МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему Проект автоматизації кліматичним обладнанням для побутових споживачів. Система автоматичного регулювання опаленням

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1743-с2
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Снегірьов К.К.

Керівник доцент, к. т. н. Барішенко О.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент _____

Запоріжжя 2026

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 (бакалаврський)
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(код та назва)

Спеціалізація _____
(код та назва)

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ
Снегірьов Кирило Констянтинович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проект автоматизації кліматичним обладнанням для побутових споживачів. Система автоматичного регулювання опаленням
керівник роботи Барішенко О.М, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1833-с
2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз існуючого рівня автоматизації; розробка схеми інформаційних потоків; розробка технічного завдання; структура програмно-технічного комплексу; проєктування системи регулювання опаленням; розробка технічної документації; техніко-економічних показники; охорона праці, пожежна безпека
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): функціональна схема автоматизації, принципові електричні схеми, монтажно-комутаційна схема, схема зовнішніх з'єднань креслень) презентація роботи

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доцент, Барішенко О.М.		
2	доцент, Барішенко О.М.		
3	доцент, Барішенко О.М.		
4	доцент, Барішенко О.М.		
5	доцент, Барішенко О.М.		
6	доцент, Барішенко О.М.		

7 Дата видачі завдання 14.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання стапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючого рівня автоматизації	21.04-27.04.26	
2	Розробка схеми інформаційних потоків	28.04-04.05.26	
3	Розробка технічного завдання	05.05-07.05.26	
4	Вибір структури та складу програмно-технічного комплексу	08.05-10.05.26	
5	Проєктування системи регулювання температури	08.05-14.05.26	
6	Розробка технічної документації	15.05-18.05.26	
7	Розрахунок системи автоматизації та показників її надійності	19.05-21.05.26	
8	Розрахунок техніко-економічних показників	22.05-23.05.26	
9	Розгляд питань охорони праці та техногенної безпеки	24.05-25.05.26	
10	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю, підготовка доповіді	26.05 – 16.06.26	

Студент _____ Кирило СНЕГІРЬОВ
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Олена БАРІШЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Андрій КОЛОСОК
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Снегірьов К. К. Проект автоматизації кліматичним обладнанням для побутових споживачів. Система автоматичного регулювання опаленням.

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник О. М. Барішенко, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2026.

Метою роботи є проєктування автоматизованої системи регулювання навантаженням

У ході виконання роботи було проведено функціонально - технологічний аналіз системи теплопостачання та розроблено функціональну схему автоматизації теплового пункту, який є елементом цієї системи. Розглянута структура розподіленої мережи теплопостачання. Керування теплозабезпеченням реалізується на основі SCADA-технологій і технічних засобів автоматизації, що включають давачі, виконавчі пристрої, а також засоби сполучення для мікропроцесорних контролерів з ПК. Були проведені математичні дослідження для перевірки ефективності автоматизованої системи опалення. У результаті було отримано дані про споживання енергії, температурні режими та зручність управління. Проведені техніко-економічні розрахунки повністю підтвердили фінансову спроможність та високу експлуатаційну доцільність модернізації системи керування тепловим пунктом та підлоговим опаленням споживачів.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, шести розділів, висновків, переліку джерел посилання з 52 найменувань, викладена на 80 сторінках машинописного тексту, включаючи 18 рисунок, 8 таблиць та 9 аркушів графічного матеріалу.

Ключові слова: система автоматичного регулювання, тепловий пункт, підлогове опалення, керування, кліматичне обладнання, опалення

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1. ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ 8
1.1 Технологічний опис об’єкта автоматизації 8
1.2 Технологічний процес 10
1.3 Постановка задачі проєктування системи автоматизації 15
2 ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 21
2.1. Загальні вимоги до архітектури та функціонування системи 21
2.2. Вимоги до керуючих функцій (САР) 22
2.3. Вимоги до захисних та протиаварійних функцій 23
2.4. Вимоги до інформаційних функцій та інтерфейсу користувача 24
2.5. Вимоги до видів забезпечення системи 24
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ 26
4. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ 35
4.1 Функціональна схема автоматизації теплового вводу 35
4.2 Аналіз структури побудови САР 38
4.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів САУ 45
5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 61
5.1. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного устаткування та засобів автоматизації 61
5.2 Вимоги до персоналу, який обслуговує котлове обладнання 64
5.3 Вимоги з електробезпеки при експлуатації засобів автоматизації 65
5.4 Виробниче освітлення 67
5.5. Пожежна безпека та профілактика 68
6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ 70
ВИСНОВКИ 75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 76

ВСТУП

Традиційні підходи до побудови систем теплопостачання та кліматичного регулювання побутових споживачів часто демонструють низьку енергетичну та економічну ефективність. Головною причиною цього є відсутність гнучких засобів локальної автоматизації, здатних адаптувати роботу обладнання до динамічних змін зовнішніх факторів та внутрішніх потреб об'єкта. Розрахунок вузлів регулювання за класичними методиками на максимальні статичні навантаження гарячого водопостачання (ГВП) та опалення не дозволяє раціонально розподіляти теплову енергію в перехідні періоди та при змінних графіках споживання.

Спроби стабілізувати параметри теплоносія за спрощеними однофакторними залежностями (наприклад, регулювання контуру ГВП виключно за температурою гарячої води) призводять до дестабілізації гідравлічного й теплового режимів суміжних систем опалення, виникнення перетопів або, навпаки, недогрівів, а також до значного завищення температури зворотного теплоносія. Водночас прагнення мінімізувати витрати мережної води зумовило перехід до складніших схемної рішень — зокрема, до впровадження двоступеневих змішаних схем підключення теплообмінників з обмеженням витрати води. Це суттєво ускладнило взаємозв'язки між гідравлічними та тепловими процесами в теплових пунктах і висунуло нові вимоги до систем керування.

Донедавна широке використання потенціалу сучасних теплових схем стримувалося дефіцитом гнучких інженерних методик розрахунку динамічних змінних режимів та обмеженістю інструментів оптимізації. Проте інтеграція засобів комп'ютерного моделювання на етапах проектування та вдосконалення алгоритмів керування взаємопов'язаними технологічними параметрами відкривають шлях до ефективного регулювання раніше некерованих процесів навіть за умов збурень з боку первинних джерел теплоти.

Головним інструментом впровадження прогресивних енергозберігаючих технологій у побутовому секторі сьогодні є інтелектуальні мікропроцесорні системи керування. Вони дозволяють інтегрувати сучасні первинні перетворювачі, виконавчі механізми та контролери в наявну інфраструктуру побутових споживачів. Це вимагає якісної зміни організаційних та архітектурних принципів побудови систем клімат-контролю – переходу від централізованих жорстких структур до розподілених систем керування на базі індивідуальних теплових пунктів (ІТП) та локальних кімнатних модулів, що супроводжується якісним оновленням апаратно-програмного забезпечення.

Сучасна концепція модернізації кліматичного обладнання побутових споживачів повинна підпорядковуватися комплексному критерію ефективності. Це передбачає не лише пряме заощадження теплової енергії, а й мінімізацію витрат супутніх ресурсів: підживлювальної води, електричної енергії на привід циркуляційних насосів, а також сервісних витрат на експлуатацію. Додатковим пріоритетним завданням проектованої системи автоматичного регулювання є безперервний технічний моніторинг і діагностика стану технологічного обладнання, що гарантує високу надійність, безаварійність та безпеку його функціонування.

У даному проекті розглядається комплексне технічне рішення з розробки системи автоматичного регулювання опаленням та кліматичним обладнанням побутового сегмента, що базується на сучасних засобах мікропроцесорної техніки та оптимізованих алгоритмах енергоефективного керування.

1. ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Технологічний опис об’єкта автоматизації

Теплова мережа (ТМ) – це розгалужена система теплопроводів, що складається зі з’єднаних між собою сталевих труб, оснащених ефективним шаром теплової ізоляції [22]. Стабільне та безпечне функціонування ТМ забезпечується комплексом інженерних споруд та обладнання, зокрема запірно-регулювальною арматурою і насосними підстанціями. Для полегшення експлуатації, підвищення надійності та обслуговування ТМ до її складу інтегрують:

– автоматичні регулятори тиску та витрати;

– компенсатори теплових подовжень (для нівелювання температурних деформацій металу);

– дренажні та пристрої для випуску повітря (повітряноспускні вентилі);

– спеціалізовані камери обслуговування.

Головним призначенням теплової мережі є гарантоване, надійне та безперебійне транспортування робочого теплоносія до споживачів із забезпеченням мінімальних втрат теплової енергії та технологічної води. Раціональне використання потенціалу теплоносія базується на динамічній зміні його витрати й теплофізичних параметрів (температури, тиску), що безпосередньо залежить від обраних схем та способів підключення кінцевих абонентів. Сукупність технічних засобів, інженерного обладнання та приладів, які забезпечують реалізацію різноманітних схем приєднання тепловикористовуючих установок до магістральних ліній, утворює тепловий пункт (ТП).

У загальному випадку архітектура теплового пункту забезпечує виконання таких ключових технологічних функцій:

– трансформація параметрів: перетворення та адаптація тиску і

температури первинного теплоносія до безпечних робочих значень внутрішніх систем;

– гідравлічний розподіл: чіткий розподіл потоків та витрат теплоносія між окремими підсистемами споживання (опалення, вентиляція, ГВП);

– автоматичне регулювання: керування відпуском теплової енергії в контури опалення залежно від зовнішніх кліматичних умов, а також стабілізація параметрів води у системах гарячого (ГВП) та холодного (ХВП) водопостачання;

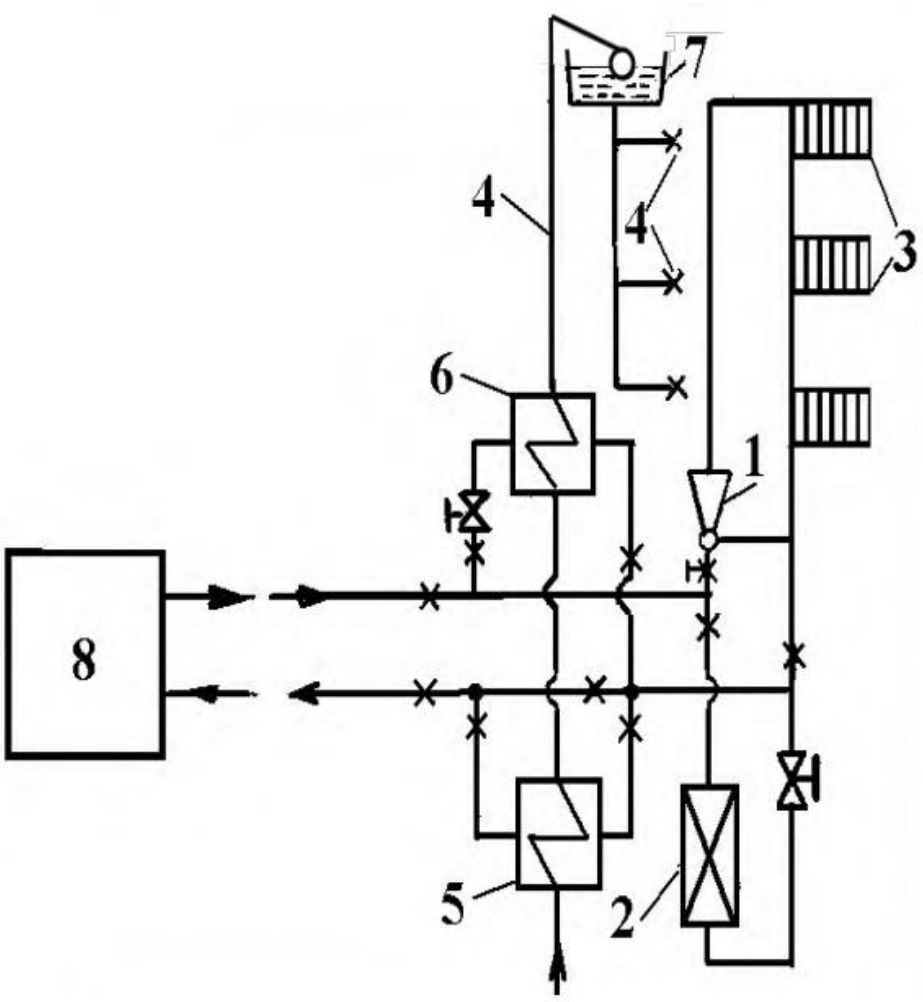
– підживлення та акумуляція: заповнення робочих контурів, компенсація витоків (підживлення) систем споживання, а також акумулювання та термічна підготовка води для потреб ГВП;

– протиаварійний захист: захист внутрішніх систем від спорожнення, гідроударів та критичного (аварійного) підвищення тиску або температури;

– технологічний контроль: безперервний місцевий чи дистанційний моніторинг параметрів теплоносія з передачею даних на центральний диспетчерський пункт;

– комерційний облік: точний облік спожитої теплової енергії та масової витрати теплоносія.

Як правило, магістральні теплові мережі проєктуються за двотрубною схемою. У водяних теплових мережах вона представлена подавальним (гарячим) та зворотним теплопроводами, а в парових мережах — комбінацією паропроводу та конденсатопроводу (рис. 1.1).



1 – елеватор; 2 – калорифер; 3 – система опалення; 4 – система ГВП;
5 – водопідігрівач першого ступеня; 6 – водопідігрівач другого ступеня;
7 – бак-акумулятор гарячої води; 8 – джерело теплопостачання

Рисунок 1.1 – Принципова схема закритої двотрубної системи теплопостачання

1.2 Технологічний процес

Високотемпературний теплоносій від джерела теплопостачання (ТЕЦ або районної котельні) подається в двотрубну магістральну мережу з температурним графіком 70-150 °С, який корегується залежно від поточної температури зовнішнього повітря.

На абонентському введенні споживача первинний теплоносій розподіляється за технологічними контурами.

Частина високотемпературної води спрямовується до водоструминного елеватора, де відбувається її змішування зі зворотним теплоносієм із системи опалення об'єкта. Це забезпечує попереднє охолодження води до нормативних значень перед її надходженням безпосередньо в опалювальні прилади. Одночасно елеватор виконує функцію змішувального та рециркуляційного насоса, створюючи динамічний напір для подолання внутрішнього гідравлічного опору місцевої системи.

Для забезпечення потреб припливної вентиляції та підігріву зовнішнього повітря мережна вода з подавального трубопроводу подається безпосередньо на калорифери. Підготовка води для потреб гарячого водопостачання (ГВП) реалізується за двоступеневою схемою: спочатку водопровідна вода попередньо підігрівається у нижньому ступені (послідовному теплообміннику) за рахунок теплового потенціалу зворотного теплоносія системи опалення, а потім доводиться до нормативної температури у верхньому ступені за рахунок гарячої мережної води.

Комплекс автоматичного регулювання параметрів на абонентському введенні включає:

– автоматичний регулятор (термостат) температури ГВП на виході з блоку підігрівачів;

– регулятор температури повітря, що проходить через калорифери припливної вентиляції;

– клапан автоматичного регулювання відпуску тепла (витрати теплоносія) в контур опалення будівлі.

Основні фактори, що викликають необхідність проміжних ступенів керування:

– невідповідність вимог до режима функціонування теплового джерела, теплових мереж і систем теплоспоживання;

– неоднородний характер і режим теплоспоживання;

– невідповідність статичних характеристик систем опалення режиму центрального регулювання витрат теплоти;

– неоднакові динамічні характеристики опалювальних будівель, абонентських систем опалення та ділянок теплової мережі до даного споживача;

– неоднакові величини зовнішніх збурень;

– вплив збурень на регулюючу величину (температуру і витрата теплоносія), що діють між джерелом теплоти і даної щаблем управління.

Для проведення ремонтних та профілактичних робіт кожен технологічний вузол споживача, а також безпосередньо абонентське введення від магістралі, обладнуються парою запірних засувок. Обов'язковим є передбачення дренажних ліній та зв'язку з водопроводом і каналізацією для забезпечення можливості спорожнення та гідропневматичного промивання контурів.

Охолоджений зворотний теплоносій повертається від абонентів на джерело тепла з температурою 40-70 °С. На вході в котельню чи ТЕЦ вода проходить очищення у грязьовиках (сітчастих фільтрах) та деаераторах, де видаляються механічні домішки та розчинені гази. Компенсація витоків у мережі здійснюється за допомогою автоматизованого вузла підживлення, що включає підживлювальні насоси та клапани підтримання статичного тиску. Далі мережні насоси підвищують тиск теплоносія до робочого значення, необхідного для циркуляції по всій замкнутій системі СЦТ, і подають воду у водогрійні котли або парові теплообмінники для повторного нагріву.

Хімічна водопідготовка (ХВП) підживлювальної води є критично важливою ланкою, що забезпечує глибоке зм'якшення, декарбонізацію та деаерацію теплоносія. Це повністю виключає процеси інтенсивного накипоутворення, шламування та внутрішньої корозії поверхонь нагріву котлів і трубопроводів.

Залежно від масштабів, пропускної здатності та функціонального призначення трубопроводи підрозділяють на три основні категорії:

– магістральні: діаметром від 600-1400 мм і більше (транспортують основні об'єми теплоносія від джерела до районів споживання);

– розподільні (квартальні): діаметром 300-600 мм (розподіляють тепло всередині житлових масивів чи промислових зон);

– відгалуження (дворові, локальні): діаметром менше 300 мм (безпосередньо підводять теплоносій до окремих будівель).

Гідравлічна й температурна стійкість системи забезпечується встановленням секціонуючих запірних пристроїв, спорудженням змішувальних та підвищувальних насосних підстанцій, а також впровадженням контрольно-розподільних пунктів (КРП). За геометричною конфігурацією теплові мережі поділяють на радіальні та кільцеві.

Порівняння характеристик топологій мереж наведене в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця топологій мереж

Тип топології мережі	Переваги	Недоліки
Радіальна мережа	Простота проектування, мінімальні капітальні витрати, поступове звуження діаметрів трубопроводів у міру віддалення від джерела.	Повна відсутність резервування; при аварії на магістралі знеструмлюються всі наступні споживачі.
Кільцева мережа (або радіальна з перемичками)	Висока надійність, можливість двостороннього живлення, гнучкість резервування (критично для підприємств безперервного циклу та об'єктів цивільної оборони).	Значне подорожчання будівництва через збільшення матеріаломісткості та ускладнення гідравлічних режимів.

Для забезпечення спорожнення та видалення повітря під час пусконалагоджувальних робіт, усі трубопроводи прокладаються з нормативним похилом. У найнижчих точках профілю монтуються дренажні спускники, а у верхніх – автоматичні або ручні повітровідвідники. Довгі транзитні ділянки підлягають обов'язковому секціонуванню запірною арматурою для локалізації можливих аварійних пошкоджень та мінімізації втрат хімічно очищеного теплоносія.

Необхідність розгортання такої розгалуженої структури автоматики зумовлена низкою дестабілізуючих факторів:

– асинхронність режимів: невідповідність між статичними режимами роботи ТЕЦ, гідравлікою мереж та динамікою теплоспоживання абонентів;

– неоднорідність навантаження: суттєва відмінність у графіках роботи систем опалення, вентиляції та випадкових піків споживання ГВП;

– динамічна розбіжність: різні теплоінерційні та архітектурно-конструктивні характеристики будівель, а також неоднаковий вплив зовнішніх збурень (інсоляція, вітрове навантаження, пофасадна орієнтація);

– транспортне запізнення: часові лаги при русі теплоносія від джерела до віддалених споживачів, що спотворює параметри регулювання.

Основним завданням кожної проміжної ланки автоматики (наприклад, групового регулювання в ЦТП або місцевого в ІТП) є локальне корегування та адаптація базового теплового графіка під специфічні характеристики конкретного об'єкта чи групи споруд.

Найвищий показник енергозбереження забезпечується за умов суцільного охоплення системи автоматизацією, аж до кінцевого ступеня — індивідуального терморегулювання безпосередньо на опалювальних приладах у приміщеннях. Впровадження центрального регулювання за скоригованим температурним графіком у поєднанні із системами зв'язаного автоматичного керування контурами опалення та ГВП в ІТП дозволяє використовувати будівельні конструкції споруд як акумулятори тепла. Це згладжує пікові навантаження,

вирівнює гідравлічний режим магістралей та забезпечує суттєве зниження розрахункової витрати мережної води, уможливлюючи зменшення капітальних витрат на діаметри трубопроводів при проектуванні та модернізації мереж.

1.3 Постановка задачі проєктування системи автоматизації

Одним з головних елементів системи централізованого теплопостачання є ТП (центральний або індивідуальний), в якому здійснюється зв'язок між ТМ і споживачами теплової енергії. ТП виконує прийом теплоносія, його перетворення, розподіл між споживачами, здійснює облік теплоспоживання, автоматично забезпечуючи при цьому [23]:

– необхідні параметри теплоносія в системах опалення та вентиляції;

– температуру води в системах ГВС;

– узгодження і стабілізацію гідравлічних режимів в ТМ і в системах теплоспоживання.

Всі ці завдання реалізуються за рахунок автоматизації ТП. Мета автоматизації систем теплопостачання полягає в найбільш ефективному вирішенні завдань окремими її ланками без безпосереднього втручання людини.

Завдання автоматизації ЦТП полягають у наступному:

– регулювання відпустки теплоти на опалення будівель;

– регулювання температури води на гаряче водопостачання;

– регулювання перепаду тиску мережної води на вході в ЦТП при наявності надлишкового напору в теплової мережі;

– обмеження максимальної витрати мережевої води на ЦТП для усунення можливості розрегулювання ТМ;

– задоволення без обмежень максимальної потреби у витраті води споживачів на головних ділянках ТМ може привести до недодачі теплоти на кінцевих ділянках мережі;

– регулювання перепаду тиску води в розподільчих ТМ опалення – при змінній витраті води в приєднаних до цих мереж системах опалення та вентиляції;

– регулювання тиску (підпору) в зворотному трубопроводі від систем опалення – в ЦТП з залежним приєднанням систем опалення при необхідності індивідуального захисту їх від спорожнення.

Регулювання відпуску теплоти в ступенях може здійснюватися із застосуванням таких автоматичних систем:

– регулювання температури води на опалення, в залежності від метеорологічних параметрів (температури зовнішнього повітря) по заданому температурному графіку (регулювання «по збуренню»);

– регулювання температури повітря в приміщеннях (регулювання «по відхиленню»);

– комбінованого регулювання «по збуренню» і «по відхиленню», що може здійснюватися як одним ступенем, так і поєднанням двох ступенів в різних ланках системи теплопостачання: одна – «по збуренню», інша – «по відхиленню».

– Для вирішення зазначених завдань ТП оснащуються обладнанням (водонагрівачами, змішувальними пристроями, насосами), запірно-регулюючою арматурою, пристроями електроживлення і електрокерування, приладами контролю, регулювання, керування і обліку (рис.1.2).

За функціональним призначенням ТП можна розділити на окремі вузли (рис.1.2), пов'язані між собою трубопроводами і мають відокремлені або спільні кошти автоматичного управління:

– I – вузол введення ТС;

– II – вузол обліку теплоспоживання;

– III – вузол узгодження тисків;

– IV – вузол приєднання систем вентиляції;

– V – вузол приєднання систем ГВП;

– VI – вузол приєднання систем опалення;

– VII – вузол підживлення незалежно приєднаних до ТМ систем теплоспоживання.

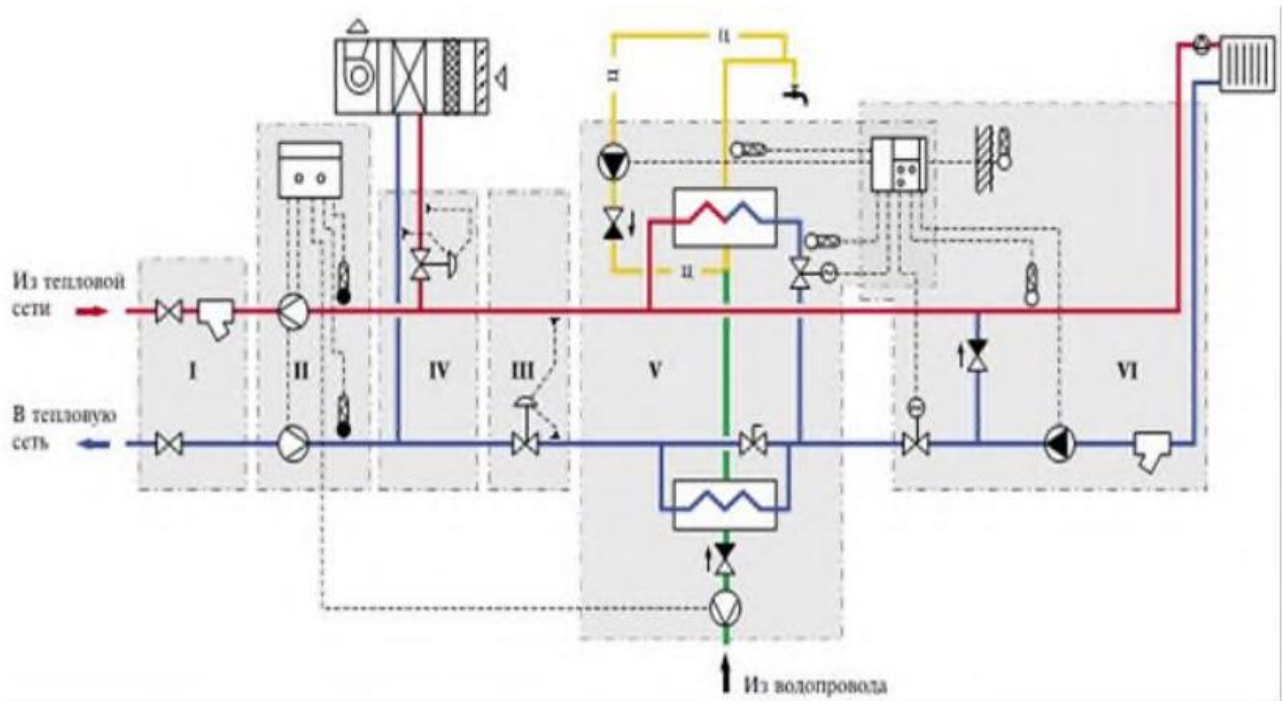


Рисунок 1.2 – Технологічна схема автоматизованого ТП

Відповідно до прийнятої технологічної схеми ТП тип застосовуваних вузлів, їх кількість і поєднання можуть варіюватися в широких межах. При цьому вузли введення ТМ, обліку теплоспоживання та узгодження тисків є обов'язковою приналежністю будь-якого ТП.

Функціональна структура – це функції, що виконуються системою управління (рис. 1.3).

Функції САР поділяються на:

– інформаційні;

– керуючі;

– захисні.



Рисунок 1.3 – Узагальнена функціональна структура АСУ ТП [21]

Залежно від цільового призначення та характеру взаємодії з технологічним процесом, усі функції автоматизованої системи керування (АСК) підрозділяють на три основні категорії: керуючі, захисні та інформаційні.

1. Керуючі функції.

Керуючі функції призначені для безперервної стабілізації технологічних параметрів та автоматичного підтримання їхніх значень у межах заданих технологічних уставок. У розробленій системі реалізовано:

Автоматичне регулювання температурного режиму: безперервне підтримання заданої температури теплоносія в контурі підлогового опалення шляхом імпульсного або аналогового керування запірно-регулюючим клапаном (увімкнення/вимкнення сервоприводу або позиціонування штока).

2. Захисні та протиаварійні функції.

Захисні функції забезпечують автоматичне виконання заздалегідь визначених алгоритмів для запобігання пошкодженню обладнання в разі виникнення позаштатних або аварійних ситуацій, а також для мінімізації їхніх наслідків. Система передбачає видачу світлової та звукової сигналізації у таких

випадках:

– вихід температури за допустимі межі: фіксація критичного перевищення (перегріву) або падіння температури теплоносія відносно норми;

– контроль перепаду тиску (захист від «сухого ходу»): моніторинг різниці тисків на вході та виході насосного агрегату, що забезпечує миттєве блокування його роботи у разі зникнення теплоносія в трубопроводі для запобігання кавітаційному руйнуванню;

– аварійне припинення роботи насоса: сигналізація про несанкціоновану зупинку циркуляційного насоса або спрацювання теплового захисту двигуна.

3. Інформаційні функції.

Інформаційні функції забезпечують збір, первинну обробку та візуалізацію поточних значень технологічних параметрів системи (детальний перелік наведено в табл. 1.2). Отримані з первинних перетворювачів (датчиків) дані дозволяють здійснювати об'єктивний оперативно-технічний аналіз стану обладнання та динаміки проходження теплотехнічних процесів у реальному часі.

Таблиця 1.2 — Перелік інформаційних функцій у даній системі

Назва вимірювальних параметрів	Номінальні значення
Температура води на виході з газового котла	90 ∘C
Температура води на вході до газового котла	30 ∘C
Температура води всередині бака	70 ∘C
Температура води на вході до теплої підлоги	35 ∘C
Температура повітря приміщення	20 ∘C
Температура повітря на вулиці	0 ∘C
Перепад тиску води між виходом і входом у насос	1,5 бар

Отже, процес управління складається з наступних операцій над інформацією:

– одержання та обробка;

– аналіз;

– ухвалення рішення про вплив на процес.

Висновки. Аналіз технологічного процесу та існуючої структури теплопостачання підтверджує, що ефективне й безперебійне функціонування теплових мереж та індивідуальних теплових пунктів (ІТП) безпосередньо залежить від ступеня їх автоматизації. Впровадження ієрархічної багаторівневої структури керування дозволяє успішно компенсувати дестабілізуючі фактори, такі як транспортне запізнення теплоносія, асинхронність режимів споживання та неоднорідність теплових навантажень опалення, вентиляції й гарячого водопостачання.

Постановка задачі проєктування системи автоматизації передбачає розподіл ТП на функціональні технологічні вузли, що дає змогу реалізувати гнучкі комбіновані методи регулювання за збуренням та за відхиленням.

Спроектована функціональна структура АСУ ТП базується на чіткому розподілі керуючих, інформаційних та захисних функцій.

Реалізація безперервного мікропроцесорного контролю за температурними параметрами та перепадами тиску забезпечує прецизійну стабілізацію мікроклімату, гарантує надійний протиаварійний захист обладнання від «сухого ходу» та перегріву, а також дозволяє досягти максимального показника енергозбереження завдяки використанню теплоакумулюючої здатності будівельних конструкцій об'єкта.

2 ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Загальні вимоги до архітектури та функціонування системи

Автоматизована система керування кліматичним обладнанням проєктується як багаторівнева локально-розподілена структура, що базується на принципах модульності, масштабованості та сумісності з відкритими промисловими протоколами зв'язку. Вона призначена для безперервного автономного моніторингу, прецизійного регулювання та протиаварійного захисту контурів опалення й гарячого водопостачання споживача без необхідності постійної присутності обслуговуючого персоналу.

Автоматизована система керування (АСК) кліматичним обладнанням побутових споживачів та індивідуальним тепловим пунктом (ІТП) проєктується як багаторівнева, ієрархічна, локально-розподілена система з високим ступенем автономності.

Система повинна забезпечувати безперервний моніторинг, діагностику, захист та прецизійне керування технологічними процесами теплопостачання, приготування гарячої води (ГВП) та низькотемпературного підлогового опалення без необхідності постійної присутності обслуговуючого персоналу.

До архітектури системи висуваються такі загальнотехнічні вимоги:

– модульність та масштабованість: можливість розширення системи шляхом додавання нових модулів вводу-виводу, додаткових давачів та виконавчих механізмів без радикальної зміни базового програмного забезпечення;

– надійність та живучість: збереження працездатності локальних контурів регулювання при тимчасовій втраті зв'язку з верхнім рівнем диспетчеризації; автоматичний перезапуск мікропроцесорного контролера після відновлення живлення (функція Watchdog);

– суміжність та відкритість протоколів: інформаційна взаємодія між

компонентами системи повинна базуватися на стандартних промислових протоколах (Modbus RTU/TCP, BACnet або аналогічних) для забезпечення інтеграції в загальну систему автоматизації будівлі («Розумний будинок»).

2.2. Вимоги до керуючих функцій (САР)

Система автоматичного регулювання (САР) повинна забезпечувати динамічну стабілізацію та корегування параметрів теплоносія з урахуванням мінімального споживання енергоресурсів.

1. Контур автоматичного регулювання підлогового опалення.

Метод регулювання: комбінований (за збуренням від зовнішньої температури повітря та за відхиленням температури всередині приміщення — погодозалежне керування).

Алгоритм керування: ПІД-регулювання (пропорційно-інтегрально-диференціальне) або імпульсне трьохпозиційне керування виконавчим сервоприводом змішувального клапана.

Точність підтримання: температура теплоносія на вході в контур теплої підлоги повинна підтримуватися із точністю ±1,0 °С від розрахункової уставки (номінальне значення 35 °С відповідно до табл. 1.2).

2. Контур регулювання ГВП та загального теплового балансу.

Автоматичне позиціонування регулюючих клапанів на вузлах підігрівачів першого та другого ступенів для стабілізації температури води гарячого водопостачання в межах 55-60 °С.

Динамічне обмеження максимальної витрати мережної води з магістралі для запобігання гідравлічному розрегулюванню зовнішньої теплової мережі.

2.3. Вимоги до захисних та протиаварійних функцій

Захисна підсистема повинна мати найвищий пріоритет виконання в мікропроцесорному контролері, функціонувати в реальному часі та забезпечувати безумовний захист обладнання, конструкцій та персоналу.

Система автоматизації повинна реалізувати такі алгоритми захисту:

Захист від «сухого ходу» циркуляційного насоса: при падінні перепаду тиску на насосному агрегаті нижче критичної межі (за уставки 1,5 бар) або при падінні статичного тиску в контурі підлогового опалення, система повинна видати команду на негайне зупинення насоса протягом не більше ніж 2 с.

Захист від перевищення температури (перегріву): при досягненні температури води на виході з газового котла значення понад 95 °С або в контурі теплої підлоги понад 45 °С, автоматика повинна заблокувати роботу газового пальника та повністю відкрити змішувальні клапани для скидання тепла.

Протипожежний та газовий захист: при спрацюванні сигналізатора загазованості (по метану чи оксиду вуглецю CO) або датчиків автоматичної пожежної сигналізації, система повинна миттєво знеструмити електромагнітний відсічний клапан на введенні газу, активувати аварійну вентиляцію та подати сигнал тривоги.

Захист від заклинювання насосів: у неопалювальний період автоматика повинна короткочасно (на 1–2 хвилини) вмикати циркуляційні насоси з періодичністю один раз на тиждень для запобігання відкладенню солей та заклинюванню ротора.

2.4. Вимоги до інформаційних функцій та інтерфейсу користувача

Інформаційна підсистема повинна забезпечувати первинний збір даних, фільтрацію шумів аналогових сигналів, лінеаризацію характеристик датчиків та формування масиву даних для візуалізації.

Вимоги до представлення інформації:

– локальний інтерфейс (HMI): відображення на рідкокристалічному дисплеї або сенсорній панелі ТП поточної мнемосхеми об'єкта із відображенням значень параметрів у реальному часі (температури на виході/вході котла, бака, теплої підлоги, тиску, стану насосів);

– світлосигнальна індикація: винесення на лицьову панель шафи керування світлодіодних індикаторів статусів: «Мережа», «Робота», «Аварія котла», «Аварія насоса», «Загазованість»;

– архівування даних: ведення енергонезалежного журналу аварійних подій (Alarm Log) із фіксацією точного часу виникнення відхилення, типу помилки та часу її квітування оператором.

2.5. Вимоги до видів забезпечення системи

1. Технічне (апаратне) забезпечення.

Первинні перетворювачі температури (датчики) повинні мати клас точності не нижче 0,5, тип чутливого елемента — Pt1000 або NTC для забезпечення високої лінійності в діапазоні 0-150 °C.

Центральний програмований логічний контролер (ПЛК) повинен мати достатній апаратний запас за кількістю дискретних та аналогових каналів вводу-виводу (не менше 20 %).

Усі технічні засоби, що встановлюються безпосередньо в приміщенні котельні, повинні мати клас захисту оболонки не нижче IP54, а електричні

елементи газової автоматики та аварійного освітлення — вибухозахищене виконання.

2. Програмне забезпечення.

Програмне забезпечення ПЛК має бути розроблене на базі стандартизованих мов МЕК 61131-3 (FBD, ST або LAD).

Прикладне ПО повинно мати модульну структуру, містити блоки фільтрації аналогових сигналів від завад та алгоритми захисту від брязкання контактів дискретних датчиків.

3. Організаційне та правове забезпечення.

Експлуатація системи автоматизації повинна здійснюватися відповідно до вимог «Правил безпеки систем газопостачання», ПУЕ, ДБН В.2.5-28 та інструкцій заводів-виробників обладнання.

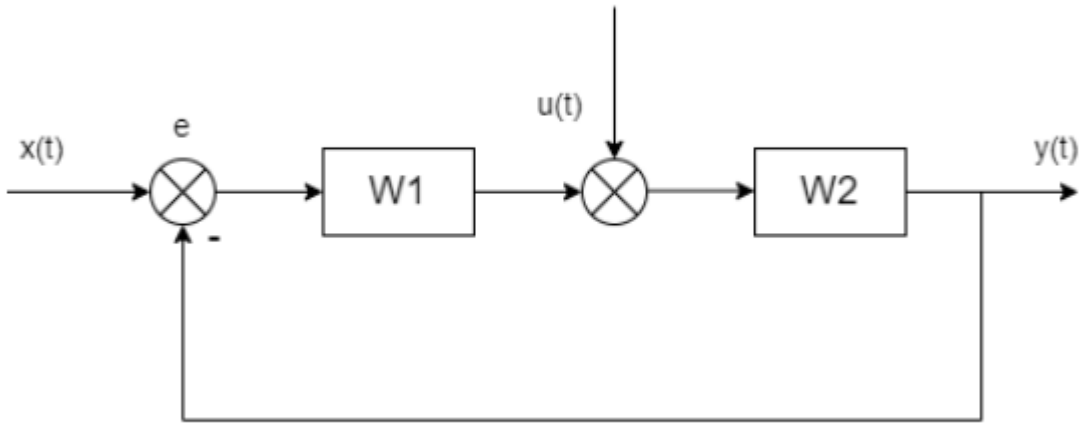
До обслуговування апаратно-програмного комплексу допускаються особи, які пройшли відповідне навчання, инстуктаж з охорони праці та мають кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче II.

Висновки. У результаті аналізу та формування вимог до системи автоматизації кліматичного обладнання побутових споживачів визначено оптимальну структуру та функціональний склад майбутньої АСК. Обґрунтовано доцільність побудови багаторівневої локально-розподіленої архітектури на базі сучасних мікропроцесорних засобів, що забезпечує гнучкість, модульність та можливість інтеграції об'єкта в загальну інфраструктуру автоматизованих будівель.

Сформований комплекс вимог до керуючих функцій гарантує точність підтримання температурних параметрів у контурах опалення й ГВП завдяки реалізації алгоритмів погодозалежного ПІД-регулювання, що дозволяє максимізувати використання енергозберігаючого потенціалу низько температурної теплої підлоги. Водночас розроблені жорсткі критерії для протиаварійного захисту (включаючи блокування «сухого ходу» насосів, контроль перегріву та захист від загазованості) і чітко структуровані інформаційні параметри створюють надійний фундамент.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

У даній системі буде розглядатись такі контури регулювання: контур регулювання температури у системі, підтримання температури ГВП. Одноконтурна система має дві передавальні функції – об'єкт та регулятор (рис. 3.1). Регулювання здійснюється за допомогою ПІ-регулятора. Для системи регулювання температури в системі опалення з котлом обрана аналогічна. Для системи регулювання температури води без використання котла вибрана одноконтурна система регулювання.



x(t) – заданий рівень, y(t) – рівень, що регулюється, e – сигнал розбалансу та u(t) – збурення

Рисунок 3.1 – Схема регулювання

Дані та формули, що використовувалися для знаходження функції:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1), \tag{3.1}$$

де c – питома теплоємність води c = 4186 дж/кг·С;

c – питома теплоємність бетонної стяжки c = 1100 дж/кг·С;

c = 4186 / 1100 = 3,8

Переріз труби: 0,06 · π = 0,11304.

Потрібна довжина труби: 1200 · 0,011304 = 13,5648 дм^3.

0,287 л/с води проходить у середині труб за допомогою насоса:

$$13,5648/0,287 = 47,264$$

Загальна передавальна функція об’єкту, що була розрахована математичним шляхом:

$$W(s) = \left(\frac{0,6}{47,264s + 1}\right) \cdot \frac{1,36}{12,438s + 1} = \frac{0,816}{(47,264s + 1)(12,428s + 1)}, \qquad (3.2)$$

Об’єктом є аперіодична ланка другого порядку.

Передавальна функція об’єкта:

$$W(s) = \frac{0,816}{(47,264s + 1)(12,428s + 1)}$$

Змоделюємо об’єкт у середовищі MATLAB Simulink та отримаємо перехідну характеристику рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Структурна схема

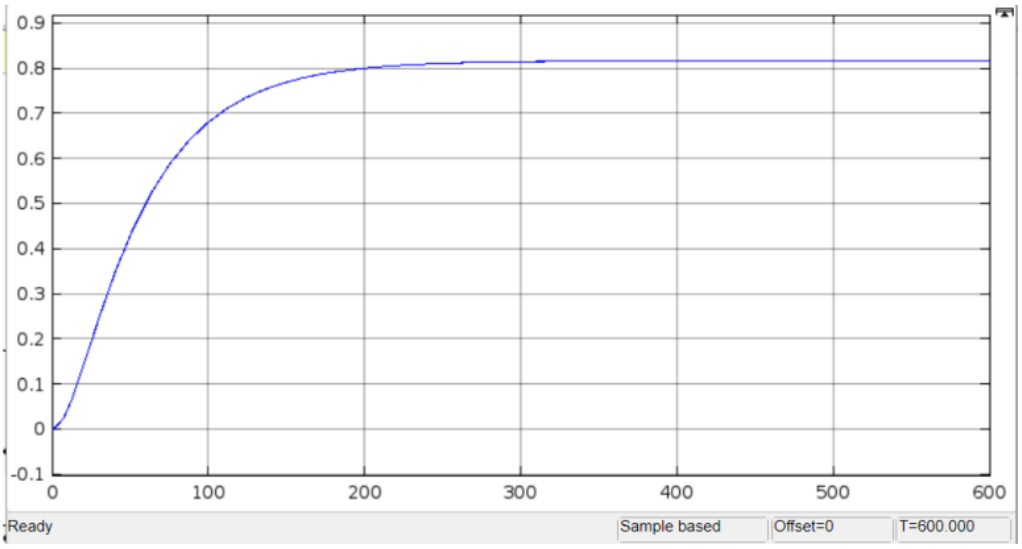


Рисунок 3.3 – Перехідна характеристика

Розрахуємо регулятор використавши метод РАФХ.

Ступінь загасання приймемо за $\psi = 0{,}95$, а коливальну стійкость m отримаємо з наступної формули: $\Psi = 1 - e^{-2\pi m}$.

Отже, m = 0,477.

Для побудови (рис. 3.4) АФХ та РАФХ об’єкта створимо код у MATLAB.

```
w = 0:0.00001:1;
m = 0.477;
s = 1j*w;
s_e = w*(1j-m);
W=(0.6./(47.264.*s+1)).*(1.36./(12.4381.*s+1));
Wexp = (0.6./(47.264.*s_e+1)).*(1.36./(12.4381.*s_e+1));
fig = figure;
plot(real(W), imag(W))
hold on
plot(real(Wexp), imag(Wexp))
plot(-1,0,'ko');
xlabel('Re(ω)')
ylabel('Im(ω)')
grid on
title("АФХ і РАФХ об'єкта")
legend("АФХ","РАФХ","Точка (-1,j0)")
fig.CurrentAxes.XAxisLocation = "origin";
fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin";
axis([-1 1 -1 1]);
```

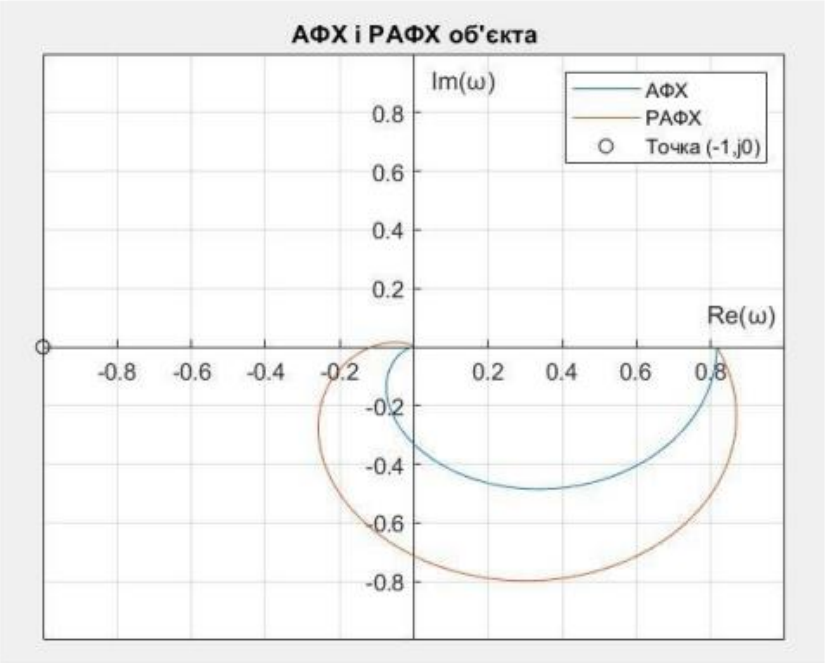


Рисунок 3.4 – АФХ і РАФХ об’єкта

Другим методом для розрахунку використаємо метод часткової компенсації. По-перше, треба апроксимувати об’єкт.

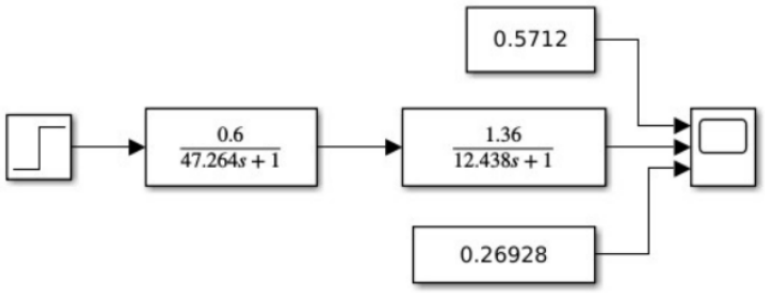


Рисунок 3.5 – Структурна схема

Використавши метод логарифмування апроксимуємо об’єкт:

$К_{об} = 0{,}816$

$t_A = f(0{,}33 \cdot К_{об}) = 32$

$t_B = f(0{,}7 \cdot К_{об}) = 71$

$T = 1{,}25(t_B - t_A) = 1{,}25(71 - 32) = 1{,}25 \cdot 0{,}035 = 48{,}75$

$\tau = 0{,}5(3t_A - t_B) = 0{,}5(3 \cdot 894 - 2019) = 12{,}5$

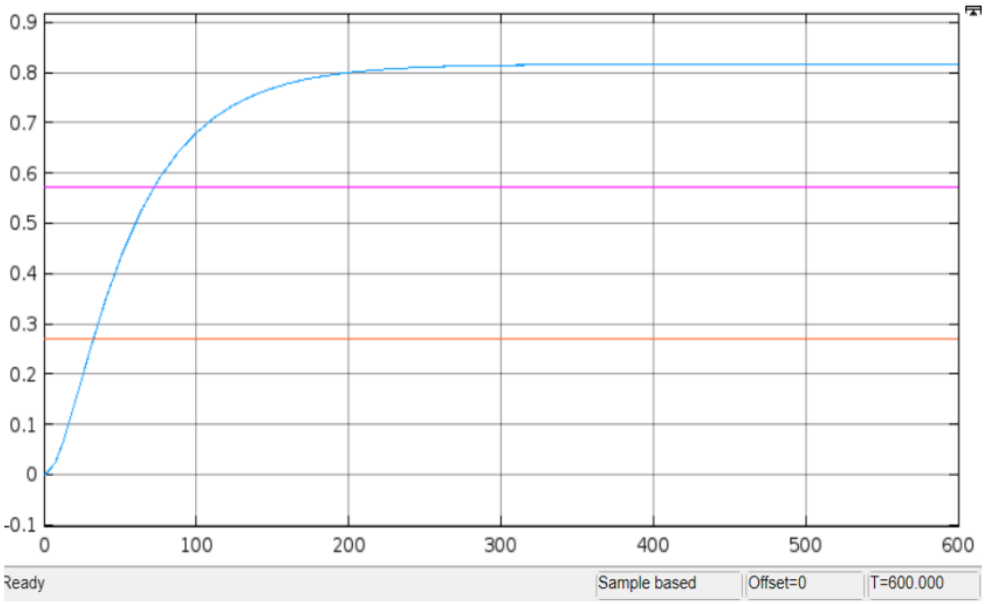


Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика

Отже, передавальна функція буде мати наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{0{,}816}{(47{,}264s + 1)} \cdot e^{12.5}$$

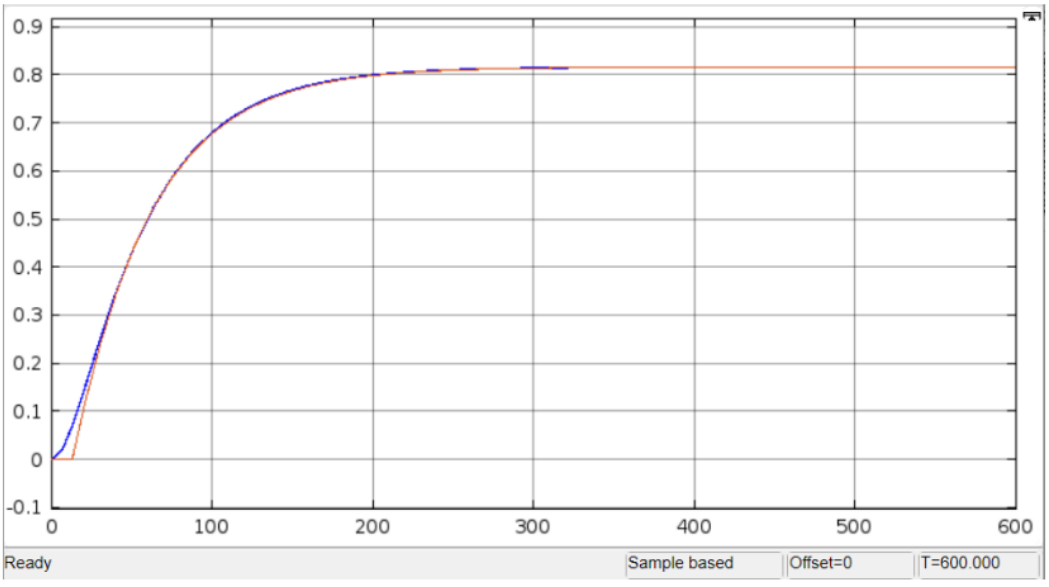


Рисунок 3.7 – Перехідна характеристика апроксимованого та неапроксимованого об’єктів

З графіка зробимо висновок, що апроксимація правильна. Далі визначимо передавальну функцію:

$$К_П = \frac{1}{К_{об}}\left(0.739\frac{Т_{об}}{\tau_{об}}\left(1+\frac{\tau_{об}}{Т_{об}}\right)^2 - 1\right)$$

$$= \frac{1}{0{,}816}\left(0.739\frac{48{,}75}{12{,}5}\left(1+\frac{12{,}5}{48{,}75}\right)^2 - 1\right) = 2{,}043$$

$$T_1 = \tau_{об}\frac{6.36\cdot К_{об}\cdot К_П}{\frac{Т_{об}}{\tau_{об}}\left(1+\frac{\tau_{об}}{Т_{об}}\right)} = 12{,}5\frac{6{,}36\cdot 0{,}816\cdot 2{,}043}{\frac{48{,}75}{12{,}5}\left(1+\frac{12{,}5}{48{,}75}\right)} = 27{,}048$$

$$W(s) = 2{,}043\left(1+\frac{1}{27{,}048s}\right)$$

Визначимо прямі та інтегральні показники систем. Для початку побудуємо графік «Завдання- вихід».

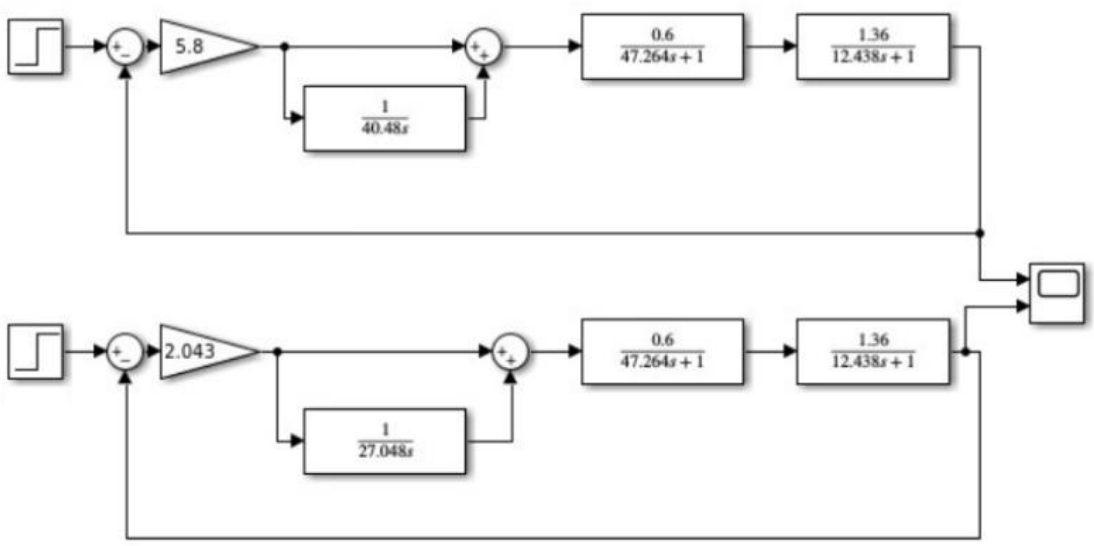


Рисунок 3.8 – Схема за каналом «Завдання-вихід»

Перехідні характеристики систем за каналом «Завдання-вихід» на рис. 3.9.

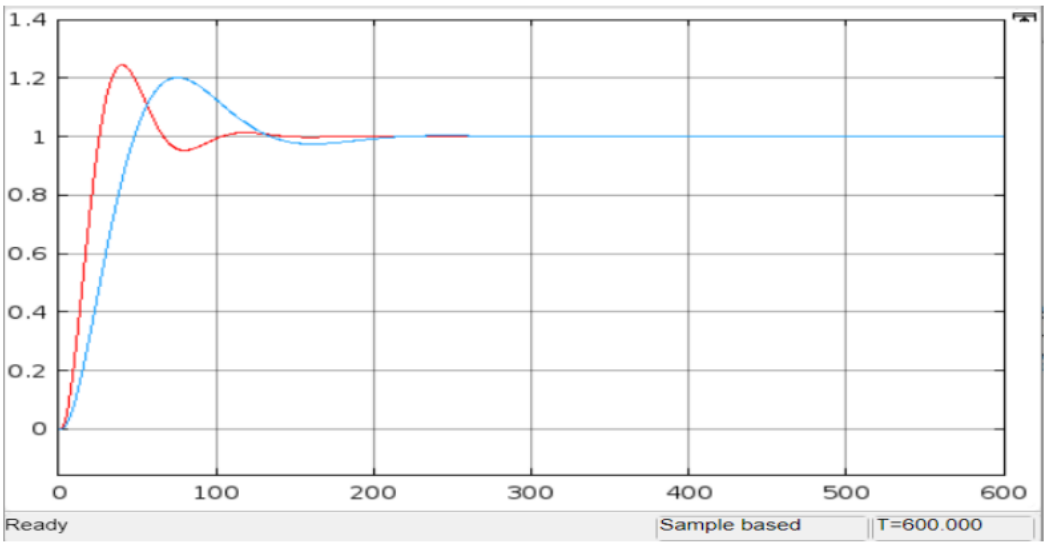


Рисунок 3.9 – Перехідні характеристики систем за каналом «Завдання-вихід»

Таблиця 3.1 – Порівняльний аналіз прямих показників якості перехідного процесу

Прямий показник якості	Метод РАФХ	Метод часткової компенсації
Час перехідного процесу, $t_{пп}$	213	237
Максимальне динамічне відхилення, y_{max}	1,243	1,2
Перерегулювання, σ	24,62	19,52
Ступінь згасання, ψ	0,46	0,98
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0

Прямі показники для каналу «Збурення-вихід».

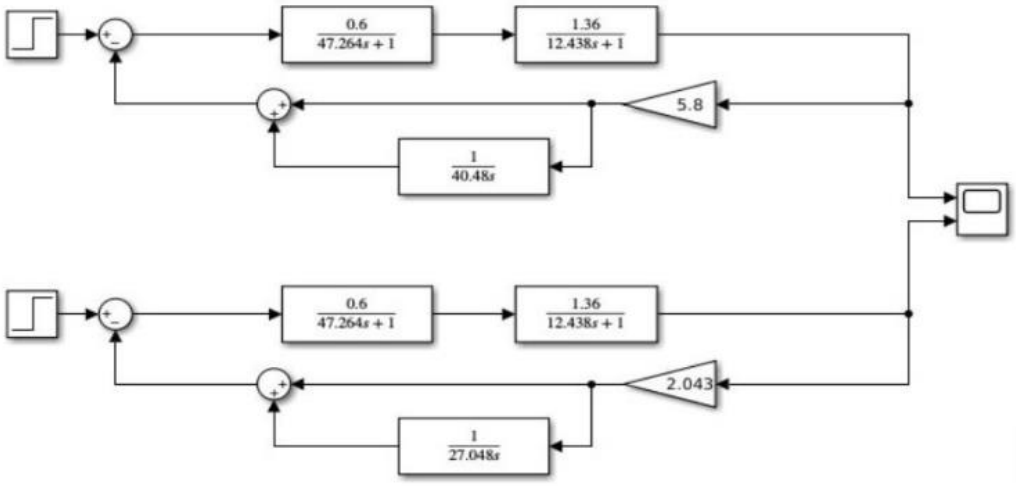


Рисунок 3.10 – Схема за каналом «Збурення-вихід»

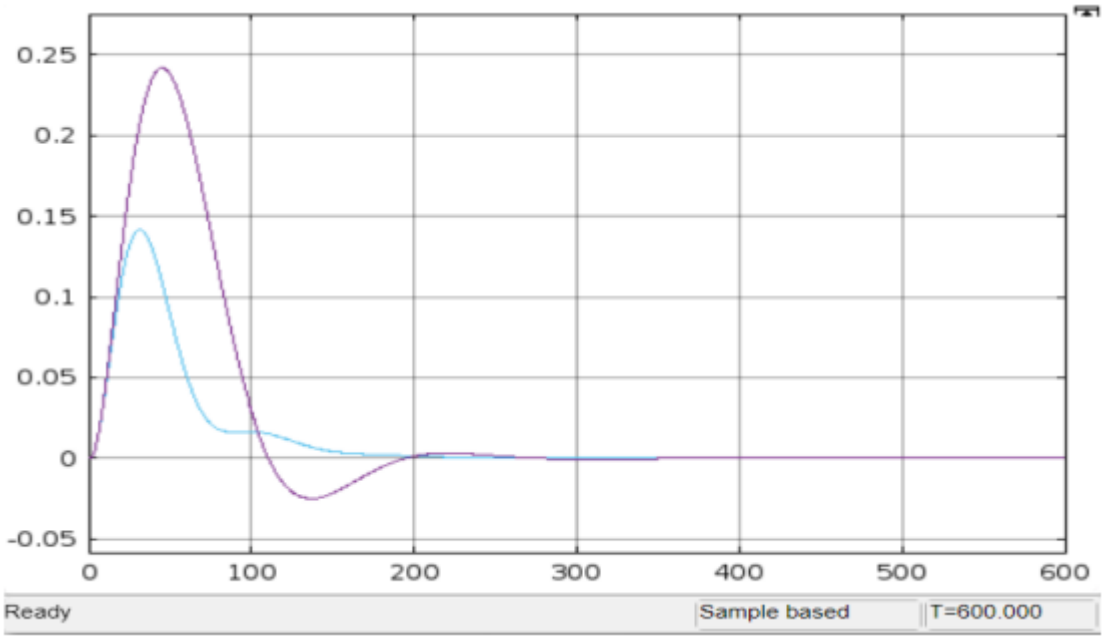


Рисунок 3.11 – Перехідні характеристики систем за каналом «Збурення-вихід»

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз прямих показників якості за каналами регулювання

Прямий показник якості	Метод РАФХ	Метод часткової компенсації
Час перехідного процесу, $t_{пп}$	265,5	288,65
Максимальне динамічне відхилення, y_{max}	0,142	0,242
Перерегулювання, σ	3,44	11,15
Ступінь згасання, ψ	0,88	0,99
Статична похибка, Δст	0	0

Висновки. Отже, порівнявши показники якості, що були отримані з розрахунків, можна зробити висновок. За каналом «Завдання – вихід» метод часткової компенсації має кращі показники якості, ніж за методом РАФХ. За каналом «Збурення-вихід» навпаки.

4. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

4.1 Функціональна схема автоматизації теплового вводу

Вибір конкретної схеми автоматизації теплового вводу визначається прийнятою схемою приєднання його до ТМ [4]. За залежною схемою приєднання здійснюється через елеватор, через підмішуючі насосні установки або безпосереднім приєднанням до ТМ. За незалежною схемою приєднання систем опалення здійснюється через пароводяні або водяні підігрівачі. Системи опалення будівель, на тепловому вводі яких різниця напорів достатня для нормальної роботи елеватора, приєднують по елеваторної схемою.

При автоматизації теплових вводів вирішуються наступні завдання: підтримання постійної витрати і тиску теплоносія;

– регулювання температури при приєднанні системи опалення за незалежною схемою;

– захист системи опалення від підвищення тиску і випорожнення.

Функціональна схему автоматизованого теплового вузла з елеваторним приєднанням системи опалення до теплових приведена на рис. 4.1.

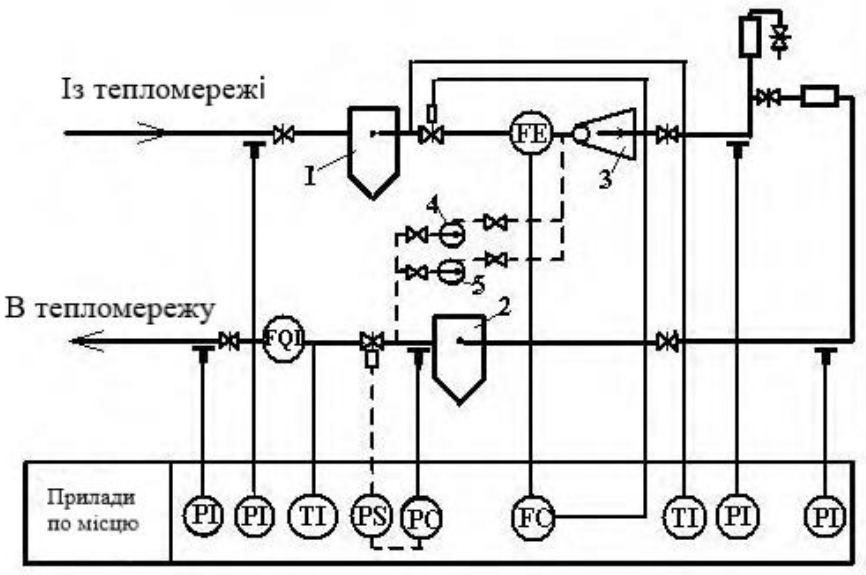


Рисунок 4.1 – Функціональна схема автоматизації теплового вводу:

1, 2 – грязьовики; 3 – елеватор; 4, 5 – відцентрові насоси

Для підтримки постійної витрати теплоносія на подаючому трубопроводі встановлений регулятор витрати прямої дії.

Відбір тиску можна здійснювати до та після діафрагми, або на подаючому (до елеватора 3) і зворотному (пунктирна лінія) трубопроводах системи опалення. При зменшенні перепаду тиску на діафрагмі регулюючий клапан починає відкриватися, збільшуючи витрату теплоносія. При збільшенні перепаду клапан поступово закривається. Таким чином, підтримується постійні витрати теплоносія в системі опалення. Для місцевого контролю тиску і температури теплоносія встановлені технічні манометри і термометри. Витрата теплоносія визначається за допомогою водоміра. При безпосередньому приєднанні системи опалення схема автоматизації аналогічна тій, що розглянута. Якщо статичний тиск в системі опалення вище статичного тиску теплової мережі, то для запобігання випорожнення системи і захисту мережі від підвищення тиску на зворотному трубопроводі встановлюють регулятор тиску. Так, в системі автоматизованого теплового вузла із захистом системи від спорожнення, сталість витрати теплоносія забезпечується регулятором витрати прямої дії, що встановлюється на подаючому трубопроводі. Захист від спорожнення здійснюється регулятором тиску прямої дії спільно з блокувальним реле (на рис. 4.1 показаний пунктиром). При необхідності захисту теплового вузла від підвищеного тиску встановлюється регулятор витрати прямої дії спільно з блокувальним реле в прямому трубопроводі ТМ. При підвищенні тиску в подаючому трубопроводі спрацьовує блокувальне реле і закривається засувка. У нормальному режимі регулятор підтримує постійну витрату теплоносія, що надходить в систему опалення. При роботі з недостатнім напором використовується схема теплових вводів з насосним підмішуванням (на рис.3 показана пунктиром). В цьому випадку постійний тиск теплоносіїв в прямій і зворотній лініях підтримується регуляторами тиску прямої дії. Вода з зворотної лінії підтримується насосом 4, насос 5 є резервним

Вузол обліку теплоспоживання (ВОТС) входить до складу теплового пункту, але розробляється в окремій частині проекту. Проект ВОТС виконується

відповідно до вимог «Правил обліку теплової енергії і теплоносія». У загальному випадку поточна витрата тепла Q (кДж) визначається наступним чином:

$$Q = qC (t_1 - t_2), \quad (4.1)$$

де q – витрата теплоносія на об'єкт теплопостачання, кг;

C – теплоємність теплоносія, кДж/кгК;

t_1 – температура теплоносія в трубопроводі, що подає, град. К;

t_2 – температура теплоносія в зворотному трубопроводі, град. К.

Теплолічильник являє собою пристрій, що вимірює витрату теплоносія і температуру на вході та виході об'єкта теплопостачання. Сигнали від первинних давачів оцифровуються і потім обробляються обчислювальним пристроєм відповідно до закладеного алгоритму. З огляду наявних на ринку теплолічильників, можна відзначити, що основною їх відмінністю є метод вимірювання витрат теплоносія. Витрата і кількість води в системах ТМ вимірюють витратомірами змінного перепаду тиску, електромагнітними (індукційними) та ультразвуковими витратомірами, а також швидкісними лічильниками. Останні вимірюють масу або об'єм води, що пройшла через прилад в одиницю часу (витрата) або за який-небудь проміжок часу (година, доба). У витратомірах змінного перепаду тиску вимірювання витрати засноване на залежності перепаду тиску в пристрої звуження потоку, що встановлюється на трубопроводі вимірюваного середовища. До комплекту постачання цих витратомірів входять звужувачі потоку (нормалізована діафрагма), диференційний манометр, з'єднувальні трубки з зрівняльними судинами, вентилі і вторинний прилад. Основні дані та методику розрахунку діафрагм, їх монтаж спільно з діфманометрамі регламентують діючими стандартами. Випускають діафрагми камерні типу ДКС – для трубопроводів з Dy – 50 .. .500 мм і тиском до 10 МПа і діафрагми безкамерні типу ДВС - з Dy – 300 ... 600 мм і тиском до 4 МПа. Як дифманометрів застосовують поплавкові типу ДП,

сильфонні типу ДС, мембранні типу ДМ-3583М, ДМЕР, перетворювачі Сапфір-22М-ДД. Швидкісні лічильники (водоміри) розрізняють за типом чутливого елемента (крильчасті, турбінні), температурі вимірюваної води (холодна, гаряча), наявності пристрою для дистанційної передачі показань. Турбінні витратоміри відрізняються своєю простотою конструкції, малою інерційністю та достатнім діапазоном вимірювань. Суттєвим недоліком, як турбінних, так і крильчастих перетворювачів є наявність механічних елементів, що знижують надійність пристрою. Крім того, внаслідок місцевих гідравлічних опорів з'являються додаткові похибки вимірювань. Вибір теплолічильника в першу чергу залежить діапазону вимірюваних витрат, тобто діаметром трубопроводу, а по друге здатністю інтегруватися до систем керування.

Маючі експериментальні дані по випробуванню теплолічильника УВР-Т (Энергоучет, ЧАТ, Харків) [25], можемо зазначити головні переваги ультразвукових теплолічильників: це відсутність гідравлічного опору для теплоносія (на відміну від крильчатих), а також надійність та завадостійкість. Особливо важливо те, що на вимірювання не впливає висока температура теплоносія.

4.2 Аналіз структури побудови САР

Розвиток сучасних систем централізованого теплопостачання мінімізує необхідність постійного безпосереднього втручання людини в процеси оперативного регулювання обладнання теплових мереж та абонентських введень з головного поста керування. Моніторинг поточного стану та функціонування всієї інфраструктури базується на автоматичній передачі технологічних даних від насосних підстанцій та контрольно-розподільних теплових пунктів безпосередньо до центрального диспетчерського пункту. Для реалізації цього підходу в усіх критично важливих точках теплової мережі встановлюються програмовані мікропроцесорні контролери, які збирають та перетворюють

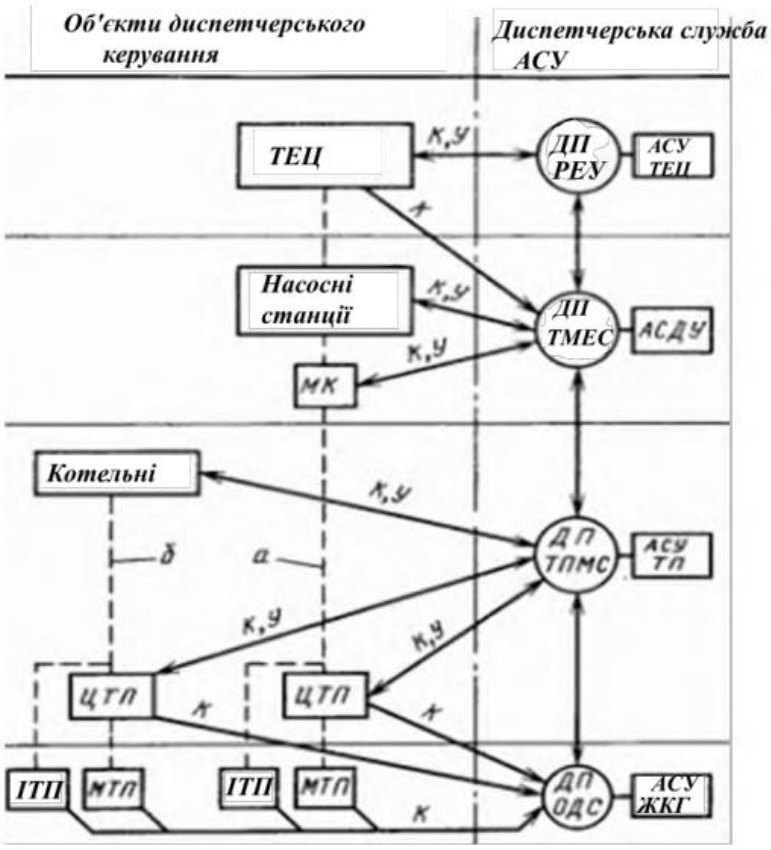
електричні сигнали від первинних давачів, що фіксують теплогідравлічні параметри середовища, поточний стан силового електрообладнання та точне положення запірно-регулюючої арматури.

Процес керування в рамках автоматизованої системи диспетчерського управління централізованим теплопостачанням полягає у виборі найбільш ефективного варіанта керуючого впливу з множини наявних альтернатив. Ці альтернативи зазвичай пов'язані з проведенням різноманітних технологічних перемикань на магістралях, насосних станціях чи теплопунктах, що супроводжується перебудовою загальної гідравлічної схеми для досягнення оптимальних режимів роботи всіх ланок системи. У випадках, коли вибір стратегії ліквідації відхилень не піддається повному математичному опису і здійснюється диспетчером на основі досвіду, подальша реалізація конкретних локальних завдань після прийняття рішення може бути успішно формалізована та виконана в автоматичному режимі за допомогою заздалегідь визначених методів.

Для розв'язання задач технічної діагностики та раннього виявлення пошкоджень найбільш ефективно застосовувати методи розпізнавання образів та аналізу стохастичних сигналів. Завдання локалізації аварійних ділянок та вибору способів їх ліквідації належать до добре формалізованого класу задач, що дозволяє створювати чіткі програми автоматичних перемикань та алгоритми керування з урахуванням реальних умов експлуатації. Водночас найвищу складність становлять процеси ведення та контролю режимів в умовах інтерактивної взаємодії диспетчера з автоматизованою системою, оскільки виникнення непередбачуваних обставин може дестабілізувати роботу як окремих районів, так і всього теплового комплексу загалом. Труднощі швидкого виявлення першопричин таких збоїв змушують інтегрувати в контур керування експертні методи, ситуаційне моделювання та бази знань.

Важливою архітектурною особливістю таких систем є розвинений телемеханічний комплекс, який через сучасні канали зв'язку забезпечує безперервне введення інформації в обчислювальну мережу. Засоби

алгоритмічної та програмної підтримки диспетчера об'єднуються у три ключові функціональні блоки, які включають блок експертної системи для вирішення слабкоструктурованих завдань, блок математичного моделювання та блок критеріальних розрахунків, призначені для виконання всіх чітко формалізованих інженерних обчислень. Конкретна структура та конфігурація автоматизованого диспетчерського управління міським теплопостачанням від ТЕЦ та промислових котелень визначається масштабами міста, протяжністю мереж та кількістю об'єктів, що обумовлює вибір одноступеневої схеми з єдиним диспетчерським пунктом або двоступеневої ієрархічної структури з головним центральним та декількома районними пунктами управління.



РЕУ – районе енергоуправління; ТМЕС – теплові мережи енергосистеми; ТПМС – енергетичні підприємства міста; ОДС – об’єднана диспетчерська служба ЖКГ; МК – магістральні камери; К – контроль; У – управление, ЦТП – центральні ТП; МТП – місцеві ТП; ІТП – індивідуальні ТП.

Рисунок 4.2 – Інформаційно-функціональні зв’язки САР

АСДЦУ складається з двох рівнів [27]. На верхньому рівні розміщується робоча станція диспетчера(АРМ0, на нижньому рівні – ТП. Нижній, «польовий рівнь», реалізує систему збору інформації та автоматичного регулювання процесів теплопостачання.

Структурна схема організації каналів збору даних і каналів керування об’єктом наведена на рис 4.3.



Рисунок 4.3 – Структурна схема організації каналів збору даних і каналів керування об’єкт

АСДЦУ виконує наступні функції:

– регулювання процесу теплопостачання в залежності від температури зовнішнього повітря;

– забезпечення програмного регулювання ГВП, що враховує зниження

температури гарячої води в нічні години та підвищення температури в час максимального навантаження;

– керування режимами теплоспоживання з АРМ диспетчера;

– відображення на операторській панелі миттевих значень тиску теплоносія, його температури та витрат, а також значень поточного і сумарного теплоспоживання;

– запобігання аварійних станів, відключення обладнання у разі аварій;

– архівація течії процесу, протоколювання подій аналіз трендів.

Способи передачі даних можуть мати різну природу (проводні виділені лінії, оптоволоконні або радіоканали), але спільним є протокол обміну - стандартом дефакто для обчислювальних мереж став протокол TCP / IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol).

Продукт складається із набору комунікаційних протоколів, що використовуються для зв'язку між вузлами в мережі інтернет і локальних обчислюваних мереж (ЛОМ).

Метою використання АСДЦУ є комплексна реалізація завдань, що сформульвані раніше:

– підвищення якості теплопостачання споживачам, яка враховує зміни навколишньої температури;

– зниження втрат тепла за рахунок програмного керування режимами постачання.

Для успішного вирішення завдань оперативного контролю та оптимізації режимів роботи об'єкта керування необхідне впровадження надійного комплексу технічних засобів. Специфіка апаратного забезпечення та ліній зв'язку безпосередньо зумовлюється масштабами системи й складністю її функціонального навантаження. При цьому просторове розміщення елементів визначає вибір форм оперативного сервісу для забезпечення максимальної безвідмовності, а характер завдань діагностики та моніторингу диктує обсяги й структуру інформаційних потоків між вузлами. Суттєво прискорити

проектування та підвищити експлуатаційну надійність дозволяє використання уніфікованих міжнародних рішень, зокрема стандарту МЕК-870-5-1, який чітко регламентує не лише технічні умови, а й формати даних разом із телемеханічними протоколами обміну.

У структурі таких територіально розподілених систем ключове місце посідає підсистема телемеханічної мережі, утворена сукупністю спеціалізованих пристроїв, каналів зв'язку та алгоритмів передачі повідомлень. Зазвичай вона будується за радіальною топологією, де пристрій пункту управління підключається до автоматизованого робочого місця диспетчера, а взаємодію з безпосередніми технологічними точками забезпечують пристрої контрольованих пунктів. Самі ПКП реалізуються на базі промислових програмованих логічних контролерів із модулями введення-виведення, які зчитують сигнали з первинних давачів та видають команди на виконавчі механізми. Ефективна диспетчеризація такого територіально віддаленого об'єкта вимагає виведення на АРМ оператора детальної географічної карти району у вигляді динамічної мнемосхеми та детальних технологічних схем кожної підстанції, що гарантує миттєве інформування верхнього рівня про будь-які нештатні чи аварійні ситуації та мінімізує час реакції на них.

На відміну від класичних промислових шин локальних автоматизованих систем, структура теплопостачання характеризується великою протяжністю каналів зв'язку між пунктом управління та контрольними точками, яка часто вимірюється кілометрами при значних відстанях між самими об'єктами. Такі просторові масштаби змушують використовувати вузькосмугові канали для збереження стабільності з'єднання, що природно обмежує швидкість трансляції сигналів. Системні функції керування цією розподіленою інфраструктурою реалізуються за допомогою прикладного програмного забезпечення, яке через унікальність кожного об'єкта розробляється індивідуально інструментальними засобами обраної SCADA-системи. Для інтеграції телемеханічної мережі з рівнем АРМ диспетчера створюється спеціалізований драйвер під конкретну SCADA або застосовується універсальний OPC-сервер.

Організація протоколу інформаційного обміну на користувацькому рівні вимагає чіткого визначення базових прикладних функцій, форматів представлення елементів і структури інформаційного блоку, який містить ідентифікатор та безпосередній об'єкт даних. На канальному рівні нормативні документи вимагають опису процедур передачі та форматів кадрів для трьох інтерфейсних рівнів, що включають ділянки між АРМ та пунктом управління, безпосередньо лінію зв'язку між пунктами, а також внутрішній інтерфейс між контролером ПКП та пристроями зв'язку з об'єктом. Оскільки кожен рівень має власні фізичні характеристики, для них підбираються найбільш адаптовані формати кадрів. Фізичний рівень обміну базується на типі зворотного каналу зв'язку та апаратних засобах його підтримки, таких як блоки лінійних вузлів, модеми чи радіостанції, куди також інтегруються комунікаційні вузли, що виконують маршрутизацію, проміжне зберігання та комутацію повідомлень завдяки достатньому обчислювальному ресурсу.

Сучасний ринок програмно-технічних засобів для розподілених систем пропонує рішення від світових лідерів, серед яких Honeywell, Yokogawa, Invensys, Siemens та Emerson, а також потужні вітчизняні контролери МФК1500 від групи компаній «Текон», призначені для великомасштабних проектів високої надійності. Для систем меншої потужності та районного масштабу в житлово-комунальному господарстві доцільно використовувати контролер ОВЕН ПЛК323 із вбудованим GSM/GPRS-модемом, спеціально створений для завдань диспетчеризації та обліку енергоресурсів. Його важливою перевагою є високий потенціал для поетапної модернізації об'єктів та легка інтеграція з усією лінійкою сумісного обладнання, а вбудований веб-сервер дозволяє гнучко організувати віддалені канали зв'язку. Програмування такого контролера здійснюється у середовищах CODESYS або EnLogic, причому платформа EnLogic дозволяє створювати системи будь-якої інформаційної ємності, що в поєднанні з апаратними можливостями ПЛК стало основою для розробки спеціалізованої SCADA-системи ЕНТЕК, яка успішно вирішує комплексні завдання автоматизації мереж.

4.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів САУ

Пристрої технологічної сигналізації призначені для безперервного інформування чергового персоналу про поточний експлуатаційний статус устаткування теплового пункту (зокрема, перебування в робочому режимі чи зупинку), своєчасного попередження про наближення технологічних параметрів до критичних меж, а також для миттєвого сповіщення у разі виникнення аварійного стану обладнання.

Усі конструктивні компоненти індивідуального теплового пункту (ІТП) та інтегрованої системи теплопостачання розраховуються та підбираються на підставі номінальних теплогідравлічних навантажень із передбаченням нормативного коефіцієнта запасу. Проте в динамічних режимах функціонування теплової мережі виникають пікові навантаження, які здатні суттєво перевищувати розрахункові номінальні значення. Такі режими екстремального споживання в кращому випадку призводять до зниження загальної економічної ефективності та прискореного зносу (скорочення моторесурсу) обладнання, а в гіршому – можуть спровокувати аварійний збій і дестабілізацію всієї системи.

Для нівелювання впливу цих дестабілізуючих факторів у мікропроцесорному контролері ІТП передбачено функцію автоматичного обмеження теплової потужності. Зазначений алгоритм функціонує в безперервному взаємозв'язку з вузлом комерційного або технологічного обліку, з якого локальний контролер у реальному часі отримує дані про поточне споживання енергоресурсів. У разі фіксації досягнення гранично допустимого масового або теплового навантаження, керуючий контролер автоматично знижує витрату мережного теплоносія за допомогою виконавчих механізмів відповідно до встановленого ліміту, забезпечуючи стабільну й безпечну роботу обладнання.

Температура – найбільш важливий показник процесц постачання иеплової енергії. Відповідно до завдань автоматизації процесу теплопостачання система повинна забезпечувати вимірювання температури теплоносія в подаючому і зворотньому трубопроводі. Крім того, контроль перегріву підшипників насосів

та електродвигунів також здійснюється шляхом вимірювання температури. Найбільш поширені термопари, термоперетворювачі опору, напівпровідникові терморезистори, кремнієві (в тому числі і інтегральні) термодавачі. Для вимірювання температури теплоносія доцільно застосувати термоперетворювачі опору мідні типу ТСМ-6097. Також може бути застосований малогабаритний, малоінерційний терморезистор СТЗ-25, СТ-28, ТП-5, ПТР.

Оскільки передбачається, що в ІТП обслуговуючий персонал, знаходиться рідко(нештатні ситуації), то з метою підвищення надійності апаратно-програмного комплексу, слід постійно контролювати температуру середовища в приміщенні насосній. Для цього можна використати термометр опору мідний типу ТСМ-8006. Цей терморезистор опору має наступні переваги: забезпечує точність вимірювання до 0,1 °С, з прийнятною лінійністю. Діапазон вимірювань від - 200 °С до + 600 °С, коефіцієнт перетворення $К_{пр}$ = 0.1.

При цьому термометри опору вимагають деяких елементів сполучення для вводу в контролер, а також високоякісну лінію зв'язку. При застосуванні будь-якого термодавача необхідно в комплекті з ним підключати проміжний перетворювач. Цей перетворювач необхідний для перетворення опору термодавача в уніфікований сигнал постійного струму 0 ... 5 мА або напруги 10В. Розглядаючи параметри проміжних перетворювачів, що є в наяності на ринку, скористаймось нормуючим перетворювачем НПТ-3.00.1.2 Cu100 (0...100град) ОВЕН. Технічні характеристики перетворювача приведені у таблиці 4.4, з якої видно, що вони не відрізняються від інших, в той же час є прийнятними його вартістні показники.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики перетворювача

Найменування	Значення
Номінальне значення напруги живлення	24 В
Діапазон напруг живлення (постійного струму)	12−36 В
Діапазон вихідного струму перетворювача	4−20 мА
Нелінійність перетворення, не гірше	±0,2%
Розрядність ЦАП, не менше	12 біт
Опір лінії зв'язку з термоелектричним перетворювачем, Ом, не більше	100
Номінальне значення опору навантаження (при напрузі живлення 24 В)	125 Ом±5%
Час встановлення робочого режиму для перетворювача (попередній прогрів) після включення напруги живлення, не більше	30 хв
Час встановлення вихідного сигналу після стрибкоподібної зміни вхідного, не більше	1 с
Габаритні розміри	Ø45×18±1 мм
Маса, не більше	100 г

Перетворювач застосовується у вторинній апаратурі систем автоматичного контролю, регулювання та керування технологічними процесами в ЖКГ та інших інформаційно-вимірювальних комплексах. Габаритні та установчі розміри перетворювачів передбачають розташування йо-го всередині комунікаційної головки первинного давача. Зовнішній вигляд перетворювача НПТ-3.00.1.2 представлено на рис. 4.4, а), а на рис. 4.4 б) зображена схема його підключення.

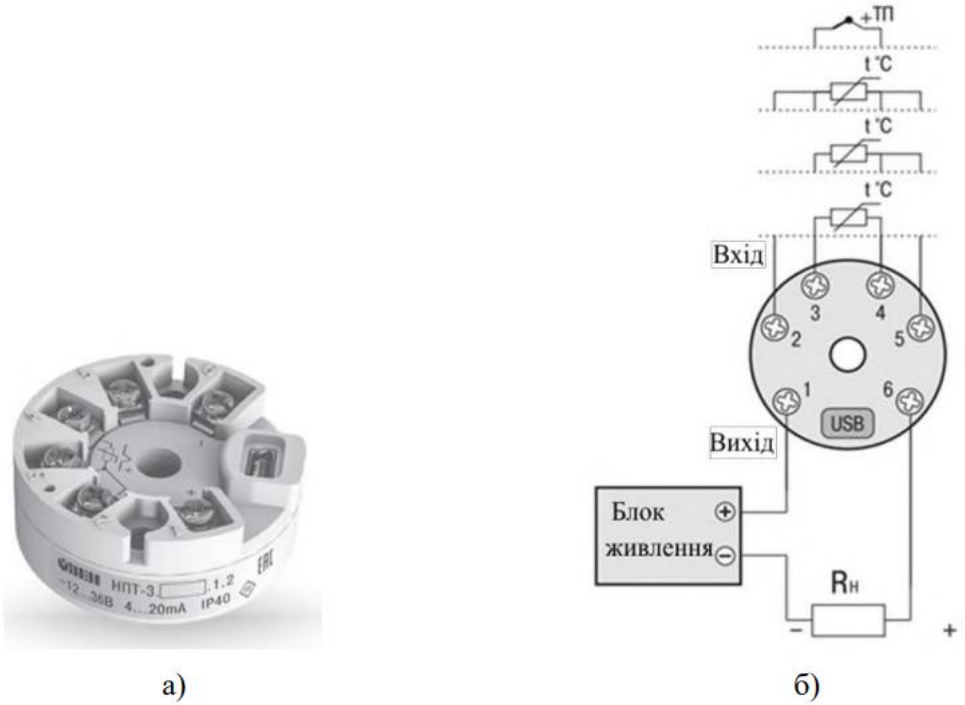


Рисунок 4.4 – Структурна схема перетворювача і схема підключення давачів

До складу перетворювача входить $С_т$ – стабілізатор напруги, АЦП із універсальним вимірювальним входом; $М_К$ – мікроконтролер; вихідний ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

Тиск є фундаментальним технологічним параметром, який безпосередньо визначає умови протікання теплообмінних процесів та безпеку експлуатації обладнання в теплових пунктах. При виборі первинних вимірювальних перетворювачів тиску ключовим критерієм, окрім метрологічних характеристик, є наявність стандартного уніфікованого вихідного сигналу, що забезпечує їхню сумісність із сучасними мікропроцесорними контролерами. На ринку засобів автоматизації представлена широка номенклатура приладів, які класифікуються за фізичним принципом перетворення деформації чутливого елемента. До них належать мембранні давачі з індуктивним або резистивним виходом, де прогин вимірювальної пластини змінює параметри електричного контуру, а також п'єзоелектричні пристрої, засновані на ефекті генерації електричного заряду на гранях кристала під дією механічного зусилля. Окрім цього, активно використовуються ємнісні сенсори, які реєструють зміну відстані між

обкладками конденсатора, та тензометричні перетворювачі, де прикладений тиск безпосередньо трансформується у зміну активного опору тензоелементів.

Проведений порівняльний аналіз технічних та експлуатаційних властивостей вищезгаданих типів обладнання показав, що для надійного функціонування проектованої вимірювальної системи теплового пункту найбільш доцільно застосувати мікропроцесорні давачі тиску серії ПД-100-ДІ. Зокрема, модифікації лінійки 111, 171 та 181 оснащені високоміцною вимірювальною мембраною з нержавіючої сталі марки AISI 316L, що гарантує відмінну корозійну стійкість та довговічність у важких умовах експлуатації. Важливою конструктивною перевагою цих моделей є підвищена стійкість до короткочасних гідравлічних ударів, які часто виникають у динамічних режимах роботи теплових мереж. Чутливий елемент приладу виготовлений за прогресивною технологією «кремній на кремнії» (КНК) і являє собою інтегральний тензорезистивний міст, нанесений на поверхню монокристала кремнію методом дифузії. Електричне підключення пристрою реалізовано через поширений промисловий роз'єм за стандартом EN175301-803 (форма А за DIN43650), що спрощує монтаж та обслуговування. Завдяки такому комплексу характеристик дані моделі рекомендовані для суцільного застосування у контурах холодного та гарячого водопостачання, а також у високотемпературних системах теплопостачання. Основні інженерні та метрологічні параметри вимірювального перетворювача ПД-100-ДІ систематизовано та наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики давача ПД-100-ДІ

Найменування	Значення
Основна приведена похибка	0,5%; 1,0%
Перетворення надлишкового тиску в уніфікований сигнал	4…20 мА постійного струму
Верхня межа вимірюваного тиску	16 кПа…40 МПа
Перевантажувальна здатність	не менше 200%
Ступінь захисту корпусу та електроroз'єму давача	IP65

На рисунку 4.5 зображена схема підключення давача до мікроконтролера (МК).

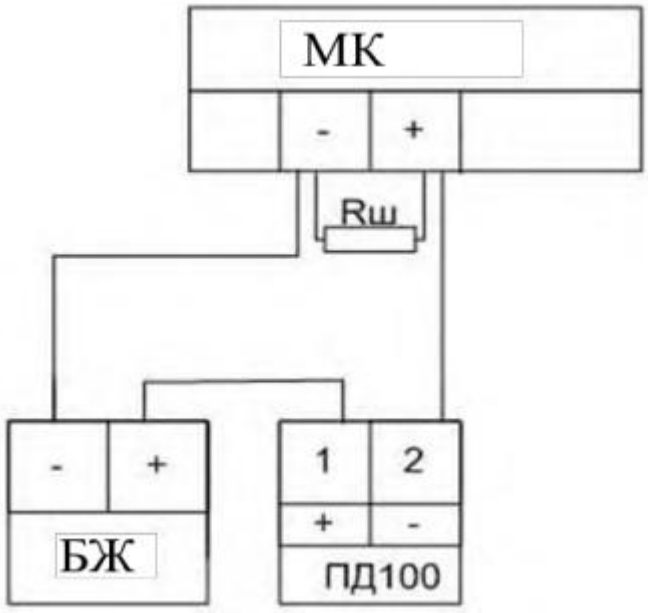


Рисунок 4.5 – Схема підключення ПД-100-ДІ

Успіх вирішення завдань автоматизації теплопостачання залежить від типів електроприводу, що використовується при регулюванні потоків теплоносія та води. При цьому шляхом керування положення засувок здійснюється регулювання температури теплоносія, а керування процесами циркуляції в системі опалення –за допомогою циркуляційних насосів.

Регулювання потоків реалізується з допомогою електромеханічних пристроїв, що встановлюються на трубопроводах. Використання сучасних електроприводів, що прийшли на щаміну застарілих механізмів МЕО, дозволяє суттєво зменшити електроспоживання. Керування електроприводами може здійснюватися вручну або дистанційно. При керуванні електроприводом запірно-регулюючої арматури вирішуються наступні завдання: окрім відкриття/закриття перерізу трубопроводу, привод повинен забезпечити утримування запірного елементу в проміжному стані; захист двигуна від перевантажень та перегріву; сигналізація зупинки робочого органу у крайніх положеннях; стабілізація обертаючого моменту в необхідних межах. Початковий

вибір виконавчого механізму грунтується на можливостях утримки положення засувки при дії тиску потоку, а також тривалості режимів переміщення органу з одного стану в інший. Порівняння параметрів електроприводу засувки різних виробників –Belimo, AUMO, ОВЕН, приводить до вибору пристрою керування та захисту ОВЕН ПКП1. Особливістю функціонування ОВЕН ПКП 1 є можливість відмовитися від кінцевих вимикачів, що зазвичай встановлюються в крайніх положеннях засувки. Це досягається шляхом контролю або:

– часу перемещения засувки та струму, що споживається двигуном (ПКП1 I);

– числа обертів валу та частоти імпульсів, що надходять із давача, встановленого на валу засувки (ПКП1 I).

Схема керування передбачає визначення положення засувки та керування електроприводом по інтерфейсу RS-485. Відповідно до схеми підключення, що зображена на рис. 4.6, до входу ПКП1- I підключається давач імпульсів. Цей давач може будуватись на давачі Холла або герконовому реле.

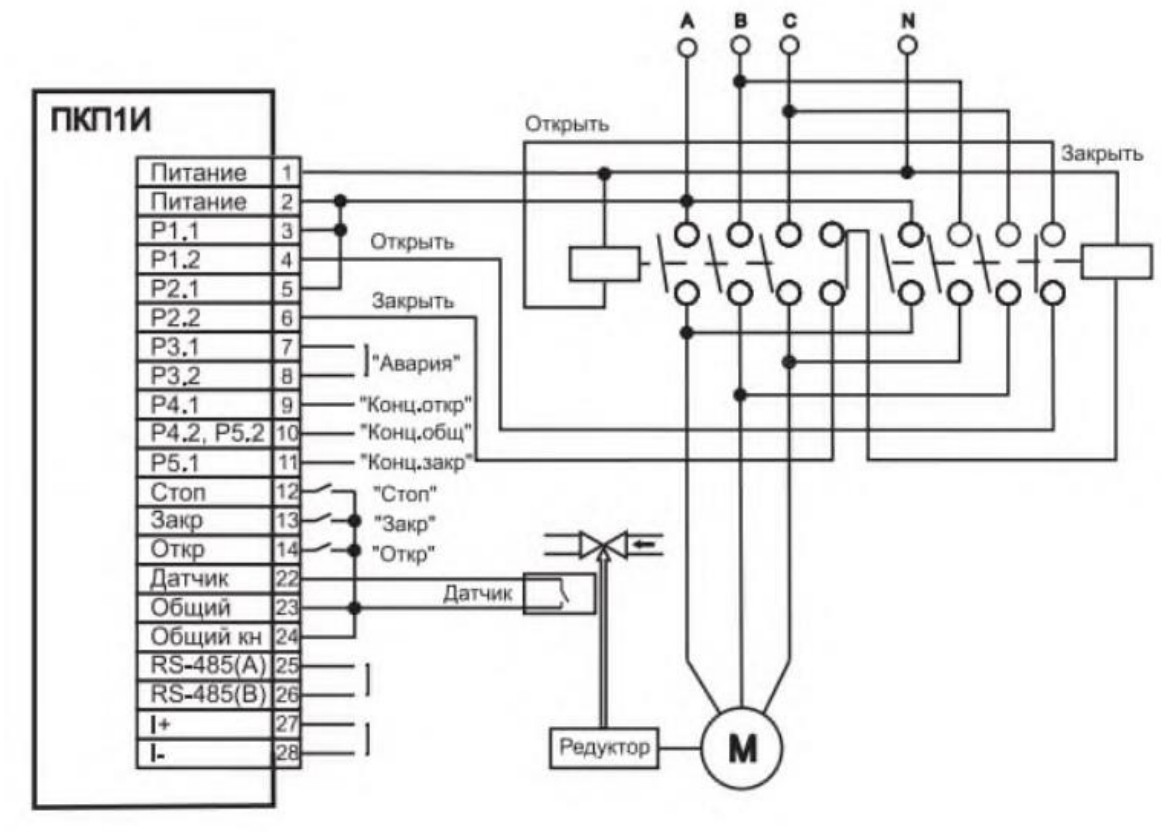


Рисунок 4.6 – Схема підключення електроприводу ПКП1 I

При вирішенні завдань щодо підбору технічних засобів автоматизації периферійного (польового) рівня, базовим орієнтиром було обрано програмно-технічні комплекси компанії «ОВЕН». У рамках проектування розподіленої системи керування теплопостачанням основним комунікаційним центром, що формує мережеву архітектуру обміну даними, визначено контролер «ОВЕН ПЛК200». Окрім розвинених послідовних інтерфейсів зв'язку, цей ПЛК оснащений інтегрованими каналами дискретного введення-виведення, що дозволяє безпосередньо інтегрувати його у функціональну структуру об'єкта. Принципи побудови внутрішньої архітектури подібних керуючих пристроїв та загальна функціональна схема суміжного ПЛК нового покоління «ОВЕН ПЛК200» наведені на рисунку 4.7.

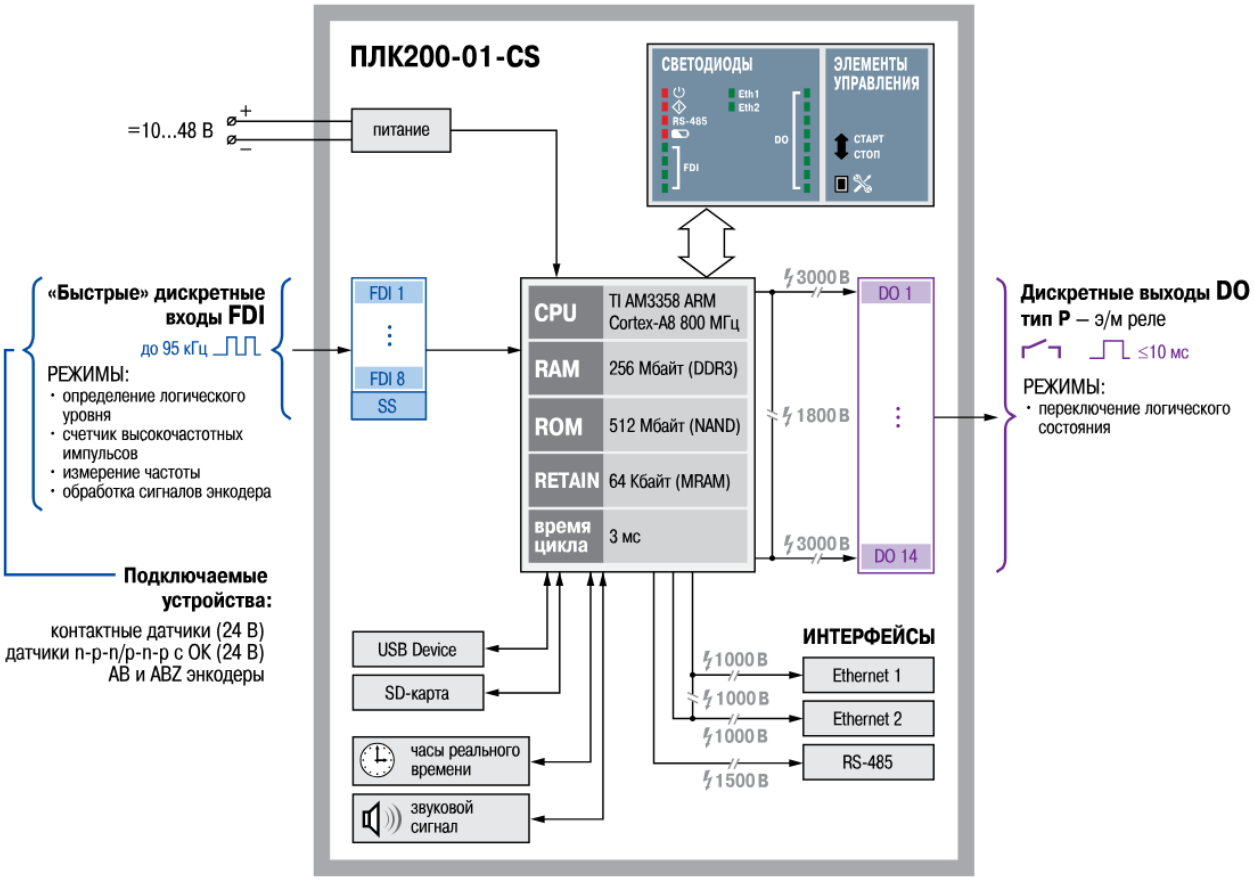


Рисунок 4.7 – Функціональна схема ОВЕН ПЛК200

Технічні характеристики програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК200

Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК200 розроблений для автоматизації малих і середніх систем (зокрема в житлово-комунальному господарстві, ЦТП, ІТП та на виробництві). На відміну від попередніх лінійок, він працює під керуванням операційної системи Linux із патчем реального часу (RT-patch) та програмується в сучасному середовищі CODESYS v3.5.

Нижче наведено детальні інженерні та метрологічні характеристики контролера ПЛК200:

1. Електроживлення та експлуатаційні параметри

Напруга живлення: від 10 до 48 В постійного струму (номінальне значення – 24 В).

Споживана потужність: не більше 10-13 ВТ (залежно від апаратної модифікації та кількості задіяних каналів).

Захист від переполюсовки: вбудований апаратний.

Робочий діапазон температур: від -40 до +55 °С (дозволяє експлуатацію в неопалювальних приміщеннях або шафах автоматики зовнішнього розташування).

Відносна вологість: від 10 % до 95 % (при температурі 35 °С без конденсації вологи).

Габаритні розміри (Ш × В × Г): (82 х 124 х 83) ± 1 мм.

Ступінь захисту корпусу: IP20.

2. Обчислювальні ресурси та пам'ять

Центральний процесор: високопродуктивний RISC-процесор ARM Cortex-A8 (частота 800 МГц).

Оперативна пам'ять (RAM): 256 Мбайт типу DDR3.

Енергонезалежна флеш-пам'ять (ROM): 512 Мбайт типу NAND (використовується для зберігання завантажувального коду, файлової системи, файлів конфігурації та локальних архівів даних).

Енергонезалежна пам'ять змінних (Retain): 64 Кбайт на базі технології MRAM (магніторезистивна пам'ять, що не потребує використання акумулятора чи батарейки для збереження критичних змінних при зникненні живлення).

Час виконання пустого циклу: становить 3 мс.

3. Комунікаційні інтерфейси та мережеві можливості

Інтерфейси Ethernet: 2 порти Ethernet 10/100 Мбіт/с (роз'єми RJ45). Підтримують мультимастерність та побудову лінійних або зіркоподібних топологій.

Послідовні порти: 1 порт RS-485 (з підтримкою протоколів Modbus RTU/ASCII).

Додаткові порти: 1 порт USB Device (для підключення до ПК з метою програмування та налагодження), а також слот для карт пам'яті SD.

Підтримувані промислові протоколи: Modbus-TCP (Master/Slave), OPC UA (вбудований сервер), MQTT (Client/Broker), SNMP (Manager/Agent).

Мережева безпека та сервіси: вбудований міжмережевий екран (Firewall), підтримка Web-візуалізації CODESYS, підтримка VPN-тунелів (OpenVPN, WireGuard), робота з протоколами NTP, FTP/FTPS, HTTP/HTTPS.

4. Конфігурація каналів введення-виведення (на прикладі базової модифікації ПЛК200-01)

Дискретні входи (DI): 8 швидких дискретних входів на базі виділеного співпроцесора PRU (підтримка частоти опитування до 95 кГц). Призначені для зчитування високочастотних сигналів (наприклад, імпульсів від лічильників води/тепла чи енкодерів).

Дискретні виходи (DO): 14 дискретних виходів типу електромагнітне реле.

Механічний ресурс реле: не менше 5 000 000 перемикань.

Електричний ресурс реле: не менше 35 000 комутацій при навантаженні струмом 3 А (30 В постійної напруги) або 50 000 комутацій при навантаженні 5 А (250 В змінної напруги).

Аналогові канали: у модифікаціях із підтримкою аналогового вводу (наприклад, ПЛК200-04) інтегровано 4 універсальні аналогові входи (AI), які безпосередньо підтримують:

Уніфікаційні сигнали струму та напруги: 0–5 мА, 0(4)–20 мА, ± 50 мВ, ±1 В.

Термоопори (ТС): Pt100, Pt500, Pt1000, 50М, 100М тощо.

Термопари (ТП): типів L, J, N, K, S, R, B, T.

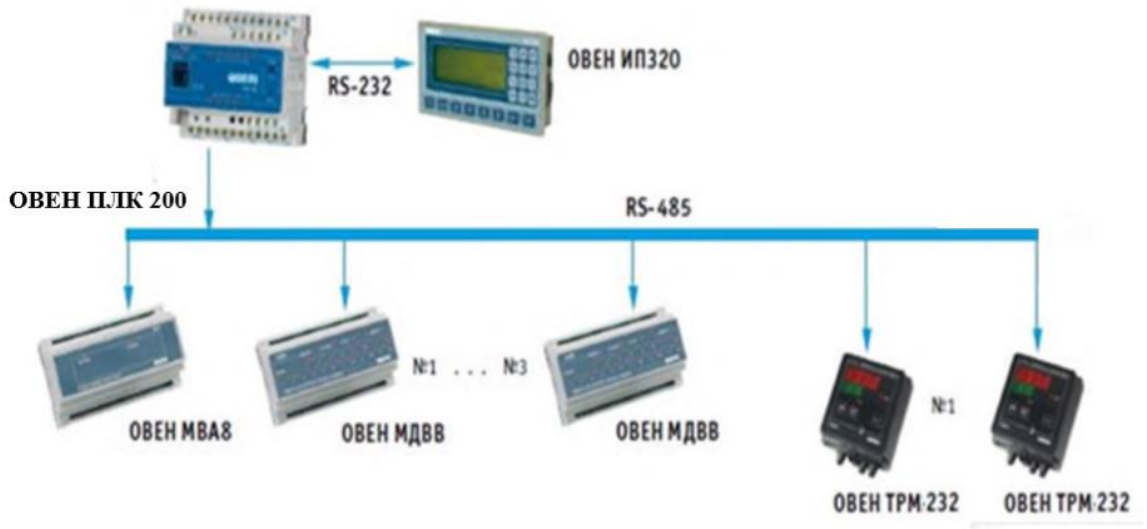


Рисунок 4.8 – Схема підключення периферійних пристроїв



Рисунок 4.9 – Схема підключення приладів з інтерфейсом «струмова петля» до ПК

Організація інформаційного обміну між первинними вимірювальними перетворювачами різного типу та персональним комп’ютером верхнього рівня реалізується на базі спеціалізованого програмного забезпечення Owen Process Manager. При запуску даного прикладного пакета на моніторі відображається головне вікно інтерфейсу, у якому користувач конфігурує інтерактивну схему технологічного процесу, розроблену на попередніх етапах проєктування. У меню системних налаштувань оператор задає базові комунікаційні параметри, що включають тип інтерфейсного адаптера комп'ютера, моделі підключених периферійних пристроїв автоматизації, а також часові інтервали та загальний регламент їх циклічного опитування. Для периферійних приладів, які інтегруються в мережу через апаратні перетворювачі інтерфейсів типу RS-232/RS-485 або USB/RS-485, обов'язково вказується унікальна мережева адреса, яка заздалегідь присвоюється кожному пристрою під час його первинного програмування та налагодження.

Завдяки такому функціоналу програмний комплекс Owen Process Manager у складі розроблюваної SCADA-системи забезпечує виконання наступних інженерних та операторських завдань:

– наочна візуалізація загальної схеми та поточної динаміки технологічного процесу на моніторі ЕОМ;

– оперативне відображення поточних вимірювальних показників давачів у реальному часі;

– безперервний збір, фільтрація та первинна математична обробка інформаційних потоків, що надходять до ПК з нижнього (польового) рівня автоматизації;

– постійний моніторинг працездатності та діагностика загального технічного стану всіх функціонуючих у системі пристроїв;

– вибірковий поглиблений контроль і ручне коригування параметрів за будь-яким обраним каналом керування;

– надійна архівація даних про режими роботи основного обладнання та поточний стан виконавчих механізмів в енергонезалежній пам'яті;

– своєчасна світлова та звукова сигналізація про вихід параметрів процесу за межі аварійних уставок або їх невідповідність затвердженому технологічному регламенту;

– повноцінна взаємодія із сервером звітів Owen Report Viewer для генерації та аналізу звітних документів на основі накопичених історичних архівів.

Для локального введення параметрів регулювання, зміни значень технологічних уставок та наочного відображення поточних температурних показників безпосередньо на об'єкті використано графічну панель оператора ІП320, яка конструктивно інтегрована в загальну структуру автоматизованого робочого місця оператора.

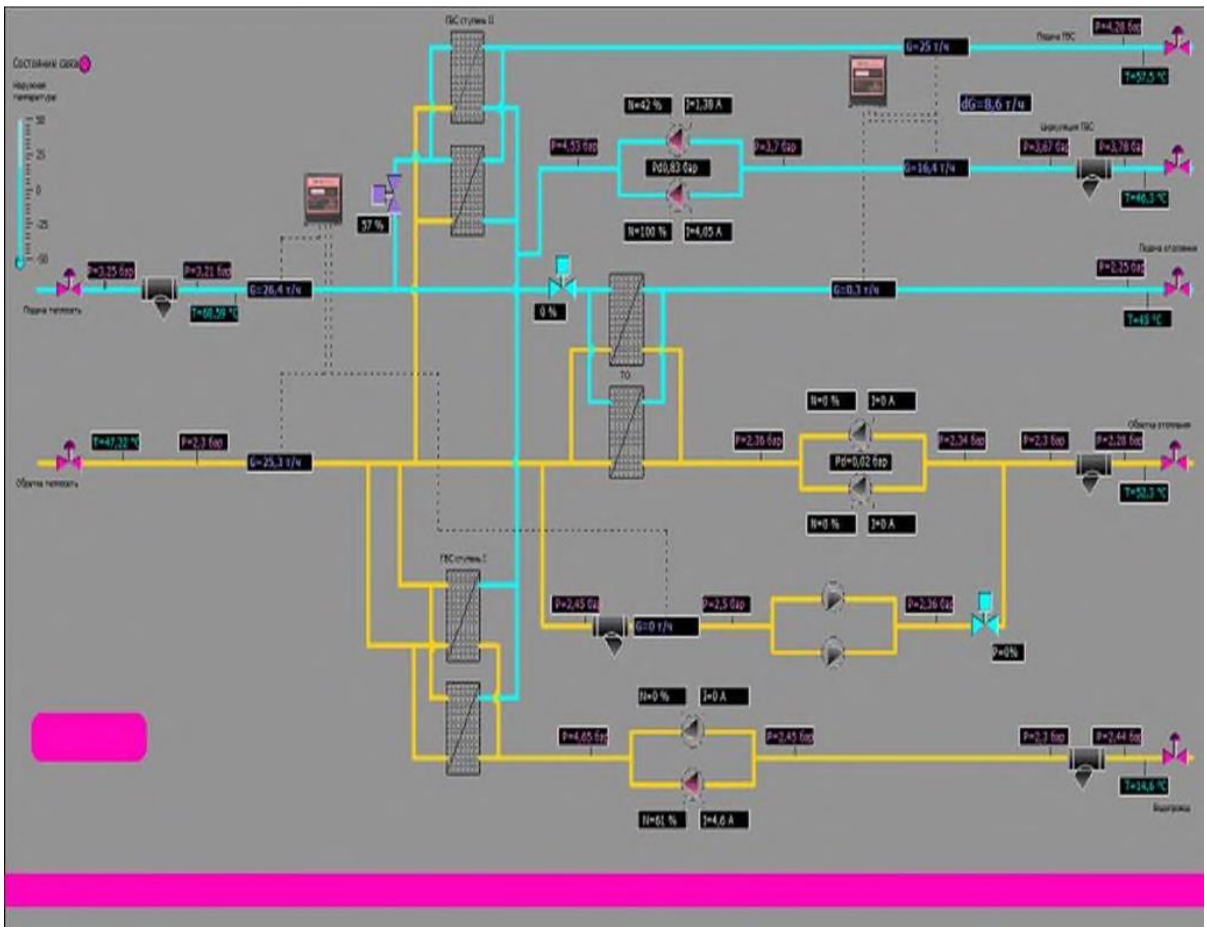


Рисунок 4.10 – Панель відображення процесу

На панелі відображаються повідомлення про хід процесу, в тому числі про аварійні ситуації. Панель оператора підключена до ПЛК 160 через інтерфейс Debug-RS-232 по протоколу Modbus і є майстром мережі, а ПЛК – підпорядкованим пристроєм.

Застосована архітектура системи автоматизації та зв'язку дозволяє здійснювати віддалене підключення комерційних приладів обліку (теплолічильників) і забезпечує пряме зчитування накопичених історичних архівів. За відсутності на персональному комп'ютері верхнього рівня фізичних апаратних портів послідовного інтерфейсу, операційна система за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення виконує їх емуляцію. Такий комбінований порт визначається середовищем як повноцінний апаратний ресурс і може бути сконфігурований та підключений до будь-якого прикладного ПЗ на базі стандартних процедур.

Реалізація цієї технології забезпечується завдяки функціонуванню двох ключових компонентів:

– віддаленого комунікаційного сервера: апаратного вузла (мережевого шлюзу), до якого фізично підключаються пристрої польового та периферійного рівнів;

– програмного драйвера віртуального COM-порту: спеціалізованого утилітного ПО, що встановлюється на ПК верхнього рівня та здійснює трансляцію пакетів даних.

Зазначена технологія (індустріальний стандарт Serial-over-IP) дозволяє використовувати стандартні периферійні пристрої з інтерфейсом RS-232 або RS-485 у розгалуженому мережевому оточенні Ethernet/Internet без необхідності внесення конструктивних змін до наявного програмного забезпечення.

Ефективність та успішність вирішення комплексних завдань комерційного обліку й диспетчеризації безпосередньо пов'язані з надійністю функціонування каналів зв'язку та топологією побудови комп'ютерної мережі суміжних підсистем. Для запобігання збоям, мінімізації ризиків втрати даних та

забезпечення безперервності процесів моніторингу в інформаційну інфраструктуру інтегруються джерела безперебійного живлення (ДБН), а також реалізується апаратне резервування серверів бази даних.

Для суттєвого розширення комунікаційного потенціалу обладнання компанія «ОВЕН» використовує для програмування мікропроцесорних контролерів технологічну платформу EnLogic, яка характеризується відкритою модульною архітектурою. На базі цього програмного ядра розробляються інтелектуальні комунікаційні шлюзи та гнучкі конвертери протоколів. Наявність таких крос-платформних шлюзів дозволяє безперешкодно інтегрувати в єдину інформаційну мережу об'єкта засоби автоматизації від різних світових виробників. Подібне підвищення загальної функціональності оптимізує трафік, збільшує швидкість трансляції оперативної інформації на верхній рівень керування і, як наслідок, підвищує загальну термодинамічну та економічну ефективність процесів теплопостачання.

Висновки. У результаті виконання четвертого розділу проведено комплексне проектування системи автоматичного регулювання температурного та гідравлічного режимів теплового введення. Розроблено та обґрунтовано функціональну схему автоматизації теплового вузла з елеваторним приєднанням та насосним підмішуванням, що дозволяє підтримувати стабільну масову витрату теплоносія і забезпечує надійний захист системи опалення від спорожнення та критичного підвищення тиску. Визначено структуру вузла обліку теплоспоживання, де як базовий інструмент комерційного контролю обрано ультразвуковий теплолічильник, що характеризується високою завадостійкістю, надійністю та відсутністю додаткового гідравлічного опору в контурі.

Проведений аналіз ієрархічної структури побудови САР дозволив сформувати дворівневу архітектуру АСДЦУ на базі мережевого протоколу TCP/IP, де польовий рівень збору даних та безпосереднього керування інтегровано з автоматизованим робочим місцем диспетчера. Це забезпечує можливість оперативного моніторингу, архівування трендів технологічного

процесу та гнучкого покімнатного й погодозалежного коригування теплової потужності об'єкта.

Обґрунтовано вибір сучасного програмно-технічного комплексу на базі обладнання компанії «ОВЕН», де основним комунікаційним центром став високопродуктивний контролер ПЛК200 під керуванням операційної системи Linux із патчем реального часу. Підібрано периферійні технічні засоби, включаючи термоперетворювачі опору ТСМ, нормуючі перетворювачі НПТ-3, мікропроцесорні датчики тиску ПД-100-ДІ з вимірювальною мембраною з нержавіючої сталі AISI 316L, а також інтелектуальні пристрої керування електроприводами ПКП1, які працюють без кінцевих вимикачів завдяки контролю струму та обертів вала. Інтеграція графічної панелі оператора ІП320 для локального введення уставок та використання програмної платформи EnLogic із технологією віртуалізації портів Serial-over-IP дозволили створити відкриту, масштабовану та завадостійку систему керування, що мінімізує вплив пікових навантажень та суттєво підвищує термодинамічну й економічну ефективність процесів теплопостачання.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [2, 3]. Кожен громадянин України має право на належні, безпечні і здорові умови праці. Це право закріплено Конституцією України [1]. У цьому розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з експлуатації засобів автоматизації, а також визначені необхідні заходи з охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки.

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

Впровадження системи підлогового опалення базується на функціонуванні газового котла. Обладнання розміщується в окремому автономному приміщенні, яке не потребує безперервної присутності чергового персоналу.

Для забезпечення безпеки життєдіяльності та безаварійної роботи виконано такі організаційні кроки:

1. Сформовано спеціалізовану газову службу та затверджено положення, що регулює її діяльність.

2. Призначено посадову особу, яка офіційно відповідає за стан газового господарства.

3. Затверджено планові графіки проведення технічних оглядів, поточного обслуговування та ремонтних робіт систем газопостачання.

4. Розроблено й оформлено технічний паспорт на газове господарство (котельню).

Періодичність обслуговування та контролю

Відповідно до Правил безпеки систем газопостачання, регламентні та планово-попереджувальні роботи мають проводитися у терміни, що вказані в документації заводів-виробників, проте не рідше ніж:

– технічне обслуговування (ТО) – щомісяця (1 раз на місяць);

– поточний ремонт – щорічно (1 раз на 12 місяців) обов'язково до початку опалювального періоду.

Усі результати перевірок та сервісних робіт заносяться до спеціального журналу із зазначенням точної дати, ПІБ та підпису виконавця.

Паралельно з ремонтом проводиться ревізія та очищення димоходів і газоходів (не рідше 1 разу на рік перед опалювальним сезоном, а також після кожного випадку збою тяги). За результатами перевірки складається акт, який підтверджує герметичність, ізольованість, справність оголовків та відсутність засмічень.

Нормативні вимоги до приміщення котельні

1. Геометричні параметри: висота стелі – від 2 метрів; загальний об'єм кімнати – не менше 15 м³; площа підлоги – від 4 м².

2. Дверні прорізи: ширина дверей – мінімум 80 см; відкривання передбачено виключно назовні. Між нижньою кромкою дверей та підлогою обов'язково залишається проміжок не менше 2,5 см.

3. Вентиляція та освітлення: обов'язкова наявність природного та штучного світла. Вікно (з кватиркою) повинно мати площу від 0,8 м². Для постійного повітрообміну кватирки та вентканали мають бути завжди відкритими.

4. Відведення газів: димохід виконується з нержавіючої сталі, а його оголовок повинен підніматися над гребенем даху щонайменше на 0,5 метра.

5. Інформаційне маркування: на вхідних дверях зазначається номер теплового пункту, ПІБ відповідального за безпеку та контактний телефон. Також обов'язкове розміщення знаків безпеки: «Стороннім вхід заборонено» та «Палити заборонено».

Технічне оснащення та інженерна безпека:

1. Газовий контроль: у приміщенні встановлюється автоматичний сигналізатор (газоаналізатор) для безперервного моніторингу складу повітря.

2. Електрообладнання: внутрішні електромережі проєктуються відповідно до вимог для вибухонебезпечних зон. Штучне освітлення розраховується згідно з ДБН В.2.5-28.

3. Аварійні системи: передбачено аварійне освітлення у вибухозахищеному виконанні. При цьому вимикачі, пускові пристрої та запобіжники світильників виносяться за межі котельні.

4. Захисні системи: блискавкозахист реалізується за стандартами ДСТУ EN 62305 (частини 1–4). Захист обладнання та трубопроводів від статичної електрики відповідає ГОСТ 12.1.018.

5. Електрощитові: заборонено розміщувати силові щити котельні через стіну (суміжно), а також безпосередньо над або під житловими чи громадськими кімнатами.

6. Автоматика безпеки котла.

7. Конструкція котла забезпечує автоматичне припинення подачі палива та вимкнення пальників у разі:

– повного зникнення газу в мережі або падіння його тиску нижче критичної робочої межі;

– згасання факела пальника;

– зникнення або порушення тяги в димохідному каналі;

– перевищення допустимої температури теплоносія (перегріву).

Основні експлуатаційні заборони:

– у приміщенні, де змонтовано опалювальний котел, суворо забороняється:

– допускати до керування та обслуговування осіб, які не пройшли навчання за програмою пожежно-техничного мінімуму і не мають відповідних посвідчень;

– залишати увімкнені котли та підігрівачі без нагляду;

– експлуатувати обладнання при виявленні витоків газу або підтіканні палива;

– запускати пальники без попередньої примусової продувки камери згоряння, а також подавати паливо, якщо полум'я згасло;

– використовувати обладнання з несправними, вимкненими або відсутніми приладами контролю, вимірювання та регулювання;

– використовувати поверхні котла й теплотрас для сушіння робочого одягу, взуття чи будь-яких інших сторонніх матеріалів.

5.2 Вимоги до персоналу, який обслуговує котлове обладнання

Допуск персоналу до експлуатації та обслуговування газового котла здійснюється виключно після виконання комплексу обов'язкових підготовчих заходів.

При прийнятті на роботу працівники в обов'язковому порядку проходять:

– інструктажі та профільне навчання з питань охорони праці (ОП);

– курс із надання першої домедичної допомоги потерпілим унаслідок нещасних випадків;

– навчання щодо правил поведінки та порядку дій у разі виникнення аварійних ситуацій;

– протипожежний інструктаж.

Періодичність перевірки знань та навчання.

Зважаючи на те, що експлуатація котельного обладнання належить до категорій робіт із підвищеною небезпекою, встановлено такий регламент подальшого навчання табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Періодичність перевірки знань та навчання

Категорія працівників	Вид навчання / нормативна база	Періодичність
Обслуговуючий персонал	Спеціальне навчання за профільними нормативно-правовими актами з охорони праці	Щороку (1 раз на рік)
Посадові особи (відповідальні за безпечну експлуатацію газового господарства)	Навчання та перевірка знань з питань охорони праці	Квартально (1 раз на 3 роки)

5.3 Вимоги з електробезпеки при експлуатації засобів автоматизації

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики. Основні нормативні документи, що регламентують вимоги з електробезпеки, це ПУЕ-2017, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП-40.1-1.32-01, ДСТУ 7237:2011 та Технічний регламент з безпеки низьковольтного електричного обладнання (постанова Каб. Міністрів України №1149 від 23.10.2009 р.), а також вимог ДСТУ Б В.2.5-82:2016. «Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд».

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

– основне (робоче) ізолювання струмовідних частин (захисне ізолювання);

– додаткове, посилене, подвійне ізолювання струмовідних частин;

– захисні оболонки;

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

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

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

Передбачена проектом апаратура системи автоматизації та технологічне устаткування повинні експлуатуватися відповідно до паспортних даних, які визначають номінальні значення струмів і напруг живлення. Для живлення засобів автоматизації використовується трифазна електромережа з заземленою нейтраллю, зробочою напругою 220/380 В та частотою 50 Гц.

Застосована система захисного заземлення TN (підсистеми TN-C та TN-S), яка виключає можливість ураження персоналу електричним струмом при пробої на корпус ЕУ однієї з фаз електромережі, що забезпечується завдяки швидкому вимиканню ділянки електромережі, на якій виникло замикання фази на корпус, за рахунок використання пристроїв максимального струмового захисту.

Для виконання діючих вимог з електробезпеки, все технологічне устаткування згідно з ДСТУ IEC 61140:2015 має I клас за електрозахистом [16], а засоби автоматизації (блоки контролерів, екранні пристрої, давачі, виконавчі пристрої, блоки живлення тощо) системи управління мають відповідно I, II та III класи.

Для захисту людей від помилкових дій та випадкового дотику до струмовідних частин електрообладнання при монтажі, обслуговуванні та експлуатації спроектованої АСК застосовані розподільні щити в металевих шафах в закритому виді, клемні колодки мають бути захищеними спеціальними щитками, електрокабелі мати різнокольорову ізоляцію провідників та відповідне кольорове маркування комутаційних елементів, таблички та написи з позначенням робочих напруг, попереджувальні знаки.

5.4 Виробниче освітлення

Приміщення котельні повинно мати природнє та штучне освітлення. Освітленість потрібно приймати відповідно до вимог ДБН В.2.5-28 «Природне і штучне освітлення». При нормуванні природного освітлення використовується коефіцієнт природного освітлення (КПО або е), що залежить від віконних прорізів і віддалення точки виміру. У приміщенні щитової застосовується система бокового природного освітлення. Для забезпечення вимог безпеки котельня повинна бути обладнана аварійним освітленням у вибухобезпечному виконанні, при чому пускову арматуру та запобіжники до світильників установлюють поза приміщеннями котельні.

5.5. Пожежна безпека та профілактика

Для виконання вимог із забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки, приміщення газової котельні повинно бути обладнане системою автоматичної пожежної сигналізації табл. А1 додатку А ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [18]. Відповідальні особи за безпечну експлуатацію газової котельні та обслуговуючий персонал повинні пройти навчання за програмою пожежнотехнічного мінімуму, що передбачено вимогами наказу МВС України «Порядок затвердження програм навчання та інструктажів з питань пожежної безпеки, організації та контролю за їх виконанням» від 05.12.2019 [19].

У разі виникнення пожежі працівники мають швидко і безпечно покинути робочі місця. З цією метою роботодавець повинен забезпечити належне утримання аварійних виходів та шляхів евакуації. Підходи до аварійних виходів повинні бути вільними, незахаращеними та мати належні позначення (сигнальними кольорами, дороговказами, написами, знаками безпеки тощо) Шляхи евакуації і аварійні виходи мають бути забезпечені евакуаційним освітленням. Двері аварійних виходів повинні відкриватись назовні і замикатись так, щоб у випадку необхідності будь-яка особа могла легко і швидко їх відкрити без застосування додаткових засобів [20].

Відповідно до вимог пожежної безпеки, на підприємстві повинен бути розроблений порядок огляду приміщень після закінчення робочого дня відповідальними особами з фіксацією у Журналі результатів огляду.

Дії виробничого персоналу при виявленні запаху газу:

- негайно припинити його подавання;
- викликати аварійну газову службу;
- провітрити приміщення.

До усунення несправності в приміщенні забороняється:

- запалювати сірники;

– палити;

– застосовувати відкритий вогонь;

– вмикати та вимикати електроприлади;

– користуватися інструментом, який утворює іскри під час ударів;

– застосовувати вогонь для виявлення витоку газу з газопроводів;

– користуватися газовими пальниками й приладами.

У разі виникнення пожежі необхідно негайно викликати пожежнорятувальну службу за телефоном 101. Крім того, обслуговуючий персонал котельні повинен вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння. За типом вогнегасники розподіляють на: порошкові, вуглекислотні, водопінні, водяні і газові.

Придатність використання вогнегасників визначається, відповідно до класів пожеж:

– клас пожежі A – горіння твердих речовин;

– клас пожежі B – горіння рідких речовин;

– клас пожежі C – горіння газоподібних речовин;

– клас пожежі D – горіння металів;

– клас пожежі E – горіння електроустановок під напругою;

– клас пожежі F – горіння горючих речовин, таких як рослинні та тваринні олії і жири в обладнанні для приготування їжі.

Висновки. У результаті розробки розділу охорони праці та техногенної безпеки сформовано комплексний підхід до безаварійної експлуатації автоматизованої системи регулювання опалення. Реалізовані організаційні рішення та встановлена автоматика безпеки забезпечують надійне блокування подачі палива у разі виникнення критичних відхилень у роботі обладнання чи параметрах газового середовища. Пожежну та техногенну стійкість об'єкта підвищено завдяки впровадженню автоматичної пожежної сигналізації, регламентації чітких дій персоналу в аварійних ситуаціях, а також встановленню жорстких вимог до щорічного спеціального навчання та інструктажів робочих.

6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Метою даного розділу є оцінка економічної доцільності впровадження розробленої системи автоматичного регулювання (САР) тепловими режимами та витратою енергоресурсів автоматизованого теплового пункту із системою низькотемпературного підлогового опалення. Модернізація передбачає перехід до сучасної архітектури автоматизації ЖКГ на базі мікропроцесорного контролера нового покоління ОВЕН ПЛК200, графічної панелі оператора ОВЕН ІП320, інтелектуальних пристроїв керування запірно-регулюючою арматурою ОВЕН ПКП1, нормуючих перетворювачів НПТ-3, високоточних давачів тиску ПД-100-ДІ та засобів обліку енергоресурсів із підтримкою платформи EnLogic.

Впровадження сучасної дворівневої САР на базі зазначеного комплексу технічних засобів забезпечує значний позитивний ефект. Головні техніко-економічні переваги реалізації даного інженерного рішення поділяються на прямі (енергетичні) та непрямі (технологічні й експлуатаційні):

1. Пряма економія паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР): Завдяки реалізації алгоритмів погодозалежного керування та інтеграції ультразвукових лічильників з обчислювальною платформою EnLogic, забезпечується точне дозування теплової енергії відповідно до поточної температури зовнішнього повітря. Використання теплоакумулюючої здатності масивної будівельної конструкції (цементно-піщаної стяжки) теплої підлоги дозволяє уникнути перетопів у перехідні періоди опалювального сезону та знизити загальне споживання природного газу газовим котлом Vaillant на 20–25%.

2. Підвищення технологічної ефективності та комфорту: застосування ПІД-закону регулювання в ПЛК200 дозволяє підтримувати задану температуру теплоносія на вході в контур теплої підлоги з точністю до ± 1,0 °С від розрахункової уставки (35 °С). Це гарантує стабільний макроклімат у приміщеннях побутових споживачів та виключає динамічні температурні коливання.

3. Експлуатаційна надійність і протиаварійний захист: використання інтелектуальних приладів ПКП1 для керування електроприводами засувок без кінцевих вимикачів (за струмом та обертами вала) у поєднанні з безперервним моніторингом перепаду тиску за допомогою давачів ПД-100-ДІ повністю нівелює ризик «сухого ходу» насосів та виникнення гідроударів. Автоматичне блокування та сигналізація при виході параметрів за допустимі межі суттєво продовжують моторесурс обладнання та знижують витрати на аварійні ремонти.

Капітальні вкладення (К) складаються з вартості обладнання, допоміжних матеріалів, а також витрат на монтаж і пусконалагоджувальні роботи:

$$K = K_{обл} + K_{мат} + K_{монт}, \quad (7.1)$$

Кошторис витрат на придбання обладнання та матеріалів наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Кошторис витрат на придбання обладнання та матеріалів

Найменування статті витрат / обладнання	К-сть, шт/комп.	Вартість, грн.
Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК200-01 (з OS Linux та RT-patch)	1 шт.	28 500
Графічна панель оператора ОВЕН ІП320 (з інтерфейсом RS-232/Modbus)	1 шт.	11 200
Інтелектуальний пристрій керування та захисту привода засувки ОВЕН ПКП1	2 шт.	18 400
Мікропроцесорні давачі надлишкового тиску ОВЕН ПД-100-ДІ (з мембраною AISI 316L)	3 шт.	21 900
Термоперетворювачі опору ТСМ-6097 / ТСМ-8006 із нормуючими перетворювачами НПТ-3	1 комп.	16 500

Ультразвуковий теплолічильник з інтерфейсним модулем зв'язку	1 шт.	34 000
Шафа КВПіА (IP54), комутаційне обладнання ПАЗ, ДБЖ, кабельна продукція	1 комп.	24 500
Всього витрат на обладнання та матеріали (Кобл)	-	155 000
Проєктно-конструкторські роботи (15% від вартості Кобл)	-	23 250
Монтажні, шеф-монтажні та пусконалагоджувальні роботи (20% від Кобл)	-	31 000
ЗАГАЛЬНІ КАПІТАЛЬНІ ВКЛАДЕННЯ (К)		209250

Сумарні капітальні вкладення в проект:

$$К = 209250 \text{ грн.}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат.

Річні експлуатаційні витрати на утримання та обслуговування впроваджуваної САР включають амортизаційні відрахування та витрати на поточний ремонт (ТР) й сервісне обслуговування. Завдяки високій надійності мікропроцесорної техніки ОВЕН та відсутності механічних контактів у контролері, ці витрати є мінімальними..

Норма амортизації для засобів обчислювальної техніки та автоматики становить $N_a = 12\%$.

$$А = K \cdot \frac{N_a}{100\%} = 209250 \cdot 0{,}12 = 25110 \ \frac{\text{грн.}}{\text{рік}}. \qquad (7.2)$$

Витрати на поточне обслуговування та ТР (Р).

Приймаються в розмірі 4% від капітальних вкладень:

$$Р = 1255000 \cdot 0{,}04 = 8370 \ \frac{\text{грн.}}{\text{рік}}. \qquad (7.3)$$

Разом річні експлуатаційні витрати на систему САР ($C_{САР}$):

$$C_{САР} = 25110 + 8370 = 33480 \ \frac{грн.}{рік}. \qquad (7.4)$$

Розрахунок економічного ефекту.

Економічний ефект досягається за рахунок двох факторів:

Економія від оптимізації споживання палива газовим котлом ($\Delta C_{пал}$): Завдяки точній реалізації погодозалежного графіка за допомогою ПЛК200 та усуненню перетопів приміщення, досягається зниження витрати природного газу. При базовому річному обсязі споживання газу котельнею до модернізації на рівні 18000 м^3/рік, автоматизація забезпечує чисту економію палива у розмірі не менше 22 %. При промислово-комунальному тарифі на газ у розмірі 19,50 \грн./м^3, грошовий вираз економії становить:

$$\Delta C_{пал} = 18000 \ \cdot 0{,}20 \cdot 19{,}50 = 77220 \ \text{грн./рік}. \qquad (7.5)$$

Експлуатаційний ефект та попередження аварій ($\Delta C_{експ}$): безперервна діагностика ліній зв'язку, захист циркуляційного насоса від сухого ходу за перепадом тиску (давачі ПД-100-ДІ) та захист клапанів за допомогою ПКП1 дозволяють уникнути аварійних відмов, затоплень та заклинювань арматури. Оцінка зниження витрат на позапланові ремонти та сервіс гідравлічної системи становить:

$$\Delta C_{експ} = 24000 \ \text{грн./рік}.$$

Загальна річна економія від впровадження ($\Delta C_{заг}$):

$$\Delta C_{заг} = 77220 + 24000 = 101220 \ \text{грн./рік}.$$

Чистий річний економічний ефект (прибуток) системи (Е): Розраховується як різниця між загальною економією та експлуатаційними витратами на утримання автоматики:

$$Е = 101220 - 33480 = 67740 \text{ грн./рік.}$$

Розрахунок показників ефективності інвестицій.

Термін окупності проекту ($Т_{ок}$) показує час, за який капітальні вкладення повністю повернуться за рахунок генерованого чистого прибутку:

$$Т_{ок} = \frac{К}{П} = \frac{209250}{67740} = 3{,}09 \text{ років.} \quad (7.7)$$

Коефіцієнт економічної ефективності (Е):

$$Е = \frac{Е}{К} = \frac{67740}{209250} = 0{,}324 \quad (7.8)$$

Отримане значення коефіцієнта ефективності ($Е_р$ = 0,324) суттєво перевищує нормативний галузевий коефіцієнт для проектів модернізації житлово-комунального господарства та автоматизації інженерних мереж ($Е_н$ = 0,15). Це свідчить про високу економічну доцільність та фінансову привабливість капіталовкладень у розроблену систему.

Висновок. Проведені техніко-економічні розрахунки повністю підтвердили фінансову спроможність та високу експлуатаційну доцільність модернізації системи керування тепловим пунктом та підлоговим опаленням споживачів. При загальних капітальних витратах у розмірі 209250 грн. на розгортання сучасного комплексу автоматики на базі ПЛК200, панелі ІП320 та інтелектуальних давачів польового рівня, чистий річний економічний ефект (прибуток) становить 67740 грн.

Проєкт демонструє швидкий термін окупності (3,09 роки), що повністю відповідає нормативним вимогам до інвестицій у сфері енергозбереження та житлово-комунальної інфраструктури.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломного проекту проведено функціонально - технологічний аналіз системи теплопостачання та розроблено функціональну схему автоматизації теплового пункту, який є елементом цієї системи.

Розглянута структура розподіленої мережи теплопостачання. Керування теплозабезпеченням реалізується на основі SCADA-технологій і технічних засобів автоматизації, що включають давачі, виконавчі пристрої, а також засоби сполучення для мікропроцесорних контролерів з ПК.

Були проведені математичні дослідження для перевірки ефективності автоматизованої системи опалення. У результаті було отримано дані про споживання енергії, температурні режими та зручність управління.

Теплова мережа, яка об'єднує теплопроводи, насосні підстанції, мікропроцесорні регулятори і виконавчі пристрої, утворює розподілений об'єкт управління.

Для вирішення завдань диспетчерського управління з АРМ ЦДП розглянуто варіант по-будови мереж передачі даних на комунікаційних модулях компанії ОВЕН.

Застосування мережевих технологій керування в комплексі із локальними регуляторами дає можливість скоротити енергетичні витрати і підвищити надійність роботи об'єктів теплових мереж.

Проведені техніко-економічні розрахунки повністю підтвердили фінансову спроможність та високу експлуатаційну доцільність модернізації системи керування тепловим пунктом та підлоговим опаленням споживачів. При загальних капітальних витратах у розмірі 209250 грн. на розгортання сучасного комплексу автоматики на базі ПЛК200, панелі ІП320 та інтелектуальних давачів польового рівня, чистий річний економічний ефект (прибуток) становить 67740 грн. Проєкт демонструє швидкий термін окупності (3,09 роки), що повністю відповідає нормативним вимогам до інвестицій у сфері енергозбереження та житлово-комунальної інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.

2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII Голос України. 2017. 27 верес. (№ 178-179). С. 10–22.

3. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. Вид. офіц. Київ. 1998. 45 с. (Інформація та документація).

4. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с.

5. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. К. : Міненерговугілля України, 2021. 617 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с. (Інформація та документація).

7. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Чинний від 2002-01-01]. Київ : Мінпраці України, 2001. 45 с. (Інформація та документація).

8. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2014-12-30]. Київ : МВС України, 2014. 91 с. (Інформація та документація).

9. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [Чинний з 1997-10-06]. Київ : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Інформація та документація).

10. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [Чинний з 1998-01-09]. Київ : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Інформація та документація).

11. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроям. [Чинний від 2018-05-18]. Київ : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. (Інформація та документація).

12. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний з 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Інформація та документація).

13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. Київ : МОЗ України, 1999. 106 с. (Інформація та документація).

14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [Чинний з 01.01.2016]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Інформація та документація).

17. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Київ : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Інформація та документація).

18. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [Чинний від 2015-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Інформація та документація).

19. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [Чинний від 2018-02-23]. Київ : МВС України, 2018. 23 с. (Інформація та документація).

20. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем : навч. посібник. Черкаси : ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

21. Теличкун Ю.С., Литовченко І.М., Ковальов О.В. «Технологічне обладнання галузі», К.:НУХТ, 2011. 257 с.

22. Косюра В.Т. «Машини та обладнання хлібопекарського виробництва», К.: Вища освіта, 2010. 307 с.

23. Дробов В.І. «Довідник з технології хлібопекарського виробництва» 2-е вид., перероб. І допов. Київ, 2019. 580 с.

24. Романов М.С. Синергетичні основи усталого інноваційного розвитку харчової промисловості: концептуальний підхід, наукове видання / М.С. Романов. – К.: НУХТ, 2019. 71 с.

25. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання : уклад. І.В. Ельперін, В.М. Сідлецький, Н.М. Луцька, Є.С. Проскурка. – НУХТ, 2020.73 с.

26. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи. Практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник / В. Д. Кишенько, Ю. О. Самойленко, Я. В. Смітюх. – Київ : НУХТ, 2017. 67 с.

27. Кишенько В.Д. Моделювання систем [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студ. освіт. ступ. «Магістр» спец. 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціал. «Автоматизація та інтелектуальні системи керування технологічними комплексами» ден. Форми навч. / В. Д. Кишенько. – К. : НУХТ, 2016. 205 с.

28. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. – К. : НУХТ, 2014. 600 с.

29. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. 378 с.

30. Пупена О. М. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro: навчальний посібник / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. – Київ : Ліра-К, 2015. 376 с.

31. Солодовников В.В., Коньков В.Г. Мікропроцесорні автоматичні системи регулювання. Київ: Вища школа, 2021. 255 с.

32. Полянський Г.О. Методичні вказання к розрахунку надійності систем автоматизованого керування. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 24 с.

33. Проектування систем керування : конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами»; уклад. М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленький, Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 279 с.

34. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html (дата звернення: 15.02.2026).

35. Рішан О. Й. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Курс лекцій для студентів спеціальностей: 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» ден. та заочн. форм. навчан. Київ : НУХТ, 2007. 162 с.

36. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації : навч. посіб. Київ : НМКВО, 2015. 80 с.

37. Тимофеев Б. Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Справочник/ ред. Б. Б. Тимофеева. Киев : Техника, 1983. С. 87 – 88.

38. Автоматизовані системи управління технологічного процесу в хімічних виробництвах: курс лекцій / Укладач Л.В.Борисова. – Х.: НУЦЗУ,2015. 98 с.

39. Емпіріко-теотетичні методи дослідження систем управління. URL: http://examen.od.ua/upravlen/page117.html (дата звернення 22.04.26).

40. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.03.2026).

41. Електрична піч опору. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії: URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрична_піч_опору (дата звернення 13.05.2026).

42. Способи з'єднання до ПЛК URL: https://dev.iridi.com/Modbus/en (дата звернення: 01.05.2026).

43. Датчик температура води Raut Automatic Pt1000 Stw-04 URL:

http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ua/temperature-ua/water-ua/stw04-ua.html (дата звернення: 12.05.2026).

44. Датчик температура повітря Raut Automatic STH-03 URL: http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ru/humidity-ru/sth-03-ru.html (дата звернення: 18.05.2026).

45. Датчик перепад тиску Danfoss YNS-C106X URL: https://profimann.com.ua/avtomatika-i-upravlenie/rele-davleniya-vody/reledavleniya-danfoss-yns-c106x/ (дата звернення: 18.03.2026).

46. Газовий котел Vaillant turboTEC plus VU 242/5-5 URL: https://teploradost.com.ua/odnokonturnyj-gazovyj-kotel-vaillant-turbotecplus-vu-24255 (дата звернення: 18.05.2026).

47. Програмований логічний контролер M172 URL: https://files.rakurs.su/Sistemy-avtomatizaciy/Programmiryemie-logicheskiekontrollery/Schneider-Electric/M171-M172/Rukovodstvo-popodklyucheniyu-Modicon-M172-Performance-eng.pdf (дата звернення: 17.05.2026).

48. Радіатор біметалевий Mirado/Diva 500/96 URL: https://epicentrk.ua/ua/shop/radiator-bimetallicheskiy-diva-diva-500-96- 16atm.html (дата звернення: 16.05.2026).

49. Клапан двоходовий URL: https://prom.ua/ua/p1057027117-klapandvuhhodovoj-servoprivodom.html (дата звернення: 12.05.2026).

50. Клапан трьоходовий URL: https://epicentrk.ua/shop/klapan-salus-3-khodovyi-zelektromekhanichnym-pryvodom-pmv31-1.html (дата звернення: 13.05.2026).

51. Перехідник із зовнішньою металевою різьбою URL: https://aquaart.in.ua/ua/p65031332-mufta-kalde-naruzhnoj.html (дата звернення: 14.05.2026).

52. Циркуляційний насос Zegor ZRS32/4GB URL: https://www.zegor.shop/shop/nasos-tsirkulyatsionyj-zegor-zrs32-4gb-kab-1- 3m/ (дата звернення: 17.05.2026).