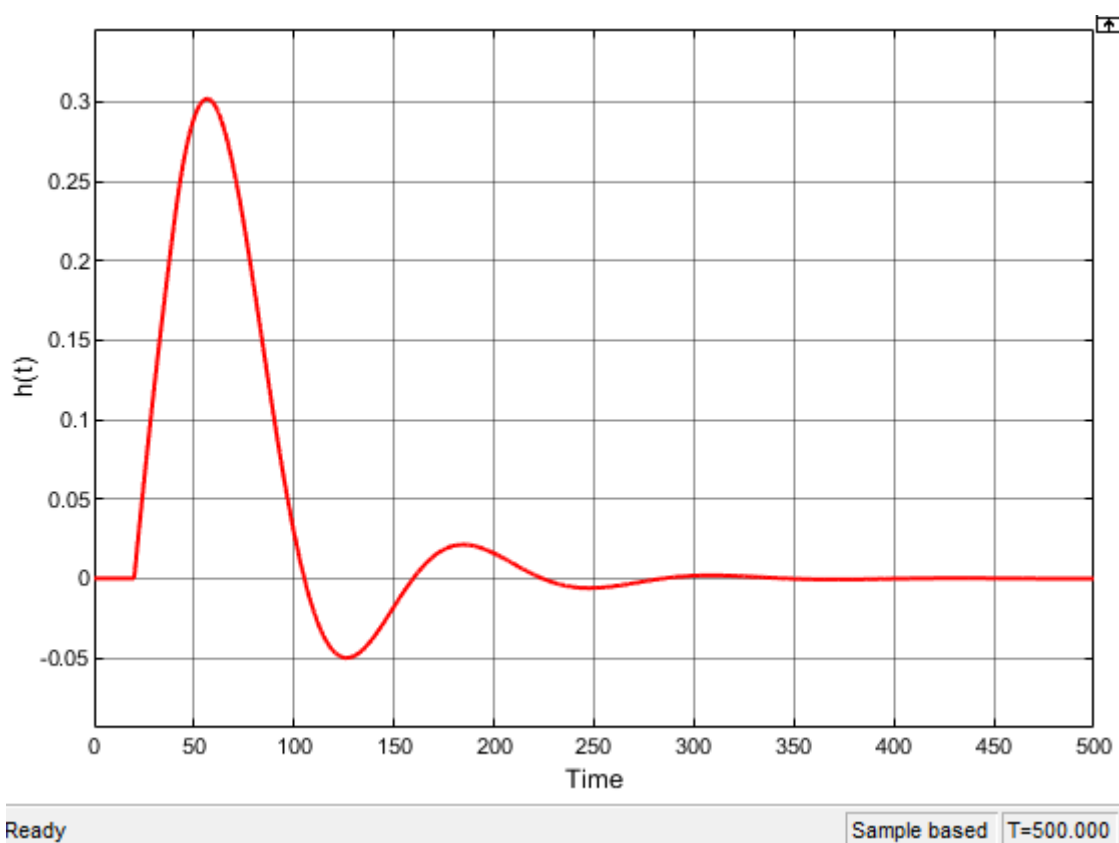


Рисунок 2.14 – Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»

Знайдемо по перехідним процесам показники якості:

Таблиця 2.3 — Прямі показники якості каналами для одноконтурної САУ за каналами “збурення-вихід” та “завдання-вихід” методом РАФХ

Показники якості	Канал "Збурення-вихід"	Канал "Завдання-вихід"
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.302	0.508
Перерегулювання σ , %	16.54	50.8
Степінь затухання ψ	0.93	0.91
Час перехідного процесу $t_{пн}$, с	200.733	159.054

Експрес-метод

Розрахуємо параметри налаштування регулятора методом ВТІ:

$$\frac{\tau}{T} = \frac{20}{70} = 0.286 \quad (2.37)$$

$$K_p = \frac{0.38}{K_{obj}} * \frac{\frac{\tau}{T} + 0.6}{\frac{\tau}{T} - 0.08} = \frac{0.38}{0.9} * \frac{\frac{20}{70} + 0.6}{\frac{20}{70} - 0.08} = 1.82 \quad (2.38)$$

$$T = 0.8 * T_{obj} = 0.8 * 70 = 56 \quad (2.39)$$

Побудуємо перехідні характеристики одноконтурної САУ з отриманими налаштуваннями за допомогою експрес-методу.

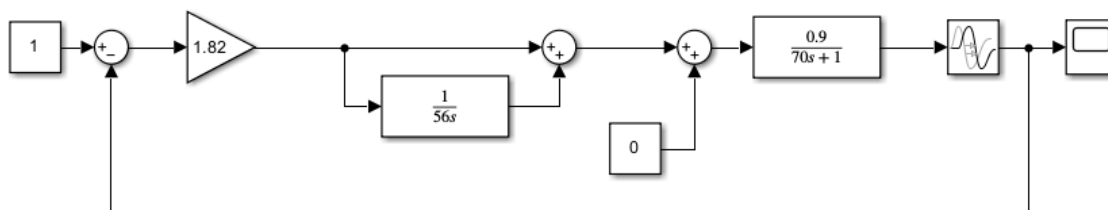


Рисунок 2.15 – Модель по каналу «завдання-вихід»

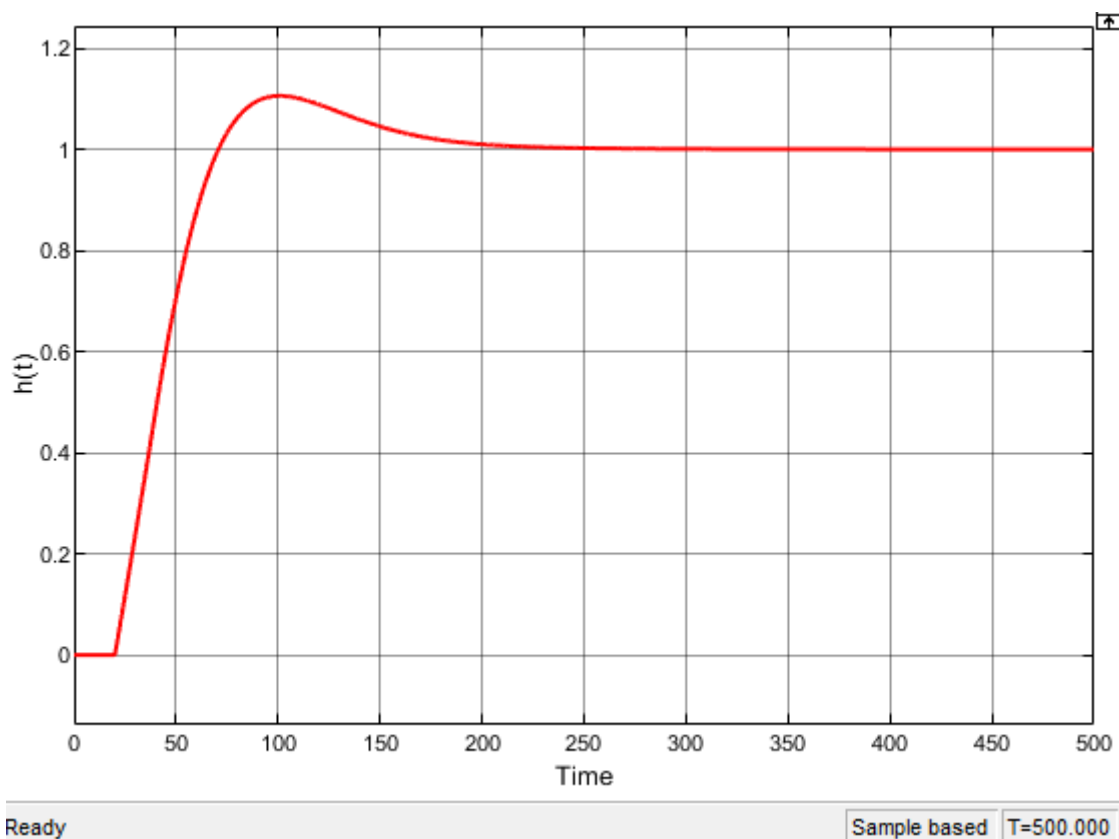


Рисунок 2.16 — Сигнал після реле та на виході схеми

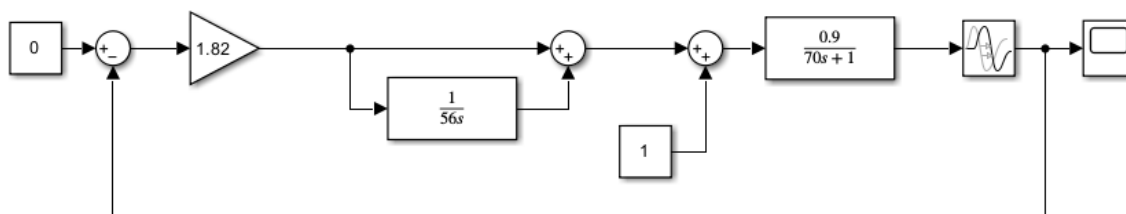


Рисунок 2.17 – Модель по каналу «збурення-вихід»

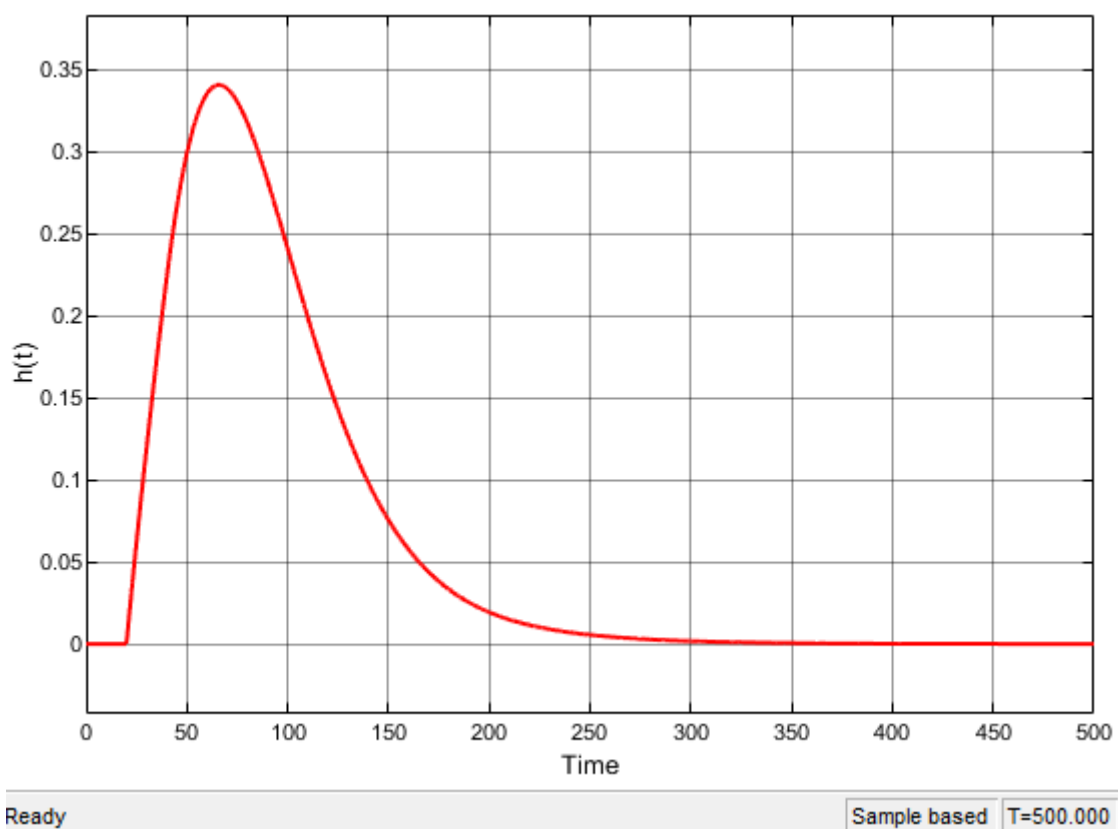


Рисунок 2.18 — Перехідна характеристика каскадної САУ внутрішнього регулятора за каналом «збурення-вихід»

Таблиця 2.4 — Прямі показники якості каналами для одноконтурної САУ за каналами “збурення-вихід” та “завдання-вихід” методом ВТІ

Показники якості	Канал "Збурення-вихід"	Канал "Завдання-вихід"
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.3409	0.106
Перерегулювання σ , %	0.00	10.6
Степінь затухання ψ	1.00	1.00
Час перехідного процесу $t_{пш}$, с	205.097	146.234

Порівняння отриманих одноконтурних систем розрахованих за двома методами:

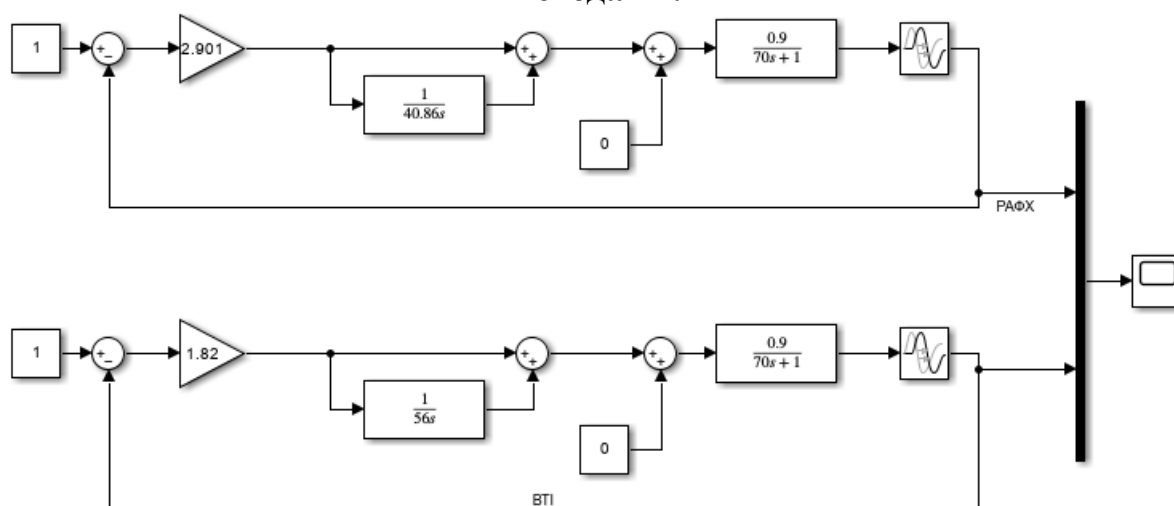


Рисунок 2.19 — Структурна схема за каналом “завдання-вихід”

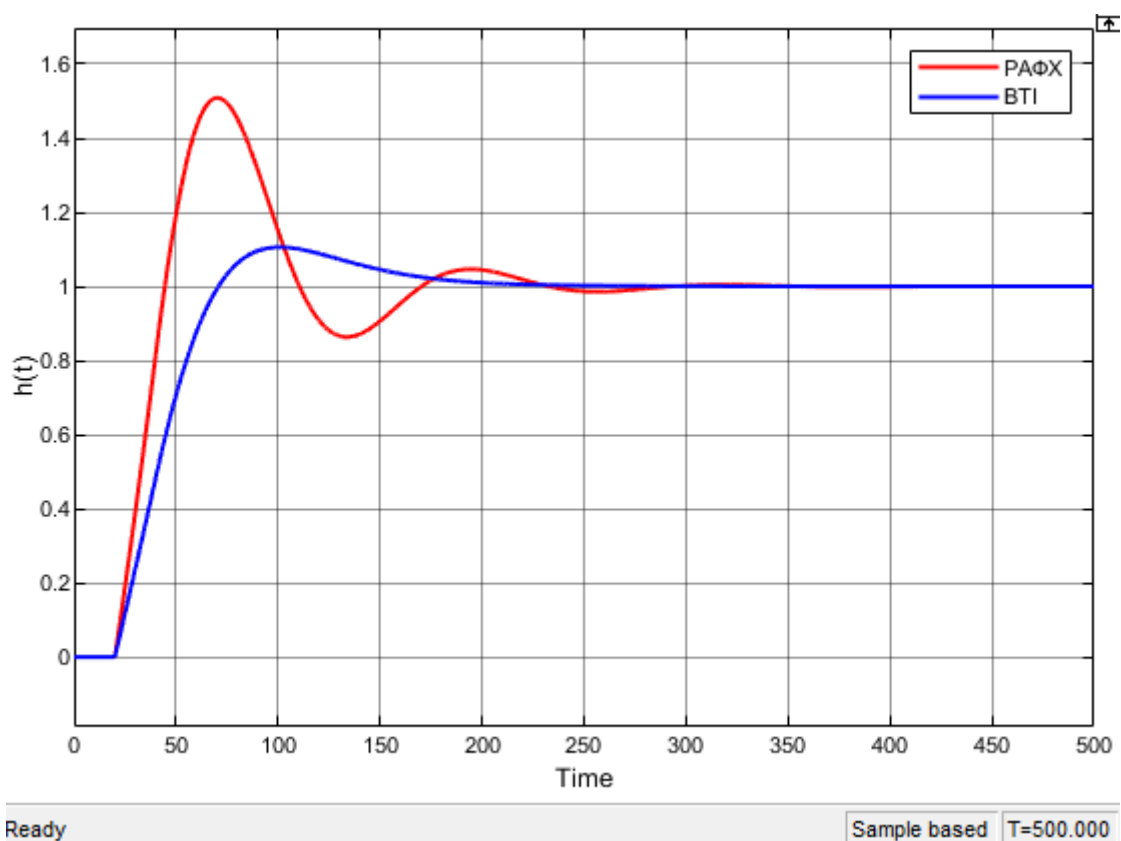


Рисунок 2.20 — Перехідна характеристика за каналом “завдання -вихід”

Таблиця 2.5 — Прямі показники якості за каналом “завдання -вихід”
для одноконтурної САУ за двома методами

Показники якості	РАФХ	ВТІ
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.508	0.106
Перерегулювання σ , %	50.8	10.6
Степінь згасання ψ	0.91	1.00
Час перехідного процесу $t_{п\pi}$, с	159.054	146.234

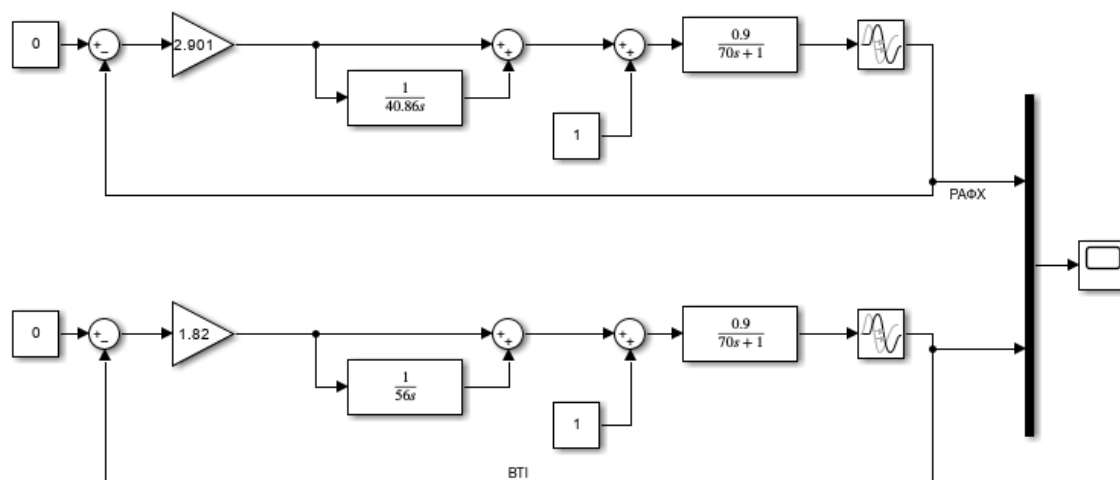


Рисунок 2.21 — Структурна схема за каналом “збурення-вихід”

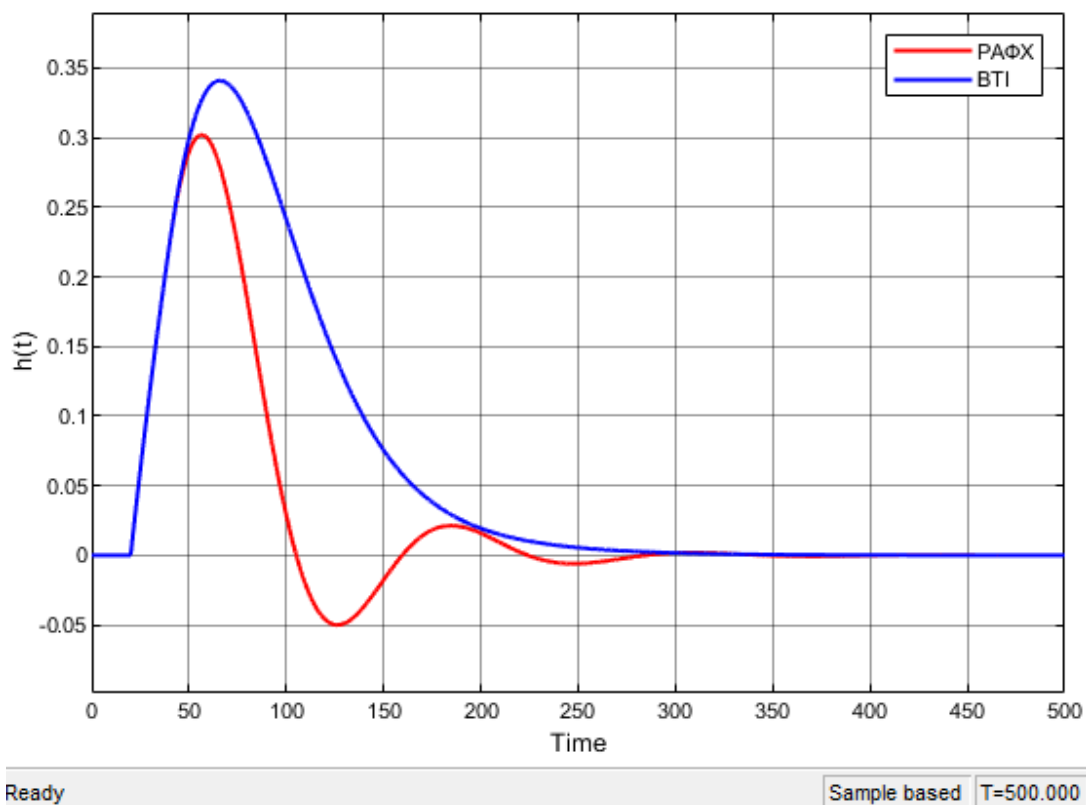


Рисунок 2.22 — Перехідна характеристика за каналом “збурення -вихід”

Таблиця 2.6 — Прямі показники якості за каналом «збурення-вихід» для одноконтурної САУ за двома методами

Показники якості	РАФХ	ВТІ
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.302	0.3409
Перерегулювання σ , %	16.54	0.00
Степінь згасання ψ	0.93	1.00
Час перехідного процесу $t_{пн}$, с	200.733	205.097

Дивлячись на табл. 2.5 і 2.6 можна зробити висновок, що ВТІ є кращим по каналу «завдання-вихід» по всім параметрам, а по каналу «збурення-вихід» кращим по степені згасання та перерегулюванню. завдання-вихід

Порівняння на чутливість

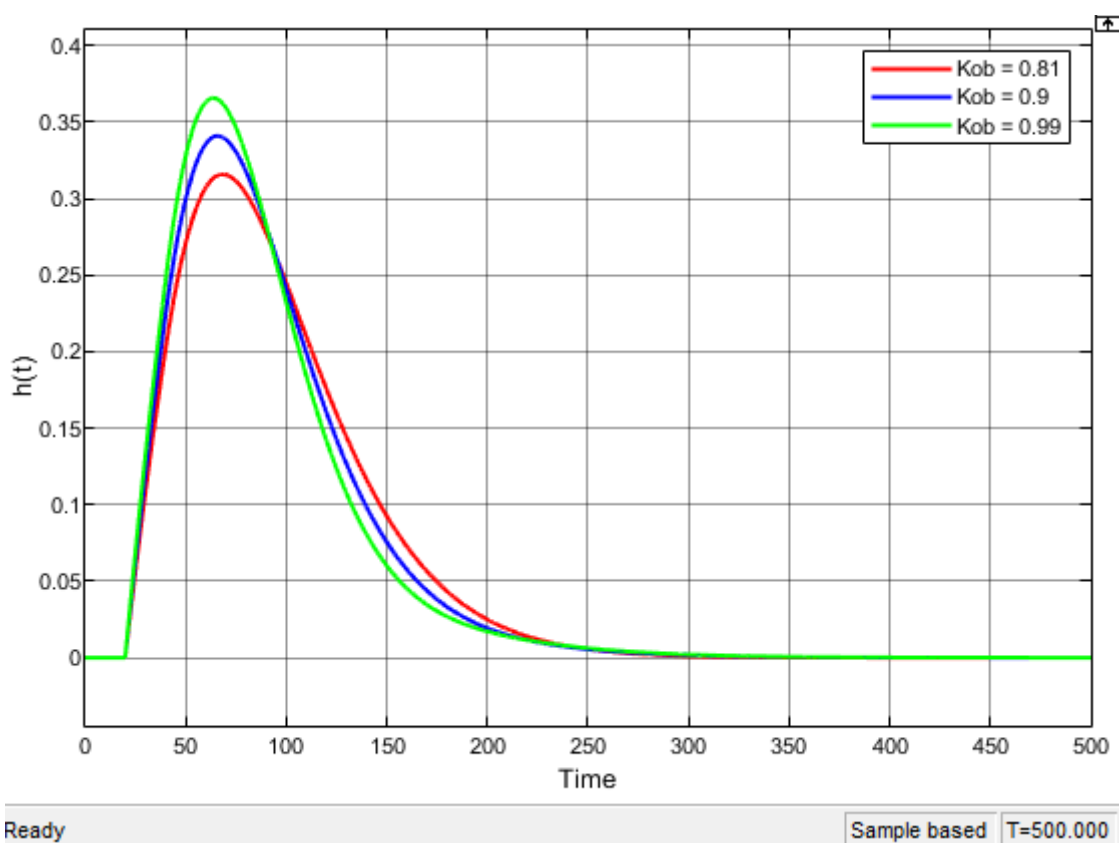


Рисунок. 2.23. Перехідні процеси з різними коефіцієнтами підсилення

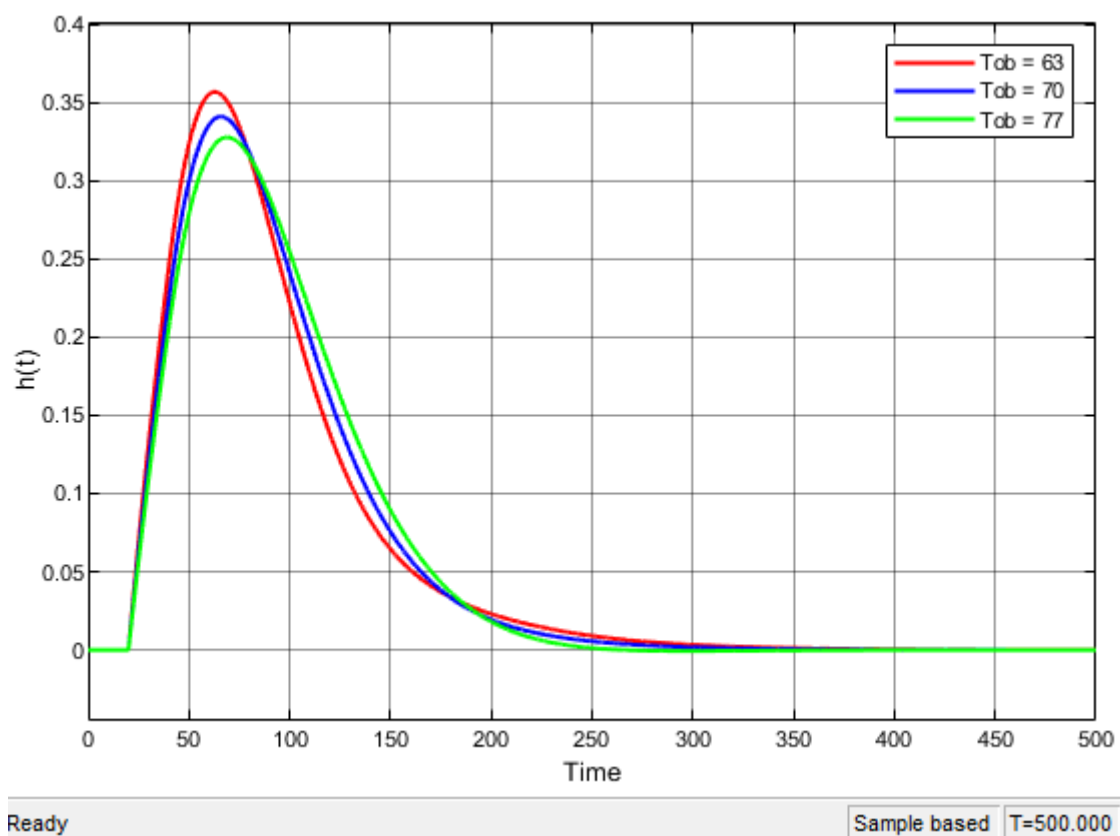


Рис. 2.24. Перехідні процес з різними сталими часу

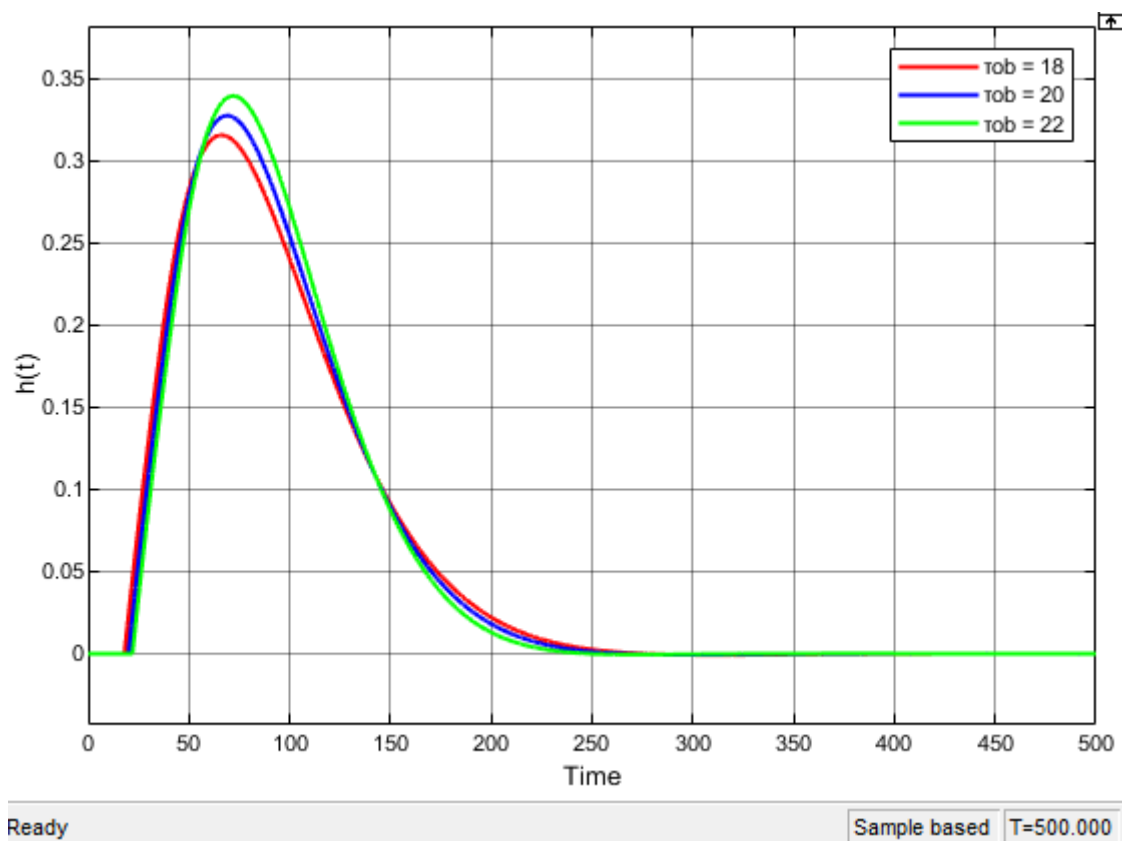


Рисунок. 2.25. Перехідні процеси з різними запізненнями

Таблиця 2.7 — Показники якості з різними K_{об}

Значення K _{об}	0.81	0.9	0.99
Статична похибка Δ _{ст}	0	0	0
Динамічна похибка Δ _{дин}	0.3158	0.3409	0.3657
Перерегулювання σ, %	0.00	0.00	0.00
Степінь затухання ψ	1.00	1.00	1.00
Час перехідного процесу t _{пш} , с	215.62	205.1	197.01

Таблиця 2.8 — Показники якості з різними T_{об}

Значення T _{об}	63	70	77
Статична похибка Δ _{ст}	0	0	0
Динамічна похибка Δ _{дин}	0.3566	0.3409	0.3276
Перерегулювання σ, %	0.00	0.00	0.00
Степінь затухання ψ	1.00	1.00	1.00
Час перехідного процесу t _{пш} , с	214	205.1	202.67

Таблиця 2.9 — Показники якості з різними t_{об}

Значення t _{об}	18	20	22
Статична похибка Δ _{ст}	0	0	0
Динамічна похибка Δ _{дин}	0.3158	0.3409	0.3397
Перерегулювання σ, %	0.00	0.00	0.00
Степінь затухання ψ	1.00	1.00	1.00
Час перехідного процесу t _{пш} , с	209.95	205.1	194.58

Скористаємось формулою для розрахунку відносних коефіцієнтів чутливості:

$$K_s = \frac{\left| \frac{Q_n - Q_c}{Q_c} \right|}{\left| \frac{P_n - P_c}{P_c} \right|} \quad (2.40)$$

Формула 2.1 Включає в себе:

K_s — коефіцієнт чутливості;

Q_n — останнє значення показника якості перехідного процесу;

Q_c — минуле значення показника якості перехідного процесу;

P_n — останнє значення параметру об'єкта управління;

P_c — минуле значення параметру об'єкта;

Таблиця 2.10 — Відносні коефіцієнти чутливості різними коефіцієнтами підсилення

Параметри			Коефіцієнти чутливості
K_{об}	T_{об}	τ_{об}	K_{чут}
0.81	70	20	0.736286301
0.99	70	20	0.727486066

Таблиця 2.11 — Відносні коефіцієнти чутливості різними сталими часу

Параметри			Коефіцієнти чутливості
K_{об}	T_{об}	τ_{об}	K_{чут}
0.9	63	20	0.46
0.9	77	20	0.390143737

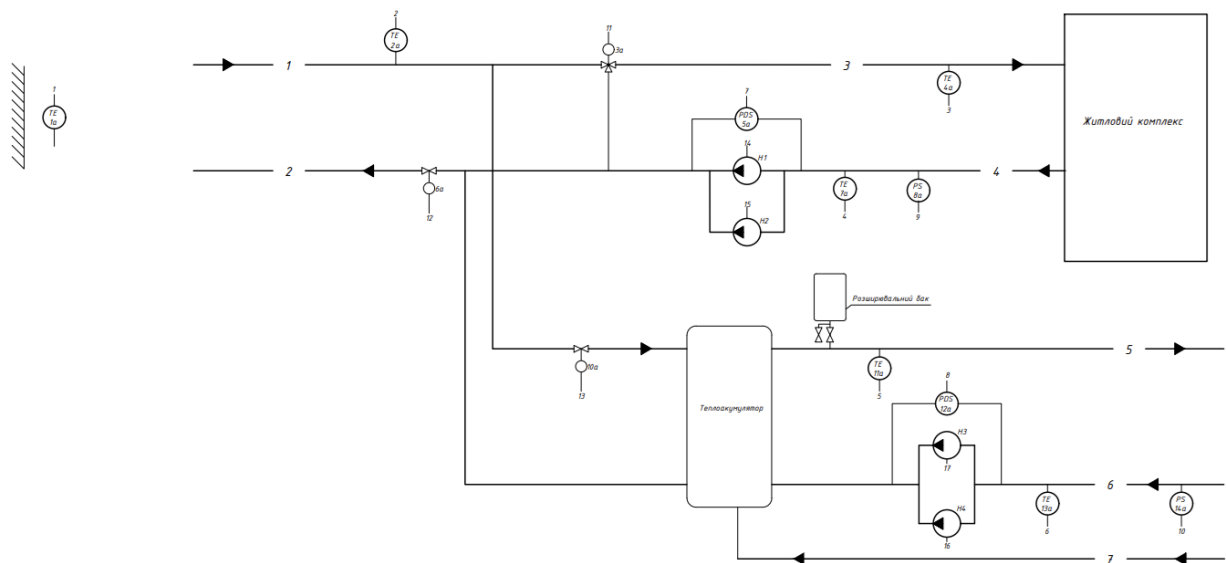
Таблиця 2.12 — Відносні коефіцієнти чутливості різними запізненнями

Параметри			Коефіцієнти чутливості
K_{об}	T_{об}	τ_{об}	K_{чут}
0.9	70	18	0.74
0.9	70	22	0.035200939

Після розрахунку коефіцієнтів чутливості можна зробити висновок, що система є нечутливою, оскільки деякі з цих коефіцієнтів менші за 1. Отже, при зміні параметрів об'єкта немає потреби змінювати налаштування регулятора.

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1. Схема функціональна автоматизації ТОУ



Опис функціональної схеми автоматизації ТОУ представлений у підрозділі 1.5 пояснювальної записки.

3.2. Схема структурна ПТК

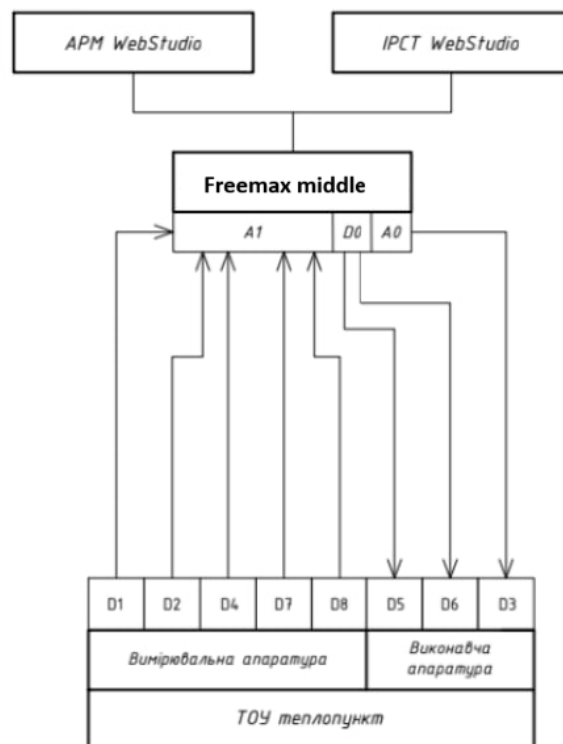


Рисунок 3.1 — Схема структури ПТК

Опис структурної схеми ПТКЗА наведений в підрозділі 1.6 пояснювальної записки.

3.3. Схема принципова електрична АСР

Принципова електрична схема відображає повну логіку електричного з'єднання елементів тепловпункту. Живлення надходить від однофазної мережі з лініями L, N та захисним заземленням PE. Основу електричної частини становить програмований контролер A1, який керує всією системою. Блок живлення GB1 перетворює напругу 230 В змінного струму на 24 В постійного. У схемі присутні автоматичні вимикачі QF1–QF6 для захисту різних частин кола: QF1 — на 63 А двополіусний для силового живлення, решта — однополіусні на 10 А та 6 А для окремих споживачів. Реле K1–K4 з одним контактом (16А, 24 В) здійснюють комутацію навантаження. До виходів контролера підключені виконавчі механізми — поворотні заслінки Y1–Y3, насоси H1–H4, електроприводи клапанів. Температурні датчики T1–T7 та перетворювачі тиску PD1–PD2 забезпечують контроль параметрів і передають сигнали на аналогові входи. Пресостати PD3 і PD4, з дискретним виходом, слугують для аварійного захисту. Всі пристрої чітко позначені за контактами, номерами клем і кабельними каналами, що полегшує монтаж.

3.4. Креслення загального виду щита

Креслення щита автоматизації подає зовнішній вигляд та внутрішнє розміщення елементів у шафі типу Щит ЩШМ-500х600х300 У2. З рівнем захисту IP65.. В середині щита змонтовано контролер A1, блок живлення GB1, вимикачі QF1–QF6, реле K1–K4, силові клеми XT1 (типу JXB 4/35) та сигнальні XT2 (типу JXB 2.5/35). Усі елементи закріплені на DIN-рейках. Для внутрішніх з'єднань використано марковані дроти, прокладені у пластикових перфорованих коробах 25×40 мм. Вказано точні позиції кожного компонента на кресленні щита, що дозволяє точно реалізувати монтаж.

3.5. Схема монтажна щита

Монтажна схема демонструє детальне з'єднання всіх пристроїв усередині щита. Вона відображає, як сигнали з датчиків температури і тиску підключаються до відповідних входів контролера, як керуючі сигнали подаються на реле, електроприводи і насосні групи. Всі провідники мають

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маркування та пронумеровані кінці, що спрощує монтаж і технічне обслуговування. Застосовані проводи ПВ1 1.5 мм² для силових ланцюгів і ПВ3 0.75 мм² — для сигналізації. Вказано, які автоматичні вимикачі відповідають за які пристрої, які реле підключені до яких виходів контролера, і куди подаються сигнали індикації.

3.6. Специфікація обладнання

Специфікація обладнання містить докладний перелік усіх елементів, використаних у системі. До приладів входять температурні датчики ESMU-100, повітряні датчики Pt1000 із діапазоном від -50 до +140 °С, реле тиску KPS39 та перетворювачі тиску MBS 3000, що мають аналоговий вихід 0–10 В. Серед комплексів технічних засобів виділяється контролер Freemax middle українського виробництва з 8 аналоговими входами, 10 дискретними входами, 4 аналоговими і 10 дискретними виходами, блок живлення MDR-20-24 на 24 В. Електрообладнання включає чотири насоси Grundfos MAGNA3 D 65-150 F (до 10 бар), електроприводи Belimo SRF24A-SZ (шарові клапани) та AVK24A-3-TPC (сідельні клапани). У складі щита використовуються автоматичні вимикачі Schneider Electric (63 А, 10 А, 6 А), реле A9C30211 - impulse relay і TL - 1P - 1NO на 16А, DIN-рейки, пластикові коробки, маркування Cab-3, кабелі ВВГ 4х10, ВВГ 3х1.5 та контрольні КВВГ 4х1. Щит виконаний у корпусі ІЦШМ-500х600х300 У2, з відповідними клемми для силових та сигнальних підключень. Уся специфікація містить технічні характеристики, виробника, тип, кількість і місце встановлення кожного елемента, що забезпечує повну відповідність проєктної та монтажної частин.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПЛКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

Для реалізації функціональності ПЛК було використано програмне забезпечення CodeSys V3.5 Patch 19, а алгоритми розроблено мовою програмування FBD.

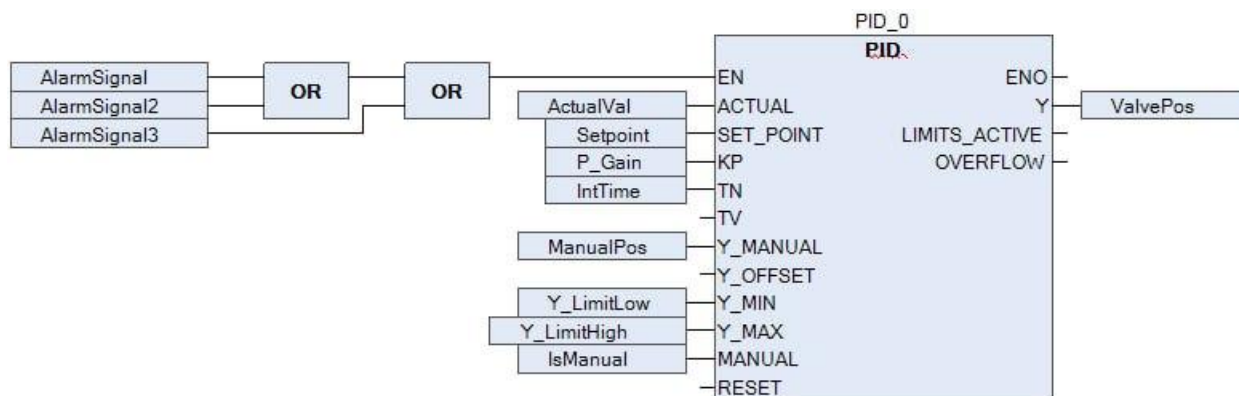


Рисунок 4.1 – Реалізація одноконтурної САР температури води

На рис. 4.1 представлено програмний код, що містить блок ПІ-регулятора та систему захисту, яка зупиняє роботу регулятора у разі виникнення збоїв у роботі об'єкта.

- AlarmSignal – повідомляє про наявність аварійної ситуації;
- ActualVal – значення температури води, зафіксоване в поточний момент;
- Setpoint – встановлене значення температури, до якого прагне система;
- P_Gain та IntTime – параметри, що використовуються для налаштування ПІ-регулятора;
- Y_LimitLow та Y_LimitHigh – нижнє та верхнє обмеження керуючого сигналу;
- ValvePos – сигнал від ПЛК, який подається на виконавчий механізм;

- ManualPos – значення керування виконавчим механізмом у ручному режимі

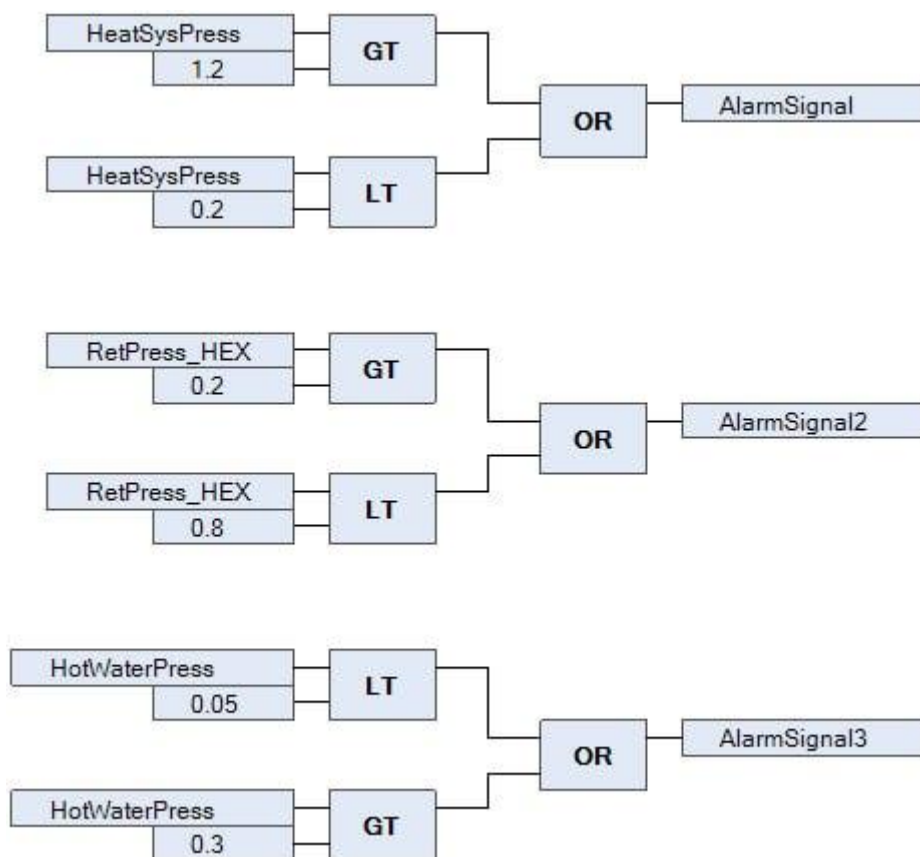


Рисунок 4.2 – Обробка даних з датчиків і перевірка помилок

Рис. 4.2 ілюструє механізм порівняння фактичних даних з датчиків з нормативними межами. Якщо значення виходить за допустимий діапазон, спрацьовує аварійна захисна функція, і регулювання припиняється.

4.2 Програмування функціональності SCADA

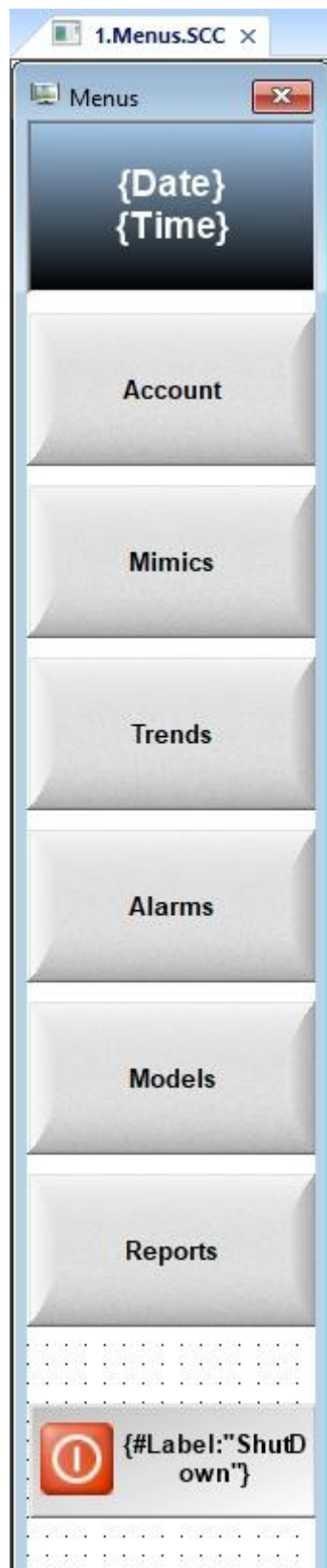


Рисунок 4.4 — Вікно “Menus”

Вікно “Menus” з рис. 4.4, надає можливість переходу між іншими вікнами, такими як “Mimics”, “Alarms”, “Trends” “Models” і “Reports”.

Початково вікна будуть недоступними, але за допомогою кнопки “Accounts”, ми зможемо увійти в акаунт адміністратора, для якого в свою чергу будуть відкриті всі вікна.

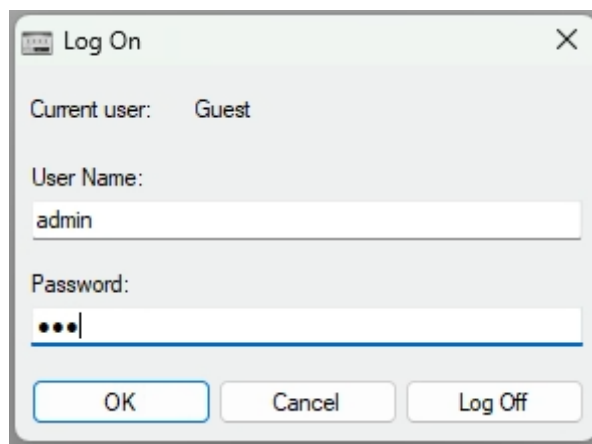


Рисунок 4.5 — Вікно “Accounts”

На рис. 4.5 показано поточного користувача, а також можливість введення даних для входу в обліковий запис адміністратора передбачає, що лише після авторизації можна розпочати роботу.

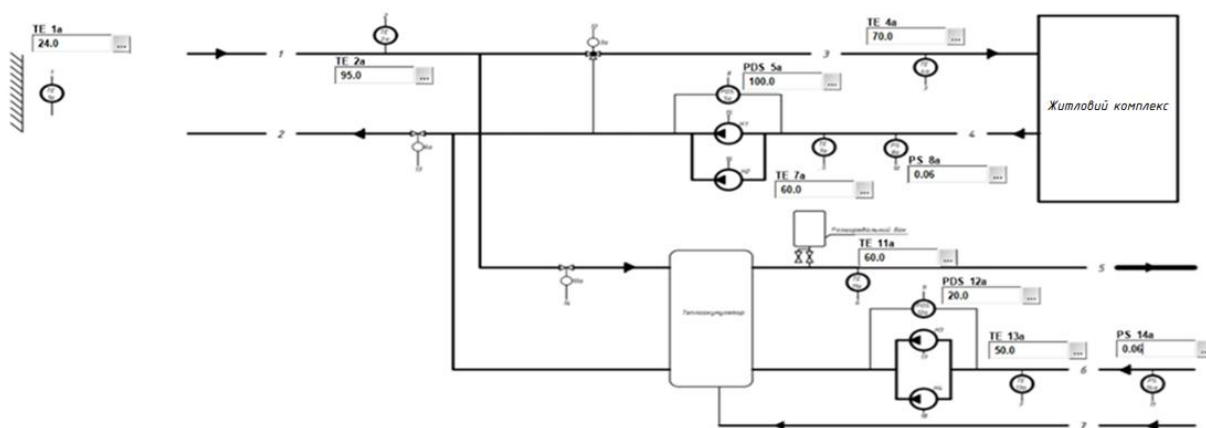


Рисунок 4.6 — Вікно “Mimics”

Мнемосхема об’єкту, а також параметри води та тиску зображені на рис. 4.6. Ми бачимо дані, які на цей час в нашій системі, а також за допомогою даного вікна, ми можемо змінювати дані.

5.3 Реалізація контролерної функціональності CAP в софтвері CoDeSys

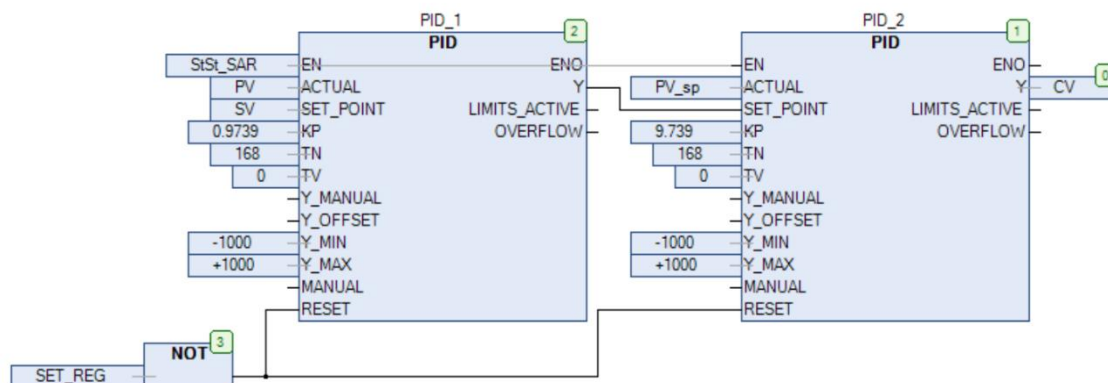


Рисунок 5.3 — одноконтурна CAP в MLS_PRG

Код програми для одноконтурної CAP в середовищі розробки CodeSys, наведений на рис. 5.3. Даний код здійснює передачу даних вимірювального сигналу до ПЛК. Змінна PV передає дані на корегуючий ПІД-регулятор, а також в ній знаходяться значення вимірювального параметра, що проходять через аперіодичну ланку першого порядку до стабілізуючого ПІД-регулятора.

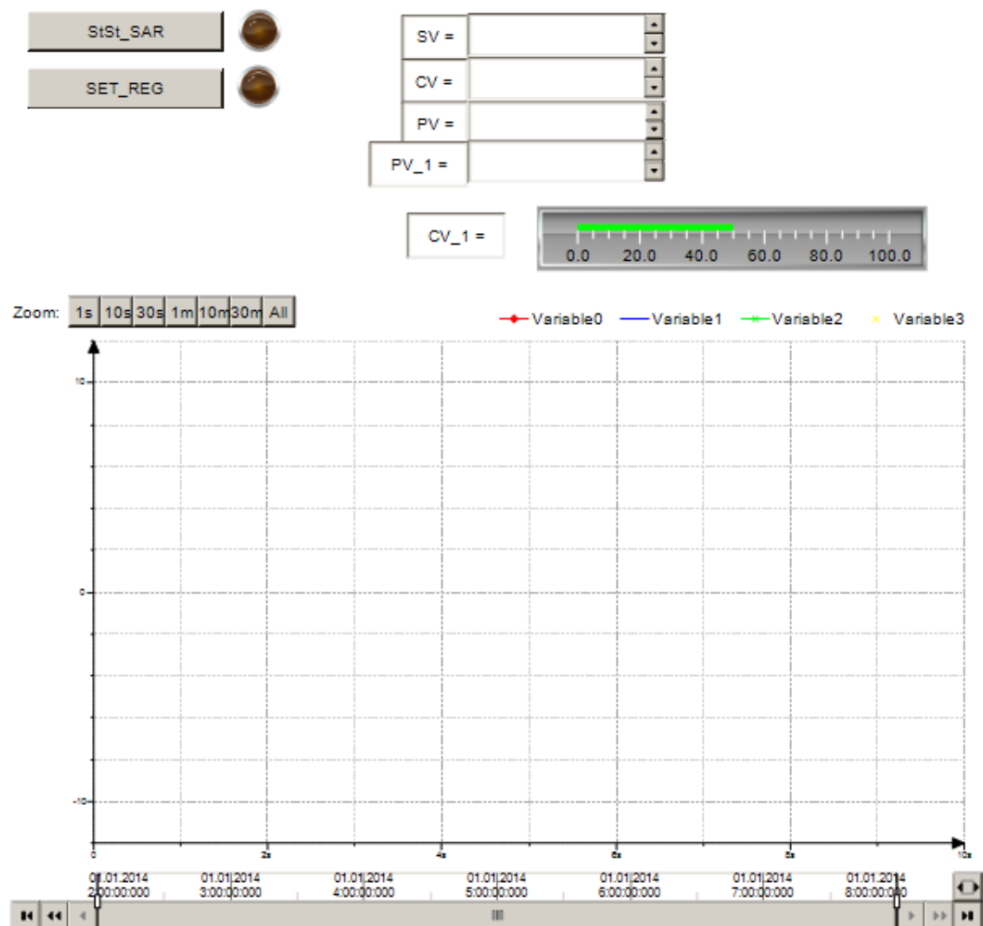


Рисунок 5.4 — Візуалізація роботи САР

На рис. 5.4 наведена візуалізація роботи САР. В даному випадку зображено графік, який відображає поточний процес, а також ми маємо можливість задавати інші значення параметрів.

5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio

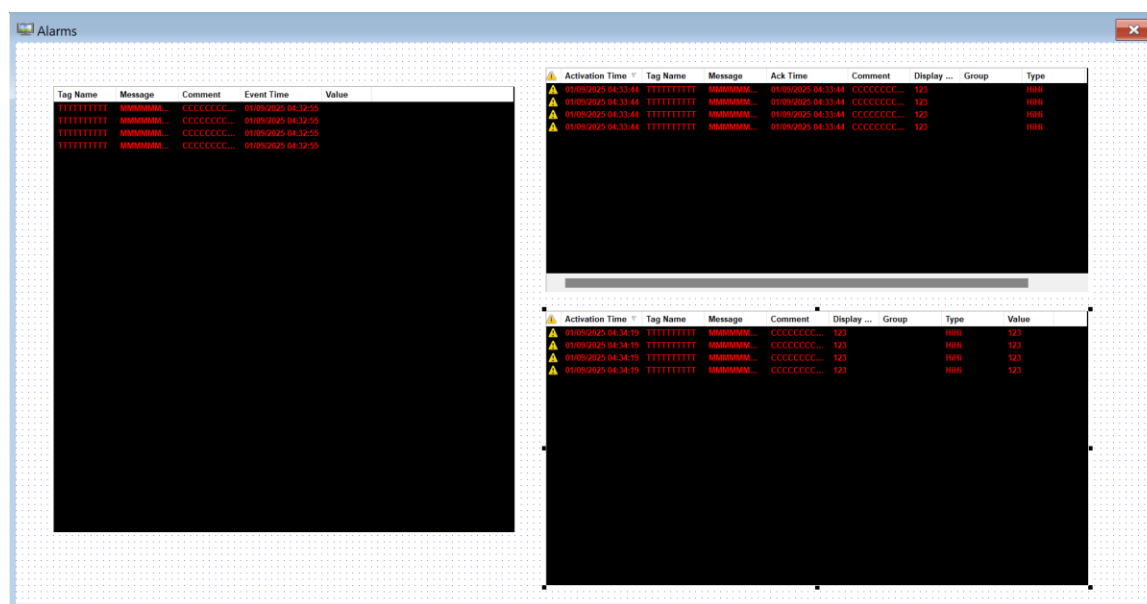


Рисунок 5.5 — Вікно “Alarms”

На рис. 5.5 зображені поточні помилки, їх історія і поточні параметри.

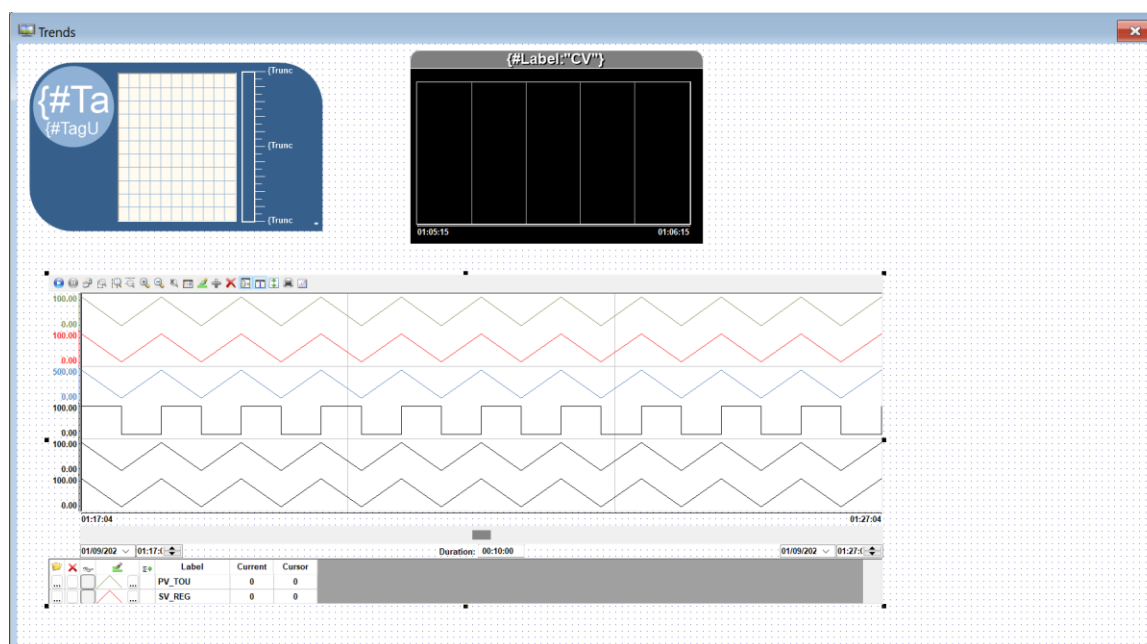


Рисунок 5.6 — Вікно “Trends”

На рис. 5.6 зображені графіки параметрів.

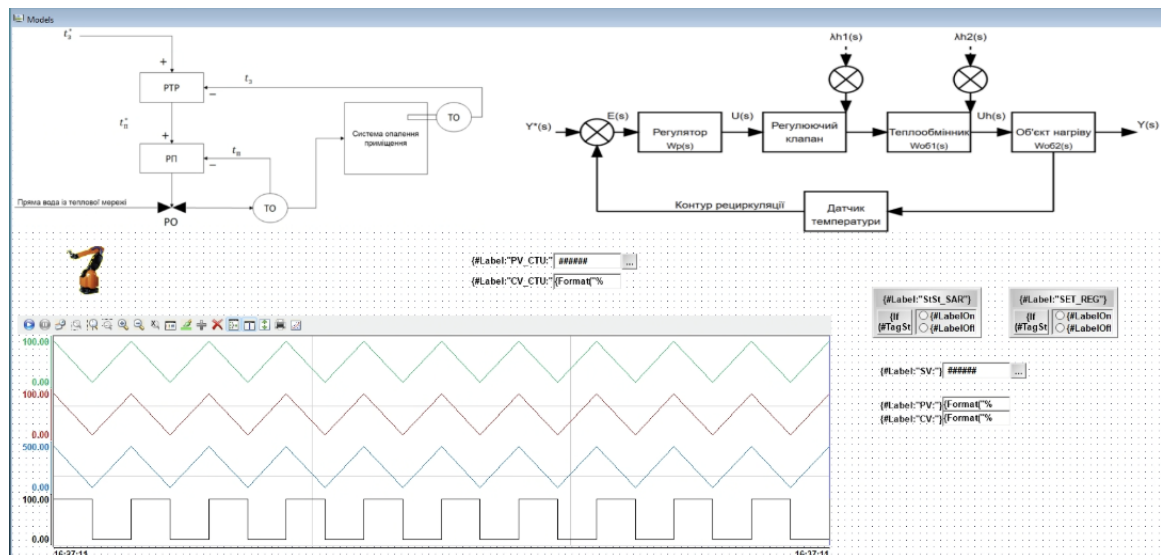


Рисунок 5.7 — Вікно “Models”

На рис. 5.7 показано вікно “Models”, в якому присутній графік, структурна схема САР, відповідно до схеми мого технологічного об’єкту. Також, ми маємо можливість регулювати параметрами безпосередньо з цього вікна.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. (Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 №2694-12.).

Дотримання вимог регламентованих нормами охорони праці, є надзвичайно важливою складовою в галузі енергетики. Адже незнання та невиконання даних вимог несе за собою тяжкі наслідки, такі як аварії, пожежі, вибухи, тощо. В наслідок чого людина може постраждати чи загинути. Основними завданнями охорони праці є: створення безпечних та комфортних умов праці виробничого персоналу, попередження травм та професійних захворювань, виконання контролю за виконанням вимог техніки безпеки на виробництві.

Тема дипломного проекту «Автоматизована система керування індивідуального тепlopункту житлового комплексу». Метою даного розділу є аналіз виробничих факторів при експлуатації засобів автоматизації підтримки заданої температури на об'єкті. Для управління персоналом та контролю використовується наступне обладнання: датчики температури, циркуляційні насоси із реле перепаду тиску на них, датчик тиску, а також теплоаккумулятор.

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування системи ГВП

Проектування, монтаж та подальша експлуатація обраного основного та допоміжного технологічного устаткування спроектованої системи теплопостачання виконано з урахуванням діючих вимог НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском», ДБН В.2.5 – 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні», ПУЕ-2017 та НАПБ В.01.056-2005/111.

У системі теплопостачання будівлі застосоване лише сертифіковане за вимогами безпеки обладнання: циркуляційні насоси MAGNA3 D 65-150 F, котел Logamax plus GB162, Програмований логічний контролер Freemax

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Middle, Електропривід шарового клапану SRF24A-SZ, Електропривід сидельного клапану AVK24A-3-TPC.

Вибір котлового обладнання здійснювався з урахуванням вимог з безпеки його експлуатації, а також енергоефективності, стійкості до корозії та відповідності технічним стандартам.

Встановлення котла та допоміжного обладнання виконане згідно з діючими вимогами безпеки при його експлуатації, а також з урахуванням оптимального енергоефективного використання для отримання максимальної продуктивної системи теплопостачання і забезпечення її надійного функціонування.

Робоче місце оператора знаходиться в приміщенні площею 28м². Воно виконане відповідно до вимог ДСТУ ISO 11064-6:2013 та з урахуванням вимог технічної естетики, ергономіки та антропометричних даних людини. Засоби автоматизації розміщені в щиті, який має ступінь захисту IP65. Щит має замок, це важливо для того аби доступ до нього мав спеціалізований персонал. По краях щита розміщені коробки, в яких прокладені всі дроти та кабелі.

6.1.1 Електробезпека

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечує захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Нормативними документами, які встановлюють вимоги до електробезпеки, є ПУЕ-2017, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП-40.1-1.32-01, ДСТУ 7237: 2011 та Технічний регламент про безпеку низьковольтного електрообладнання (Постанова канцелярії міністра України № 1149 від 23.10.2009), а також ДСТУ Б. В. 2. 5-82: 2016. «Житлове та будівельне інженерне обладнання. Заходи щодо забезпечення електробезпеки в електроустановках будинків і споруд».

Живлення технічного обладнання і АСУ здійснюється за допомогою трифазної електромережі змінного струму із заземленою нейтраллю, робоча напруга 220/380 В. Також застосовано систему захисного заземлення TN-C-S.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В БЩУ встановлено автономний блок живлення, який видає 24В та забезпечує живлення засобі автоматизації. До розподільчих клем, за допомогою яких здійснюється розподіл струму на пристрої, підведено напругу 24В та 220В.

Для виконання діючих вимог з електробезпеки, все електроустаткування в системі опалення згідно з ДСТУ ІЕС 61140:2015 має І клас за електрозахистом, а засоби автоматизації (блоки ПЛК, екранні пристрої, датчики, виконавчі пристрої, блоки живлення тощо) системи управління мають відповідно І, ІІ та ІІІ класи.

Згідно ДСТУ 7237:2011 для забезпечення захисту від випадкового дотику людини до струмовідних частин ЕУ у проєкті застосовані 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 та засоби індивідуального захисту.

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

- захисне заземлення;
- автоматичне вимкнення живлення;

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зрівнювання потенціалів;
- застосування обладнання відповідного класу за електрозахистом;
- захисний електричний поділ кіл;
- системи наднизької напруги (безпечної, захисної).

В процесі монтажу, ремонту та експлуатації електрообладнання, персонал повинен дотримуватися вимог електробезпеки та використовувати додаткові засоби захисту, такі як: діелектричні рукавички та килимки, захисні окуляри та показчики напруги.

Силове електротехнічне устаткування повинно експлуатуватися відповідно до паспортних даних, які визначають номінальні значення струмів і напруг живлення.

6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

ІТП розташований в підвальному приміщенні яке вентильовується. Труби постійно протираються для зменшення пилу, за допомогою засобів для обробки обладнання. В кімнаті оператора регулярно проводиться вологе прибирання. Для безпеки використовується спеціальна форма одягу.

6.2.1 Мікроклімат

Відповідно до санітарних норм, допустимі значення мікроклімату встановлюються за ДСН 3.3.6.042-99. Оптимальні параметри для ІТП та диспетчерській наведені в таблиці 6.1 та 6.2 відповідно.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату в ІТП

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	t °C	W, %	V, м/с	t °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-24	40-60	0,2-0,3	20-24	До 65	0,1-0.4
Холодний	21-23	40-60	0,1-0,2	21-23	До 75	До 0,3

Таблиця 6.2 – Параметри мікроклімату в диспетчерській

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	t °C	W, %	V, м/с	t °C	W, %	V, м/с
Теплий	21-23	70	0,2-0,3	20-25	До 75	0,5
Холодний	20-25	55-60	0,2-0,4	20-27	До 75	До 0,4

Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні ІТП, це приміщення повинно бути обладнане системою опалення, вентиляції та кондиціонування, що виконуються відповідно до ДБН В.2.5-67:2013. 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.

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ шкідливих речовин згідно з ДСТУ EN 482:2022.

6.2.2 Виробниче освітлення

В приміщенні, де розташований ІТП, освітлення забезпечують світлодіодні лампи. Проводиться постійне обслуговування та регулярна заміна освітлювальних приборів для забезпечення безпеки. Рівень освітленості робочих місць відповідає вимогам ДБН В.2.5-28-2018.

6.2.3. Виробничий шум

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99, допустимий рівень звуку становить 65дБА. Основне джерело шуму в ІТП є теплоносій(вода), шум від якого є незначним, а також циркуляційні насоси, шум яких не перевищує 60дБА, що відповідає ДСН 3.3.6.037-99.

6.3 Пожежна безпека та профілактика

Згідно з ДСТУ Б.В.1.1-36:2016, підвальне приміщення, в якому розташований ІТП, відноситься до категорії Д за пожежною небезпекою.

6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі та протипожежного захисту

У разі виникнення пожежі у виробничому приміщенні є план евакуації, який розроблений відповідно до вимог ДБН В.1.1.7-2016.

В приміщенні, де розташований ІТП, встановлена система автоматичної пожежної сигналізації, згідно ДБН В.2.5-56-2014.

В приміщенні встановлені вогнегасники типу ВХП-10, ВВ-7. Також до всіх засобів пожежогасіння забезпечений вільний доступ. Кількість, розташування та умови зберігання вогнегасників відповідає вимогам ISO 3941-2007. З усім персоналом, який має доступ до ІТП, проводиться обов'язковий протипожежний інструктаж.

В робочих приміщеннях дотримані всі вимоги з ПБ згідно НАПБ А.01.001 – 2004.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Розрахуємо вартість проекту. Розрахуємо вартість всього обладнання нашої АСК. В таблиці 7.1 розрахована вартість станом на 05.06.2025.

Таблиця 7.1 — вартість обладнання

Найменування товару	Кількість((шт), (м))	Ціна за одиницю товару (грн)	Сума (грн)
Danfoss ESMU-100	5	4440,00	22200
Danfoss ESMT	1	2928,00	2928
Danfoss KPS39	2	11031,00	22062
Danfoss MBS 3000	2	7497,60	14995,2
Freemax middle	1	13275,00	13275
Mean Well MDR-20	1	591,46	591,46
Schneider Electric iC60N, 2P, 63A	1	1452,00	1452
Schneider Electric iC60N, 1P, 10A	4	337,54	1350,16
Schneider Electric iC60N, 1P, 6A	1	376,70	376,7
Schneider Electric A9C30211	4	1468,22	5872,88
Grundfos MAGNA3 D 65-150 F 340	4	191878,00	767512
Belimo SRF24A-SZ	2	0,00	0
Belimo AVK24A-3-TPC	1	53153,79	53153,79
АСКО Клемник JXB 2,5/35	36	11,79	424,44
АСКО Клемник JXB 4/35	12	12,92	155,04
Аксіомплус ДКС ОМЕГА 3F	3	124,49	373,47
ДКС короб RL6	3,2	138,12	441,984
МеталСервіс Щит ІЩІМ-II- 500x600x300	1	4532,00	4532
ОдесКабель ВВГ 4x10	100	315,70	31570
UP! ВВГ 3x1	200	26,78	5356
Одескабель КВВГ 4x1	450	35,97	16186,5
"ДКС" Київ Труба ПВХ	200	11,87	2374
Legrand CAB3	52	9,61	499,72
Сумарна вартість обладнання:			967682,34

Далі порахуємо вартість робіт, доставки та монтажу. В таблиці 7.2 наведена розрахована вартість.

Таблиця 7.2 — Вартість робіт

Найменування робіт	Ціна (грн)	к-сть робочих	к-сть робочих днів	Сума
Транспорт	217,00		5	1085,00
комплектація обладнання	1215,75			1215,75
тара упаковка	4021,15			4021,15
Ставка робітника за день	1000,00	4	5	20000,00
Загальна вартість			26321,90	

Загальна вартість склала: 994004,24 грн.

Розрахуємо економічну ефективність, маючи наступні параметри:

- Загальна вартість: 994004,24 грн;
- Розрахункова теплова потужність: 0,5959 Гкал/год;
- Ціна 1Гкал: 1 654,41 грн;
- Тривалість опалювального сезону: ≈ 7 місяців

Розрахуємо річне теплоспоживання(Q_p):

$$Q_p = Q_{\text{потужність}} \times t$$

$$Q_p = 0,5959 \cdot 4800 = 2860,32 \text{ Гкал}$$

Можемо визначити річне теплоспоживання:

$$Q_{\text{грн}} = Q_r \times C_{\text{Гкал}}$$

$$Q_r = 2860,32 \cdot 1654,41 = 4\,732\,142,01 \text{ грн}$$

Економія витрат від впровадження системи(E_v):

$$E_v = 0,4 \cdot Q_p + E_0$$

E_0 – економія на річному обслуговуванні. В даному випадку ми економимо приблизно 8000 грн в місяць, отже, $E_0 = 56000$ грн.

$$E_v = 0,4 \cdot Q_r + 56\,000 = 1\,948\,856,80 \text{ грн}$$

Можемо розрахувати експлуатаційні витрати, а саме амортизацію та ремонт обладнання.

Амортизація:

Вважаємо, що норма амортизації 2% від загальної вартості, тоді:

Ремонт:

$$Z_{\text{ам}} = 0,02 \cdot 994\,004,24 = 19\,880,08 \text{ грн}$$

Загалом:

$$\Delta C_e = Z_{\text{ам}} + Z_p = 19\,880,08 + 49\,846,61 = 69\,726,69 \text{ грн}$$

Розрахуємо чисту економію (ΔC):

$$\Delta C = E_v - \Delta C_e = 1\,948\,856,80 - 69\,726,69 = 1\,879\,130,11 \text{ грн}$$

Економічний ефект системи $E_{\text{еф}}$ розрахуємо маючи показник нормативної економічної ефективності $E_n = 0.15$.

$$E_{\text{еф}} = \Delta C - K \cdot E_n = 1\,879\,130,11 - 994\,004,24 \cdot 0,15 = 1\,730\,029,47 \text{ грн}$$

Тепер ми можемо розрахувати термін окупності системи $T_{\text{ок}}$, за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta C} = \frac{994\,004,24}{1\,879\,130,11} \approx 0,53 \text{ року}$$

Отримавши значення терміну окупності, ми можемо зробити висновок, що система є економічно доцільною.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломного проєкту було розроблено систему автоматичного керування індивідуальним теплопунктом житлового кооперативу.

Був проведений аналіз об'єкту автоматизації, його принцип роботи, конструкцію і характеристики системи. Опираючись на ці дані, було позначено роботу над вибором варіанту системи контролю.

Далі було проектування та вибір комплектуючих, а особливо контролера. Після чого було розроблено структурну схему ПТК. А також розроблено принципову електричну схему та всі необхідні креслення.

Були виконані розрахунки вимірювальних і регулювально-виконавчих каналів, у тому числі здійснено вибір одноконтурної системи автоматичного регулювання (САР) та проведено розрахунки за методиками РАФХ та ВТІ. Дивлячись на табл. 2.5 і 2.6, які наведені в розділі 2, пункт 2.2.7, можна зробити висновок, що ВТІ є кращим по каналу «збурення-вихід» по всіх параметрах, а по каналу «завдання-вихід» кращим по степені згасання та перегулюванню. А також, після розрахунку коефіцієнтів чутливості, можна сказати, що система є нечутливою, оскільки деякі з цих коефіцієнтів менші за 1. Саме тому, при зміні параметрів об'єкта немає потреби змінювати налаштування регулятора. До роботи увійшли етапи програмування ПЛК і створення SCADA-системи.

Кінцевим етапом роботи був розрахунок техніко-економічної ефективності всієї розробки, який показав, що даний проєкт є економічно доцільним, маючи термін окупності в 0,53 року, що в свою чергу доводить його економічну доцільність. Також можна сказати, що відповідність стандартам охорони праці дотримана.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ТЕПЛОВІ ПУНКТИ. URL:<https://herz.ua/product-category/teplovi-punkty/itp/> (Дата звернення: 10.04.2025)
2. Індивідуальні теплові пункти МТП. URL:<https://ukrinterm.com.ua/ua/tovari/49/733/> (Дата звернення: 18.03.2025)
3. Теплові пункти для гарячого водопостачання. URL:https://termoprom.com.ua/uk/teplopunkt/po-naznacheniyu/heating-units-hot-water?srsltid=AfmBOorsU_3lIQqnpeL09U6UeyWYxyb20-tChFq53qZ45kysocWQpvDL (Дата звернення: 25.03.2025)
4. Що таке індивідуальний тепловий пункт (ІТП). URL:<https://www.liv-energo.com.ua/shho-take-%D1%96ndiv%D1%96dualnij-teplovij-punk/> (Дата звернення: 25.03.2025)
5. Індивідуальні теплові пункти. URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/markets/buildings-residential/dhs/heating-substation/#tab-overview> (Дата звернення: 06.04.2025)
6. Опалення. Навчальний посібник. 2019. – 133 с. <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/news/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2020/04/28/2opalennya.pdf>
7. Технологічні об'єкти керування Укладач: І.А. Поліщук, Т.Г. Баган, В.С. Темчур – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 126 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/838bc63f-0874-45f6-a1b6-645e2febcaad/content>
8. Проектування систем автоматизації Укладач: Т.Г. Баган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 21 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/441f9d8e-1ea8-402e-bec5-190f703f2961/content>
9. ТВС. Лекції. Структура ІВС. URL: <https://docs.google.com/presentation/d/1VW87CS9wm1HKUUxDFZXOae2Dx3HY4IcA/edit?slide=id.p1#slide=id.p1>
10. Закон України «Про охорону праці»

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 11.ДСТУ ISO 11064-6:2013 «Ергономічне проєктування центрів керування»
- 12.ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок»
- 13.НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»
- 14.НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»
- 15.НПАОП-40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».
- 16.ДСТУ 7237: 2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту»
- 17.Технічний регламент про безпеку низьковольтного електрообладнання (Постанова канцелярії міністра України № 1149 від 23.10.2009)
- 18.ДСТУ В В. 2. 5-82: 2016. «Житлове та будівельне інженерне обладнання»
19. ДСТУ ІЕС61140: 2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання»
20. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
21. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляції та кондиціонування.
22. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
23. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
24. ДБН В.1.1.7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
25. НАПБ В.01.34-2005 «Правила ПБ в компаніях та в організаціях енергетичної галузі України»
26. ДБН В.2.5-56-2014 «Системи протипожежного захисту».
27. ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань».
28. ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки».

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

29. НАПБА.01.001 – 2004 “Правила пожежної безпеки в Україні”.

					ТА-13439.0006.001 АТХ.П	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76