

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ**

Електричної інженерії та кіберфізичних систем  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота (проєкт)**  
**другий (магістерський)**  
(рівень вищої освіти)

на тему «Удосконалення системи управління міським тепловим розподільчим пунктом з метою підвищення ефективності використання теплоносія атомної електростанції»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.151-з  
спеціальності 151 Автоматизація і комп'ютерно-  
інтегровані технології

(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми автоматизація і комп'ютерно-  
інтегровані технології

(назва освітньої програми)

Штаба О. М.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доцент Міняйло Н. О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент заст. директора з автомат. ТОВ  
«ДП СВ Альтера Запоріжжя» Крат О. І.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем

Рівень вищої освіти другий магістерський

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

Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

Освітня програма Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Коваленко В. Л.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року



**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Штабі Олені Миколаївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи (проєкту) «Удосконалення системи управління міським тепловим розподільчим пунктом з метою підвищення ефективності використання теплоносія атомної електростанції»
- 2 Керівник роботи к.т.н., доцент Міняйло Н. О.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
 затверджені наказом ЗНУ від «02» червня 2022 року № 597-С
- 3 Строк подання студентом роботи 01.12.2022
- 4 Вихідні дані до роботи технічна документація з виробництва, аналіз сучасного рівня автоматизації теплових пунктів, ДСТУ, звіт з виробничої, переддипломної практики
- 5 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) загальні відомості про теплові пункти, автоматизовані системи на об'єктах комунального підприємства, дослідження тепло-розподільчого пункту як об'єкта управління в середовищі MATLAB, проектування автоматизованої системи управління тепловим розподільчим пунктом, практична реалізація автоматизованої системи керування.
- 6 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Тепло-розподільчий пункт, методики регулювання тепловим режимом, технологічна



схема роботи тепло-розподільчого пункту, структурна схема системи опалення у MATLAB, математичне моделювання системи САУ, дискретний вихід TWDCAE TWDLCAE 40DRF, модуль аналогових входів, графічний інтерфейс операторської панелі WEINTEK, тепловодолічильники СВТУ-10, висновки.

### 7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		Завдання Видані	завдання прийняті
I	к.т.н., доцент Міняйло Н. О.	15.04.2022	29.04.2022
II	к.т.н., доцент Міняйло Н. О.	03.10.2022	19.10.2022
III	к.т.н., доцент Міняйло Н. О.	20.10.2022	08.11.2022
IV	к.т.н., доцент Міняйло Н. О.	09.11.2022	15.11.2022
V	к.т.н., доцент Міняйло Н. О.	16.11.2022	30.11.2022

### 8. Дата видачі завдання 15.04.2022

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз технічної літератури	15.04.22-29.04.22	<i>Виконано</i>
2.	Розгляд теплового розподільчого пункту як об'єкта дослідження	03.10.22-05.10.22	<i>Виконано</i>
3.	Огляд сучасних теплових пунктів	06.10.22-09.10.22	<i>Виконано</i>
4.	Постановка мети, завдання, функції розроблюваної системи автоматизації	10.10.22-13.10.22	<i>Виконано</i>
5.	Проектування структурних схем автоматизованої системи контролю параметрів теплопостачання	14.10.22-19.10.22	<i>Виконано</i>
6.	Розробка математичної моделі автоматизованої системи та її проектування	20.10.22-08.11.22	<i>Виконано</i>
7.	Впровадження технічних засобів сучасних систем автоматизації та їх облік	09.11.22-15.11.22	<i>Виконано</i>
8.	Пошук шляхів удосконалення розроблюваної системи автоматизації	16.11.22-30.11.22	<i>Виконано</i>

Студент \_\_\_\_\_ Штаба О. М.  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Міняйло Н. О.  
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Овчинникова І. А.  
(підпис) (ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Штаба О.М. Удосконалення системи управління міським тепловим розподільчим пунктом з метою підвищення ефективності використання теплоносія атомної електростанції.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, науковий керівник Міняйло Н.О. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2022.

В кваліфікаційній роботі була надана інформація стосовно загального поняття тепловий пункт, його призначення, основні його завдання, типів теплових пунктів, а також стосовно методик регулювання теплового режиму. Запропонована технологічна схема майбутнього тепло-розподільчого пункту. Надається порівняльна характеристика автоматизованих систем в Україні і закордоном, враховуючи переваги і недоліки даних систем. Було розроблено структурну схему системи та математичну модель, за якою проведено дослідження цієї моделі в Matlab. За результатами моделювання можна зробити висновки, що введення коефіцієнта підсилювача впливає на час регулювання та величину статичної помилки. Також, в роботі було спроектовано графічний інтерфейс з метою здійснення контролю та регулювання параметрів системи автоматизації тепло-розподільчого пункту оператором технологом.

Ключові слова: ТЕПЛОВИЙ РОЗПОДІЛЬЧИЙ ПУНКТ, РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРИ, РЕГУЛЯТОР ТИСКУ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ, АЛГОРИТМ, МОДЕЛЮВАННЯ.

## ABSTRACT

Shtaba O. M. Improvement of the management system of the urban heat distribution point in order to increase the efficiency of the use of the heat carrier of the nuclear power plant.

Qualification thesis for a master's degree specializing in "151 – Automation and Computer Integrated Technologies", scientific supervisor Miniailo N.O. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational Scientific Institute in the name of Y.M. Potebni, Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems, 2022.

In the qualification thesis, information about the general concept of a thermal point, its purpose, main tasks, types of thermal points, as well as about the method of regulating the thermal regime was provided. The technological scheme of the future heat distribution point was proposed. A comparative description of automated systems in Ukraine and abroad is provided, taking into account the advantages and disadvantages of these systems. A structural diagram of the system and a mathematical model were developed according to which the research of this model was carried out in Matlab. Based on the simulation results, it can be concluded that the introduction of the amplifier coefficient affects the adjustment time and the amount of the static error. In addition, a graphic interface was designed in order to control and adjust the parameters of the automation system of the heat distribution point by a technologist operator.

**Key words:** HEAT DISTRIBUTION POINT, TEMPERATURE REGULATOR, PRESSURE REGULATOR, AUTOMATED CONTROL SYSTEM, TECHNICAL TOOLS, ALGORITHM, MODELLING.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕПЛОВІ ПУНКТИ.....	11
2. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ НА ОБ’ЄКТАХ КОМУНАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА .....	23
2.1 Тепло-розподільчий пункт міста.....	25
2.1.1 Опис технологічної схеми тепло-розподільчого пункту .....	27
2.2 Автоматизована система управління тепловим потоком житлових будинків м. Запоріжжя.....	29
2.3 Аналіз системи автоматизації закордоном.....	36
2.4 Завдання системи автоматизації.....	36
Завдання системи автоматизації умовного тепло-розподільчого пункту полягатимуть у наступному: .....	39
2.5 Мета та функції системи автоматизації.....	41
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛО-РОЗПОДІЛЬЧОГО ПУНКТУ ЯК ОБ’ЄКТА УПРАВЛІННЯ В СЕРЕДОВИЩЕ MATLAB.....	43
3.1 Розробка структурної схеми .....	44
3.2 Аналіз об’єкту.....	45
4. ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВОГО РОЗПОДІЛЬЧОГО ПУНКТА .....	50
4.1 Вибір теплообмінника .....	50
4.2 Вибір технічних засобів автоматизації.....	51
4.2.1 Вибір датчиків .....	51
4.2.2 Вибір контролера .....	53
4.2.3 Вибір перетворювача частоти.....	56
4.2.4 Вибір клапану і електроприводу .....	58
4.2.5 Вибір насоса .....	59
4.2.6 Вибір блока живлення .....	60
4.3 Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи управління тепловим пунктом .....	62
5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ..	79
5.1 Розробка структурної схеми .....	81
5.2 Особливості монтажу .....	81
5.3 Алгоритм вимірювань та технічні характеристики.....	83
теплолічильника свту-10м.....	83
5.4 Підсистема моніторингу та параметрів теплопостачання .....	85
5.5 Оцінка зовнішнього та внутрішнього середовища на основі SWOT аналізу.....	87
5.6 Удосконалення системи обліку спожитої теплової енергії .....	89

ВИСНОВКИ .....	92
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	94

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Основна увага у державній політиці України у галузі комунального теплопостачання приділяється економії енергетичних ресурсів. Останнє неможливе без реконструкції всієї міської системи центрального теплопостачання та, насамперед, районних групових та індивідуальних теплових пунктів, заміни застарілого обладнання на нове сучасне. Така модернізація та впровадження нових теплових пунктів дозволяє за деякими оцінками за рахунок економії у галузі розподілу та споживання тепла забезпечити вивільнення коштів, достатніх для вирішення проблем комунальної енергетики. Вже неодноразово доведена актуальність питання впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами у практику теплофікації та теплопостачання, оскільки це дозволяє різко підвищити технічний рівень експлуатації цих систем [1, 2]. Автоматизація дозволяє покращити якість опалення будівель, підвищити рівень теплового комфорту та ефективність промислового виробництва в опалювальних будівлях та спорудах, а також надійність теплопостачання.

*Метою і завданням роботи* є удосконалення системи управління міським тепловим розподільчим пунктом з метою підвищення ефективності використання теплоносія атомної електростанції з використанням сучасних технічних засобів.

*Об'єктом дослідження* є тепло-розподільчий пункт.

*Предметом дослідження* є автоматизована система управління автоматизованим тепло-розподільчим пунктом.

*Методи дослідження*

1. Метод порівняльного аналізу.
2. Метод імітаційного моделювання.
3. Метод комп'ютерного проектування.

*Наукова новизна одержаних результатів.*

1. Встановлено зв'язок між параметрами регулятора та якістю показників



управління тепло-розподільчого пункту в умовах використання теплоносія з атомної електростанції.

2. На відміну від існуючих систем розроблена система автоматизації відпрацьовує заданий параметр з урахуванням обурюючого вплива, а саме температури навколишнього повітря для умов системи управління розподільчим пунктом.

*Практичне значення одержаних результатів.*

1. Було розроблено структурну схему системи автоматизації та проаналізовано роботу відповідного технологічного обладнання та засобів автоматизації для тепло-розподільчого пункту.

2. Розроблено математичну модель автоматизованої системи управління температурою теплоносія на етапі подачі споживачам.

3. Було спроектовано графічний інтерфейс операторської панелі WEINTEK.

4. Було представлено систему моніторингу та параметрів теплопостачання.

5. Дана оцінка зовнішнього та внутрішнього середовища впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами на основі аналізу SWOT.

6. Розроблені рекомендації щодо удосконалення системи обліку спожитої теплової енергії.

*Особистий внесок дослідника.* В магістерській роботі узагальнені результати теоретичних та практичних досліджень виконаних автором у інженерному навчально-науковому інституті Запорізького національного університету. Особисто магістром обґрунтовані методи дослідження, поставлені завдання та сформульовані основні висновки. Автором проведена обробка даних автоматизованих систем управління технологічним процесом як в Україні, так і закордоном. Основні наукові результати роботи отримані магістром самостійно.

*Публікації.* Результати магістерської роботи опубліковано у тезах доповідей:

1. Штаба О. М. Моделювання системи управління опаленням в умовах

застосування теплового розподільчого пункту. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука - 2022» : у 5 т. / Запоріжжя: ЗНУ, 2022. Т.5. 262 с.

*Структура та обсяг магістерської роботи.* Робота складається з переліка умовних позначень, вступу, 5 розділів, висновків, 20 використаних джерела. Текст магістерської роботи викладено на 99 сторінках, містить 48 рисунків, 1 таблицю, 3 додатка на 3 аркушах.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕПЛОВІ ПУНКТИ

Тепловий пункт – це комплекс приладів, розташованих в окремому приміщенні, що складається з елементів теплових електростанцій, які дозволяють підключати ці установки до мережі опалення, їх продуктивність, керувати споживанням тепла, перетворення та контроль за параметрами теплопередачі та розподілом теплопередачі за споживанням.

Основне призначення теплових пунктів, що показано на рисунку 1.1, встановити та підтримувати параметри холодоагенту (тиск, температуру та витрату) на певному рівні, який необхідний для надійної та економічної експлуатації тепло-споживаючих установок. Схеми та обладнання підстанцій залежать від типу теплоносія та типу тепло-поглинаючого обладнання [1]. У разі парового холодоагенту основне обладнання теплових пунктів складається з паророзподільників, інструментів для контролю та керування параметрами пари (тиск, температура, витрата), теплообмінників для використання пари та вторинної киплячої пари, та ємності для конденсату та насосні агрегати для перекачування конденсату.



Рисунок 1.1 – Тепловий пункт

У разі водяного теплоносія основне обладнання теплових станцій складається з водострумних (елеваторних) та відцентрових насосів, водо-

водяних теплообмінників, резервуарів з гарячою водою, приладів для контролю та керування параметрами мережної води, приладів та пристроїв. Для захисту від корозії та утворення накипу від локальних установок гарячого водопостачання.

Теплові пункти оснащені пристроями для контролю та обліку тепла та теплоносія, а також автоматичними пристроями для керування подачею тепла та для підтримки заданих параметрів теплоносія в абонентські пристрої [1].

Основними завданнями теплового пункту є:

- перетворення типу теплоносія;
- регулювання та контроль параметрів теплоносія;
- розподіл теплоносія за системами споживання тепла;
- відключення систем споживання тепла;
- система захисту споживання тепла від збільшення параметрів рідини, що охолоджується, в аварійній ситуації.

Теплові пункти розрізняються за кількістю та типом в залежності від теплоємних систем, що підключаються до них, характеристики яких визначають термоциклювання та характеристики пристроїв теплових пунктів, а також тип установки та розташування пристроїв у приміщенні.

Існують такі типи теплових пунктів:

1. Індивідуальні теплові пункти. Використовується для обслуговування споживача (будівлі чи його частини). Зазвичай він розташований в підвалі або у технічній кімнаті будівлі. Проте через специфічні особливості будівлі його можна розмістити в окремій будівлі.

2. Центральні теплові пункти. Обслуговує групу споживачів (будівлі, промислові об'єкти). В основному в окремій будівлі, але може бути розміщено у підвалі або в технічному приміщенні однієї з будівель.

3. Блокові теплові пункти. Виготовлено на заводі та поставляється для збирання у вигляді збірних одиниць [1]. Може складатися з одного або кількох блоків. Пристрої зазвичай компактні на корпусі. Зазвичай використовується,

коли ви хочете заощадити місце. Через характер та кількість підключених споживачів блокові теплові пункти можуть ставитися як у індивідуальних, так і у центральних теплових пунктах.

Для типового теплового пункту можуть бути підключені такі споживчі системи опалення:

1. Система гарячого водопостачання. Призначений для забезпечення споживачів гарячою водою.

Є закриті та відкриті системи гарячого водопостачання. У відкритих системах гарячого водопостачання вода, що подається споживачеві, надходить безпосередньо із мережі опалення. У закритих системах водопровідна вода подається споживачеві, яка нагрівається теплообмінником, не змішуючись з водопровідною водою [1]. Вибір типу установки, як правило, залежить від якості мережної води, що подається із зони котельні. Споживачі часто використовують тепло від системи питної води для часткового обігріву приміщення, наприклад, рушником, для сушіння ванних кімнат багатоквартирних будинків.

2. Система опалення. Призначений для обігріву приміщень для підтримання бажаної температури повітря.

Існують незалежні та залежні схеми підключення систем опалення. У залежних системах вода, що надходить нагрівачеві, надходить безпосередньо з мережі опалення. Якщо встановлено незалежний теплообмінник, система ділиться на 2 контури – опалення та обігрів. Холодоагент, що циркулює в системі опалення, нагрівається котловою водою і не змішується з нею.

3. Система вентиляції. Призначений для підігріву повітря, що надходить у вентиляційні системи будівель.

Теплопостачання вентиляційної системи та системи опалення може здійснюватися за залежною чи незалежною схемою.

Найбільш поширений тепловий пункт із закритою системою гарячого водопостачання та незалежною схемою підключення до системи опалення.

Теплоносій, який проходить через лінію подачі тепла, передає своє тепло у системи опалення систем гарячого водопостачання та опалення, а також у систему вентиляції для споживача [1]. Потім він повертається до підведення тепла та повертається до генератора тепла для повторного використання. Частина рідини, що охолоджується, може споживатися споживачем. Для компенсації втрат у первинних мережах опалення котлів та теплової електростанції існують системи очищення, джерелами охолодження яких є системи очищення води цих підприємств. Впуск крана проходить через лічильник води, потім частину холодної води надходить у насосну станцію, де вона перекачується до необхідного тиску та подається споживачам. Її частина нагрівається першою. Водонагрівач надходить у каскад і надходить у циркуляцію [1]. В циркуляції вода циркулює з циркуляцією насосів гарячої води для споживачів і навпаки, і споживач при необхідності видаляє воду з циркуляції. Коли вода циркулює, вона поступово виділяє тепло, яке має підтримувати температуру води на певному рівні, вода у другому проточному водонагрівачі постійно нагрівається. Система опалення також забезпечує замкнутий контур, якому холодоагент транспортується від підстанції до системи опалення будівлі та назад через циркуляційні насоси опалення. Під час роботи охолодна рідина може виходити з контуру опалення, щоб компенсувати втрати. Існує система для живлення системи опалення, яка використовує первинні теплові мережі як джерело тепла.

Усі теплові пункти повністю автоматизовані та мінімізують експлуатаційні та трудові витрати. Робота точок теплових пунктів включає очищення води, регулювання параметрів теплоносія, розподіл та контроль необхідних параметрів, зупинку та захист систем рекуперації тепла у разі аварії з урахуванням витрати охолоджуючої рідини та енергії охолодної рідини.

Переваги теплових пунктів включають:

- мінімізація втрат тепла;



- витрати, відносно низькі експлуатаційні витрати, ефективність;
- можливість вибору типу джерела тепла та споживання тепла залежно від часу доби та пори року;
- безшумна робота, невеликі габарити (порівняно з іншими опалювальними приладами);
- автоматизація.

Теплові пункти можуть мати різні теплові цикли, типи систем опалення та характеристики обладнання в залежності від індивідуальних потреб замовника [1]. Повна комплектація теплових пунктів визначається виходячи з технічних параметрів тепломережі:

- теплове навантаження на мережу;
- температурний режим холодної та гарячої води;
- тиск у системах опалення та водопостачання;
- можлива втрата тиску;
- кліматичні умови та ін.

Тип потрібної точки нагрівання залежить від мети, для якої вона призначена, кількості систем опалення, кількості споживачів, способу конфігурації та установки та функцій, що виконуються продуктом.

У відкритому джерелі тепла вода для роботи точки обігріву надходить безпосередньо із теплових мереж. Водопоглинання може бути повним чи частковим. Кількість води, що відводиться для потреб підстанції, заповнюється потоком води у системі опалення [1]. Варто зазначити, що очищення води у таких системах здійснюється лише на вході в тепломережу.

Закрита система опалення – це повністю ізольована система, яка використовує оборотну воду у трубопроводі, не видаляючи її з мережі опалення. Така система використовує тільки воду як охолоджувальну рідину. Вихід рідини, що охолоджує, можливий, але вода автоматично заповнюється за допомогою регулятора заповнення [1]. Кількість холодоагенту в замкнутій системі

залишається постійною, а виробництво та розподіл тепла споживачеві визначається температурою холодоагенту. Закрита система характеризується високою якістю очищення води та високою енергоефективністю.

За способом постачання споживачів тепловою енергією розрізняють одноступінчасті та багатоступінчасті підстанції. Одноступенева система характеризується прямим підключенням споживачів до мережі опалення. Кожне опалювальне обладнання має мати власне технологічне обладнання (обігрівачі, підйомники, насоси, арматура, обладнання та засоби автоматизації і т. ін.). Недоліком одноступеневої системи підключення є обмеження максимально допустимого тиску в теплових мережах через ризик високого тиску для радіаторів. У цьому відношенні ці системи здебільшого використовуються для невеликої кількості споживачів та для коротких теплових мереж.

Багатоступінчасті системи зв'язку характеризуються точками нагрівання між джерелом тепла та споживачем. Індивідуальні теплові пункти це окремі пункти опалення обслуговують невеликого споживача (будинок, невелика будівля або будівля), вже підключеного до системи центрального опалення. Завдання цього теплового пункту – забезпечити споживача гарячою водою та опаленням [1]. Вони традиційно розташовані у підвалі або технічній кімнаті будівлі, рідко в окремих кімнатах. Індивідуальні теплові пункти складаються з двох контурів: перший контур – це контур опалення для підтримки бажаної температури в опалювальному приміщенні за допомогою датчика температури. Другий цикл – це цикл гарячої води. Індивідуальні теплові пункти призначені для гарячого водопостачання та опалення опалювальних систем у промислових та адміністративних будівлях, теплицях, будівельних майданчиках та тимчасового опалення відремонтованих чи збудованих об'єктів.

Системи опалення будинків з'єднують одну точку опалення з тепловими мережами за допомогою змішувально-підйомних установок, змішувальних насосів, які повинні бути безшумними, або за допомогою поверхневих

теплообмінників [1]. Одним з основних елементів підстанції є ліфт, який знижує температуру води до температури, допустимої в системі. Перевагами ліфтів є низька вартість, повна надійність, відсутність експлуатаційних витрат та потреба в електриці. Недоліком ліфта є неможливість швидкої зміни коефіцієнта змішування, що призводить до «перегріву» при падінні, коли температура опалювальної мережі перевищує температуру системи.

Центральні теплові пункти забезпечують тепло групою будівель та споруд. Система центрального опалення забезпечує споживачів гарячою водою, холодною водою та теплом. Ступінь автоматизації та розподіл точок центрального опалення (тільки контроль параметрів або контроль/контроль параметрів системи центрального опалення) визначаються замовником та технологічними вимогами. У схемі залежного підключення охолодна рідина в місці нагрівання сама ділиться на систему опалення та систему гарячого водопостачання [1]. На незалежній принциповій схемі охолоджувальна рідина у другому контурі точки нагрівання нагрівається водою із теплової мережі. Вони доставляються на місце збирання у повній підготовці. В наступному місці використання здійснюється тільки підключення до теплових мереж.

Блокова станція має блокову конструкцію. Вона може складатися з декількох блоків (модулів), які часто монтуються на одній комбінованій рамі. Кожен модуль є незалежним. Станція опалення може містити окремі пункти опалення і пункти центрального опалення.

Принцип дії теплових пунктів полягає в тому, що тепла енергія постачається у джерела тепла компаніями, які виробляють тепло через теплові мережі – первинні теплові мережі. Вторинні або розподільні теплові мережі вже пов'язують тепловий пункт із кінцевим користувачем. Основні теплові мережі зазвичай мають велику довжину, що з'єднує джерело тепла з самою точкою нагрівання [1]. Мережі централізованого теплопостачання часто можуть об'єднувати кілька компаній, що виробляють тепло, що підвищує надійність

енергопостачання споживачів. Перед входом до основної мережі вода проходить обробку, яка забезпечує хімічні показники води (жорсткість, рН, кисень, вміст заліза) відповідно до нормативних вимог. Це необхідно для зменшення корозійного впливу води на внутрішню поверхню труб. Розподільні лінії мають відносно коротку довжину і з'єднують підстанцію та кінцевого користувача.

Холодоагент (холодна вода) проходить через лінію подачі до точки нагрівання, де проходить через насоси подачі холодної води. Крім того, він використовує первинний водонагрівач (охолодну рідину) та подається в контур циркуляції системи гарячого водопостачання, звідки він досягає кінцевого користувача, повертається і безперервно циркулює. Щоб підтримувати необхідну температуру охолоджувальної рідини, вона безперервно нагрівається на другому ступені бака гарячої води [1]. Система опалення має той самий замкнений контур, що і система гарячого водопостачання. У разі витoku охолоджуючої рідини її об'єм відновлюється із системи подачі точки нагрівання. Потім охолодна рідина надходить у зворотну лінію і повертається через головні лінії в тепло-генеруючу компанію.

Для забезпечення надійної роботи пунктів обігріву вони оснащені наступним мінімальним технічним обладнанням:

- два пластинчасті теплообмінники (зварні або розбірні) для системи опалення та системи питної води;
- насосна станція для передачі холодоагенту споживачеві, а саме обігріву будівлі чи споруди;
- автоматична система контролю кількості та температури охолоджуючої рідини (датчики, регулятори, витратоміри) для контролю параметрів охолоджуючої рідини з урахуванням теплових навантажень та контролю витрати;
- система очищення води;

- технологічне обладнання – зворотні клапани, запірні арматури, контрольно-вимірювальні прилади, регулювальники.

Слід зазначити, що комплектація станції тепlopостачання технологічним обладнанням багато в чому залежить від схем підключення систем гарячого водopостачання та схеми підключення системи опалення. Наприклад, у закритих системах встановлені теплообмінники, насоси та водоочисні споруди для кращого розподілу холодоагенту між системою питної води та системою опалення [1]. У відкритих системах встановлені змішувальні насоси (для змішування гарячої та холодної води у правильних пропорціях) та регулятори температури.

Споживачі тепла (вентиляція, системи опалення та гарячого водopостачання) спроектовані та побудовані з урахуванням розрахункової потужності. Для систем опалення розрахована потужність – це кількість тепла, необхідна для компенсації втрат тепла у будівлі при розрахованій температурі зовнішнього повітря для опалення. Для систем вентиляції номінальна потужність визначається відповідно до призначення системи: при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для опалення або за розрахункової температури вентиляції. Місткість системи гарячого водopостачання визначається максимальним значенням води, що перекачується (або середнім значенням, якщо є батареї для гарячої води) за певної температури гарячої води. Проектна потужність під час експлуатації систем споживання тепла відповідає лише фактичній потреби у проектних умовах [2]. В час, що залишився, кількість тепла, необхідного системою, набагато менша номінальної потужності, і її величина залежить: від систем опалення та вентиляції, від зміни температури зовнішнього повітря; для систем гарячого водopостачання вартість перекачування води. Тому в системах тепlopостачання потік тепла повинен регулюватися так, щоб кількість тепла, що виділяється, відповідало потребам.

Відведення тепла для опалення можна регулювати трьома способами: якісним, кількісним та якісно-кількісним. Чисто описані методи контролю застосовуються тільки в окремих системах тепlopостачання, де споживачі тепла, вентиляції та гарячої води забезпечують джерелом тепла через незалежні труби. Для централізованого управління при низьких зовнішніх температурах використовується метод контролю якості у програмі системи опалення. При високих температурах зовнішнього повітря (восени та навесні) температура води у джерелі підтримується постійною на рівні не нижче рівня, необхідного для гарячої води.

Через центральне регулювання, локальне регулювання системи опалення та вентиляції необхідно восени та взимку (інакше необхідно нагрівати). При централізованому контролі якості відповідно до плану опалення потрібне місцеве регулювання систем вентиляції та гарячого водopостачання. Слід підкреслити, що у випадку централізованого керування у двотрубних мережах вироблення тепла відбувається зі значною широтою [2]. Тому локальне регулювання відпрацьованого тепла дуже бажано для всіх типів споживачів. Завдяки підвищенню температури води додаткова витрата водopровідної води на гарячу воду практично повністю виключається.

Найкращий метод керування подачею тепла в системах центрального опалення з нерівномірним тепловим навантаженням (опалення, гаряче водopостачання, вентиляція) є комбінацією центрального контролю якості теплового навантаження або контрольного навантаження загального опалення та гарячого водopостачання або локального опалення певних видів навантаження.

Локальне керування опаленням дозволяє регулювати температуру води, що подається в систему опалення, відповідно погодних умов на вулиці. Локальні системи керування параметрами теплопередачі забезпечують мінімізацію споживання тепла та оптимальний термoгiдрaвлiчний режим роботи системи. Вибір основного параметра для локального керування залежить від типу та



режиму роботи системи [2]. В системі гарячого водопостачання температура води після нагрівання закритих системах або після змішувача у відкритих системах зазвичай вибирається як параметр.

У системі вентиляції температура після нагрівальних елементів зазвичай вибирається як регульований параметр. Вибір параметра керування тепловим навантаженням є більш складним, оскільки температури в різних приміщеннях опалюваних будівель значно різняться і залежать від кількості тепла, що подається в будівлю та продуктивності системи опалення будівлі за умовами роботи кожної кімнати, тепловиділення в будинку, а також сонячного випромінювання та інфільтрація.

Регулювання теплового режиму може здійснюватися за наступним методикам:

1. Збурення – регулювання температури води в системі опалення відповідно до заданого температурного плану залежно від температури зовнішнього повітря або вбудованого метеорологічного дисплея з урахуванням температури зовнішнього повітря та сонячного випромінювання;

2. За зміною – регулювання температури повітря в будинках будівлі (температура репрезентативної кімнати або середня внутрішня температура кількох кімнат);

3. Комбінований – обурення та відхилення;

4. Управління програмою є свого роду принципом контролю несправностей, за винятком того, що керуюча дія використовується для формування керуючої дії. Цей принцип часто використовується у поєднанні з принципом компенсації перешкод.

5. Регулювання дефектів (принцип Понцелло) ґрунтується на тому факті, що система управління враховує обурюючі фактори і, беручи до уваги увагу ці фактори, встановлює алгоритм управління для компенсації впливу цих факторів на систему, руйнівні ефекти викликають відхилення контрольованої змінної.

6. При управлінні відхиленням параметр, що спостерігається, відстежується, і команда починається лише після визначення відхилення. Щоб врахувати зміни погодних параметрів зовнішнього клімату, слід використовувати датчики температури зовнішнього та внутрішнього повітря, сонячного випромінювання та вітру.

## 2. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ НА ОБ'ЄКТАХ КОМУНАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Розвиток та використання обчислювальної техніки, програмного забезпечення, засобів вимірювань призводить до істотного збільшення інформаційних потоків. Це повною мірою відноситься до обсягу переданих технологічних даних [2]. Досвід комунальних підприємств показує, що для постійного розвитку та вдосконалення, просто необхідно оперативно приймати правильні управлінські рішення, спрямовані на оптимізацію технологічних процесів та режимів роботи обладнання. Одним із основних шляхів вирішення цих завдань є автоматизація технологічних процесів.

За останні двадцять років накопичено величезний досвід у цьому напрямі. Динамічний технічний розвиток дозволяє в даний час перейти до впровадження локальних автоматизованих систем управління технологічними процесами. В Україні на комунальних підприємствах впроваджено та функціонує кілька десятків локальних автоматизованих систем управління технологічними процесами, які розробляються та впроваджуються різними підрядними організаціями з використанням різних типів обладнання, контролерів та програмного забезпечення [3]. Разом з цим, спостерігається те, що не забезпечується передача технологічних даних у системи верхнього рівня подальшого аналізу та оптимізації функціонування, як конкретних технологічних об'єктів, і підприємств загалом.

Така архітектура системи управління об'єктів дозволяє:

- в автоматичному режимі керувати роботою систем вентиляції, опалення, водопостачання;
- отримувати об'єктивну інформацію про роботу та стан усіх систем та своєчасно повідомляти про необхідність виклику фахівців із сервісного

обслуговування у разі відхилення параметрів будь-якої із систем від штатних показників;

- контролювати максимально можливу кількість параметрів обладнання, точок контролю та показників систем, забезпечуючи їх ефективне використання та економію енергоресурсів;

- вести оптимальний режим управління інженерним обладнанням з метою скорочення витрат на використання енергоресурсів, що споживаються інженерними системами будівлі (гарячої та холодної води, тепла, електроенергії);

- вести об'єктивний аналіз роботи обладнання, дій інженерних служб при позаштатних ситуаціях на основі інформації автоматизованих баз даних, що документують усі прийняті рішення та багато іншого.

Важливими напрямками роботи комунальних підприємств є:

- оптимізація режимів виробництва та споживання енергії, організація її обліку та контролю;

- реалізація проєктів щодо впровадження енергоефективної техніки та продукції, передових технологій.

Таким чином, одним із способів забезпечення більш економічного та ефективного використання енергетичних ресурсів у житлово-комунальному господарстві є автоматизація інженерних систем тепло-розподільчих пунктів. В основі концепції систем лежить новий підхід до організації системи життєзабезпечення, при якому за рахунок комплексу програмно-апаратних засобів значно зростає ефективність функціонування та надійність управління усіма інженерними системами та виконавчими пристроями [3]. Даний підхід дозволяє за рахунок інтеграції інформації, що надходить від усіх експлуатованих підсистем (інформаційних мереж, електропостачання, систем опалення та вентиляції, охоронно-пожежної сигналізації, систем водопостачання),

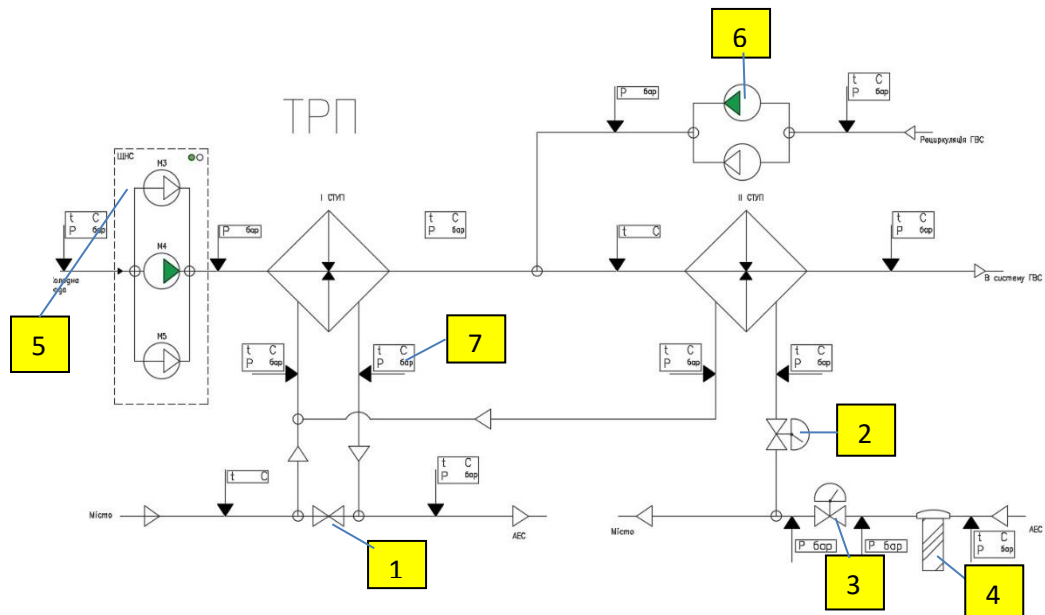
отримувати можливість оперативного доступу до інформації про стан усіх підсистем будівлі, відображаючи її в зручній та зрозумілій формі.

## 2.1 Тепло-розподільчий пункт міста

Одним з головних елементів системи тепlopостачання є тепло-розподільчий пункт, в якому здійснюється зв'язок між тепловою мережею і споживачами теплової енергії. Тепло-розподільчий пункт виконує прийом теплоносія, його перетворення, розподіл між споживачами, здійснює облік теплоспоживання, автоматично забезпечуючи при цьому:

- необхідні параметри теплоносія в системах опалення та вентиляції;
- температуру води в системах гарячого водопостачання;
- узгодження і стабілізацію гідравлічних режимів в тепловій мережі і в системах теплоспоживання.

Всі ці завдання можна реалізувати за рахунок автоматизації тепло-розподільчого пункту міста. Для втілення даної ідеї мною була розроблена технологічна схема теплового розподільчого пункту, яка показана на рисунку 2.1. Вихідні дані, що використовуються у проєкті, є умовними: загальна потужність теплового розподільчого пункту складає 4,07 МВт, точкою підключення є теплотраса діаметром Ду 200, температурний графік в зимовий період від 130 ° С до 70 ° С, літній період від 77° С до 46 ° С, перепад на теплопункті не менше 40 м вод. ст., мережева вода температурою від 70°С до 130 ° С згідно температурного графіка по трубопроводах прямої мережної води надходить з атомної станції на тепло-розподільчий пункт. Система опалення є закритою.



1 – засувка; 2 – регулятор температури; 3 – регулятор тиску; 4 – фільтр; 5 – циркуляційний насос; 6 – рециркуляційний насос, 7 – датчики температури і тиску

Рисунок 2.1 – Технологічна схема роботи тепло-розподільчого пункту

У теплорозподільному пункті пропонується встановлення наступного обладнання:

1. Для обліку кількості тепла встановлюється ультразвуковий тепловодолічильник типу СВТУ-10М, Ду 65,  $G_n = 120$  м<sup>3</sup>/год.
2. Для обліку холодної води, що йде в систему ГВП, встановлюються ультразвуковий лічильник холодної води типу СВТУ-10М, Ду 50,  $G_{\max} = 70$  м<sup>3</sup>/год.
3. Програмований логічний контролер Twido.
4. Електроприводи Honeywell.
5. Манометри показуючі.
6. Термометри біметалеві ТБ-100.

Регулювання температури та тиску води в системі здійснюватиметься в ручному або автоматичному режимі за допомогою регулюючих клапанів з електроприводами, що будуть встановлені на трубопроводі теплової мережі. В автоматичному режимі клапан по команді контролера Twido буде змінювати своє



положення. Автоматичний контроль основних технологічних параметрів виконуватиметься за місцем вимірювання за допомогою встановлених показувальних приладів, а також на панелі управління за допомогою показувальних та реєструючих приладів, встановлених у шафі контрольно-вимірювальних приладів та автоматики.

У тепло-розподільному пункті пропонується контроль технологічних параметрів у трубопроводах: у систему опалення та із системи опалення. Контроль тиску здійснюватиметься за місцем манометрами. Місцевий контроль температури буде проводитися біметалевими термометрами. Показуючі манометри та термометри будуть встановлені безпосередньо на технологічних трубопроводах. Усі насоси будуть захищені від струмів короткого замикання та перегріву.

Проектом автоматизації передбачається:

- автоматичне керування насосами (сигналізація стану насосів);
- світлова та звукова сигналізація на щиті, встановленому у приміщенні;
- порушення електропостачання;
- аварійно низький тиск води.

Таким чином, система автоматизації умовного тепло-розподільного пункту має включати рішення контролю, автоматизації і сигналізації. Устаткування тепло-розподільного пункту має бути оснащеним засобами контролю та автоматизації технологічного обладнання в обсязі, достатньому для надійної, економічної та безаварійної експлуатації, а також забезпечувати можливість аналізу роботи обладнання.

### 2.1.1 Опис технологічної схеми тепло-розподільного пункту

За функціональним призначенням умовний тепло-розподільчий пункт пропонується розділити на окремі вузли (додаток А), що пов'язані між собою трубопроводами та мають відокремлені та загальні засоби автоматичного керування:

- І - вузол введення теплової мережі;

- II - вузол узгодження тисків (у тепловій мережі та системах теплоспоживання);
- III - вузол приєднання системи гарячого водопостачання;
- IV – вузол приєднання систем опалення.

Передбачається, що тепло-розподільчий пункт буде забезпечувати споживачів тепловою енергією та гарячою водою. Вибір технологічного обладнання та засобів автоматизації за даною схемою буде проводитися з каталогу обладнання фірми Danfoss, Schneider, Honeywell, Alfa Laval, WILO.

Вузли введення теплової мережі та погодження тисків є обов'язковою належністю опалювального теплового пункту.

Вузол погодження тисків призначений для забезпечення роботи всіх елементів теплового пункту, систем теплоспоживання, а також теплових мереж у стабільному та безаварійному гідравлічному режимі.

Обладнання вузла погодження тисків дозволить:

- підтримувати постійні перепади тиску теплоносія на виконавчих механізмах регулюючих пристроїв систем теплоспоживання;
- забезпечувати тиск теплоносія у трубопроводах у межах, допустимих для елементів систем та самого теплового пункту;
- гарантувати заповнення систем теплоносієм та захищати їх від спорожнення;
- забезпечувати нескипання перегрітого теплоносія у верхніх точках систем теплоспоживання;
- за необхідності обмежувати граничну витрату теплоносія;
- здійснювати автоматичне гідравлічне балансування теплових мереж.

Спосіб приготування гарячої води (вузол приєднання системи гарячого водопостачання) для господарсько-питних потреб відбуватиметься за закритою системою тепlopостачання при якій нагрівання водопровідної води для гарячого водопостачання проводиться завдяки пластинчастому теплообміннику.

Контур опалення на технологічній схемі приєднаний до зовнішньої теплової мережі за залежною схемою. Залежна схема приєднання системи опалення – найпоширеніша нині. За вимогами нормативних документів, вона є пріоритетною. Ця схема приєднання застосовується, перш за все, при однаковому графіку регулювання температури теплоносія в тепловій мережі та системі опалення. Залежна схема не потребує використання дорогого тепломеханічного обладнання. Головним її елементом є насос, який необхідний для автоматизації вузла.

## 2.2 Автоматизована система управління тепловим потоком житлових будинків м. Запоріжжя

У рамках реалізації інвестиційного проекту з метою зниження втрат і підвищення ефективності використання теплової енергії на потреби опалення та гарячого водопостачання у житлових будинках м. Запоріжжя було запропоновано оснастити житлові будинки засобами комерційного обліку, автоматичного регулювання споживання теплової енергії і створити єдину диспетчерську систему моніторингу і контролю [4]. Для оперативного контролю теплових режимів роботи будинків передбачено створення єдиної диспетчерської системи моніторингу і контролю. Використання у єдиній системі вузлів обліку і регулювання на вводах у будинки дозволяє автоматизувати процес підготовки комерційних документів (виписки рахунків на оплату послуг теплопостачання), а також скоротити трудовитрати та виключити «людський фактор» із цих процедур. Реалізація програми дозволяє вирішити наступні проблеми:

### 1. Технічний аспект:

- зниження витрати теплової енергії;
- зниження витрати природного газу;
- зниження викидів вуглекислого газу у атмосферу;

- контроль теплового та гідравлічного режимів споживання теплової енергії у абонентів;

- зниження витрат на підготовку комерційної документації (рахунків).

## 2. Соціальний аспект:

- оплата послуг теплопостачання по факту споживання;
- зниження витрат населення на оплату послуг теплопостачання;
- забезпечення нормативних комфортних умов у опалювальних приміщеннях (квартирах);

- можливість стримування росту тарифів на теплову енергію при підвищенні ціни на первинні енергоносії (природний газ, електроенергія).

Встановлення приладів автоматичного регулювання дозволяє скоротити витрату теплової енергії у перехідні періоди (початок і кінець опалювального сезону) у середньому на 20%, а протягом опалювального сезону у середньому на 10%. Ці дані отримані на основі статистики при експлуатації регуляторів на вводах 34 багатоповерхових будинків у Запоріжжі [4]. У комплексі встановлення приладів комерційного обліку теплової енергії призводить до зниження витрат населення на опалення у середньому на 25%. Економічна ефективність проєкту забезпечується за рахунок зниження споживання природного газу на існуючих котельнях при зниженні споживання теплової енергії на потреби опалення і гарячого водопостачання населення. Реалізація проєкту дозволяє зменшити споживання газу і зменшує викиди двоокису вуглецю.

Зведені техніко-економічні показники проєкту наведені в таблиці 1. Розрахунки виконані для двох варіантів значень річного споживання теплової енергії на потреби опалення: А – визначення річної витрати теплової енергії на опалення виконано на підставі даних про фактичну витрату тепла на потреби опалення у типовому 9-ти поверховому 4 - під'їзному будинку; Б – у типовому 9-ти поверховому 3-під'їзному будинку.

Таблиця 1 - Основні техніко-економічні показники

№	Найменування	Од. вим.	А	Б
1	<b>Економічні характеристики</b>			
1.1	Строк життя проекту	років	15	15
1.2	Строк реалізації проекту		2010	2010
1.3	Капітальні витрати	тис. грн	38 600	38 600
1.4.	Джерело фінансування		комерційний кредит на 5 років	
1.5	Джерела погашення		підвищення абонентської плати за приєднану потужність на період повернення кредиту	
1.6	"Зелені інвестиції"	тис. грн	15 135	10 602
2	<b>Експлуатаційні характеристики</b>			
2.1	Річний відпуск теплової енергії на опалення житлових будинків	Гкал/рік	797 964	580 913
2.2	Очікуваний відсоток зниження споживання теплової енергії при впровадженні приладів автоматичного регулювання	%	5	5
2.3	Економія газу	тис. м3/рік	6 191	4 507
2.4	Поточна вартість природного газу для населення (за грудень 2008 р.)	грн/тис. м3	727,32	727,32
2.5	Вартість газу	тис. грн./рік	4 503	3 278
2.6	Економічний ефект при реалізації проекту	тис. грн./рік	2 103	878
3	<b>Показники ефективності</b>			
3.1	Коефіцієнт дисконтування	%	7	7
3.2	Чистий інтегральний дохід (NV)	тис. грн.	126 835	75 251
3.3	Простий строк окупності інвестицій (PP)	років	6,6	8,1
3.4	Чистий інтегральний дисконтований дохід (NPV)	тис. грн.	60 532	31 080
3.5	Дисконтований строк окупності (DPP)	років	6,9	8,9
3.6	Індекс прибутковості (PI)		2,568	1,805
3.7	Внутрішня норма рентабельності (IRR)		1,96	1,91

Зарубіжні компанії пропонують на українському ринку безліч автоматичних приладів, здатних забезпечити зменшення витрат теплоносія у тепловому пункті будинку при теплій погоді або вночі [4]. Вузли регулювання зазвичай складаються з циркуляційного насосу, який забезпечує постійні витрати теплоносія через систему опалення, регулюючого клапану, який при необхідності дроселює потік теплоносія теплової мережі, і контролера, який за командою відповідних датчиків керує роботою регулюючого клапану. Усі ці прилади компонується у модуль, який при необхідності має ще теплообмінник. На рисунку 2.3 показаний сучасний тепловий пункт нового багатоповерхового житлового будинку, де встановлені автоматизовані модулі [4]. На досить великій площі (більше 100 м<sup>2</sup>) такого теплового пункту працюють декілька циркуляційних насосів.



Рисунок 2.3 – Сучасний тепловий пункт з автоматизованими модулями

Незважаючи на наполегливі рекомендації представників європейських компаній про необхідність обладнання подібними стандартними автоматизованими модулями теплових пунктів існуючих житлових будинків, слід з великою обережністю відноситися до таких рекомендацій, тому що їх вартість занадто велика, а надійність занадто низька. Якщо під час сильних морозів трапиться випадкове відключення будинку від системи електропостачання, циркуляційні насоси зупиняться, і виникне небезпека заморожування системи опалення. Більшість теплових пунктів у житлових будинках обладнані елеваторами або регенераторами тепла, які працюють, не потребуючи електричної енергії [4]. Представники європейських компаній, які поставляють у Україні прилади автоматизації, стверджують, що такі теплові пункти не можуть бути автоматизовані, і що у них обов'язково мають встановлюватися разом із європейською автоматикою ще й циркуляційні насоси [4]. Але, насправді, є цілком позитивний вітчизняний досвід ефективної автоматизації старих теплових пунктів, застосовуючи лише вітчизняні прилади, які не потребують насосів, що показано на рисунку 2.4. Такі регулятори

здійснюють позиційне регулювання теплового потоку, яке ефективно працює у існуючих системах опалення.



Рисунок 2.4 – Вітчизняний регулятор теплового потоку

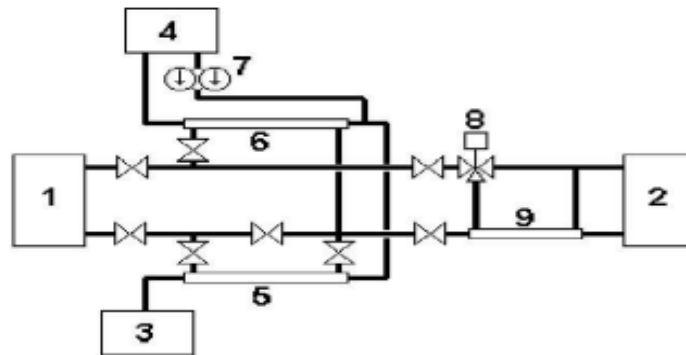
Не можна у підвалах старих будинків встановлювати автоматизовані модулі європейського зразка з циркуляційними насосами, тому що:

1. Це небезпечно у разі тимчасового відключення електричної енергії.
2. Це занадто дорого.
3. Це потребує додаткової трудомісткості при експлуатації.
4. В деяких будинках для цього не знайдеться місця у технічних підпіллях.

Практично єдиною можливістю для масової автоматизації теплових пунктів старих будинків є встановлення позиційних регуляторів перед існуючими елеваторними вузлами [4]. В Україні перші реальні кроки на шляху масової автоматизації теплових пунктів старих будинків зроблені у 2009 році у Запоріжжі, де встановлюються позиційні регулятори вітчизняного зразку.

Підприємством «Енергомінимум» розроблена принципова нова схема автоматизації, яка реалізує регулювання не шляхом зниження витрат мережної води, як завжди і усюди, а шляхом зниження температури теплоносія, що подається до

систем опалення, і відповідного підвищення температури води, що повертається до котельні [4]. При реалізації цього метода гідравлічно сталого регулювання у котельні миттєво знизяться витрати газу, тому що потрібно не так багато енергії, щоб підігріти теплоносії підвищеної температури до заданого рівня. На рисунку 2.5 показана принципова схема центрального теплового пункту (ЦТП) з регулятором нового типу, який забезпечує гідравлічно стале регулювання.



1 – тепломережа, 2 – системи опалення, 3 і 4 – холодний і гарячий водопровід, 5 і 6 – водопідігрівачі першого і другого ступеню, 7 – насос)

Рисунок 2.5 – Принципова схема ЦТП з регулятором нового типу

У 2008 році нова схема була реалізована на одному з центральних теплових пунктів у Запоріжжі [4]. Внаслідок досягнутої економії природного газу на котельні і зменшення витрат на його купівлю, фінансові витрати на влаштування вузла автоматичного регулювання у ЦТП повернулися через 4 тижні після його встановлення. У 2009 році таки вузли встановлюються ще на п'яти ЦТП у Запоріжжя (рисунок 2.6).





Рисунок 2.6 – Вузол теплообміну нової системи регулювання

Отже, будівлі центральних теплових пунктів зводилися заради того, щоб розміщувати у них шумні насоси радянського зразку і теплообмінники. Тепер це обладнання фізично і морально застаріле, і має поступово замінюватись практично безшумними сучасними насосами і компактними теплообмінниками, які у більшості випадків можуть розміщатися у теплових пунктах будинків.

Виведення з експлуатації центральних теплових пунктів дозволить:

- ліквідувати квартальні мережі гарячого водопостачання, які є головним джерелом втрат тепла і гарячої води у системі тепlopостачання;
- суттєво зменшити енергоємність системи тепlopостачання;
- зменшити трудомісткість ремонтних робіт на квартальних трубопроводах;
- вивільнити земельні ділянки для можливої забудови або для організації відпочинку громадян.

Тепер усі функції центрального теплового пункту можуть бути перенесені до індивідуальних теплових пунктів у будинки, а споруди, у яких розміщувалося обладнання ЦТП, можуть бути використані, приміром, для підприємств торгівлі, як це вже зроблено у республіках Балтії.

### 2.3 Аналіз системи автоматизації закордоном

Квартирні теплові пункти Logotherm, що призначені для побудови систем опалення та гарячого водопостачання багатоквартирних будинків, торговельно-офісних центрів, а також для підключення окремих будинків до системи центрального тепlopостачання, тривалий час використовуються в Європі.

Система, побудована на основі квартирних теплових пунктів Logotherm, забезпечує автономність як при використанні газового настінного котла, але при цьому вона може постачати тепло від різних джерел тепла, піднімає ефективність використання конденсаційної техніки, стимулює впровадження інноваційних джерел тепlopостачання.

Ідея системи Logotherm полягає в тому, що кожна квартира має свій власний маленький тепловий пункт, в якому розміщуються тепловий лічильник, лічильник холодної води, вузли приготування гарячого водопостачання та опалення [5].

До теплових пунктів Logotherm, що показано на рисунку 2.7, підходять лише 3 труби: лінія (T1) і зворотна (T2) лінія системи тепlopостачання, і холодний водогін (B).

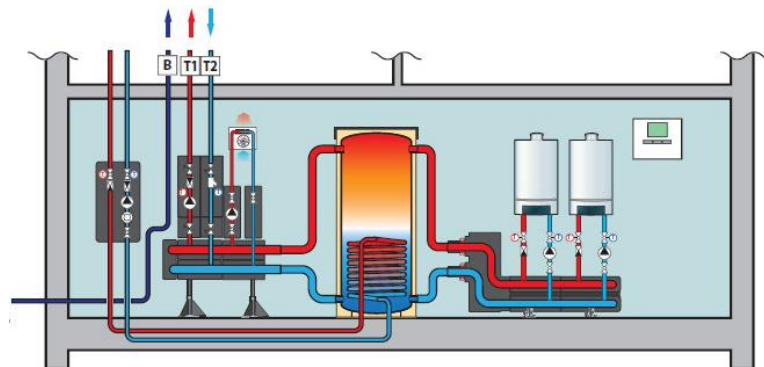


Рисунок 2.7 – Принципіальна схема котельної для системи Logotherm

Джерелом тепlopостачання може бути газова котельня, загальнобудинковий тепловий пункт, тепловий насос, геліосистема, або кілька джерел відразу. Наприклад, можна встановити вузол теплої підлоги з розподільним колектором

безпосередньо в квартирних теплових пунктів, або вузол гарячого водопостачання підвищеної потужності з вузлом рециркуляції. Коли в ньому йде приготування санітарної гарячої води, то подача теплоносія на систему опалення відключається [5]. Завдяки цьому потужність джерела теплопостачання при використанні системи Logotherm зменшується на 15-25% порівняно з класичною системою.

Максимальна потужність котельні підбирається виходячи з середньої потужності на гаряче водопостачання плюс максимальна потужність опалення за вирахуванням потужності опалення квартир, що користуються гаряче водопостачання [5]. На всі потреби опалення та гарячого водопостачання з котельні виходить одна магістраль (T1 і T2), рух якою забезпечує одна насосна група. Паралельно з тепловою магістраллю йде стояк із холодною водою, тиск та рух води в якому забезпечує місцевий водоканал. Тобто через всі поверхи йде стояк з 3-х труб.

Між котлами та насосами споживачів стоїть буферна ємність (неемальована), у якій зберігається тепло для закриття пікових водорозборів гарячого водопостачання. Якщо об'єм системи опалення великий, і її об'єму достатньо для зберігання тепла для пікового водорозбору, буферну ємність можна замінити на гідравлічну стрілку.

Всі квартирні теплові пункти Logotherm мають клапан для підключення зовнішньої автоматики та системи "розумний дім". Це дозволяє зменшити витрати тепла на опалення квартири на 15-30%, залежно від налаштованих режимів та рівня автоматики.

Щодо системи домашньої автоматизації останні кілька років вони набирають популярності по всьому світу. Мільйони жителів США, Канади, Західної Європи, Китаю та інших країн успішно користуються перевагами розумного будинку, але в Україні ця сфера ринку лише формується [5]. Експерти пояснюють такий стан справ високою вартістю самих «розумних» пристроїв та недостатньою поінформованістю покупців про переваги, які здатна дати автоматизація будинку.

Автоматичне управління опалювальною системою, контроль якості повітря, захист від незаконного проникнення та нагляд за дітьми – ось далеко не повний перелік можливостей, які розумний будинок дає своєму власнику. Центром управління такої smart-системи стає смартфон, і це дозволяє відмовитись від використання окремих пультів для кожного пристрою. Розумні прилади не лише дбають про комфорт та безпеку житла, а й беруть на себе виконання щоденних рутинних дій, звільняючи господарям час для відпочинку.

Насамперед, smart-система здатна вберегти свого власника від великих витрат на ліквідацію наслідків аварій. Розумний датчик протікання поєднаний з приводом контролю крана вчасно відключить подачу води, позбавивши господарів необхідності ремонту будинку після потопу, а датчики диму і газу дозволять запобігти виникненню пожежі [5]. Можливі фінансові збитки від квартирної крадіжки не поступаються витратами на повноцінний ремонт, у той час як наявність камер відеоспостереження та датчиків відкриття дверей та вікон може захистити житло від незаконного проникнення. Система домашньої автоматизації здатна керувати опалювальною системою: переводити опалення в економ-режим, коли мешканці відсутні, і «підігрівати» будинок до їхнього повернення. Це дозволяє зменшити витрати електрики на опалення до 60%.

Датчик руху, суміщений з розумним вимикачем, дозволяє економити на нічному освітленні сходів і коридорів. Автоматичне відключення забутих електроприладів також дозволяє уникнути додаткових фінансових витрат і унеможливило спалах.

У той же час, треба зазначити, що автоматизація виробництва має негативні сторони, серед яких можна виділити ускладнення виробничої системи, перекваліфікацію персоналу, поява вразливостей у роботі системи, зростання рівня безробіття. Однією з найістотніших проблем, пов'язаних з автоматизацією виробництва, є технологічне безробіття, що є втрата робочих місць, спричинена технологічними змінами [5]. Ця проблема зумовлює негативні погляди щодо

запровадження автоматизації. Також великою проблемою є нестача кваліфікованих кадрів, оскільки спеціалісти, які працюють на підприємствах, не знають сучасних стандартів роботи. Тим не менш, позитивних сторін автоматизації набагато більше, ніж негативних, тому більшість суб'єктів господарювання прагнуть перейти на автоматизовану працю. Вплив недоліків можна мінімізувати, створивши ефективну систему контролю за виробництвом.

## 2.4 Завдання системи автоматизації

Завдання системи автоматизації умовного тепло-розподільчого пункту полягатимуть у наступному:

- регулювання відпуску теплоти на опалення котеджів та плавального басейну;
- регулювання температури води на гаряче водопостачання;
- регулювання тиску води.

Регулювання температури в системі ГВП і опалення потрібно для того, щоб споживачу надходила вода заданої температури. Регулювання тиску води необхідно для забезпечення циркуляції води в системі опалення та ГВП, та запобігання застоювання в трубопроводі.

Основними параметрами тепло-розподільчого пункту буде температура зворотного теплоносія системи опалення, температура та тиск гарячої води системи ГВП. Температура зворотного теплоносія системи опалення має регулюватися витратою прямого теплоносія. Температура гарячої води системи ГВП має регулюватися витратою гріючого теплоносія у теплообмінник. Тиск прямого теплоносія системи опалення – за допомогою насосної групи.

Передбачається, що автоматична система регулювання буде підтримувати температуру зворотного теплоносія мережі опалення на заданому рівні. Для цього необхідно буде регулювати подачу прямого теплоносія, що подаватиметься до

системи опалення. Температура зворотного теплоносія опалювальної мережі є параметром, який представлятиме температуру в опалювальних приміщеннях. Температура прямого теплоносія є заданим параметром для системи автоматизації, що пропонується, так як буде залежати від постачальника теплової енергії – АЕС. Таким чином, регулюючим параметром буде витрата прямого теплоносія. Для збільшення температури зворотного теплоносія потрібно буде збільшити витрату прямого теплоносія, для зменшення температури – зменшити витрату. Зміна витрати відбуватиметься за допомогою регулюючого органу на трубопроводі прямої мережевої води.

Похідним регульованим параметром у системах теплопостачання буде витрата теплоти, обумовлена температурами й витратою теплоносія. Зміна параметрів теплоносія відповідно до фактичної теплової потреби абонентів підвищуватиме якість теплопостачання, скорочуватиме витрати теплової енергії. Адекватне визначення потрібної і фактичної витрат теплоти сприятиме можливостям максимальної економії теплової енергії, досягненню високих економічних показників у теплопостачанні.

Вхідними параметрами буде тиск, температура й витрата теплоносія, що надходить у нагрівальні прилади, потужність насосів, які забезпечують необхідний тиск у мережі котеджів і плавального басейну. Основними вихідними параметрами теплопункту буде температура зворотного теплоносія системи опалення, температура та тиск гарячої води системи ГВП. Вхідними параметрами буде витрата прямого теплоносія на опалення, витрата гріючого теплоносія у теплообмінник, потужність насосної групи системи опалення.

Таким чином, тепло-розподільчий пункт, що розглядається в якості об'єкта регулювання, представлятиме собою динамічну систему з декількома взаємозв'язаними вхідними і вихідними величинами. Однак виражена направленість ділянок регулювання по основним каналам регулюючих впливів дозволить здійснювати стабілізацію регулюючих величин через об'єкт регулювання.

## 2.5 Мета та функції системи автоматизації

Мета системи автоматизації тепло-розподільчого пункту, яка буде проєктуватися, полягатиме в найбільш ефективному вирішенні завдань окремими її ланками без безпосереднього втручання людини, отже автоматизована система управління теплорозподільним пунктом буде призначена для:

1. Для стабілізації заданих режимів технологічного процесу шляхом контролю технологічних параметрів, візуального представлення та видачі керуючих впливів на виконавчі механізми, як в автоматичному режимі, так і в результаті дій оператора.

2. Для визначення аварійних ситуацій на технологічних вузлах шляхом опитування підключених до системи датчиків в автоматичному режимі, аналізу вимірних значень та перемикання технологічних вузлів у безпечний стан шляхом видачі керуючих впливів на виконавчі механізми в автоматичному режимі, або з ініціативи оперативного персоналу.

Проєкт автоматизації тепло-розподільного пункту включатиме виконання функцій контролю, регулювання і сигналізації. Функції контролю будуть підлягати такі параметри тепло-розподільчого пункту:

- тиск прямого, зворотного теплоносія мережі опалення, гарячої води на вході мережі гарячого водопостачання, води у мережі холодного водопостачання;
- температура прямого, зворотного теплоносія мережі опалення та гарячої води на вході у мережу гарячого водопостачання;
- витрата прямого теплоносія, гарячої води у мережі гарячого водопостачання, води у мережі холодного водопостачання.

Функції регулювання будуть підлягати такі параметри теплового пункта:

- тиск прямого теплоносія;
- температура прямого теплоносія.

Головним завданням частотного перетворювача буде регулювання насоса таким чином, щоб його робочі параметри відповідали вимогам системи:

1. Режим підтримки постійного тиску при будь-якій подачі теплоносія. В цьому режимі на дисплеї буде показуватися тиск, який повинен створювати насос. Частотний перетворювач змінюватиме частоту обертання так, щоб цей тиск залишався постійним при будь-якій подачі.

2. Режим підтримки постійного тиску з врахуванням компенсації втрат на гідравлічні опори. В цьому режимі тиск, що створюється насосом, буде збільшуватися із збільшенням подачі для того, щоб компенсувати збільшені втрати на гідравлічні опори.

3. Режим підтримки постійної подачі. Цей режим буде використовуватися в циркуляційних системах, оскільки він дозволить забезпечувати постійну подачу незалежно від значення тиску.

4. Частотний перетворювач дозволить змінювати напрям обертання валу двигуна і забезпечувати його плавний пуск і зупинку.

Функція сигналізації застосовуватиметься для оповіщення оперативного персоналу про:

- вихід фізичної величини за межі, які визначають надійність роботи обладнання;
- вихід фізичної величини за межі, які визначають безпечність роботи обладнання (аварійна сигналізація);
- попередження спрацьовування технологічного захисту;
- відмову окремих елементів обладнання;

Сигналізація забезпечуватиметься для таких параметрів:

- тиск прямого та зворотного теплоносія мережі опалення.
- температура прямого та зворотного теплоносія мережі опалення;
- температура гарячої води на вході у мережу гарячого водопостачання.



### **3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛО-РОЗПОДІЛЬЧОГО ПУНКТУ ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ В СЕРЕДОВИЩЕ MATLAB**

MATLAB – це високорівнева мова технічних розрахунків, інтерактивне середовище розробки алгоритмів та сучасний інструмент аналізу даних. MATLAB у порівнянні з традиційними мовами програмування (C/C++, Java, Pascal, FORTRAN) дозволяє скоротити час вирішення типових завдань і значно спрощує розробку нових алгоритмів [6].

MATLAB є основою всього сімейства продуктів MathWorks і є головним інструментом для вирішення широкого спектру наукових та прикладних завдань, в таких галузях як: моделювання об'єктів та розробка систем управління, проектування комунікаційних систем, обробка сигналів та зображень, вимірювання сигналів та тестування, фінансове моделювання, обчислювальна біологія та ін. Ядро MATLAB дозволяє максимально легко працювати з матрицями реальних, комплексних та аналітичних типів даних та зі структурами даних та таблицями пошуку [7]. MATLAB містить вбудовані функції лінійної алгебри (LAPACK, BLAS), швидкого перетворення Фур'є (FFTW), функції для роботи з поліномами, функції базової статистики та чисельного розв'язання диференціальних рівнянь; розширені математичні бібліотеки для Intel MKL. Всі вбудовані функції ядра MATLAB розроблені та оптимізовані фахівцями та працюють швидше або так само, як їх еквівалент на C/C++.

Мова MATLAB є високорівневою мовою програмування, що включає базовані на матрицях структури даних, широкий спектр функцій, інтегроване середовище розробки, об'єктно-орієнтовані можливості та інтерфейси до програм, написаних іншими мовами програмування. Програми, написані на MATLAB, бувають двох типів – функції та скрипти. Функції мають вхідні та вихідні аргументи, а також власний робочий простір для зберігання проміжних результатів обчислень та змінних [7]. Скрипти використовують загальний робочий простір. Як скрипти, і

функції не інтерпретуються в машинний код і зберігаються як текстових файлів. Існує також можливість зберігати так звані pre-parsed програми – функції та скрипти, оброблені у вигляд, зручний для машинного виконання. У загальному випадку такі програми виконуються швидше звичайних. Основною особливістю мови MATLAB є його широкі можливості для роботи з матрицями.

MATLAB надає зручні засоби розробки алгоритмів, включаючи високорівневі з використанням концепцій об'єктноорієнтованого програмування. У ньому є всі необхідні засоби інтегрованого середовища розробки, включаючи налагоджувач та профайлер [7]. Функції роботи з цілими типами даних полегшують створення алгоритмів для мікроконтролерів та інших додатків, де це необхідно.

У складі пакету MATLAB є велика кількість функцій для побудови графіків, у тому числі тривимірних, візуального аналізу даних та створення анімованих роликів. Вбудоване середовище розробки дозволяє створювати графічні інтерфейси користувача з різними елементами керування, такими як кнопки, поля введення та інші [7]. За допомогою компонента MATLAB Compiler ці графічні інтерфейси можуть бути перетворені на самостійні програми.

### 3.1 Розробка структурної схеми

Об'єктом регулювання САУ теплопостачання є контур системи опалення з теплообмінником  $W_p(p)$ , вихідний параметр – температура теплоносія (у нашому випадку води) у контурі  $T_i(t)$ , яку потрібно підтримувати на заданому рівні шляхом зміни кількості тепла, що передається в контур із теплообмінниками з основної системи (рисунок 3.1).

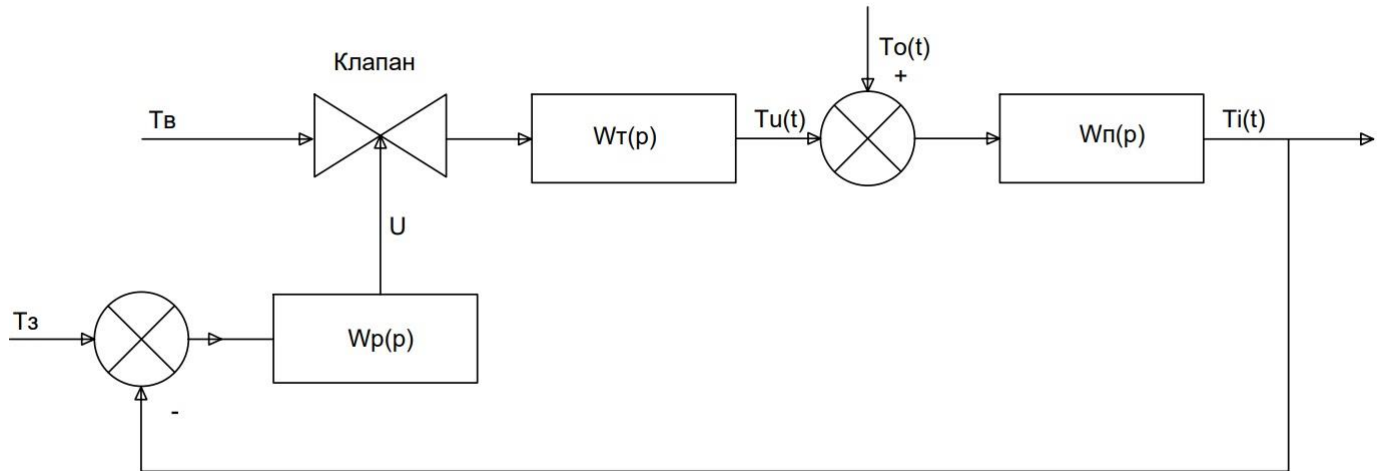


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи

### 3.2 Аналіз об'єкту управління

В основному контурі вода нагріватиметься в теплообміннику, до якого буде підводитися гаряча вода із заданою температурою. Таким чином, будемо отримувати постійну задану температуру в основному контурі  $T_w$ . Також, необхідно буде підтримувати певне значення температури  $T_z$  у контурі теплообмінників. Обурюючим впливом буде температура довкілля –  $T_o(t)$ .

$$T_i(s) = \frac{k}{(\tau s + 1)} Q_i(s) + \frac{1}{(\tau s + 1)} T_o(s).$$

де  $Q_i$  – кількість тепла, передана на теплообмінники;

$k$  – коефіцієнт ефективності обігріву.

Створимо модель процесу теплообміну в об'єкті регулювання. Як видно з аналізу системи, вплив тепла на температуру  $T_i$  може бути представлений за допомогою системи першого порядку з коефіцієнтом посилення  $k$  і постійної часу  $\tau$ .

Вплив температури зовнішнього середовища може бути представлений як система першого порядку з одиничним коефіцієнтом посилення та постійного часу  $\tau$ .

Вода, що подаватиметься в контур із теплообмінниками, матиме температуру  $T_u$ . Як регулятор буде використовуватися клапан, який можна відкривати від 0 до 100%. Клапан буде розташовано перед об'єктом управління, і якщо температура недостатня, відкриватиметься більше, якщо температура перевищила необхідну – закриватиметься.

Отже, отримаємо модель САУ температурою води опалювальної системи виду, як на рисунку 3.2.

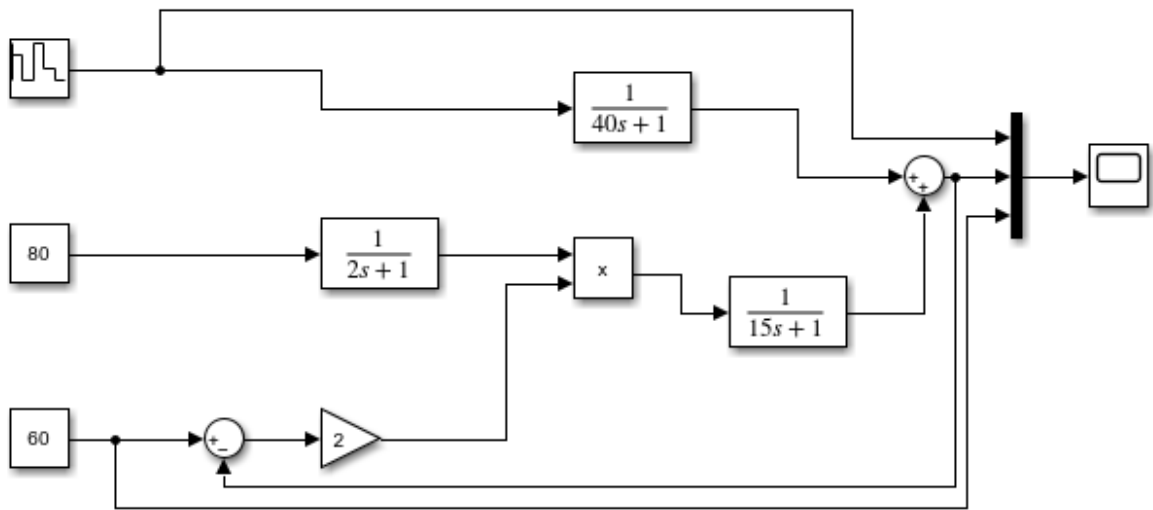


Рисунок 3.2 – Математична модель з  $k_{\Pi} = 2$

В результаті моделювання було отримано графік зміни температури в системі опалення з  $k_{\Pi} = 2$  (рисунок 3.3), також наближений варіант (рисунок 3.4).

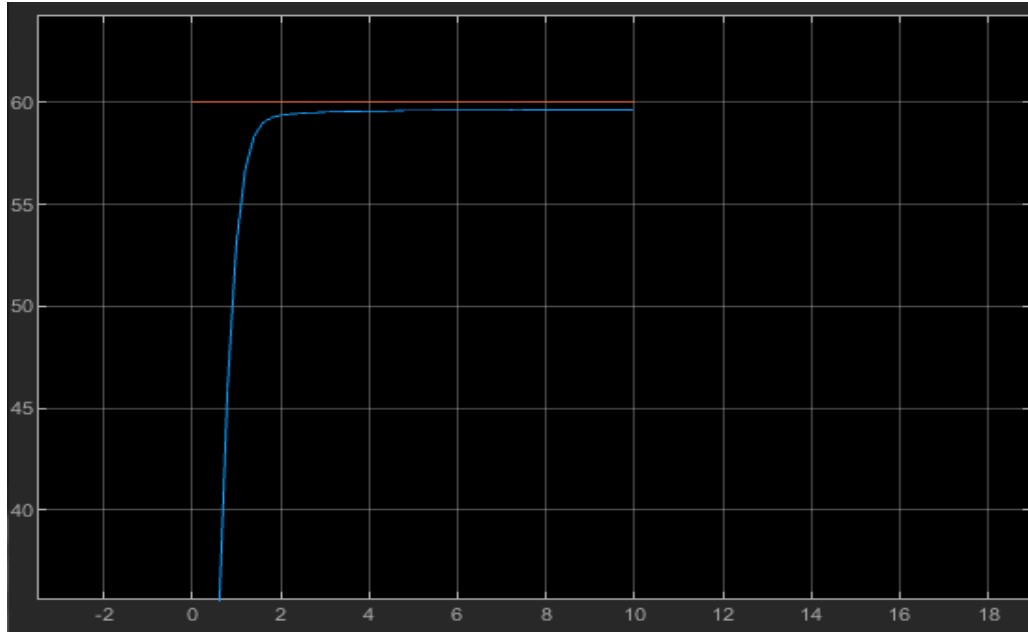


Рисунок 3.3 – Результати моделювання з  $k_p = 2$

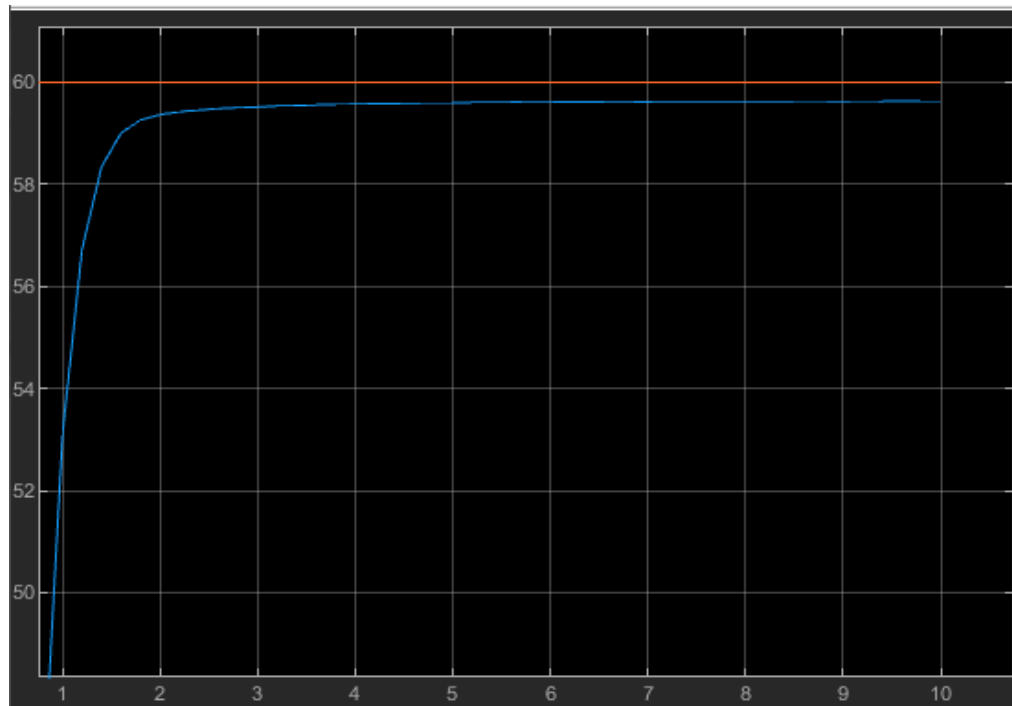


Рисунок 3.4 – Наближений результат з  $k_p = 2$

Для більш точного результату можливе збільшення коефіцієнта  $k_p$  пропорційного регулятора, який дозволяє скоротити величину статичної помилки і час регулювання. Візьмемо  $k_p = 7$  (рисунок 3.5, 3.6, 3.7).

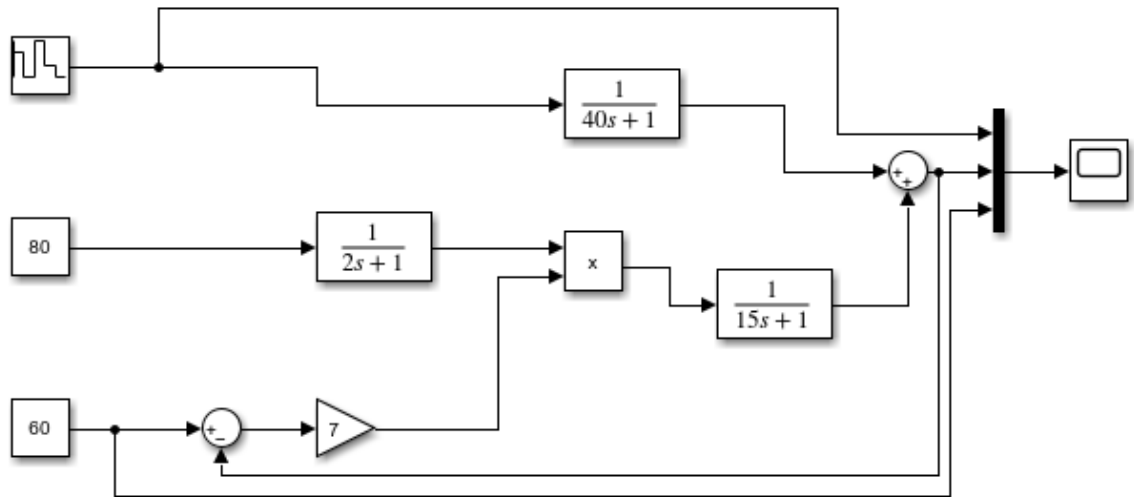


Рисунок 3.5 – Математична модель з  $k_p = 7$

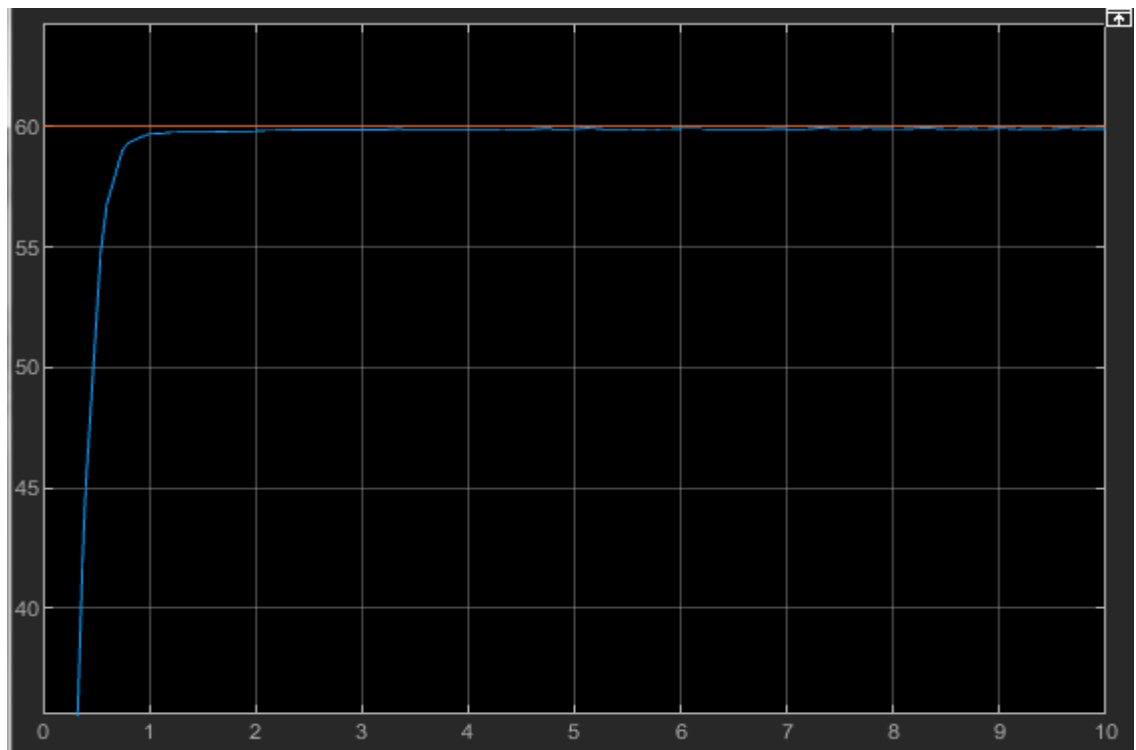


Рисунок 3.6 – Результати моделювання з  $k_p = 7$

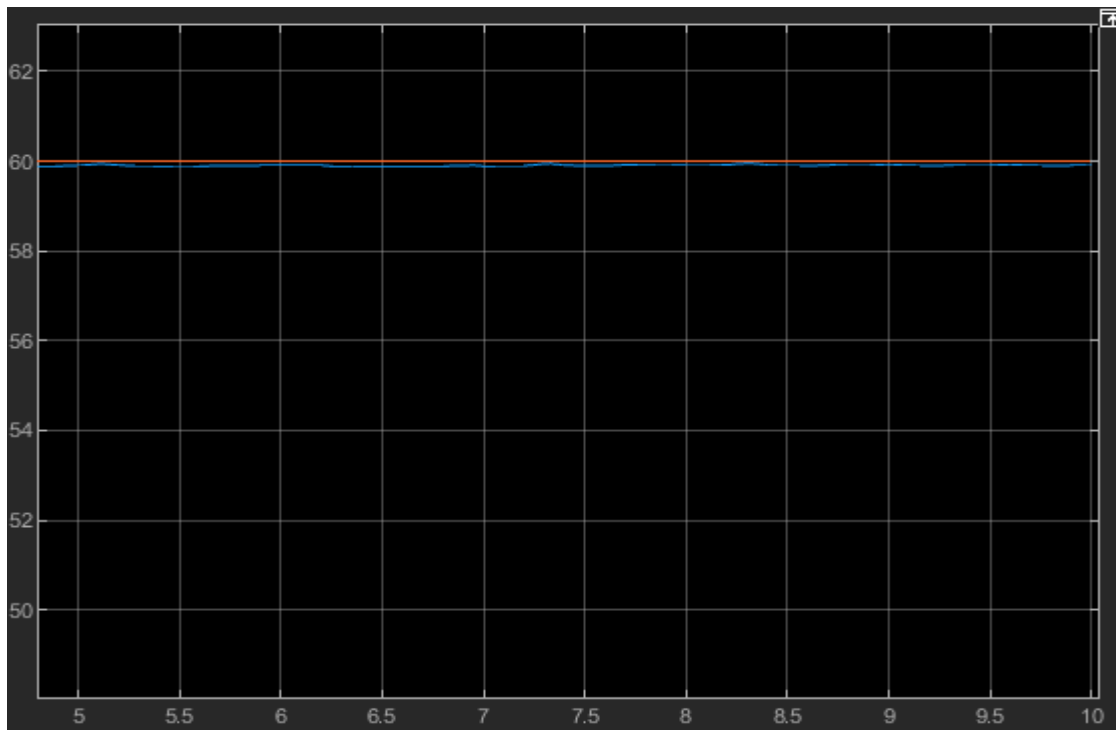


Рисунок 3.7 – Наближений результат з  $k_{\text{п}} = 7$

За результатами моделювання можна зробити такі висновки. Введення регулятора впливає на час регулювання та величину статичної помилки. Більш точного регулювання можна досягти лише при збільшенні коефіцієнта підсилювача, однак це може призвести до автоколивань в системі, а подальше його збільшення призведе до втрати стійкості.

## 4. ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ПУНКТА

### 4.1 Вибір теплообмінника

Для реалізації даного проєкту пропонується використовувати пластинчастий теплообмінник Alfa Laval, що конструктивно складається із затиснутих між основами пластин з нержавіючої сталі, між якими протікають середовище, що нагрівається і охолоджується. З одного боку кожної пластини проходить гріюче середовище, а з іншого боку нагрівається. Теплообмін відбувається по всій поверхні пластини [8]. Така конструкція дозволяє досягти наступних переваг пластинчастих теплообмінників по відношенню до, наприклад, кожухотрубних теплообмінників:

1. Підвищений коефіцієнт теплообміну і, отже, високий коефіцієнт корисної дії теплообміну. Звідси – зниження габаритів. Пластинчасті теплообмінники в шість разів компактніші за кожухотрубні і більш ніж у десять разів легші при однаковій потужності.

2. Простота установки. Пластинчасті теплообмінники не потребують спеціального фундаменту для встановлення. Крім того, пластинчасті теплообмінники даного типу мають входні та вихідні патрубки, розташовані стаціонарно на передній плиті, що спрощує їх монтаж та обслуговування.

3. Зниження відкладення забруднень на поверхнях досягається за рахунок турбулізації потоку по рифленій поверхні пластин.

4. Здатність значно збільшувати теплове навантаження. При перебудові будівлі і збільшенні теплового навантаження на опалення, гарячу воду або кондиціонування, для забезпечення теплообміну у нових умовах необхідно додати потрібну кількість пластин на вже наявну раму. Така конструкція апарату дозволяє значно збільшити його пропускну здатність без демонтажу трубопроводу та заміни патрубків.



5. Конструкція дозволяє елементарно проводити ремонт (він зводиться до можливої заміни пластини або прокладки) та очищення пластинчастого теплообмінника. Розбирання-складання теплообмінника середніх розмірів здатна провести одна людина за 2 години. Очищення поверхонь здійснюється звичайною щіткою.

6. Протікання у теплообміннику можливі лише у разі фізичного руйнування пластини. Поява течі в прокладці означає, що протікання здійснюється назовні та визначається візуально.

Конструкція пластинчастого теплообмінника дає можливість знизити постійну часу теплообмінника, що дає значні переваги при проведенні автоматичного регулювання його потужності, а отже веде до додаткової економії тепла.

## 4.2 Вибір технічних засобів автоматизації

### 4.2.1 Вибір датчиків

В даній системі пропонується використання датчиків температури типу ESMU, що є платиновим термометром опору (1000 Ом при 0 °С), застосовується для управління та індикації температури теплоносія в системах опалення, охолодження, гарячого та холодного водопостачання, вентиляції та кондиціонування [9]. Датчики температури типу ESMU є двопровідними пристроями із симетричною схемою включення. Даний тип датчика показано на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Датчик температури типу ESMU

Принцип дії перетворювачів Danfoss MBS 3000 заснований на врівноважуванні вимірюваного тиску силою пружної деформації первинного тензорезистивного перетворювача. Під впливом вимірюваного тиску вимірювальна мембрана деформується і змінює електричний опір в одному з плечей тензомосту вимірювального перетворювача. Надалі зміна опору з допомогою електронної схеми перетворюється на інформативний параметр вихідного сигналу як електричного струму, пропорційного вимірюваному тиску. Чутливий елемент виконаний за технологією кремній на кремнії у вигляді інтегрального перетворювача тиску на основі монокристалічного кремнію, захищеного силіконовим гелем і мембраною з кислотостійкої нержавіючої сталі [9]. Технологія виробництва включає в себе індивідуальне лазерне калібрування кожного чутливого елемента та його температурну компенсацію. Завдяки цьому досягаються найвищі показники тимчасової стабільності метрологічних характеристик приладу. Даний тип датчика показано на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Датчик тиску типу Danfoss MBS 3000

#### 4.2.2 Вибір контролера

Вирішуючи завдання вибору засобів автоматизації периферійного обладнання, прийнята орієнтація на засоби, що виробляє компанія Schneider Electric Twido. При розгляді завдань розбудови розподіленої системи управління процесом теплопостачання, базовим контролером, що формує комунікаційну структуру мережі системи теплопостачання, прийнято Schneider Electric Twido з операторською панеллю Weintek.

Використання контролера Twido для автоматизації технологічного процесу має низку переваг:

- модульна конструкція контролера дозволяє швидко змінювати апаратну конфігурацію, необхідну для технологічного процесу;
- контролер має вбудовану функцію ПД-регулятора з можливістю швидкого налаштування параметрів для забезпечення автоматичного керування;
- для програмування та конфігурування контролера застосовується зручне програмне забезпечення TwidoSuite з можливістю симуляції програми [10].

Контролер виконує наступні функції:

### 1. Інформаційні:

- опитування та вимірювання параметрів проводиться для визначення стану об'єкта управління;
- первинна обробка необхідна для перевірки достовірності вимірюваних технологічних параметрів;
- виявлення несправностей технологічного устаткування;
- реєстрація та зберігання даних;
- інформування персоналу у вигляді звукових сигналів або звукових повідомлень відбувається у разі невідповідності технологічних параметрів їх допустимим значенням, а також при виявленні несправностей, що призводить до передаварійних та аварійних ситуацій [10].

### 2. Управляючі:

- на підставі результатів вимірювань та їх перевірок контролер формує керуючу дію, яка подається на виконавчий пристрій для безперебійного функціонування технологічного процесу та відповідного обладнання;
- зміна режиму роботи здійснюється за допомогою програми залежно від технологічної ситуації та коригування необхідних значень;
- система автоматичної сигналізації реалізує оповіщення персоналу про стан обладнання та перебіг реалізованого на цьому обладнанні технологічного процесу;
- система автоматичного пуску або зупинки забезпечує увімкнення або зупинку різного обладнання за заздалегідь заданою програмою.

Дискретний вихід TWIDO TWDLCAE 40DRF, що показано в додатку Б, видає сигнал для включення приєднаних до нього реле Danfoss:

1. У реле тиску PS1 у контурі рециркуляції ГВП контакт нормально відкритий, замикається контакт KV2.2 у разі підвищення тиску.
2. У реле перепаду тиску PS2 контакт нормально відкритий, замикається контакт PS2 у разі різкого перепаду тиску.

3. У реле, що відповідає за аварію циркуляційного насоса № 1, 2 контуру ГВП, контакти KV 5.2, KV7.2 замкнуті, а у разі аварії розмикаються.

4. У реле, що відповідають за роботу насоса М3, М4, М5 насосної станції, аварію насоса М3, М4, М5 насосної станції, роботу насоса М3, М4, М5 насосної станції від ЧП, а також у реле тиску PS3 на введенні холодної води передається сигнал з контролера про вимкнення та включення насоса і задається команда вибору насоса, сигнал про аварію задає команду виведення насоса в аварію, а також передається сигнал про тиск холодної води на вході в систему, що у свою чергу передається на щитову насосну станцію.

5. У реле, що відповідають за керування рециркуляційним насосом № 1, 2 контур ГВП, контакти KV9, KV10 розімкнені, у разі аварії передається сигнал і контакти замикаються, задається команда вибору насоса.

6. У реле, що відповідає за керування вентилятором, контакт KV11 розімкнений, у разі команди вимкнення вентилятора, контакт замикається.

7. У реле, що відповідає за керування частотним перетворювачем контакт KV12 розімкнений, у разі різких перепадів частоти в процесі переходів у різні режими або при включенні та вимкненні насосів контакт замикається, а також у разі надмірного тиску та підвищення температури контакт замикається.

Модуль аналогових входів, що показано додатку В, надає аналогові входи за напругою, струмом і опором для приєднання датчиків і забезпечує таким чином збір даних і подальшу обробку аналогових сигналів за струмом, напругою і опором. Модуль аналогових входів TM2 ARI 8LT, TM2 AMI 8HT має 8 входів, TM2 AVO 2HT – 2 входи. Контроль температури, тиску здійснюється за допомогою датчиків температури та тиску, встановлених на трубопроводі, які приєднуються до контролера двожильними заземленими кабелями. Принцип дії термоперетворювача опору заснований на властивості провідника змінювати електричний опір пропорційно до зміни температури води в трубопроводі. Датчики тиску

забезпечують безперервне перетворення тиску в аналоговий вихідний сигнал постійного струму і потім цифровий вихідний сигнал.

При аналоговому керуванні приводом клапана ГВС положення штока електричного приводу залежить від величини напруги, що подається в діапазоні від 0 до 10В (2-10В). Наприклад, якщо контролер визначив, що регулюючий клапан керований електроприводом повинен бути відкритий на половину, він посилає аналоговий керуючий сигнал номіналом в 5 Вольт, якщо клапан слід повністю відкрити, то повинен бути сформований керуючий сигнал - 10В. На схемі показано положення штока приводу відкрите та закрите. Управління приводом клапана регулятора тиску також визначає контролер, при збільшенні тиску, контролер подає сигнал регулятору відкритися, при зниженні тиску регулятор закривається.

Елемент Fu це запобіжник, який спрацьовує у разі короткого замикання, PE – заземлення, DC – постійний струм, напруга в контролері 24 V.

#### 4.2.3 Вибір перетворювача частоти

Для реалізації даного проєкту пропонується використання перетворювачів частоти Schneider Electric Altivar. Даний перетворювач частоти представляє собою радіоелектронний напівпровідниковий пристрій для перетворення електричного (електромагнітного) сигналу шляхом перенесення спектра на деякий інтервал по осі частот. Частотний перетворювач показано на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Частотний перетворювач «Schneider Electric Altivar»

Частотний перетворювач містить безліч аналогових і дискретних входів і виходів для того, щоб його можна було оптимізувати для конкретного застосування [11]. Перетворювач підтримує протоколи ModBus та CANopen для того, щоб збільшити продуктивність системи. Він також підтримує основні промислові шини та може легко вбудовуватись у системи HVAC за допомогою додаткових карток. Більш того, частотний перетворювач пропонує карти перемикання насосів, що дозволяють здійснювати гнучке та просте керування напірною станцією. Карта має такі режими роботи:

1. В якості основного може вибиратися будь-який насос. Вибір основного насоса здійснюється залежно від часу напрацювання: вибирається агрегат із найменшим часом напрацювання. Введення у роботу допоміжних насосів здійснюється в порядку зменшення індексів дискретних входів.

2. Введення в роботу допоміжного агрегату: вибирається насос із найменшим часом напрацювання. Зупинка допоміжного агрегату: вибирається агрегат із найбільшим часом напрацювання [11].

Відносний проміжок тривалості функціонування кожного насоса програмується для кращого розподілу тривалості функціонування і, отже, для

рівномірного вироблення ресурсу насосів. Якщо відносний сумарний проміжок тривалості функціонування між допоміжними працюючим та непрацюючим насосами перевищує запрограмоване значення, то перший насос зупиняється та замінюється другим. Функціонально перетворювач частоти включає три складові частини – гетеродин, змішувач і вихідний смуговий фільтр. Гетеродин є генератором сигналу синусоїдальної форми, що налаштовується з фіксованою частотою. Змішувач – основна частина перетворювача, нелінійний електронний пристрій, у якому відбувається утворення необхідного діапазону. Смужний фільтр призначений для селекції потрібного набору гармонік та виконаний за стандартною схемою смугового фільтра на LC-елементах [11]. Конструктивно перетворювач частоти може бути виконаний у вигляді єдиного пристрою, у тому числі на інтегральній мікросхемі з додатковими елементами у вигляді двох блоків (блок гетеродину та блок змішувача з фільтром) або, у деяких випадках, у рознесеному вигляді. Інверторна установка – це складовий пристрій, що складається з одного або декількох інверторів (перетворювачів частоти), що виконує складні складові функції роботи з одним або більше двигунами, або насосами, що задовольняють задачі технологічного процесу.

#### 4.2.4 Вибір клапану і електроприводу

В якості регулюючого механізму пропонується використовувати сидельні регулюючі клапани з логарифмічною характеристикою фірми Honeywell призначені для спільної роботи з електроприводами Honeywell. Редукторні електроприводи призначені для керування клапанами від імпульсних трьохпозиційних регуляторів. Привід забезпечує безвідмовну тривалу роботу регулюючих клапанів за важких умов експлуатації в системах теплопостачання [12]. Електроприводи оснащені кінцевими вимикачами, що захищають електропривід та клапан від механічних навантажень, а також пристроєм ручного позиціонування.



Цифровий сигнал зворотного зв'язку дозволяє здійснювати моніторинг положень клапана [13]. Крім пристроїв для ручного управління та індикації положення, електропривід оснащений кінцевими вимикачами, що захищають його, а також клапан від механічних навантажень, що виникають у тому числі при досягненні штоком клапана крайніх положень.

Основні характеристики:

- час переміщення штока приводу на 1 мм 3с;
- напруга живлення 230 або 24 В;
- хід штока 0-40 мм.

#### 4.2.5 Вибір насоса

Насос є основним елементом водяної інженерної системи будівлі. Його робота повністю взаємопов'язана з усім обладнанням системи у тому числі запірно-регулюючої арматурою. Від їхньої спільної роботи залежить ефективність функціонування всієї системи. Особливо це стосується систем зі змінним гідравлічним режимом, де регулювання витрат теплоносія призводить до зміни гідравлічних та електричних параметрів насоса [14]. Підбирають насос за розрахунковою витратою та втратами тиску в системі при частково закритих терморегуляторах. Для системи опалення слід вибрати насос із розрахунковою витратою теплоносія понад 7,2524 м<sup>3</sup>/год. і напором насоса більше 9 м. Допустима температура середовища насоса, що перекачується, до 100<sup>0</sup> С.

В даному проєкті пропонується використання насосу фірми WILLO CronoLine ІL 125/150-18,5/2. Це трифазний низьконапірний відцентровий насос у виконанні конструкції «ІН-ЛАЙН». Призначений для експлуатації в системах циркуляції у комунальному та промисловому комплексах. Ротор насоса сухий, робочий тиск від 10 до 16 бар, приєднання фланцеві, напірний та всмоктувальний патрубки розташовуються на одному рівні [14]. На відміну від консольних насосів у даній

моделі робоче колесо знаходиться на валу, за рахунок чого вихідний насос більш компактний. Найчастіше насоси даної серії застосовуються в котельних та теплових пунктах, за рахунок широкого потужнісного діапазону. Агрегат захищений від корозії завдяки катодфарезному покриттю. Даний тип насоса показано на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 – WILo CronoLine IL 125/150-18,5/2

#### 4.2.6 Вибір блока живлення

В якості джерела живлення пропонується блок живлення Lovato PSL1 240 24, що показано на рисунку 4.7. Це джерело живлення використовується для електронних та електромеханічних пристроїв з керуванням на постійному струмі, таких як лічильники, таймери, датчики, ПЛК, двигуни постійного струму, дисплеї, SSR та інші пристрої, які зазвичай присутні в системах автоматики [15].

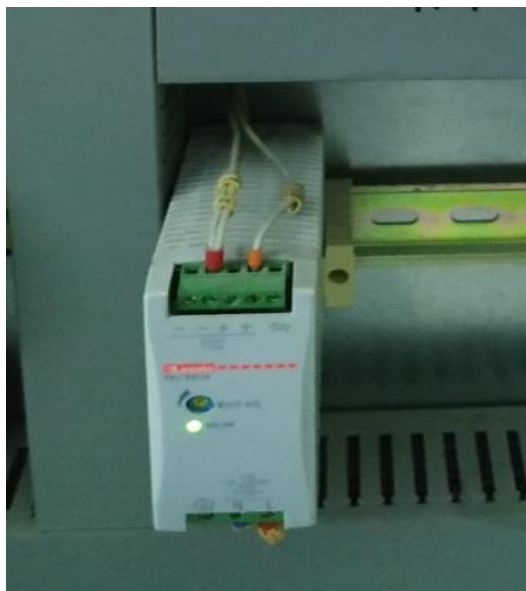


Рисунок 4.7 – Блок живлення Lovato PSL1 240 24

#### 4.2.7 Вибір операторської панелі

В даному проєкті пропонується впровадити операторську панель Weintek, що показана на рисунку 4.8. Дана панель в основному застосовуються у складі обладнання як засіб управління, відображення та введення інформації (людино-машинний інтерфейс, НМІ). Як правило, панель оператора працює в парі з контролером [16]. У такій системі контролер управляє виконавчими пристроями устаткування ( клапана, контактори, пневмоциліндри, двигуни ітд ), приймає сигнали з датчиків, у контролері виконується основний алгоритм. Операторська панель служить лише людино-машинним інтерфейсом – у ньому відображається інформація, одержувана з контролера, задається інформація, необхідна контролеру, з неї запускаються певні алгоритми контролера. Але керуючий алгоритм операторської панелі не виконується.



Рисунок 4.8 – Панель WEINTEK

#### 4.3 Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи управління тепловим пунктом

Twido Suite – середнє програмне забезпечення серед конкурентів над ринком автоматизації. Програма проста у використанні та не вимагає унікальних навчань для роботи з нею, а її сумісність з додатками, створеними за допомогою Twido Soft, дає можливість доповнити автоматизацію об'єктів різними цікавими речами [17].

Отже, слід зазначити, що програмне забезпечення TWIDO Suite має ряд переваг:

- орієнтованість на зручність користувача;
- швидкість роботи, тому що інтерфейс дозволяє швидко знайти потрібну інформацію;
- численні підказки та інструменти, що збільшують ефективність роботи.

У програмі TWIDO Suite передбачено кілька корисних функцій:

- функція project management використовується для створення проєктів із можливістю ввести дані за допомогою підключення фотографій та форм. Відкривати проєкти можна як із персонального комп'ютера, так і з самого контролера;

- функція опису архітектури використовується для визначення апаратної частини TWIDO, що використовується в проєкті. Крім того, тут описується периферія, що підключається до контролера.

- функція програмування у TWIDO Suite розроблена таким чином, що процес програмування стає більш ефективним. Програма може бути організована у секції, що спрощують читання та навігацію у програмі;

- налагодження, яке часто виконується у важких умовах, тепер значно покращено. Підключення виконується покроково, дії виконує сам TWIDO Suite. Після цього відображається програма, яка дозволяє без зупинки контролера робити всі зміни [17].

Поряд з цим також дане середовище має ряд недоліків:

- функція Modbus створюється в програмне забезпечення за допомогою спеціальних елементів мови LAD, що згодом виражається як чимала кількість коду, в той час як, TIA Portal від Siemens має спеціальні, зручні, блокові функції, які не займають багато місця та ними зручніше оперувати в програмах;

- Twido Suite надає на вибір дві мови програмування: LIST, LAD, у той час як його конкурент із Siemens має на вибір 3 мови програмування, які більш зручні у використанні. Для опису деяких функцій у Twido Suite необхідно витратити набагато більше часу, ніж це зайняло б у TIA Portal.

Реалізація програмного коду даного проєкту буде відбуватися за допомогою програмного середовища Twido Suite, інтерфейс якого зображено на рисунку 4.9.

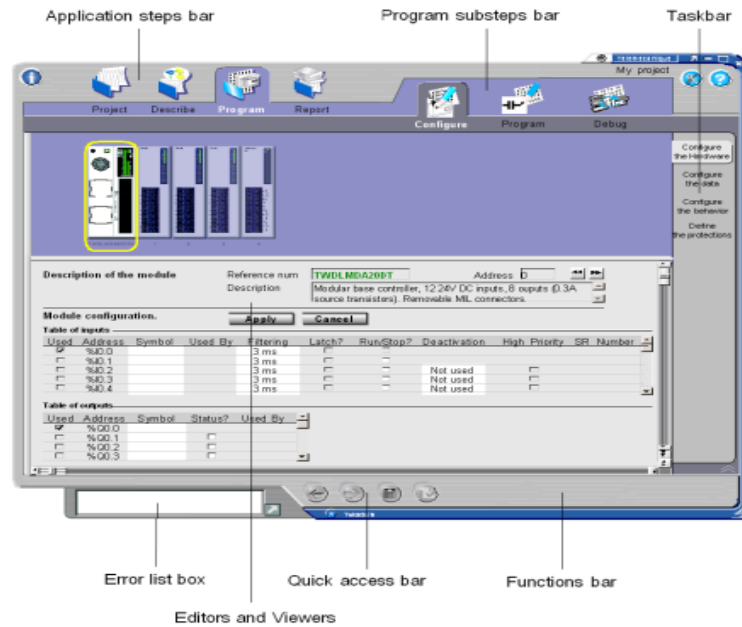


Рисунок 4.9 – Інтерфейс Twido Suite

Структура програмного забезпечення поділяється на дві частини: опис основного блоку програмного забезпечення та опис блоку роботи мережі MODBUS. Основний блок є засобом зв'язку між логічним контролером в об'єктовій шафі і всіма виконавчими механізмами і датчиками. На рисунку 4.10 зображено аналогові сигнали. Під кожен сигнал маркери, які надалі дають можливість їх обробки всередині контролера та передачі через мережу [17].

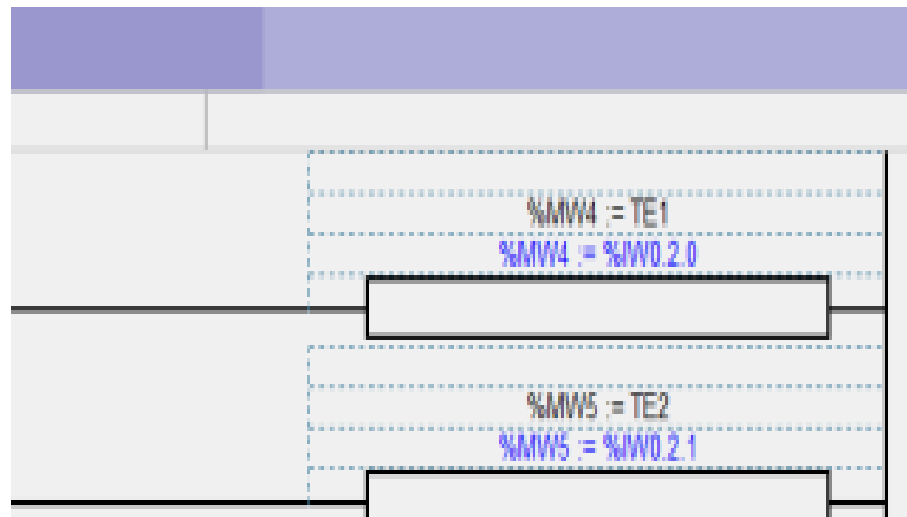


Рисунок 4.10 – Маркери для аналогових сигналів

Основний блок звертається до блоку Modbus для отримання інформації про стан шаф автоматики, які підключені до контролеру. Блок Modbus у свою чергу звертається до мережевого модуля шафи і через протокол інтерфейсу RS-485 отримує необхідні дані. Також при відправці керуючого впливу основний блок звертається до блоку Modbus посилаючи йому сигнал на включення, тоді як блок Modbus відправляє цей вплив на підключену шафу автоматики [17].

Блоки Modbus необхідні для зв'язку між головною шафою та іншими шафами з технічними засобами автоматизації. Розробка блоку Modbus здійснюється за допомогою стандартного кодування у шістнадцятковій системі, описаній у протоколі Modbus. За допомогою даного блоку master може отримувати інформацію з підлеглої шафи та задавати керуючу дію підлеглий шафі. Блок ділиться на три частини: читання, запис та присвоєння сигналів за маркерами. Для кожної підлеглої шафи потрібен цей блок. Блок читання зображено на рисунку 4.11.

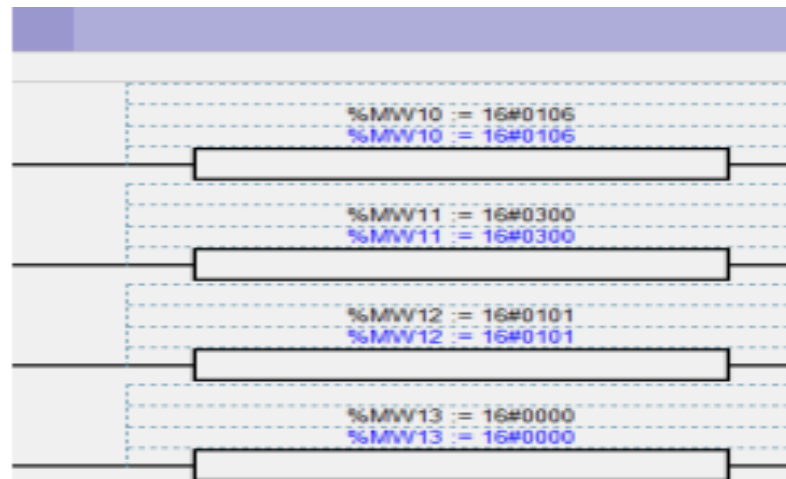


Рисунок 4.11. – Блок читання

Все кодування пишеться в шістнадцятковій системі, тому спочатку ставиться число 16. Далі код «0106», який повідомляє нам про запуск протоколу прийому/передачі даних через Modbus. «0300» – код активації прийому/передачі. Також вказується адреса підлеглої шафи за допомогою перших двох цифр наступного коду «0101». Інші дві цифри цього ж коду «0101» позначають читання даних. Останній код «0000» позначає номер біта, з якого необхідно почати читання даних. Маркер управління MW101.0 записується в програмі як MW101:X0, що означає соте слово і нульовий біт. Цей маркер є ключовим в управлінні, тому що він відповідає за управління основним виконавчим механізмом. У блоці запису він використовується як логічний елемент, тобто за присутності одиниці на маркері через мережу посилається одиниця на включення двигуна [17]. Так само і навпаки при обнуленні MW101 через мережу надсилається 0 на біт управління.

Далі для зчитування та передачі slave по чергово створюється лічильник, що показано на рисунку 4.12. Лічильник необхідний для того, щоб два slave не могли одночасно відправляти та отримувати інформацію. Він чергує можливість читання і запису кожного slave.



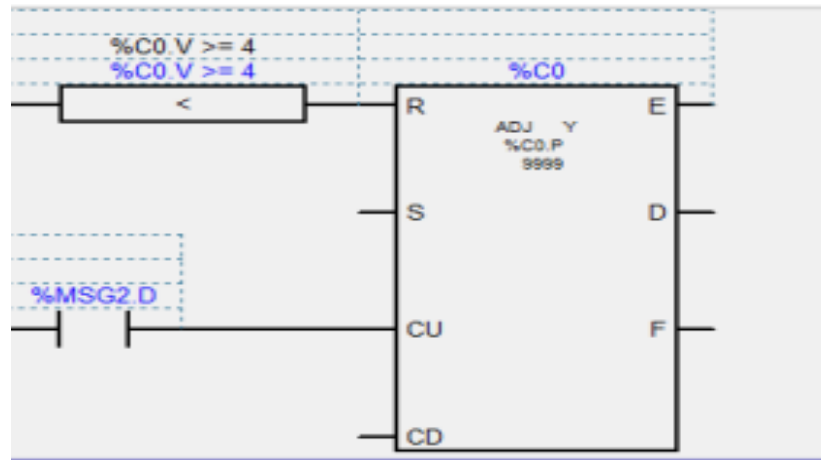


Рисунок 4.12 – Лічильник зміни каналу передачі даних

Також необхідний блок передачі, у якому фігурує функція EXCH2, що означає обмін даними, що показано на рисунку 4.13. Ця функція опитує кожен slave по черзі і чергуючи їх функції запису та читання.



Рисунок 4.13 – Блок передачі даних

Можливості сучасних технічних і програмних засобів персональних комп'ютерів дозволяють ефективно автоматизувати і конструкторську і технологічну підготовку виробництва. Отже, за допомогою САПР AutoCAD було спроектовано графічний інтерфейс операторської панелі WEINTEK, що показана на рисунку 4.14.

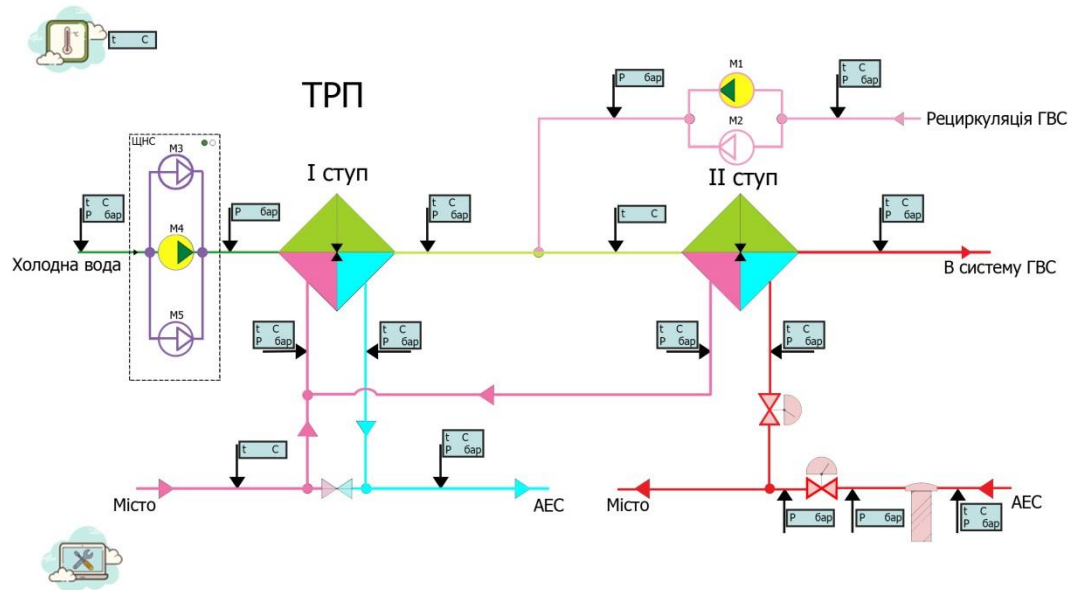


Рисунок 4.14 – Графічний інтерфейс операторської панелі WEINTEK

Розроблюваний тепло-розподільчий пункт буде призначений для управління місцевими системами теплопостачання (опалення, гарячим водопостачанням) плавального басейну, котеджної забудови і одночасним управлінням самою тепловою мережею шляхом контролю за нею, розподілу теплоносія та зміни його параметрів. Запропоноване водопостачання споживачів буде ґрунтуватися на використанні підземних вод із артезіанських свердловин на господарсько-питному водозаборі. Усі вихідні дані, представлені надалі, будуть братися умовно [18]. Тиск води у господарсько-питному водозаборі становить  $3,0-5,0 \text{ кгс/см}^2$ , що показано на рисунку 4.15.

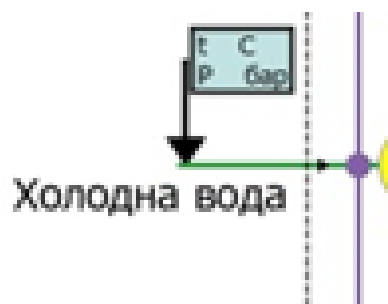


Рисунок 4.15 – Тиск води

Для створення циркуляції гарячої води в трубопроводах, що обслуговують будівлі і об'єкти плавального басейну та котеджі, передбачена насосна установка циркуляційних насосів Wilo гарячого водопостачання у кількості 3 штук і установка рециркуляційних насосів Wilo центрального гарячого водопостачання у кількості 2 штук з частотним перетворювачем. Станція підвищення тиску холодної води з обраним працюючим насосом представлена на рисунку 4.16.

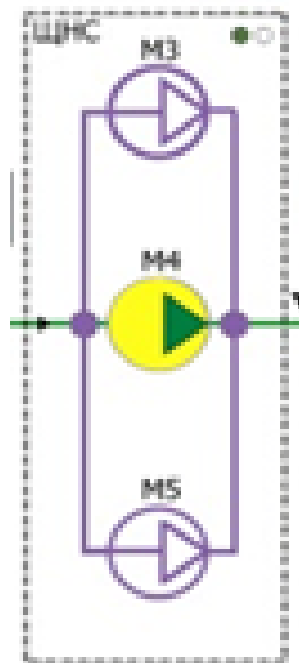


Рисунок 4.16 – Станція підвищення тиску

Автоматичне включення резервного механізму починається з включення насоса найнижчого з тих, що залишився.

Для управління станцією підвищення тиску холодної води необхідно натиснути на іконку станції підвищення тиску. Після натискання на яку відкриється вікно «Станція підвищення тиску», що показано на рисунку 4.17.

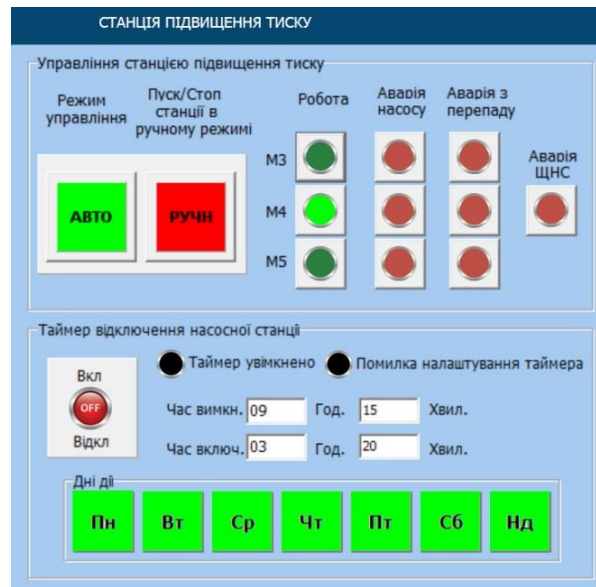


Рисунок 4.17 – Вікно «Станція підвищення тиску»

У графі «Управління станції підвищення тиску» можна змінити режим управління на ручний і зупинити насос станції в ручному режимі, що показано на рисунку 4.18.

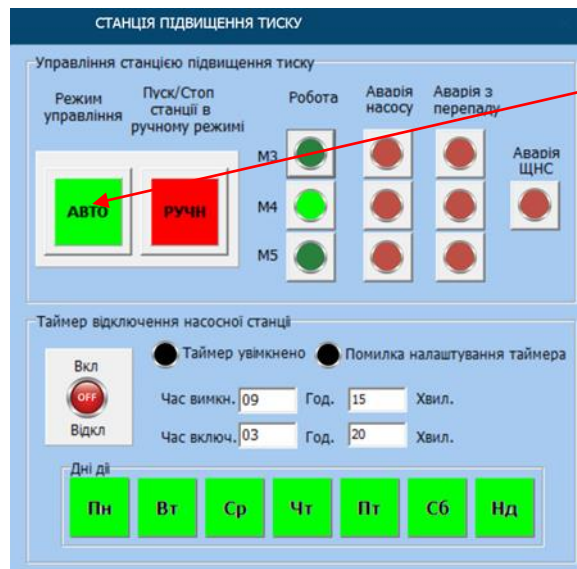


Рисунок 4.18 – Іконка «Режим управління»

Для забезпечення безперебійної роботи системи гарячого водопостачання на тепло-розподільчому пункті передбачено встановлення двох пластинчастих

теплообмінників Alfa Laval. Заплановано, що мережева вода температурою  $70^{\circ}\text{C}$ - $130^{\circ}\text{C}$  по трубопроводах прямої мережної води надходить з атомної станції на тепло-розподільчий пункт. Частина прямої мережної води по трубопроводах подається в систему опалення плавального басейну і котеджів, а потім повертається на тепло-розподільчий пункт у вигляді зворотної мережної води на 1 ступінь водопідігрівача, де холодна вода з системи міського водопроводу нагрівається зворотною мережною водою до температури  $46,1^{\circ}\text{C}$ , що показано на рисунку 4.19.

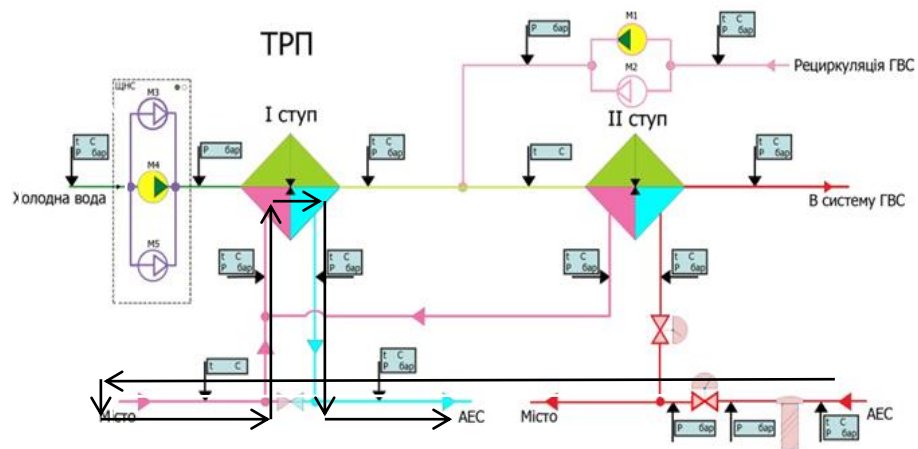


Рисунок 4.19 – Процес теплообміну на 1 ступені водопідігрівача

Інша частина прямої мережної води подається на 2 ступінь водопідігрівача, де підігріта вода температурою  $46,1^{\circ}\text{C}$  і вода рециркуляції змішується і нагрівається прямою мережною до температури  $50^{\circ}\text{C}$ - $65^{\circ}\text{C}$ . Холодна водопровідна і мережева вода рухаються в протилежному, що показано на рисунку 4.20.

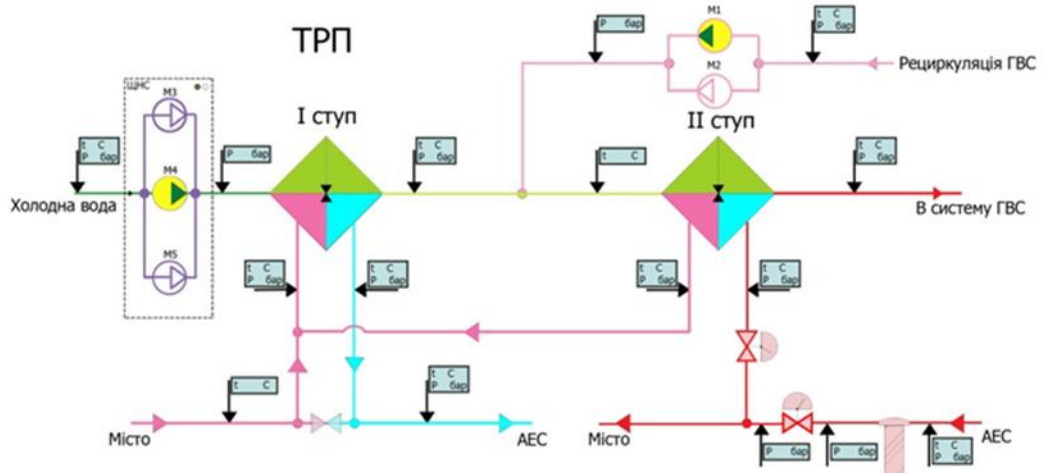


Рисунок 4.20 – Процес теплообміну на 2 ступені водопідігрівача

В літній період пряма мережна вода подається на 2 ступінь водопідігрівача, що показано на рисунку 4.21.

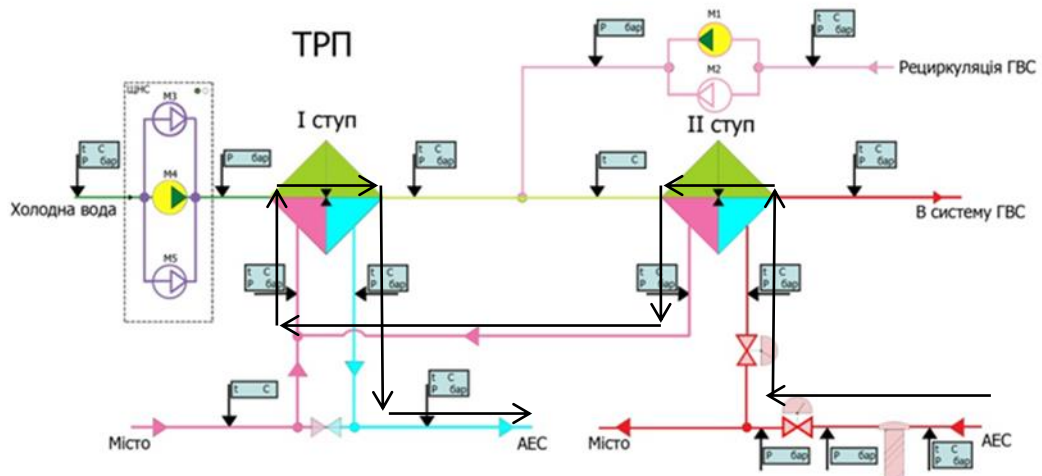


Рисунок 4.21 – Процес теплообміну в літній період

Для запуску вікна авторизації і налаштувань в системі управління необхідно в натиснути на іконку «Авторизація і налаштування», що показана на рисунку 4.22.



Рисунок 4.22 – Іконка «Авторизація і налаштування»

Після введення паролю в вікні авторизації з'являється можливість редагувати аварійні уставки, запускати в ручному або автоматичному режимі станцію підвищення тиску, змінювати відсоток відкриття регулятора тиску та температури. Аварійні уставки задаються у вікні «Додаткові настройки» для виклику якого необхідно натиснути на іконку «Аварійні уставки», що показано на рисунку 4.23.

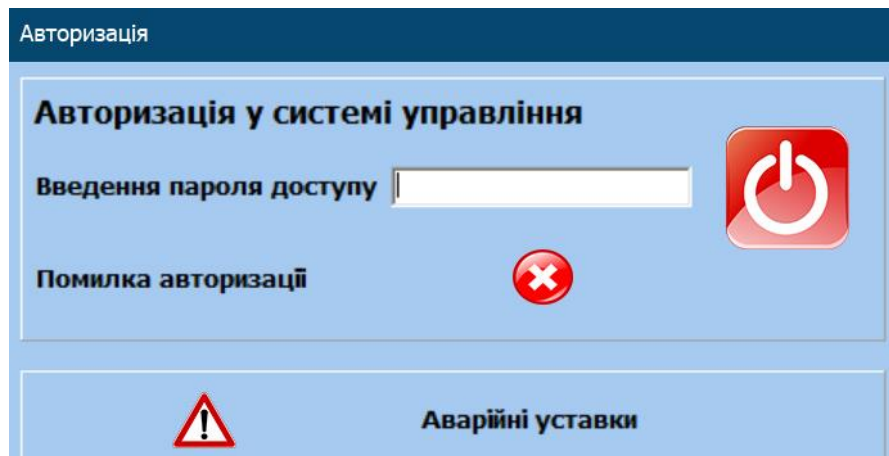


Рисунок 4.23 – Іконка «Аварійні уставки»

Поточні перепади тиску в системі можна подивитися у вікні «Поточні перепади тиску», що можна також зробити шляхом натискання на іконку, що показано на рисунках 4.24, 4.25.

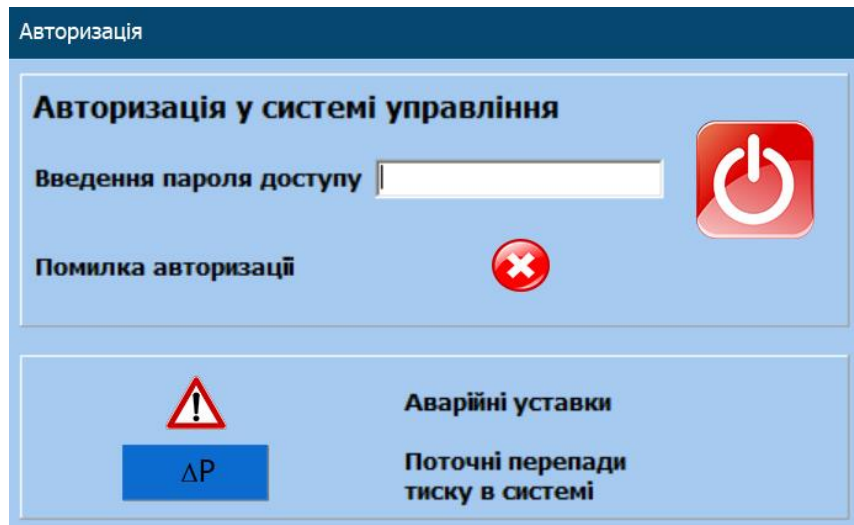


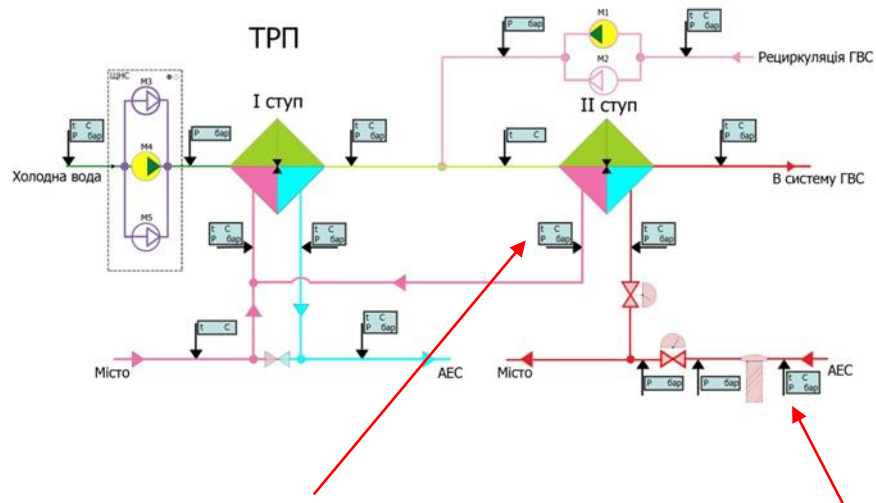
Рисунок 4.24 – Іконка «Поточні перепади тиску»



Рисунок 4.25 – Вікно «Поточні перепади тиску»

Для зміни перепаду тиску необхідно звернути увагу на тиск після регулятора тиску і на тиск зворотного трубопроводу, що показано на рисунку 4.26.





Тиск зворотного трубопроводу

Тиск після регулятора тиску

Рисунок 4.26 – тиск зворотного трубопроводу і тиск після регулятора тиску

Для регулювання витрат мережної води на опалення споживачів на лінії прямої мережної води встановлений регулятор тиску. Регулятор працює в автоматичному режимі. При переведенні регулятора в ручний режим, регулювання припиняється. Можливе ручне позиціонування положення регулятора введенням відсотка відкриття. Щоб змінити перепад, необхідно натиснути на іконку регулятора тиску, що показано на рисунку 4.27.



Рисунок 4.27 – Іконка «Регулятор тиску»

Після натискання на яку запуститься вікно «Регулятор тиску М7», що показано на рисунку 4.28.

РЕГУЛЯТОР ТИСКУ (M7)


Завдання за тиском		Налаштування	
Завдання:	5.5 бар	Нечутл., $\Delta$	0.0 бар
Тиск регулятора	61.0 бар	Кр	1.00
Графік		Ти:	0.1 сек
t1	4.5 С	Тз:	0.1 сек
P1	5.5 бар	Корекція виходу	
T2	-10.0 С	к	1.000
P2	6.0 бар	$\Delta$	0.0
Управління			
	Завдання положення приводу %	Завдання регулятора %	
	30	71	

Рисунок 4.28 – Вікно «Регулятор тиску M7»

Щоб змінити завдання з тиску потрібно в графі «Графік» в полі P1 (при температурному режимі від 0 до -10 градусів) або в полі P2 (при температурному режимі нижче – 10 градусів) задати необхідне значення. В графі «Управління» при натисканні на кнопку «Auto» можна перейти на ручне управління регулятором тиску в процентному співвідношенні, що показано на рисунку 4.29

РЕГУЛЯТОР ТИСКУ (M7)


Завдання за тиском		Налаштування	
Завдання:	5.5 бар	Нечутл., $\Delta$	0.0 бар
Тиск регулятора	61.0 бар	Кр	1.00
Графік		Ти:	0.1 сек
t1	4.5 С	Тз:	0.1 сек
P1	5.5 бар	Корекція виходу	
T2	-10.0 С	к	1.000
P2	6.0 бар	$\Delta$	0.0
Управління			
	Завдання положення приводу %	Завдання регулятора %	
	30	71	

Рисунок 4.29 – Іконка «Режим управління»

Для підтримання постійної температури води, що нагрівається на вході в пластинчастий теплообмінник 2 ступеня, встановлений регулятор температури. Регулятор працює в автоматичному режимі. При переведенні регулятора в ручний режим регулювання припиняється. Можливе ручне позиціонування положення регулятора введенням відсотка відкриття. Для того, щоб задати температуру гарячого водопостачання необхідно натиснути на іконку регулятора температури, що показано на рисунку 4.30.



Рисунок 4.30 – Іконка «Регулятора температури»

Після натискання якої запуститься вікно «Регулятор температури», що показано на рисунку 4.31.

**РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРИ (M6)**

**Завдання за температурою**

Завдання №1:  С

Завдання №2:  С

Осн.завдання:  С

Температура ГВП:  С

**Налаштування**

Нечутлив., Δ:  С

Kp:  С

Ti:  Сек

Td:  Сек

**Таймер відключення насосної станції**

Вкл.  Таймер увімкн.  Помилка налашт. таймера

Відкл.  Час вимкн.  Год.  Хвил.

Час вклоч.  Год.  Хвил.

**Дні дії**

Пн  Вт  Ср  Чт  Пт  Сб  Нд

**Управління**

АВТО

Завдання положення приводу %

Завдання регулятора %

**Корекція виходу регулятора**

K  Δ

Рисунок 4.31 – Вікно «Регулятор температури»

Щоб змінити температуру гарячого водопостачання потрібно в графі «Завдання по температурі» в пункті «Завдання 1» занести потрібну уставку. В графі «Управління» можна перевести регулятор температури в ручне управління аналогічно регулятору тиску.

## 5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Передбачається, що облік споживаної теплової енергії теплорозподільного пункту виконуватиметься на базі ультразвукових лічильників води та тепла СВТУ-10М. Лічильники внесені до державного реєстру засобів вимірювальної техніки, що допущені до застосування в Україні, під номером У947-07. Ультразвукові лічильники води та тепла СВТУ-10М призначені для комерційного обліку води та тепла у водо- та тепlopостачальних системах з тиском 1,6 МПа [19]. Лічильник відповідає вимогам ДСТУ 3339-96 «Теплолічильники. Загальні технічні вимоги». Конструктивно теплолічильник виконаний у вигляді декількох окремих вузлів, що мають між собою електричний зв'язок, що здійснюється за допомогою кабелів з'єднання.

За способом вимірювання витрати води тепловодолічильники відносяться згідно з загальноприйнятою класифікацією до класу ультразвукових частотних витратомірів, в яких виділяється проміжна інформація про швидкості проходження ультразвуку вздовж і проти потоку води. Швидкість потоку води та площа поперечного перерізу витратомірної ділянки є вихідними величинами для обчислення об'ємної витрати води. Миттєві значення витрати, проінтегровані в часі, дають інформацію про обсяг теплоносія, прокачаного через витратомірну ділянку [19].

Маса прокачаної води обчислюється як функція об'єму та щільності, остання, у свою чергу, є функцією температури. Основою реалізації температурних вимірювань є занурювальні та врізані в подавальний, зворотний трубопровід холодної води термоопору типу ТСП-С. Теплова потужність, що вимірюється, є функцією від вимірюваних температур і витрати води.

Розрахункові витрати теплоносія на гаряче водопостачання при двоступінчастих схемах приєднання водопідігрівачів становлять:

$$G_p \text{ (ГВ)} = 0,55 \times Q_p / (t_1 - t_2),$$

де  $Q_p$  (гаряче водопостачання) – розрахункове теплове навантаження для гарячого водопостачання,

$Q_p = 1,99$  Гкал/г згідно технічного завдання;

$t_1$  – температура води в трубопроводі, що подає (у точці зламу графіка);

$t_2$  – температура води у зворотному трубопроводі (у точці зламу графіка).

$$G_p \text{ (ГВ)} = 0,55 * 1,99 * 10^3 / (77 - 46) = 35 \text{ м}^3/\text{Г}$$

Розрахункові витрати теплоносія абонента на опалення та вентиляцію становлять:

$$G_p \text{ (ОВ)} = Q_p / (t_1 - t_2),$$

де  $Q_p$  (опалення та вентиляції) – розрахункова витрата теплоти на опалення та вентиляцію,

$Q_p = 1,7$  Гкал/г згідно технічного завдання;

$t_1$  – температура води в трубопроводі, що подає (при розрахунковій температурі зовнішнього повітря);

$t_2$  – температура води у зворотному трубопроводі (при розрахунковій температурі зовнішнього повітря).

$$G_p \text{ (ОВ)} = 1,7 * 10^3 / (130 - 70) = 28,3 \text{ м}^3/\text{Г}$$

Розрахункова витрата на холодне водопостачання становить:

$$G_p \text{ (ХВ)} = Q_p / (t_1 - t_2),$$

де  $Q_p$  (гаряче водопостачання) – розрахункове теплове навантаження для гарячого водопостачання,

$Q_p = 1,99$  Гкал/г згідно технічного завдання;

$t_1$  – температура води після водопідігрівача гарячого водопостачання;

$t_2$  – температура води в водопроводі.

$$G_p (XB) = 1,99 \times 10^3 / (60 - 5) = 36 \text{ м}^3/\text{Г}$$

## 5.1 Розробка структурної схеми

Моніторинг та керування параметрами системи тепlopостачання здійснюватиметься завдяки інформаційно-вимірювальних технологій, які реалізують збір, облік, обробку та передачу даних про досліджуване середовище [19]. Із розвитком технологій стає можливим автоматизувати систему обробки вимірних даних лічильниками тепла. На рисунку 5.1 зображена структурна схема автоматизованої системи контролю параметрів тепlopостачання.

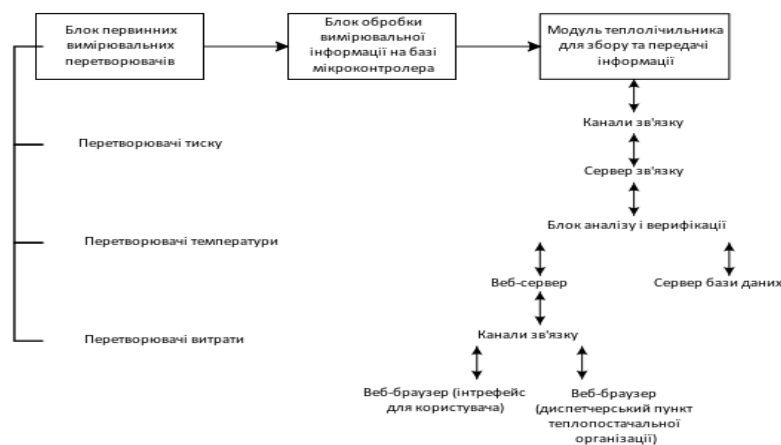


Рисунок 5.1 – Схема автоматизованої системи контролю параметрів тепlopостачання

## 5.2 Особливості монтажу

Контрольно-вимірювальні прилади та вимірювальні вузли базового теплотлічильника СВТУ-10М, що включають в себе витратомірні ділянки (первинні перетворювачі витрат – ультразвукові витратоміри, датчики температури; запірно-регулююча арматура – кульові крани) мають монтуватися на подавальному та зворотному трубопроводах у межах вузла тепло-розподільчого пункту [19].

Передбачається, що знімання інформації, яка накопичена теплообчислювачем про спожиту теплову енергію, роздруківка інформації на принтері персонального комп'ютера для подальшого надання її до енергопостачальної організації здійснюватиметься за допомогою переносного адаптера типу АПІ-01 виробництва фірми «Семпал», Україна, м. Київ.

Проектування схеми трубопроводів вузла обліку має буде здійснюватися відповідно діючих норм проектування та рекомендацій фірми-виробника теплолічильника СВТУ-10М з дотриманням таких умов:

- мінімальні довжини прямих ділянок становитимуть: до витратоміру РУ-65 - 10 DN (650 мм), після витратоміру РУ-65: 5 DN (325 мм);
- ультразвукові датчики витрат РУ-65 будуть встановлюватися на горизонтальних ділянках подавального та зворотного трубопроводів за допомогою приварних фланців з комплекту поставки. Передбачено монтажний ремонтний комплект з двох патрубків внутрішнім діаметром 65 мм та довжиною 200 мм.
- заміна ультразвукових первинних перетворювачів витрат при їх ремонті чи повірці;
- переходи від діаметру існуючих трубопроводів (0108x4,0) до діаметра прохідного перерізу витратомірної ділянки (076x4,0) здійснюватимуться через конусні переходи з кутом розкриття 15°;
- для вузла обліку проектом передбачені термперетворювачі опору з монтажною (заглибленою) довжиною 80 мм;

Перетворювачі температури мають бути встановлені на наступних трубопроводах:

- на подавальному трубопроводі до витратоміра;
- на зворотному трубопроводі після витратоміра (по ходу теплоносія).

Для захисту теплоносія від дії потоку гарячої води буде використовуватися зйомна захисна гільза зовнішнім діаметром 8 мм та загальною довжиною 78 мм. Указаний комплект поставки засобів встановлення теплоносія дозволить



встановити термоперетворювачі під кутом  $90^\circ$  до напрямку потоку на існуючих трубопроводах  $108 \times 4,0$ , при цьому глибина занурення складає  $\sim 60$  мм, тобто центр чуттєвого елемента датчика співпадає з віссю трубопроводу. Умови встановлення перетворювачів температури на подавальному і зворотному трубопроводах будуть витримані ідентичними: однаковий діаметр трубопроводів, однакові швидкості та профілі потоку теплоносія [19].

Проектом передбачається розташування вимірювального блоку теплолічильника в приладному щиті. Вимірювальний блок буде кріпитися за допомогою кронштейну та чотирьох гвинтів М3. Габаритні розміри вимірювального блоку не мають перевищувати  $228 (300) \times 110 \times 35 (60)$ . В дужках указано розміри з врахуванням приладного роз'єму та елементів кріплення до стіни.

### 5.3 Алгоритм вимірювань та технічні характеристики теплолічильника СВТУ-10м

У лічильниках буде реалізовано два незалежні канали обчислення, кожен з яких обслуговує один контур споживання тепла. Тепловодолічильники призначені для:

1. Вимірювання відпущеної кількості тепла, об'єму теплоносія, температури теплоносія в трубопроводі, що подає і зворотних трубопроводах гарячої та холодної води, надлишкового тиску теплоносія або води, часу напрацювання (наявності напруги в мережі живлення та коректної роботи) або простою (відсутності напруги в мережі живлення), а також обчислення маси (масової витрати) теплоносія.

2. Індикації (залежно від виконання) вищеназваних, вимірянних та обчислених фізичних величин, а також теплової потужності, об'ємної витрати теплоносія або об'ємної витрати води, надлишкового тиску теплоносія, поточного часу та дати на індикаторі.

3. Формування на двох незалежних аналогових виходах потенційних вихідних сигналів, пропорційних інформативним параметрам, що вимірюються лічильником – температура, тиск, об'ємна витрата та теплова потужність.

Принцип вимірювання ультразвуковими лічильниками об'єму теплоносія (води) оснований на вимірюванні різниці часу протікання ультразвукових сигналів, які направлені вздовж та проти напрямку руху теплоносія, який протікає через витратомірну ділянку. Різниця часу, яка перераховується в середню (по перерізу) швидкість потоку, та площа поперечного перерізу витратомірної ділянки визначають миттєві витрати теплоносія (води). Значення миттєвих витрат, проінтегрованих за часом, дають інформацію за об'єм теплоносія, який протікає через витратомірну ділянку. Маса теплоносія визначається як функція об'єму і густини води в залежності від температури.

Температура води вимірюється платиновими термоперетворювачами опору. Вимірювальна інформація за миттєвими витратами теплоносія, температури води на вході і виході теплообмінної системи у вигляді електричних сигналів поступає до входу теплообчислювача. Обчислювач перетворює цю інформацію в цифрову форму і визначає теплову енергію, об'єм (масу) теплоносія, температуру теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах, а також вимірює час роботи чи простою вузла обліку.

Діапазон вимірювань температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах від 0 до 150 °С. Конструкція теплотічильника надає можливість вимірювання теплової енергії при різниці температур теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах від 2,5 до 150 °С.

Межі допустимої відносної похибки при вимірюванні:

- теплової енергії при різниці температур в подавальному та зворотному трубопроводах (в дужках наведено нормовані значення відносної похибки вимірювання теплової енергії в інтервалі діапазонів об'ємних витрат теплоносія від

$Q_{\min}$  до  $Q_t$ :  $\pm 4,0\%$  ( $\pm 6,0\%$ ) при  $20\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\pm 5,0\%$  ( $\pm 7,0\%$ ) при  $10\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\pm 6,0\%$  ( $\pm 8,0\%$ ) при  $2,5\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

- об'єму (маси) теплоносія: від  $Q_{\min}$  до  $Q_t$  -  $\pm 3,0\%$ ; від  $Q_t$  до  $Q_{\max}$  -  $\pm 2,0\%$ ;
- температури теплоносія:  $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Вимірювальна інформація про теплову енергію, об'єм теплоносія, а також час роботи зберігається в енергонезалежній пам'яті лічильника на протязі не менше 8 років. Теплолічильник має вихідний сигнал інформаційного зв'язку за стандартним інтерфейсом RS-232 [20]. Напруга живлення лічильника здійснюється від мережі живлення змінного струму напругою від 187 до 242 В частотою  $(50 \pm 1)$  Гц чи напругою  $(36 \pm 5,4)$  В частотою  $(50 \pm 1)$  Гц чи  $(60 \pm 1)$  Гц.

#### 5.4 Підсистема моніторингу та параметрів теплопостачання

Одним із основних компонентів системи обліку спожитої теплової енергії є лічильник тепла. Узагальнений принцип роботи лічильника тепла полягатиме у роботі комплексу перетворювачів витрати, температури, тиску, блоку обробки вимірювальної інформації на базі мікроконтролера та теплообчислювача.

Вимірювання витрати теплоносія може виконувати первинний перетворювач витрати (чутливий елемент), який контактує із вимірюваним середовищем та на виході створює сигнал для обробки інформації. Він може працювати лише у складі лічильника тепла конкретного виду на відміну від перетворювачів витрати, які є окремим приладом [20]. Перетворювач витрати має у складі первинний перетворювач та вторинний перетворювач (електронний блок), завдяки якому утворюються сигнали на виході, що можуть бути оброблені теплообчислювачами різних типів. За принципом роботи перетворювача витрати таким же чином класифікують і власне лічильники тепла: електромагнітний, ультразвуковий, вихровий, змінного перепаду тиску, тахометричні.

Перетворювачі температури у складі теплотічильника потрібні для контролю теплових режимів теплоносія. Найчастіше у складі лічильника встановлюються терморезистори, за активним електричним опором яких обчислювач розраховує температуру досліджуваного середовища.

Перетворювачі тиску на виході мають електричний сигнал, що утворився через вплив вимірюваного середовища на опір, заряд чи ємність давача. Загалом перетворювачі тиску у складі теплотічильника мають електричний сигнал на виході 4...20 мА, 0...2 мА або 0...5 мА.

За вимірними значеннями температури та тиску можна визначити питому ентальпію теплоносія, що у свою чергу необхідно для визначення теплової енергії теплоносія [20]. Блок обробки вимірювальної інформації перетворює сигнали від первинних перетворювачів в електричні сигнали для подальшого виведення цифрових даних про витрату та вимірні параметри теплоносія, за вхідними даними обчислює значення кількості теплової енергії, збереження у пам'яті пристрою вимірних та обчислених значень параметрів системи теплопостачання. Залежно від конфігурації обчислювального блоку можливі модернізації обчислювача технологіями передачі даних на різні пристрої та створення автоматизованої системи для регулювання та обліку параметрів системи теплопостачання. На рисунку 5.2 зображено схему узагальненої структури лічильника тепла.

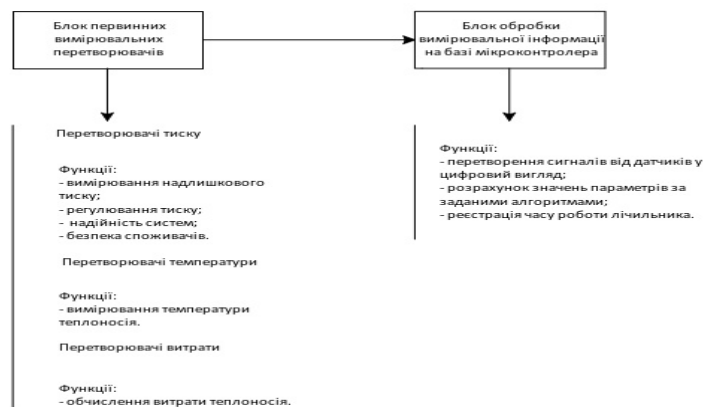


Рисунок 5.2 – Схема узагальненої структури лічильника тепла

Для функціонування системи автоматичного контролю параметрів теплопостачання необхідні інформаційні технології для збору та передачі даних, тому модуль теплोलічильника є важливим компонентом системи. Сучасні теплोलічильники мають різні інтерфейси для підключення модулю збору та передачі даних, тому тип каналу та протоколу передачі даних має бути узгодженим згідно конструкційних особливостей лічильника [20]. На рисунку 5.3 зображено схему модуля теплोलічильника для збору та передачі інформації.

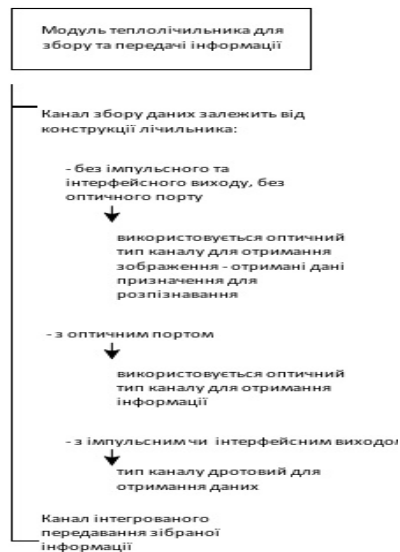


Рисунок 5.3 – Схема модуля теплोलічильника для збору та передачі інформації

## 5.5 Оцінка зовнішнього та внутрішнього середовища на основі SWOT аналізу

Для виявлення сильних та слабких сторін, а також можливостей та загроз проведемо SWOT аналіз тепловодолічильника СВТУ-10М та його обслуговування.

До сильних сторін відноситься:

- висока якість вимірювального приладу та простота використання;
- захист теплोलічильника від фальшування даних;
- термін служби 12 років;
- одночасний облік гарячої та холодної води на одному об'єкті;
- похибка вимірювання тепловодолічильників 2%;

- можливість перевірки безпроливним способом;
- самодіагностика приладу;
- відповідність сучасним технологіям;
- гарантійний термін обслуговування приладу 1 рік;
- специфікація підприємства на приладах обліку теплової енергії;
- висока кваліфікація спеціалістів;
- наявність необхідного специфікованого обладнання;
- досвід роботи більше 20 років.

До слабких сторін відноситься:

- відсутність онлайн контролю за станом системи тепlopостачання для виявлення нестандартних ситуацій;
- відсутність розвиненого інтернет-маркетігу;
- ремонтна непридатність тепловодолічильників.

Можливості даного тепловодолічильника включають:

- підключення GSM-модему;
- підключення додаткового обладнання, такого як регулятори тепла, тиску та витрати;
- створення системи диспетчеризації контролю та онлайн моніторингу стану системи тепlopостачання.

До загроз відноситься наступне:

- наявність високої конкурентоспроможності з боку великих компаній на території України.

Отже, впровадження сучасної автоматизованої системи управління на базі ультразвукового теплोलічильника СВТУ-10М дозволить забезпечити високу точність вимірювання всіх значень теплоносія. Розгалужена система самодіагностики дозволить визначити близько 40 типів можливих помилок та несправностей, прискорити час необхідного ремонту, а також своєчасно виявити витoki, запобігти аварійним ситуаціям. Відповідність сучасним вимогам дає змогу

без додаткових витрат перейти на цифрові технології автоматизованої системи обліку споживання енергоресурсів [19, 20]. Можливість підключення додаткового обладнання до тепловодолічильника СВТУ-10М, такого як регулятори тепла, тиску, витрати тощо дозволить створити різні системи регулювання тепла, тиску, витрати, залежно від погодних умов.

Однак, одна із слабких сторін, яка має чимало важливе значення – це ремонтна непридатність теплотлічильників, так, наприклад, у разі серйозної поломки необхідно повністю проводити заміну та обладнання необхідно відправляти на завод виробник, що тягне за собою додаткові витрати.

Таким чином, оцінка внутрішнього та зовнішнього середовища показує, що можливості підприємств мають бути використані таким чином, щоб вони не дозволили слабким сторонам генерувати ризики виникнення непередбачених обставин.

## 5.6 Удосконалення системи обліку спожитої теплової енергії

За допомогою каналів зв'язку з модуля теплотлічильника для збору та обробки виміряних даних про параметри теплопостачання відбуватиметься передача даних з окремих пунктів обліку до серверів для первинного аналізу даних та збереження інформації на сервері бази даних. Елемент «Веб-сервер» необхідний для передачі інформації та взаємодії з нею на наступний рівень інтерфейсу користувачів. На рисунку 5.4 зображена структура підсистеми збору та передачі інформації.



Рисунок 5.4 – Структура підсистеми збору та передачі інформації

Наступним рівнем є дистанційний обмін інформацією за допомогою каналів зв'язку між веб-сервером та веб-браузерами користувачів. Такими є пристрій споживача теплопостачання та диспетчерський пункт теплопостачальної організації. На цьому рівні застосовуватиметься спеціалізоване програмне забезпечення SEMPAL Device Manager для остаточної обробки даних від приладів обліку, як окремих споживачів, так і групи, реалізація документованого вигляду інформації про параметри теплопостачання тощо. Виведення інформації щодо параметрів теплопостачання на власний пристрій, такий як ПК чи смартфон, є важливою складовою реалізації системи контролю параметрів теплопостачання та спожитих енергоресурсів [20].

За допомогою GSM модемів програма SEMPAL Device Manager дозволить без виходу на об'єкт звернутися до будь-якого теплотічильника СВТУ-10М, встановленого на довільно розташованому об'єкті, тим самим дистанційно виміряти параметри даних, всі зміни витрати та температури. Створення системи диспетчеризації контролю та онлайн моніторингу стану системи теплопостачання – це програмно-апаратний комплекс «Sempal-Navi-Count», що є системою автоматизованого збору даних про споживання та/або генерацію теплової енергії. Даний комплекс допоможе вирішити основні завдання в галузі комерційного та технологічного обліку на комунальних підприємствах, такі як:



- автоматизований збір даних;
- оперативний контроль параметрів споживання енергоресурсів;
- підготовка звітних документів.

Налаштування віддалених модемів викликаються в меню «Параметри -> Налаштування віддаленого модему» (рисунок 5.5).

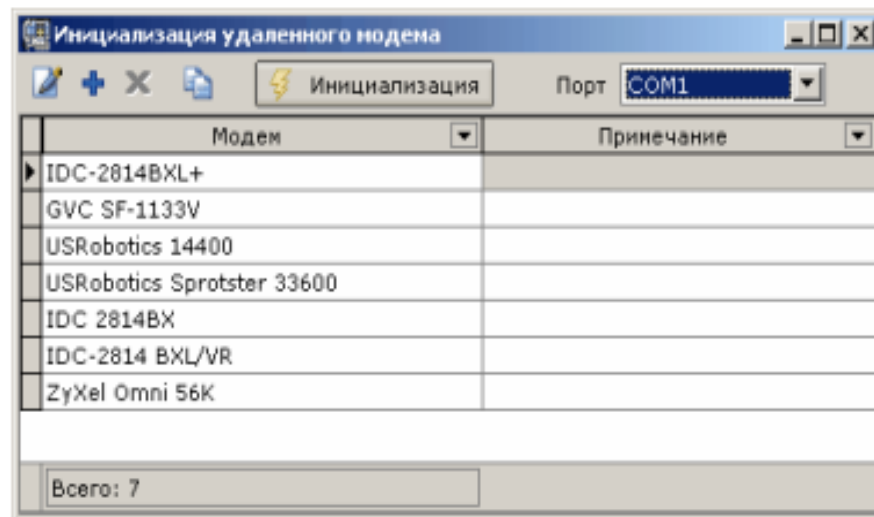


Рисунок 5.5 – Вікно «Ініціалізація віддаленого модему»

Збір даних здійснюватиметься автоматично з можливістю зняття даних кожні 15 хв. з необмеженої кількості об'єктів обліку. Особливістю системи є повністю автоматизований (без втручання людини) збір даних із високою точністю та періодичністю.

## ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи для здобуття ступеня вищої освіти магістра є удосконалення системи управління міським тепловим розподільчим пунктом з метою підвищення ефективності використання теплоносія атомної електростанції за рахунок сучасних засобів автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

1. В кваліфікаційній роботі була надана інформація стосовно загального поняття тепловий пункт, його призначення, основні його завдання, типів теплових пунктів, а також стосовно методик регулювання теплового режиму.

2. Запропонована технологічна схема майбутнього тепло-розподільчого пункту. Надається порівняльна характеристика автоматизованих систем в Україні і закордоном, враховуючи переваги і недоліки даних систем. У роботі описується завдання, мета та функції системи автоматизації умовного тепло-розподільчого пункту.

3. Розроблена структурна схема системи та математична модель, за якою проведено дослідження цієї моделі в Matlab. Підвищити якість регулювання вдалось у результаті збільшення коефіцієнта пропорційної частини регулятора  $k_p = 7$ , який дозволив скоротити величину статичної помилки і час регулювання. У результаті моделювання системи управління опаленням у середовищі MATLAB встановлено, що отримані у ході роботи системи значення температури задовольняють заданим. Це свідчить про коректну роботу розробленої системи, а її впровадження ефективною для виробництв, що використовують теплообмінники, оскільки підвищується ефективність використання енергоресурсів.

4. У роботі спроектовано графічний інтерфейс, який дозволяє оператору технологу бачити схему технологічного процесу об'єкту автоматизації – технічні засоби автоматизації, контури контролю та регулювання, контролювати, а також задавати необхідні параметри.

5. У кваліфікаційній роботі надається оцінка зовнішнього та внутрішнього середовища впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами на основі аналізу SWOT.

Розроблено структурну схему автоматизованої системи контролю параметрів теплопостачання, проаналізовано роботу відповідного технологічного обладнання та засобів автоматизації та надано рекомендації щодо удосконалення системи обліку спожитої теплової енергії.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

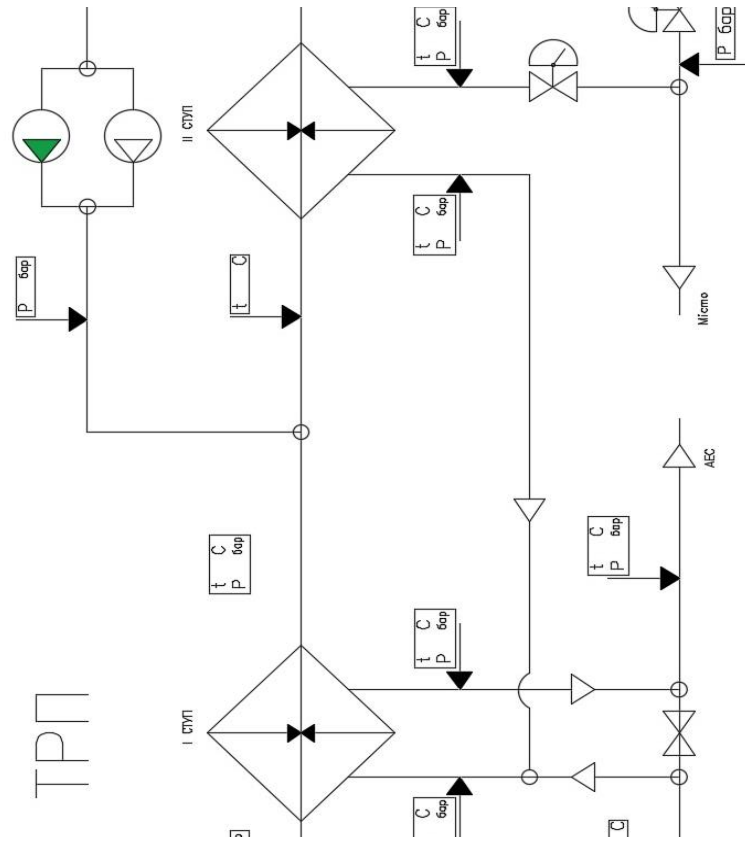
1. Основи побудови автоматизованих систем управління. URL: [http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/2487/1/Osnovy\\_pobydovu\\_ASU.pdf](http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/2487/1/Osnovy_pobydovu_ASU.pdf). (дата звернення: 5.11.2022).
2. Автоматизовані системи управління. URL: [https://vuzlit.com/2303874/avtomatizovani\\_sistemi\\_upravlinnya](https://vuzlit.com/2303874/avtomatizovani_sistemi_upravlinnya). (дата звернення: 5.11.2022).
3. Автоматизація, щит (шафа) автоматики управління теплового пункту, ГВС. URL: <https://umtec.in.ua/p/68738011-avtomatizaciya-shchit-shkaf-avtomatiki-upravleniya-teplovogo-punkta-gvs/>. (дата звернення: 02.02.2022).
4. Схема теплопостачання міста Запоріжжя. *Енергосервісна компанія «Екологічні Системи»*. Запоріжжя, 2009. С. 1-102. URL: [https://zp.gov.ua/upload/content/o\\_1c7mo50balcq81dvf1eud1i1a5l24k.pdf](https://zp.gov.ua/upload/content/o_1c7mo50balcq81dvf1eud1i1a5l24k.pdf). (дата звернення: 02.02.2022).
5. LogoTherm – індивідуальні теплові пункти для багатоквартирних будинків, офісних центрів, котеджних містечок чи приватних маєтків. URL: <https://www.meibes.ua/o-kompanii/news/2020/06/18/logotherm-individualnyie-terplovuyie-punktyi/>. (дата звернення: 02.02.2022).
6. What is MATLAB? URL: <https://cimss.ssec.wisc.edu/wxwise/class/aos340/spr00/whatismatlab.htm> (дата звернення: 28.10.2022).
7. Implement MATLAB Functions in Simulink with MATLAB Function Blocks. URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink/ug/what-is-a-matlab-function-block.html>. (дата звернення: 28.10.2022).
8. Швець В. І., Шостачук Д. М. Виконавчі механізми, регулювальні органи і пристрої. С. 1 – 162. URL: [https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/8319/mod\\_resource/content/1/%D0%92%D0](https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/8319/mod_resource/content/1/%D0%92%D0)

- %9C%D0%A0%D0%9E\_%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0.pdf.  
(дата звернення: 5.11.2022).
9. Датчики та перетворювачі. URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/products/dcs/sensors-and-transmitters/#tab-other> (дата звернення: 16.01.2022).
  10. Промисловий контролер Twido. URL: <https://www.electrocentr.com.ua/ua/products/plc/Twido.html>.  
(дата звернення: 15.01.2022).
  11. Місюренко В. О. Використання перетворювача частоти Altivar 320 як засобу автоматизації технологічної установки. Національний університет «Львівська політехніка» кафедра ЕКС. 2018. С. 52–56. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/44085>. (дата звернення: 15.01.2022).
  12. Neural Network Predictive Controller в автоматизації теплового пункту. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Запоріжжя, 2020. С. 235-239. URL: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2020/4/49.pdf>. (дата звернення: 02.02.2022).
  13. Теплова автоматика Danfoss. Данфосс ТОВ. 2016. С. 1–298. URL: [https://santehkomplekt.ua/files/katalogi/Danfoss/teplovaya\\_avtomatika\\_compressed.pdf](https://santehkomplekt.ua/files/katalogi/Danfoss/teplovaya_avtomatika_compressed.pdf). (дата звернення: 15.01.2022).
  14. Wilo pumps. URL: <http://www.domenicalipumps.com/wilo-pumps/>. (дата звернення: 16.01.2022).
  15. Автоматизовані теплові пункти. URL: <https://jak.koshachek.com/articles/avtomatizovani-teplovi-punkti.html>. (дата звернення: 27.10.2022).
  16. Weintek ip-series. URL: <https://www.risacorps.com/product/weintek-ip-series/>.  
(дата звернення: 27.10.2022).
  17. Twido Suite. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/1453-twidosuite/#software-and-firmware>. (дата звернення: 27.10.2022).

18. Система автоматизованого проєктування AutoCAD. URL: [https://studopedia.com.ua/1\\_12826\\_sistema-avtomatizovanogo-proektuvannya-AutoCAD.html](https://studopedia.com.ua/1_12826_sistema-avtomatizovanogo-proektuvannya-AutoCAD.html). (дата звернення: 27.10.2022).
19. Встановлення лічильника тепла.  
URL: <http://s-t.com.ua/uk/poslugi/vstanovlennya-lichilnika-tepla>. (дата звернення: 02.02.2022).
20. Тепловий лічильник в будинку.  
URL: <https://thermomodernisation.org/teplovyi-lichylnyk-v-budynku/>. (дата звернення: 02.02.2022).

## ДОДАТОК А

## ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА







ДОДАТОК В

МОДУЛЬ АНАЛОГОВИХ ВХОДІВ

