

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

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

**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 тепловим пунктом
багатоповерхового будинку»**

Виконав :

Студент 4 курсу, групи ТА-11
Риженко Назарій Володимирович

Керівник:

Старший викладач
Поліщук Ігор Анатолійович

Консультант з розділу «Охорона праці»:

Доцент, к.т.н.
Каштанов Сергій Федорович

Рецензент:

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

Риженко Назарію Володимировичу

1. Тема проєкту «Автоматична система керування тепловим багатопверховим будинком», керівник проєкту Поліщук Ігор Анатолійович, старший викладач., затверджені наказом по університету від «02» червня 2025 р. № 1875-с
2. Термін подання студентом проєкту «12» червня 2025 р.
3. Вихідні дані до проєкту: Матеріали з переддипломної практики та інтернет джерела.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Проектування 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): Функціональна схема

автоматизації; 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
Охорона праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н		

7. Дата видачі завдання 13.05.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Отримання теми дипломного проєкту	13.05	
2.	Створення схеми автоматичної функціональної, схеми електричної принципової	15.05	
3.	Опис системи керування тепловим багатопверховим будинком	17.05	
4.	Математичне моделювання температурного режиму в приміщенні	22.05	
5.	Розробка контуру регулювання температури в приміщенні	25.05	
6.	Охорона праці	28.05	
7.	Технічна реалізація системи опалення	29.05	
8.	Створення креслення загального виду щита автоматизації, схема з'єднань та підключень зовнішніх проводок	01.06	
9.	Техніко-економічний розрахунок ефективності	05.06	
10.	Подання ДП на перевірку	06.06	

Студент

Назарій РИЖЕНКО

Керівник

Ігор ПОЛІЩУК

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт виконано на тему: «Автоматична система керування тепловим багатоповерховим будинком». У процесі роботи було розроблено сучасну систему автоматизації тепловим пункту для забезпечення ефективного та надійного регулювання температури в системах опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.

У межах проєкту виконано низку завдань. У першому розділі наведено характеристику технологічного об'єкта управління, обґрунтовано вибір структури АСУТП, а також розроблено функціональну та структурну схеми. У другому розділі здійснено інженерні розрахунки вимірювальних та регулювально-виконавчих каналів, проведено моделювання роботи САР, зокрема з використанням методів Chien et al (1952) та РАФХ. У третьому розділі представлено графічну частину проєкту — схеми, креслення щита автоматизації, специфікацію обладнання. Четвертий розділ присвячено програмуванню ПЛК та створенню SCADA-системи з візуалізацією даних. У п'ятому розділі виконано імітаційне моделювання системи на основі Simulink та WebStudio. Шостий розділ розглядає заходи з охорони праці для безпечної експлуатації тепловим пункту. У сьомому розділі подано техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження системи.

Ключові слова: індивідуальний тепловим пункт, регулювання температури опалення приміщення, гаряче водо постачання, автоматична система керування.

ANNOTATION

The diploma project was carried out on the topic: «Automatic control system of the heating point of a multi-storey building». In the process of work, a modern automation system for a heat point was developed to ensure effective and reliable temperature control in heating, ventilation and hot water supply systems.

A number of tasks were performed within the project. The first section provides a characteristic of the technological control object, justifies the choice of the structure of the APCS, and also develops a functional and structural diagram. In the second section, engineering calculations of measuring and control-executive channels were performed, and the operation of the APS was simulated, in particular using the methods of Chien et al (1952) and RAFH. The third section presents the graphic part of the project - diagrams, drawings of the automation panel, equipment specifications. The fourth section is devoted to PLC programming and the creation of a SCADA system with data visualization. In the fifth section, simulation modeling of the system was performed based on Simulink and WebStudio. The sixth section considers occupational health and safety measures for the safe operation of the heating station. The seventh section presents a feasibility study of the effectiveness of the system implementation.

Keywords: individual heating station, room heating temperature control, hot water supply, automatic control system.

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

Київ – 2025 року

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП.....	10
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління.....	10
1.2. Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОВ	12
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОВ	14
1.4 Функції АСУТП ТОВ	14
1.5 Схема автоматизації функціональна	15
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу.....	17
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ	18
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	20
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР	20
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів.....	20
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів.....	20
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів.....	23
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод.....	25
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів.....	26
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів.....	26
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів.....	32
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК.....	34
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР	35
2.2. Інженерний розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР	36
2.2.1. Перелік систем автоматичного регулювання.....	36
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР	38
2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР	39
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР	40
2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР	40
2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР	41
2.2.7 Розрахунок регуляторів і моделювання САР	41

ТА-11387.0012.001.АТХ.П

Автоматична система керування тепlopунктом
багатоповерхового будинку

						ТА-11387.0012.001.А ТХ.П					
						Автоматична система керування теплопунктом багатоповerroхового будинку					
Зм..	Кільк..	Арк.	№ док.	Підпис	Дата						
Розробив		Риженко Н.В.				Пояснювальна записка			Стадія..	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Поліщук І.А.							ДП	7	82
									КПІ ім. Ігоря Сікорського, НН ІАТЕ, гр. ТА-11		
Н. контр.		Баган Т.Г.									
Затвердив		Волощук В.А.									

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ	56
3.1. Схема функціональна автоматизації ТОУ	56
3.2. Схема структурна ПТК	56
3.3. Схема принципова електрична АСР	56
3.4. Креслення загального виду щита	57
3.5. Схема монтажна щита (таблиця з'єднань).....	58
3.6. Схема зовнішніх з'єднань	59
3.7. Специфікація обладнання	60
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА	61
4.1 Програмування функціональності ПЛК	61
4.2 Програмування функціональності SCADA.....	63
РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК	65
5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ.....	65
5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ MATLAB Simulink	66
5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys	66
5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio.....	68
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	Помилка! Закладку не визначено.
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	70
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80

ВСТУП

Сучасний етап розвитку житлово-комунального господарства характеризується зростаючими вимогами до енергоефективності, надійності та економічності систем теплопостачання. В умовах постійного зростання цін на енергоносії та необхідності дотримання екологічних стандартів особливої актуальності набуває питання автоматизації теплових пунктів, що обслуговують багатоповерхові житлові будинки.

Теплопункт є ключовою ланкою в системі централізованого теплопостачання, оскільки саме тут здійснюється передача теплової енергії від тепломережі до внутрішньобудинкових систем опалення, гарячого водопостачання та вентиляції. Автоматизація процесів у теплопункті дозволяє значно підвищити ефективність його роботи, забезпечити стабільний температурний режим, скоротити теплові втрати, знизити експлуатаційні витрати та підвищити комфорт проживання мешканців.

Метою даного дипломного проєкту є розробка автоматичної системи керування теплопунктом багатоповерхового будинку з використанням сучасних засобів вимірювання, регулювання та мікропроцесорної техніки. У проєкті розглядаються принципи побудови автоматизованої системи, обґрунтовується вибір технічних засобів, розробляється структура системи керування, а також проводиться моделювання її роботи в різних режимах.

Актуальність теми зумовлена необхідністю модернізації застарілих теплопунктів, впровадження енергозберігаючих технологій і забезпечення ефективного управління тепловими ресурсами в умовах урбанізованого середовища.

					ТА-11387.0012.001.АТХ.П	Лист
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Перехід від централізованих теплопостачальних пунктів до індивідуальних, оснащених сучасним енергоефективним обладнанням, має низку переваг. Така модернізація дозволяє не лише підвищити ефективність використання теплової енергії, а й значно зменшити втрати при її транспортуванні до кінцевого споживача.

Індивідуальний тепловий пункт (ІТП) є ключовим елементом системи теплопостачання будівлі, що забезпечує оптимальне використання теплової енергії для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання. Сучасні ІТП встановлюють у новобудовах, а також використовують у процесі термомодернізації старих будівель.

ІТП — це комплекс обладнання, що забезпечує підключення систем теплоспоживання до централізованої тепломережі. Його функції включають трансформацію теплової енергії, керування режимами теплоспоживання, регулювання параметрів теплоносія та розподіл тепла між споживачами. Основні компоненти ІТП: теплообмінники, насоси, регулювальні клапани, датчики, контролери, блоки управління та запірно-регулююча арматура.

Однією з важливих переваг використання ІТП є можливість відмови від традиційних розподільчих мереж водопостачання. Це сприяє підвищенню ефективності регулювання теплових потреб, скороченню втрат енергії під час транспортування тепла та зменшенню витрат електроенергії, пов'язаних із подачею нагрітої води в приміщення.

Крім того, в ІТП встановлюють вузли обліку споживання теплової енергії, що дозволяє контролювати витрати на опалення, гаряче водопостачання та вентиляцію. Комерційний облік сприяє точному розрахунку за фактичними показниками лічильників, стимулює економне використання енергоресурсів і мотивує до модернізації застарілих систем.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 — Індивідуальний тепловий пункт

Основні технічні параметри системи теплопостачання будівлі вказані у таблиці 1.1.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 — Технічні параметри системи тепlopостачання будівлі

Параметр	Номінальний параметр	Діапазон допустимих значень	Необхідна точність
Максимально допустима температура теплоносія на вході ІТП від джерела тепла	95 °C	85-105 °C	+1 °C
Температура зворотного теплоносія з системи опалення	60 °C	50-70 °C	+1 °C
Номінальний тиск у контурі джерела тепла	1 МПа	0.8-1.2 МПа	+0.05МПа
Номінальний тиск у контурі системи опалення	0.6 МПа	0.4-0.8 МПа	+0.05 МПа
Перепад тиску на вводі від джерела тепла	0.1 МПа	0.05-0.15 МПа	+0.01 МПа

1.2. Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Основна функція ІТП полягає в перетворенні теплової енергії, керуванні параметрами теплоносія, а також у розподілі тепла між внутрішніми інженерними мережами будівлі. До складу ІТП входять теплообмінники, насоси, клапани регулювання, датчики, контролери, блоки управління та запірно-регулювальна арматура.

У складі ІТП також передбачено встановлення приладів обліку теплової енергії, що дозволяє точно фіксувати витрати тепла на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання. Наявність комерційного обліку сприяє більш точним розрахункам із тепlopостачальними компаніями та стимулює ефективне використання енергоресурсів і модернізацію застарілих систем.

Ключовим елементом ІТП є погодозалежний регулятор теплового потоку — автоматизована система, яка коригує температуру теплоносія на вході до споживачів відповідно до змін зовнішньої температури. Керування здійснюється за допомогою електронного контролера і виконавчого механізму (електроприводу) на регулювальному клапані, що працює на основі сигналів від таких датчиків:

- температури зовнішнього повітря;
- температури теплоносія на вході в систему;
- температури зворотного теплоносія;
- температури повітря в приміщенні (необов'язковий).

Суть роботи ІТП (спрощено):

Первинний контур — це частина ІТП, що підключена до централізованої тепломережі. Він передає тепло внутрішнім системам будівлі або через теплообмінник (при незалежному підключенні), або безпосередньо, змішуючись із зворотним теплоносієм (при залежному підключенні). Подача тепла регулюється мікропроцесорним контролером, який підтримує необхідну температуру згідно із заданим температурним графіком, орієнтуючись на зовнішні умови.

Вторинний контур забезпечує тепlopостачання внутрішніх систем будівлі з урахуванням їхніх конкретних потреб. Для циркуляції теплоносія в цьому контурі використовуються насоси, які підтримують необхідний тиск і рух середовища.

Індивідуальний тепловий пункт (ІТП) має низку переваг порівняно з центральним гарячим водопостачанням і опаленням: він забезпечує більш ефективне використання енергії завдяки автоматичному регулюванню температури відповідно до погодних умов, дозволяє мати гарячу воду незалежно від сезону, забезпечує стабільну якість води без домішок теплоносія, дає змогу точно обліковувати спожите тепло та оплачувати лише фактичні витрати, підвищує комфорт у приміщеннях

завдяки стабільній температурі, а також легко піддається модернізації та інтеграції з системами автоматизації.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Режимні параметри:

- Температура нагрітого повітря в будівлі (20...26°C).

Захисні параметри:

- Диференціальний тиск води в системі опалення (100кПа);
- Диференціальний тиск води у зворотному трубопроводі після теплообмінника (80кПа);
- Диференціальний тиск води в системі ГВП (20кПа);

Контрольні параметри:

- Температура повітря навколишнього середовища (-20...+45°C);
- Температура теплоносія в подачі системи опалення (70°C).
- Температура теплоносія на вході в ІТП (95°C)
- Температура зворотного теплоносія системи опалення (60°C)
- Температура води на вході в систему ГВП (60°C)
- Температура води на виході з системи ГВП (50°C)
- Тиск води у контурі системи опалення (0.6МПа)
- Тиск води у контурі джерела тепла (1МПа)
- Тиск води у контурі ГВП (0.06МПа)

1.4 Функції АСУТП ТОУ

Управляючі функції:

- Регулювання температури теплоносія у подаючому та зворотному трубопроводах
- Керування насосами системи опалення та гарячого водопостачання
- Управління електроприводами регулюючих клапанів

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Підтримання тиску в системі за заданими параметрами
- Захисні функції
- Захист від перевищення допустимого тиску та температури
 - Виявлення несправностей обладнання (насоси, клапани, датчики)
 - Аварійне відключення у разі критичних відхилень
 - Захист від замерзання теплообмінників у зимовий період
 - Контроль втрати зв'язку з критичними датчиками
- Інформаційні функції
- Моніторинг в реальному часі стану обладнання та технологічних параметрів
 - Ведення архівів температури, тиску, стану виконавчих механізмів
 - Журнал подій та аварій
 - Інтерфейс візуалізації для оператора (через SCADA-систему)
 - Звіти та графічне представлення даних
 - Прогнозування споживання теплової енергії на основі аналітичних моделей

1.5 Схема автоматизації функціональна

У підрозділі 3.1 ПЗ ДПБ зображено схему автоматизації ІТП багатоповерхового будинку.

Схема відображає повний технологічний процес теплопостачання будинку, починаючи від теплового вводу і закінчуючи системами опалення та гарячого водопостачання. На схемі позначені всі трубопроводи системи: вода від теплового вводу (позначення -1-) з температурою 95°C, вода до теплового вводу (позначення -2-) з температурою 70°C, вода в систему опалення (позначення -3-) з температурою 50°C, вода з системи опалення (позначення -4-), вода в

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

систему ГВП (позначення -5-) з температурою 60°C, вода з системи ГВП (позначення -6-), та вода з системи ХВП (позначення -7-).

У системі встановлено численні контрольно-вимірювальні прилади, які відстежують різні параметри. Датчик 1а вимірює температуру приміщення. Датчики 2а та 3б контролюють температуру теплоносія на вході в ІТП та в системі опалення відповідно. Датчик 7б вимірює температуру зовнішнього повітря в діапазоні від -20 до +45°C. Датчики 1б, 5в, 5б, 8а, 8в, 1в та 4б вимірюють тиск у різних точках системи, значення якого коливаються від 0,06 МПа до 0,1 МПа.

Система включає п'ять циркуляційних насосів Н1-Н5, які забезпечують рух теплоносія. Теплообмінники І та ІІ ступеня ГВП забезпечують нагрівання води для гарячого водопостачання. Для регулювання потоків використовуються регулюючі клапани, позначені як 1г, 3а, 5а та 6а.

Всі сигнали від датчиків надходять до програмованого логічного контролера А1, розташованого в щиті автоматизації. Контролер обробляє ці сигнали та формує керуючі впливи на виконавчі механізми. Він має аналогові входи (AI) для підключення датчиків температури та тиску, дискретні входи (DI) для контролю стану обладнання, аналогові виходи (AO) для керування регулюючими клапанами, та дискретні виходи (DO) для керування насосами.

Система також включає сигналізацію, яка складається з трьох світлодіодних індикаторів HL1-HL3, що відображають аварійні ситуації або режими роботи системи.

Функціональна схема (рис. 1.2) демонструє, як система автоматизації забезпечує ефективне керування тепловим пунктом, підтримуючи необхідну температуру теплоносія в системах опалення та гарячого водопостачання, контролюючи тиск у трубопроводах та забезпечуючи безпечну роботу всього обладнання.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

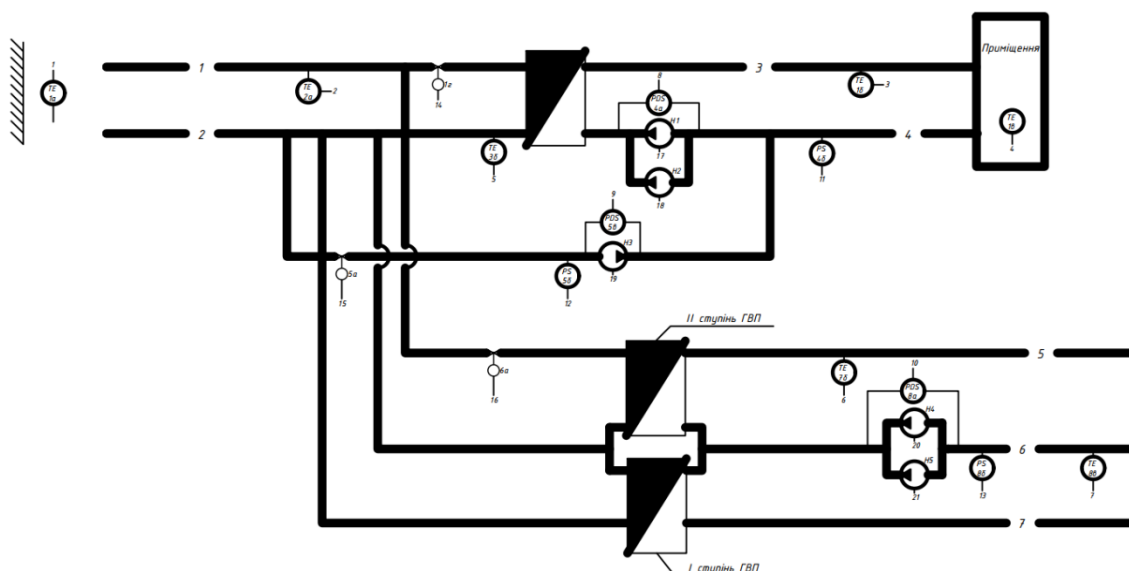


Рисунок 1.2 — Функціональна схема автоматизації

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

У складі автоматизованої системи керування теплопунктом багатоповерхового житлового будинку передбачено використання програмованого логічного контролера Freemax Middle. Передача інформації між контролером і сервером виконується через мережевий інтерфейс Ethernet із застосуванням протоколу Modbus RTU. Комунікація між сервером і операторською станцією реалізується за допомогою лінії зв'язку з інтерфейсом RS-485, що також використовує протокол Modbus RTU.

ПЛК Freemax Middle виконує функції автоматичного регулятора, який забезпечує стабільну роботу обладнання теплопункту відповідно до заздалегідь заданих алгоритмів. Контролер здійснює аналіз даних, що надходять від датчиків температури та тиску, після чого формує команди на відповідні виконавчі механізми — насосне обладнання, електроприводи змішувальних клапанів тощо.

Для віддаленого моніторингу та контролю технологічного процесу застосовується SCADA-система, яка здійснює збір, збереження та візуалізацію даних, отриманих від контролера через Modbus. Така

система дозволяє оперативно реагувати на зміну параметрів та забезпечує зручний інтерфейс для обслуговуючого персоналу.

Інтерфейс Ethernet, що використовується для передавання даних, забезпечує високу швидкість обміну (до 1 Гбіт/с), що дозволяє забезпечити стабільність і надійність роботи системи. Його ключовими перевагами є масштабованість, універсальність та сумісність з великою кількістю пристроїв. Протокол Modbus RTU є широко застосовуваним стандартом у промисловій автоматизації завдяки своїй простоті, надійності та підтримці великої кількості пристроїв у єдиній мережі.

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ

Джерела техніко-економічної ефективності для управляючих функцій:

- Підвищення енергоефективності системи за рахунок автоматичного регулювання температури та тиску теплоносія відповідно до погодних умов та споживання
- Оптимізація роботи насосного обладнання, що зменшує споживання електроенергії та забезпечує стабільне теплопостачання
- Зниження теплових втрат, завдяки точному регулюванню параметрів роботи системи опалення та гарячого водопостачання

Джерела техніко-економічної ефективності для захисних функцій:

- Запобігання аваріям, пов'язаним із перевищенням тиску або температури, що дозволяє уникати пошкодження трубопроводів і теплообмінного обладнання.
- Своєчасне виявлення несправностей насосів, датчиків і регулюючих клапанів завдяки функціям діагностики
- Захист системи від нештатних режимів, що продовжує термін служби устаткування та знижує витрати на ремонт

Джерела техніко-економічної ефективності для інформаційних функцій:

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Моніторинг технологічних параметрів у реальному часі забезпечує високу точність контролю та швидке реагування на відхилення.
- Зниження витрат на обслуговування через впровадження профілактичного ремонту на основі прогнозу стану обладнання.
- Скорочення часу усунення аварійних ситуацій завдяки оперативному інформуванню обслуговуючого персоналу.
- Покращення умов експлуатації системи через зручний інтерфейс оператора та візуалізацію процесів у SCADA.
- Раціональне енергоспоживання шляхом автоматичної оптимізації режимів роботи відповідно до реальних потреб будинку.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів

Список вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальної системи автоматизованої системи управління технологічними процесами:

- Температура зовнішнього повітря
- Температура теплоносія в подачі системи опалення
- Температура теплоносія на вході в ІТП
- Температура зворотного теплоносія системи опалення
- Температура води на вході в систему ГВП
- Температура води на виході з системи ГВП
- Температура нагрітого повітря в будівлі
- Диференціальний тиск води в системі опалення
- Диференціальний тиск води в системі ГВП
- Диференціальний тиск води у зворотному трубопроводі

після теплообмінника

- Тиск води у контурі системи опалення
- Тиск води у контурі джерела тепла
- Тиск води у контурі ГВП

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

Вимірювальний канал температури:

Інформаційно-вимірювальна система температури включає давач і контролер. В якості давачів використовуються термоперетворювачі опору ST-01 та STw-01.

Одиниці вимірювання температури: градуси Цельсія (°C).

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

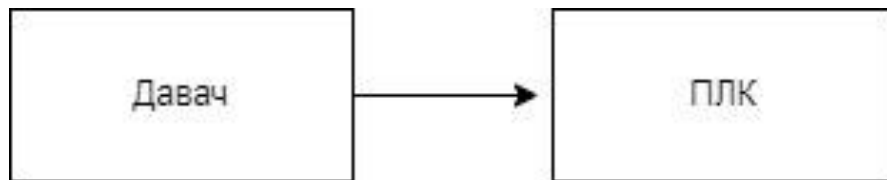


Рисунок 2.1 — Структурна схема вимірювального каналу інформаційно-вимірювальної системи температури

Вхідні і вихідні сигнали давача та приладів вимірювального каналу інформаційно-вимірювальної системи температури:

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

Датчики температури Raut-Automatic ST-01 і ST-04 призначені для точного вимірювання температури води і повітря в системі опалення. Ці термометри відзначаються високою точністю вимірювання, надійністю та довговічністю. Вони мають широкий діапазон робочих температур і легко інтегруються в існуючі системи автоматизації. Ці два датчики ідеально підходять для застосувань, де потрібен точний контроль температури повітря.

Прилади мають діапазони вимірювань від -30 до +50 °C та від 0 до +150 °C, похибка вимірювання $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, ST-01 встановлюється на стіну в приміщенні та поза його межами, STa-01 встановлюється всередині трубопроводів.

Вимірювальний канал тиску:

Інформаційно-вимірювальна система тиску включає давач і контролер. У якості давача використовується перетворювач тиску Danfoss MBS 3000 і реле тиску KP36 з релейними вихідними сигналами.

Одиниці вимірювання тиску: Паскаль (Па).

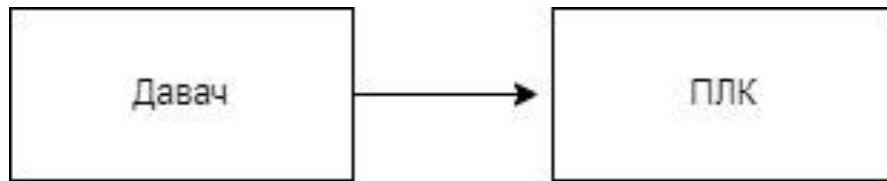


Рисунок 2.2 Структурна схема вимірювального каналу інформаційно-вимірювальної системи тиску:

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

- Вхідний сигнал датчика: тиск, Па
- Вихідний сигнал датчика: релейний
- Вхідний сигнал контролера (ПЛК): уніфікований сигнал

напруги, 0-10 В

2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

Коректне підключення датчиків температури та тиску є критично важливим для забезпечення точності, стабільності й надійності роботи автоматизованої системи теплопостачання. При реалізації схеми підключення слід враховувати технічні характеристики сенсорів, тип сигналу, вимоги до живлення та рівень електромагнітних завад.

Основні типи використовуваних датчиків:

- датчики температури теплоносія в подаючому та зворотному трубопроводах;
- датчики тиску в контурі теплопостачання.

Підключення аналогових датчиків:

- Поширені типи сигналу — 4–20 мА або 0–10В.
- Сигнальні лінії мають бути екрановані для захисту від впливу завад, особливо в умовах наявності потужного електрообладнання.
- Більшість сенсорів потребують стабільного джерела живлення 24В DC.

- Необхідно виконувати попереднє калібрування приладів і вводити відповідні коефіцієнти перетворення сигналу у програмному забезпеченні ПЛК.
- Важливо контролювати полярність підключення та опір навантаження згідно з технічним паспортом приладу.

Підключення цифрових датчиків:

- Використовуються інтерфейси типу RS-485 із протоколом Modbus RTU.
- Слід забезпечити правильне завершення шини, мінімізацію довжини зв'язку або використання репітерів при значних відстанях.
- Адресація та параметри обміну (швидкість, парність, кількість бітів) мають бути узгоджені між датчиком і контролером.

Таким чином, дотримання технічних вимог щодо підключення вимірювальних каналів дозволяє забезпечити коректне функціонування алгоритмів керування та своєчасне реагування системи на зміну параметрів теплоносія. Це безпосередньо впливає на ефективність роботи тепlopункту, його надійність і довговічність.

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Монтаж технічних засобів вимірювання температури та тиску є критичним етапом інсталяції системи автоматичного керування тепlopунктом. Якісний монтаж безпосередньо впливає на точність зчитування параметрів, стабільність функціонування автоматики та довговічність обладнання. Нижче подано основні етапи та вимоги до монтажу вимірювальних каналів у тепlopункті.

Підготовчі роботи

Вибір місця встановлення:

- Сенсори мають розміщуватись у технологічно обґрунтованих точках трубопроводів для достовірного контролю температури і тиску теплоносія.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Необхідно враховувати фактори, що можуть викликати похибки: гідроудари, надмірні температурні градієнти, вібрації.

- Забезпечується зручний доступ до місця монтажу для технічного обслуговування або заміни.

Підготовка поверхні та оснащення:

- Поверхні встановлення очищуються від бруду, корозії або ізоляційного шару.

- Перевіряється наявність монтажного комплекту, відповідних кріплень, ущільнень, кабелів, захисних елементів.

Ознайомлення з документацією:

- Монтаж проводиться згідно з технічним паспортом та рекомендаціями виробника, з урахуванням електричних і гідравлічних характеристик пристрою.

Монтаж датчиків

Температурні датчики:

- Встановлюються в гільзи, змонтовані у трубопроводі, що забезпечує безпечний демонтаж без зливу теплоносія.

- Має бути забезпечений щільний тепловий контакт із середовищем для зниження інерційності вимірювання.

Датчики тиску:

- Монтуються у місцях із мінімальним впливом вібрацій, далеко від насосів або різких звужень трубопроводу.

- З'єднання із системою здійснюється через фітинги з ущільненням для уникнення витоків, а також встановлюється запірна арматура для демонтажу під тиском.

Правильне встановлення датчиків тиску та температури дозволяє уникнути похибок у вимірюваннях, забезпечує стабільну роботу системи керування та дає змогу оперативно реагувати на зміну параметрів теплоносія. Це, в свою чергу, підвищує енергоефективність роботи тепlopункту та мінімізує ризики аварійних ситуацій.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

Надійність та точність роботи вимірювальних каналів у системі автоматизованого керування тепловим пунктом значною мірою залежить від ефективного захисту від електромагнітних та імпульсних перешкод. Такі завади можуть спричинити спотворення сигналів датчиків температури й тиску, що призводить до неправильного керування тепловими режимами.

1. Використання екранованих кабелів

- Застосовуються сигнальні кабелі з мідним або алюмінієвим екраном для зниження впливу високочастотних перешкод.
- Екран підключається до заземлення **лише з одного боку**, щоб уникнути виникнення заземлювальної петлі.
- Підбираються кабелі, що відповідають типу передаваного сигналу (наприклад, 4–20 мА для аналогових або RS-485 для цифрових).
- Для диференціальних ліній зв'язку використовуються виті пари (twisted pair), що підвищує стійкість до завад.

2. Захисне заземлення

- Всі металеві корпуси приладів, щитів автоматики, кабельні екрани та захисні кожухи обов'язково заземлюються.
- Уникається утворення **контурів заземлення**, які можуть генерувати власні струми та створювати додаткові перешкоди.
- При необхідності застосовуються заземлювальні шини з високою провідністю та коротким шляхом до основного контуру заземлення.

Комплексне дотримання вищенаведених заходів забезпечує електромагнітну сумісність системи керування тепловим пунктом і дозволяє уникнути помилок в показах вимірювальних засобів, що є ключовим для енергоефективної та безпечної експлуатації багатоквартирного житлового об'єкта.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

Структурна схема надійності, або блок-схема надійності, — це графічне представлення, що відображає взаємозв'язки між елементами системи та показує, як кожен з них впливає на загальну надійність функціонування системи.

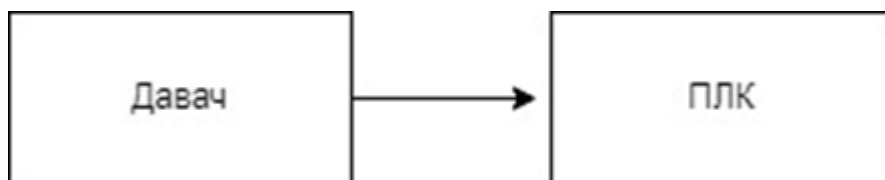


Рисунок 2.3 Схема надійності для реалізації керуючої функції

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

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Точність вимірювання суттєво впливає на достовірність інформації, що надходить з вимірювального каналу. Важливо дотримуватись певних вимог до точності вимірювань, серед яких:

- Встановлення необхідної точності вимірювань для кожного параметра, що контролюється системою. Це включає аналіз вимог до точності та роздільної здатності вимірювальних приладів.
- Підбір відповідних датчиків і вимірювальних приладів, які відповідають встановленим вимогам до точності та робочих умов. Враховується діапазон вимірювань, чутливість та стабільність датчиків.
- Аналіз похибок вимірювальної системи, які можуть виникати через різні фактори, такі як температура, вібрації, електромагнітні завади та інші зовнішні впливи. Оцінка включає як систематичні, так і випадкові похибки.

Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів є критично важливим етапом у розробці автоматизованих систем, оскільки він

забезпечує точність і надійність зібраних даних, що є основою для прийняття правильних рішень та ефективного управління процесами.

Визначимо абсолютну похибку кожного компонента вимірювальних каналів:

Температура зовнішнього повітря:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{t_{\text{зовн}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(50 - (-30))}{100} = 0.4^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{t_{\text{зовн}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(50 - (-30))}{100} = 0.08^{\circ}\text{C}$$

Температура теплоносія в подачі системи опалення:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{t_{\text{под}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(90 - 0)}{100} = 0.45^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{t_{\text{под}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(150 - 0)}{100} = 0.15^{\circ}\text{C}$$

Температура теплоносія на вході в ІТП:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{t_{\text{вхІТП}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(90 - 0)}{100} = 0.45^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{t_{\text{вхІТП}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(90 - 0)}{100} = 0.09^{\circ}\text{C}$$

Температура зворотного теплоносія системи опалення:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{t_{\text{звор}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(90 - 0)}{100} = 0.45^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{t_{\text{звор}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(90 - 0)}{100} = 0.09^{\circ}\text{C}$$

Температура води на вході в систему ГВП:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{t_{\text{вхГВП}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(90 - 0)}{100} = 0.45^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{t_{\text{вхГВП}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(90 - 0)}{100} = 0.09^{\circ}\text{C}$$

Температура води на виході з системи ГВП:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{t_{\text{вихГВП}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(90 - 0)}{100} = 0.45^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{t_{\text{вихГВП}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(90 - 0)}{100} = 0.09^{\circ}\text{C}$$

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура нагрітого повітря в будівлі:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{t_{\text{пов}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(50 - (-30))}{100} = 0.4^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{t_{\text{пов}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(50 - (-30))}{100} = 0.08^{\circ}\text{C}$$

Диференціальний тиск води в системі опалення:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{d_{\text{роп}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(1.6 - 0)}{100} = 0.08\text{Па}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{d_{\text{роп}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(1.6 - 0)}{100} = 0.0016\text{Па}$$

Диференціальний тиск води в системі ГВП:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{d_{\text{рГВП}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(1.6 - 0)}{100} = 0.08\text{Па}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{d_{\text{рГВП}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(1.6 - 0)}{100} = 0.0016\text{Па}$$

Диференціальний тиск води у зворотному трубопроводі після теплообмінника:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{d_{\text{рзв}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(1.6 - 0)}{100} = 0.08\text{Па}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{d_{\text{рзв}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(1.6 - 0)}{100} = 0.0016\text{Па}$$

Тиск води у контурі системи опалення:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{p_{\text{роп}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(1.4 - 0.2)}{100} = 0.06\text{Па}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{p_{\text{роп}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(1.4 - 0.2)}{100} = 0.0012\text{Па}$$

Тиск води у контурі джерела тепла:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{p_{\text{джТ}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(1.4 - 0.2)}{100} = 0.06\text{Па}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{p_{\text{джТ}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(1.4 - 0.2)}{100} = 0.0012\text{Па}$$

Тиск води у контурі ГВП:

$$\Delta_{i_{\text{давач}}}^{p_{\text{ГВП}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.5(1.4 - 0.2)}{100} = 0.06 \text{Па}$$

$$\Delta_{i_{\text{плк}}}^{p_{\text{ГВП}}} = \frac{\varepsilon_{\text{КТ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{0.1(1.4 - 0.2)}{100} = 0.0012 \text{Па}$$

Визначимо абсолютну похибку кожного вимірювального каналу:

Температура зовнішнього повітря:

$$\Delta_i^{t_{\text{пов}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.4^2 + 0.08^2} = 0.408^\circ\text{C}$$

Температура теплоносія в подачі системи опалення:

$$\Delta_i^{t_{\text{под}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.45^2 + 0.09^2} = 0.459^\circ\text{C}$$

Температура теплоносія на вході в ІТП:

$$\Delta_i^{t_{\text{вхІТП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.45^2 + 0.09^2} = 0.459^\circ\text{C}$$

Температура зворотного теплоносія системи опалення:

$$\Delta_i^{t_{\text{звор}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.45^2 + 0.09^2} = 0.459^\circ\text{C}$$

Температура води на вході в систему ГВП:

$$\Delta_i^{t_{\text{вхГВП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.45^2 + 0.09^2} = 0.459^\circ\text{C}$$

Температура води на виході з системи ГВП:

$$\Delta_i^{t_{\text{вихГВП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.45^2 + 0.09^2} = 0.459^\circ\text{C}$$

Температура нагрітого повітря в будівлі:

$$\Delta_i^{t_{\text{пов}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.45^2 + 0.09^2} = 0.459^\circ\text{C}$$

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Диференціальний тиск води в системі опалення:

$$\Delta_i^{d_{\text{роп}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.08^2 + 0.0016^2} = 0.08 \text{ Па}$$

Диференціальний тиск води в системі ГВП:

$$\Delta_i^{d_{\text{пГВП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.08^2 + 0.0016^2} = 0.08 \text{ Па}$$

Диференціальний тиск води у зворотному трубопроводі після теплообмінника:

$$\Delta_i^{d_{\text{пЗВ}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.08^2 + 0.0016^2} = 0.08 \text{ Па}$$

Тиск води у контурі системи опалення:

$$\Delta_i^{p_{\text{роп}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.06^2 + 0.0012^2} = 0.06 \text{ Па}$$

Тиск води у контурі джерела тепла:

$$\Delta_i^{p_{\text{джт}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.06^2 + 0.0012^2} = 0.06 \text{ Па}$$

Тиск води у контурі ГВП:

$$\Delta_i^{p_{\text{пГВП}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} = \sqrt{0.06^2 + 0.0012^2} = 0.06 \text{ Па}$$

Порівняємо розраховані абсолютні похибки з межами допустимих похибок кожного вимірювального каналу:

Температура зовнішнього повітря:

$$0.4^{\circ}\text{C} < 0.5^{\circ}\text{C}$$

Температура теплоносія в подачі системи опалення:

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

Температура теплоносія на вході в ІТП:

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

Температура зворотного теплоносія системи опалення:

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

Температура води на вході в систему ГВП:

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

Температура води на виході з системи ГВП:

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

Температура нагрітого повітря в будівлі:

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

Диференціальний тиск води в системі опалення:

$$0.08\text{Па} < 0.5\text{Па}$$

Диференціальний тиск води в системі ГВП:

$$0.08\text{Па} < 0.5\text{Па}$$

Диференціальний тиск води у зворотному трубопроводі після теплообмінника:

$$0.08\text{Па} < 0.5\text{Па}$$

Тиск води у контурі системи опалення:

$$0.06\text{Па} < 0.5\text{Па}$$

Тиск води у контурі джерела тепла:

$$0.06\text{Па} < 0.5\text{Па}$$

Тиск води у контурі ГВП:

$$0.06\text{Па} < 0.5\text{Па}$$

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Таблиця 2.1 — Значення середнього часу напрацювання на відмову вимірювальних каналів

№	ВК	Назва елемента	Т _{ср} , год
1	Температура зовнішнього повітря	ST-01	105000
2	Температура теплоносія в подачі системи опалення	ST _w -01	105000
3	Температура теплоносія на вході в ІТП	ST _w -01	105000
4	Температура зворотного теплоносія системи опалення	ST _w -01	105000
5	Температура води на вході в систему ГВП	ST _w -01	105000
6	Температура води на виході з системи ГВП	ST _w -01	105000
7	Температура нагрітого повітря в будівлі	ST-01	105000
8	Диференціальний тиск води в системі опалення	MBS 3000	100000
9	Диференціальний тиск води в системі ГВП	MBS 3000	100000
10	Диференціальний тиск води у зворотному трубопроводі після теплообмінника	MBS 3000	100000
11	Тиск води у контурі системи опалення	KP36	60000
12	Тиск води у контурі джерела тепла	KP36	60000
13	Тиск води у контурі ГВП	KP36	60000

Середній час напрацювання вимірювального каналу на відмову

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

Температура зовнішнього повітря:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{105000 * 100000}{105000 + 100000} = 51219.5 \text{ год}$$

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура теплоносія в подачі системи опалення:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{105000 * 100000}{105000 + 100000} = 51219.5 \text{ год}$$

Температура теплоносія на вході в ІТП:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{105000 * 100000}{105000 + 100000} = 51219.5 \text{ год}$$

Температура зворотного теплоносія системи опалення:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{105000 * 100000}{105000 + 100000} = 51219.5 \text{ год}$$

Температура води на вході в систему ГВП:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{105000 * 100000}{105000 + 100000} = 51219.5 \text{ год}$$

Температура води на виході з системи ГВП:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{105000 * 100000}{105000 + 100000} = 51219.5 \text{ год}$$

Температура нагрітого повітря в будівлі:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{105000 * 100000}{105000 + 100000} = 51219.5 \text{ год}$$

Диференціальний тиск води в системі опалення:

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

Диференціальний тиск води в системі ГВП:

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

Диференціальний тиск води у зворотному трубопроводі після теплообмінника:

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

Тиск води у контурі системи опалення:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{60000 * 100000}{60000 + 100000} = 37500 \text{ год}$$

Тиск води у контурі джерела тепла:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{ПЛК}}}{T + T_{\text{ПЛК}}} = \frac{60000 * 100000}{60000 + 100000} = 37500 \text{ год}$$

Тиск води у контурі ГВП:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T * T_{\text{ПЛК}}}{T + T_{\text{ПЛК}}} = \frac{60000 * 100000}{60000 + 100000} = 37500 \text{ год}$$

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

У системі автоматизованого керування тепловим багатопверховим житловим будинком, програмований логічний контролер (ПЛК) виконує критично важливі функції первинної обробки даних із вимірювальних каналів. Від ефективності цієї обробки залежить точність керування температурними та гідравлічними параметрами теплоносія, а також стабільність і енергоефективність функціонування системи.

Основні функції первинної обробки в ПЛК включають:

1. Фільтрація сигналів

Використання цифрових фільтрів низьких частот для усунення високочастотного шуму та перешкод, що виникають унаслідок електромагнітних впливів або нестабільності живлення.

Усереднення кількох вибірок вимірювань дозволяє зменшити вплив випадкових флуктуацій та отримати більш надійні значення, що використовуються в алгоритмах керування подачею тепла.

2. Калібрування

Коригування вимірюваних значень за допомогою калібрувальних коефіцієнтів, з урахуванням паспортних характеристик кожного датчика.

Реалізація температурної компенсації для датчиків тиску та температури, чутливих до змін навколишнього середовища.

Автоматична чи ручна адаптація параметрів калібрування в ПЛК за результатами періодичних перевірок.

3. Нормалізація та масштабування

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перетворення сигналів у стандартні одиниці виміру (°C, МПа тощо) для зручності візуалізації та подальшого аналізу.

Масштабування даних відповідно до робочих діапазонів датчиків та актуальних технічних умов об'єкта.

Узгодження даних з форматами, необхідними для роботи алгоритмів ПІД-регулювання, аварійної сигналізації та віддаленого моніторингу.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Роботоздатність вимірювальних каналів системи автоматичного регулювання (САР) тепловпункту багатопверхового будинку визначається на основі комплексного аналізу результатів первинної обробки даних у ПЛК. Важливими критеріями оцінки є точність вимірювань температури, тиску та витрати теплоносія, стабільність сигналів, відсутність перешкод, а також узгодженість даних із нормативними параметрами.

Функції фільтрації, калібрування, нормалізації та масштабування дозволяють підвищити достовірність інформації, що надходить до алгоритмів керування, забезпечуючи ефективне функціонування теплообмінного обладнання, насосних станцій та регулювальних клапанів.

Систематичний моніторинг і регламентне обслуговування вимірювальних елементів гарантує своєчасне виявлення аномалій, таких як дрейф датчиків, збої в з'єднаннях або нестабільність живлення. Це дає змогу забезпечити безперервність керування теплопостачанням, економію енергоресурсів і комфортні умови для мешканців будинку.

Таким чином, наявність повнофункціональної системи первинної обробки даних у складі ПЛК є запорукою високої надійності, точності та довговічності роботи всієї автоматизованої системи регулювання теплопостачання.

2.2. Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1. Перелік систем автоматичного регулювання

Основним компонентом ІТП є регулятор теплового потоку, що працює відповідно до погодних умов. Це автоматизована система, в якій електронний контролер регулює температуру теплоносія на вході в систему теплоспоживання. Коригування здійснюється за допомогою регулювального клапана з електроприводом, який реагує на сигнали від таких датчиків:

- температури зовнішнього повітря;
- температури теплоносія на вході в систему опалення;
- температури зворотного теплоносія;
- температури внутрішнього повітря в приміщенні (опційно).

Для контуру регулювання температури в системі опалення можливе використання різних варіантів побудови АСР:

1. Одноконтурна система регулювання

Базова система, в якій регулятор отримує інформацію від датчика температури теплоносія та керує регулюючим клапаном на подачі. Відрізняється простотою реалізації та обслуговування, але має обмежену ефективність при значних змінах температури зовнішнього повітря.

2. Каскадна система регулювання з корекцією за температурою приміщення

Включає два контури: зовнішній контролює температуру повітря у вибраному контрольному приміщенні, а внутрішній — температуру теплоносія. Така схема забезпечує підвищену точність підтримання температури в приміщеннях при зміні теплового навантаження.

3. Багатоконтурна система з врахуванням зон теплоспоживання

Передбачає незалежне регулювання температури для різних приміщень або зон будівлі з врахуванням їх індивідуальних теплофізичних характеристик.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контур системи опалення, підключений до ІТП, забезпечує розподіл теплоносія між споживачами відповідно до заданих параметрів. Він може працювати за схемою прямого або змішаного підключення:

- Пряме підключення використовується, коли параметри теплоносія джерела тепла відповідають вимогам системи опалення.
- Змішане підключення передбачає використання теплообмінника для розділення контурів, що дозволяє зменшити температуру та тиск у системі опалення, покращуючи її безпеку та ефективність.

Для підтримки стабільної роботи контуру в ІТП можуть додатково використовуватися:

- циркуляційні насоси для забезпечення необхідної витрати теплоносія;
- балансувальні клапани для рівномірного розподілу тепла між споживачами;
- запобіжні та зворотні клапани для безпечної експлуатації системи.

Завдяки цим елементам ІТП забезпечує ефективне використання теплової енергії, адаптуючи роботу системи до змін погодних умов та потреб споживачів.

Індивідуальні теплові пункти (ІТП) мають значні переваги перед центральним тепlopостачанням. Досвід експлуатації показує, що після їх встановлення у багатоповерхових будинках, де раніше не було регулювання, споживання тепла знижується на 15–73%.

Економія досягається завдяки автоматичному регулюванню параметрів теплоносія та розподілу теплової енергії відповідно до температури зовнішнього повітря та заданого графіка. ІТП забезпечує якісну циркуляцію теплоносія, що гарантує рівномірний розподіл тепла по всьому об'єкту. Крім того, ці системи відзначаються довговічністю та не потребують частого ремонту.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи ефективність та можливості вдосконалення сучасних ІТП, нижче представлено структурну схему їхнього функціонування з оптимальними параметрами енергозбереження та продуктивності.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

Система автоматичного регулювання опалення - це інтелектуальний механізм підтримання комфортної температури. Контролер постійно порівнює задану температуру з фактичною, забезпечуючи споживачеві стабільну температуру незалежно від зовнішніх умов. Коли температура відхиляється від норми, виконавчий механізм миттєво реагує - відкриваючи або закриваючи клапан подачі теплоносія. Система працює циклічно, немов живий організм, який дихає: то трохи підігріваючи, то трохи охолоджуючи приміщення, утримуючи температуру в заданих межах. Це дозволяє забезпечити рівномірний та ефективний обігрів, адаптуючись до будь-яких зовнішніх температурних коливань.

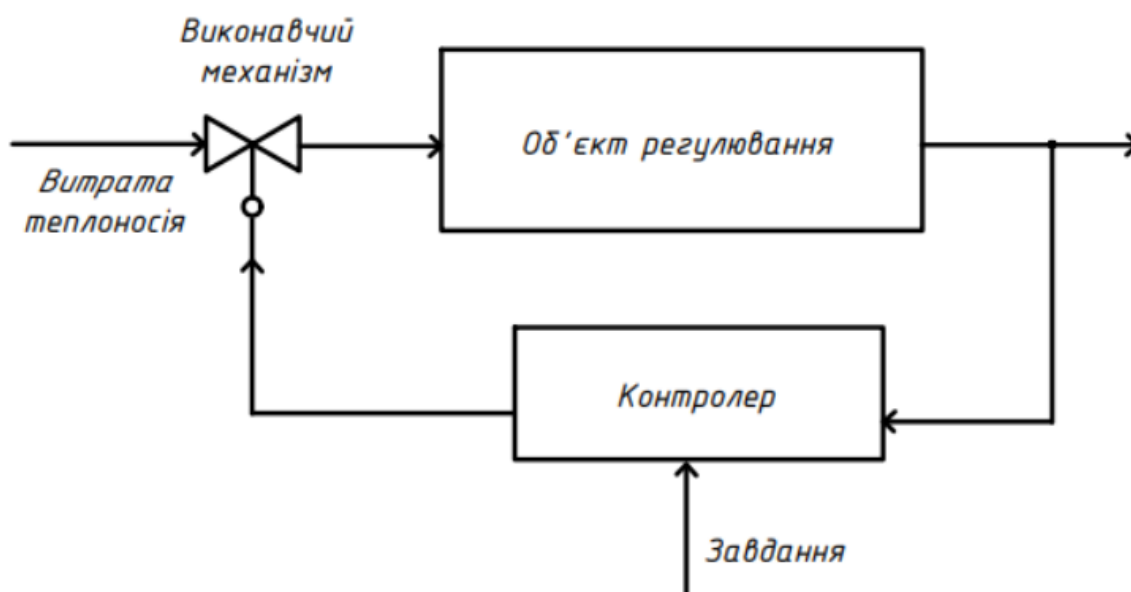


Рисунок. 2.4 — Схема одноконтурна структурна САР контуру регулювання температури гарячої води в системі опалення

ІТП відіграють важливу роль у підвищенні енергоефективності, оскільки дозволяють знизити тепловтрати, оптимізувати споживання ресурсів і зменшити фінансові витрати на опалення. Крім того, вони

сприяють раціональному використанню енергоресурсів, що є важливим аспектом сталого розвитку.

Зменшення енергоспоживання та підвищення ефективності теплових систем є одним із ключових завдань сучасної енергетики. Досягти цього можна шляхом впровадження передових енергозберігаючих технологій, модернізації теплових мереж та застосування інноваційних рішень в управлінні споживанням тепла. Комплексний підхід до енергозбереження сприяє не лише економічному розвитку, а й підвищенню комфорту та якості життя населення.

2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР

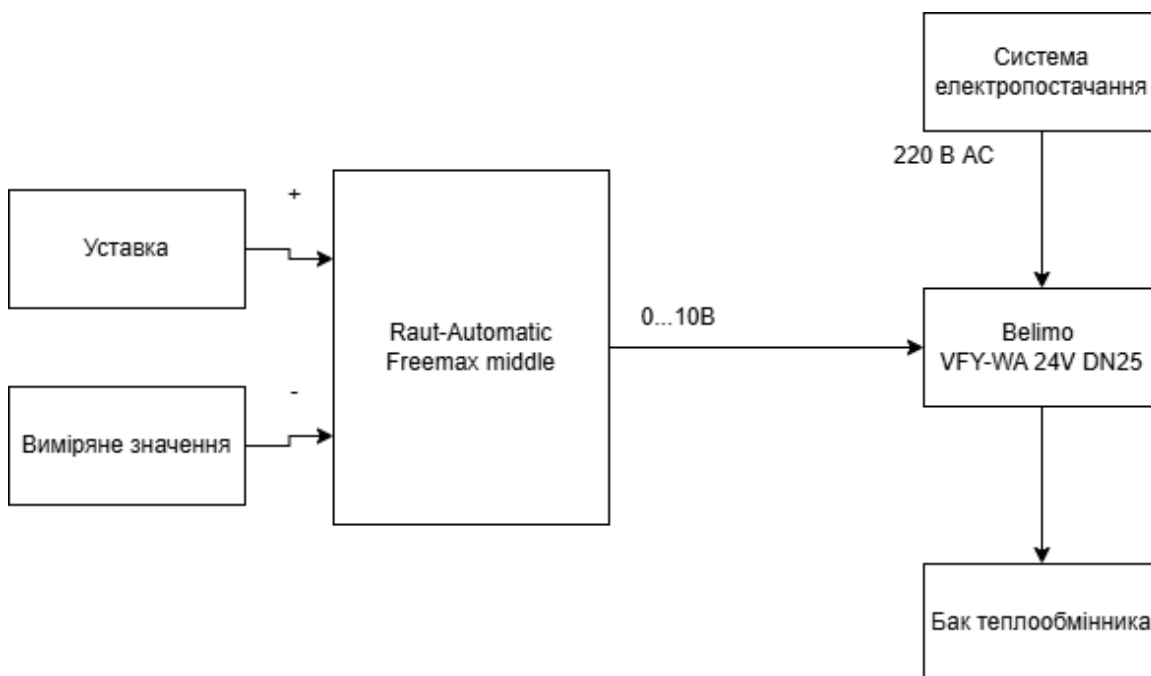


Рисунок 2.5 — Схема структури регульовально-виконавчого каналу САР

До складу регульовально-виконавчого каналу САР входять такі елементи: ПЛК Raut-Automatic Freemax middle, ВМ Belimo VFY-WA 24V DN25 і теплообмінник. Плавне регулювання виконавчого механізмів відбувається завдяки аналогового сигналу 0-10В.

Ефективність роботи теплообмінника досягається шляхом регулювання швидкості подачі води в бак.

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

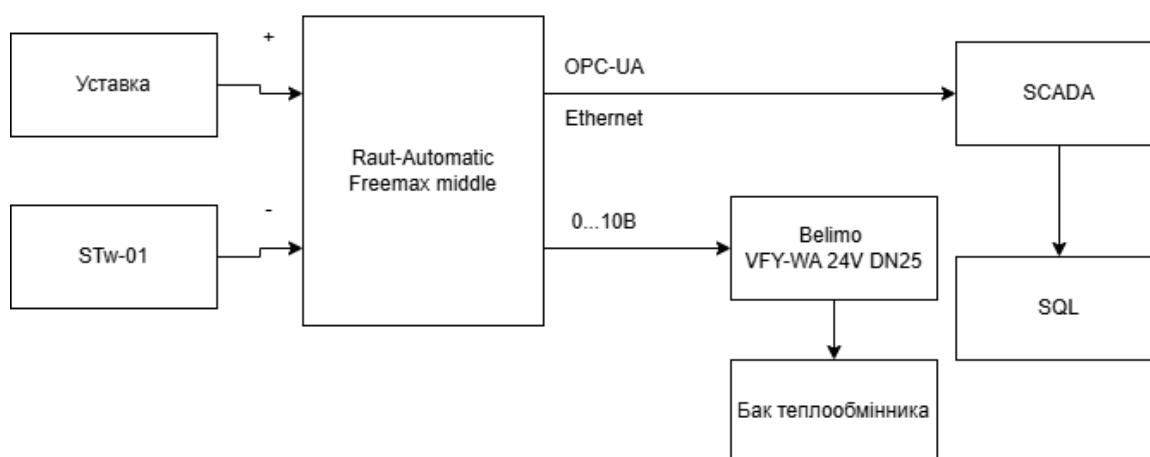


Рисунок 2.6 — Схема структури програмно-технічних засобів САР

Термоперетворювач опору Raut-Automatic Stw-01 здійснює вимірювання температури в повітропроводі та передає аналоговий сигнал, що відповідає її значенню. Завдяки узгодженим характеристикам ПЛК і датчика, сигнал безпосередньо надходить на контролер. ПЛК порівнює поточне значення температури з заданим та формує відповідний керуючий сигнал для виконавчого механізму. Останній, у свою чергу, обробляє сигнал і регулює роботу керуючого елемента. Дані про температуру та стан виконавчих пристроїв надходять у SCADA-систему, де візуалізуються у зручному вигляді й зберігаються в архіві. Вся інформація, разом із подіями, записується в базу даних SQL.

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

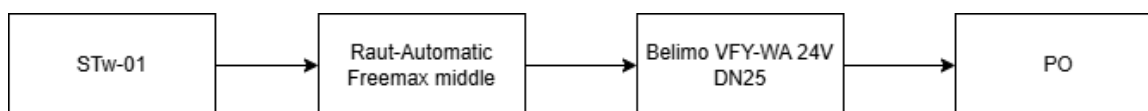


Рисунок 2.7 — Структурна схема забезпечення надійності реалізації управління САР.

Структурна схема надійності керуючої функції САР складається з чотирьох ключових елементів: опірний термоперетворювач STw-01,

програмованого логічного контролера (ПЛК) Raut-Automatic Freemax middle, виконавчого механізму Belimo VFY-WA 24V DN25 та регулюючого органу. Датчик фіксує фізичний параметр, формує вимірювальний сигнал, який потім проходить перетворення, лінеаризацію та надходить на аналоговий вхід ПЛК. Контролер аналізує сигнал і генерує керуючий сигнал у форматі 4–20 мА, який надсилається на електропривід із конденсаторним поверненням. Швидкість роботи насосів змінюється для забезпечення оптимального змішування води до необхідної температури в баку теплообмінника.

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Таблиця 2.2 — Середній час, необхідний для того, щоб кожен елемент системи вийшов з ладу

Назва елементу	Т _{ср} , год
Термоперетворювач опору, STw-01	105000
ПЛК, Freemax middle	100000
Поворотний затвор з електричним приводом, Belimo VFY-WA 24V DN25	120000
Теплообмінник	120000

Розрахуємо середнє значення напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = 105000 + 100000 + 120000 + 120000 = 445000 \text{ год}$$

2.2.7 Розрахунок регуляторів і моделювання САР

Під час проходження практики були отримані наступні передавальні функції:

Передавальна функція об'єкту управління:

$$W = \frac{0.7}{65p + 1} e^{-15p}$$

Дослідницька частина

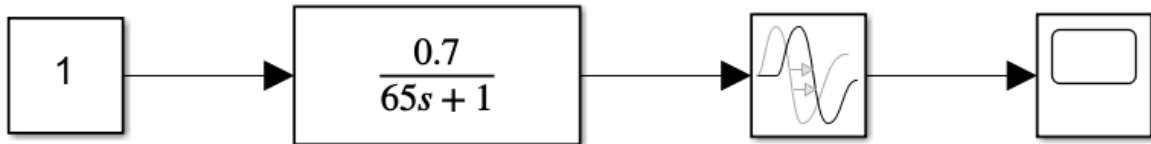


Рисунок 2.8 — Схема побудови кривої розгону інерційної ланки

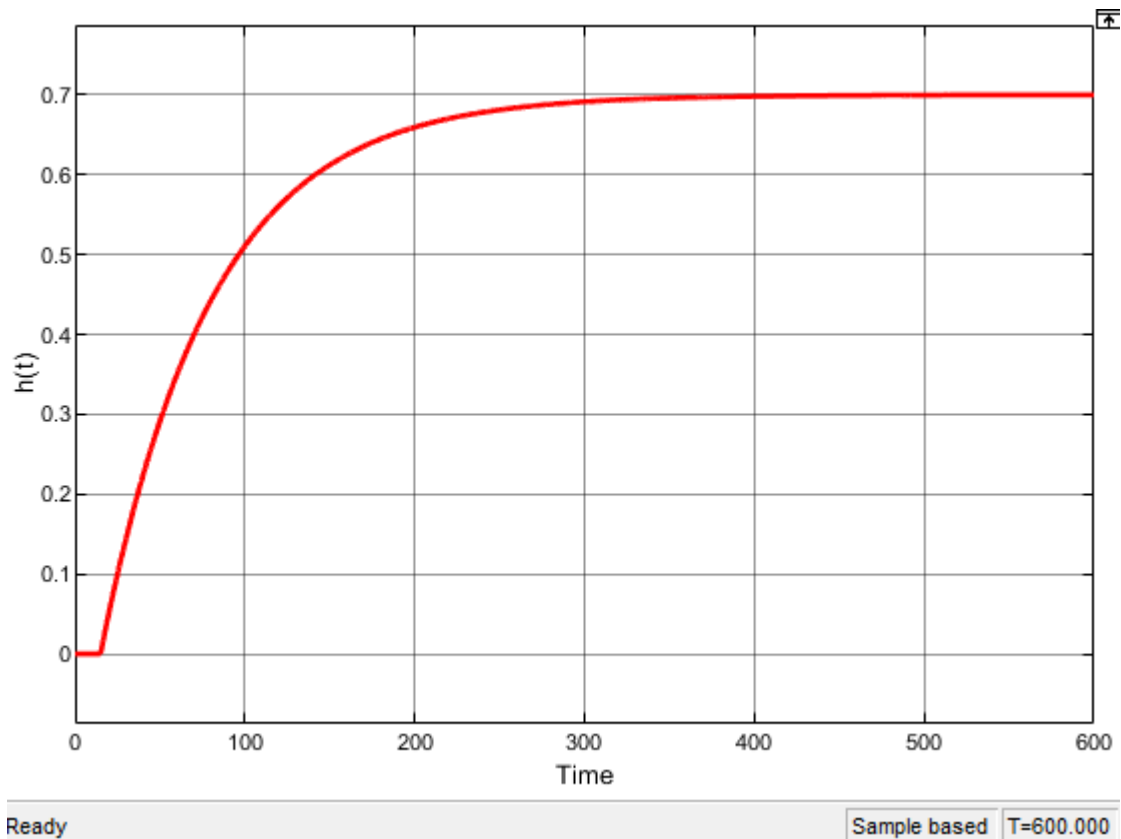


Рисунок 2.9 — Крива розгону інерційної ланки

Метод РАФХ

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

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

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

$$\text{де } K_I = \frac{K_P}{T_I}, A_{об}(m, \omega) = \sqrt{P_{об}^2(m, \omega) + Q_{об}^2(m, \omega)}$$

Код в Matlab:

```
w=0:0.00001:0.09;
m=0.365;
p=w.*(1j-m);
wo=(0.7.*exp(-15.*p))./(65.*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');
```

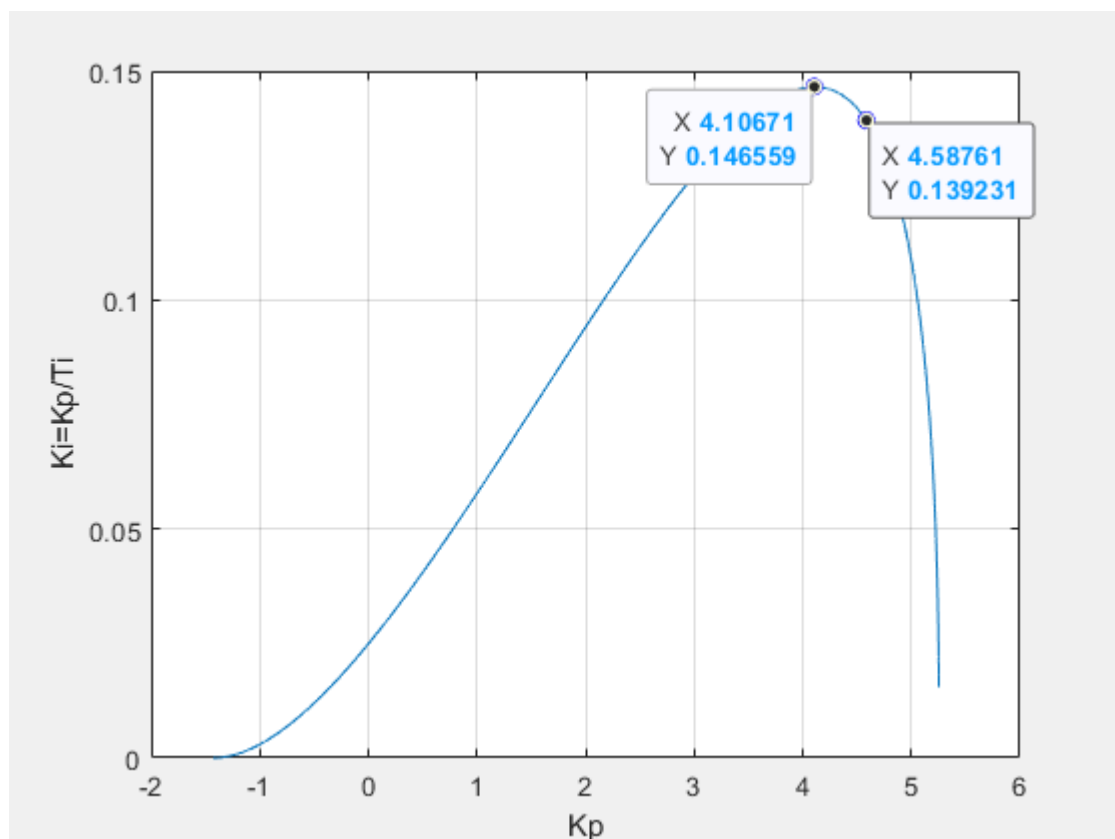


Рисунок 2.10 – Крива заданого степеня коливальності

На кривій позначено точку $Ki_{\max} \cdot 0.95$. Отримаємо налаштування ПІ-регулятора:

$$K_p = 4.588$$

$$K_i = 0.139$$

$$T_i = K_p / K_i = 33$$

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

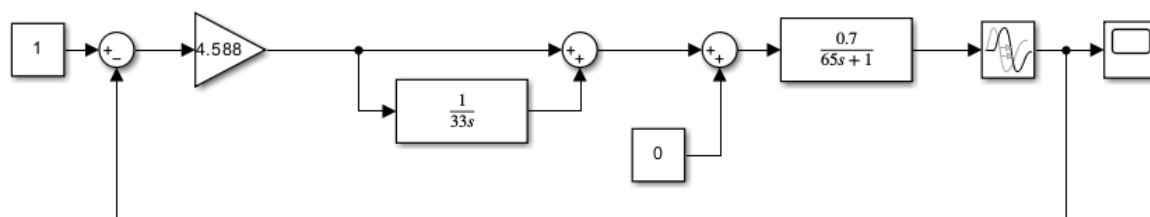


Рисунок 2.11 – Модель по каналу «завдання-вихід»

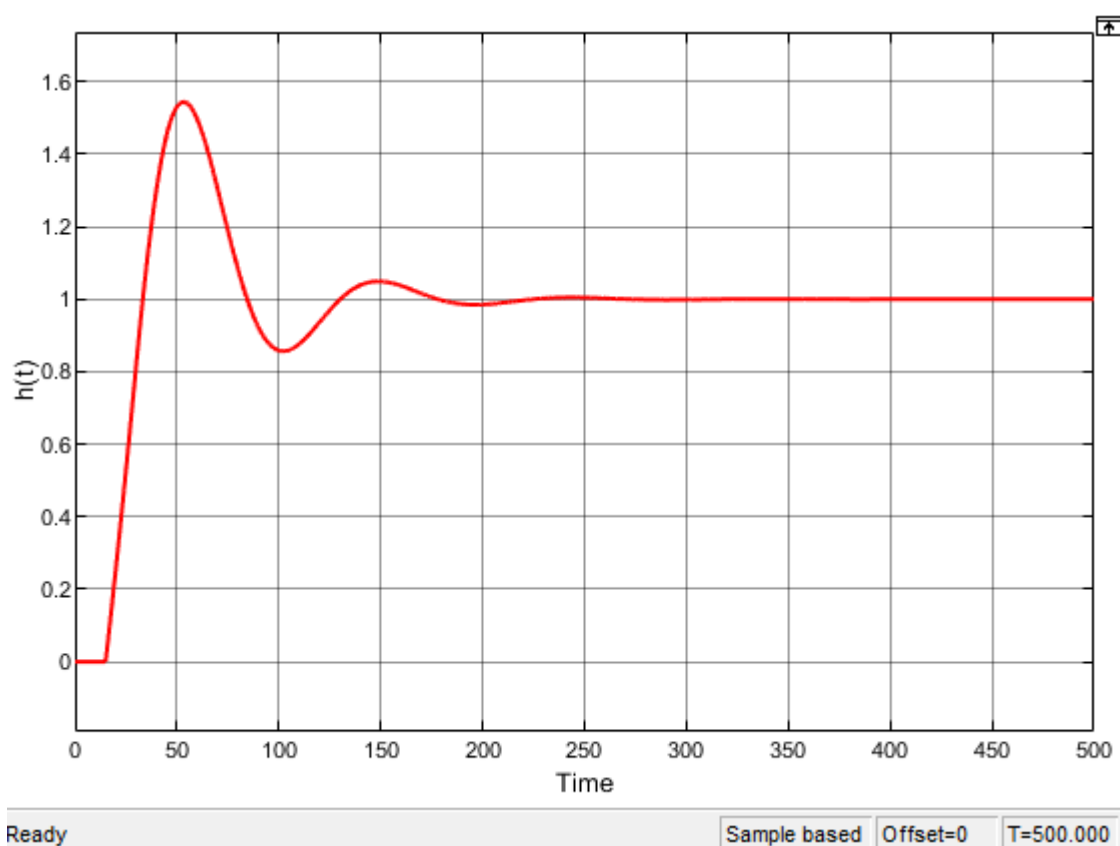


Рисунок 2.12 – Перехідний процес по каналу «завдання-вихід»

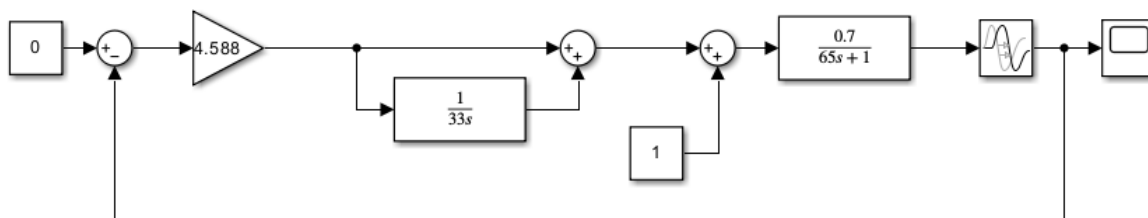


Рисунок 2.13 – Модель по каналу «збурення-вихід»

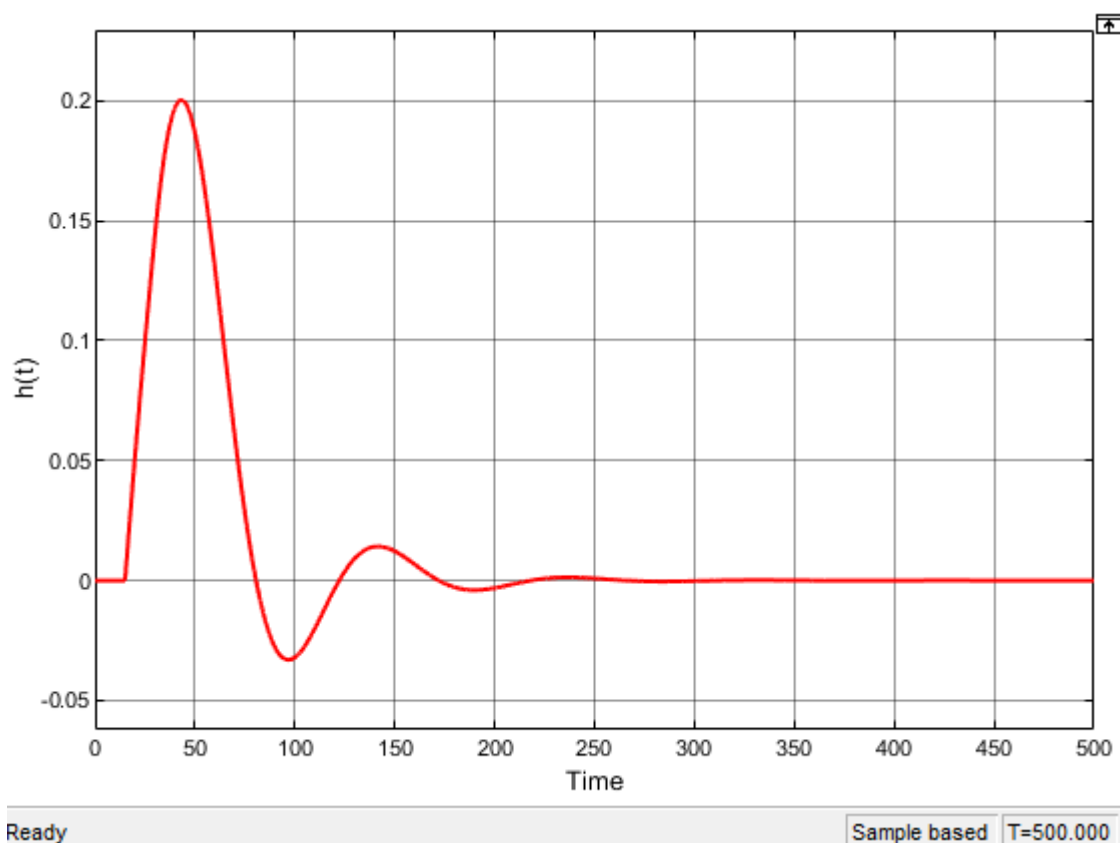


Рисунок 2.14 – Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»

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 $\Delta_{дин}$	0.2002	0.544
Перерегулювання σ , %	16.48	54.4
Степінь затухання ψ	0.93	0.91
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	169.788	147.035

Експрес-метод

Розрахуємо параметри налаштування регулятора методом Chien et al (1952):

$$K_{об} = 0.7 T_{об} = 65 \tau_{об} = 15$$

$$K_p = \frac{0.6 T_{об}}{K_{об} \tau_{об}}; T_p = 4 \tau_{об}$$

$$K_p = \frac{0.6 \cdot 65}{0.7 \cdot 15} = 3.714; T_p = 60.$$

Передаточна функція регулятора набуде вигляд:

$$W_p(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_p}\right) = 3.714 \left(1 + \frac{1}{60}\right)$$

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

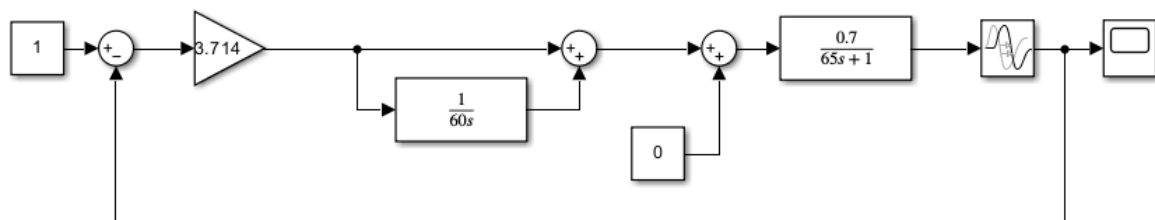


Рисунок 2.15 – Модель по каналу «завдання-вихід»

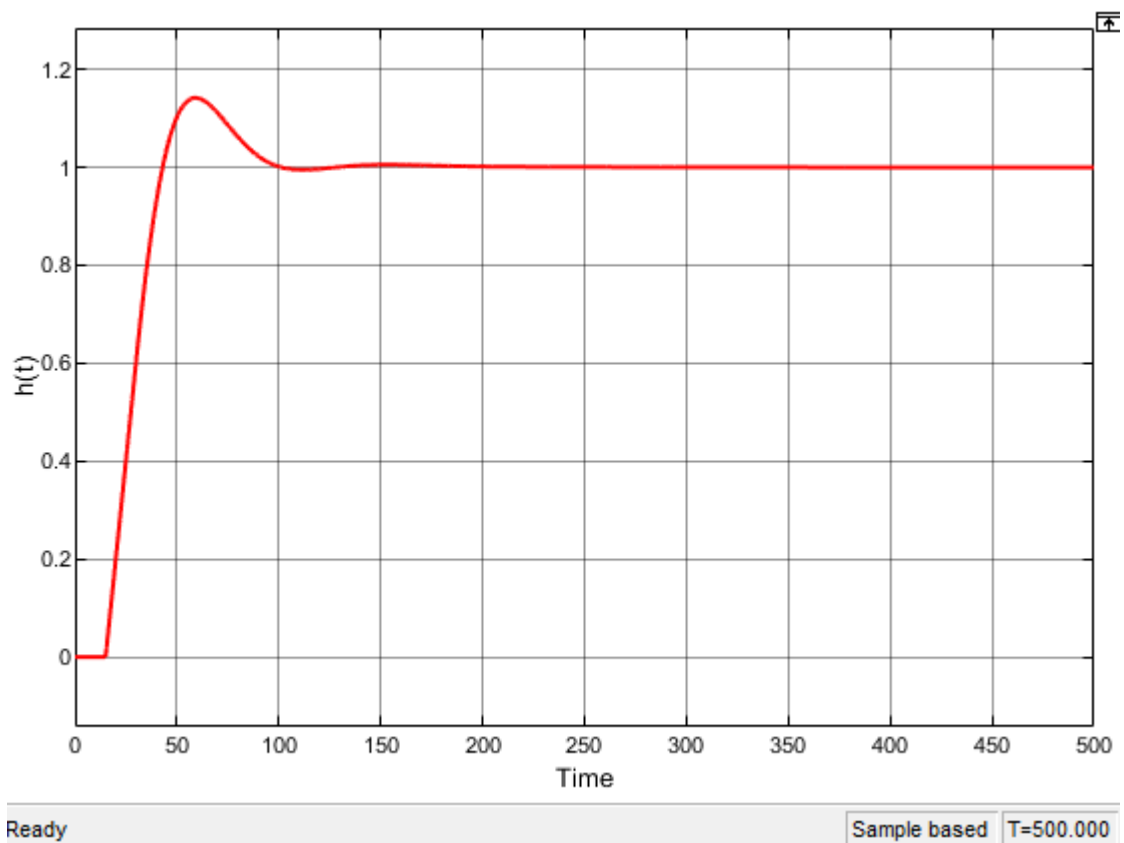


Рисунок 2.16 — Сигнал після реле та на виході схеми

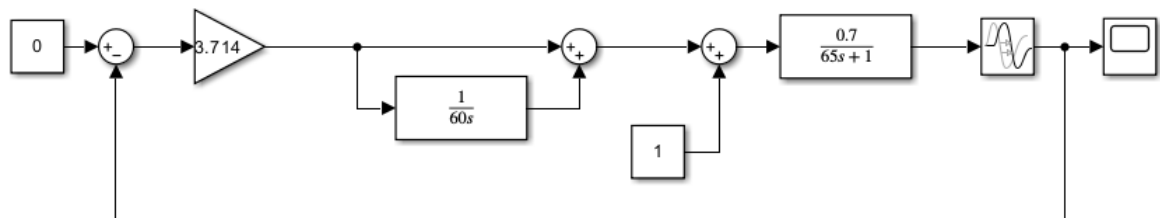


Рисунок 2.17 – Модель по каналу «збурення-вихід»

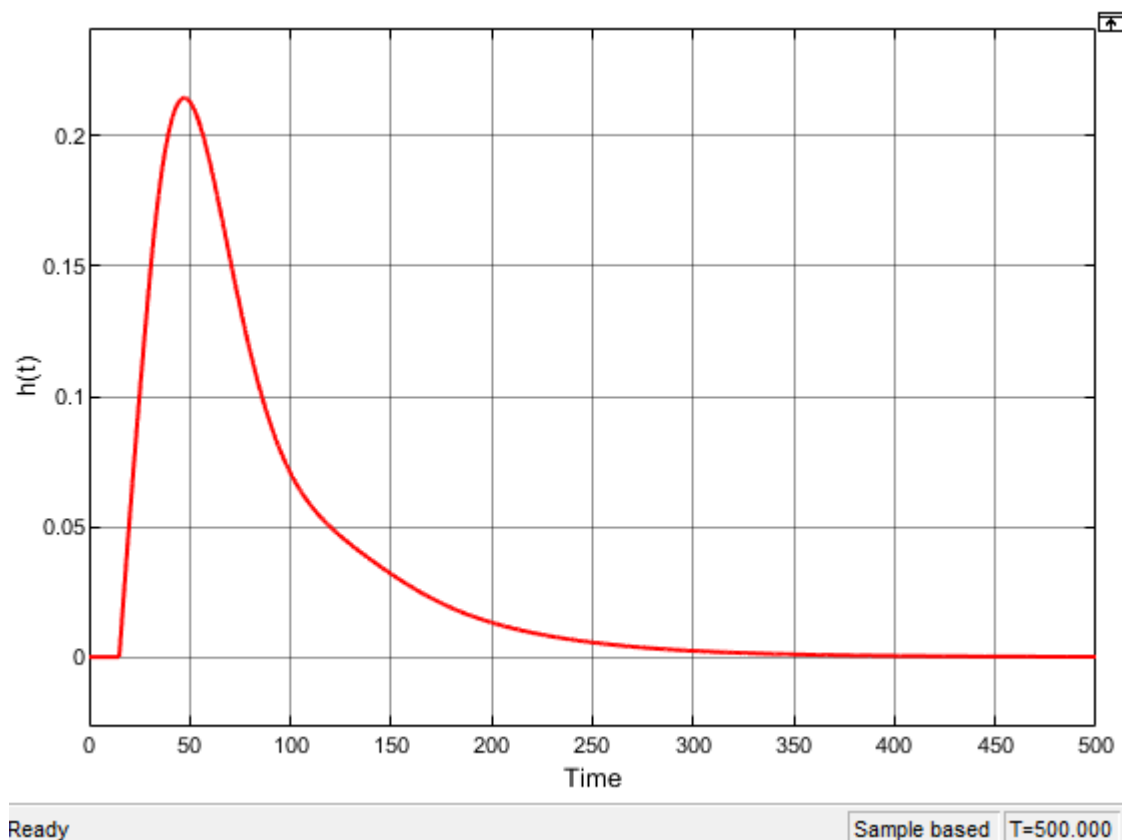


Рисунок 2.18 — Перехідна характеристика каскадної САУ
внутрішнього регулятора за каналом «збурення-вихід»

Таблиця 2.4 — Прямі показники якості каналами для каскадної
САУ з ПІ+ПІ-регулятором за каналами “збурення-вихід” та “завдання-
вихід” методом Chien et al (1952)

Показники якості	Канал "Збурення- вихід"	Канал "Завдання- вихід"
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.2145	0.142
Перерегулювання σ , %	0.00	14.2
Степінь затухання ψ	1.00	0.96
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	211.57	82.933

Порівняння отриманих одноконтурних систем розрахованих за двома методами:

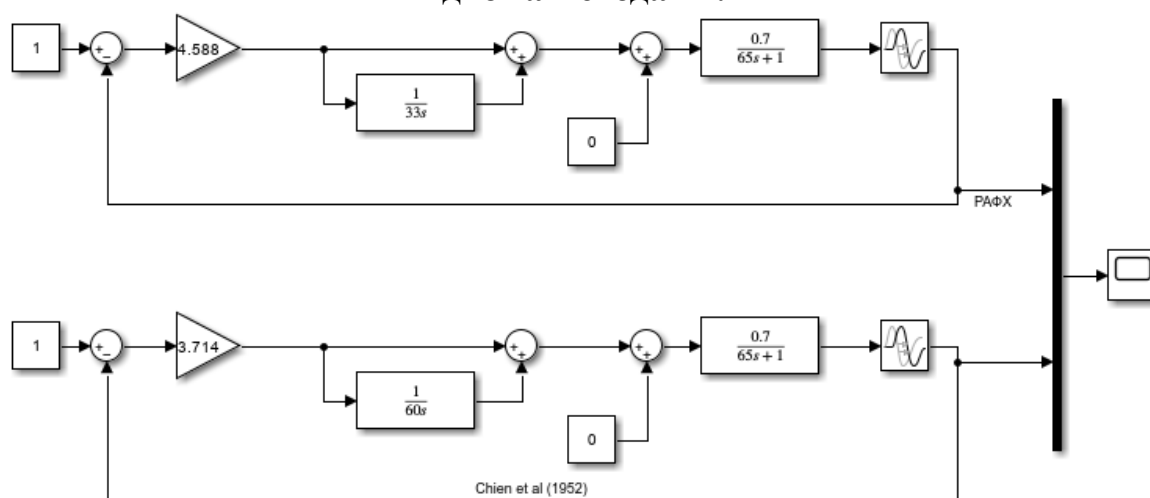


Рисунок 2.19 — Структурна схема за каналом “завдання-вихід”

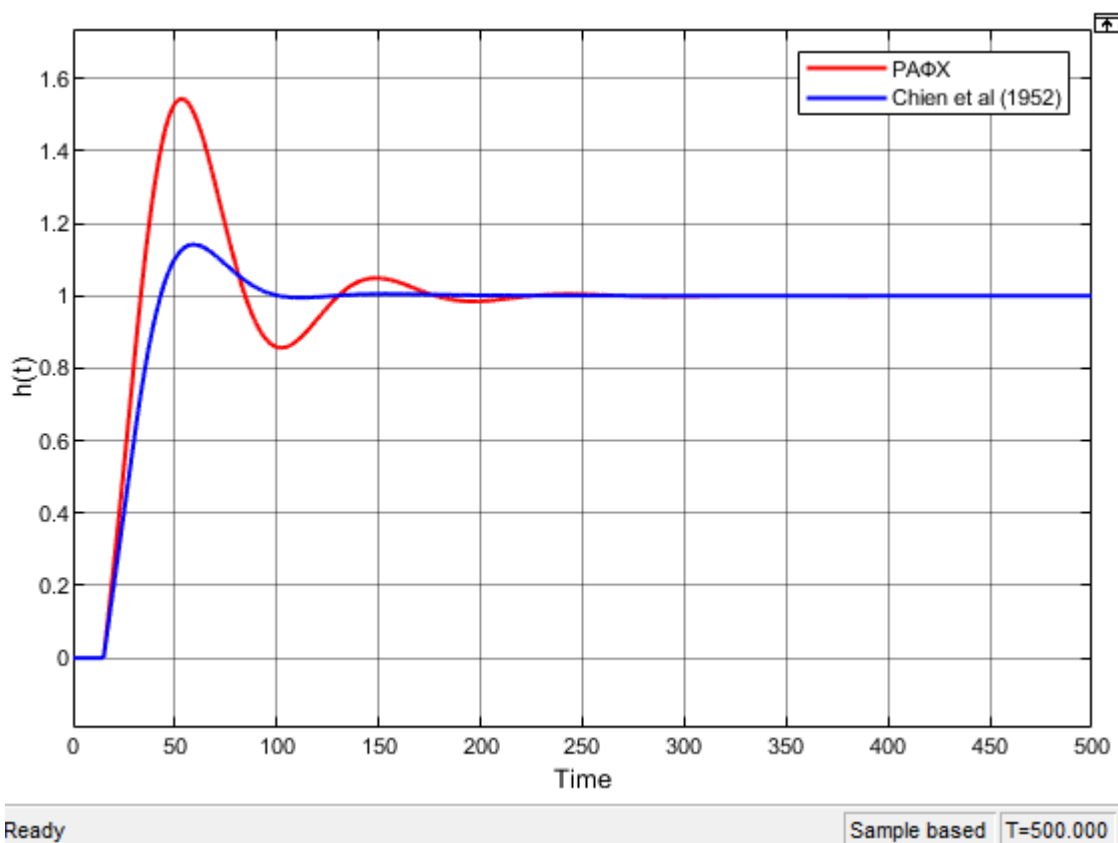


Рисунок 2.20 — Перехідна характеристика за каналом “завдання -вихід”

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

Показники якості	РАФХ	Chien et al (1952)
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.544	0.142
Перерегулювання σ , %	54.4	14.2
Степінь згасання ψ	0.91	0.96
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	147.035	82.933

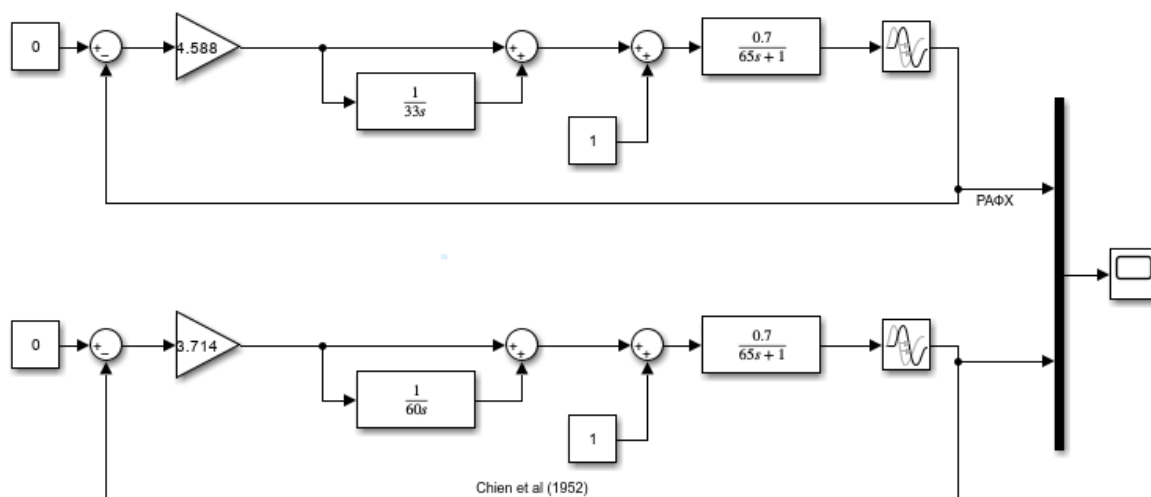


Рисунок 2.21 — Структурна схема за каналом “збурення-вихід”

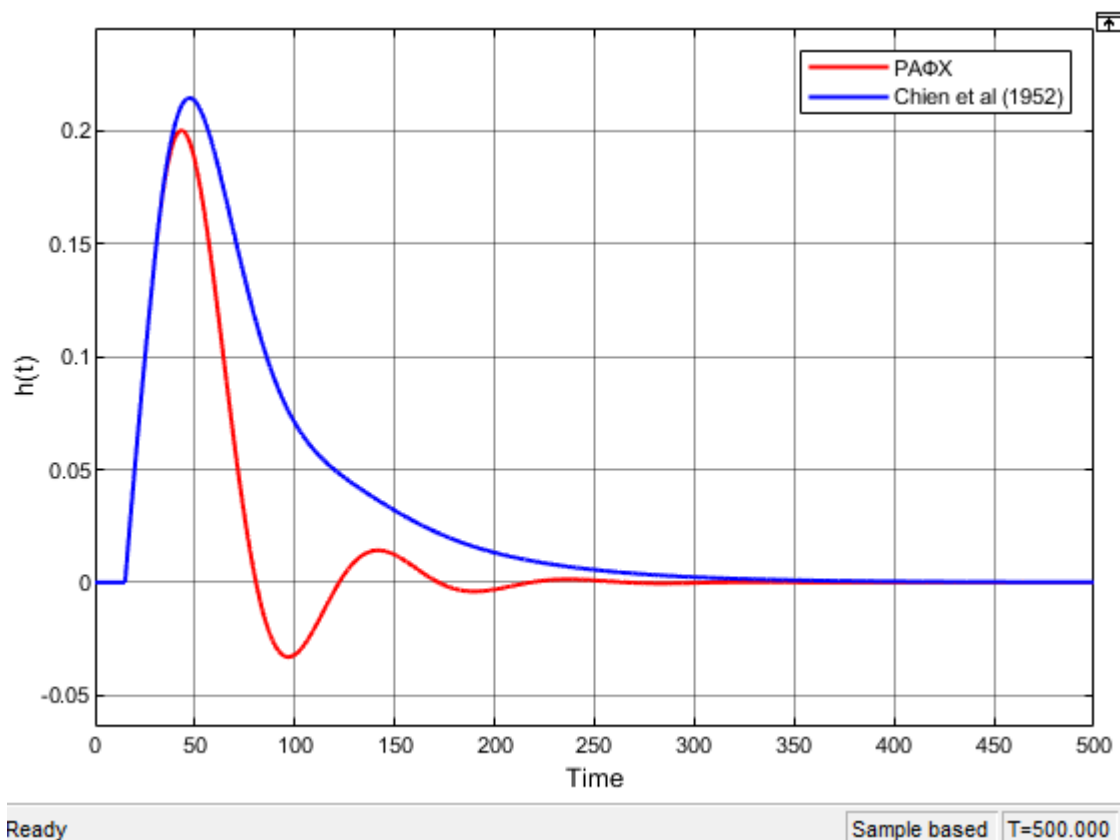


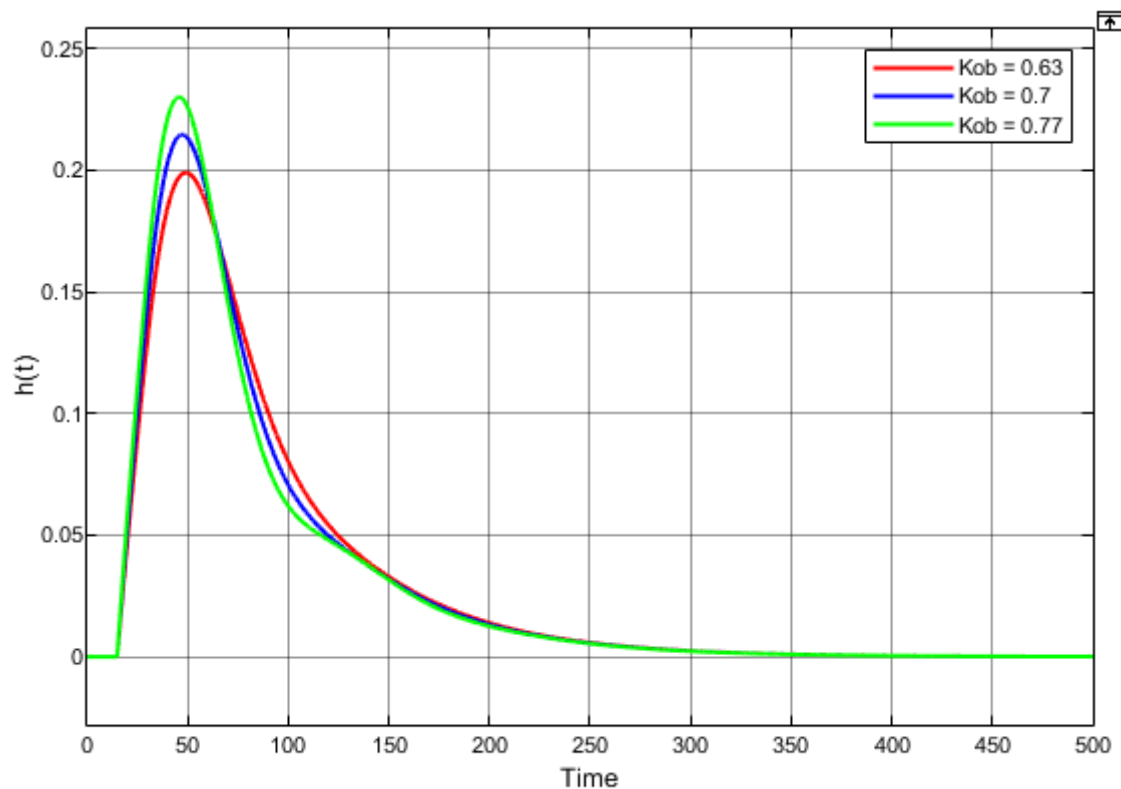
Рисунок 2.22 — Перехідна характеристика за каналом “збурення - вихід”

Таблиця 2.6 — Прямі показники якості за каналом “збурення-вихід” для одноконтурної САУ з за двома методами

Показники якості	РАФХ	Chien et al (1952)
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.2002	0.2145
Перерегулювання σ , %	16.48	0.00
Степінь затухання ψ	0.93	1.00
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	169.788	211.57

Дивлячись на табл. 2.5 і 2.6 можна зробити висновок, що Chien et al (1952) є кращим по каналу «збурення-вихід» по всім параметрам, а по каналу «завдання-вихід» кращим по степені затухання та перегулюванню.

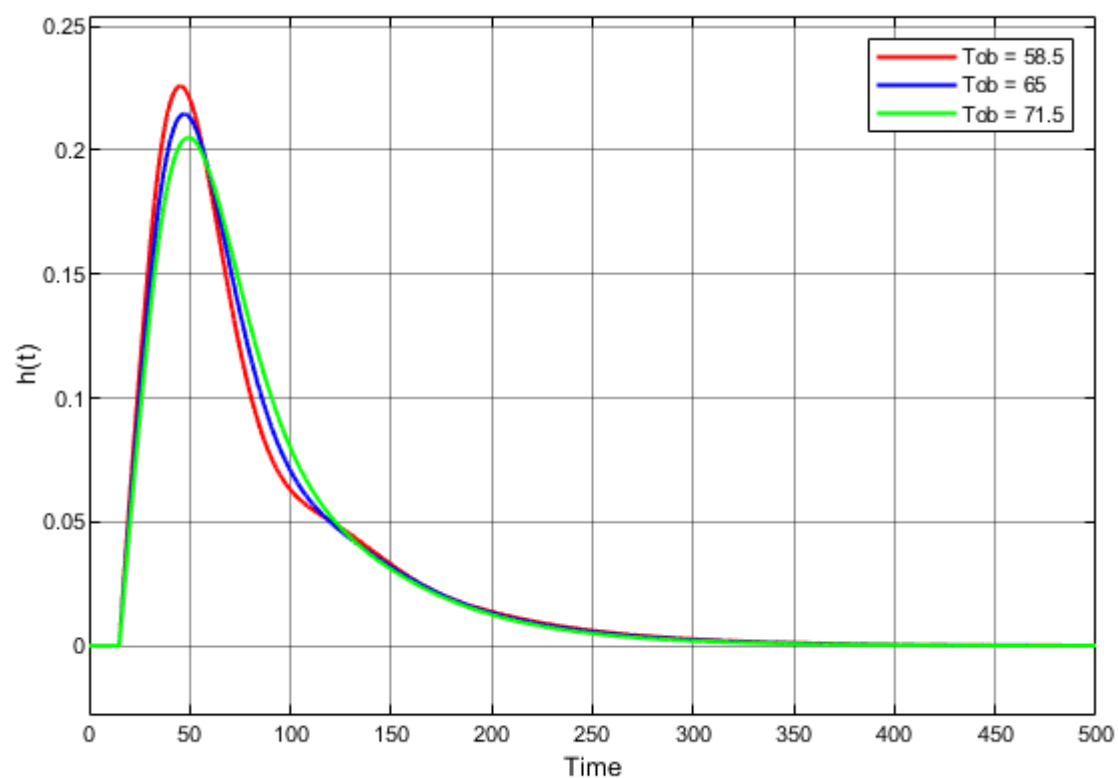
Порівняння на чутливість



Ready

Sample based T=500.000

Рисунок. 2.23. Перехідні процеси з різними коефіцієнтами підсилення



Ready

Sample based T=500.000

Рис. 2.24. Перехідні процес з різними сталими часу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-11387.0012.001.А ТХ.П

Лист

52

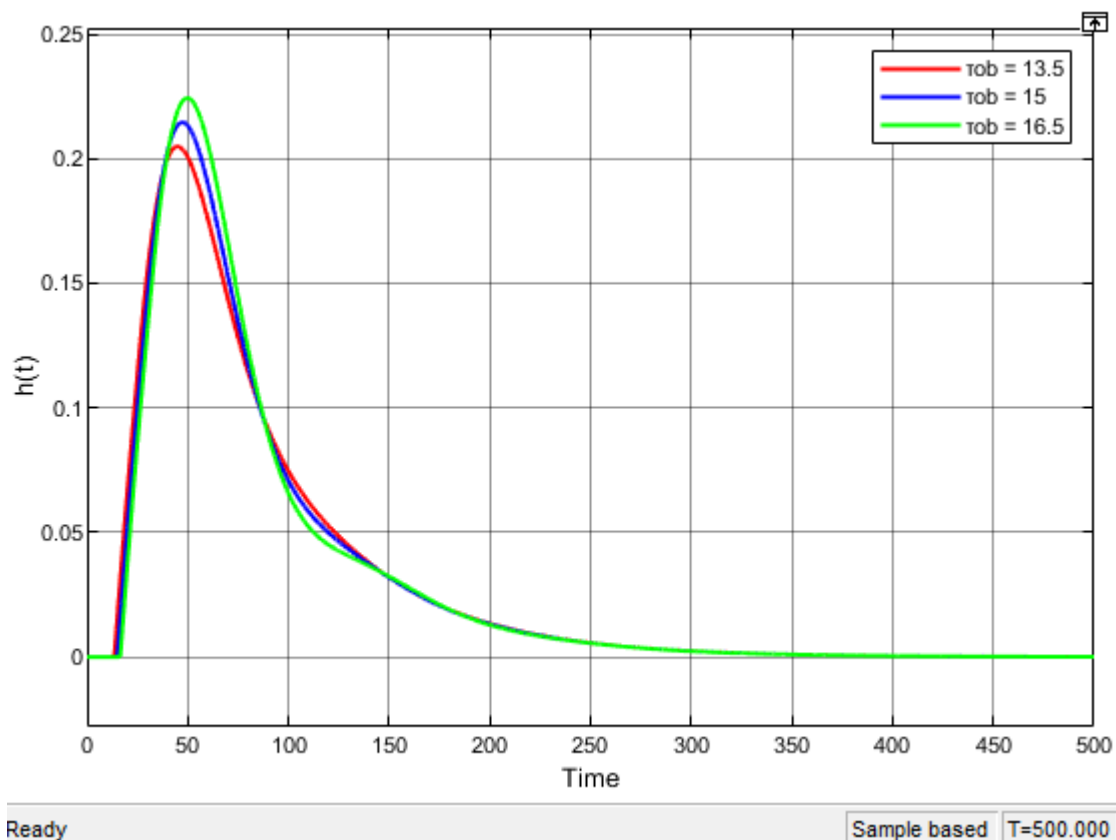


Рисунок. 2.25. Перехідні процеси з різними запізненнями

Таблиця 2.7 — Показники якості з різними Kob

Значення Kob	0.63	0.7	0.77
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.199	0.2145	0.2301
Перерегулювання σ , %	0.00	0.00	0.00
Степінь затухання ψ	1.00	1.00	1.00
Час перехідного процесу $t_{пн}$, с	218.851	211.57	205.097

Таблиця 2.8 — Показники якості з різними T_{ob}

Значення T_{ob}	58.5	65	71.5
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.2259	0.2145	0.2052
Перерегулювання σ , %	0.00	0.00	0.00
Степінь затухання ψ	1.00	1.00	1.00
Час перехідного процесу $t_{пн}$, с	212.379	211.57	210.761

Таблиця 2.9 — Показники якості з різними t_{ob}

Значення t_{ob}	13.5	15	16.5
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.2049	0.2145	0.2244
Перерегулювання σ , %	0.00	0.00	0.00
Степінь затухання ψ	1.00	1.00	1.00
Час перехідного процесу $t_{пн}$, с	215.615	211.57	207.524

Скористаємось формулою для розрахунку відносних коефіцієнтів чутливості:

$$K_s = \frac{\left| \frac{Q_n - Q_c}{Q_c} \right|}{\left| \frac{P_n - P_c}{P_c} \right|} \quad (2.1)$$

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_{ob}	T_{ob}	τ_{ob}	$K_{чут}$
0.6	65	15	0.722610723
0.8	65	15	0.727272727

Таблиця 2.11 — Відносні коефіцієнти чутливості різними сталими часу

Параметри			Коефіцієнти чутливості
K_{ob}	T_{ob}	τ_{ob}	$K_{чут}$
0.7	58.5	15	0.53
0.7	71.5	15	0.433566434

Таблиця 2.12 — Відносні коефіцієнти чутливості різними запізненнями

Параметри			Коефіцієнти чутливості
K_{ob}	T_{ob}	τ_{ob}	$K_{чут}$
0.7	65	14	0.45
0.7	65	17	0.461538462

Розрахувавши коефіцієнти чутливості, можна сказати, що система вийшла нечутливою оскільки деякі з коефіцієнтів виявились меншими за 1. Зміна налаштувань регулятора при зміні параметрів об'єкту не потрібні.

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1. Схема функціональна автоматизації ТОУ

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

3.2. Схема структурна ПТК

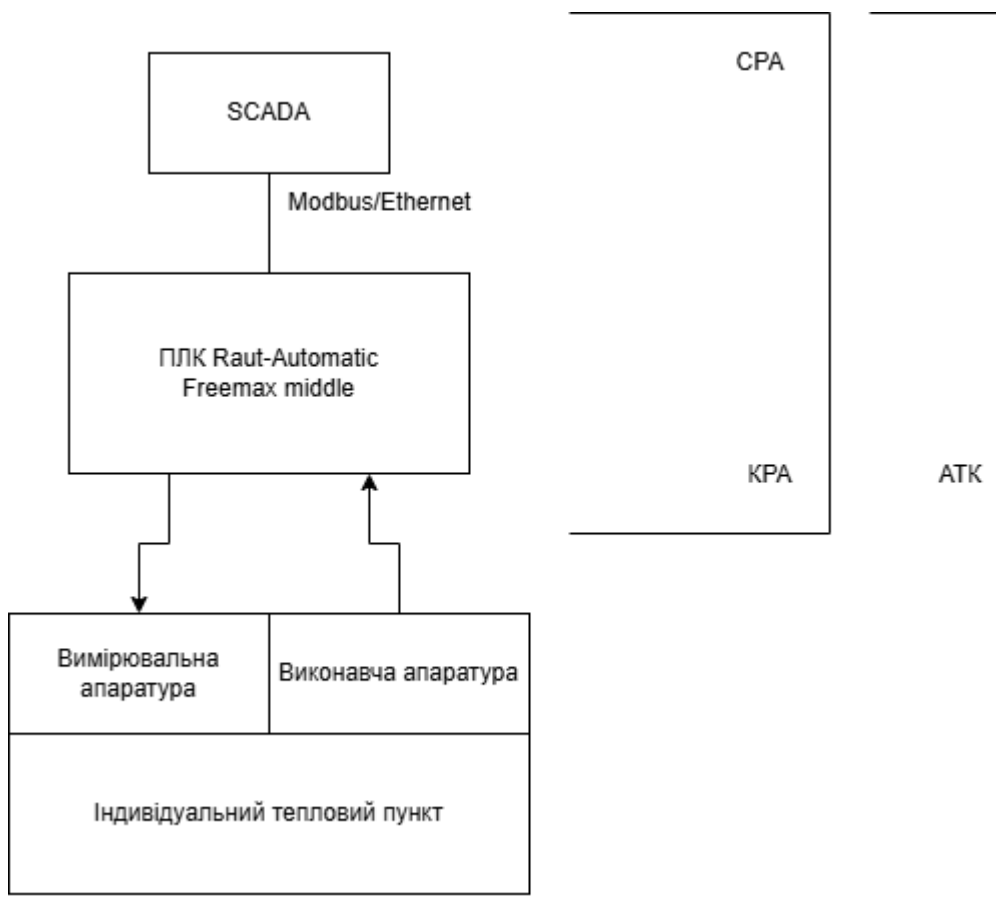


Рисунок 3.1 — Схема побудови ПТК

Детальний опис структурної схеми ПТКЗА подано в підрозділі 1.6 пояснювальної записки.

3.3. Схема принципова електрична АСР

Система живиться від однофазної мережі з лініями L, N та захисним заземленням РЕ.

Основні компоненти системи: Програмований логічний контролер (ПЛК) А1 є центральним вузлом керування всієї системи. Блок живлення GB1 перетворює 230В змінного струму на 24В постійного струму для живлення контролера та інших елементів. Для захисту електричних кіл

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлено автоматичні вимикачі QF1-QF7. Електромеханічні реле K1-K5 з двома контактами кожне (5А, 24В) керують різними елементами системи. Поворотні затвори з електричними приводами Y1-Y4 забезпечують керування потоками теплоносія. Термоперетворювачі T1-T7 вимірюють температуру в різних точках системи. Перетворювачі тиску PD1-PD3 та реле тиску PD4-PD6 контролюють тиск води у трубопроводах. Циркуляційні насоси Н1-Н5 забезпечують циркуляцію теплоносія. Світлодіодні індикатори HL1-HL3 використовуються для відображення стану системи.

3.4. Креслення загального виду щита

Креслення представляє собою загальний вид щита автоматизації типу ЩЩМ-II-700x500x250 УХЛЗ з рівнем захисту IP54, який є частиною автоматичної системи керування тепlopунктом багатоповерхового будинку. Щит має розміри 700x500x250 мм і виконаний в масштабі 1:4.

Структура щита: На фасаді щита розташовані світлосигнальні лампи HL1-HL3 червоного кольору з напругою живлення 24В, які використовуються для індикації різних станів системи. Лампи розміщені на верхній панелі щита з інтервалом 100 мм. Під лампами розташовані інформаційні написи, що вказують на параметри, які відображаються: "Тиск води в системі опалення", "Тиск води у зворотному трубопроводі після теплообмінника" та "Тиск води у системі ГВП".

Монтажний бік щита містить всі основні електроапарати, закріплені на DIN-рейках. Верхня частина щита вміщує програмований логічний контролер А1, який є центральним елементом системи керування. Поруч розташований блок живлення GB1, що перетворює змінну напругу в постійну 24В для живлення контролера та інших пристроїв. У центральній та нижній частинах щита встановлені автоматичні вимикачі: двополюсний QF1 на 63А та однополюсні QF2-

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

QF6 на 10А і QF7 на 6А. Також на DIN-рейках розміщено п'ять електромеханічних реле К1-К5 з двома контактами кожне (5А, 24В).

Всі компоненти щита з'єднані між собою за допомогою електропроводки, яка прокладена в пластикових перфорованих коробах розміром 25х40 мм. Для підключення зовнішніх ланцюгів використовуються клемні колодки ХТ2 для сигналів 24В та ХТ1 для інших сигналів, розташовані в нижній частині щита.

3.5. Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)

На схемі зображено підключення програмованого логічного контролера А1, який є центральним елементом системи. Контролер має численні входи та виходи, пронумеровані від 1 до 52, що забезпечують взаємодію з усіма компонентами системи. Живлення системи здійснюється через двополюсний автоматичний вимикач QF1 (позиція 06), який подає напругу на блок живлення GB1 (позиція 02). Блок живлення перетворює вхідну напругу мережі (L, N) на 24В постійного струму, що подається на контролер та інші компоненти системи.

В щиті встановлено ряд автоматичних вимикачів: QF2 (позиція 07), QF3 (позиція 08), QF4 (позиція 09), QF5 (позиція 10), QF6 (позиція 11) на 10А, та QF7 (позиція 12) на 6А, які захищають окремі ланцюги системи. Електромагнітні реле К1-К5 (позиції 13-17) використовуються для керування зовнішніми пристроями, такими як насоси та електроприводи. Реле підключені до відповідних виходів контролера та мають комутаційні контакти для керування виконавчими механізмами.

Індикація стану системи здійснюється за допомогою світлодіодних індикаторів HL1 (позиція 03), HL2 (позиція 04) та HL3 (позиція 05), які підключені через відповідні виходи контролера. Для з'єднання зовнішніх пристроїв використовуються клемні колодки ХТ1 та ХТ2 (позиції 18 та 19).

Монтажна схема чітко показує нумерацію всіх провідників, що з'єднують компоненти системи. Для силових ланцюгів використовується

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

провід ПВ1 перетином 1,5 мм², для ланцюгів живлення та сигналізації - провід ПВ3 перетином 0,75 мм². Всі кабелі та провідники мають відповідне маркування Cab-3, що спрощує монтаж та обслуговування системи.

Монтажна схема також показує з'єднання між контролером та зовнішніми пристроями, такими як датчики температури, тиску, поворотні затвори з електроприводами та циркуляційні насоси.

3.6. Схема зовнішніх з'єднань

Креслення представляє схему з'єднань та підключень зовнішніх проводок автоматичної системи керування тепlopунктом багатоповерхового будинку. Схема демонструє, як щит автоматизації з'єднується з різними компонентами системи, розташованими в тепlopункті та інших приміщеннях будинку.

Структура схеми з'єднань: Схема показує підключення датчиків температури Т1-Т7, встановлених у різних точках системи. Датчик Т1 вимірює температуру повітря в приміщенні, Т2 контролює температуру теплоносія на вході в ІТП, Т3 відстежує температуру на вході в систему опалення, Т4 вимірює температуру на виході з системи опалення, Т5 контролює температуру на вході в систему ГВП, Т6 вимірює температуру на виході з системи ГВП, а Т7 відстежує температуру зовнішнього повітря на зовнішній стіні приміщення.

Перетворювачі тиску PD1-PD6 встановлені на різних трубопроводах для контролю тиску води. Вони підключені до щита автоматизації за допомогою трипровідної схеми. Циркуляційні насоси Н1-Н5 забезпечують рух теплоносія в системі. Вони підключені до щита живлення трипровідним кабелем з лініями L, N та PE. Керування насосами здійснюється через відповідні виходи щита автоматизації.

Поворотні затвори з електричними приводами У1-У4 використовуються для керування потоками теплоносія в системі. Вони підключені до щита автоматизації трипровідним кабелем.

					ТА-11387.0012.001.АТХ.П	Лист
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для з'єднання компонентів системи використовуються різні типи кабелів: силовий кабель ВВГ 5х2.5 для живлення щита від мережі, силовий кабель ВВГ 4х1.5 для підключення насосів та інших силових компонентів, контрольний кабель КВВГ 3х1 та КВВГ 4х1 для підключення датчиків, перетворювачів тиску та поворотних затворів.

Схема також містить інформацію про розташування кожного компонента системи з точними позначеннями місць встановлення та параметрів, що контролюються. Всі з'єднання мають відповідну нумерацію контактів та клем, що забезпечує правильний монтаж та налагодження системи.

Система в цілому забезпечує автоматичне керування тепловим пунктом, контролюючи температуру та тиск у різних точках системи, керуючи роботою насосів та регулюючи потоки теплоносія за допомогою поворотних затворів, що дозволяє оптимізувати роботу теплового пункту та забезпечити ефективне теплопостачання багатоповерхового будинку.

3.7. Специфікація обладнання

Специфікація обладнання розділена на кілька секцій, кожна з яких містить свій набір обладнання, такі як:

Прилади: включають датчики температури повітря в приміщенні, датчики перепаду тиску, датчики температури води в трубопроводах, датчик температури повітря надворі, лампочки-індикатори.

Комплекс технічних засобів: включає ПЛК, блок живлення, автоматичні вимикачі, силовий автоматичний вимикач, проміжні електромеханічні реле.

Щит і пульти: містять силові та прохідні клема, DIN рейку, короб для проводів, щит.

Електроапарати : включають насоси.

Трубопровідна арматура: електроприводи.

Кабелі та дроти: включають проводи, кабелі, гофру та маркування.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

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

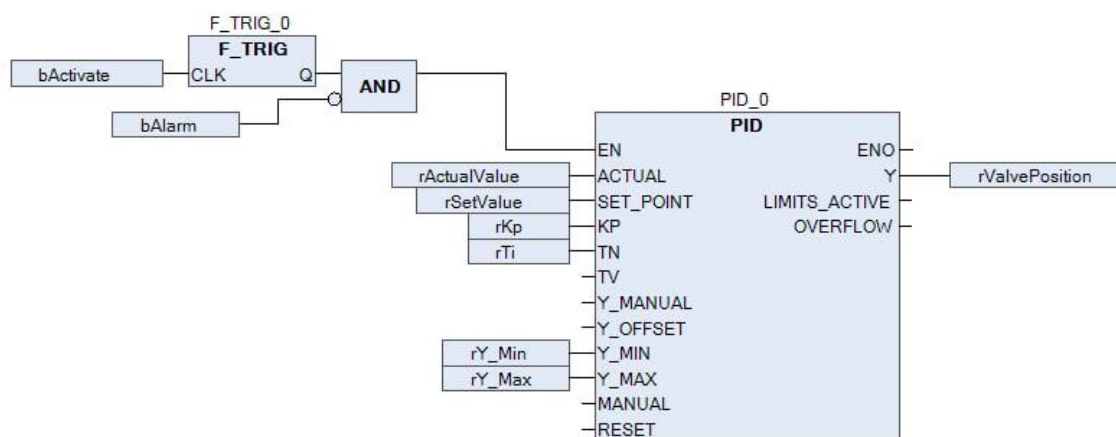


Рисунок 4.1 – Реалізація одноконтурної САР температури води

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.

- bActivate – сигнал дозволу на роботу ПЛК;
- bAlarm – сигнал, що вказує на наявність помилки;
- rActualValue – поточне значення температури води;
- rSetValue – задане значення температури (уставка);
- rKp та rTi – параметри налаштування ПІ-регулятора;
- rY_Min та rY_Max – межі діапазону регулювання;
- rValvePosition – керуючий сигнал з ПЛК до виконавчого механізму (ВМ);
- rManualPosition – сигнал для ручного режиму керування ВМ

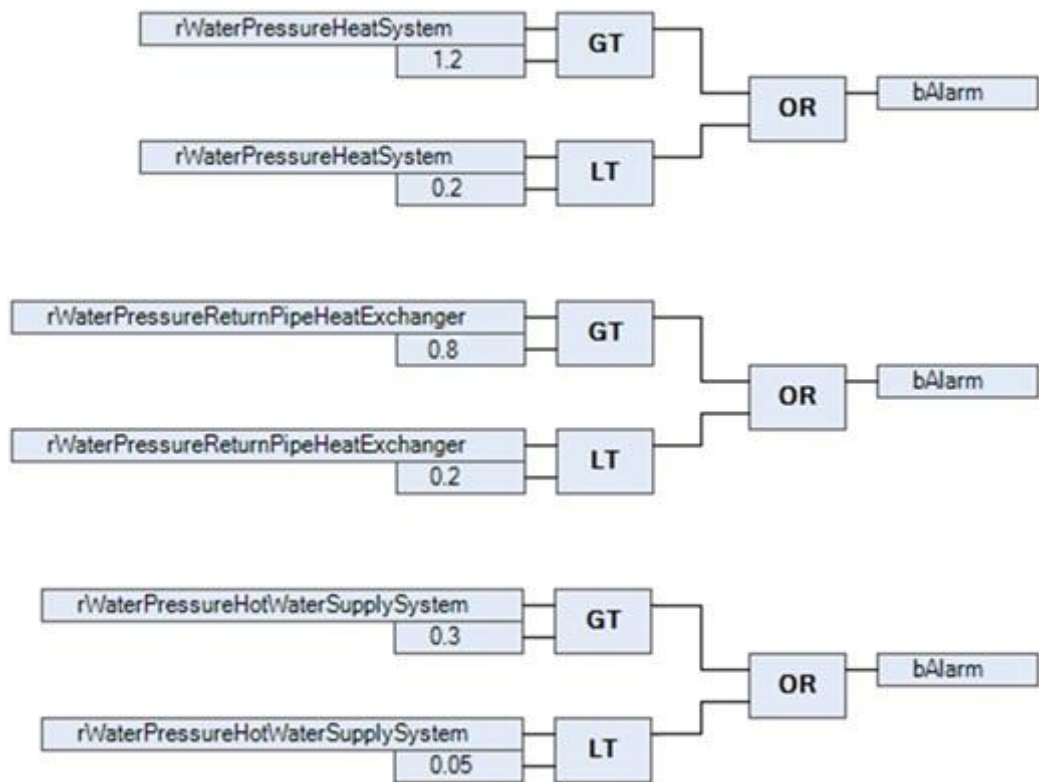


Рисунок 4.2 – Обробка даних з датчиків і перевірка помилок

На рис. 4.2 наведено процес порівняння фактичних показників із датчиків з допустимими межами. У разі виходу значення за встановлені межі активується аварійний режим, і регулювання зупиняється.

4.2 Програмування функціональності SCADA



Рисунок 4.3 — Вікно “Menus”

Вікно “Menus” з рис. 4.3, дає змогу переміщуватись між вікнами “Mimics”, “Alarms”, “Models” і “Trends”. За кнопкою “Accounts”, яка на рис. 4.3 активна, можна увійти в акаунт адміністратора, якому вже і будуть доступні ці всі вікна.

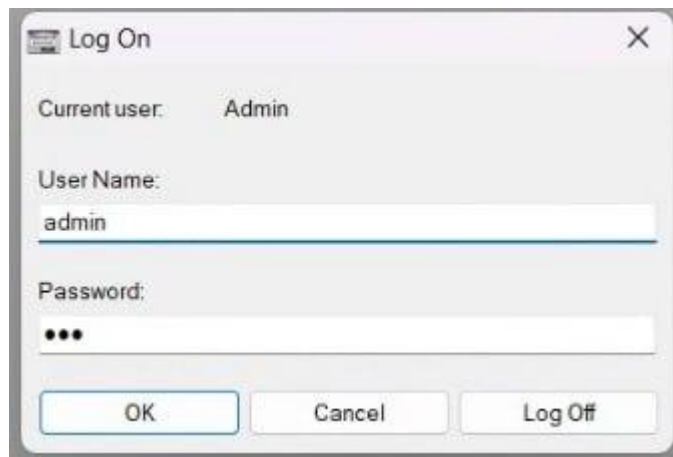


Рисунок 4.4 — Вікно кнопки “Accounts”

На рис. 4.4 зображено поточного користувача, і можливість вводу даних для входу в акаунт адміністратора. Тобто лише після авторизації в акаунт, можна розпочинати роботу.

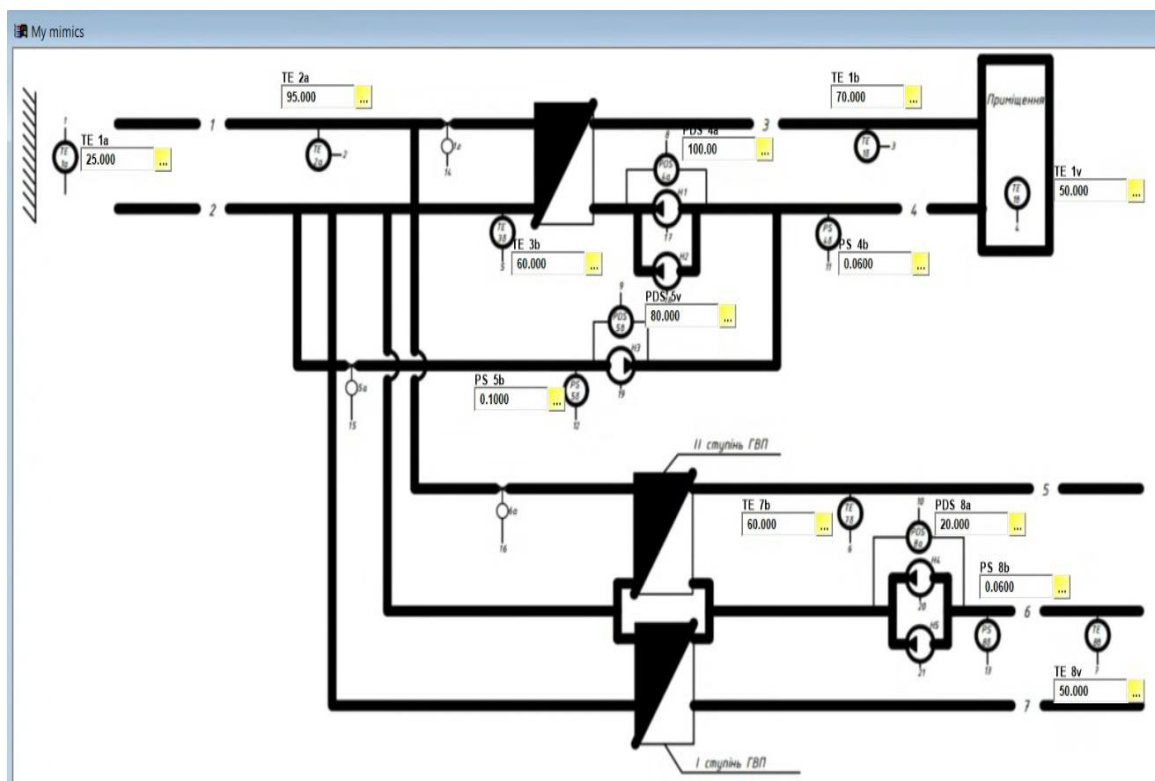


Рисунок 4.5 — Вікно кнопки “MyMimics”

На рис. 4.5 використана мнемосхема технологічного об’єкту і параметри температури і тиску води. Тобто на даний момент видно які дані зараз в системі, а також ці дані можна змінювати безпосередньо на цьому вікні.

РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

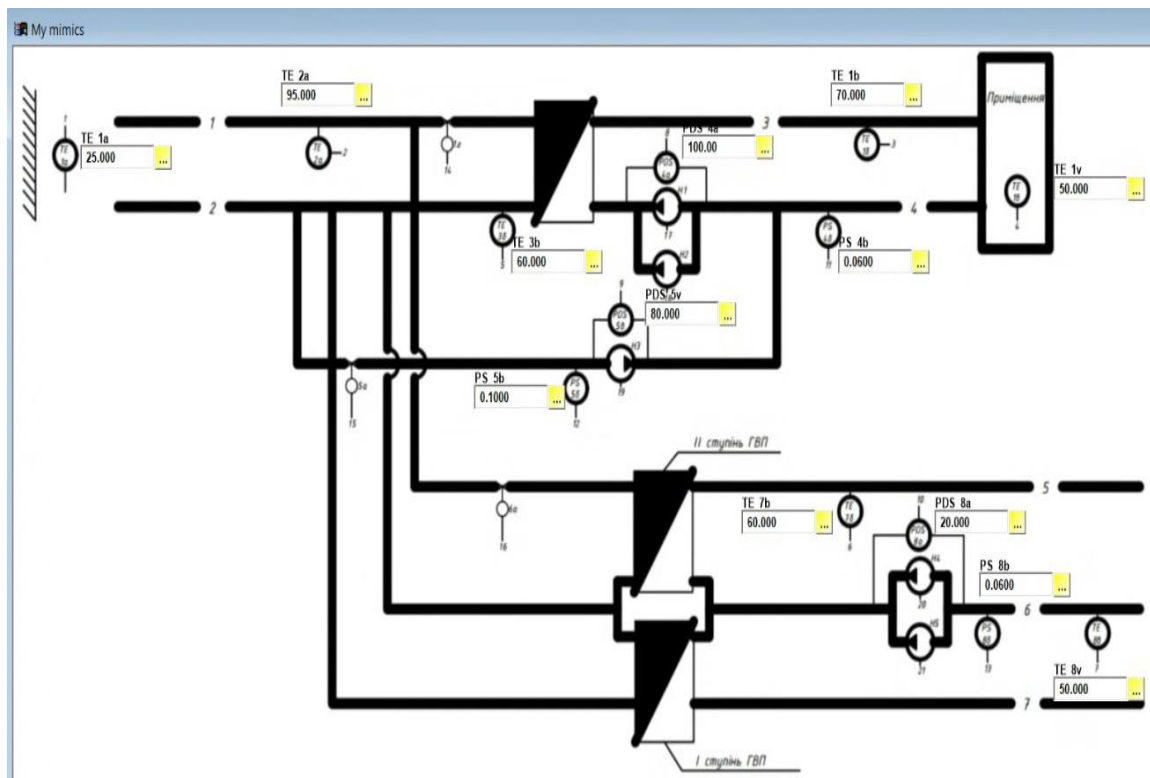


Рисунок 5.1 — Вікно «MyMimics» під час роботи

У цьому вікні знаходяться мнемосхема ТОУ на якій відображаються вимірювальні параметри всієї системи.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-11387.0012.001.А ТХ.П

Лист

65

5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ MATLAB Simulink

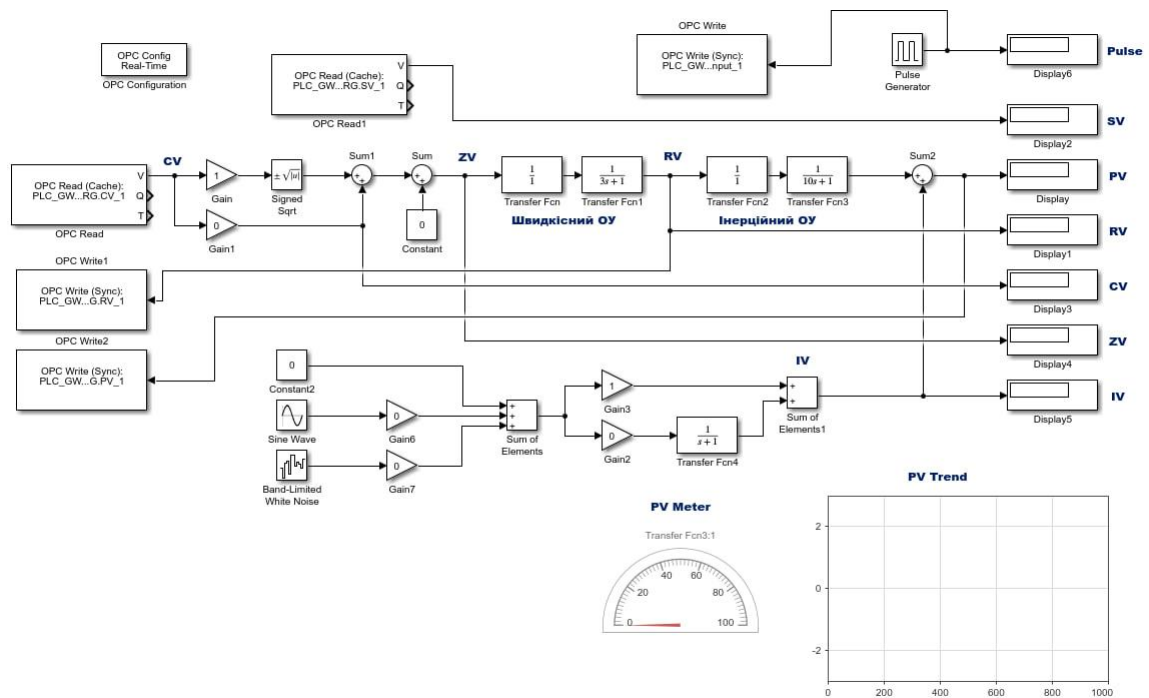


Рисунок 5.2 — Модель ТОУ в СКМ MATLAB Simulink

На рис. 5.2 показана модель ТОУ з використанням протоколу обміну даними OPC.

5.3 Реалізація контролерної функціональності CAP в софтвері CoDeSys

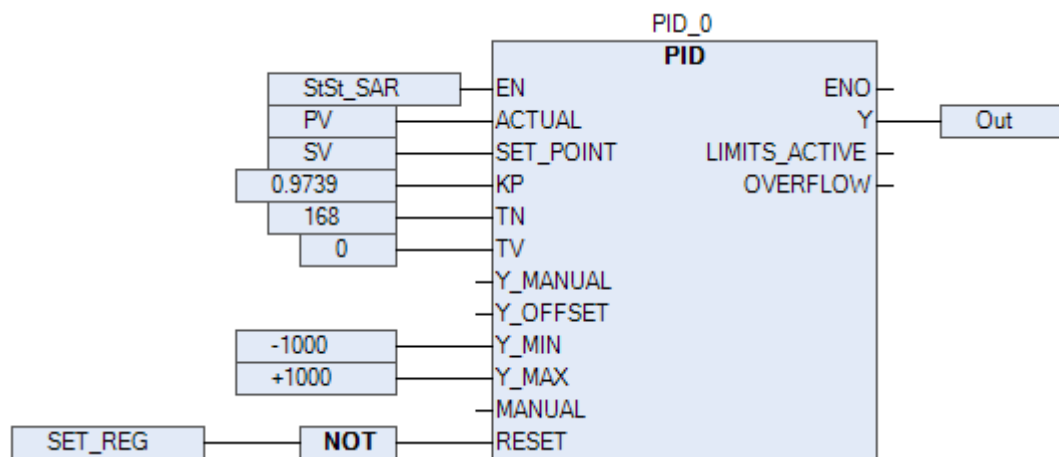


Рисунок 5.3— Код універсальної CAP в MLS_PRG

На рис. 5.3 представлено фрагмент програми для реалізації одноконтурної системи автоматичного регулювання (CAP) у середовищі CoDeSys. У даній реалізації здійснюється передача вимірюваного сигналу до ПЛК, де у змінній PV передаються поточні значення

параметра процесу. Ці значення надходять на вхід ПІД-регулятора PID_0, який стабілізує систему. В ПІД-регуляторі реалізовано лише пропорційну (KP) та інтегральну (TN) складові, а диференціальна (TV) відсутня. Робота в автоматичному або ручному режимі керується сигналом SET_REG. Передбачені обмеження виходу регулятора (Y_MIN, Y_MAX), що дозволяє уникнути перенасичення.



Рисунок 5.4 — Візуалізація роботи САР

На рис. 5.4 представлена візуалізація роботи САР. Вона включає графік, що відображає поточний процес. Існує можливість змінювати параметри, запускати/зупиняти/перезапускати систему. Перемикайтесь між візуалізаціями інших вікон.

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

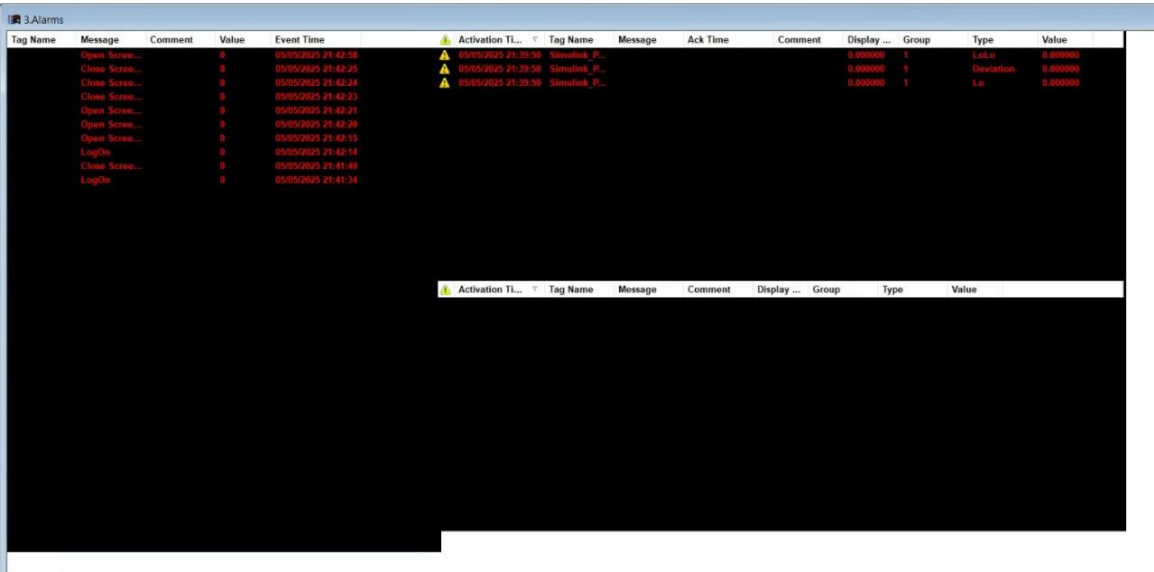


Рисунок 5.5 — Вікно “Alarms”

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

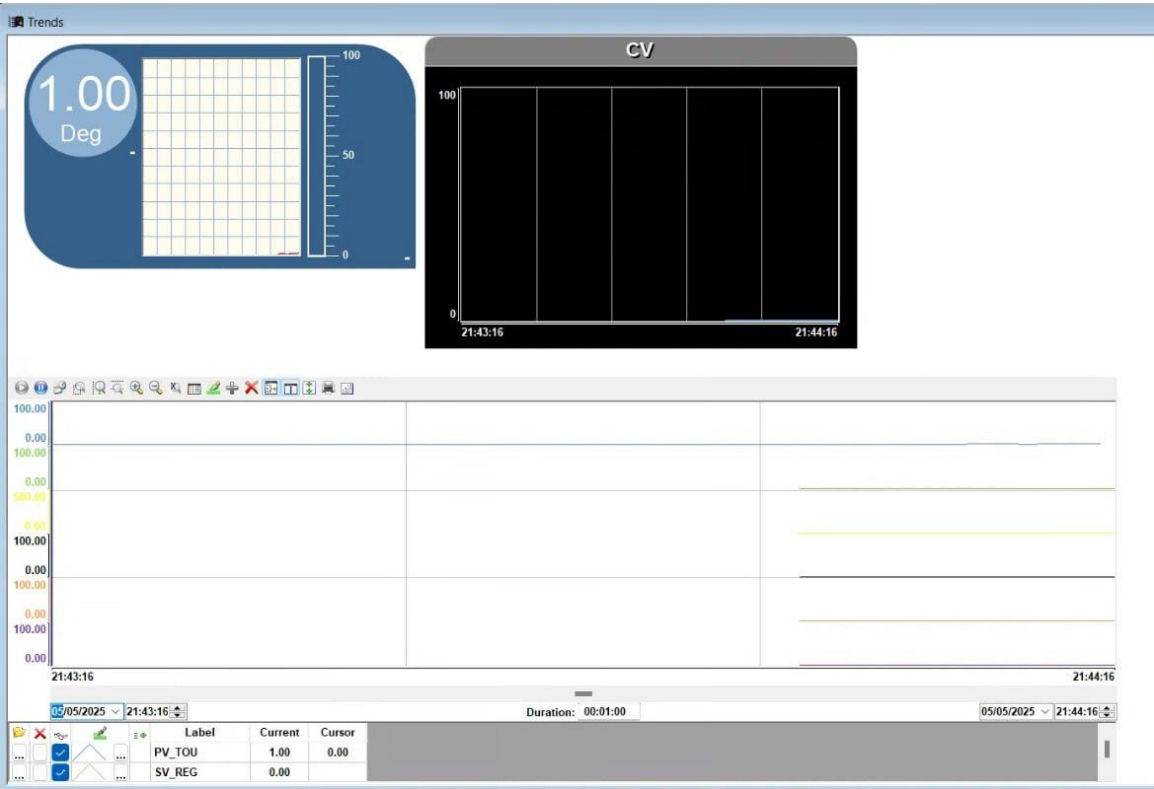


Рисунок 5.6 — Вікно “Trends”

На рис. 5.6 зображені графіки параметрів.

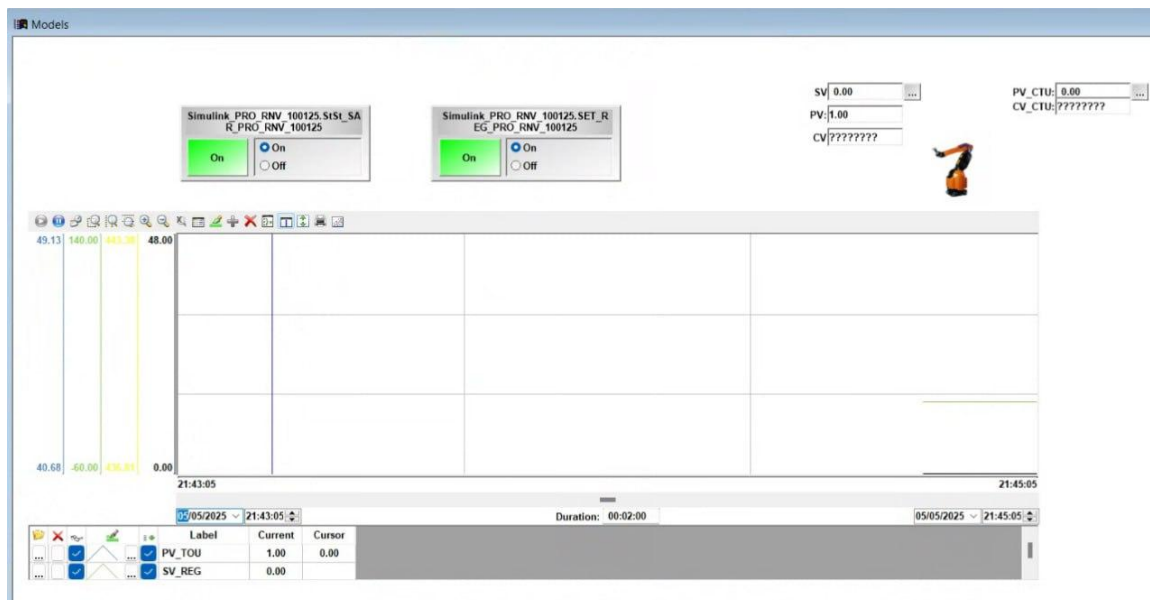


Рисунок 5.7 — Вікно “Models”

На рис. 5.7 є графік параметрів PV та SC. Також, як і на попередньому рисунку є можливість регулювання параметрами безпосередньо з цього вікна.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є невід'ємною частиною розробки будь-якого технологічного проєкту. Ігнорування вимог і рекомендацій, встановлених спеціалістами з охорони праці, може призвести до серйозних наслідків — від травм до загибелі працівників.

Головна мета охорони праці полягає у забезпеченні безпечних та комфортних умов праці для персоналу, який обслуговує технологічний об'єкт.

Дипломний проєкт присвячено темі «Автоматична система керування тепловим багатоповерховим будинком». Така система забезпечує стабільну та безперебійну подачу тепла до системи опалення всіх мешканців будинку. Тепловий пункт розміщується у підвальному приміщенні, де він підключається до теплової мережі. Там також знаходяться циркуляційні насоси, виконавчі механізми, датчики тиску і температури. Керування системою здійснюється зі щита управління, в якому встановлено програмований логічний контролер (ПЛК).

З метою забезпечення виконання діючих вимог з охорони здоров'я та безпеки праці, у даному розділі представлені пропозиції щодо технічних рішень та організаційних заходів з безпеки експлуатації засобів автоматизації та визначені основні заходи з електробезпеки, гігієни праці і виробничої санітарії, а також пожежної безпеки та профілактики.

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та технологічного обладнання теплового пункту

Монтажні та ремонтні операції з технологічним устаткуванням доцільно здійснювати за температурних умов понад 0°C. Трубопроводи мають встановлюватися з урахуванням можливості запобігання їх механічним та термічним деформаціям. При зовнішньому розташуванні

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трубопроводів необхідно забезпечити їх захист від механічних пошкоджень, дії високотемпературного теплового випромінювання, ультрафіолетового опромінення та відкритого полум'я. Слід виключити можливість замерзання робочої рідини в трубопроводах.

Доступ до теплового пункту повинен бути обмежений виключно для обслуговуючого персоналу, тому входні двері мають забезпечуватися замковим пристроєм, а ключ зберігатися у спеціально визначеному місці.

Робоче місце оператора АСК індивідуального теплового пункту розміщене у приміщенні площею 28 м². Воно облаштоване відповідно до вимог ДСТУ ISO 11064-6:2013 із дотриманням принципів технічної естетики, ергономіки та врахуванням антропометричних характеристик людини. Обладнання системи автоматизації змонтовано в розподільчому щиті зі ступенем захисту IP65. Для обмеження доступу сторонніх осіб щит обладнано замком, що забезпечує доступ лише уповноваженому персоналу. Уздовж країв щита встановлені кабельні короби, в яких передбачено укладання усіх дротів і кабелів.

6.1.1 Електробезпека

Вимоги до забезпечення електробезпеки під час експлуатації електроустановок регламентуються низкою нормативних документів, зокрема: ПУЕ-2017, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП 40.1-1.32-01, ДСТУ 7237:2011, ДСТУ В В.2.5-82:2016 «Житлове та будівельне інженерне обладнання. Заходи щодо забезпечення електробезпеки в електроустановках будинків і споруд», а також Технічним регламентом про безпеку низьковольтного електрообладнання (Постанова Кабінету Міністрів України № 1149 від 23.10.2009).

Електроживлення технічного обладнання та системи автоматизованого управління здійснюється від трифазної електромережі змінного струму з заземленою нейтраллю. Робоча

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруга складає 220/380 В. Система захисного заземлення реалізована за схемою TN-C-S.

У блоці щита керування (БЩУ) передбачено автономне джерело живлення на 24 В для забезпечення стабільної роботи засобів автоматизації. До розподільчих клем, через які здійснюється подача напруги на пристрої, підведені лінії 24 В і 220 В.

Згідно з вимогами ДСТУ ІЕС 61140:2015, електроустановки та системи автоматизації класифікуються за класами електрозахисту: І, ІІ та ІІІ.

Для забезпечення захисту від випадкового дотику людини до струмовідних частин ЕУ застосовують 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, застосовують окремо або в поєднанні такі види захисту:

- захисне заземлення;
- автоматичне вимкнення живлення;
- зрівнювання потенціалів;

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- застосування обладнання відповідного класу за електрозахистом;
- захисний електричний поділ кіл;
- ізолювальні (непровідні) приміщення, зони, майданчики;
- системи наднизької напруги (безпечної, захисної).

Під час монтажу, обслуговування та ремонту електрообладнання персонал повинен суворо дотримуватися правил електробезпеки та використовувати індивідуальні засоби захисту, зокрема:

- діелектричні рукавички та килимки;
- захисні окуляри;
- покажчики напруги та інші відповідні засоби.

Силове електрообладнання індивідуального теплового пункту повинно експлуатуватися відповідно до технічної документації, з дотриманням номінальних значень струмів і напруг, зазначених у паспортах пристроїв.

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

Індивідуальний тепловий пункт (ІТП) розташований у підвальному приміщенні, яке обладнане системою вентиляції для забезпечення належного повітрообміну та підтримання сприятливого мікроклімату. З метою зниження запиленості трубопроводу регулярно очищуються із застосуванням спеціалізованих засобів для обробки технічного обладнання.

У приміщенні оператора систематично проводиться вологе прибирання для підтримання чистоти та зниження рівня пилу, що сприяє поліпшенню санітарно-гігієнічних умов праці.

Для забезпечення особистої безпеки обслуговуючий персонал використовує спеціальний робочий одяг, який відповідає встановленим вимогам до захисту у виробничих умовах.

6.2.1 Мікроклімат робочої зони

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до вимог санітарного законодавства, допустимі параметри мікроклімату регламентуються ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Оптимальні значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря для приміщення індивідуального теплового пункту (ІТП) та диспетчерської наведені у таблицях 6.1 та 6.2 відповідно.

Таблиця 6.1 – 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

Таблиця 6.2 – Параметри мікроклімату в підвалі 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

Для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні індивідуального теплового пункту (ІТП) передбачено наявність систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Їх проектування та експлуатація здійснюються відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція і кондиціонування».

Нагрівання повітря в ІТП здебільшого забезпечується за рахунок тепловиділення від технологічного обладнання, розміщеного в приміщенні. Для підтримання належного рівня вологості рекомендується використовувати зволожувачі повітря.

Якість повітря у робочій зоні контролюється згідно з нормативами гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у повітрі, які встановлені стандартом ДСТУ EN 482:2022. Значення ГДК

виражаються у мг/м³ та є обов'язковими до дотримання з метою забезпечення безпечних умов праці для обслуговуючого персоналу.

6.2.2 Виробниче освітлення

Освітлення в приміщенні, де розміщено індивідуальний тепловий пункт (ІТП), забезпечується за допомогою світлодіодних світильників. Для підтримання належного рівня освітленості проводиться планове технічне обслуговування та своєчасна заміна освітлювальних приладів. Рівень освітленості робочих місць відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

6.2.3. Виробничий шум

Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99, допустимий рівень звуку в робочих приміщеннях становить 65 дБА. Основним джерелом шуму в індивідуальному тепловому пункті (ІТП) є теплоносій (вода), шум від якого є незначним. Також джерелом звукового впливу виступають циркуляційні насоси, шумові характеристики яких не перевищують 60 дБА, що повністю відповідає встановленим нормативам.

6.3 Пожежна безпека та профілактика

Відповідно до положень ДСТУ Б В.1.1-36:2016, підвальне приміщення, в якому розташовано індивідуальний тепловий пункт (ІТП), належить до категорії Д за показниками пожежної небезпеки.

6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі та протипожежного захисту

Усі заходи організації пожежної безпеки також виконані згідно з НАПБ А.01.001-2004.

У приміщенні індивідуального теплового пункту (ІТП) встановлена система автоматичної пожежної сигналізації, яка відповідає вимогам ДБН В.2.5-56:2014. Приміщення теплового пункту оснащено первинними засобами пожежогасіння: вогнегасниками типу ВХП-10 (вуглекислотний) та ВВ-7 (порошковий), які можуть бути застосовані для гасіння пожеж класу «Е» (ЕУ під напругою). Кількість, розміщення та

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умови експлуатації вогнегасників відповідають нормативам НАПБ Б.01.008-2018 та ISO 3941:2007. До всіх засобів пожежогасіння забезпечено вільний і безперешкодний доступ.

Згідно з вимогами ДБН В.2.5-56-2014 «Системи протипожежного захисту» у приміщенні встановлена система автоматичної пожежної сигналізації для своєчасного виявлення та оповіщення про пожежу. Ця система активується при спрацюванні димових та теплових сповіщувачів і оповіщує персонал про необхідність термінової евакуації за допомогою світло-звукової сигналізації.

У разі виникнення пожежонебезпечної ситуації на об'єкті передбачено наявність планів евакуації, розроблених відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016.

З усіма працівниками, які мають доступ до ІТП, проводиться обов'язковий первинний та періодичний протипожежний інструктаж. У робочих приміщеннях забезпечено дотримання всіх норм пожежної безпеки відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Визначимо загальну вартість складових АСК Воб, тис. грн, як суму вартості всіх комплектуючих системи автоматизації, яка розрахована у табл. 7.1. Враховуючи особливості об'єкта автоматизації припустимо, що термін окупності $T_{ок} = 2$ роки.

Таблиця 7.1 — Таблиця вартості обладнання на створення АСК станом на 01.06.2025

Товар	Кількість	Ціна, грн
Belimo VFY-WA 24V DN25	4	142896
JXB 4/35	33	421.74
JXB 2.5/35	60	707.4
DKC OMEGA 3F	3	373.47
RL6	2.1	577.08
ЩМ-II-700x500x250	1	3172.74
ВВГ 5x10	100	22900
ВВГ 4x1.5	300	14589
КВВГ 4x1	200	3924
КВВГ 3x1	500	8525
STw-04	5	4860
91920 ДКС	200	2374
CAB3	52	2272.4
Freemax Middle	1	13275
MDR-20	1	591.46
UTrust 2p 63A B 6kA	1	262.41
UTrust 1p 10A B 6kA	5	576.4
UTrust 1p 6A B 6kA	2	260.16
MY2	5	450
PYF08A-E	5	288.65
MAGNA1 100-100 F	5	682355
MBS 3000	3	22492.8
KP36	3	10908
ST-01	2	1818
AD22-22DS 24V	3	137.61

Таблиця 7.2 — Таблиця сумарної вартості системи

Сумарна вартість обладнання:	941008.32
Вартість монтажних робіт:	30000
Сумарна вартість системи:	971008.32

Таблиця 7.3 — Таблиця для розрахунків вартості монтажних робіт

Ставка в день	Орієнтовна тривалість монтажних робіт	Кількість робітників
700	5	3

Розрахуємо економічну ефективність АСР

1. Дані:

- $V_{\text{water}} = 500 \text{ м}^3/\text{добу}$ - Об'єм води, який нагрівається тепловим пунктом за добу.

- $\Delta T_{\text{water}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ - Різниця температур, на яку треба нагріти воду.

- $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ - Густина води.

- $c = 4.18 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$ – Питома теплоємність води.

- $\eta = 0.05$ (5%) - Орієнтовна річна економія теплової енергії завдяки АСР.

- $H = 24 \times 280 = 6\,720 \text{ год}$ - Кількість годин у році, протягом яких працює система.

- Ціна за 1 Гкал = 1500 грн

2. Розрахунок:

- Q – Річна теплова енергія.

$$Q = V_{\text{water}} \times \rho \times c \times \Delta T_{\text{water}} \times H =$$

$$= 500 \times 1000 \times 4.18 \times 50 \times 280 = 2.931 \times 10^{10} \text{ кДж}$$

- Q_{saved} - Кількість збереженої теплової енергії.

$$Q_{\text{saved}} = 0.05 \times Q = 1.4655 \times 10^9 \text{ кДж}$$

Таблиця 7.4 — Таблиця окупності системи

Ціна за 1 Гкал тепла в 2025:	1654.41	грн
Ціна заощадженого тепла згідно розрахунків:	579043.5	грн
Окупність системи:	1.67	рік

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломного проекту була розроблена автоматична система керування тепlopунктом багатоповерхового будинку.

Робота розпочалася з вивчення об'єкта автоматизації, включаючи принцип роботи та конструкцію системи ІТП, а також характеристики всієї системи. На основі цієї інформації були розглянуті різні варіанти існуючих систем контролю ІТП з урахуванням їх переваг і недоліків, і визначені вимоги до нової системи. Після затвердження вимог розпочато проектування системи, вибір обладнання та контролера. Була розроблена структурна схема ПТК з детальним описом всіх компонентів та їх взаємодією.

Далі були проведені розрахунки вимірювальних та регулювально-виконавчих каналів, включаючи вибір одноконтурної САР та розрахунки методами Chien et al (1952) та РАФХ. Результати показали перевагу методу Chien et al (1952). Також були розроблені креслення системи ІТП, включаючи функціональну та електричну схеми, а також схему щита. Робота також включала програмування ПЛК та розробку SCADA-системи, для чого були наведені ілюстрації з програмування ПЛК та розробки вікон для SCADA.

Завершальним етапом був розрахунок техніко-економічних показників та рішення щодо охорони праці. Встановлено, що система окупиться протягом 20 місяців, що свідчить про її доцільність та відповідність стандартам охорони праці.

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проектування систем автоматизації Укладач: Т.Г. Баган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 21 с. URL:
<https://drive.google.com/file/d/1qhGiCXkKh0vnj5q3tDWpfPQIqamgPA3/view?hl=ru> (дата звернення 01.04.2025)
2. Проектування систем автоматизації. Кафедра автоматизації енергетичних процесів КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 8 с. URL:
<https://drive.google.com/file/d/1VWX9q7KC02ODq4t6R0KUL2Sso5X6rYS/view?hl=ru> (дата звернення 01.04.2025)
3. Технологічні об'єкти керування Укладач: І.А. Поліщук, Т.Г. Баган, В.С. Темчур – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 126 с. URL:
<https://drive.google.com/file/d/1RilW7WylpM9EMF2TbONkZyhlXgnhWP/view?hl=ru> (дата звернення 01.04.2025)
4. Закон України «Про охорону праці»
5. ДСТУ ISO 11064-6:2013 «Ергономічне проектування центрів керування»
6. ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок»
7. НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»
8. НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»
9. НПАОП-40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».
10. ДСТУ 7237: 2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту»
11. Технічний регламент про безпеку низьковольтного електрообладнання (Постанова канцелярії міністра України № 1149 від 23.10.2009)

					ТА-11387.0012.001.А ТХ.П	Лист
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 12.ДСТУ В В. 2. 5-82: 2016. «Житлове та будівельне інженерне обладнання»
- 13.ДСТУ ІЕС61140: 2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання»
- 14.ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
- 15.ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляції та кондиціонування.
- 16.ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
- 17.ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
- 18.ДБН В.1.1.7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
- 19.НАПБ В.01.34-2005 «Правила ПБ в компаніях та в організаціях енергетичної галузі України»
- 20.ДБН В.2.5-56-2014 «Системи протипожежного захисту».
- 21.ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань».
- 22.ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки».
- 23.НАПБА.01.001 – 2004 “Правила пожежної безпеки в Україні”.
- 24.Контролер Raut-Automatic Freemax Middle. URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/kontroll-ua/multipurpose-ua/easily-programming-ua/freemax-series-ua/freemax-middle-ua.html> (дата звернення 18.02.2025)
- 25.Термометр опору повітряний Raut-Automatic ST-01. URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ua/temperature-ua/air-ua/st-01-ua.html> (дата звернення 18.02.2025)
- 26.Термометр опору рідинний STw-01. URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ua/temperature-ua/water-ua/stw-01-ua.html> (дата звернення 18.02.2025)

- 27.Реле тиску Danfoss KP36. URL:
<https://assets.danfoss.com/documents/259428/AI000086439001uk-UA1001.pdf> (дата звернення 18.02.2025)
- 28.Перетворювачі тиску Danfoss MBS 3000. URL:
<https://assets.danfoss.com/documents/246349/AI244586497020en-001201.pdf> (дата звернення 18.02.2025)
- 29.Насоси Grundfos MAGNA1 100-100 F. URL: <https://product-selection.grundfos.com/ua/products/magna/magna1/magna1-100-100-f-99221441?pumpsystemid=2634163178&tab=variant-specifications>
(дата звернення 18.02.2025)
- 30.Поворотний затвор з електричним приводом Danfoss VFY-WA 24V DN25. URL:
<https://assets.danfoss.com/documents/358150/AQ07888647707801-010602.pdf> (дата звернення 18.02.2025)
- 31.Світлосигнальна арматура червоного кольору. URL:
<https://001.com.ua/uk/svitlosygnalna-armatura-ad22-22ds-chervona-24v-ac-dc-asko-ukrem> (дата звернення 18.02.2025)