

Міністерство освіти і науки України Харківський національний
університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Удосконалення модуля системи автоматизації для управління режимами роботи
теплообмінника на центральному тепловому пункті

(тема)

Виконав:

студент IV курсу, групи АКТАКІТ-20- 2

Редькін К. С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Іванов Л.С.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри КІТАР

Невлюдов І. Ш.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

2024 рік

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Редькіну Кирилу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення модуля системи автоматизації для управління режимами роботи теплообмінника на ЦТП
затверджена наказом університету від 03.06 2024 р. № 544 Ст _____
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 21 червня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Вхідна температура теплоносія = 105 °С, вихідна температура теплоносія = 70 °С, Тиск = 1,7 мПа
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 Вступ; 4.2 аналіз предметної області; 4.3 Розробка сучасної концепції автоматизації управління режимами ЦТП; 4.4 Удосконалення модуля автоматизації управління режима роботи теплообмінника на ЦТП; 4.5. Експериментальна частина; 4.6. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

Графічний демонстраційний матеріал у форматі Power Point (*.ppt) ф. А4 – 11 сторінок.

1. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача технічного завдання	01.04.2024 р	Виконано
2	Аналіз сучасних теплових пунктів	24.04.2024 р	Виконано
3	Аналіз існуючих апаратних рішень	08.05.2024 р	Виконано
4	Аналіз існуючих програмних рішень	18.05.2024 р	Виконано
5	Створення програмного забезпечення	27.05.2024 р	Виконано
6	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichек		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8	Подання роботи на рецензію		
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри		
10	Подання атестаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання 01.04.2024 р.

Студент _____ Редькін К,С

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

доц. Іванов Л,С

(посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

“16” червня 2024 р.



Редькін К.С

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 88 с., 9 табл., 31 рис., 2 дод., 18 джерел.

ЦЕНТРАЛЬНИЙ ТЕПЛОВИЙ ПУНКТ, МОДУЛЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ, ТЕПЛОНОСІЙ, ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ, ДАТЧИК ТИСКУ, ДАТЧИК ВИТРАТ, УДОСКОНАЛЕННЯ, ТЕПЛООБМІННИК.

Мета роботи – підвищення ефективності автоматичного управління режимами роботи ЦТП на основі сучасних технічних засобів.

Об'єкт роботи – процеси автоматизації управління режимами роботи центрального тепlopостачального пункту.

Предмет роботи – автоматизована система управління центральним тепlopостачальним пунктом.

В даній кваліфікаційній роботі проведено аналіз сучасних теплових та систем автоматизації. Проведено аналіз апаратних та програмних модулів. На базі проведеного аналізу – обрано відповідні технічні засоби модулі. Розроблено функціональна схема автоматизації процесу подачі теплоносія споживачу та схему установки електронного адаптивного клапану на ЦТП.

Наступним етапом буде створення центрального диспетчерського пункту у вигляді АРМа, який дозволить автоматизовано і своєчасно отримувати і контролювати показники температури та дуже швидко при необхідності реагувати на їх зміни, а також своєчасно відслідковувати і реагувати на несподівані ситуації.

ABSTRACT

Explanatory note: 88 p., 9 tables, 31 figures, 2 appendix, 14 sources.

CENTRAL HEATING STATION, AUTOMATION MODULE, HEAT CARRIER, TEMPERATURE SENSOR, PRESSURE SENSOR, FLOW SENSOR, IMPROVEMENT, HEAT EXCHANGER.

The aim of the work is to increase the efficiency of automatic control of the district heating plant operation modes on the basis of modern technical means.

Object of work – processes of automation of control of operating modes of the central heating station.

Subject of work – automated control system of the central heating supply point.

This qualification work analyzes modern thermal and automation systems. The analysis of hardware and software modules was carried out. Based on the analysis, the appropriate technical means of the modules were selected. A functional diagram of the automation of the process of heat supply to the consumer and a scheme for installing an electronic adaptive valve at the district heating plant were developed.

The next stage will be the creation of a central control room in the form of a workstation, which will allow automated and timely receipt and monitoring of temperature indicators and very quickly respond to their changes, as well as timely monitoring and response to unexpected situations.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз предметної області дослідження.....	12
1.1 Дослідження ступеню автоматизації сучасних центральних теплових пунктів в Україні.....	12
1.2 Дослідження технічного обладнання та програмного забезпечення на сучасних центральних теплових пунктах в Україні.....	15
1.3 Напрями вирішення основних проблем існуючої автоматизації управління режимами роботи центральних теплових пунктів.....	22
1.4 Представлення нових підходів у застосуванні автоматизації управління технологічними операціями на центральних теплових пунктах.....	26
1.5 Обґрунтування необхідності використання нових підходів автоматизації управління та модернізації технологічного обладнання.....	28
2 Розробка сучасної концепції автоматизації управління режимами роботи ЦТП.....	31
2.1 Визначення основних напрямів модернізації та автоматизації технологічних процесів.....	31
2.2 Дослідження залежності кількісних параметрів теплоносія від факторів їх формування.....	35
2.3 Режими формування необхідних кількісних параметрів теплоносія у теплообмінному пристрою.....	38
2.4 Принципи удосконалення модуля автоматизованого управління режимами роботи теплообмінника.....	43
3 Удосконалення модуля автоматизації управління режимами роботи теплообмінника на ЦТП.....	46

3.1 Визначення та опис обраного принципу удосконалення модулів автоматизації управління технологічними операціями.....	46
3.3 Обґрунтування підбора типу програмного забезпечення автоматизації.....	63
3.4 Розробка програмного забезпечення роботи модуля.....	64
4 Експериментальні випробування удосконаленого модуля автоматизації.....	67
4.1 Перевірка працездатності вдосконаленого модуля автоматизації.....	67
4.2 Охорона праці оператора автоматизованого центрального теплового пункту	69
Висновки.....	74
Перелік джерел посилань.....	76
Додаток А Лістинг програми програмного модулю автоматизації.....	79
Додаток В Лістинг програми експериментальної частини.....	84
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічного процесу

АРМ – автоматизоване робоче місце

БД – база даних

ГВП – гаряче водопостачання

ІТП – індивідуальний тепловий пункт

ПЛК – програмований логічний контролер

ЦТП – центральний тепловий пункт

ТЕЦ – теплоенергоцентраль

ЦТ– центральне теплопостачання

ШІМ – широтна імпульсна модуляція

BMD – building management system

HMI – human machine interface

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition

ВСТУП

У сучасних умовах енергетичної кризи та зростання вартості енергоносіїв питання ефективного теплопостачання стає дуже важливим. Центральні теплові пункти (ЦТП) є ключовими складовими систем централізованого теплопостачання, які відповідають за розподіл і регулювання тепла. Однак застаріле обладнання та лише часткова автоматизація багатьох ЦТП в Україні призводять до значних енергетичних втрат, неефективного використання ресурсів та незадоволення споживачами щодо якості послуг. Тому на сьогоднішньому етапі дуже актуальною стала потреба у модернізації і повноцінній автоматизації ЦТП з метою забезпечення ефективності, надійності та комфорту для споживачів.

Проблеми неефективного функціонування централізованих систем теплопостачання в Україні стали критичними протягом останніх 30 років. Ми спостерігаємо масовий перехід промислових і побутових споживачів на індивідуальне опалення через високі ціни і низьку якість послуг центральних теплоелектростанцій. Цей тренд призводить до зменшення ефективності ТЕС. Такий розвиток подій загрожує не лише енергетичній безпеці країни, але й екологічній ситуації у містах. Тому необхідна модернізація ЦТП з імплементацією сучасних автоматизованих систем управління – актуальне завдання для полегшення ефективного використання енергоресурсів, мінімізації втрат тепла, оптимізації витрат на обслуговування і повернення довіри споживачів до централізованого теплопостачання.

Мета цієї роботи полягає в підвищенні ефективності автоматичного управління режимами роботи ЦТП на основі сучасних технічних засобів.

Предмет дослідження: автоматизована система управління центральним теплопостачальним пунктом.

Об'єкт дослідження: процеси автоматизації управління режимами роботи центрального теплопостачального пункту.

Задачі дослідження:

– дослідження ступеня автоматизації сучасних центральних теплопостачальних пунктів в Україні;

- аналіз технічного обладнання та програмного забезпечення;
- визначення напрямів вирішення основних проблем існуючої автоматизації управління режимами роботи центральних тепlopостачальних пунктів;
- дослідження залежність кількісних параметрів теплоносія від факторів їх формування.
- визначення основні принципи вдосконалення модуля автоматизації;
- визначення основних технічні засоби модулю автоматизації;
- визначення концептуальних напрямів подальшого розвитку ЦТП.

У процесі дослідження будуть використовуватися відповідні державні стандарти України (ДСТУ) та міжнародні стандарти, що стосуються проектування, монтажу та експлуатації систем централізованого тепlopостачання, автоматизованих систем управління технологічними процесами, а також стандарти з енергозбереження та енергоефективності [1],[2].

Тема опробіровалась, за рахунок написання тез, наукових статей, виступів на наукових конференціях: Управлінські дії оператора автоматизованого теплового пункту при зміні кліматичної температури для підтримки температури теплоносія, вдосконалення модуля автоматизованого управління режимами роботи теплообмінника на ЦТП, Дослідження температурної залежності теплоносія від температури житлових приміщень з урахуванням кліматичної температури повітря[3],[4],[5],[6].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Дослідження ступеню автоматизації сучасних центральних теплових пунктів в Україні

Основна причина зменшення ефективності автоматизації ЦТП, є застаріле обладнання та методики. На даний момент ступінь автоматизації більш характерним буде до часткового, тобто, завдання керування на цьому ступені автоматизації зводиться до стабілізації заданих параметрів в окремих апаратах. Вона вирішується з допомогою локальних систем автоматичного регулювання різноманітних технологічних параметрів: температури, тиску, рівня, витрати середовища, складу.

Після практики в «Харківських теплових мережах» можна встановити, що рівень автоматизації теплових пунктів лише частковий. Більшість обладнання, як датчики температури та тиску, надають лише базову інформацію, включно з програмними логічними контролерами (ПЛК), які лише контролюють подачу води, не адаптуючись до кліматичних умов. Це показує, що хоча автоматизація і присутня, вона не повністю інтегрована й адаптована до змін у навколишньому середовищі. Нездатність адаптуватися до кліматичних умов може призвести до неефективного використання енергії та ресурсів, спричиняючи надмірне споживання тепла або недостатнє тепlopостачання в разі різких змін температури (рисунок 1.1).

Застаріла система контролю та моніторингу в зазначених умовах не забезпечує своєчасного реагування на зміну параметрів довкілля і потребує модернізації для досягнення оптимальної ефективності. Необхідність встановлення більш досконалих датчиків, що надають детальнішу інформацію в режимі реального часу, а також впровадження сучасних систем управління, здатних адаптуватися до умов, що змінюються.

На рисунку 1.1 знаходиться обладнання ЦТП яке знаходиться в Шевченківському районі міста Харкова. На фотографії зображені прості датчики температури та тиску, які надають лише візуальну інформацію стосовно кількісних параметрів.



Рисунок 1.1 – Сучасний ЦТП Шевченківського району на стан 2024 року

Ступінь автоматизації – це показник, який визначає рівень автоматизації в певній системі або процесі. Він вказує на те, наскільки велика частка дій або процесів у системі виконується автоматично, без необхідності людського втручання. Чим вище ступінь автоматизації, тим менше потрібно ручних операцій, щоб система працювала ефективно.

Можна визначити 3 основних ступені автоматизації:

– часткова – забезпечує автоматизацію робочого циклу машин або використання автомата в автономному режимі, автоматизується робота окремих машин і механізмів (насамперед автоматизуються основні технологічні операції);

– комплексна – це рівень автоматизації виробництва, при якому весь комплекс операцій виробничого процесу, включаючи транспортування та контроль продукції, здійснюється системою автоматичних машин та технологічних агрегатів за заздалегідь заданими програмами та режимами за допомогою різних автоматичних пристроїв, об'єднаних загальною системою управління. Це може бути єдиний взаємопов'язаний комплекс, у якому передбачено комплексну автоматизацію операцій виробничого процесу;

– повна ступінь автоматизації, який передбачає передачу функцій управління та контролю комплексно-автоматизованим виробництвом автоматичним системам управління. Створюються автоматичні ділянки, цехи, заводи з широким використанням мікропроцесорної техніки та комп'ютерів, об'єднаних інформаційними мережами.

Для вирішення основних проблем, пропонуємо перехід до наступного, комплексного ступенем автоматизації, якому характерні повністю автоматизований процес керування, ручне керування залишається лише для запуску та зупинки технологічного процесу і виведення технологічного апарату або системи апаратів з аварійного стану. Завдання керування зводиться до забезпечення отримання продукції необхідної якості при мінімальних затратах на її виробництво.

Системи керування на цьому ступені є складнішими за своєю структурою і функціональними характеристиками; вони вирішують питання автоматичного розподілу навантажень між агрегатами, здійснюють пошук оптимальних технологічних режимів і дають завдання локальним системам автоматичного регулювання для підтримування необхідних режимів роботи. Комплексна автоматизація виробництва включає в себе три етапи:

- а) розробка технічної документації;
 - 1) складання технічного завдання;
 - 2) вибір елементної бази;
 - 3) подання комерційної пропозиції;
 - 4) розробка конструкторської документації;

- 5) підготовка специфікації і покупної відомості;
- б) збірка обладнання;
 - 1) проектування шаф управління і монтаж;
 - 2) програмування інтелектуальних пристроїв;
 - 3) налаштування параметрів частотних регуляторів, синхронних і асинхронних електродвигунів, сервоприводів.
- в) введення в експлуатацію;
 - 1) налагодження системи управління;
 - 2) введення в експлуатацію обладнання;
 - 3) навчання виробничого персоналу;
 - 4) гарантійне, сервісне та післягарантійне обслуговування.

1.2 Дослідження технічного обладнання та програмного забезпечення на сучасних центральних теплових пунктах в Україні

Сучасний тепловий пункт – це сукупність теплотехнічного та насосного обладнання в поєднанні з електричними і гідравлічними засобами комплексної автоматизації, що забезпечують підтримку комфортних параметрів повітря в опалювальних приміщеннях будівель і температури води в системі ГВП, роботи інженерних систем у без надзорному та без аварійному режимі, облік теплоспоживання, енергозбереження і, як наслідок, охорону навколишнього середовища.

Перелік обладнання, яке встановлене в тепловому пункті, залежить від схем підключення систем опалення та гарячого водопостачання, параметрів теплоносія, режимів споживання теплоти та інших факторів. До основного обладнання теплових пунктів відносять відцентрові та водоструминні (елеватори) насоси, теплообмінники, грязьовики, баки-акумулятори та інше.

Широке використання в теплових пунктах мають прилади контролю, обліку і регулювання, різна арматура, а також труби і теплова ізоляція. В теплових пунктах слід використовувати водяні горизонтальні кожухотрубні чи пластинчасті

теплообмінники або парові горизонтальні багатоходові теплообмінники. Кожухотрубні секційні водоводяні теплообмінники складаються з секцій кожухотрубного типу з тиском до 1,6 МПа і температурою до 150 °С.

Пластинчасті теплообмінники складаються з пластин, які з'єднані між собою. Для водоводяних теплообмінників слід використовувати протитечійну схему потоків теплоносіїв. Для горизонтальних секційних кожухотрубних теплообмінників нагріваюча вода з теплової мережі повинна поступати для теплообмінників системи опалення в трубки, а для теплообмінників систем гарячого водопостачання – в міжтрубний простір. Для пластинчастих теплообмінників вода, яку нагрівають, повинна проходити поздовж першої та останньої пластин. Для пароводяних теплообмінників пара повинна подаватися в міжтрубний простір.

Насоси в теплових пунктах використовують замість елеваторів для підвищення тиску в подавальному або зменшенню тиску в зворотному трубопроводах, а також для циркуляції води в системах гарячого водопостачання або підвищення тиску водопровідної води, яка подається в систему гарячого водопостачання, та для відкачки конденсату. В теперішній час ширше використовують насосні підмішувальні установки замість елеваторів.

Збільшення капітальних вкладень та експлуатаційних затрат, яке пов'язане з використанням підмішувальних насосів, компенсується покращенням теплового режиму приміщень та економією теплової енергії, яка витрачається на опалення.

Підмішувальні насоси вибирають за кількістю води, яка підмішується, та гідравлічним опором системи опалення. Насоси на подавальному та зворотному трубопроводі вибирають за значенням недостатнього або надлишкового напору, продуктивність приймають за витратою води в системі опалення. Конденсатні насоси розраховують за максимальною витратою конденсату, а напір насоса визначають за графіком тиску в конденсатопроводі. Насосів мусить бути не менше двох, один з яких резервний.

В теплових пунктах (рисунок 1.2) передбачають розміщення обладнання, арматури, пристроїв контролю, управління та автоматизації, за допомогою яких здійснюється :

- перетворення виду теплоносія або його параметрів;
- контроль та регулювання параметрів теплоносія;
- регулювання витрати теплоносія та його розподіл по системах споживання теплоти;
- відключення систем споживання теплоти;
- захист місцевих систем від аварійного підвищення параметрів теплоносія;
- заповнення та живлення систем споживання теплоти;
- облік теплових потоків та витрат теплоносія та конденсату;
- збір, охолодження, повернення конденсату та контроль його якості;
- акумулювання теплоти;
- водопідготовка для систем гарячого водопостачання.



Рисунок 1.2 – Блочний тепловий пункт з обладнанням та приборами обліку

Програмний метод управління теплого пункту досягається за допомогою інтегрального програмованого логічного контролера та частотного інвертора. Основна функція ПЛК полягає у визначенні необхідних рівнів температур і пов'язаних з ними часових інтервалів витримки нагріву в печі. Спроектована

система показує можливість повного контролю температури від нуля до максимуму за будь-який необхідний проміжок часу в разі підвищення або зниження температури. Всі змінні системи будуть змінюватися поступово до досягнення необхідних робочих точок.

На сучасних теплових пунктах присутні шафи управління (рисунок 1.3). Вони використовуються для розміщення електричного обладнання, такого як контролери, реле, вимикачі та інші компоненти систем автоматизації та управління. На рисунку 1.3 можна побачити шафу контролювання технічними процесами ЦТП Шевченківського району.



Рисунок 1.3 – Контролерна шафа

Основна функція ПЛК полягає в управлінні необхідними рівнями температури і пов'язаними з ними часовими інтервалами витримки нагріву в печі. Перетворювач частоти використовується для управління динамічною зміною температури між різними робочими точками. Така інтеграція ПЛК і частотного керування показує можливість повного контролю температури від нуля до

максимуму в динамічних і статичних умовах, у разі підвищення або зниження температури.

Датчики передають інформацію до програмованого логічного контролера різними способами, залежно від типу датчика та інтерфейсу зв'язку. Наприклад, деякі датчики, такі як датчики температури та тиску, передають виміряні значення у формі аналогового сигналу, часто у діапазоні 4-20 мА або 0-10 В.

Потім ПЛК отримує цей аналоговий сигнал через вхідний модуль аналогових входів і перетворює його на цифрове значення для подальшої обробки. Сучасні розумні датчики можуть передавати дані у цифровому форматі через різноманітні цифрові інтерфейси, такі як імпульсні сигнали, послідовні інтерфейси RS-232, RS-485 з протоколами Modbus RTU або промислові мережі такі як PROFIBUS або DeviceNet.

Промислове обладнання часто приєднують до ПЛК через польові шини як PROFIBUS, PROFINET, EtherCAT, які одночасно передають дані та електроживлення по одному кабелю. Також можливе бездротове з'єднання між датчиками та ПЛК за стандартами Wi-Fi, Bluetooth або радіоканали.

В якості основного програмного забезпечення, ПЛК використовують технологію SCADA.

SCADA – програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління. Використання SCADA системи забезпечує моніторинг, управління та аналіз процесів у реальному часі. Вони дозволяють вам візуалізувати роботу теплообмінника, відслідковувати зміни параметрів та оперативно реагувати на виникаючі ситуації (рисунок 1.4-1.6).

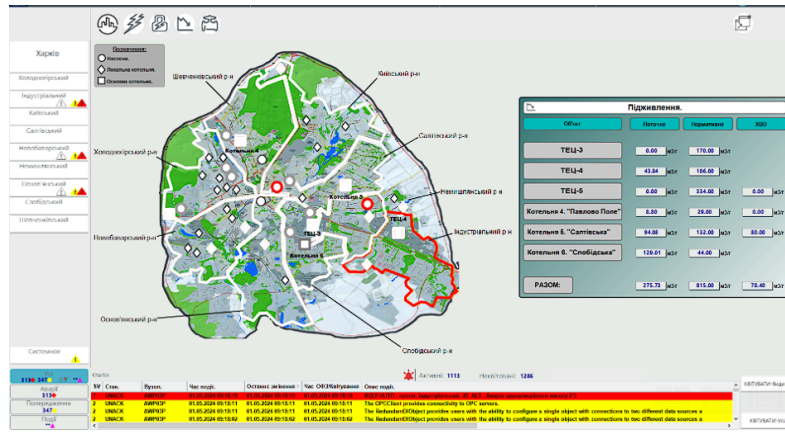


Рисунок 1.4 – Використання технології SCADA для регуляції та контролю наявності теплопостачання

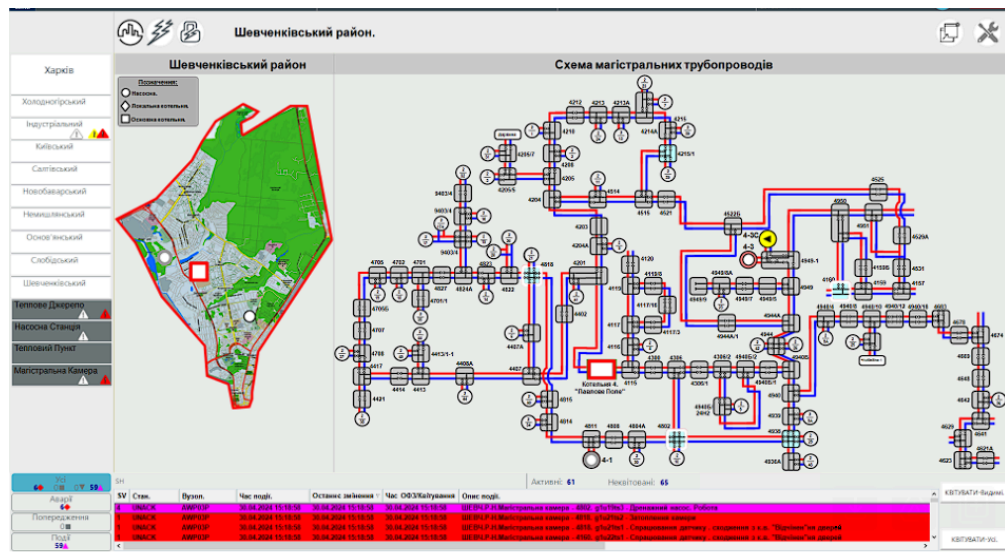


Рисунок 1.5 – Схема магістральних трубопроводів Шевченківського району

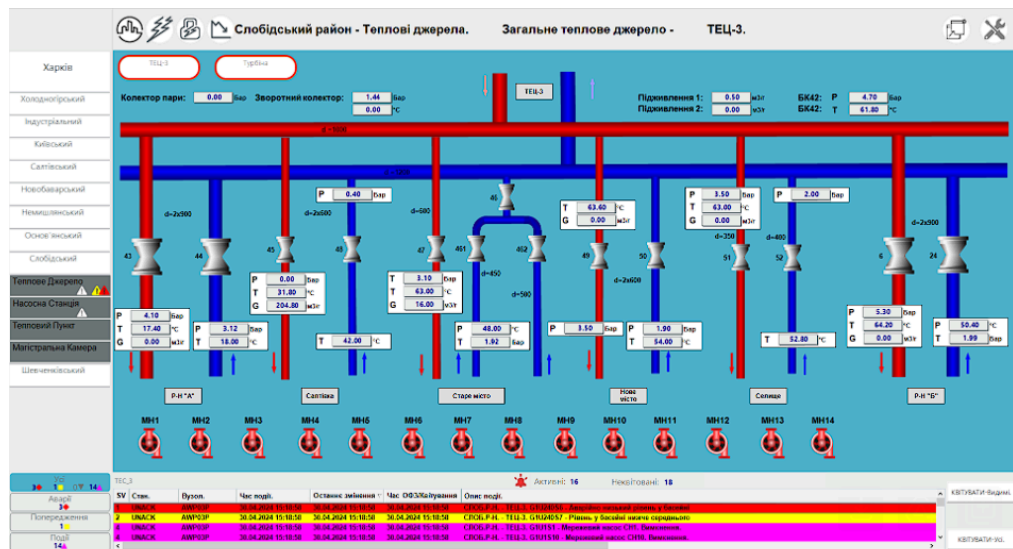


Рисунок 1.6 – Стан на ТЕЦ-3

Основні функції SCADA наступні:

- збір даних від апаратури процесу і дистанційне керування обладнанням.
- Ведення БД реального часу;
 - створення графічного інтерфейсу для моніторингу та управління процесом оператором. Витяг інформації з БД і подання оператору в зручному вигляді для аналізу;
 - автоматизація виконання робочих процесів прийняття рішень оператором;
 - розрахунок вторинних показників ефективності виробництва, статистики ходу процесу, роботи обладнання тощо;
 - автоматична генерація тривоги і повідомлень;
 - виконання деяких функцій керування (блокування, некритичне регулювання тощо);
 - підготовка рапортів, зведень, звітів та іншої експлуатаційної документації;
 - архівування історії, тривоги і дій оператора;
 - розмежування прав доступу за категоріями користувачів. забезпечення безпеки та контролю над діями оператора;
 - резервування найважливіших складових системи (серверів, мереж, клієнтів);

– горизонтальний обмін даними із суміжними системами АСУТП і передача даних на верхні рівні управління.

1.3 Напрями вирішення основних проблем існуючої автоматизації управління режимами роботи центральних теплових пунктів

Однією з основних проблем полягає в тому, що зміна погодних умов автоматично тягне за собою зміну тепловтрат. При настанні кліматичної зими для підтримання оптимального мікроклімату в оселях споживачів витрачається на порядок більше теплової енергії, ніж в теплий період. При цьому, рівень витрат тепла на теплоносій розраховується не за точною температурою вуличного повітря.

При зниженні температури в приміщенні буде спостерігатися деякий підйом температури радіаторів: цьому сприяє збільшення дельти між теплоносієм і повітрям в приміщенні. У будь-якому випадку, це не зможе адекватно компенсувати зростання теплових втрат, що відбуваються через стіни. Для визначення оптимальних дій оператора автоматизованого теплового пункту, потрібно створити методику, яка буде направлена на максимальну оптимізацію автоматизації теплоносіїв.

Для визначення методу дій оператора, потрібно зробити аналіз основних особливостей подачі теплоносія в систему опалення:

– значення найбільшого нагріву теплоносія в контурі обмежена показником +95 градусів для двотрубною системи та +105 градусів для однострубною системи опалення. Щоб компенсувати таке зменшення температури подачі, доводиться нарощувати число радіаторних секцій;

– бажано досягти мінімальної температурної дельти графіка подачі опалення між подавальним і зворотнім трубопроводами: в іншому випадку ступінь нагріву радіаторних секцій в будівлі буде мати велику різницю. Для цього теплоносій всередині системи повинен рухатися максимально швидко. Однак тут є своя

небезпека: через високу швидкість циркуляції води всередині опалювального контуру її температура на виході назад на трасу буде надмірно високою.

Роботою теплового пункту керує електронний програмований контролер, обладнаний датчиком температури зовнішнього повітря, датчиком температури теплоносія, що поступає в систему опалення, та регулюючим клапаном з електричним приводом, здатним частково або повністю перекривати подачу теплоносія на вході від джерела. У контролер вноситься таблиця залежності температури води, що поступає до системи опалення, від температури зовнішнього повітря, яка називається температурним режимом.

Контролер з певною періодичністю обробляє інформацію, яка поступає з датчиків температури зовнішнього повітря, визначає відповідну температуру теплоносія при вході до системи опалення та порівнює її з фактичним значенням цієї температури за сигналом відповідного датчика. Якщо температура води, яка поступає до системи опалення, перевищує задану, то контролер віддає сигнал на керування електричним приводом для закриття регулюючого клапана та перекриває подачу гріючого теплоносія до теплообмінного пристрою.

Для отримання певної інформації з тепломагістралей, використовуються датчики вимірювання температури теплоносія та тиску. Основними задачами регулювання відпуску теплоти це:

- забезпечення нормованих параметрів мікроклімату у помешканні в усьому діапазоні зміни параметрів зовнішнього повітря;
- скорочення непродуктивних втрат теплоти при зміні параметрів зовнішнього повітря; унеможливлення перевитрат теплоти у зв'язку із ненормованим збільшення температури внутрішнього повітря у будинку;
- реалізувати можливість скорочення витрат теплоти на потреби опалення будинку і зменшення видатків на комунальні платежі відповідно впровадженим проектам і заходам з енергоефективності.

Регулювання надходження теплоти до будинку можливо здійснювати шляхом зміни трьох параметрів:

– витрат теплоносія (гарячої води, що надходить до системи опалення) шляхом зменшення проходу для води у процесі часткового закривання запірно-регулювальної арматури в ІТП, Мт;

– температури теплоносія, t_g на вході до системи опалення шляхом дозованого підмішування води із зворотного трубопроводу системи опалення в подавальний трубопровід в ІТП;

– кількості годин роботи системи опалення шляхом повного припинення подачі теплоносія до системи опалення;

– потреба у теплоті для забезпечення комфортних умов перебування у приміщеннях і унеможливлення перегрівання приміщення змінюється у 4...4,5 рази протягом опалювального періоду.

Було проведено дослідження стосовно залежності витрат теплоти від температури зовнішнього повітря, та дійшов к висновку, що зі зміною температури зовнішнього повітря витрати збільшуються витрати теплоти.

Це пов'язано з низьким рівнем адаптованості до різких змін температури та частковим рівнем автоматизації теплових пунктів (рисунок 1.7).

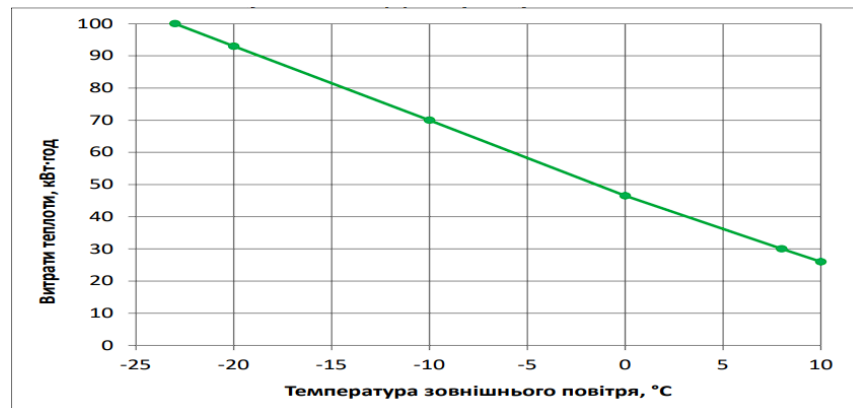


Рисунок 1.7 – Залежності витрат теплоти від температури зовнішнього повітря

Методи регулювання теплового навантаження:

– шляхом зміни температури теплоносія – якісне регулювання;

- шляхом зміни витрати теплоносія – кількісне регулювання;
- шляхом періодичного відключення систем – переривчасте регулювання;
- шляхом зміни поверхні теплообміну підігрівача.

Якісне регулювання здійснюється шляхом зміни температури при постійній витраті теплоносія, це найбільш розповсюджений вид центрального регулювання в водяних тепломережах. Кількісне регулювання відпуску теплоти виконується шляхом зміни витрати теплоносія при його постійній температурі в подавальному трубопроводі.

Якісно-кількісне регулювання здійснюється шляхом сумісної одночасної зміни температури теплоносія в подавальному трубопроводі на джерелі теплоти та витрати теплоносія в теплових пунктах або витрати повітря у калориферах.

Переривчасте регулювання (перепустками) досягається періодичним відключенням системи теплопостачання, тобто пропусканням теплоти частками.

Центральне регулювання перепустками можливе тільки в теплових мережах з однорідним теплоспоживанням, яке допускає одночасні перерви в подачі теплоти. Центральне регулювання парових систем виконується кількісним або переривчастим методом та доповнюється місцевим або індивідуальним кількісним регулюванням. Режим регулювання водяних систем теплопостачання залежить від багатьох факторів, в основному від виду теплового навантаження та схеми теплових пунктів. При однорідному тепловому навантаженні можливо обмежитись тільки центральним регулюванням.

Центральне регулювання теплового навантаження опалення використовують у системах теплопостачання з децентралізованим гарячим водопостачанням, в таких системах опалення є основним тепловим навантаженням. Тоді центральне регулювання здійснюється за теплоспоживанням на опалення будівель за різних температур зовнішнього повітря. При різномірному тепловому навантаженні споживачів, які підключені до однієї теплової мережі, потрібно змінювати центральне регулювання в різних діапазонах опалювального сезону, тобто – використовувати комбіноване регулювання.

1.4 Представлення нових підходів у застосуванні автоматизації управління технологічними операціями на центральних теплових пунктах

Одними зі шляхів розвитку автоматизації теплових пунктів є використання сучасних контролерів, датчиків, керувальних пристроїв, інтелектуальних алгоритмів для автоматичного налаштування режиму роботи відповідно до зовнішніх умов і споживання тепла, системи управління будівлями для комплексного управління всіма інженерними системами, що забезпечує більш точне вимірювання і контроль параметрів системи.

Вона полягає в підвищенні ступеня автоматизації за рахунок удосконалення технічних засобів, таких як упровадження новітніх технологій, розробка систем віддаленого доступу для оперативного моніторингу та управління, підвищення кібербезпеки для захисту від загроз, застосування енергоефективних технологій для зниження енергоспоживання, оптимізація прогнозування енергоспоживання та методи, що дозволяють знизити тепловитрати і теплову потужність, оптимізація прогнозування енергоспоживання, а також інші, що дають змогу знизити тепловтрати трубопроводу, поліпшити теплоізоляцію, повторно використовувати тепло за допомогою рекуперативних систем, а також автоматизувати процеси технічного обслуговування та діагностики для своєчасного усунення несправностей.

Впровадження технології системи управління будівлями (BMS) в системи теплопостачання – швидкий і ефективний шлях до енергозбереження і окупності інвестицій в нерухомість з високим рівнем комфорту і безпеки. Основною метою впровадження BMS є забезпечення максимального комфорту і безпеки людей у будівлі при мінімальних витратах на її функціонування.

BMS забезпечує об'єднання систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, систем освітлення, контролю доступу, пожежної безпеки, систем відеоспостереження в гармонійну структуру, яка дозволяє контролювати будівлю та управляти нею з єдиного пункту управління. BMS забезпечує дистанційний контроль температури, вологості, освітленості, інших параметрів в будівлі на

основі даних датчиків, сигналізаторів, лічильників, управління виконавчими механізмами, реєстрацію параметрів, їх аналіз, візуалізацію, формування тривожних повідомлень при виході параметрів за задані межі.

Архітектура сучасних систем управління будівлями подібна до систем SCADA, які часто використовуються у складі BMS. Істотною відмінністю BMS від промислових систем є застосування спеціалізованих датчиків, панелей, контролерів, виконавчих механізмів і комунікаційних протоколів, орієнтованих на застосування в будівлях. Інтеграція теплового пункту з системою управління будівлями дозволить централізовано контролювати та оптимізувати роботу теплообмінника, враховуючи дані про температуру, вологість, час доби та інші параметри.

Використовуючи алгоритми штучного інтелекту для керування теплообмінниками, ви можете створювати адаптивні системи, здатні незалежно аналізувати дані, прогнозувати зміни та ухвалювати найкращі рішення для підтримки ефективності роботи. Ця система може швидко реагувати на коливання потреби в теплі, враховувати зовнішні погодні умови, а також виявляти та запобігати можливим збоєм і відхиленням у роботі обладнання. Впровадження штучного інтелекту допомагає знизити енерговитрати завдяки оптимізації режимів роботи, підвищенню якості обслуговування користувачів і продовженню терміну служби обладнання. Крім того, адаптивна система може бути інтегрована з іншими інженерними системами будівлі для створення комплексної інтелектуальної мережі для досягнення максимальної ефективності та комфорту.

Розробка й оптимізація алгоритму керування теплообмінником може значно підвищити ефективність системи за рахунок урахування деталей вимог до експлуатації та енергоефективності, що дає змогу враховувати реальні умови експлуатації, як-от: змінні теплові навантаження, коливання температури доквілля та особливості витрат тепла різними об'єктами.

Оптимізовані алгоритми точно контролюють температуру повітря на виході охолоджувальної рідини, зводячи до мінімуму втрати тепла та споживання енергії. Це також допомагає підвищити стабільність системи, зменшити зношеність

устаткування та знизити витрати на технічне обслуговування. Впровадження такого рішення не лише заощадить енергію, а й забезпечує комфортні умови для користувачів і дасть змогу адаптуватися їхнім потребам у режимі реального часу.

1.5 Обґрунтування необхідності використання нових підходів автоматизації управління та модернізації технологічного обладнання

Аналіз літературних та статистичних джерел дозволив виявити основні негативні зміни у галузі централізованого тепlopостачання міст України, які відбулися за останні 30 років.

Масова відмова промислових споживачів від послуг централізованого тепlopостачання. Промислові підприємства України у зв'язку зі стрімким ростом цін на енергоносії першими почали відмовлятися від дорогих послуг ЦТ. Так, за період 1991–2010 рр. галузь втратила більше ніж 20 % збуту теплової енергії (у порівнянні з 1990 р.). Переведення промислових теплофікаційних електроцентралей у комунальну чи приватну власність призвело до масового будівництва приватних котельних (блочно-модульних, дахових, вбудованих прибудованих у будівлю тощо). Це призвело до зниження теплових навантажень і падіння рентабельності ТЕЦ. Зниження попиту гарячої води з централізованих джерел.

Політика держави, орієнтована на перехід споживачів з централізованого опалення на електричну і теплову енергію, за 25 років змусила більшу частину споживачів відмовитись від централізованого гарячого водопостачання. Населення стало масово встановлювати приватні електричні бойлери (квартирні та будинкові). Збут гарячої води в галузі ЦТ знизився на 70 %. Також за цей період галузь ЦТ втратила близько 25 % збуту теплової енергії, що призвело до банкрутства ТЕЦ у 420-и містах країни. Сьогодні тільки 20 великих міст України мають централізоване гаряче водопостачання. На рис. 1.8 на прикладі м.

Запоріжжя, Україна, відображено процес зниження попиту на використання гарячої води за період 2005–2023 рр.

Будівництво газових котельних у місцях діючих ТЕЦ. У початковий період експлуатації котельних, які працювали на природному газі, і при тодішніх низьких цінах на газ, рентабельність роботи ЦТП була високою, а рентабельність роботи ТЕЦ, джерелом роботи яких було вугілля, при цьому різко впала. Тому у 90-х рр. ХХ ст. стратегією місцевих органів влади (з метою скорочення витрат) стало поступове відключення ТЕЦ для споживачів, подальше банкрутство і закриття їх із-за збитковості.

Таку тенденцію (рисунок 1.8) можна було спостерігати у таких великих містах України як Київ, Харків, Запоріжжя, Сімферополь, Донецьк, Львів та ін. Також слід відзначити, що у останні роки поширилась тенденція використання індивідуальних опалювальних систем (автономних котельних) в новобудовах, що призвело до повної відмови від ЦТ у районах сучасних забудов.

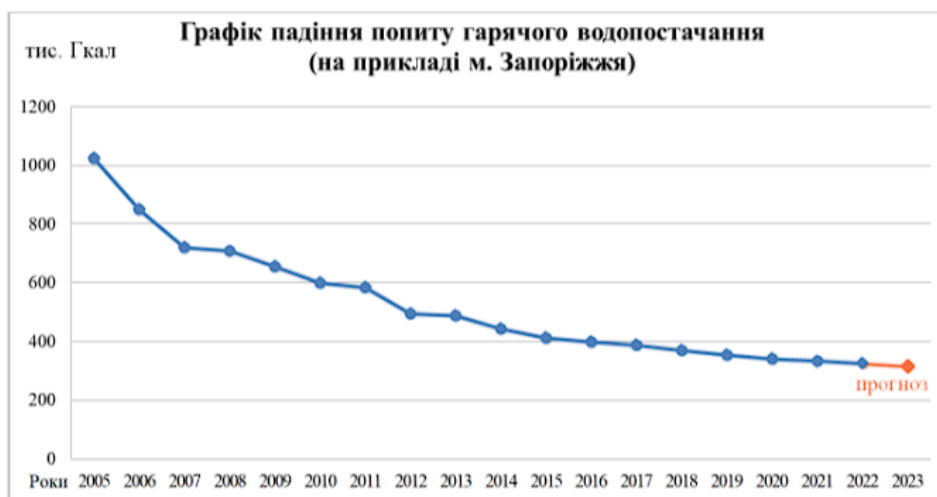


Рисунок. 1.8 – Графік падіння попиту використання гарячого водопостачання (на прикладі м. Запоріжжя)

Таким чином, проведений аналіз використання централізованої теплової енергії в містах України показав, що приблизно 20 % її збуту, у порівнянні з 1990

роком, вже втрачено, і процес цей продовжує поширюватись. Проте, майже 80 % споживачів продовжують користуватися послугами централізованого тепло- і водопостачання, якість надання яких повинна відповідати встановленим нормам.

2 РОЗРОБКА СУЧАСНОЇ КОНЦЕПЦІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ЦТП

2.1 Визначення основних напрямів модернізації та автоматизації технологічних процесів

Модернізація теплових пунктів може здійснюватися шляхом комплексного оновлення обладнання, впровадження автоматизованих систем управління та переходу на інтелектуальні технології. Процес починається з детального аудиту наявної системи для виявлення слабких місць і можливостей для поліпшення. На основі аналізу розробляється концепція модернізації з чіткими цілями щодо енергоефективності, надійності та якості обслуговування.

Технічне оновлення включає заміну застарілих насосів, теплообмінників, запірної арматури на сучасні аналоги з кращими показниками ефективності. Для автоматичного управління технологічними процесами встановлено програмовані логічні контролери (ПЛК), датчики з цифровими інтерфейсами для точного вимірювання параметрів, частотно-регульовані приводи для оптимізації роботи насосів.

Розробляються і впроваджуються алгоритми автоматичного управління, погодне регулювання температури теплоносія, підтримання оптимального тиску в мережі, балансування навантаження. Системи обліку інтегровані для автоматичного збору даних про споживання. Для обміну даними між обладнанням створюють локальні мережі, організовують захищений канал передавання інформації в центральний диспетчерський пункт.

Важливим аспектом є впровадження систем енергоменеджменту та аналітичних інструментів. Вони дають змогу аналізувати великі набори даних, прогнозувати споживання та виявляти неефективні режими роботи. Використання елементів штучного інтелекту підвищує точність прогнозів і оптимізує роботу всієї системи теплопостачання.

Модернізація також охоплює розробку інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів для операторів і додатків для кінцевих користувачів. Це підвищує прозорість і контроль над процесами. Особлива увага приділяється кібербезпеці: встановлено системи захисту від зовнішнього втручання, регулюється доступ до управління.

Сучасне та ефективне управління теплових пунктів та контроль над споживанням теплової енергії центрального тепlopостачання зазвичай здійснюється автоматикою.

Системи автоматичного регулювання температури зворотнього теплоносія, регулювання тепlopостачання будівлі за температурою приміщення, встановлюються в теплові пункти багатоквартирних житлових будинків, виробничих приміщень, лікарні, дитсадки, школи.

Автоматизація ІТП і ЦТП – вирішує ряд технічних завдань:

- оптимізація витрат теплоносія (для зменшення навантаження енергоустановки та збільшення терміну її експлуатації);
- зменшення аварійних ситуацій (боротьба з гідродарами, обмеження перепадів максимального тиску в трубопроводах теплової мережі);
- диспетчеризація параметрів тепlopостачання (для підвищення надійності центрального тепlopостачання та точності дотримання технологічних параметрів);
- підтримання температури теплоносія (на звороті, згідно з вказівками температурного графіка).

Встановлення автоматики в ІТП або ЦТП відбувається за двома варіантами:

а) вирізання елементів системи автоматики у існуючій вузол управління:

- 1) він недорогий і знаком організаціям, що обслуговує даний ІТП;
- 2) в даному випадку крім узгодженої та затвердженої проектної документації на встановлення автоматики необхідно відповідально підійти і до питання безпосереднього її налаштування та регулювання під час експлуатації;
- 3) у первинних розрахунках гідравлічної системи для застосування автоматики потрібно зробити і розрахунки з оптимізації (

визначити і усунути недоліки у роботі існуючої системи теплопостачання) що безпосередньо позитивно позначиться показниках роботи всієї системи опалення;

б) встановлення повністю нового обладнання модульного або блокового ІТП;

1) наприклад, проектною організацією простіше скласти розрахунки в проектній документації, а при монтажі як правило буде менше непередбачених ситуацій;

2) при установці нового обладнання впроваджуються системи, що мають високий клас енергоефективності при нескладному обслуговуванні, управлінні;

3) таке обладнання для зручності при обслуговуванні можна встановити в місці вибору замовника. Як правило воно більш надійне та компактне;

4) у разі потреби без особливих зусиль підлягає заміні.

Робота автоматики у тепловому пункті:

– з температурних датчиків розташованих на трубопроводі що подає, зворотному трубопроводі, на вулиці і в приміщенні – контролер збирає і аналізує інформацію (рисунок 2.1);

– контролер управляє виконавчими агрегатами – регулюючими клапанами та насосами (рисунок 2.2);

– регулюючий клапан зменшує або збільшує надходження теплоносія до будівлі (рисунок 2.3);

– насос відповідає за підтримання нормативної циркуляції теплоносія в системі опалення будинку.



Рисунок 2.1 – Датчик температуры



Рисунок 2.2 – Контролер

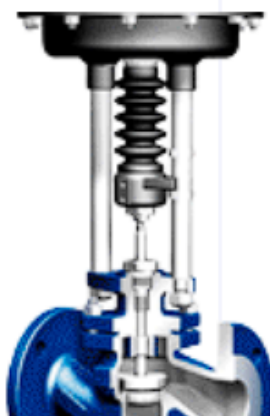


Рисунок 2.3 – Регулюючий клапан

2.2 Дослідження залежності кількісних параметрів теплоносія від факторів їх формування

При настанні холодів для підтримання оптимального мікроклімату в оселі витрачається на порядок більше теплової енергії, ніж в теплий період. При цьому рівень витрат тепла розраховується не за точною температурою вуличного повітря.

При зниженні температури в приміщенні буде спостерігатися деякий підйом температури радіаторів: цьому сприяє збільшення дельти між теплоносієм і повітрям в приміщенні. У будь-якому випадку, це не може адекватно компенсувати зростання теплових втрат, що відбуваються через стіни.

Теплоносій – речовина, що переносить теплоту від тіла нагрітого у більшій мірі до тіла менш нагрітого.

Спочатку потрібно визначити, що немає універсального теплоносія. Використання залежить від конкретних умов експлуатації, котельного обладнання, теплообмінників, насосного обладнання.

Будь-який з існуючих сьогодні теплоносіїв справно виконує свої функції лише в певному температурному діапазоні, вихід за рамки якого призводить до різких змін його якісних характеристик. З позиції безпеки теплоносій повинен мати певні (безпечні) характеристики по токсичності, температурі спалаху рідини і спалаху її парів.

І останнє – рідина, яка використовується в якості теплоносія, не повинна обходитися занадто дорого або ж, у разі високої вартості, необхідно забезпечити тривалий строк збереження якісних характеристик і об'єму теплоносія час роботи в опалювальній системі. Проблема захисту систем опалення від розморожування виникає щорічно з настанням холодів в Україні. Достатньо різноманітний та суворий український клімат передбачає користування опаленням від 5 до 6 місяців в році. Розрізняють два основних види теплоносіїв:

– холодоагенти – теплоносії агрегатний стан яких в процесі перенесення теплоти змінюється, тобто переноситься теплота фазового переходу, а їхня

температура залишається сталою (наприклад, киплячі рідини, пара, що конденсується);

– теплоносії, що їхній агрегатний стан залишається незмінним а у процесі роботи знижується або підвищується їх температура (некиплячі рідини, перегріта пара тощо).

Якщо температура в системі опалення в холодний сезон не буде знижуватися нижче + 5 °С, то оптимальний теплоносієм для такої системи – вода, зі складу якої по максимуму виведені з'єднання солей. Якщо ж існує ймовірність падіння температури до мінусових значень, то в цьому випадку необхідний тільки антифриз.

Зрозуміло, можна зливати воду із системи, що забезпечує її від пошкоджень при заморозках, проте в цьому випадку контур заповнить повітря, який різко прискорить корозійні процеси в умовах високої вологості. При виборі антифризу потрібно детально вивчити його характеристики, в числі яких:

- допустима гранично низька температура;
- склад присадок і їх призначення;
- які взаємодії з елементами опалювальної системи (з чорного та кольорових металів, чавуну, пластиків, гуми) може відбутися при його використанні.

Окрім особливостей подачі теплоносія визначаємо види систем опалення. Їх можна поділити на два типи, закрита та відкрита.

У відкритій системі вода подається постійно з теплоцентралі та це компенсує її витрати навіть за умови повного розбору. Відкрита схема теплопостачання функціонує на основі законів термодинаміки: гаряча вода піднімається вгору, завдяки чому на виході котла створюється високий тиск, а на вході в теплогенератор – невелике розрідження. Далі рідина направляється із зони підвищеного тиску в зону більш низького і в результаті здійснюється природна циркуляція теплоносія.

Будучи в нагрітому стані, вода має властивість збільшуватись в об'ємі, тому для цього типу опалювальної системи потрібна наявність відкритого

розширювального бака. У відкритому типі вода нагрівається до 65 градусів і потім подається до кранів водорозбору, звідки надходить до споживачів.

Подібний варіант теплопостачання дозволяє користуватися дешевими змішувачами замість дорого теплообмінного обладнання. Оскільки розбір підігрітої води нерівномірний, лінії подачі кінцевому споживачеві розраховують з урахуванням максимального споживання.

Закрита система теплопостачання – це конструкція, в якій теплоносій, що циркулює в трубопроводі, використовується тільки для обігріву і вода з теплової мережі не відбирається на гаряче водопостачання. В закритому варіанті забезпечення обігріву приміщень подача тепла регулюється централізовано, а кількість рідини в системі залишається незмінною.

Витрата теплової енергії залежить від температури циркулюючого по трубах і радіаторах теплоносія. В системах теплопостачання закритого типу, як правило, використовуються теплові пункти, в які гаряча вода надходить від постачальника теплоенергії, наприклад ТЕЦ. Далі температура теплоносія доводиться до потрібних параметрів для теплозабезпечення та гарячого водопостачання і направляється споживачам.

В автоматизованих пристроях закладений принцип роботи, заснований на перетворенні показників температури в електричний сигнал. Як тільки він надходить, можна передавати інформацію через мережу у вигляді цифрового коду. Такий спосіб гарантує:

- точність вимірів;
- велику швидкість;
- високу чутливість.

Зараз все частіше використовують бездротові температурні датчики опалення. Всю інформацію вони передають через передавачі і приймачі радіохвиль. Їх можна монтувати практично всюди, наприклад, у закритому приміщенні або на відкритому просторі. У бездротових моделях передача даних відбувається за допомогою допоміжної електроніки. Вони розрізняються за місцем кріплення:

- накладні прикріплюють до опалювального обладнання;
- занурювальні безпосередньо контактують з теплоносієм;
- кімнатні розташовані всередині приміщення;
- зовнішні встановлені зовні.

2.3 Режими формування необхідних кількісних параметрів теплоносія у теплообмінному пристрою

Теплообмінник – це система обміну енергією між гарячим і холодним теплоносієм. У процесі обміну тепловою енергією носії змінюють свої температури, тобто в пристрій кожен із них входить з однією температурою, а виходить – з іншою.

Водночас велике значення мають коефіцієнти тепловіддачі несучих середовищ, а також особливості конструкції агрегату. Під час детальних конструкторських розрахунків складаються схеми теплообмінних апаратів, окремим елементом яких є схеми руху теплоносіїв.

Дані, необхідні для розрахунку теплообмінника:

- теплове навантаження або потужність;
- тип середовища;
- температура середовища на вході в теплообмінник;
- температура середовища на виході з теплообмінника;
- витрата середовища.

Для визначення даних, які потрібні для вірного розрахунку теплообмінника, використовують датчики витрати теплоносія (рисунок 2.4) або теплообчислювачі (рисунок 2.5).

Теплообчислювач – це спеціалізований мікропроцесорний пристрій, призначений для оброблення сигналів від датчиків, перетворення їх в цифрову форму, обчислення кількості теплової енергії відповідно до прийнятого алгоритму, індикації і зберігання в енергонезалежній пам'яті приладу параметрів теплоспоживання.

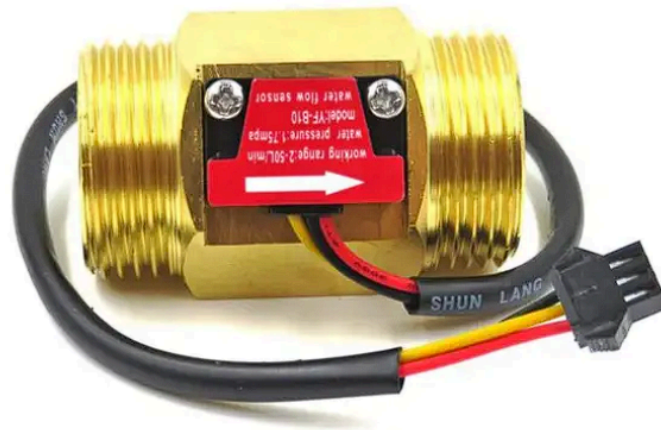


Рисунок 2.4 – Датчик витрати рідини YF-B10 1"



Рисунок 2.5 – Теплообчислювач MBT-2M

У переважній більшості теплічильників виконується вимірювання об'ємної витрати теплоносія і подальше обчислення масової витрати на основі даних про температуру і густину. Для вимірювання витрати теплоносія найбільшого поширення набули датчики витрати зі звужуючими пристроями, ультразвукові, електромагнітні, вихрові і тахометричні датчики витрати. Датчики витрати із звужуючими пристроями або датчики витрати змінного перепаду тиску

використовують залежність перепаду тиску на звужуючому пристрої, встановленому в трубопроводі, від витрати.

Для визначення залежності температури теплоносія від кліматичної температури. Потрібно буде визначити оптимальні комфортні для людини температурні умови в будівлі.

Вважається, що певні умови мікроклімату допустимі для опалювальних житлових будинків – оптимальні та в деяких випадках прийнятні, а також для громадських та адміністративних приміщень без постійної присутності людини – допустимі несприятливі умови мікроклімату (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Нормативні показники параметрів температури та тиску в системі трубопроводів на ЦТП

Температура у магістралі, яка подається на ТП у прямому напрямку, °С	Температура у магістралі, яка подається на ТП у зворотному напрямку, °С	Показники тиску в у магістралі в прямому та зворотному напрямку, Бар
150	70	25 ± 2,5
130	70	25 ± 2,5
110	70	25 ± 2,5
95 (90)	70	25 ± 2,5

Перевірка параметрів температури (Т°С) та тиску (Р) теплоносіїв здійснюється постійно в режимі «online». Дані значень параметрів температури та тиску поступають постійно у вигляді масиву значень з ПЛК системи автоматизованого управління ТП.

У випадку, коли фіксовані значення температури та тиску значно менше нормативних або зовсім відсутні, настає аварійна ситуація; параметри теплоносіїв у вхідній магістралі відсутні або різко падають у своїх значеннях:

$$T_{\text{фікс}}, P_{\text{фікс}} \rightarrow 0, \quad (2.1)$$

$$T_{\text{фікс}}, P_{\text{фікс}} \ll T_{\text{норм}}, P_{\text{норм}}. \quad (2.2)$$

В автоматизованому режимі виконується перевірка значень параметрів з організаціями, які постачають теплоносії. У випадку підтвердження наявності аварійної ситуації здійснюється аварійне відключення подачі теплоносія споживачам. У випадку, коли параметри теплоносія відповідають нормативним значенням на вході до тепlopункту, то подача теплоносіїв споживачам здійснюється у нормальному режимі.

$$T_2, P_2 = T_{\text{норм}}, P_{\text{норм}}. \quad (2.3)$$

У випадку, коли параметри теплоносія не відповідають нормативним значенням на вході до тепlopункту, тоді перевіряється їх остаточне значення для прийняття рішення, а саме: якщо параметри теплоносія більше (2.4), то необхідно понизити температуру теплоносія до нормативної перед подачею споживачам шляхом її змішування з холодною водою (2.5); при цьому збільшений тиск стравлюється за допомогою зворотного клапану до нормативних значень (2.6):

$$T_3, P_3 > T_{\text{норм}}, P_{\text{норм}}. \quad (2.4)$$

$$T_3 - \Delta T = T_{\text{норм}}, \quad (2.5)$$

$$P_3 - \Delta P = P_{\text{норм}}. \quad (2.6)$$

У випадку, коли параметри теплоносія не відповідають нормативним значенням на вході до тепlopункту, тоді перевіряється їх остаточне значення для прийняття рішення, а саме: якщо параметри теплоносія менше (2.7), то необхідно підвищити температуру теплоносія до нормативної перед подачею споживачам шляхом підвищення температури теплоносія за рахунок підключення насоса-підігрівача у тепlopункті (2.8); зменшений тиск підвищується шляхом включення компресора (2.9):

$$T_1, P_1 < T_{\text{норм}}, P_{\text{норм}}, \quad (2.7)$$

$$T_1 + \Delta T = T_{\text{норм}}, \quad (2.8)$$

$$P_1 + \Delta P = P_{\text{норм}}, \quad (2.9)$$

Також в автоматизованому режимі постійно контролюються параметри температури та тиску на виході із системи тепlopостачання теплового пункту, які також мають нормативні значення. Дане програмне забезпечення не контролює цей процес, потрібно розробляти додаткове програмне забезпечення. Далі здійснюється контроль за процесом подачі теплоносія споживачам (рисунок 2.6).

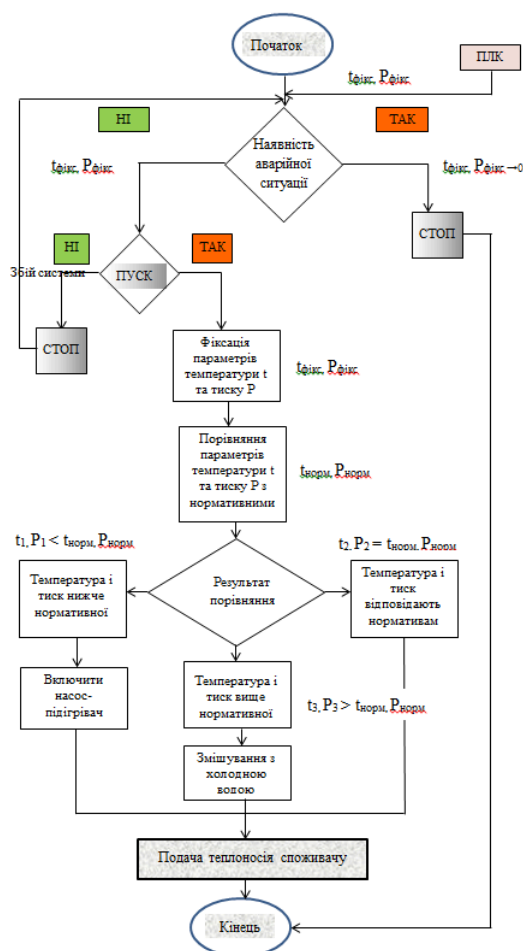


Рисунок 2.6 – Алгоритм процесу контролю параметрів

2.4 Принципи удосконалення модуля автоматизованого управління режимами роботи теплообмінника

Модулі автоматизації – це компоненти або пристрої, призначені для виконання певних функцій в автоматизованій системі або процесі. Ці модулі інтегруються в більші системи автоматизації для забезпечення контролю, моніторингу та виконання різних завдань (рисунок 2.7).

Основними компонентами модулю автоматизації теплового пункту, являються:

- програмовані логічні контролери, які використовуються для управління та контролю всіх процесів теплообмінника, та котрі забезпечують збір даних з датчиків, обробку цих даних і керування виконавчими механізмами;
- датчики та сенсори;
- виконавчі механізми (регулюючі клапани, циркуляційні насоси, приводи клапанів).

В даній роботі було розроблено удосконалений модуль автоматизації.

Удосконалення модуля поетапно включає поступову модернізацію частки обладнання ЦТП, а саме – встановлення і застосування незначного додаткового сучасного обладнання для значного підвищення ефективності роботи як існуючих ЦТП, так і системи центрального опалення в цілому.

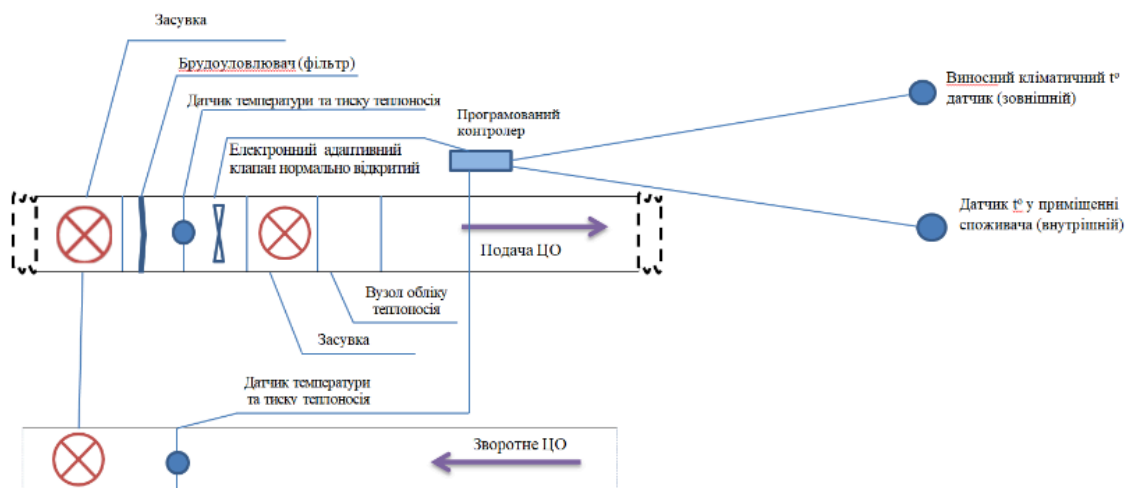


Рисунок 2.7 – Схема установки електронного адаптивного клапана на ЦТП

Перший етап – це встановлення сучасного додаткового електронного обладнання на ЦТП, а саме:

- датчики температури та тиску теплоносія – на трубах прямого та зворотного напрямку;
- виносний датчик визначення температури повітря (кліматичний);
- виносний датчик визначення температури повітря (у приміщенні);
- електронний адаптивний клапан;

- програмований контролер;
- засоби передачі даних.

Робота електронного адаптивного клапану буде здійснюватися в автоматизованому режимі. Розроблена методика дозволяє застосовувати декілька режимів роботи клапану (за вибором).

Усі режими роботи клапану основані на проведених наукових дослідженнях залежностей реальних показників температур подачі теплоносія, реальної кліматичної температури повітря та існуючої температури повітря у приміщеннях споживачів тепла. Також дослідження проводились щодо їх змін та коливань і можливості термінової не подачі тепла споживачам, та кількісні показники цих термінів і змін температури.

Другий етап це створення центрального диспетчерського пункту у вигляді АРМ, який дозволить автоматизовано і своєчасно отримувати і контролювати показники температури та дуже швидко при необхідності реагувати на їх зміни, а також своєчасно відслідковувати і реагувати на несподівані ситуації.

Третій етап модернізації це відмова від зовнішніх джерел подачі тепла на ЦТП (ТЕЦ та зовнішні котельні) та установка на них сучасних персональних автоматизованих котлів, режими роботи яких також буде контролювати програмований контролер. Це ще додатковий пункт економічної ефективності. У випадку виконання всіх етапів модернізації економічний ефект може досягнути 50%.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ МОДУЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ТЕПЛООБМІННИКА НА ЦТП

3.1 Визначення та опис обраного принципу удосконалення модулів автоматизації управління технологічними операціями

Розглянемо обґрунтування використання систем SCADA для удосконалення модулів автоматизації управління технологічними операціями.

Системи SCADA відіграють ключову роль у процесі автоматизації та централізованого управління розподіленими технологічними процесами на промислових підприємствах. Впровадження SCADA забезпечує низку переваг для модулів автоматизації управління операціями:

- SCADA система дозволяє збирати дані про хід технологічних процесів з розподілених датчиків та контролерів на єдиному диспетчерському пункті. Це означає, що ви можете спостерігати за параметрами теплообмінника з центрального пункту керування в режимі реального часу;

- SCADA може моніторити ключові параметри теплообмінника та оптимізувати їх для підвищення продуктивності та ефективності. Наприклад, система може автоматично регулювати температуру або тиск для максимізації ефективності обміну теплом;

- SCADA система відстежує критичні параметри безпеки теплообмінника та сповіщає про відхилення, запобігаючи аварійним ситуаціям і забезпечуючи безпечну експлуатацію;

- SCADA дозволяє зберігати історичні дані процесів теплообмінника для подальшого аналізу і виявлення тенденцій. Це сприяє вдосконаленню процесів та прийняттю рішень з оптимізації технологій;

– оператори можуть віддалено підключатися до SCADA системи для моніторингу та керування теплообмінником, що підвищує оперативність реагування на будь-які зміни або проблеми;

– віддалений доступ та управління Оператори можуть віддалено підключатися до SCADA системи для моніторингу та керування операціями, що підвищує оперативність реагування;

– SCADA системи можуть бути легко інтегровані з іншими корпоративними системами підприємства, такими як системи виробничого управління або системи планування ресурсів підприємства (ERP), завдяки їх відкритості та масштабованості. Це робить можливим створення єдиної інтегрованої системи управління для всього підприємства, включаючи теплообмінник.

У складі автоматизованої системи теплообмінника ключовими компонентами є датчики, виконавчі пристрої, контрольні комп'ютери та SCADA-контролери. Датчики збирають дані на основі фізичних характеристик, таких як температура або тиск, і передають цю інформацію до системи SCADA. Отримані дані аналізуються для забезпечення точного управління режимом роботи теплообмінника з метою підвищення ефективності та заощадження енергії.

Виконавчі механізми використовують надходять дані для виконання певних дій, таких як відкриття або закриття клапанів, зміна положення заслінок або регулювання швидкості насосів. Ці компоненти становлять ключову частину системи SCADA, оскільки вони призначені для практичного втілення команд, отриманих від контрольних комп'ютерів.

Контрольні комп'ютери, що також входять до складу системи SCADA, збирають дані з датчиків, проводять їх аналіз і приймають рішення на їх основі. Далі вони надсилають команди виконавчим механізмам для забезпечення оптимального функціонування теплообмінника. Контрольні комп'ютери з'єднуються з усіма віддаленими терміналами та пристроями, взаємодіють і керують ними.

Польові контролери SCADA, що розташовані поруч з місцем керування процесом, підключаються до датчиків та виконавчих механізмів. Вони отримують дані від датчиків, надсилають їх на керуючий комп'ютер та отримують від нього команди, які подалі передаються виконавчим механізмам. Польові контролери SCADA призначені для роботи у важких умовах та мають широкий спектр входів та виходів. Існує два типи таких польових контролерів SCADA: програмовані логічні контролери (ПЛК) та інші прилади автоматизації.

3.2. Обґрунтування підбору виду та кількості технічних засобів автоматизації

Мережа контролю та управління тепловим пунктом вище згаданої конструкції являє собою кілька теплообмінників, котрими обслуговуються контролери різних виробників. Щоб SCADA/HMI могла керувати та моніторити даний процес, ці контролери також повинні бути інтегровані у систему.

Оскільки контролери другого рівня можуть працювати на різних протоколах зв'язку та іншим програмним забезпеченням, необхідно знайти ефективний спосіб вирішення проблеми сумісності для забезпечення надійної роботи взаємодії всіх компонентів. Промислові мережі та протоколи, до яких можна звертатися для цієї мети контролерів другого рівня, включають Modbus TCP/IP, PROFIBUS, PROFINET, Ethernet/IP та OPC UA.

Однак, основною проблемою є інтеграція контролерів різних виробників, у тому числі могли б використовувати закриті або специфічні протоколи зв'язку. На цей рахунок можливі декілька підходів.

Перший – написанням спеціального драйвера для SCADA/HMI до контролеру теплообмінника, що вимагає наявності відкритого програмного інтерфейсу від SCADA-системи та відкритого протоколу обміну з контролером.

Другий – заміна контролерів новими, для яких уже існують готові драйвери зв'язку, що може бути дорого та привести до простою виробництва під час заміни обладнання.

Третій полягає у використанні промислових шлюзів для під'єднання контролерів до SCADA/HMI через різні протоколи, що також вимагає великих капіталовкладень та може ускладнити систему. У процесі створення сучасної системи автоматизації для теплообмінника важливо вибрати відповідну технічну оснастку, яка по можливості найбільш ефективно реалізує функції системи.

Для удосконалення модулю автоматизації, потрібно визначити потрібні види технічних засобів. Характерними технічними засобами для теплообмінника являються: ПЛК, датчик температури, датчик температури зовнішнього середовища, датчик витрат, насос, датчик тиску та клапан.

В якості ПЛК було обрано Siemens SIMATIC S7-1200 (рисунок 3.1). Контролери SIMATIC S7-1200 мають широкий спектр технологічних функцій з інтегрованою системою вводу-виводу. До складу системи входять центральні процесори трьох типів. SIMATIC S7-1200 пропонує можливості діагностики, інтегровані в систему і не потребують додаткового програмування. Контролери здатні працювати в режимі реального часу, можуть використовуватися для побудови відносно простих вузлів локальної автоматики або ж вузлів комплексних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Industrial Ethernet / PROFINET (таблиця 3.1).



Рисунок 3.1 – Siemens SIMATIC S7-1200

Таблиця 3.1 – Характеристики Siemens SIMATIC S7-1200

Типи процесорів	від базового CPU 1211C до потужного CPU 1217C
Тактова частота	від 50 МГц до 100 МГц
Оперативна пам'ять	від 50 КБ до 125 КБ
Вбудована пам'ять	від 2 мБ до 4 мБ
Інтерфейси	Ethernet, RS485, RS232
Підтримка протоколів	PROFINET, Modbus TCP/IP, S7 Communication
Дискретні входи	від 6 до 14
Дискретні виходи	від 4 до 10
Аналогові входи/виходи	4 входів/виходів

SIMATIC S7-1200 має модульну конструкцію і може бути масштабований з точки зору його функціональності. Широкий діапазон сигнальних модулів вводу-виводу, технологічні модулі для спеціальних технологічних функцій, таких як підрахунок, а також централізовані і децентралізовані модулі зв'язку, можуть служити інтерфейсами для машин або установок. Програмовані контролери S7-1200 мають компактний пластиковий корпус схвалений в класі захисту IP20, можуть монтуватися на стандартну 35 мм профільну шину або на монтажну плату і працюють в діапазоні температур від 0 до +50 С.

Регулюючий клапани двоходові VVG44 і триходові VXG44 (рисунок 3.2), виробництва компанії Siemens, застосовують для малих і середніх систем опалення, вентиляції та кондиціонування, як регулювальні або відсічні.

Встановлення клапана і приводу досить просте, для цього не потрібні спеціальні інструменти і немає необхідності в проведенні будь-яких процедур налаштування (таблиця 3.2).



Рисунок 3.2 – Регулюючий клапан VVG44

Таблиця 3.2 – Характеристики VVG44

Тип клапана	Двохходовий або трьохходовий
Діапазон розмірів	DN 15 до DN 150
Матеріал корпусу	Бронза та чавун
Діапазон температур	-10 °C до +150 °C
Тиск	PN 16 або PN 25
Тип управління	Пневматичне або електричне управління
Характеристика потоку	Лінійна або логарифмічна
Монтаж	Фланцевий або різьбовий монтаж

Датчики тиску DST P140 (рисунок 3.3) розроблені для використання у промисловості, підходять для насосів високого тиску, повітряних компресорів, водяних станцій, теплових пунктів (таблиця 3.3).



Рисунок 3.3 – Датчик тиску DST P140

Особливості:

- герметизація робочого середовища;
- компактний та економічний дизайн;
- чудова стійкість до ударів та вібрації;
- висока стійкість до перевантажень;
- надійні електронні плати для великих електричних навантажень.

Таблиця 3.3 – Характеристики DST P140

Тип датчика	Мембранний датчик тиску
Діапазон вимірювань	Від -1 бар до 600 бар
Точність	$\pm 0,5\%$
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь
Вихідні сигнали	Аналоговий вихід: 4-20 мА або 0-10 В
Комунікації	Підтримка цифрових інтерфейсів для інтеграції з системами автоматизації

Продовження таблиці 3.3

Температурний діапазон	від -40 °С до +125 °С
Живлення	Напруга живлення: 10-30 В
Ступінь захисту	IP65 або IP67
Монтаж	Різьбовий або фланцевий

SITRANS TS500 – це датчики температури (рисунок 3.4) для широкого спектру вимірювальних застосувань – від простих до складних, наприклад, для суворих умов експлуатації. Модульна конструкція системи із захисною трубкою з трубчастого або суцільного матеріалу, подовжувачем, з'єднувальною головкою, додатковим передавачем або дисплеєм дозволяє використовувати стандартні компоненти. Також доступні іскробезпечні або вогнетривкі конструкції (таблиця 3.4).



Рисунок 3.4 – Датчик температури SITRANS TS500

Таблиця 3.4 – SITRANS TS500

Принцип дії	Термопарний датчик температури
Діапазон вимірювання	від -196 °С до +1100 °С
Матеріал елемента	Платина
Еталонний опір	100 Ом

Витратомір SITRANS FM MAG 5000 (рисунок 3.5) – це високопродуктивний електромагнітний витратомір від Siemens для вимірювання витрати рідини в трубопроводах (таблиця 3.5).



Рисунок 3.5 – Витратомір SITRANS FM MAG 5000

Перевагами витратоміра являються:

- економічно вигідний перетворювач з високими експлуатаційними характеристиками;
- міцний перетворювач, підходить для універсального застосування і має високу точність вимірювання;
- кілька функціональних виходів для керування технологічним процесом;
- дисплей і клавіатура доступні на різних мовах.

Таблиця 3.5 – Характеристики SITRANS FM MAG 5000

Принцип роботи	Магнітно-індукційний витратомір
Діапазон вимірювань	10 м/с
Точність	±0,4%
Середовище вимірювання	Вода, кислотні розчини, луги та інші провідні рідини
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь, алюміній
Вихідні сигнали	4-20 мА, імпульсний вихід, цифрові інтерфейси
Підтримка протоколів	HART, PROFIBUS DP, Modbus RTU
Діапазон робочих температур	Від -20 °С до +150 °С

Завдяки оптимізованим та інноваційним функціям енергозбереження Wilo-Stratos MAXO (рисунок 3.6) встановлює нові стандарти енергоефективності в галузі комерційного використання насосів у системах опалення, вентиляції та кондиціювання (таблиця 3.6).



Рисунок 3.6 – Насос Wilo-Stratos MAXO

Таблиця 3.6 – Насос Wilo-Stratos MAXO

Тип насосу	Насос з мокрим ротором
Діапазон робочих температур	від -10 °C до +110 °C
Максимальна витрата	до 70 м³/год
Максимальна висота підйому	до 12 м
Напруга живлення	1~230 В
Потужність	від 10 Вт до 450 Вт
Тиск	10 бар

Вимірювач вологості та температури Vaisala HMP155 (рисунок 3.7) – це високоточний сенсор, розроблений для тривалого використання в складних умовах (таблиця 3.7).



Рисунок 3.7 – Датчик температури зовнішнього середовища Vaisala HMP155

Таблиця 3.7 – HMP155

Принцип вимірювання	Ємнісний полімерний датчик
Температурний діапазон	від -80 °C до +60 °C
Тип корпусу	Металевий з захистом IP66
Інтерфейси	RS-485, аналогові виходи (0-1 В, 0-5 В, 0-10 В, 4-20 мА)
Споживання струму	Макс. 7 мА при 24 В

Визначив види технічних засобів, було створено функціональну схему автоматизації (рисунок 3.8).

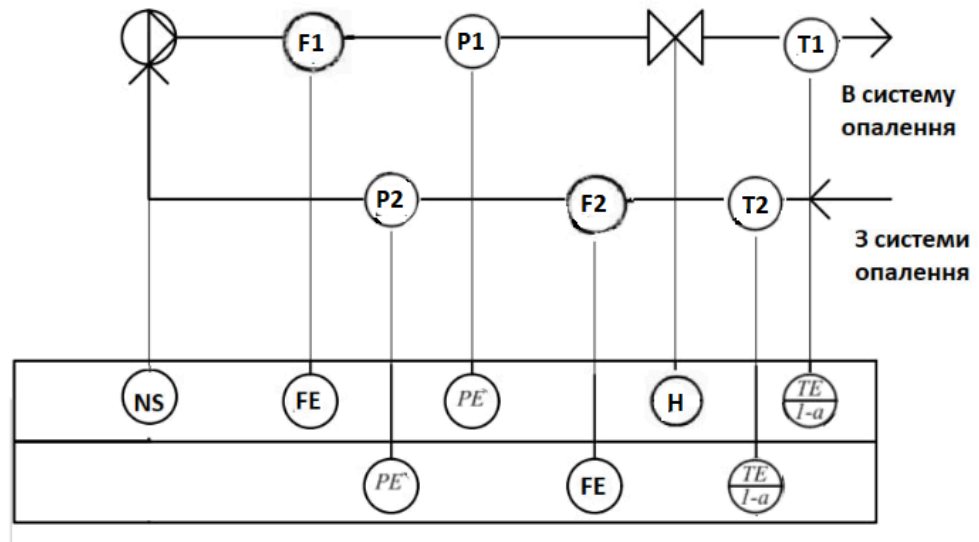


Рисунок 3.8 – Функціональна схема автоматизації процесу подачі теплоносія споживачу

T_1 – датчик температури, що визначає температури теплоносія, який відправляється в систему теплопостачання;

F_1 – витратомір, який визначає витрати теплоносія;

P_1 – датчик тиск, який визначає тиск в трубопроводі;

T_2 – датчик температури, що визначає температури теплоносія, що повернувся з системи теплопостачання;

F_2 – витратомір, який визначає кількість теплоносія, використовується для визначення підтікання в системі теплопостачання;

P_2 – датчик тиск, який визначає тиск в трубопроводі;

NS – насос;

H – клапан.

У розробляемому модулі автоматизації, датчик SITRANS TS500 для вимірювання температури може передавати дані через аналоговий вихід 4-20 мА; датчик тиску DST P140 підтримує аналогові виходи 4-20 мА, 0-10 В та цифрові інтерфейси; а потоку розрахунком SITRANS MAG 5000 має аналоговий вихід 4-20 мА, імпульсний та цифровий інтерфейс HART, PROFIBUS, Modbus RTU. Отже, всі ці датчики можуть бути прямо під'єднані до аналогових/цифрових входів ПЛК

Siemens S7-1200 або через польову шину Profibus чи мережу промислового Ethernet.

Вибір технічного обладнання для автоматизації системи тепlopостачання є обґрунтованим на основі його сумісності з контрольно-системою виробництва, взаємодії між компонентами та економічних показників. Програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200 підтримує стандартні протоколи, такі як PROFINET і Modbus TCP/IP, що дозволяє безпосередньо інтегруватися з контрольною системою без необхідності розробки спеціальних драйверів або застосування дорогих шлюзів. Датчики температури SITRANS TS500, тиску DST P140 і витратоміри SITRANS FM MAG 5000 також підтримують стандартні аналогові та цифрові інтерфейси, що сприяє їх легкій інтеграції.

Взаємодія між компонентами досягається завдяки їх походженню від одного виробника (Siemens), що гарантує повне узгодження й спрощує налаштування й обслуговування. Енергоефективний насос Wilo-Stratos MAXO чудово поєднується з загальною метою ефективного управління системою опалення. Клапани VVG44/VXG44 з лінійною або логарифмічною характеристиками потоку дозволяють точне регулювання подачі теплоносія за сигналами ПЛК. Стратегічне розташування датчиків гарантує повний моніторинг системи.

Економічні показники також перспективні. ПЛК S7-1200 пропонує хороше співвідношення ціна/функціональність для малих та середніх систем. Вибір компонентів одного виробника може зменшити витрати на інтеграцію та обслуговування. Енергоефективний насос скорочує експлуатаційні витрати. Використання стандартних протоколів і інтерфейсів уникає додаткових витрат. Точний моніторинг і регулювання оптимізують процес, скорочуючи потужності й енергетичні ресурси.

Щоб розрахувати температуру теплоносія для забезпечення комфортного мікроклімату у будівлі, можна використовувати формулу теплового балансу. Ось основна формула, що використовується для розрахунку температури теплоносія в опалювальній системі:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T, \quad (3.1)$$

де

Q – необхідна кількість тепла (Вт або Дж);

m – масова витрата теплоносія (кг/с);

c – питома теплоємність теплоносія (Дж/(кг·°C));

ΔT – різниця температур теплоносія на вході та виході теплообмінника (°C).

Якщо необхідно визначити температуру теплоносія на виході, коли відомі температура на вході, теплова потужність, масова витрата та питома теплоємність, то формула виглядає наступним чином:

$$T_{\text{вих}} = T_{\text{вх}} - \frac{Q}{m \cdot c}. \quad (3.2)$$

Для розрахунку температури теплоносія залежно від зовнішньої температури можна використовувати емпіричну формулу:

$$T_{\text{подачі}} = T_{\text{вулиці}} \cdot K + T_{\text{постійна}}, \quad (3.3)$$

де

$T_{\text{подачі}}$ – необхідна температура теплоносія (°C);

$T_{\text{вулиці}}$ – температура зовнішнього повітря (°C);

K – коефіцієнт, що враховує теплові втрати будівлі;

$T_{\text{постійна}}$ – константа, яка визначається для кожної конкретної будівлі, залежно від її теплових характеристик.

Основне рівняння теплового балансу:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T. \quad (3.4)$$

Замінімо теплову потужність Q та температури на їх відповідні функції у частотній області $Q(s)$, $T_{\text{вх}}(s)$, $T_{\text{вих}}(s)$:

$$Q(s) = m \cdot c \cdot T_{\text{ВХ}}(s) - T_{\text{ВІХ}}(s). \quad (3.5)$$

Передавальна функція $G(s)$ визначається як відношення вихідного сигналу до вхідного сигналу. В нашому випадку, це відношення температури на виході $T_{\text{ВІХ}}(s)$ до температури на вході $T_{\text{ВХ}}(s)$:

$$G(s) = \frac{T_{\text{ВІХ}}(s)}{T_{\text{ВХ}}(s)}. \quad (3.6)$$

Розглянемо теплообмінник як систему першого порядку з часовою константою τ та коефіцієнтом підсилення K :

$$\tau \frac{\delta T_{\text{ВІХ}}}{\delta T} + T_{\text{ВІХ}} = K T_{\text{ВХ}}. \quad (3.7)$$

Перетворення Лапласа цього рівняння дає:

$$\tau s T_{\text{ВІХ}}(s) + T_{\text{ВІХ}}(s) = K T_{\text{ВХ}}(s). \quad (3.8)$$

Розв'яжемо рівняння для $T_{\text{ВІХ}}(s)$:

$$T_{\text{ВІХ}}(s) \cdot (\tau s + 1) = K T_{\text{ВХ}}(s), \quad (3.9)$$

$$T_{\text{ВІХ}}(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \cdot T_{\text{ВХ}}(s). \quad (3.10)$$

Таким чином, передавальна функція системи буде:

$$G(s) = \frac{T_{\text{ВІХ}}(s)}{T_{\text{ВХ}}(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}, \quad (3.11)$$

де

K – коефіцієнт підсилення системи,

τ – часова константа системи.

Передавальна функція $G(s)$ у часовій області визначає відгук на одиничний ступінчастий вхід. Застосуємо зворотне перетворення Лапласа для визначення

часової області. Перемножимо передавальну функцію на одиничний ступінчастий вхід:

$$Y(s) = G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \cdot \frac{1}{s}. \quad (3.12)$$

Для зворотного перетворення використаємо стандартну таблицю перетворень Лапласа:

$$L^{-1} \left\{ \frac{K}{\tau s + 1} \cdot \frac{1}{s} \right\} = K(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \cdot u(t), \quad (3.13)$$

де

$u(t)$ – одинична сходи́нка

Таким чином, відгук датчика температури на вхідний ШІМ сигнал у часовій області буде:

$$y(t) = K(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}). \quad (3.14)$$

Використаємо коефіцієнт підсилення K і часову константу τ для побудови графіку. Згідно з умовами, $T_{\text{вх}} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$, а на виході очікується $70 \text{ }^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт підсилення ККК можна визначити з відомих температур:

$$K = \frac{T_{\text{вх}}}{T_{\text{вих}}} = \frac{70}{105} = 0,667. \quad (3.15)$$

Щоб створити графік передавальної характеристики відгуку датчика температури датчика температури SITRANS TS500 на вхідний ШІМ сигнал в MATLAB, використаємо отримані раніше дані (рисунок 3.9).

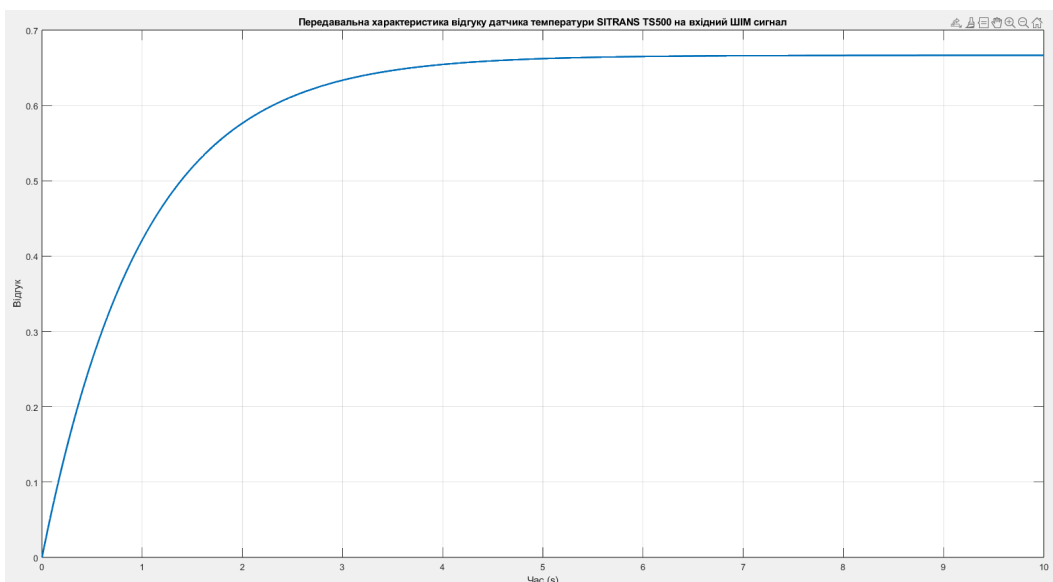


Рисунок 3.9 – Передавальна характеристика відгуку датчика температури SITRANS TS500 на вхідний ШІМ сигнал

3.3 Обґрунтування підбора типу програмного забезпечення автоматизації

Visual Studio є одним з найбільш потужних і широко використовуваних інтегрованих середовищ розробки для створення різноманітного програмного забезпечення. Розглянемо ключові причини для вибору Visual Studio як середовища розробки програмного забезпечення для автоматизації теплових пунктів (рисунок 3.10).

Visual Studio надає повноцінне інтегроване середовище, яке об'єднує всі необхідні інструменти для розробки, налагодження, тестування та розгортання програмного забезпечення. Це дозволяє зосередитися на розробці, зменшуючи час і зусилля на налаштування та інтеграцію різних інструментів.

Visual Studio пропонує потужні інструменти для налагодження, включаючи покрокове виконання коду, спостереження за змінними, налаштування точок зупинки та багато іншого. Це значно спрощує процес виявлення та виправлення помилок у кодї.

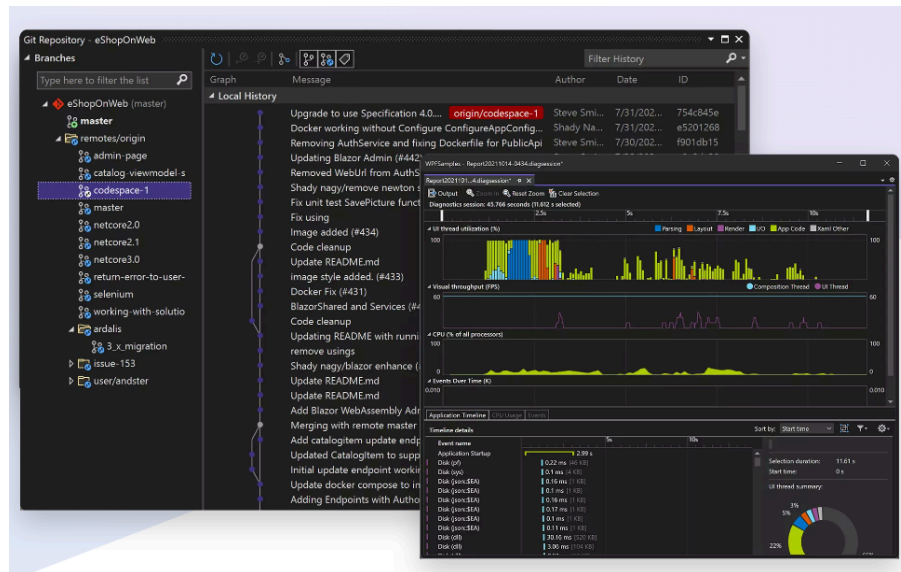


Рисунок 3.10 – Visual Studio

Visual Studio має розширену архітектуру, що дозволяє додавати нові функціональні можливості через розширення. Існує велика кількість безкоштовних та комерційних розширення, які можуть підвищити продуктивність розробки, такі як інтеграція з системами контролю версій, інструменти для роботи з базами даних, аналітичні інструменти тощо.

Основним середовищем розробки програмного забезпечення було обрано Visual Studio через мій значний досвід роботи з цією платформою

3.4 Розробка програмного забезпечення роботи модуля

Для повного функціонування модулю автоматизацію теплового пункту, потрібно зробити програмне забезпечення, яке дозволить нам:

а) отримувати вхідні дані від датчиків температури теплоносія на подавальній та зворотній лініях, датчиків тиску, датчиків зовнішньої та внутрішньої температури повітря;

б) проводити первинну обробку даних:

- 1) фільтрація надходячих масивів даних;
- 2) усереднення показників для стабільного управління;

в) визначати бажану температуру теплоносія обробляючи інформацію з датчиків зовнішньої температури, враховуючи температури споживачів, температура теплоносія, необхідний тиск та витрата;

г) порівнювати з вхідними даними з бажаними параметрами та розрахувати необхідні коригування;

д) генерувати керуючі сигнали для виконавчих механізмів, таких як електронний адаптивний клапан та насос;

е) регулювати потік теплоносія відповідно до керуючих сигналів програми для досягнення бажаної температури в системі опалення завдяки електронному адаптивному клапану;

є) регулювати витрату теплоносія відповідно до керуючих сигналів програми для забезпечення належного тиску та циркуляції;

ж) проводити моніторинг даних завдяки технології SCADA, та поточні значення датчиків та коригувати керуючі сигнали для підтримання бажаних параметрів системи опалення. Моніторинг включає в себе:

- 1) відстеження змін параметрів в реальному часі;
- 2) виявлення відхилень від бажаних параметрів;
- 3) автоматичне коригування налаштувань для підтримки стабільної роботи;

з) надавати звіти та статистичні дані про роботу системи опалення. Програма повинна сповіщати про будь-які відхилення чи несправності такі як:

- 1) перевищення або зниження температури;
- 2) надмірний або недостатній тиск;
- 3) збої у роботі датчиків або виконавчих механізмів.

В ході роботи було, розроблено алгоритм роботи програмного забезпечення (рисунок 3.10).

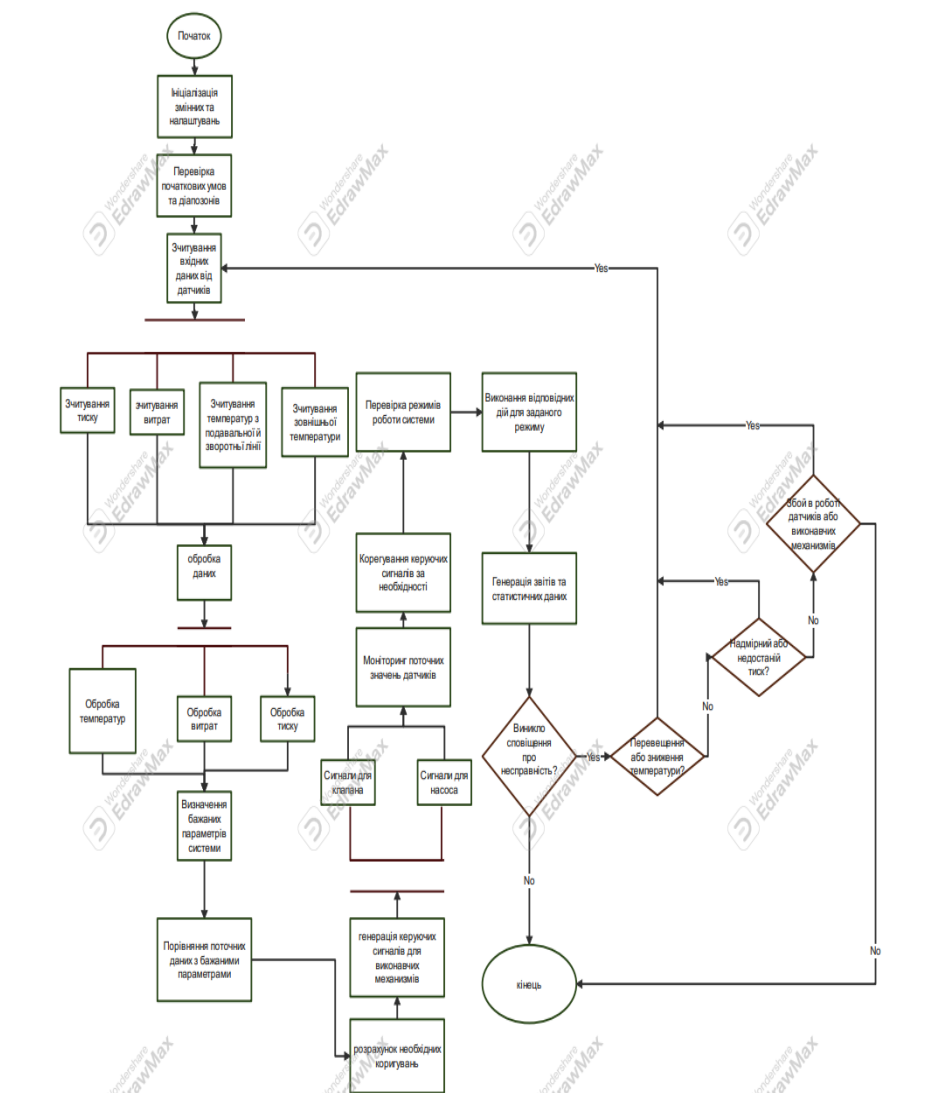
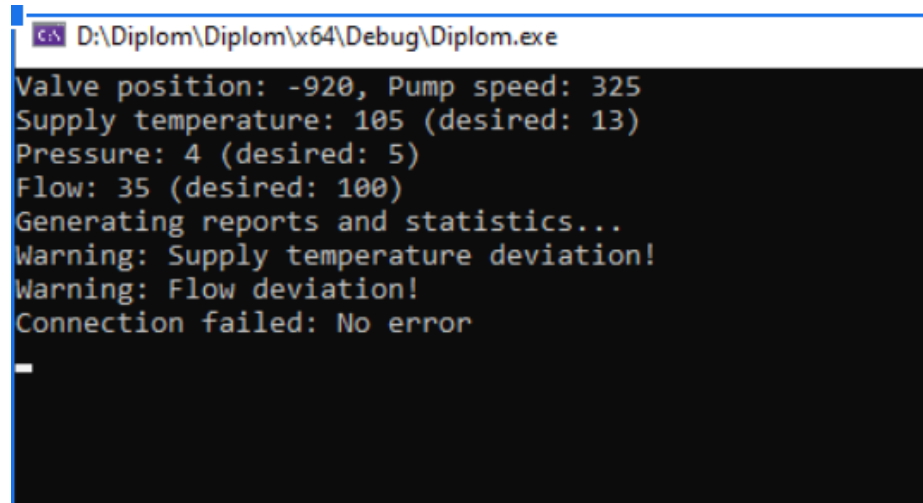


Рисунок 3.10 – Алгоритм роботи програмного забезпечення

Використовуючи, словесний опис програмного забезпечення, та алгоритм роботи удосконаленого модулю управління режимами теплообмінника, було створено тестову програму, в якій зазначені постійні значення, бо можливості використати потрібні технічні засоби автоматизації не є можливими (Додаток А).

В результаті, ми отримали інтерфейс на котрому можна побачити, температуру на вході в теплову мережу, витрати теплоносія та тиск (рисунок 3.11).



```
D:\Diplom\Diplom\x64\Debug\Diplom.exe
Valve position: -920, Pump speed: 325
Supply temperature: 105 (desired: 13)
Pressure: 4 (desired: 5)
Flow: 35 (desired: 100)
Generating reports and statistics...
Warning: Supply temperature deviation!
Warning: Flow deviation!
Connection failed: No error
-
```

Рисунок 3.11 – Результат работы

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО МОДУЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Перевірка працездатності вдосконалого модуля автоматизації

В Україні опалення житлових приміщень регулюється спеціальними законами і постановами. Згідно із "Законом України про житлово-комунальне господарство", нормативна температура в будинках має бути не нижчою за +20 °С для кутових кімнат +18 °С для решти.

Для перевірки працездатності зробимо програму, яка буде отримувати масив даних з датчиків температури теплоспоживача, котра буде перевіряти дані в діапазоні від 18 °С до 22 °С (Додаток Б).

Для перевірки діапазону даних створимо цикл, котрий перевірятиме чи знаходяться дані в визначеному діапазоні (рисунок 4.1).

```
std::string checkTemperature(double temperature, double minTemp = 18.0, double maxTemp = 22.0) {
    if (temperature < minTemp) {
        return "Temperature is too low. Increase the heat carrier temperature.";
    }
    else if (temperature > maxTemp) {
        return "Temperature is too high. Decrease the heat carrier temperature.";
    }
    else {
        return "Temperature is within the acceptable range.";
    }
}
```

Рисунок 4.1 – Функція перевірку діапазону даних

Для імітації роботи датчиків температури, зробимо рандомайзер, який буде видавати случайні числа від 10 до 30 (рисунок 4.2).

```
int main() {
    srand(static_cast<unsigned int>(time(0)));
    std::vector<double> temperatures(10);
    for (double& temp : temperatures) {
        temp = getRandomTemperature();
    }
}
```

Рисунок 4.2 – Рандомайзер

Створимо функцію, яка перевіряє значення температури та повертає відповідне повідомлення залежно від того, чи знаходиться температура в межах допустимого діапазону (рисунок 4.3).

```
std::string checkTemperature(double temperature, double minTemp = 18.0, double maxTemp = 22.0) {
    if (temperature < minTemp) {
        return "Temperature is too low. Increase the heat carrier temperature.";
    }
    else if (temperature > maxTemp) {
        return "Temperature is too high. Decrease the heat carrier temperature.";
    }
    else {
        return "Temperature is within the acceptable range.";
    }
}
```

Рисунок 4.3 – Функція перевірки значень температури та видачі відповідного повідомлення

В результаті створеної програми отримуємо результати (рисунок 4.4).

```
Temperature: 18.2534 - Temperature is within the acceptable range.
Temperature: 14.2122 - Temperature is too low. Increase the heat carrier temperature.
Temperature: 23.1297 - Temperature is too high. Decrease the heat carrier temperature.
Temperature: 11.2568 - Temperature is too low. Increase the heat carrier temperature.
Temperature: 16.4473 - Temperature is too low. Increase the heat carrier temperature.
Temperature: 19.5346 - Temperature is within the acceptable range.
Temperature: 22.1781 - Temperature is too high. Decrease the heat carrier temperature.
Temperature: 24.8888 - Temperature is too high. Decrease the heat carrier temperature.
Temperature: 15.7631 - Temperature is too low. Increase the heat carrier temperature.
Temperature: 23.3348 - Temperature is too high. Decrease the heat carrier temperature.
```

Рисунок 4.4 – Результат програми

4.2 Охорона праці оператора автоматизованого центрального теплового пункту

Під час роботи з вдосконаленим модулем на тепловому пункті необхідно дотримуватися таких вимог охорони праці:

- теплові пункти повинні розміщуватися в окремих ізольованих приміщеннях з припливно-витяжною вентиляцією;
- приміщення повинні мати достатньо місця для нормального обслуговування обладнання;
- приміщення, довжина яких перевищує 12 м, повинні мати не менше двох виходів;
- у підземних камерах площею від 2,5 кв.м до 6 кв.м повинно бути не менше двох люків, а для камер площею понад 6 кв.м – не менше чотирьох люків;
- спускатись у камери потрібно стаціонарними металевими сходами та скобами-східцями, розміщеними безпосередньо під люками;
- для переміщення обладнання та арматури повинні бути інвентарні підйимально-транспортні пристрої або стаціонарні пристрої відповідно до маси вантажу, що переміщується;
- дозволяється використовувати пересувні підйимально-транспортні засоби;
- за майстрами та слюсарями повинні бути закріплені відповідні ділянки теплової мережі з точним визначенням меж обслуговування;
- оперативне обслуговування здійснює черговий диспетчер району та центральної диспетчерської служби;
- обходи теплотраси без спускання у підземні споруди здійснюються групою не менше ніж з двох працівників;
- під час спускання в камеру або проведення робіт у ній має бути не менше трьох працівників;
- під час обходів працівники повинні мати необхідні інструменти, засоби освітлення, газоаналізатори та сигнальні жилети;
- роботи, пов'язані з пуском водяних і парових теплових мереж, та випробування мереж повинні проводитися за затвердженими програмами;
- гідропневматичне промивання трубопроводів та випробування мереж на розрахунковий тиск і температуру проводяться під керівництвом відповідальних осіб;

- теплопроводи заповнюються водою під тиском, що перевищує статичний тиск не більше ніж на 0,2 МПа;
- під час заповнення мережі працівники повинні знаходитися збоку від фланцевих з'єднань;
- повітряні клапани відкриваються вручну, без застосування важелів або інших пристосувань;
- приміщення теплових пунктів, де немає постійних працівників, замикати на замок, ключі зберігати у встановлених місцях;
- проводити ремонтні роботи за температури теплоносія менше +75 °С, за більш високої температури – тільки після виведення системи з дії;
- перевіряти стійкість укосів і міцність кріплення траншей перед початком монтажу трубопроводів;
- заборонено перебувати працівникам у траншеї або камері під час опускання в них труб або обладнання до остаточного закріплення;
- під час робіт у тунелях за температури повітря понад +45 °С працівники повинні бути одягнені у теплий одяг;
- не дозволяється перебувати у тунелях за температури повітря понад +50 °С;
- вмикати та вимикати первинні вентиля датчиків автоматики повинні лише працівники, які обслуговують теплотехнічне обладнання .
- проводити огляд, налагодження, ремонт пристроїв контролю та авторегуляторів відповідно до встановлених правил і норм;
- комплексні випробування технологічних захистів після ремонту або монтажу проводити за спеціальними програмами з вказанням заходів безпеки;
- від'єднувати датчики від трубопроводів через перекривання первинних вентилів без використання важеля;
- при тиску понад 6 МПа використовувати два послідовно встановлених запірних вентиля;
- перевіряти відсутність тиску в імпульсній лінії шляхом сполучення її з атмосферою;

- продування імпульсних ліній проводити за нарядом з дотриманням встановленої технологічної послідовності;
- роботи у важкодоступних місцях та місцях з високою температурою проводити не менше ніж двома працівниками;
- заборонено проводити роботи при температурі повітря понад +60 °С;
- всі теплові мережі та системи повинні бути обладнані згідно з Правилами технічної експлуатації теплових установок і мереж, затвердженими наказом Міністерства палива та енергетики України від 14 лютого 2007 року № 71;
- для установок, де неприпустима різка зміна параметрів або скорочення теплопостачання, адміністрація повинна розробити заходи, що унеможливають пожежу або вибух. Експлуатація таких установок повинна проводитись за інструкцією, затвердженою адміністрацією;
- працівники повинні виконувати тільки доручену їм роботу. Перехід на інше робоче місце здійснюється тільки з дозволу начальника після проходження відповідного інструктажу;
- забороняється самовільно залишати робоче місце. У разі хвороби або поганого самопочуття працівник зобов'язаний повідомити про це безпосереднього керівника;
- робоче місце повинно утримуватися в чистоті та порядку;
- під час включення установки в роботу повинен здійснюватися повільний прогрів паропроводу та апарата. Швидкість підняття тиску і температури повинна відповідати інструкції з безпечного обслуговування;
- чистити, змащувати і ремонтувати обладнання з рухомими частинами дозволяється тільки після його зупинки і встановлення відповідних запобіжних заходів;
- запускати обладнання після зупинки має право тільки працівник, який здійснював зупинку або який прийняв по зміні обов'язки;
- необхідно унеможливити потрапляння пожежовибухонебезпечних чи отруйних газів у робоче приміщення;

- Над установками з паровиділенням повинні встановлюватися витяжні пристрої або примусова витяжна вентиляція;
- теплові установки з отруйним або вибухонебезпечним середовищем повинні мати зворотний клапан на підвідній лінії;
- рухомі частини машин, розташовані на висоті менше 2 м, повинні мати огороження;
- механізми повинні мати пристрої для переведення ременів з робочого на холостий шків;
- надягання, знімання та підправління приводних ременів під час роботи забороняються;
- забороняється стояти на бар'єрах, запобіжних кожухах та інших конструкціях, що не призначені для проходу;
- під час користування паровим або водяним шлангом необхідно перевіряти міцність кріплення.

ВИСНОВКИ

Отримані під час роботи результати свідчать про те, що для підвищення ефективності автоматичного управління ЦТП основних режимів необхідно провести комплекс заходів, спрямованих на модернізацію існуючої системи. Діагностика роботи сучасних ЦТП в Україні показала, що більшість працюють як на застарілому обладнанні, так і з використанням застарілих методів автоматизації і контролю, що значно обмежує їхню ефективність та можливості гарантувати стабільність опалення.

Проаналізувавши стан технічного обладнання та програмного забезпечення, було виявлено, що варто замінити застарілі компоненти на сучасні, які надають наблизений управління з точністю та надією. Зокрема, варто звернути спеціальні можливості під час впровадження програмованих логічних контролерів, систем управління будівлями, SCADA та алгоритмів і штучного інтелекту для оптимізації всіх процесів. Найпоширеніші проблеми було визначено як відсутність інтеграції, вимірювань та алгоритмів контролю, а також відсутність засобів моніторингу та аналітики. Ці проблеми можна вирішити шляхом застосування сучасних технологій для забезпечення гнучкості та імітації.

Обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації, включаючи ПЛК Siemens S7-1200, регулюючі клапани VVG44/VXG44, датчики тиску DST P140, температури SITRANS TS500, витратомір SITRANS FM MAG 5000 та насос Wilo-Stratos MAXO. Вибір базувався на сумісності обладнання, підтримці стандартних протоколів, енергоефективності та економічних показниках. Наведено розрахунки для визначення температури теплоносія на основі теплового балансу та емпіричної формули з урахуванням зовнішньої температури. Також представлено передавальну функцію системи та побудовано графік передавальної характеристики відгуку датчика температури на вхідний ШІМ-сигнал.

Обґрунтовано вибір Visual Studio як середовища розробки програмного забезпечення для автоматизації теплових пунктів завдяки його потужним

можливостям, підтримці різних мов програмування, інтеграції з системами контролю версій та іншими інструментами.

Таким чином, концептуальні напрями подальшого розвитку ЦТП полягають у впровадженні інноваційних технологій автоматизації та управління, що дозволить значно підвищити ефективність та надійність систем централізованого тепlopостачання. Це включає інтеграцію з сучасними стандартами енергозбереження та енергоефективності, що є ключовим чинником для забезпечення сталого розвитку галузі тепlopостачання в Україні.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.
3. Управлінські дії оператора автоматизованого теплового пункту при зміні кліматичної температури для підтримки температури теплоносія. Редькін К.С, Іванов Л. С. (дата звернення: 10.05.2024).
4. Вдосконалення модуля автоматизованого управління режимами роботи теплообмінника на ЦТП. Редькін К.С, Іванов Л.С. (дата звернення: 10.05.2024).
5. Дослідження температурної залежності теплоносія від температури житлових приміщень з урахуванням кліматичної температури повітря. Редькін К.С, Іванов Л.С. (дата звернення: 10.05.2024).
6. Редькін К., Іванов Л. Впровадження системи управління якістю в галузі надання послуг населенню щодо забезпечення тепlopостачання. Виробництво & Мехатронні Системи 2021: матеріали V-ої Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2021 р.: тези доповідей [електронний друк], 2021. – с. 159-161.
7. SCADA система, що це таке [Електронний ресурс].URL:<https://indusoft.com.ua/blog/2019/10/29/scada-systema-hto-jeto-takoe/> (дата звернення: 10.05.2024).
8. Автоматизація теплових вузлів [Електронний ресурс].URL: <https://www.ensave.org/автоматизация-итп-цтп-тепловых-узлов> (дата звернення: 26.05.2024).

9. What is Industrial Automation Module? [Електронний ресурс].URL: <https://ricoautomation.com/what-is-industrial-automation-module/#:~:text=Industrial%20automation%20modules%20are%20components,and%20execution%20of%20various%20tasks> ((дата звернення: 26.05.2024).

10. Siemens VVG44 / VXG44. URL: https://energopribor.zp.ua/siemens_vvg44.html (date of access: 15.06.2024).

11. Датчик Тиску WIKA A-10 - 12719341 URL: <https://peko.com.ua/process-sensors/pressure-sensors/wika-a-10-12719341-0-400-bar> (дата звернення: 15.06.2024).

12. SITRANS FM MAG 5000. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/kontrolno-vymiryuvalni-prylady/vytratomiry/elektromahnitni-vytratomiry/sitrans-fm-mag-5000.html> (date of access: 15.06.2024).

13. Терморезистор PT-100 PT 100 PT100. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/ru/prod1818-termorezistor-pt100-platinovii-vodonepronicaemii> (дата звернення: 15.06.2024).

14. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок. Офіційний веб портал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2127-13#Text> (дата звернення: 15.06.2024).

15. Іванов Л., Ковальов І. Якість надання послуг опалення населенню. Виробництво & Мехатронні Системи 2021: матеріали V-ої Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2021 р.: тези доповідей [електронний друк], 2021. – с. 171-174.

16. Іванов Л., Кирпота Ф. Переваги та недоліки в роботі існуючих автоматизованих теплових пунктів. Виробництво & Мехатронні Системи 2021: матеріали V-ої Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2021 р.: тези доповідей [електронний друк], 2021. – с. 199-121.

17. Аналіз розміру та частки ринку комбінованого виробництва теплота електроенергії - тенденції зростання та прогнози (2023 - 2028 рр.). Precise market intelligence and advisory. Source: <https://www.mordorintelligence.com/>. <http://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-combined-heat-and-power-market-industry>. Обґрунтування необхідності модернізації існуючих центральних теплових пунктів в Україні [Електронний ресурс] / Невлюдов І. Ш. та інші. С. 7–8.