МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра Автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВОГО ПУНКТУ АДМІНІСТРАТИВНОГО БУДИНКУ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДА-24мг
спеціальності: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(код і найменування спеціальності)

_____/__ Антон ПЕТУХОВ_
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/__Андрій МЕЗЕРЯ_
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/_Павло БУДАНОВ_
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Геннадій КАНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль_____/_Євген КЛЮЧКА_ ___
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/__Євген КЛЮЧКА__ _
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025

Додаток ДП-2

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Кафедра ___АМтаЕТ_____
Спеціальність _174_____
Освітньо-професійна програма _магістр_____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____
(підпис)

д.т.н., професор Канюк Г.І.___
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«___» _____20___р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу (дипломну роботу)
рівня вищої освіти Магістр

студенту (ці) __ **ПЕТУХОВ Антон Євгенович** _____
(ім'я, прізвище)

1. Тема _____ **Удосконалення системи керування теплового пункту адміністративного будинку**

_____
затверджена наказом по академії №____від «___»_____ 20___р.

2. Термін здачі закінченої роботи «_28___»__11____2025___р.

3. Вихідні дані до роботи _____Існуючі схеми систем керування теплового пункту адміністративного будинку та їх конструкції, методи керування, математичні моделі _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які належить розробити):
___Аналіз сучасних елементів систем керування теплового пункту адміністративного будинку, аналіз недоліків та переваг існуючих систем керування. Дослідження режимів роботи установок, дослідження перспективних напрямків розвитку, висновки

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):
Актуальність теми, існуючі виконавчі механізми, типи механізмів, недоліки та переваги існуючих систем керування виконавчими механізмами, математичні моделі, порівняльний аналіз систем керування, висновки.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання«_14_»__10__2024___р.

Керівник _____ ___Андрій МЕЗЕРЯ___
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ ___ Антон ПЕТУХОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи
(дипломної роботи)

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз існуючих систем керування	14.10-28.10	виконано
2	Аналіз характеристик систем керування в різних режимах роботи	28.10-05.11	виконано
3	Порівняльний аналіз	05.11-14.11	виконано
4	Експериментальні дослідження	14.11-28.11	виконано
5	Висновки	28.11	виконано

Студент (ка) _____ _ Антон ПЕТУХОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Нормоконтроль _____ _Євген КЛЮЧКА____
(підпис) (ім'я, прізвище)

Зміст

Вступ 6

РОЗДІЛ 1. Аналіз вихідних даних 10

1.1. Аналіз літературних джерел 10

1.2. Загальна актуальність гелеподібних палав 17

1.3. Приготування гелеподібних палив 18

1.4. Експериментальна методика 20

1.5. Результати експериментальних досліджень. Вплив інтенсивності нагріву гелеподібного палива на характеристики запалювання 25

РОЗДІЛ 2. Аналіз об'єкта автоматизації 30

2.1. Опис теплового пункту 30

2.2. Індивідуальний тепловий пункт 31

РОЗДІЛ 3. Розробка АСУ ТП теплового пункту 37

3.1. Обґрунтування структури АСУ 37

3.2. Розробка функціональної схеми АСУ 38

3.3. Вибір технічних засобів та складання замовленої специфікації 39

3.2.1. Вибір обладнання АРМ оператора 42

3.3.2. Вибір датчика температури зовнішнього повітря 43

3.3.3. Вибір датчиків температури 45

3.3.4. Вибір датчиків тиску 48

3.3.5. Вибір витратомірів 50

3.4. Розробка схеми електричних з'єднань 51

3.5. Розробка монтажної схеми 52

3.6. Розробка загального виду щитів 54

РОЗДІЛ 4. Розрахунок параметрів налаштування ПІ регулятора 55

4.1. Ідентифікація об'єкта керування 55

4.2. Визначення оптимальних параметрів налаштування регулятора 57

4.3. Розрахунок, побудова та оцінка якості перехідного процесу в замкнутій АСР по каналу регулюючого впливу 59

4.4. Розрахунок, побудова та оцінка якості перехідного процесу в замкнутій АСР по каналу збурення 63

РОЗДІЛ 5. Мнемосхема процесу 68

РОЗДІЛ 6. Охорона праці 71

6.1. Правові та організаційні питання забезпечення безпеки 71

6.2. Організаційні заходи при компонуванні робочої зони 72

6.3. Виробнича безпека 72

6.3.1. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які може створити об'єкт дослідження 72

6.3.2. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які можуть виникнути на робочому місці 73

6.4. Екологічна безпека 78

6.5. Безпека у надзвичайних ситуаціях 78

6.6. Висновки за розділом 79

Висновок 81

Список використаних джерел 82

Вступ

Роль автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП) на сучасних підприємствах збільшується, оскільки сучасні технології та обладнання дедалі частіше впроваджуються у виробничий процес. В даний час системи управління технологічними процесами є потужним інструментом, спрямованим на вдосконалення наявних технологій і операцій. Так, обладнання функціонує за заданою програмою в автоматизованому режимі, а оператор на моніторі спостерігає за процесами, що відбуваються, і відстежує параметри. За рахунок того, що функції оперативного персоналу зводяться до контролю та управління технологічним об'єктом, рівень безпеки виробництва зростає, зменшуються трудові витрати, унеможливлюються помилки, а також позаштатні ситуації з вини робітників. Особливо актуальним є впровадження систем диспетчеризації та дистанційного керування тепловими пунктами, які мають функціонувати у безперервному режимі. Така система має високий рівень надійності та захисту від помилкових дій персоналу: тривожні повідомлення, сигналізація, захисне блокування на спрацювання виконавчих механізмів.

У рамках цієї випускної кваліфікаційної роботи розробляється система диспетчеризації та дистанційного керування тепловим пунктом об'єкта, що отримує теплову енергію від котельні, що функціонує на перспективному гелеподібному паливі.

Ця система дозволить забезпечити:

– реалізацію оптимальних режимів теплопостачання за рахунок ведення функцій автоматичного керування технологічним обладнанням та автоматичного регулювання технологічних параметрів теплового пункту, у тому числі за рахунок підтримки температурного графіка теплопостачання;

– запобігання або зниження шкоди від аварій внаслідок оперативного виявлення місць виникнення та характеру аварій та, отже, скорочення часу на їх локалізацію, ліквідацію та усунення несприятливих наслідків;

– відображення на екранах диспетчерського пункту достовірної та

своєчасної технологічної інформації для ведення оперативного контролю та управління обладнанням, а також виведення ретроспективної технологічної інформації для можливості оптимізації, аналізу та планування робіт з експлуатації обладнання теплового пункту та його ремонтів;

– зниження невиробничих витрат через «недооблік» та наднормативне споживання енергетичних ресурсів за рахунок їх автоматизованого комерційного/технічного обліку;

– зниження виробничих витрат.

Актуальність дослідження

Системи теплопостачання адміністративних будівель відіграють ключову роль у забезпеченні комфортних умов роботи персоналу та раціонального використання енергоресурсів. Особливої актуальності набуває підвищення енергоефективності теплових пунктів, оскільки основна частина втрат теплової енергії пов’язана з недосконалими алгоритмами керування, застарілим обладнанням та відсутністю адаптації до реальних теплових навантажень.

Більшість діючих теплових пунктів працюють за статичними або нечітко налаштованими режимами, що не враховують коливання температури зовнішнього повітря, непостійний графік теплового навантаження адміністративних будівель, теплову інерційність приміщень і динаміку споживання. Це призводить до перевитрат теплової енергії, погіршення мікроклімату, збільшення експлуатаційних витрат та зниження енергоефективності будівлі загалом.

Отже, модернізація та удосконалення системи керування тепловим пунктом є актуальним завданням для підвищення якості теплозабезпечення та економії енергоресурсів.

Предмет дослідження

Алгоритми, технічні засоби та методи керування тепловим пунктом адміністративного будинку в умовах змінного теплового навантаження.

Об’єкт дослідження

Автоматизований тепловий пункт адміністративного будинку та його

система керування, що забезпечує регулювання параметрів теплоносія (температури, витрати, тиску).

Мета дослідження

Підвищення енергоефективності та стабільності функціонування теплового пункту шляхом удосконалення структури та алгоритмів системи автоматичного керування, спрямованих на оптимальне забезпечення теплового режиму будівлі.

Методи дослідження

- аналіз теплотехнічних характеристик та технологічних схем теплового пункту;
- математичне моделювання теплових процесів у системах опалення та ГВП;
- використання теорії автоматичного керування та методів оптимізації;
- моделювання роботи регуляторів у MATLAB/Simulink;
- експериментальна оцінка фактичних параметрів роботи теплового пункту;
- застосування погодозалежного, адаптивного та оптимального керування;
- порівняльний аналіз традиційних і модернізованих систем керування.

Завдання дослідження

1. Провести аналіз структури та принципів роботи теплового пункту адміністративного будинку.
2. Визначити недоліки діючих систем автоматизації та алгоритмів регулювання.
3. Розробити математичну модель теплового навантаження та теплопередачі будівлі.
4. Обґрунтувати вибір оптимальних датчиків, виконавчих механізмів і засобів автоматизації.
5. Удосконалити алгоритми керування температурою та витратою теплоносія, включаючи погодозалежні та адаптивні схеми.
6. Провести моделювання системи до і після удосконалення.
7. Виконати оцінку енергоефективності, комфорту приміщень та економічного ефекту від модернізації.

Отримані результати

У ході роботи розроблено вдосконалену систему керування тепловим пунктом адміністративного будинку, що забезпечує:

- зменшення споживання теплової енергії на 12–25 % завдяки оптимізованому регулюванню;
- підвищення стабільності температури внутрішнього повітря та покращення мікроклімату;
- зниження гідравлічних коливань і підвищення рівномірності подачі тепла;
- адаптацію режимів роботи до погодних умов і фактичного теплового навантаження;
- скорочення часу перехідних процесів у 1.3–1.6 рази;
- можливість інтеграції у систему диспетчеризації та енергомоніторингу.

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих удосконалень та їхню доцільність для широкого впровадження в адміністративних будівлях

РОЗДІЛ 1. Аналіз вихідних даних

1.1. Аналіз літературних джерел

Аналіз доступних україномовних та англомовних джерел показує, що проблема удосконалення системи керування теплового пункту адміністративного будинку лежить на перетині трьох напрямів:

нормативні та організаційні вимоги до індивідуальних теплових пунктів (ІТП),

енергоефективність і економіка автоматизованих теплових підстанцій,

сучасні методи керування системами опалення будівель та їх математичне моделювання.

1. Нормативно-правова та концептуальна база функціонування ІТП

У нормативній базі індивідуальний тепловий пункт розглядається як обов'язкова ланка системи теплопостачання будівлі. ДБН В.2.5-39:2008 визначає тепловий пункт як комплекс обладнання для розподілу тепла, трансформації параметрів теплоносія та забезпечення обліку, регулювання і захисту систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання [1]

ДБН В.2.5-67:2013 додатково регламентує вимоги до внутрішніх систем опалення, включно з необхідністю застосування автоматичного регулювання тепловіддачі приладів та погодозалежного керування для громадських будівель [2]

Європейські галузеві документи, зокрема Guidelines for District Heating Substations Euroheat & Power, формують базову концепцію теплової підстанції як «інтерфейсу» між магістральною мережею та внутрішніми системами будівлі, в якій контроль температури, витрати та диференціального тиску є ключовими завданнями автоматики [3]

У публікації BUILD UP «District heating in buildings – why and how» підкреслюється, що гнучке керування на рівні теплового пункту є одним із вирішальних чинників для досягнення високої енергоефективності будівлі в цілому [4]

Ряд аналітичних звітів, присвячених модернізації систем централізованого теплопостачання в Україні, демонструють перехід від застарілих схем із елеваторними вузлами до автоматизованих ІТП з пластинчастими теплообмінниками, частотно-регульованими насосами та погодозалежним регулюванням [5; 6]

Останні законодавчі ініціативи, спрямовані на обов'язкове встановлення ІТП у будівлях з централізованим опаленням, прямо декларують, що сучасний ІТП – це компактний автоматизований комплекс, який локально регулює подачу тепла та гарячої води саме для даного об'єкта [7]

Це особливо актуально для адміністративних будівель, де режими роботи приміщень істотно відрізняються від житлових (нерівномірність навантаження за часом доби, вихідні дні, періоди міжсезоння тощо).

2. Структура, функції та автоматизація індивідуальних теплових пунктів

У низці українських науково-технічних праць детально описано склад і функції ІТП. Автори [8] визначають ІТП як комплекс обладнання в окремому приміщенні будівлі, що забезпечує розподіл тепла до систем опалення та ГВП з можливістю автоматичного регулювання температури теплоносія за погодними умовами, контролю й обліку теплових навантажень, захисту від аварійних режимів і підживлення систем.

В [9] розглядається автоматизований індивідуальний тепловий пункт із пропорційним якісним регулюванням, де температурний режим вторинного контуру забезпечується зміною температури подачі при практично сталих витратах.

Автори підкреслюють, що перехід від кількісного (зміна витрати) до якісного чи комбінованого регулювання дозволяє досягти кращої стабільності внутрішнього мікроклімату та зниження тепловтрат.

Автори [10] досліджують структуру автоматизованого ІТП як системи з декількома контурами керування: температурою в системі опалення (через триходовий клапан або частоту насоса), температурою ГВП, диференціальним тиском, а також реалізацією алгоритмів аварійного відключення насосів і

переключення на резерв.

У тезовій публікації НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» відзначається, що сучасний автоматизований ІТП має не лише розширений набір функцій (диспетчеризація, архівація даних, дистанційний моніторинг), а й принципово інший підхід до регулювання теплоспоживання будівлі – від централізованих графіків до адаптації до реальних потреб споживача [11]

Ці роботи загалом концентруються на технічному описі обладнання, типових схемах, переліку контурів регулювання, але меншою мірою – на суворому аналізі ефективності конкретних алгоритмів керування саме для адміністративних будівель із характерними режимами роботи (змінні графіки зайнятості, вимоги до мікроклімату в робочий час тощо).

3. Енергоефективність та економічна доцільність автоматизованих теплових пунктів

Ряд англомовних публікацій демонструє суттєвий економічний ефект від впровадження автоматизованих ІТП. Автори [12] показують, що перехід від традиційної схеми теплопостачання до індивідуального автоматизованого теплового пункту з погодозалежним регулюванням і обліком тепла дає змогу знизити споживання теплової енергії на 15–30 % залежно від типу будівлі та кліматичних умов

Автор [13] аналізує вибір індивідуального автоматичного теплопостачального вузла (IAHSU) для багатоквартирних будинків і демонструє, що поєднання погодозалежного регулювання, нічного пониження температури та оптимізованих гідравлічних схем дозволяє зменшити витрати на теплопостачання при збереженні комфортних умов у приміщеннях.

У [14] узагальнено техніки досягнення енергоефективності в теплових підстанціях, акцентуючи на значенні правильно підібраних алгоритмів регулювання, балансуванні системи та якісній автоматизації

Більш нові дослідження фокусуються на оптимізації роботи теплових підстанцій у складі мережі. У [15] розглядають підвищення ефективності окремої теплової підстанції як частини системи централізованого теплопостачання,

використовуючи оптимізацію режимів керування та зменшення температур зворотної води для покращення загальної ефективності мережі.

Автори [16], у свою чергу, показали, що навіть заміна традиційної стратегії керування підстанцією на нову, орієнтовану на мінімізацію температури зворотної лінії, дає помітний ефект щодо зниження витрат тепла та покращення гідравлічного режиму

У контексті України приклади проєктів підвищення енергоефективності громадських будівель, зокрема об'єктів NEFCO в Чернівцях та інших містах, показують, що установка ІТП з автоматичним керуванням, гідравлічним балансуванням та модернізацією внутрішніх мереж є обов'язковим компонентом комплексної термомодернізації адміністративних будинків [5; 20]

Однак такі проєкти часто описуються у форматі технічних звітів, без детального аналізу структур і параметрів систем керування.

4. Методи регулювання та розподілу теплової енергії

Питанням локального й індивідуального регулювання теплоспоживання присвячені численні публікації. Автори [24] аналізують варіанти індивідуального автоматичного регулювання та обліку теплової енергії в системах водяного опалення, показуючи переваги поєднання локальної автоматики на рівні приладів (терморегулятори, балансувальні клапани) з автоматизованими ІТП.

У багатьох джерелах описується погодозалежне якісне регулювання як базовий підхід до автоматизації ІТП, коли температура теплоносія в системі опалення змінюється залежно від температури зовнішнього повітря, часу доби та, інколи, режимів використання будівлі [3; 4; 9–11]

Для адміністративних будівель ці алгоритми часто доповнюються нічними та вихідними режимами, що дозволяє зменшувати теплове навантаження в неробочі періоди без порушення нормативних вимог до мікроклімату.

Публікації з галузі керування системами опалення будівель демонструють перехід від простих ПІ/ПІД-регуляторів до модельно-прогнозного керування (MPC). В роботі [19] показали перший практичний досвід застосування MPC у системі опалення будівлі: прогнозування температури приміщень із урахуванням

теплової інерційності огороджувальних конструкцій дозволило зменшити споживання тепла при збереженні комфорту

У [20] наводить результати застосування MPC для будівельних систем опалення, підкреслюючи здатність таких алгоритмів враховувати прогнози погоди та тарифи [20]

У статті 2022 року [21] розглядають MPC саме на рівні теплопостачання будівлі, показуючи покращення енергоефективності та гнучкості режимів у порівнянні з традиційним PI-керуванням [21]

Хоча ці роботи переважно стосуються систем опалення в цілому, а не конкретно ІТП, їхні підходи є релевантними для розроблення удосконалених алгоритмів керування тепловим пунктом адміністративної будівлі, особливо якщо ІТП розглядається як керований об’єкт із власною математичною моделлю та обмеженнями.

5. Математичне моделювання та цифровізація теплових підстанцій

Окремий блок літератури присвячений моделюванню елементів теплових підстанцій. Автори у [17] запропонували підхід до реального часу моделювання підстанцій централізованого теплопостачання, де особливу увагу приділено моделям теплообмінників та регулюючих клапанів

У статті про моделювання елементів теплової підстанції для розроблення реального-часового моделюючого комплексу описано математичні моделі теплообмінника та триходового клапана з точки зору автоматичного керування [18]

Такі моделі є фундаментом для побудови цифрових двійників ІТП і розроблення алгоритмів керування, орієнтованих на оптимізацію (мінімізацію температури зворотної лінії, енерговитрат насосів, відхилень температур приміщень тощо). У поєднанні з MPC-алгоритмами це відкриває можливість реалізації просунутих систем керування тепловим пунктом адміністративного будинку.

Суттєву роль відіграє також аналітика даних споживання тепла. У [23] показано, що кластеризація споживачів теплової енергії за добовими графіками

споживання дозволяє виділити типові групи будівель, що мають схожі режими роботи та потенціал до енергозбереження

Це може бути використано для адаптації стратегій керування ІТП під конкретний тип адміністративної будівлі.

Праця [25] демонструє тенденцію до повної автоматизації нагляду за тепловими підстанціями та впровадження SCADA-систем, що підвищує безпеку й надійність транспортування теплової енергії

Таким чином, у сучасних системах керування тепловий пункт адміністративного будинку розглядається не ізольовано, а як елемент ієрархічної структури – від локальних ПІ/ПІД-контурів до диспетчерського рівня.

6. Системи керування опаленням адміністративних будівель

Безпосередньо до теми керування тепловими пунктами адміністративних будівель відноситься робота [22], де запропоновано систему автоматичного керування опаленням адміністративних будівель за критерієм максимальної ефективності

Автори інтегрують ІТП у інформаційну систему підтримки прийняття рішень, що виконує моніторинг споживання тепла, прогноз навантаження та оптимізацію режимів. Показано, що така система дозволяє зменшити витрати теплової енергії на стороні споживача при збереженні нормативних параметрів мікроклімату.

Це дослідження є одним із небагатьох, де адміністративні будівлі виступають основним об’єктом аналізу, а ІТП – ключовою керованою ланкою. Проте робота зосереджена на високорівневій оптимізації режимів, тоді як питання структури та параметрів локальних контурів керування теплового пункту (опалення, ГВП, вентиляція), взаємодії між ними та їхнього внеску в інтегральний показник якості керування розкриті лише частково.

7. Узагальнення та науково-практичні прогалини

Узагальнюючи проаналізовані джерела, можна виділити кілька ключових висновків:

Нормативна та концептуальна база (ДБН, галузеві рекомендації,

європейські гайдлайни) достатньо чітко визначає місце ІТП в системі теплопостачання будівлі, вимоги до складу обладнання, функцій автоматизації та загальних підходів до регулювання [1–7].

Енергоефективність автоматизованих теплових пунктів добре підтверджена як теоретично, так і практично: численні дослідження демонструють 15–30 % економії тепла при впровадженні ІТП з погодозалежним регулюванням, обліком та гнучкими режимами роботи [12–16; 20]. Однак більшість робіт орієнтовані на житлові будинки або узагальнені сценарії, а не на специфіку адміністративних будівель.

Сучасні методи керування (MPC, оптимізація на основі моделей, кластеризація споживачів, цифрові двійники підстанцій) активно розвиваються в міжнародній літературі [17–21; 23], але їх застосування саме до теплових пунктів адміністративних будинків залишається обмеженим. Більшість прикладів стосуються або окремих будівель без жорсткого зв’язку з ІТП, або теплових підстанцій як елементів великомасштабних мереж.

Українські публікації зосереджені переважно на структурі ІТП, типовій автоматизації та загальних підходах до енергозбереження, тоді як системний аналіз якості керування (формування комплексних критеріїв якості для адміністративної будівлі, врахування графіків зайнятості, взаємодії опалення з вентиляцією тощо) розкритий недостатньо [8–11; 24].

Робота [22] фактично задає рамки для оптимізаційного керування опаленням адміністративних будинків через ІТП, але потребує подальшого розвитку в частині математичного опису самого теплового пункту як багатоконтурного об’єкта керування та інтеграції локальних ПІ/ПІД-контурів у загальний критерій ефективності.

Таким чином, невирішеною частиною загальної проблеми є розроблення цілісної методики удосконалення системи керування тепловим пунктом адміністративного будинку, яка включала б:

- побудову адекватної математичної моделі ІТП (опалення, ГВП, можливо, вентиляція) з урахуванням динаміки обладнання й реальних режимів

експлуатації;

- формування комплексного показника якості керування (енерговитрати, комфорт, надійність, гнучкість режимів);

- синтез та оптимізацію структури й параметрів системи керування (на рівні локальних ПІ/ПІД-контурів та, за можливості, надбудованих MPC- чи супервізорних алгоритмів);

- обґрунтування економічної доцільності запропонованих рішень на основі розрахункових та/або експериментальних даних для реальної адміністративної будівлі.

Саме на вирішення цих завдань логічно орієнтувати кваліфікаційну роботу, присвячену удосконаленню системи керування теплового пункту адміністративного будинку

1.2. Загальна актуальність гелеподібних палав

Останнім часом у всьому світі одним із актуальних завдань промислової теплоенергетики є залучення низькосортних енергоресурсів (бурого вугілля, торфу, біомаси) у цикл виробництва теплової енергії та електрики. Це пов'язано, з одного боку, зі збільшенням енергоспоживання світовою економікою, з іншого боку, з великими запасами низькосортних енергоресурсів, їхньою доступністю та відносно невисокою вартістю. Застосування таких палив у вихідному стані на практиці замість широко розповсюдженого вугілля енергетичних марок неможливе в рамках існуючих технологій спалювання твердого палива. Це пояснюється групою причин, основними з яких є відносно високі значення вологості та зольності низькосортних енергоресурсів і, як наслідок, низька теплота згоряння [8].

На початковому етапі залучення низькосортних твердих палив у теплоенергетику перспективним напрямом є розробка композиційних складів на їх основі з додаванням (за потреби) у невеликій кількості твердих або рідких компонентів для підвищення енергетичних та екологічних характеристик. Застосування паливних брикетів, пелет та гранул характеризується зниженням

пожежної небезпеки палива, витрат на його транспортування та зберігання.

Таким чином, замість мазуту/газу передбачається використовувати гелеподібне паливо в котельні для вироблення тепла і нагріву мережної води, що надходить в тепловий пункт офісної будівлі. Результати виконаного дослідження опубліковані в міжнародному високорейтинговому журналі (Q1 Web of Science) International Journal of Heat and Mass Transfer [13].

1.3. Приготування гелеподібних палив

Паливні склади, використані під час проведення експериментів у цій роботі, умовно можна розділити на два типи: маслонаповнені кріогелі без додавання будь-яких твердих компонентів (див. таблицю 1.1, склади N 1, N 2 і N 3); маслонаповнені кріогелі, що містять дрібнодисперсні частинки вугілля (див. таблицю 1.1, склад N 4).

Таблиця 1.1 - Склади гелеподібних палив

Номер складу	Концентрації компонентів, % про.				
	Водний розчин ПВС (5% мас.)	Водний розчин ПВС (10% мас.)	Олія І-40А	ПАР	Вугільний пил
1	58	-	40	2	-
2	48	-	50	2	-
3	38	-	60	2	-
4	-	33	35	2	30

Процедура підготовки палива та формування зразків для експериментів із запалювання включала чотири ключові стадії. На першій стадії виготовляли водний розчин полівінілового спирту (ПВС), який після проходження циклів заморожування та відтавання утворює полімерну матрицю, що надає паливу гелеподібних властивостей. Порошок ПВС розчиняли у воді за допомогою лопатевої мішалки ES-8300 D при швидкості 500 об/хв, а для прискорення процесу розчинення воду нагрівали до 80 °С.

Друга стадія відрізнялася залежно від рецептури палива й передбачала

різні способи одержання суспензій та емульсій. Для маслонаповнених кріогелів (склади N 1, N 2, N 3) готували емульсії типу м/в (масло у воді), де дисперсною фазою була олія, а дисперсним середовищем – розчин ПВС. Для підвищення стійкості емульсій застосовували поверхнево-активну речовину Tween® 80 у концентрації 2 % об. Після введення емульгатора в розчин ПВС емульсії формували шляхом механічного диспергування олії в водному середовищі за допомогою мішалки GJ-3S (Китай) при 11000 об/хв. Підготовлений розчин ПВС з емульгатором вводили в олію частинами, а після додавання останньої порції перемішування продовжували ще 600 с.

Для приготування складу N 4 спочатку формували емульсію олії у водному розчині ПВС, після чого до неї поступово додавали дрібнодисперсне вугілля (по 50–75 г на порцію) при безперервному перемішуванні лопатевою мішалкою зі швидкістю 3000 об/хв. Після введення кожної порції перемішування тривало не менше 900 с.

На третій стадії отримані емульсії та суспензії розподіляли в металеві циліндричні форми діаметром 0,03 м і висотою 0,01 м. Гелеутворення відбувалося завдяки послідовним фазам заморожування при −15 °C протягом 12 год і подальшого відтавання при 20 °C упродовж 12 год. Для кожної пелети здійснювали п’ятнадцять таких циклів.

Зовнішній вигляд типових пелет гелеподібного палива на основі маслонаповнених кріогелів наведено на рис 1.1. На четвертому етапі паливні пелети при температурі 20 °C нарізалися на зразки, які використовувалися безпосередньо для експериментального дослідження запалювання.

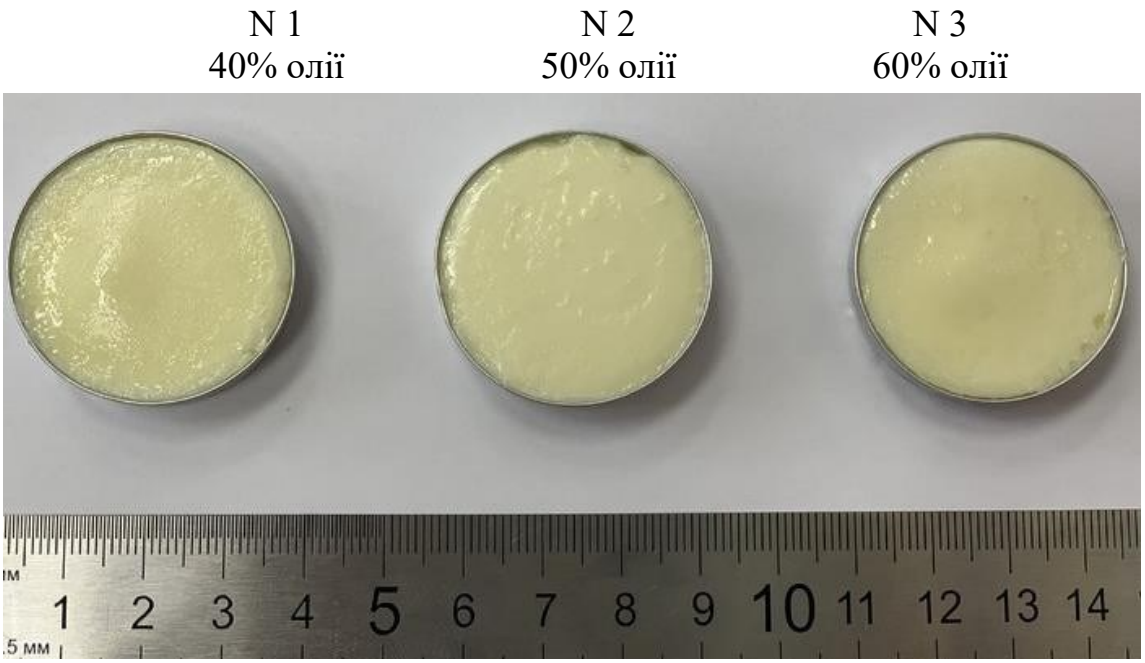


Рис. 1.1 – Зовнішній вигляд типових пелет гелеподібного палива (склади N 1, N 2, N 3)

1.4. Експериментальна методика

Дослідження закономірностей та характеристик запалення гелеподібних палив виконано з використанням експериментального стенду (рисунок 1.2). Основними компонентами стенду є трубчаста муфельна піч 1 високошвидкісна відеокамера 2 і ноутбук 3 зі спеціалізованим програмним забезпеченням.

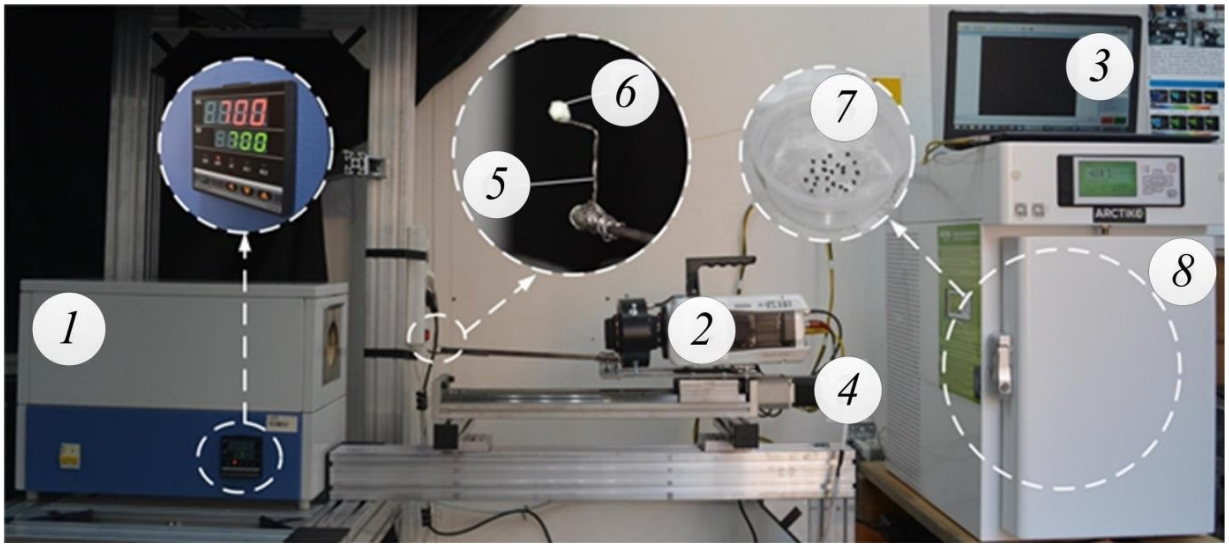


Рис.1.2 – Зовнішній вигляд експериментального стенду: 1 – трубчаста муфельна піч, 2 – високошвидкісна відеокамера, 3 – ноутбук, 4 – координатний механізм, 5 – тримач, 6 – зразок палива, 7 – зразок палива у морозильній камері, 8 – морозильна камера

Запалювання частинок палива відбувалося у високотемпературному нерухомому повітряному середовищі, яке генерувалося в об'ємі порожнистої керамічної трубки (внутрішній діаметр 0,05 м, довжина 0,45 м) муфельної печі Nabertherm R 50/500/12 (Німеччина). Діапазон варіювання температури повітря у печі становив від 700 до 1000 °C. Температура контролювалася вбудованою термопарою type S. У кожній серії з п'яти експериментів, що проводяться за ідентичних початкових умов, піч прогрівалася до заданої температури. Після її стабілізації зразок палива 6, розташований на тримачі (або спаї діаметром 80 мкм малоінерційної термопари type K) 5, вводився в порожнину керамічної трубки печі за допомогою координатного механізму 4 – STANDA 8MT40-200BS1 (Литва). Процеси, що протікають протягом індукційного періоду, реєструвалися високошвидкісною кольоровою відеокамерою 2 – Phantom v411 (Vision Research, США). Відеокамера має такі характеристики: не менше 3600 кадрів в секунду при максимальній роздільній здатності 1280×800 пікселів; глибина 12 біт; розмір пікселя 20 мкм; мінімальний час експозиції 1 мкс; 16 Гб пам'яті; автоматичний

тригер з зображення. Аналіз відеозаписів виконувався за допомогою програмного забезпечення Tema Automotive (Image Systems AB, Швеція).

Програмно-апаратний комплекс високошвидкісної відеореєстрації забезпечував детальний аналіз взаємопов'язаних фізико-хімічних процесів, що відбуваються протягом індукційного періоду, а також давав змогу визначати час затримки запалення (t_d). Величина t_d обчислювалася як інтервал між двома подіями: моментом введення частинки палива в муфельну піч ($t = 0$), з якого починався її прогрів, та фактичним моментом запалення ($t = t_d$). Фіксація запалення здійснювалася за досягненням контрольованої інтенсивності світіння у зоні відеореєстрації [18].

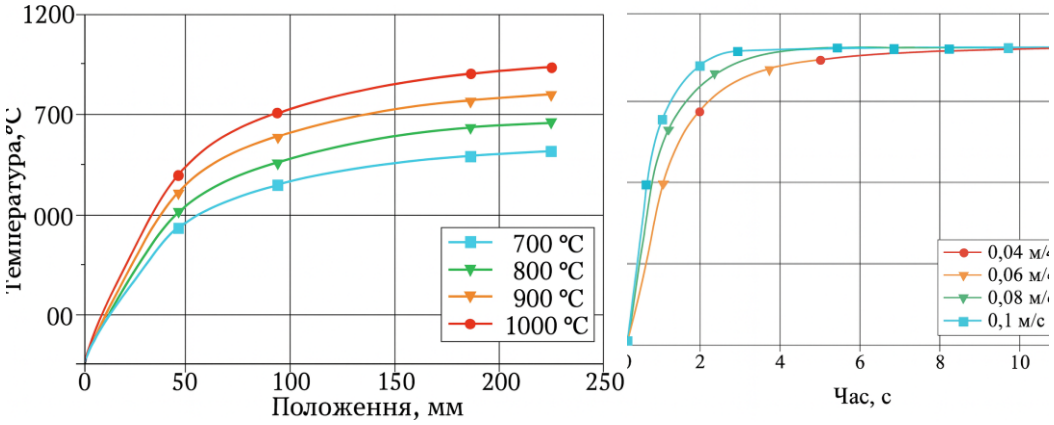
Попередньо вихідні кольорові відеоматеріали перетворювали у чорно-білий формат. Алгоритм оброблення відеоданих (ПЗ Tema Automotive) здійснював покадровий аналіз відтінків сірого (у діапазоні 0-255, що відповідає переходу від чорного до білого) для кожного пікселя контрольованої області. У цій шкалі інтенсивність 220–255 відповідала стадії горіння палива, коли поблизу краплі формується яскраве свічення, спричинене інтенсивною екзотермічною реакцією. Момент запалення фіксувався автоматично – при досягненні або перевищенні значення 220 у будь-якому пікселі контрольованої області.

Після виявлення моменту займання програмний алгоритм додатково контролював стабільність процесу, спостерігаючи монотонне зростання середнього рівня інтенсивності світіння у зоні відеореєстрації. Систематична похибка визначення t_d не перевищувала 0,5 %, а випадкові похибки для серій із п'яти експериментів за однакових умов становили не більше 10 % у температурному діапазоні 700–1000 °C.

Під час проведення експериментів торцеві отвори трубки муфельної печі 1 залишали відкритими. Нагрівальний елемент завдовжки 0,25 м і вбудована термопара, що контролює температуру, були розташовані у центральній частині трубки. Тому, навіть після стабілізації температури, уздовж трубки формувався нерівномірний температурний профіль – від приблизно 20 °C біля торця до

заданого значення T_g у центральній зоні. Внаслідок цього частинка палива, переміщуючись від входу до середини печі, зазнавала поступового збільшення інтенсивності нагрівання, що відповідає умовам реального введення палива у камеру згоряння.

Температурний розподіл уздовж трубки в інтервалі 700–1000 °С (з кроком 100 °С) визначали за вимірюваннями в п’яти характерних точках за допомогою цифрового термометра testo 925 з термопарою типу K: діапазон до -50+1000 °С; швидкодія 2 с; довжина чутливого елемента 0,3 м. Отримані результати наведено рис 1.3.



а б

Рис. 1.3 – Розподіл температур у характерних точках муфельної печі по довжині трубки від вхідного отвору до її середньої частини при різних заданих значеннях T_g (а) та зміни температур нагріву частинок палива в процесі введення в муфельну піч з різними швидкостями при T_g=700 °С

На рис. 1.3б для температури печі T_g = 700 °С показано зміну температури нагрівання частинок палива під час їх введення в муфельну піч за чотирьох швидкостей руху: 0,04; 0,06; 0,08 та 0,10 м/с. Подібні залежності були отримані й для інших робочих температур печі (800, 900, 1000 °С), за яких виконувалися експерименти із запалювання палив. Аналіз цих результатів свідчить, що навіть за однакової температури T_g частинки палива нагріваються з різною інтенсивністю залежно від швидкості їх введення у високотемпературне окислювальне середовище. Відповідно, цей чинник зумовлює відмінності значень t_d для гелеподібних палив навіть за однакових інших параметрів досліджуваного процесу.

Під час серій експериментів додатково реєстрували температуру крапель гелеподібних палив протягом індукційного періоду. Для цієї мети використовували малодобутливий термопарний спай типу K (клас точності 1, діапазон вимірювання від –60 до 1200 °С, час відгуку 0,1 с, діаметр чутливого елемента 80 мкм). Дані термопари записувалися з часовим кроком 0,1 с універсальним вимірювальним модулем NI-9219 (National Instruments, США), під’єднаним до ПК із програмним середовищем LabVIEW.

Випадкові похибки для серій вимірювань, виконаних за однакових початкових умов, становили 10–15 %. Найбільші значення похибок спостерігалися при T_g = 700 °С, коли розсіювання температурних даних досягало ±25 °С відносно середнього значення, що пов’язано з близькістю умов експерименту до граничних для запалення гелеподібного палива. Кількість повторів у цих серіях становила щонайменше десять.

У діапазоні температур печі 800–1000 °С розсіювання експериментальних даних не перевищувало ±15 °С, а кількість повторів для кожної серії становила не менше п’яти.

1.5. Результати експериментальних досліджень. Вплив інтенсивності нагріву гелеподібного палива на характеристики запалювання

На рис 1.4 представлені типові кадри відеограм запалювання гелеподібного палива при температурі T_g=900 °С. Швидкості введення паливних частинок муфельну піч становили 0,08 м/с. Дослідження виконані для частинок (крапель у розплавленому стані) у формі сфери діаметрами: 2,5, 2,8, 3,1 мм. Для складу N $_3$ (без додавання частинок вугілля) маса частинок становила 7, 10, 13 мг (щільність палива 870 кг/м^3).

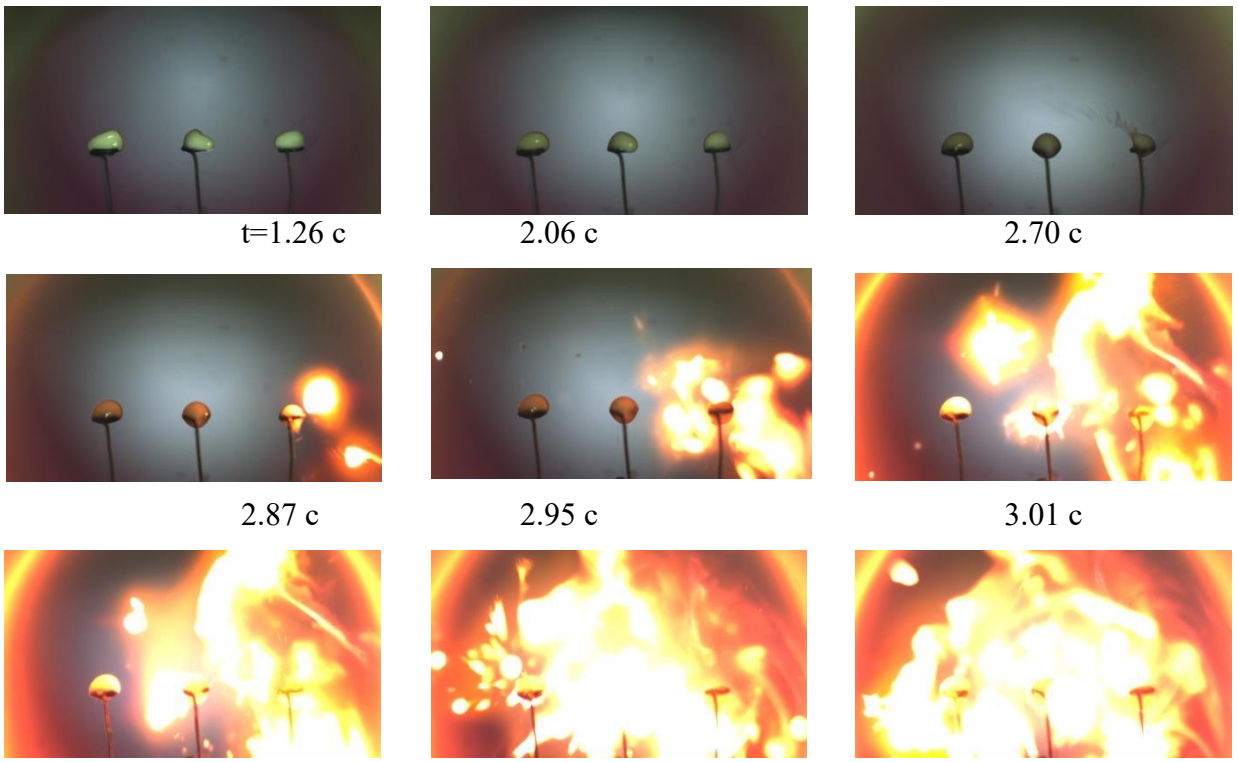
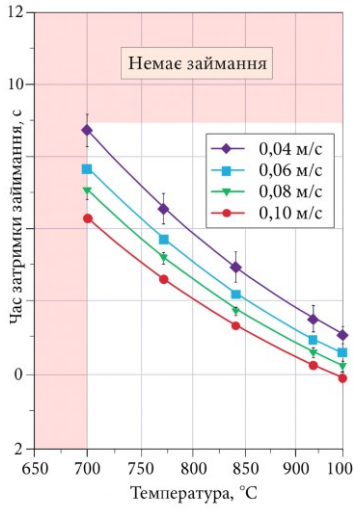


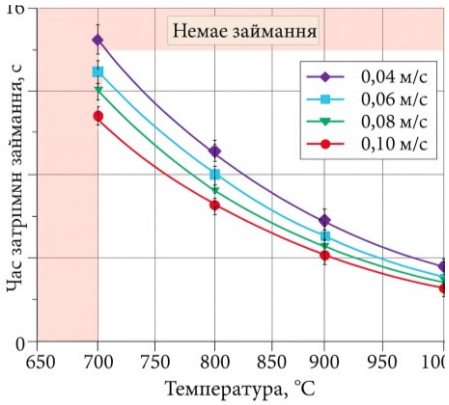
Рисунок 1.4 – Кадри відеограм запалювання частинок (у початковий момент часу або крапель після плавлення) гелеподібного палива (склад N $_3$) різних розмірів (3,1, 2,8, 2,5 мм зліва направо) при T_g=900 °С.

На рис. 1.5 подано значення часу затримки запалення для досліджуваної групи складів гелеподібного палива при різних швидкостях введення частинок масою 10 мг (діаметр сферичної краплі розплаву – 2,8 мм) у високотемпературне повітряне середовище. Як видно, із зростанням швидкості введення палива в муфельну піч з нерівномірним температурним полем (рис. 1.3б) час затримки запалювання зменшується за інших однакових умов (рис. 1.5). Це зумовлено тим, що при більшій швидкості частинка швидше потрапляє в область максимальної температури печі, що забезпечує інтенсивніше її прогрівання (рис. 1.3б).

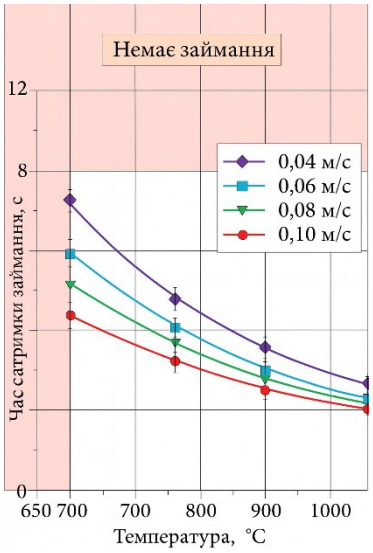
Для ілюстрації, часові інтервали досягнення гарячої зони для швидкостей 0,04 і 0,10 м/с різняться приблизно у 2,5 рази. Отже, в умовах нестаціонарного температурного поля у зоні введення палива до камери згоряння швидкість переміщення частинок чинить суттєвий вплив на ключовий параметр процесу – час затримки запалення. Ця характеристика відображає не лише особливості конструкції камери згоряння, але й ступінь повноти вигоряння палива.



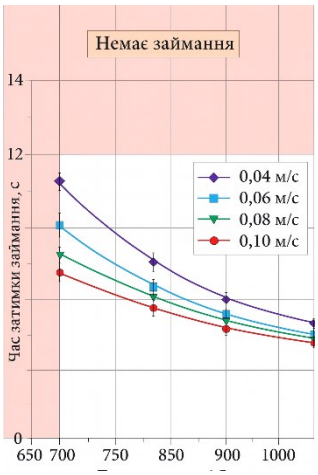
а



б



в



г

Рисунок 1.5 – Часи затримки запалювання гелеподібних палив при різних швидкостях введення часток розміром 2,8 мм у високотемпературне середовище окислювача: а – склад N 1; б - склад N 2; в – склад N 3; г – склад N 4

Для детального аналізу впливу фактору швидкості введення гелеподібного палива в камеру згоряння на характеристики його запалення виконано оцінку щільностей теплових потоків на підставі даних термопарних вимірів, отриманих

з використанням малоінерційної термопари.

На рис. 1.6 подано, за аналогією до попередніх залежностей, область стійкого запалення досліджуваних складів гелеподібного палива в координатах «амплітуда теплового потоку – час затримки запалювання» для умов променисто-конвективного нагріву за різних швидкостей введення частинок (крапель розплаву) у високотемпературне окислювальне середовище. Межі цієї області відповідають граничним значенням параметрів системи (температура джерела нагріву та швидкість введення зразка), за яких запалювання палива ще відбувається.

Встановлено, що існує граничний тепловий потік 40 кВт/м², нижче якого запалення не реалізується незалежно від тривалості прогрівання частинки. Також показано, що за високих значень теплового потоку (понад 100 кВт/м²) зміна основних параметрів системи практично не впливає на час затримки запалювання. Коли $q \geq 60$ кВт/м², область стійкого запалення суттєво звужується: інтенсивність фізико-хімічних процесів упродовж індукційного періоду є настільки високою, що вплив ключових факторів на t_d істотно зменшується. Це узгоджується з результатами робіт [19, 20], отриманими як для запалення світловим імпульсом зі спадною амплітудою, так і для запалення твердого сумішевого палива локальним джерелом з обмеженою теплотоємністю.

Порівняння характеристик процесу ініціювання горіння [19, 20] показує, що мінімальне граничне значення теплового потоку для стійкого запалення гелеподібного палива становить 40 кВт/м² (рис. 1.6). Це відповідає пороговому значенню q під час запалення сумішевого палива на основі перхлорату амонію та бутилкаучу [20] і суттєво нижче аналогічного параметра для баліститного складу при запаленні світловим імпульсом [19].

Виявлені відмінності пояснюються не лише різницею умов нагріву у згаданих експериментальних методиках, але й суттєвим розходженням теплофізичних та кінетичних властивостей конденсованих матеріалів [19, 20] у порівнянні з гелеподібними паливами.

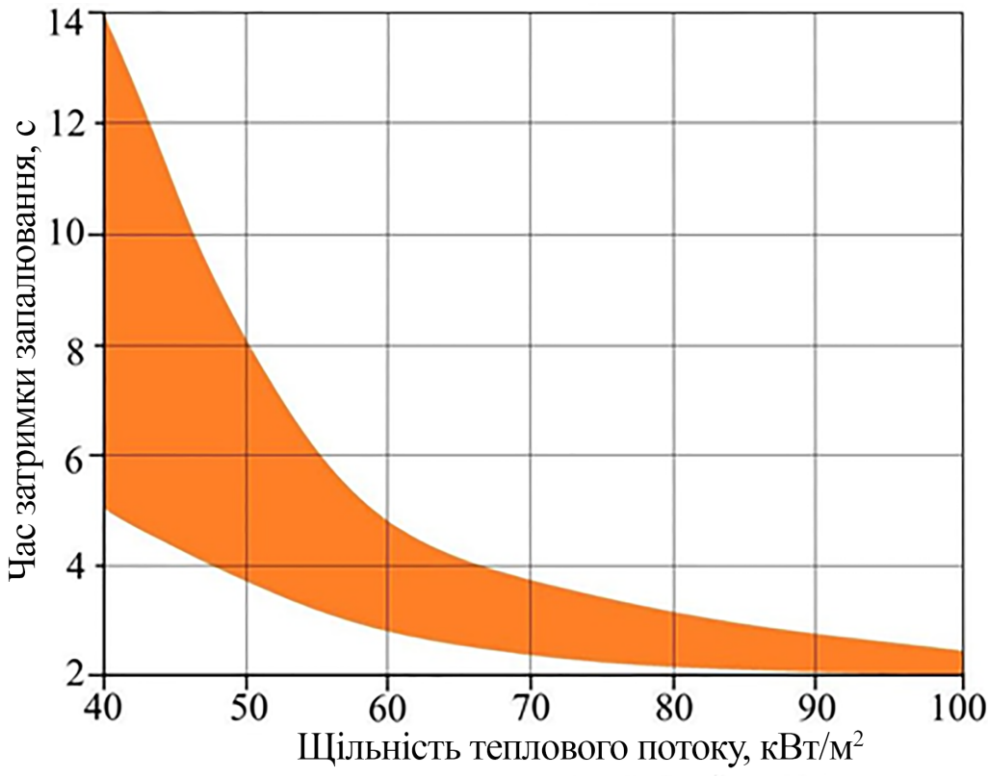


Рисунок 1.6 – Область (виділена кольором) запалювання гелеподібного палива в умовах променисто-конвективного нагрівання при різних швидкостях введення частинок палива у високотемпературне повітряне середовище

Варто відзначити, що при варіюванні параметрів системи, що розглядається, в досить широких діапазонах середнє співвідношення променистої і конвективної складових щільностей теплових потоків при прогріванні зразка гелеподібного палива становить 2:1. За близьких до граничних умов запалення це співвідношення дещо нижче через менший вплив променистої складової теплового потоку в області щодо низьких температур нагріву. При відносно високих Tg відмінність променистої та конвективної складових більш істотна і дещо перевищує зазначене вище співвідношення.

РОЗДІЛ 2. Аналіз об'єкта автоматизації

2.1. Опис теплового пункту

Тепловий пункт являє собою складну інженерну установку, призначену для передавання теплової енергії від зовнішніх джерел теплопостачання (котелень, РТС або ТЕЦ) до внутрішніх систем опалення, гарячого водопостачання та вентиляції будівель. Такі установки застосовуються практично в усіх сферах: у житлових і адміністративних будівлях – для забезпечення ГВП, вентиляції та, передусім, системи опалення; на промислових підприємствах – для підтримання необхідних температурних режимів у технологічних процесах.

Теплові пункти класифікують за типом і кількістю підключень, а також за місцем розташування (вбудовані чи окремо розміщені). Основні різновиди включають:

– центральний тепловий пункт (ЦТП) – установка, що забезпечує теплопостачання групи будівель (мікрорайону, селища міського типу, промислового комплексу тощо);

– індивідуальний тепловий пункт (ІТП) – автоматизований комплекс насосів, теплообмінників і датчиків, встановлений у підвальному приміщенні будівлі та призначений для регулювання параметрів систем опалення та гарячого водопостачання залежно від температури зовнішнього повітря та заданих алгоритмів роботи;

– модульний (блоковий) тепловий пункт (БТП) – заводське блочне рішення, виконане на єдиній рамі, яке може функціонувати як ІТП або ЦТП. Такий пункт постачається у повністю готовому вигляді, не потребує доопрацювання та забезпечує швидке підключення споживачів до мереж ГВП.

До складу теплового пункту входять основні системи, що забезпечують розподіл теплової енергії:

– система гарячого водопостачання (ГВП) – подає споживачам гарячу воду; може виконуватися у відкритому або закритому варіанті. У житлових будинках тепло ГВП інколи використовується для часткового обігріву приміщень

(наприклад, ванних кімнат);

– система опалення – підтримує необхідну температуру повітря в приміщеннях; може підключатися за незалежною або залежною схемою;

– система вентиляції – забезпечує підігрів припливного зовнішнього повітря, а також може працювати спільно з опалювальними системами в будівлях;

– система холодного водопостачання, яка хоч і не споживає теплову енергію, але є невід'ємною частиною теплових пунктів багатоповерхових будівель і призначена для підтримання необхідного тиску у водопровідній мережі.

У даній роботі розглядається індивідуальний тепловий пункт. Об'єктом є чотириповерхова будівля загальною площею 15 600 м², у підземному рівні якої розташовано два однакові теплові вузли. Оскільки їх конструкція ідентична, аналіз проводитиметься для одного з них.

2.2. Індивідуальний тепловий пункт

Індивідуальний тепловий пункт (ІТП) – це інженерна установка, призначена для передавання теплової енергії від зовнішніх джерел теплопостачання (ТЕЦ, ЦТП, котельні) до внутрішньобудинкових систем: опалення, гарячого водопостачання (ГВП) та вентиляції. Як правило, ІТП розміщується у підвальних або технічних приміщеннях будівлі.

Основні функції ІТП полягають у перетворенні параметрів теплоносія, регулюванні його витрати й температури, рівномірному та економічно доцільному розподілі тепла між споживачами, а також у захисті внутрішніх систем від небезпечних перевищень тиску і температури. Крім того, ІТП забезпечує облік витрат теплоносія та теплової енергії.

До ключових складових індивідуального теплового пункту належать:

– **теплообмінники**, які забезпечують передачу теплової енергії. ГВП у тепловому пункті реалізовано через спеціальний теплообмінник, що гідравлічно розділяє теплоносій тепломережі та внутрішньобудинковий контур. Така схема дозволяє здійснювати фільтрацію та регулювати тиск і температуру теплоносія

у будівлі, що сприяє економії води. Система опалення живиться безпосередньо від зовнішньої тепломережі;

– **запірна та регулююча арматура**, до складу якої входять пристрої трубопровідної арматури, призначені для вимкнення та регулювання потоків теплоносія. Запірні елементи встановлюються на всіх подаючих і зворотних трубопроводах, на вводах і виводах обладнання, на всмоктувальних і напірних патрубках насосів, а також на підвідних і відвідних лініях водопідігрівачів. Арматура може бути оснащена електричним, гідравлічним або пневматичним приводом;

– **циркуляційні насоси**, що забезпечують примусову циркуляцію теплоносія у контурах опалення та ГВП. У розглянутому тепловому вузлі встановлено чотири насоси: два для системи гарячого водопостачання та два для системи опалення;

– **контрольно-вимірювальні прилади**, які здійснюють реєстрацію тиску, температури та витрати теплоносія. У даному тепловому пункті температура вимірюється на вході й виході теплоносія, перед системою опалення та після її повернення, а також перед подачею води до системи ГВП. Витрата та тиск контролюються на вводі та виводі ІТП;

– **контролер**, мікропроцесорний пристрій, який реалізує алгоритми керування автоматизованими системами. Контролер отримує дані датчиків, обробляє їх відповідно до заданих програм і формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів. За необхідності контролери можуть бути об’єднані в єдину мережу;

– **шафи електроуправління**, які забезпечують електроживлення та захист обладнання.

Щит обліку теплового пункту (ЩУ-ТП) об’єднує теплообчислювач та інтернет-комунікатор і призначений для:

– обліку теплової енергії та теплоносія в системах опалення та ГВП;

– обліку електроенергії для систем будь-якої потужності.

Щит автоматизації теплового пункту (ЩА-ТП) містить програмований логічний контролер, який забезпечує автоматизоване керування роботою ІТП і регулювання процесів теплоспоживання:

– підтримання температури теплоносія в подаючому трубопроводі;

– регулювання температури зворотного теплоносія відповідно до теплового графіка;

– підтримання температури гарячої води у контурі ГВП;

– захист насосів від «сухого ходу» та перегріву;

– захист електрообладнання від коротких замикань;

– можливість реалізації додаткових функцій й організації диспетчеризації.

Проєктування теплового вузла виконано відповідно до вимог.

Параметри зовнішньої тепломережі:

– температура теплоносія в подаючому трубопроводі – 105 °С;

– температура теплоносія у зворотному трубопроводі – 70 °С;

– температура теплоносія в системі ГВП – 70 °С.

Характеристики систем споживачів:

– опалення: підключення безпосередньо до тепломережі;

– гаряче водопостачання: незалежна схема через теплообмінник;

– система вентиляції: не передбачена.

Система теплопостачання офісної будівлі двотрубна. На вході до індивідуального теплового пункту повинен дотримуватися температурний графік 105/70 °С від котельні. Опалювальний температурний графік котельні

представлений рис 2.1.

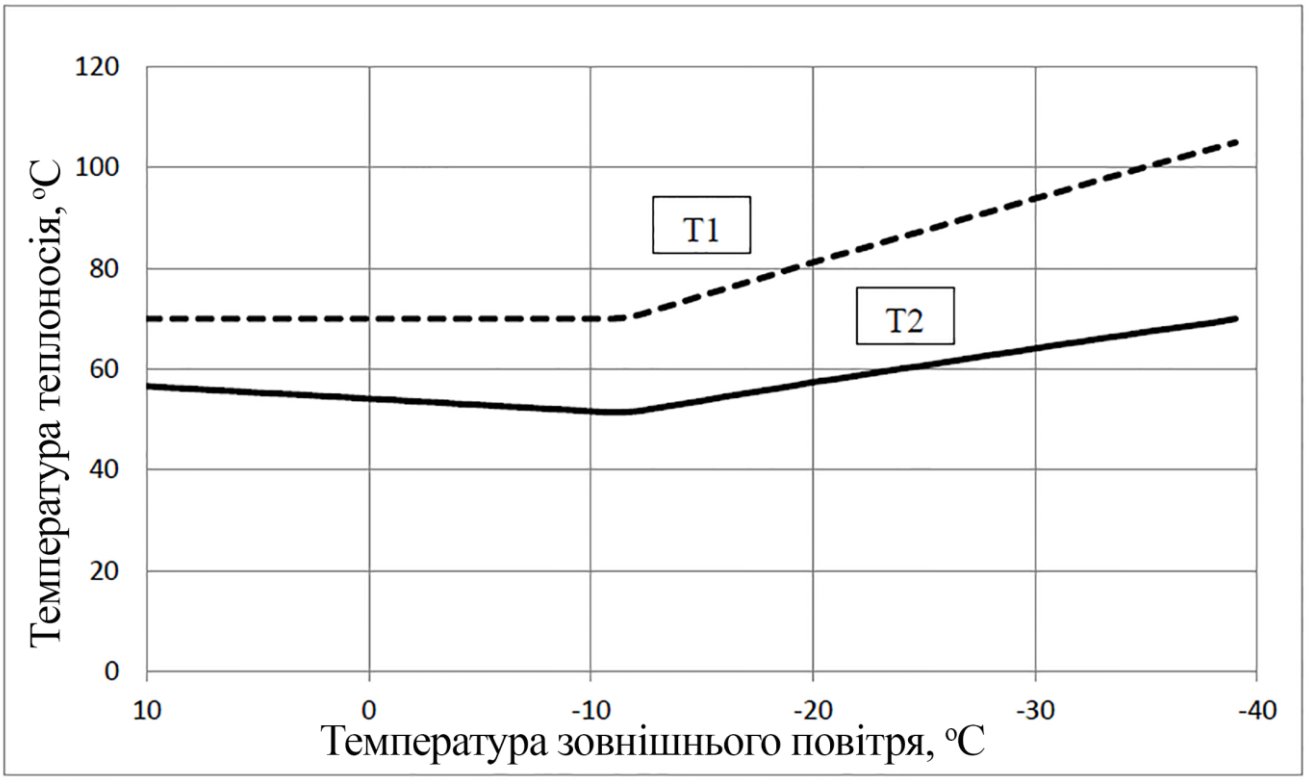


Рисунок 2.1 – Опалювальний температурний графік котельні: Т1 – пряма мережева вода, Т2 – зворотна мережева вода

Опалювальний температурний графік системи теплопостачання будівлі представлений рис 2.2.

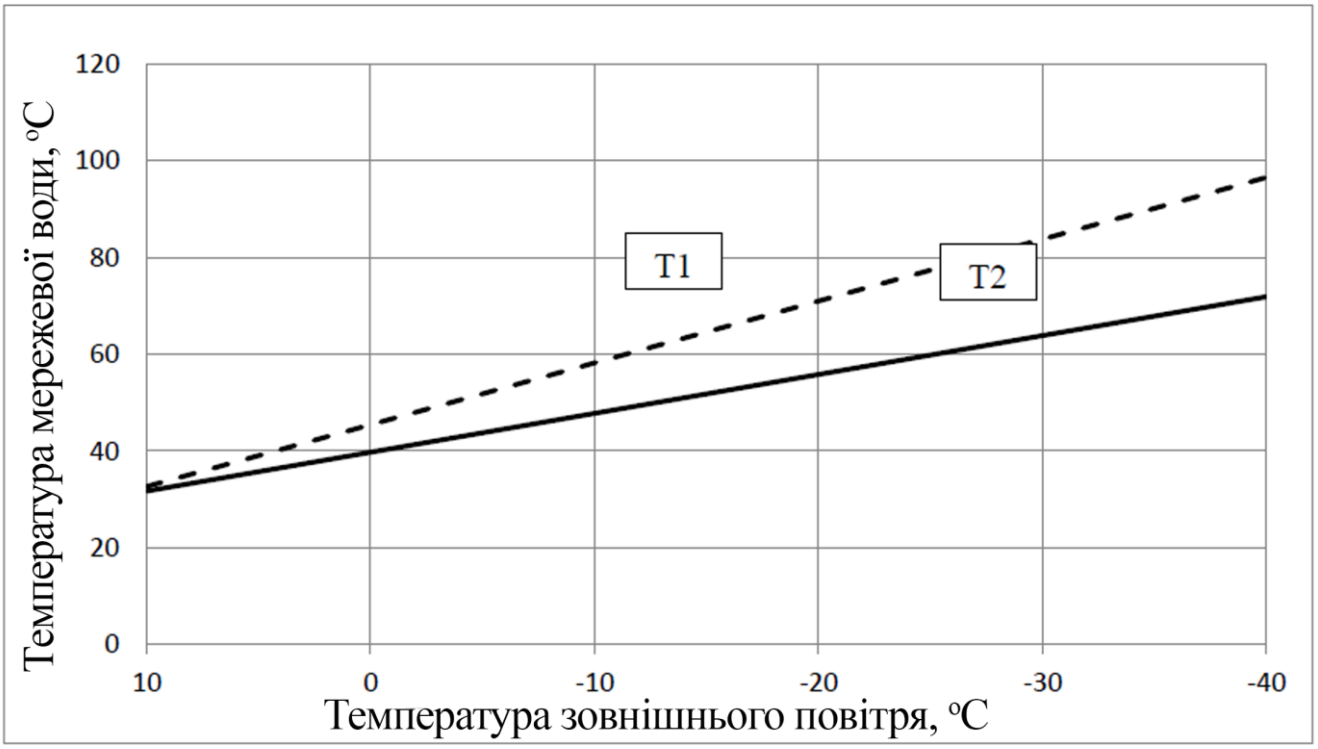


Рисунок 2.2 – Опалювальний температурний графік системи теплопостачання будівлі: Т1 – пряма мережева вода, Т2 – зворотна мережева вода

Структурна схема АСУ теплового вузла визначає основні функціональні частини, їх призначення та взаємозв'язки між ними. На рис 2.3 представлена структурна схема теплового вузла, що розглядається.

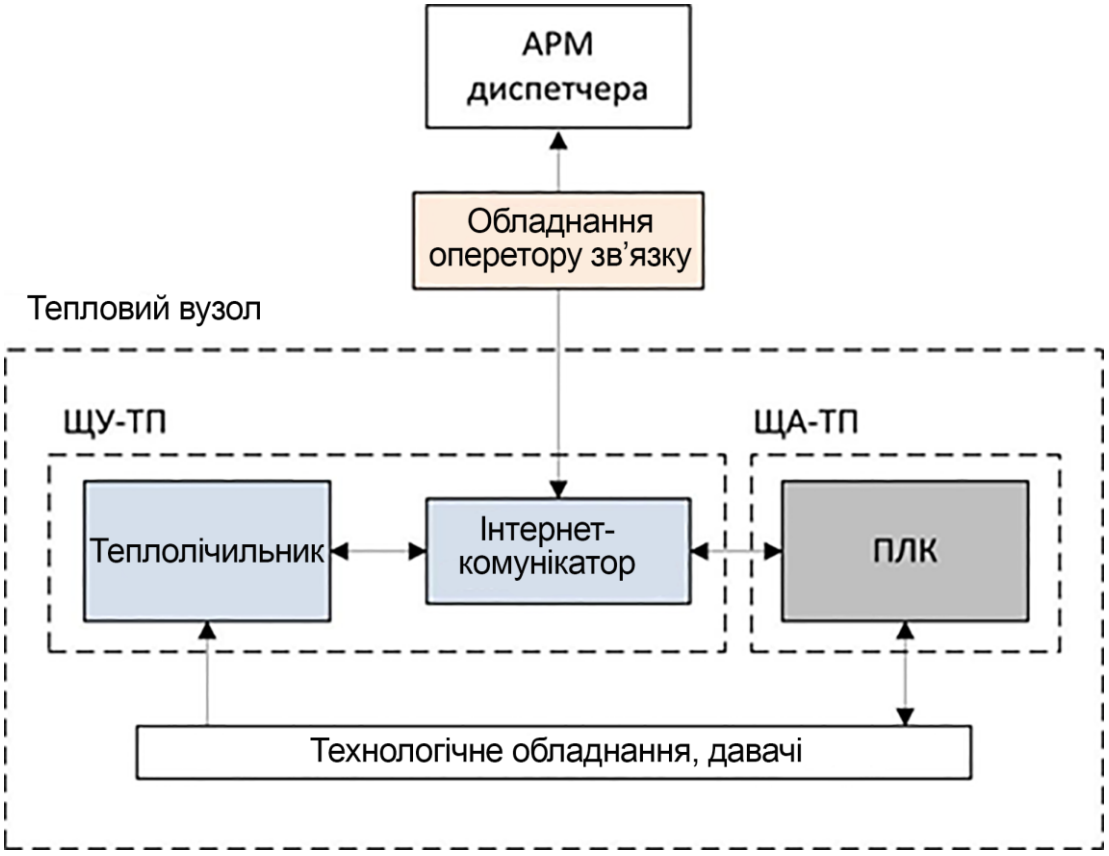


Рисунок 2.3 – Структурна схема АСУ теплового вузла

Розглянемо функціональні складові структурної схеми, наведеної на рис. 2.3:

– ПЛК – програмований логічний контролер, що працює в режимі реального часу. Він виконує збір, перетворення, обробку та зберігання інформації, а також формує керуючі команди для виконавчих механізмів;

– інтернет-комунікатор – пристрій, що застосовується у системах диспетчеризації та дистанційного керування для організації прямого зв'язку з різними вимірювальними та керуючими приладами;

– теплообчислювач – прилад, який забезпечує вимірювання параметрів теплоносія, а також визначення кількості теплової енергії, що споживається системами теплопостачання;

– технологічне обладнання та датчики – сукупність пристроїв (термометрів, манометрів, витратомірів, насосів тощо), що забезпечують контроль та регулювання параметрів технологічного процесу;

– АРМ диспетчера – автоматизоване робоче місце, яке отримує інформацію про стан об’єкта та дає змогу диспетчеру в реальному часі контролювати показники споживання енергоресурсів у зручному форматі.

Таким чином, первинна інформація від технологічного обладнання та датчиків надходить до ПЛК і теплообчислювача, де здійснюється її первинна обробка. Далі дані передаються через інтернет-комунікатор та обладнання оператора зв’язку до диспетчерського пункту, де оператор має можливість візуально контролювати роботу теплового вузла.

РОЗДІЛ 3. Розробка АСУ ТП теплового пункту

3.1. Обґрунтування структури АСУ

Регулювання параметрів у тепловому пункті здійснюється за допомогою автоматичної одноконтурної системи керування. Завдання такої системи полягає в підтриманні регульованої величини на заданому рівні шляхом впливу на положення регулюючого клапана. Для контуру опалення застосовано принцип регулювання за обуренням, тоді як для системи ГВП реалізовано регулювання за відхиленням.

Регулювання температури в контурі опалення.

Температура теплоносія в системі опалення контролюється регулюючим клапаном з електроприводом на основі вимірювання температури зовнішнього повітря датчиком ДТв. Одночасно враховуються температури теплоносія в подаючому трубопроводі (датчик ДТ-1) та у зворотній лінії (датчик ДТ-2), що забезпечує захист системи від перевищення допустимого рівня температури зворотної води. Сигнали з датчиків ДТв, ДТ-1 та ДТ-2 надходять до проміжних перетворювачів (ПП-5, ПП-1, ПП-2 відповідно), після чого передаються на ПЛК, який формує команду на відкриття або закриття регулюючого клапана. Керування приводом клапана здійснюється виконавчим механізмом ІМ-1.

Регулювання температури в контурі ГВП.

Температура гарячої води регулюється за сигналом від датчика ДТ-3, встановленого за теплообмінником. Сигнал з датчика надходить на проміжний

перетворювач ПП-3, після чого подається на ПЛК, де формується керуюча дія відповідно до заданої температури ГВП. Виконавчим елементом є механізм ІМ-2, який керує електроприводом регулюючого клапана.

Додатковий контроль.

Для контролю температури теплоносія, що повертається до тепломережі після проходження через теплообмінник ГВП, встановлено датчик ДТ-4. Його сигнал надходить до проміжного перетворювача ПП-4, а потім – до ПЛК, який за потреби формує коригувальну команду на керування регулюючим клапаном.

3.2. Розробка функціональної схеми АСУ

Функціональна схема є ключовим технічним документом, що визначає функціонально-блочну структуру вузлів автоматичного контролю, регулювання та керування технологічним процесом, а також комплектацію об’єкта відповідними приладами й засобами автоматизації. Умовні позначення запірної арматури виконані згідно з вимогами ДСТУ, а первинні та функціональні вимірювальні прилади подані у відповідності до стандартів ДСТУ.

На першому етапі розроблення функціональної схеми було визначено:

– вимірювальні канали: 1…5, 10, 12, 13…18;

– керувальні канали: 9, 11, 21…24;

– канали сигналізації: 6…8.

Передавання інформації на щит автоматизації (ЩА). Каналом 1 на ЩА надходить інформація від датчика температури зовнішнього повітря (1а), що використовується для регулювання температури теплоносія за допомогою регулятора РК-1. Канали 2 і 3 передають сигнали від датчиків температури (2а, 3а), які забезпечують контроль температури прямого та зворотного теплоносія.

Канали 4 і 5 подають інформацію від датчиків (4а, 5а), установлених у контурі ГВП, для регулювання температури гарячої води регулятором РК-2.

Для запобігання роботі насосів у режимі «сухого ходу» застосовуються пресостати (6а, 7а, 8а), установлені перед насосами Н-1, Н-2, Н-3 та Н-4. Їхні

сигнали надходять на ПЛК каналами 6, 7 і 8.

ПЛК також забезпечує почергову роботу насосів Н-1 та Н-2 за таймером, формуючи сигнали на вмикання/вимикання через канали 23 і 24.

Передавання даних на щит обліку (ЩУ).

На ЩУ подаються сигнали:

– від датчиків температури (13а, 14а) – каналами 13 і 14;

– від датчиків тиску (15а, 16а) – каналами 15 і 16;

– від витратомірів (17а, 18а) – каналами 17 і 18.

Ці дані використовуються теплообчислювачем для розрахунку техніко-економічних показників.

Показуючі прилади.

У різних точках теплового вузла (до та після обладнання, а також на ділянках із запірною арматурою) встановлені термометри (19а) та манометри (20а), які забезпечують візуальний контроль параметрів під час експлуатації та технічного обслуговування.

Інформація від усіх датчиків надходить у ПЛК, розташований у щиті автоматизації, після чого передається на щит обліку по дротовому каналу зв’язку. Завдяки інтернет-комунікатору, встановленому у ЩУ, дані з ПЛК і теплообчислювача надходять на АРМ оператора (див. структурну схему АСУ теплового вузла на рис. 2.3).

3.3. Вибір технічних засобів та складання замовленої специфікації

Для розробки АСУ тепловим пунктом необхідно вибрати наступне обладнання:

- програмований логічний контролер;
- тепловичислювач;
- обладнання АРМ оператора;
- датчик температури зовнішнього повітря;
- датчики температури мережевий води в прямому і зворотному

трубопроводах;

– датчики тиску води у системі опалення;

– витратоміри.

Здійснюватимемо вибір датчиків, ґрунтуючись на ціну, діапазон вимірювань, ступінь пило- та вологозахисту та їх похибка.

Програмований логічний контролер МІК-51, підприємство «МІКРОЛ», Україна – автоматичний регулятор, призначений для створення систем управління малими та середніми об'єктами. Цей регулятор можна запрограмувати на роботу за певним «сценарієм»: тепловим пунктом, вентиляцією та ін..

Переваги ПЛК "МІК-51":

– підтримка інтерфейсів RS-232 та RS-485;

– можливість підключення GSM/GPRS-модемів, інтернет-комунікаторів, перетворювачів та конвертерів;

– можливість інтегрування в існуючу АСУ ТП зконвертацією протоколу обміну даними;

– безкоштовне програмне забезпечення для програмування «сценаріїв» роботи контролера;

– компактний корпус для кріплення на DIN-рейку;

– можливість створювати архіви даних.

Технічні характеристики ПЛК представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики МІК-51

Параметр	Значення
Напруга живлення	~220 В, 50 Гц
Потужність	3 ВА
Діапазон контролю температури	-50...+150 °С

Тип вхідних датчиків температури	Pt1000
Аналогових входів	8 шт.
Цифрових входів	5 шт.
Сімісторних виходів	6 шт.
Аналогових виходів 0...10 В	2 шт.
Аналогових виходів із ШІМ	2 шт.
Параметр	Значення
Максимальний струм, що комутується контактами реле	0,5 А
Інтерфейс зв'язку	RS-232, RS-485
Середній термін служби	10 років
Середнє напрацювання на відмову	50000 год
Маса приладу	350 г

Інтернет-комунікатор RIO-SDS виробництва МІКРОЛ, Україна, призначений для прямого з'єднання з приладами різного призначення. Використовується в системах диспетчеризації та віддаленого керування, з наявністю IP-мережі між автоматизованим робочим місцем оператора та обладнанням. Технічні характеристики приладу представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики інтернет-комунікатора

Параметр	Значення
Напруга живлення постійного струму	24 В
Потужність	3 ВА
Входи інтерфейсу RS-232	1 шт.
Входи інтерфейсу RS-485	1 шт.
Роз'єм інтерфейсу RS-232	DE9M
Роз'єм інтерфейсу RS-485	Клемне з'єднання
Роз'єм Ethernet	RJ-45
Середній термін служби	10 років
Середнє напрацювання на відмову	50000 год
Маса приладу	150 г

Теплообчислювач СВТУ-10М забезпечує облік параметрів теплоносія та вимірювання кількості теплової енергії у відкритих та закритих системах теплопостачання споживачів та виробників теплової енергії. Технічні характеристики приладу представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики теплообчислювача СВТУ-10М

Параметр	Значення
Кількість теплових вводів (ТВ)	2
Водолічильники та витратоміри (ВС)	4
Термометри опору (ТЗ)	3
Перетворювачі тиску (ПД)	3
Інтерфейс зв'язку	RS-232, RS-485, Ethernet, USB, SD карта
Ступінь захисту корпусу	IP54
Температура навколишнього повітря	- 10 ... +50 ° С
Середнє напрацювання на відмову, не менше, годин	75 000
Середній термін служби, не менше, років	12
Міжповірочний інтервал, років	4
Джерело живлення	вбудована батарея
Напруга живлення від вбудованої літієвої батареї,	3,6
Підключення мережевого блоку харчування (220 В)	так (постачається окремо)
Габаритні розміри (ДхШхВ), мм	210х130х75
Вага приладу, кг	2,5

3.2.1. Вибір обладнання АРМ оператора

Для забезпечення надійної та стабільної роботи диспетчерської системи необхідно забезпечити мінімальні системні вимоги до ПК диспетчера:

– процесор Intel Core i5 чи вище;

Windows 7, Windows 8 або 8.1, Windows 10;

– оперативна пам'ять щонайменше 4 Гб;

– рекомендується використовувати відеокарти з відеопам'яттю не менше 1 Гб;

– жорсткий диск із частотою обертання шпинделя 7200 оборотів за хвилину або SSD-диск рівня Enterprise (для надійного зберігання даних);

– звукова мапа високої якості;

– мережевий адаптер Ethernet;

– монітор з роздільною здатністю 1366x768 пікселів або вище;

– клавіатура та миша.

Таким чином, на підставі вищезазначених вимог було обрано необхідне обладнання. Технічні характеристики представлені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Технічні характеристики обладнання

Устаткування	Характеристика
Системний блок	Процесор Core i5 9400; оперативна пам'ять 8 Гб; підтримка Wi-Fi, Ethernet LAN; відеокарта GeForce GTX 1650
Монітор	Діагональ 23,8"; максимальна роздільна здатність 1920×1080 пікселів; технологія виготовлення матриці IPS
Клавіатура	Мембранна; безшумні кнопки; є цифровий блок
Миша	Бездротова; оптичний світлодіодний сенсор; максимальна роздільна здатність датчика 1200 dpi

3.3.2. Вибір датчика температури зовнішнього повітря

Розглянемо датчики температури зовнішнього повітря.

Датчик AGS54 виробництва *Thermokon Sensortechnik* (Німеччина) призначений для вимірювання температури навколишнього середовища і може встановлюватися як на відкритому повітрі, так і всередині приміщень – зокрема

у складах, овочесховищах, теплицях, холодильних камерах. Конструкція датчика дозволяє комплектувати його різними типами термоперетворювачів опору, що забезпечує сумісність з широким спектром контролерів. Усередині приладу розміщено клемну колодку з гвинтовими затискачами, яка забезпечує зручність та надійність підключення.

Датчик зовнішньої температури ATF2 виробництва *Shuft* (Данія) використовується для вимірювання температури зовнішнього повітря, а також температури у вологих або важких експлуатаційних умовах. Він може застосовуватися як датчик погоди, встановлюватися на зовнішніх стінах будівель, а також використовуватися у холодильних установках, тепличних комплексах, спортивних спорудах, промислових і сільськогосподарських об’єктах.

Далі у таблиці 3.5 представлені технічні характеристики аналізованих датчиків.

Таблиця 3.5 - Технічні характеристики датчиків температури

Параметр	Тип датчика температури, характеристика	
	AGS54	ATF2
Діапазон виміру	-50...+150 °C	-50...+90 °C
Вихідний сигнал	пасивний	пасивний
Термоопір	PT1000	PT1000
Підключення	за 2-х провідною схемою (опціонально 4-х провідне підключення)	за 2-х провідною схемою (опціонально 4-х провідне підключення)
Межа допустимої наведеної похибки	±1%	±1%
Пило- та вологозахист	IP65	IP64

Таким чином, вибираємо датчик AGS54 від виробника Thermokon

Sensortechnik (Німеччина).

3.3.3. Вибір датчиків температури

Розглянемо датчики, що використовуються для вимірювання температури мережної води у прямих і зворотних трубопроводах, а також у системі гарячого водопостачання.

Накладний датчик температури AF25 виробництва *Thermokon Sensortechnik* (Німеччина) призначений для контролю температури поверхонь, переважно трубопроводів гарячого водопостачання, зворотної води у системах вентиляції й кондиціювання, а також інших вигнутих поверхонь. Чутливий елемент виконаний у вигляді гільзи з вигнутою пластинкою, що забезпечує щільний контакт із трубою. Принцип дії датчика базується на зміні електричного опору чутливого елемента залежно від температури поверхні, до якої він прикріплений.

Термоперетворювачі опору TR50 виробництва *WIKA* (Німеччина) застосовуються для вимірювання температури рідких, газоподібних і сипучих середовищ, що не чинять руйнівної дії на захисну арматуру приладу. Крім того, вони можуть використовуватися для контролю температури твердих поверхонь, зокрема у вибухобезпечних і вибухонебезпечних зонах, що розширює можливості їх застосування у промислових системах теплопостачання.

Далі в таблиці 3.6 представлені технічні характеристики даних датчиків.

Таблиця 3.6 - Технічні характеристики датчиків температури

Параметр	Тип датчика температури, характеристика	
	AF25	TR50
Діапазон виміру	-50...+135 °C	-200...+600 °C
Вихідний сигнал	пасивний	пасивний
Термоопір	PT1000	PT1000
Межа допустимої наведеної похибки	±1%	±1%

Підключення	за 2-х провідною схемою (також три- і чотирипровідне підключення)	за 2-х провідною схемою (також три- і чотирипровідне підключення)
Пило- та вологозахист	IP65 відповідно до DIN EN 60529, SI-захист	IP65 (IP67 – на запит)

Таким чином, представлені датчики мають схожі характеристики, тому вибираємо найдешевший варіант: датчик AF25 від виробника Thermokon Sensortechnik (Німеччина).

Розглянемо термоперетворювачі опору для вимірювання температури теплоносія та обліку техніко-економічних показників.

Комплекти термоперетворювачів опору платинових КТС-Б від виробника призначені для вимірювання різниці температур, а також значень температур у зворотному та трубопроводах системи теплопостачання.

Комплекти термоперетворювачів ТЕММА-К.

«Енергозберігаюча компанія «ТЕМА» (Україна) призначена для вимірювання різниці температури рідких та газоподібних середовищ, не агресивних до матеріалу захисного корпусу та гільзи термоперетворювача опору.

Далі в таблиці 3.7 представлені технічні характеристики аналізованих термоперетворювачів опору.

Таблиця 3.7 - Технічні характеристики термоперетворювачів опору

Параметр	Тип термоперетворювача опору, характеристика	
	КТС-Б	ТЕСМА-К
Діапазон виміру	0…+160 °С	0…+100 °С (або 0…+160 °С)
Термоопір	PT1000	PT1000
Клас допуску	AA	A

Підключення	за двома провідною схемою (також три- і чотирипровідне підключення)	за двома провідною схемою (також чотирипровідне підключення)
Пило- та вологозахист	IP65 (опційно IP68)	IP55

Таким чином, вибираємо комплект термоперетворювачів КТС-Б.

Розглянемо термометри для встановлення в трубопроводах теплового вузла. Вони дозволяють здійснювати контроль температури та обслуговування теплового пункту.

Термометр СП-2 від виробника «Теплоприлад» (Україна) призначений для місцевого контролю температури у трубопроводах, судинах та інших промислових установках. Термометр має вкладену всередину шкальну пластину з паперу або листового скла молочного кольору.

Термометр ТТЖ-М від виробника «Теплоприлад» (Україна) призначений для встановлення на трубопровід як прилад контролю та використовується для вимірювання температури середовища у трубопроводах, а також у технічних повітряно-парогозасилових установках. Вимірювання температури провадиться при повному зануренні нижньої частини термометра в робоче середовище. Для монтажу термометра використовуються захисні оправи та боби.

Далі в таблиці 3.8 представлені технічні характеристики термометрів, що розглядаються.

Таблиця 3.8 - Технічні характеристики термометрів

Параметр	Тип термометра, характеристика	
	СП-2	ТТЖ-М
Діапазон виміру	0…+150 °С	0…+200 °С
Ціна розподілу	2°С	2°С
Довжина	320 мм	306 мм
Термометрична рідина	Органічна рідина	Гас або метилкарбітол

Представлені термометри мають схожі характеристики, тому вибираємо

найдешевший варіант: термометр ТТЖ-М від виробника "Теплоприлад" (Україна).

3.3.4. Вибір датчиків тиску

Пресостат KPI35 від компанії «Danfoss» (Данія) використовується для систем регулювання, контролю та аварійної сигналізації у промислових установках. Реле знаходить найширше застосування у різних технологічних процесах таких як: системи тепло і водопостачання різноманітних побутових та виробничих об'єктів, хімічна металургія, медицина, машинобудування. Реле мають високу вібростійкість, надійність, точність і широкий діапазон тисків.

Реле тиску ДЕМ102 від виробника «ОРЛАКС» (Україна) відноситься до категорії приладів, що контролюють рівень тиску в рідких та газоподібних середовищах. Використовується в різних системах та установках.

Далі в таблиці 3.9 представлені технічні характеристики реле тиску, що розглядаються.

Таблиця 3.9 - Технічні характеристики реле тиску

Параметр	Тип реле тиску, характеристика	
	KPI35	ДЕМ102
Діапазон регулювання тиску	-0,2…8 бар	-0,9 ... 60 бар
Робоче середовище	Вода, повітря, олії	Вода, холоди, повітря, олії та інші неагресивні середовища
Пилі – і вологозахист	IP55	IP54

Оскільки рівень пило- та вологозахисту моделі KPI35 є вищим, а вимірювання тиску у широкому діапазоні не вимагається, доцільно обрати реле тиску KPI35 виробництва Danfoss (Данія).

Розглянемо засоби вимірювання тиску теплоносія у подаючому та зворотному трубопроводах теплового вузла.

Перетворювач надлишкового тиску WIKA A-10 є ключовим компонентом систем автоматизованого обліку параметрів комунальних мереж. Він

призначений для контролю тиску в системах водопостачання та опалення, перетворення його значення у стандартизований електричний сигнал та передачі цього сигналу на пристрій керування.

Датчик надлишкового тиску А-10 виробництва Wika (Німеччина) застосовується для вимірювання надлишкового, мановакуумметричного та абсолютного тиску, а також здатний працювати у малих діапазонах тисків. Прилад використовується в галузях машинобудування, суднобудування, контрольно-вимірювальної техніки, у гідравлічних і пневматичних системах, а також у насосному та компресорному обладнанні.

Далі в таблиці 3.10 представлені технічні характеристики датчиків, що розглядаються.

Таблиця 3.10 - Технічні характеристики аналізованих датчиків тиску

Параметр	Тип датчика тиску, характеристика	
	WIKA A-10	A-10
Вимірюване середовище	рідина, пара, газ	рідина, пара, газ
Верхні межі вимірів	2,5 МПа	100 МПа
Межа основної основи похибки	0,5%	1% (0,5% – на замовлення)
Температура довкілля	- 40…80°С	- 40…70°С
Діапазон температур вимірюваного середовища	- 45…125°С	0…80°С (-30 ... 100°С по запиту)
Ступінь захисту	IP65	IP67, IP65
Приєднання до системи	М20х1, 5	G 1/4A за DIN 3851 E (М20х1, 5 через перехідник)

Обираємо датчик надлишкового тиску ПДТВХ-1-02.

Розглянемо манометри для встановлення в трубопроводах теплового вузла. Вони дозволяють здійснювати контроль тиску та обслуговування теплового пункту.

Манометри МП100М від виробника «УМАС» (Україна) призначені для вимірювання надлишкового тиску в газоподібних середовищах і рідинах, що не кристалізуються. Вироби розроблені з метою застосування у промисловості (на хімічних, нафтопереробних підприємствах), сферах енергетики та житлового господарства.

Далі в таблиці 3.11 представлені технічні характеристики манометрів, що розглядаються.

Таблиця 3.11 - Технічні характеристики манометрів

Параметр	Тип манометра, характеристика	
		МП100М
Верхня межа вимірювання		4 кгс/см²
Клас точності		1,5
Діаметр корпусу		100 мм

Представлені манометри мають схожі характеристики, тому вибираємо найдешевший варіант: манометр МП100М.

3.3.5. Вибір витратомірів

Розглянемо витратоміри, що використовуються у тепловому пункті для обліку техніко-економічних показників.

Витратоміри електромагнітного типу KROHNE WATERFLUX/OPTIFLUX від виробника KROHNE (Німеччина) призначені для вимірювання об'ємної витрати та обсягу питної води та води в системах опалення будівель. Застосовується також розрахунку споживаної теплової енергії у складі з обчислювачами різних марок. Особливості даного витратоміра: багаторівневий захист від несанкціонованого доступу; графічний дисплей з підсвічуванням, що містить всю необхідну контрольну та експлуатаційну інформацію; конструктивний захист від протікання та конденсату; наявність комунікаційних адаптерів Ethernet, RS-232.

Витратомір ЕМПР DN80, ПП «АКВА УКРАЇНА», Україна призначений для вимірювання об'ємної витрати електропровідних рідин, пульп і суспензій. Використовуються в системах автоматичного контролю, управління технологічними процесами в хімічній, харчовій, енергетичній та інших галузях промисловості, а також у системах комерційного обліку споживання рідин.

Далі в таблиці 3.12 представлені технічні характеристики розглянутих витратомірів.

Таблиця 3.12 - Технічні характеристики витратомірів

Параметр	Тип витратоміра, характеристика	
	KROHNE WATERFLUX/OPTIFLUX	ЕМПР DN80
Умовний діаметр	80 мм	80 мм
Максимальна витрата	180 $м^3$/год	171,7 $м^3$/год
Робочий тиск вимірюваної середовища, не більше	1,6 МПа	4 МПа
Температура вимірюваного середовища	0…150°С	-29 ... 180°С
Матеріал фланця	Нержавіюча сталь	Сталь 20 або нержавіюча сталь
Напруга живлення	12 В постійного струму	12 В постійного струму
Пилі – і вологозахист	IP66	IP68

Вибираємо варіант: витратомір ЕМПР DN80 (Україна).

3.4. Розробка схеми електричних з'єднань

Схема електричних з’єднань відображає весь склад пристроїв та елементів виробу, а також показує електричні зв’язки між ними. Наведемо основні вимоги, що висуваються до такого типу схем:

- Надійність – здатність системи стабільно виконувати передбачені функції та забезпечувати сталі значення експлуатаційних параметрів у межах, визначених режимами роботи, умовами експлуатації, технічного обслуговування та ремонтів.

- Безпечність – гарантування безпечних умов роботи персоналу, запобігання виникненню браку продукції та пошкодженню обладнання у разі аварійних ситуацій, пов’язаних з відмовами в окремих ланцюгах.

- Експлуатаційна зручність – мінімізація трудовитрат під час обслуговування та виконання ремонтних операцій, за умови дотримання усіх вимог техніки безпеки.

- Економічність – оптимізація вартості елементної бази та з’єднувальних ліній, що входять до системи.

Схеми електричних з’єднань слугують базовим документом для створення

інших проектних матеріалів: монтажних схем, таблиць щитового та пультового обладнання, схем зовнішніх підключень тощо. Їх формування здійснюється на основі функціональних схем автоматизації та алгоритмів роботи вузлів контролю, сигналізації, автоматичного регулювання й керування, а також згідно з загальними технічними вимогами.

Умовні позначення пристроїв на схемі виконуються у вигляді прямокутників, а елементи відображаються відповідно до графічних символів, встановлених стандартами ЄСКД. Для кожного пристрою вказуються лише ті клеми, які фактично використовуються згідно з його технічною документацією. У нижній частині схеми зазвичай розташовують блоки затискачів для введення та виведення сигналів. Лінії зв’язку будуються з вертикальних і горизонтальних сегментів та повинні мати мінімальну кількість перетинів.

Паралельно зі створенням креслення схеми електричних з’єднань виконується формування переліку елементів, що входять до складу щита системи автоматизації.

3.5. Розробка монтажної схеми

Схема зовнішніх з’єднань проводок є комбінованим видом схем, на якому відображають електричні та трубні комунікації між приладами і всіма засобами автоматизації, встановленими як на технологічному обладнанні, так і на щитах, пультах та поза ними. Також на ній подаються способи підключення проводок до щитів та окремих приладів. На кресленнях такого типу застосовують умовні позначення для відображення:

– добірних пристроїв і первинних перетворювачів, вмонтованих у технологічне обладнання, а також відповідних трубопроводів;

– приладів та засобів автоматизації, розміщених поза щитами та пультами;

– щитового й пультового обладнання;

– допоміжних елементів (з’єднувальних і протяжних коробок, фітингів, коробок вільних кінців термопар тощо);

– засобів заземлення щитів, приладів та інших струмоприймачів.

У верхній частині схеми зазвичай розміщується таблиця з позначеннями параметрів, що підлягають вимірюванню (температура, тиск, витрата тощо), типом вимірюваного середовища, місцями встановлення обладнання та позиційними позначеннями вимірювальних приладів. Нижче умовно подаються датчики теплового вузла, від яких прокладено кабельні лінії. Біля кожного кабелю зазначають його марку, переріз і кількість жил, довжину, а також марку гофрованих труб, у яких він прокладається. Лінії, що йдуть від датчиків, показано з'єднаними зі щитом автоматизації та щитом керування; клеми, до яких підводяться проводки, позначаються й нумеруються.

Електропроводки систем автоматизації виконуються кабелями та ізольованими проводами (захищеними або незахищеними) з мідними чи алюмінієвими жилами. У вимірювальних, керувальних, сигнальних і живильних колах допускається застосування мідних жил, що забезпечують необхідну точність і стабільність параметрів. Особливу увагу приділяють відповідності технічних характеристик кабелів і проводів умовам навколишнього середовища: ізоляція, захисні оболонки та зовнішні покриви повинні відповідати способу прокладання та кліматичним вимогам.

У межах даної роботи електропроводки виконано кабелями у виконанні «нг-LS», які не поширюють горіння при груповій прокладці. Кабельні лінії розміщуються у вініпластових гофрованих трубах та кабельних каналах. Вибрані проводки представлені у таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Електричні та трубні проводки

Позначення	Найменування
ВВГНГ(А)-LS	Кабель силовий
КСВВНГ(А)-LS	Кабель для систем сигналізації, контролю доступу, управління, збирання даних.
КСВЕВНГ(А)-LS	Кабель, що не розповсюджує горіння при груповій прокладці, зі зниженим димо- та газовиділенням

ДКС	Гофра вініпластова

3.6. Розробка загального виду щитів

Щити управління та автоматизації забезпечують вимірювання, контроль і регулювання основних параметрів технологічних процесів обслуговуваних систем. Залежно від складу апаратури такі щити можуть виконувати різні функції, що визначає сферу їх застосування та конструктивне виконання.

Креслення загального виду щита відображає принцип його роботи, конструкцію та взаємодію всіх елементів. У шафах і щитах систем автоматизації розміщують обладнання для контролю та керування технологічними процесами, системи сигналізації, апаратуру керування, контрольно-вимірювальні прилади, а також пристрої блокування та захисту ліній зв’язку. Такі шафи зазвичай встановлюють у виробничих і спеціалізованих приміщеннях – операторських, диспетчерських, апаратних тощо. Креслення загального виду повинні забезпечувати можливість серійного виготовлення обладнання на спеціалізованих підприємствах із урахуванням усіх необхідних вирізів, отворів та кріпильних елементів для монтажу приладів, засобів автоматизації та кабельних трас.

Основою для проектування загальних видів щитів слугують функціональні схеми систем автоматизації та відповідні електричні схеми, розроблені на попередніх етапах.

У межах цієї кваліфікаційної роботи для встановлення засобів автоматизації застосовуються два щити типу ЩМП-3-0 У2 IP54 (650×500×220) виробництва IEK. Конструкція цих щитів забезпечує можливість монтажу як модульної, так і традиційної апаратури. Корпус щита виконаний зварним, металевим, укомплектований монтажною панеллю. Дверцята оснащені пиловологозахищеним замком, а ущільнення по периметру виконане з двокомпонентного герметика, що дозволяє забезпечити ступінь захисту IP54.

РОЗДІЛ 4. Розрахунок параметрів налаштування ПІ регулятора

4.1. Ідентифікація об'єкта керування

Ідентифікація об'єкта управління призначена отримання математичної моделі об'єкта управління. В інженерній практиці застосовують активну ідентифікацію. При активній ідентифікації на об'єкт подаються заздалегідь відомі впливи, що обурюють, і реєструється вихідна величина.

В роботі для отримання кривої розгону було використано динамічна модель зміни температури у трубопроводі, складена з урахуванням експериментальних досліджень, проведених реальному об'єкті. Крива розгону представлена рис 4.1.

За отриманою кривою розгону необхідно визначити динамічні параметри об'єкта, такі як постійна часу, час запізнення, коефіцієнт передачі.

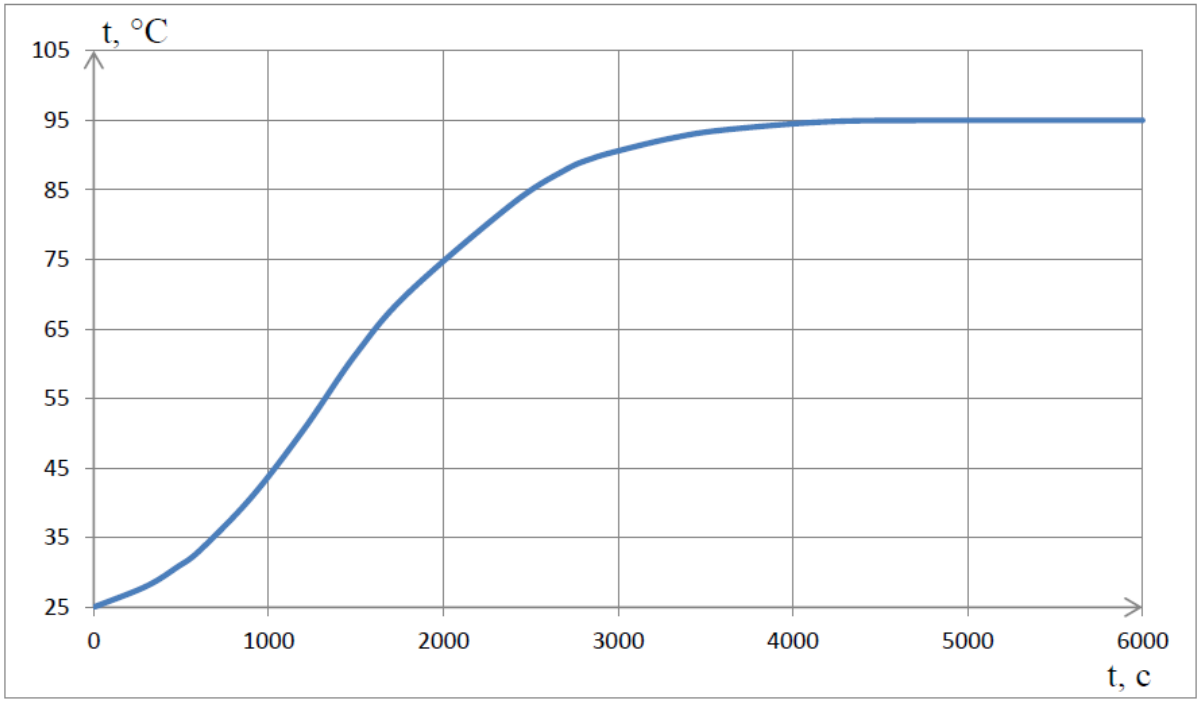


Рисунок 4.1 – Крива розгону об'єкта управління

Передаточна функція для кривої являє собою аперіодичну ланку із запізненням:

$$W_o(\mathrm{p}) = \frac{k}{(T \cdot \mathrm{p} + 1)} e^{-\mathrm{p} \cdot \tau}, \qquad (4.1)$$

де k - коефіцієнт посилення;

p - оператор Лапласа;

τ - час запізнення;

T - постійна часу.

На графіку кривої розгону проводиться дотична у максимальній точці швидкості зміни величини (рисунок 4.2).

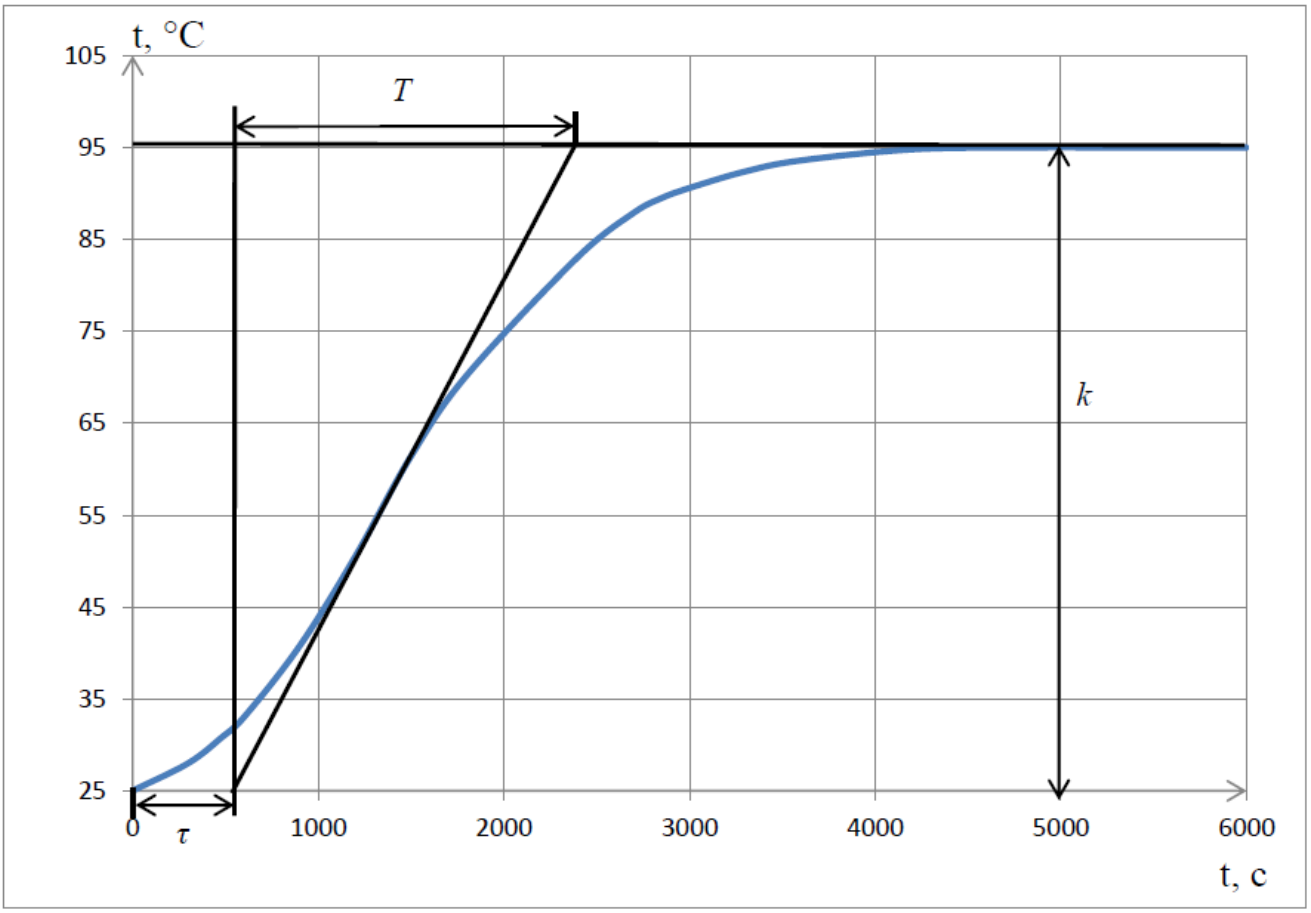


Рисунок 4.2 – Крива розгону об'єкта управління

За графіком визначаються динамічні параметри об'єкта:

– коефіцієнт посилення k = 70 ° С;

– час запізнення = 480 с;

– постійна часу T = 1920 с.

Тоді передатна функція має вигляд:

$$W_o(\mathrm{p}) = \frac{70}{(1920 \cdot P + 1)} e^{-480 \cdot \mathrm{p}}.$$

4.2. Визначення оптимальних параметрів налаштування регулятора

Структурна схема системи регулювання зображено рис4.3

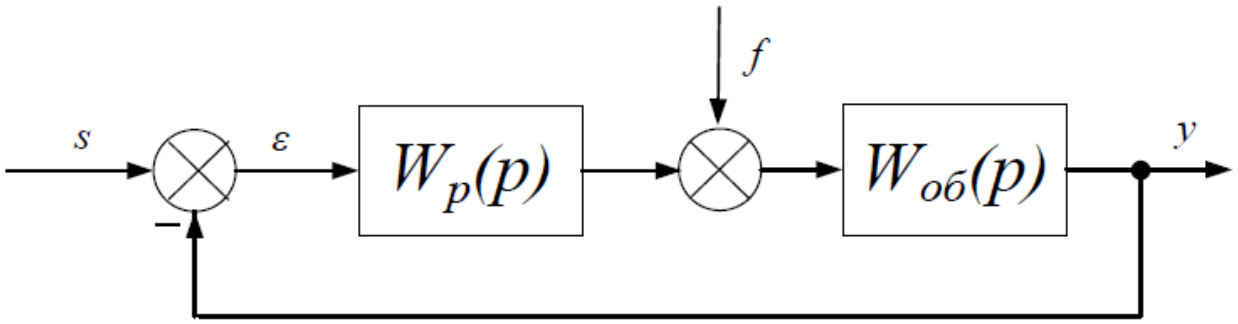


Рисунок 4.3 – Структурна схема системи регулювання

Для того, що здійснити розрахунок АСР з ПІ-регулятором, представленою на рис 4.3 необхідно провести синтез системи автоматичного регулювання при ψ=1.

Основна ідея методу полягає в тому, щоб при M=1 вибором параметрів системи регулювання максимально розширити в області низьких частот горизонтальну ділянку системи АЧХ. Це відповідає збільшенню діапазону частот, що пропускаються, а отже, і швидкодії системи регулювання. Математична формулювання цієї ідеї може бути представлена так:

$$\left.\frac{d^m A_з(\omega)}{d\omega^m}\right|_{\omega=0} = 0, \quad m = 1, 2, \ldots, z, \qquad (4.2)$$

де z – число параметрів систем що варіюються (число параметрів регулятора).

Передатна функція розімкнутої системи визначається як:

$$W(p) = W_o(p) \cdot W_p(p) = \frac{k}{(T_0 \cdot p + 1) \cdot e^{p \cdot \tau}} \cdot k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_И \cdot p}\right), \qquad (4.3)$$

де W_o (p) - передатна функція об'єкта;

Wp(p) – передатна функція регулятора.

Перетворимо цю формулу. Отримаємо формулу такого виду:

$$W(p) = \frac{k}{(T_0 \cdot p + 1) \cdot e^{p \cdot \tau}} \cdot \frac{k_1 + k_p \cdot p}{p}, \qquad (4.4)$$

де $k_I = k_p / T_I$.

Передатна функція замкнутої системи має вигляд:

$$W_3(p) = \frac{W_o(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)} = \frac{C_0 + C_1 \cdot p}{(T_0 \cdot p^2 + p) \cdot e^{p \cdot \tau} + C_0 + C_1 \cdot p} = \frac{B(p)}{A_1(p) + B(p)}. \qquad (4.5)$$

Визначимо похідні від A_1(p) та B(p) по p при p=0 і підставимо їх у наступну формулу для астатичної системи регулювання (для m=1 та m=2):

$$\sum_{k=0}^{2m} (-1)^k \cdot C_{2m}^k \left[A_1^{(2m-k)}(i\omega) \cdot A_1^{(k)}(i\omega) \right]_{/\omega=0} =$$

$$= \sum_{k=0}^{2m} (-1)^k \cdot C_{2m}^k \left[A_1^{(2m-k)}(i\omega) \cdot B^{(k)}(i\omega) \cdot A_1^{(k)}(i\omega) \cdot B^{(2m-k)}(i\omega) \right]_{/\omega=0}. \qquad (4.6)$$

В результаті отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} 2 \cdot (T+1) \cdot \tau \cdot k \cdot k_1 - 2 \cdot k \cdot k_p = 1, \\ (3 \cdot T + 1) \cdot \tau \cdot k \cdot k_1 - 3 \cdot (2 \cdot T + 1) \cdot k \cdot k_p = -3 \cdot T^2, \end{cases} \qquad (4.7)$$

де $T=T_0/\tau$

Дозволивши систему щодо τ_k k_1 і kk_p і підставивши в дані формули відомі величини отримаємо:

$$480 \cdot 70 \cdot \frac{k_p}{T_И} = \frac{6 \cdot 16 + 6 \cdot 4 + 3}{4 \cdot (3 \cdot 16 + 3 \cdot 4 + 1)},$$

$$70 \cdot k_p = \frac{6 \cdot 64 + 6 \cdot 16 + 3 \cdot 4 + 1}{4 \cdot (3 \cdot 16 + 3 \cdot 4 + 1)}.$$

Розв'язавши цю систему рівнянь отримаємо:

$$T_I = 1924,$$

$$k_p = 0,\ 0289.$$

Таким чином, передатна функція регулятора має вигляд:

$$W_p(p) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_u p}\right) = 0,0289 + \frac{0,0289}{1924 \cdot p}. \qquad (4.8)$$

4.3. Розрахунок, побудова та оцінка якості перехідного процесу в замкнутій АСР по каналу регулюючого впливу

Передатна функція має вигляд:

$$W_{s-y} = \frac{W_o(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)}, \qquad (4.9)$$

Розрахуємо ВЧХ замкнутої АСР за допомогою програмних обчислювальних засобів у діапазоні частот від 0 до 0,008 $с^{-1}$ з кроком $\Delta\omega = 0,0005\ с^{-1}$. Отримані результати представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати розрахунку ВЧХ замкнутої системи

ω, $с^{-1}$	Rез.с.(ω)	ω, $с^{-1}$	Rез.с.(ω)
0	1	0,0045	-0,2249
0,0005	0,8869	0,0050	-0,1422

0,0010	0,5568	0,0055	-0,0766
0,0015	0,0739	0,0060	-0,0253
0,0020	-0,3519	0,0065	0,0142
0,0025	-0,5434	0,0070	0,0442
0,0030	-0,5341	0,0075	0,0664
0,0035	-0,4377	0,0080	0,0823
0,0040	-0,3256		

За даними таблиці 4.1 виконується побудова графіка речової частотної характеристики. Отриманий графік представлений рис 4.4.

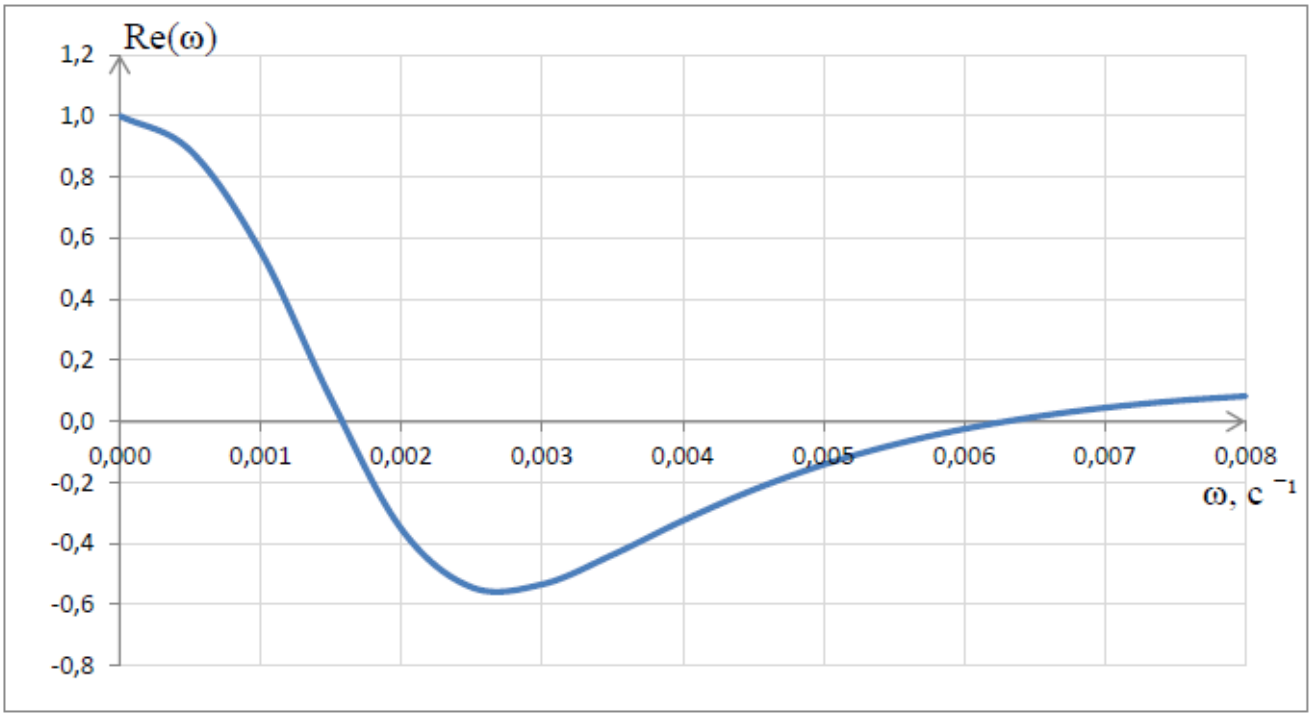


Рисунок 4.4 - Графік ВЧХ замкнутої системи

Перехідний процес по каналу задаючому впливу розраховується за формулою:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\mathrm{Re}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega, \qquad (4.10)$$

де $\mathrm{Re}(\omega)$ – речова частотна характеристика системи;

ω – частота;

t- тривалість перехідного процесу.

Для досягнення точності розрахунку як верхню межу інтеграла застосовується не нескінченність, а число, при якому значення речової частотної характеристики системи прагне нуля. Це число визначається на рисунку 4.4.

Кінцевий вид рівняння визначення перехідного процесу системи має вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_{0}^{0,0062} \frac{\mathrm{Re}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega. \qquad (4.11)$$

Задавши діапазон зміни часу перехідного процесу від 0 до 5000 с, розраховуємо перехідний процес у замкнутій АСР. Результати розрахунку представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Результати розрахунку перехідного процесу в замкнутій АСР

t, с	T, °C	t, с	T, °C
0	25,00	2600	97,38
200	25,35	2800	96,68
400	26,47	3000	96,12
600	33,82	3200	95,63
800	48,59	3400	95,28
1000	63,29	3600	95,07
1200	75,82	3800	94,93
1400	85,34	4000	94,86
1600	91,71	4200	94,86
1800	95,56	4400	94,86
2000	97,45	4600	94,86
2200	98,01	4800	94,93
2400	97,87	5000	94,95

За результатами розрахунку виконується побудова графіка перехідного процесу системи каналом обурення. Отриманий графік представлений рис 4.5.

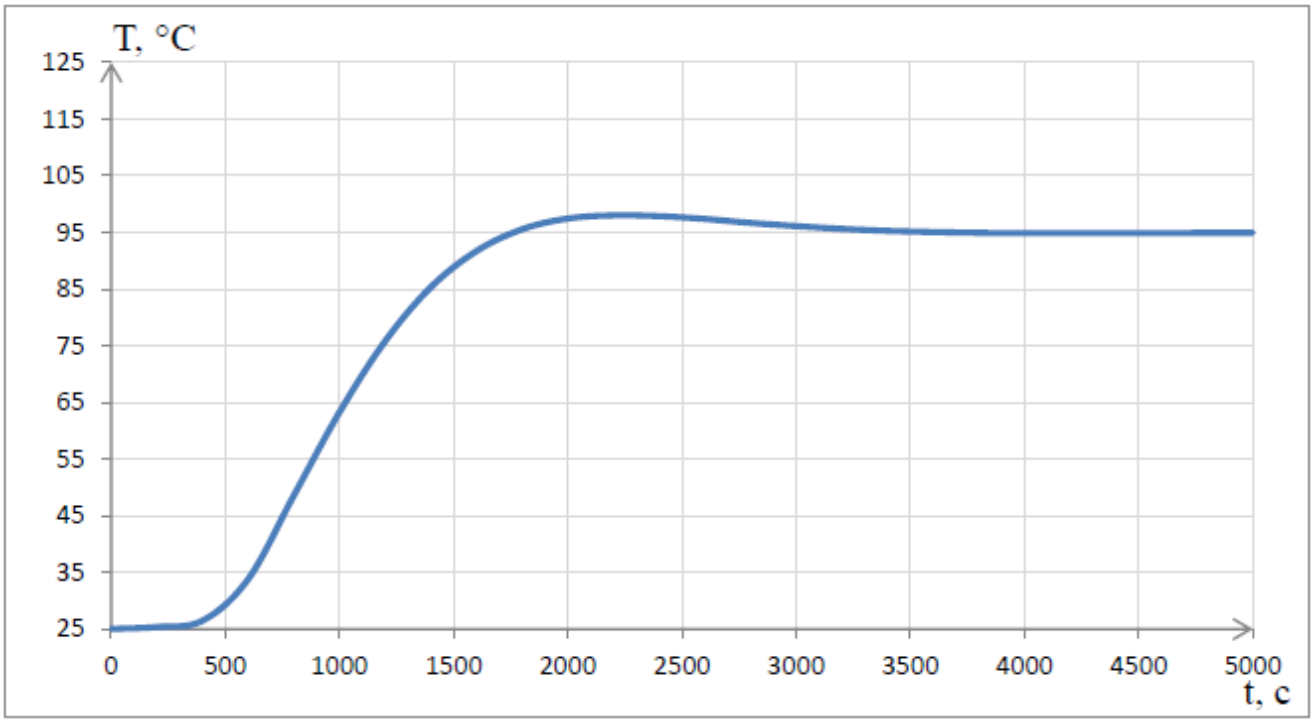


Рисунок 4.5 – Графік перехідного процесу замкнутої АСР за каналом впливу

Для точності розрахунків візьмемо графік у збільшеному масштабі в інтервалі часу від 600 до 5000, температури від 75 до 115 °С (рисунок 4.6).

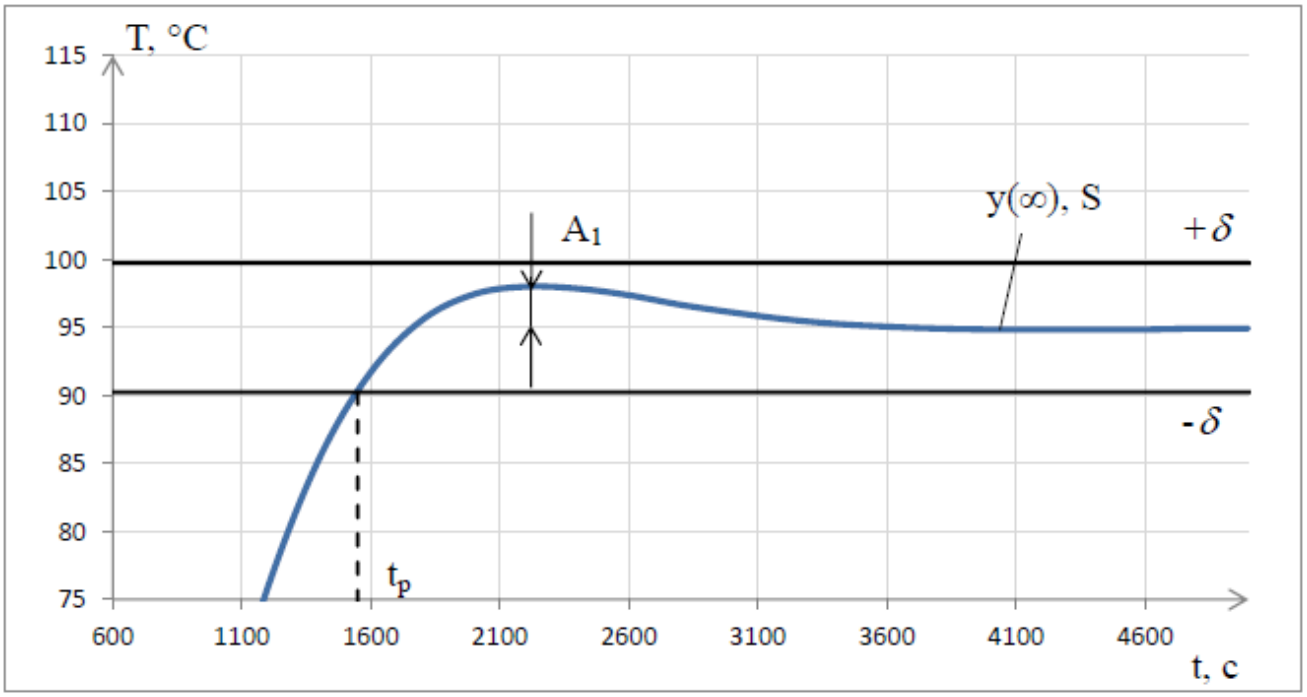


Рисунок 4.6 – Фрагмент графіка перехідного процесу замкнутої АСР за каналом впливу

Прямі оцінки якості:

– перерегулювання:

$$\sigma = \frac{T_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{98-95}{95} \cdot 100 = 3{,}2\ \%, \qquad (4.12)$$

Де $y(\infty)$ - рівень встановленого значення регульованою величини за часу перехідного процесу *t*;

– ступінь загасання перехідного процесу:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0}{3} = 1; \qquad (4.13)$$

– статична помилка:

$$\varepsilon_{CT} = S - y(\infty) = 95 - 95 = 0, \qquad (4.14)$$

де $S = 1$ (t) - сигнал задає впливу;

– час регулювання:

$t_р$ = 1550 с (при величині $\delta = 4{,}75$);

– максимальна динамічна помилка:

$A_1 = 3$.

4.4. Розрахунок, побудова та оцінка якості перехідного процесу в замкнутій АСР по каналу збурення

Передатна функція замкнутої АСР каналом f_y для одноконтурної системи регулювання, наведеної на рис 1, має вигляд:

$$W_{f-y}(p) = \frac{W_o(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)}, \qquad (4.15)$$

Розрахуємо ВЧХ замкненою АСР за допомогою програмних

обчислювальних засобів у діапазоні частот від 0 до 0,01 $с^{-1}$ з кроком $\Delta\omega = 0,0005\ с^{-1}$.

Таблиця 4.3 - Результати розрахунку ВЧХ системи

ω, $с^{-1}$	$Re_{з.с.}(\omega)$	ω, $с^{-1}$	$Re_{з.с.}(\omega)$
0	0	0,0055	-2,873
0,0005	22,722	0,0060	-1,074
0,0010	26,557	0,0065	0,327
0,0015	11,625	0,0070	1,400
0,0020	-5,878	0,0075	2,200
0,0025	-15,503	0,0080	2,770
0,0030	-17,065	0,0085	3,144
0,0035	-14,690	0,0090	3,344
0,0040	-11,253	0,0095	3,390
0,0045	-7,953	0,0100	3,294
0,0050	-5,147		

За допомогою даних таблиці 4.3 виконується побудова графіка ВЧХ системи. Отриманий графік представлений рис 4.7.

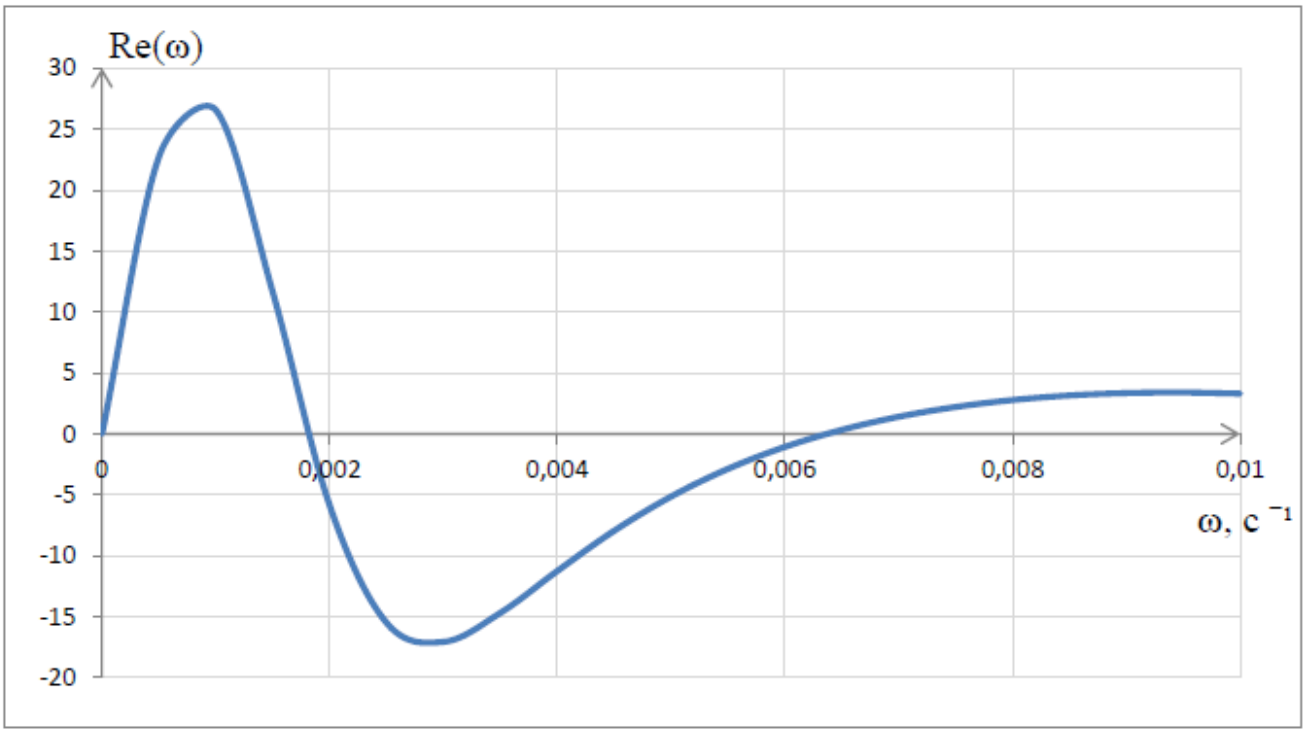


Рисунок 4.7 - Графік ВЧХ системи

Перехідний процес по каналу збурення розраховується за формулою:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_{0}^{0,0063} \frac{\mathrm{Re}_{з.с.}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega, \qquad (4.16)$$

де 0,0063 – частота зрізу, коли він графік *R*e(ω) прагне до 0, визначається ця частота з графіка ВЧХ (рисунок 4.7).

Задавши діапазон зміни часу перехідного процесу від 0 до 15000, розраховуємо перехідний процес в замкнутій АСР. Результати розрахунку подаємо у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Результати розрахунку перехідного процесу в замкнутій АСР

t, с	*T, °C*	*t*, с	*T, °C*
0	25	7800	25,975
600	29,432	8400	25,716
1200	45,933	9000	25,527
1800	48,255	9600	25,381
2400	38,002	10200	25,284
3000	37,400	10800	25,205
3600	33,628	11400	25,150
4200	31,266	12000	25,112
4800	29,599	12600	25,079
5400	28,401	13200	25,060
6000	27,497	13800	25,043
6600	26,820	14400	25,031
7200	26,341	15000	25,025

За результатами розрахунку побудуємо графік перехідного процесу системи каналом збурення (рисунок 4.8).

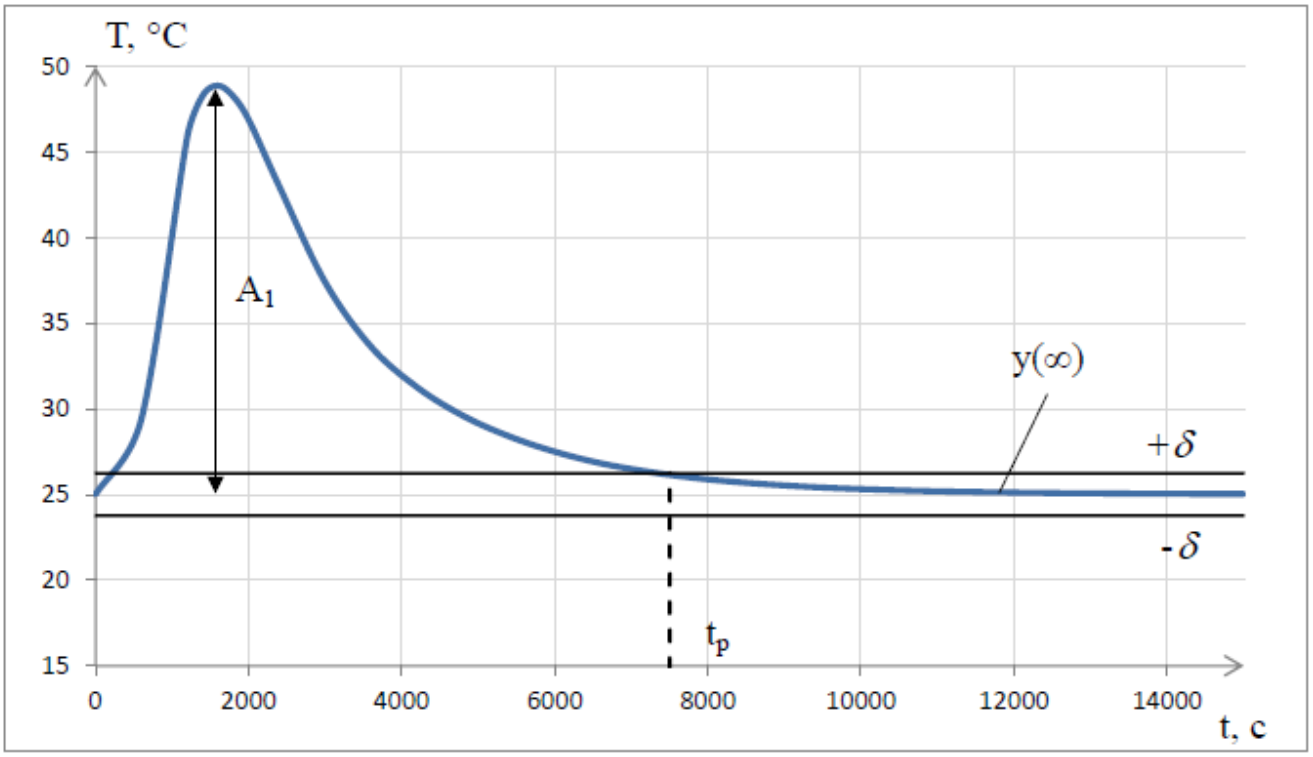


Рисунок 4.8 – Графік перехідного процесу замкнутої АСР каналом збурення

Прямі оцінки якості:

– перерегулювання:

$$\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100 = \frac{0}{23,5} \cdot 100 = 0 \ \%, \qquad (4.17)$$

де $A_3 = 0$ - перше мінімальне відхилення регульованої величини;

– динамічний коефіцієнт регулювання:

$$R_Д = \frac{A_1}{k} \cdot 100 = \frac{23,5}{70} \cdot 100 = 33,6 \ \%, \qquad (4.18)$$

де $k = 70$ - коефіцієнт передачі об'єкта;

– ступінь згасання перехідного процесу:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0}{23,5} = 1, \qquad (4.19)$$

де A_2 = 0 - другий максимальний викид регульованої величини;

- статична помилка:

$$\varepsilon_{CT}= 0;$$

- час регулювання:

$$t_{\text{р}}= 7500 \rangle \text{ (при величині } \delta=1,25);$$

- максимальна динамічна помилка:

$$A_1=23,5.$$

РОЗДІЛ 5. Мнемосхема процесу

Мнемонічна схема (мнемосхема) – це графічно-символьне, узагальнене та наочне відображення системи або її процесів. Основне призначення мнемосхеми полягає у поданні оператору інформації про стан об’єкта в обсязі, достатньому для виконання функцій контролю та керування; у відображенні зв’язків і характеру взаємодії керованого об’єкта з іншими елементами та зовнішнім середовищем; у наданні сигналізації про всі значущі порушення в роботі; а також у забезпеченні швидкого виявлення, локалізації та усунення можливих несправностей.

Згідно з вимогами ДСТУ до мнемосхем висуваються такі основні критерії:

- мнемосхема має включати лише ті елементи, які необхідні оператору для контролю та керування об’єктом;
- окремі елементи або їх групи, що є найбільш важливими для процесів управління й контролю, повинні бути виділені розмірами, формою, кольором або іншими графічними засобами;
- під час компонування мнемосхеми необхідно забезпечувати просторову відповідність між розташуванням її елементів і розміщенням органів керування на операторському пульті; допускається розміщення на полі мнемосхеми приладів та органів керування за умови, що вони не перекривають важливі елементи;
- компонування має враховувати звичні асоціативні зв’язки оператора;
- сполучні лінії повинні бути суцільними, мати просту конфігурацію, мінімальну довжину та найменшу можливу кількість перехрещень;
- розміри й конфігурація панелей мнемосхеми мають гарантувати однозначне та зручне візуальне сприйняття всіх інформаційних елементів оператором.

Виходячи зі згаданих вище принципів, було розроблено мнемосхему теплового вузла. Розроблена мнемосхема представлена рис 5.1.

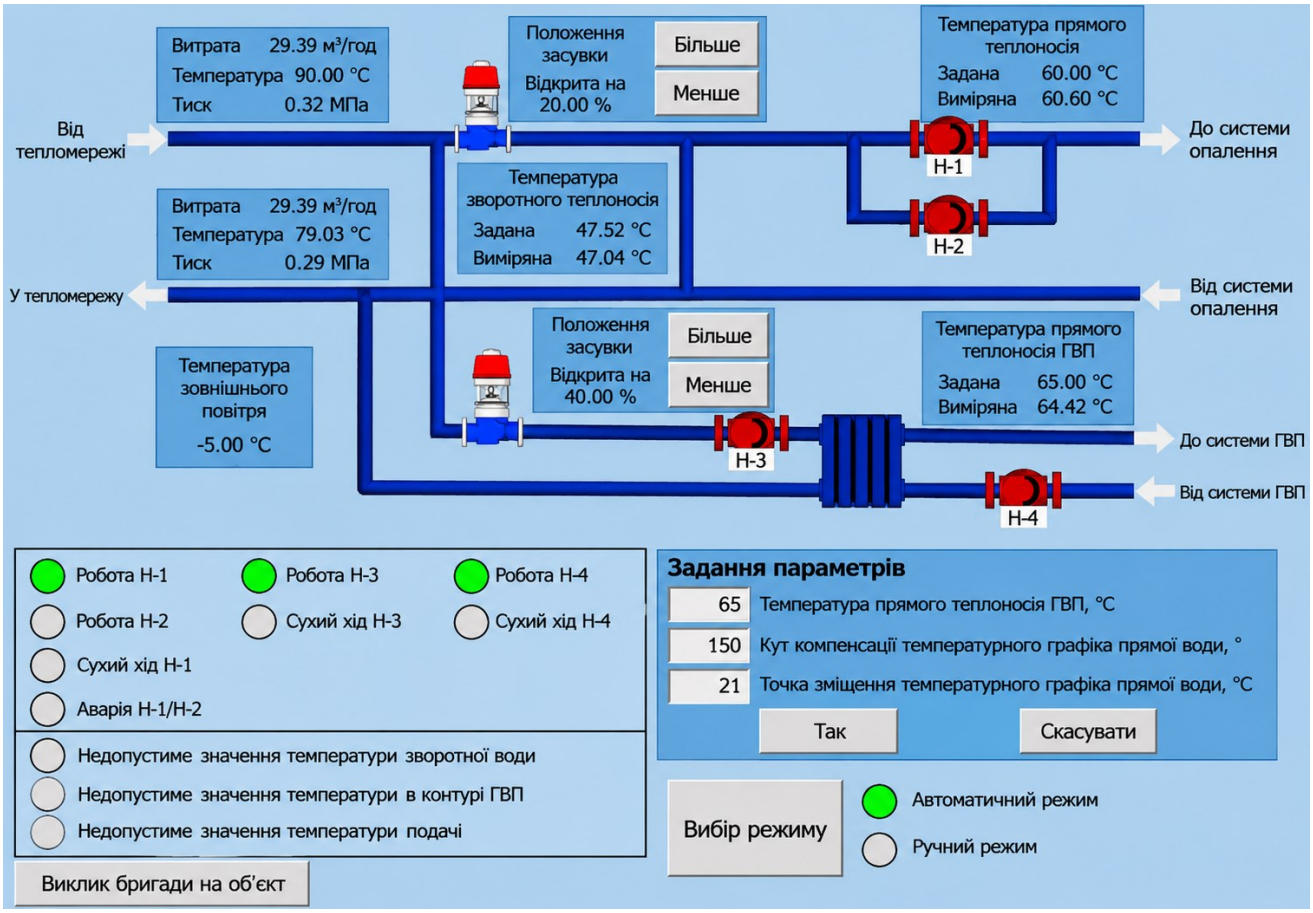


Рисунок 5.1 – Головне вікно мнемосхеми

Як видно з рис. 5.1, мнемосхема відображає основні параметри теплоносія в різних точках теплового пункту: витрату, температуру та тиск на вході й виході теплового пункту; температуру теплоносія перед системою опалення та після неї; а також температуру у контурі гарячого водопостачання (ГВП). Крім того, на схемі показано температуру зовнішнього повітря та положення засувок у контурах опалення та ГВП.

Мнемосхема дозволяє оператору перемикати режими роботи – автоматичний чи ручний. Для зручності поруч із кнопкою перемикання розташовані два індикатори, що демонструють активний режим (індикатор вибраного режиму підсвічується зеленим кольором). Біля засувок розміщено кнопки «Більше» та «Менше», за допомогою яких здійснюється відкриття або закриття відповідного елемента.

Система оповіщення щодо стану насосів винесена в окремий блок. До

складу системи входять чотири насоси. Під час нормальної роботи на мнемосхемі відображається зелений індикатор біля позначення насоса. У разі відмови насос вимикається, а індикатор набуває сірого кольору. Також реалізовано захист від «сухого ходу»: якщо тиск перед насосом перевищує встановлене допустиме значення, спрацьовує захисний алгоритм, насос відключається, і вмикається індикатор «Сухий хід…». Для двох циркуляційних насосів (Н-1 та Н-2) передбачені теплові реле, які вимикають насос при перегріві й активують червоний сигнал «Аварія Н-1/Н-2».

Окремо реалізована система індикації перевищення температур у контурах опалення та ГВП. У разі виходу параметрів за допустимі межі відповідні індикатори загоряються червоним кольором.

У блоці «Завдання параметрів» оператор може встановлювати значення таких величин: температуру прямого теплоносія ГВП, кут компенсації температурного графіка прямої води та точку зміщення цього графіка. При наведенні курсору на блок з’являється підказка з інструкціями щодо коректного задання параметрів. Передбачено також контроль допустимих меж – система не дозволяє вводити значення, що виходять за визначений діапазон.

Кнопка «Виклик бригади на об’єкт» призначена для оперативного надсилання повідомлення обслуговувальній бригаді у разі виникнення будь-якої аварійної ситуації, згаданої вище.

РОЗДІЛ 6. Охорона праці

У межах виконання роботи здійснюється розроблення автоматизованої системи керування тепловим пунктом офісної будівлі, а також створення системи диспетчеризації та дистанційного управління. Об’єктом є чотириповерхова будівля загальною площею 15 559,4 м², у підземному рівні якої передбачено розміщення теплового пункту, що забезпечує опалення та гаряче водопостачання.

Основними функціями індивідуального теплового пункту є перетворення теплоносія та регулювання його параметрів, раціональний розподіл теплової енергії, захист споживчих систем від небезпечного підвищення тиску чи температури, а також облік витрати тепла й самого теплоносія.

Сучасний тепловий пункт є складним технологічним комплексом, який потребує централізованого та оперативного управління. Найефективнішою формою такого управління є диспетчеризація. Вона забезпечує контроль великої кількості механізмів та пристроїв, дозволяє попереджувати виникнення аварійних ситуацій, які можуть створити загрозу для персоналу, обладнання чи довкілля. У разі виявлення відхилень або неприпустимих режимів система формує відповідні сигнали. Диспетчер має можливість оперативно зупинити роботу комплексу дистанційно, що підвищує безпеку, подовжує ресурс обладнання, зменшує кількість аварій та мінімізує ризики форс-мажорних ситуацій.

6.1. Правові та організаційні питання забезпечення безпеки

Відповідно до нормативно-правових актів, що містять державні нормативні вимоги охорони праці, належать:

- стандарти безпеки праці;

- правила та типові інструкції з охорони праці;

- державні санітарно-епідеміологічні правила та нормативи (санітарні правила та норми, санітарні норми, санітарні правила, гігієнічні нормативи, що встановлюють вимоги до факторів виробничого середовища та трудового процесу).

Чинним нормативом з охорони праці є ДСТУ.

6.2. Організаційні заходи при компонуванні робочої зони

Усі елементи робочого простору (крісло оператора, робочий стіл тощо) повинні мати можливість індивідуального регулювання, що забезпечує формування найбільш зручної та безпечної робочої пози. Навколо персонального комп'ютера необхідно передбачити вільний простір не менше 0,6 м. Приміщення, у яких використовується комп'ютерна техніка, мають бути обладнані як штучним, так і природним освітленням.

Під час розміщення органів керування слід дотримуватися таких ергономічних вимог:

– органи керування повинні знаходитися в межах доступності моторного поля оператора;

– найбільш важливі та найбільш часто використовувані засоби керування мають розташовуватися в зоні легкої досяжності;

– органи керування, що забезпечують виконання дій у певній послідовності, повинні групуватися таким чином, щоб робочі операції здійснювалися зліва направо та зверху вниз;

– елементи керування однакового функціонального призначення повинні мати уніфіковане розташування на всіх панелях робочого місця;

– компонування органів керування має забезпечувати рівномірний розподіл навантаження на руки та ноги оператора.

6.3. Виробнича безпека

6.3.1. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які може створити об'єкт дослідження

Усі аварійні ситуації в індивідуальному тепловому пункті потребують оперативного реагування. Персонал має чітко знати послідовність дій, правила техніки безпеки та відповідні інструкції, оскільки помилки можуть призвести до тяжких наслідків. Аварії в ІТП, пов'язані з витоком теплоносія, становлять потенційну загрозу для здоров'я й життя працівників, які залучені до їх ліквідації.

Несправності умовно поділяються на дві основні групи: пошкодження

трубопроводів тепломережі та порушення цілісності трубопроводів систем теплоспоживання. Прибувши на місце події, персонал повинен першочергово оцінити ситуацію, визначити можливі наслідки та максимально уникати контакту з теплоносієм, оскільки існує високий ризик отримання сильних опіків. До безпосереднього усунення пошкоджень можна приступати лише після зниження температури теплоносія в трубопроводах до 40 °С.

Якщо теплоносій потрапив на електроустаткування, приміщення слід негайно залишити, оскільки виникає небезпека ураження електричним струмом. Диспетчер повинен терміново відключити електропостачання ІТП. Про інцидент необхідно оперативно повідомити відповідальних осіб, у першу чергу – головного інженера та керівника об’єкта.

6.3.2. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які можуть виникнути на робочому місці

Підвищений рівень вібрації

За способом передачі вібрації на людину розрізняють:

- загальну вібрацію, що передається через опорні поверхні на тіло людини, що сидить або стоїть;

- локальну вібрацію, що передається через руки людини на робітником місці оператора допустимі значення вібрації представлені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Допустимі значення вібрації в адміністративно-управлінських приміщеннях та у приміщеннях громадських будівель

Допустимі значення по осях X0, Y0, Z0				
Середньогеометричні частоти смуг, Гц	віброприскорення		віброшвидкості	
	$м/с^2 \cdot 10^{-3}$	дБ	$м/с \cdot 10^{-3}$	дБ
2	10,0	80	0,79	84
4	11,0	81	0,45	79
8	14,0	83	0,28	75

16	28,0	89	0,28	75
31,5	56,0	95	0,28	75
63	110,0	101	0,28	75
Кориговані та еквівалентні кориговані значення та їх рівні	10	80	0,28	75

Способи боротьби з вібрацією:

- зниження вібрації у джерелі;
- віброгасіння;
- віброізоляція;
- вібродемпфування;
- застосування індивідуальних засобів захисту.

Підвищений рівень шуму

Підвищений рівень шуму у тепловому пункті можливий за рахунок наявності у приміщенні великої кількості різного виробничого обладнання. Відомо, що даний фактор безпосередньо погіршує умови праці, шкідливо впливаючи на організм. При тривалому впливі на організм здійснюється вплив на центральну і вегетативну нервову систему людини, органи слуху, підвищується кров'яний тиск, що сприяє виникненню серцево-судинних захворювань.

У таблиці 6.3 наведено гранично допустимі рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях для трудової діяльності різних категорій тяжкості та напруженості в дБА.

Таблиця 6.3 – Граничні рівні звуку на робочих місцях у дБА

Категорія напруженості трудового процесу	Категорія тяжкості трудового процесу				
	Легке фізичне навантаження	середнє фізичне навантаженн	Важка праця 1 ступеня	Важка праця 2 ступеня	Важка праця 3 ступеня

		я			
Напруженість легкого ступеня	80	80	75	75	75
Напруженість середнього ступеня	70	70	65	65	65
Напружена праця першого ступеня	60	60	-	-	-
Напружена праця другого ступеня	50	50	-	-	-

Зменшення впливу даного фактора на організм працюючого персоналу можливе такими методами:

– ослаблення шуму у джерелах;

– шумоізоляція та шумопоглинання;

– створення додаткових ДВП або ДСП ізоляційних перегородок у приміщенні операторської;

– використання засобів індивідуального захисту.

Недостатня освітленість робочої зони.

Оцінювання рівня освітленості робочої зони є необхідною умовою для забезпечення нормативних параметрів організації праці на робочому місці. Приміщення з постійним перебуванням людей повинні бути обладнані природним освітленням, яке може бути бічним, верхнім або комбінованим (поєднання верхнього та бічного). Штучне освітлення поділяється на робоче та аварійне, а також на загальне та комбіноване.

Приміщення, у яких розміщується комп’ютерне обладнання (зокрема робоче місце оператора), повинні мати як природне, так і штучне освітлення.

Нормована освітленість у зоні розташування робочих документів становить 300…500 лк. Місцеве освітлення не повинно створювати відблисків на екрані та збільшувати його освітленість більш ніж на 300 лк. Загальне освітлення доцільно реалізовувати у вигляді суцільних або переривчастих ліній світильників, розташованих збоку від робочих місць паралельно лінії зору користувача персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ).

До основних вимог щодо робочого освітлення належать:

– забезпечення достатнього рівня освітленості;

– безперебійність і тривалість роботи освітлювальної установки за нормальних умов навколишнього середовища;

– дотримання вимог пожежної та електричної безпеки освітлювальних пристроїв;

– економічність експлуатації освітлювального обладнання.

Параметри мікроклімату

У приміщеннях, де робота з ПЕОМ є основним видом діяльності, повинні підтримуватися оптимальні параметри мікроклімату. До показників, що характеризують мікроклімат виробничих приміщень, належать:

– температура повітря;

– температура поверхонь;

– відносна вологість повітря;

– швидкість руху повітря;

– інтенсивність теплового опромінення.

Робота на ПК в офісному приміщенні відноситься до класу легких робіт з енерговитратами 150 ккал/годину. Для цього виду робіт оптимальні показники мікроклімату повинні відповідати таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 - Оптимальні параметри мікроклімату на робочому місці

Період року	Категорія робіт за рівнем енерговитрат, Вт	Температура повітря, °С	Температура поверхонь, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Іб (140 ... 174)	21…23	20…24	60…40	0,1
Теплий	Іб (140 ... 174)	22…24	21…25	60…40	0,1

Для забезпечення нормативних умов на робочому місці функціонують системи вентиляції, опалення та кондиціювання, які підтримують необхідні параметри мікроклімату.

Ризик ураження електричним струмом

Підвищена напруга в електричному колі, замикання якого може пройти через тіло людини, становить небезпеку та потребує особливої уваги. Робота з обладнанням на автоматизованому робочому місці оператора пов’язана з імовірністю ураження електричним струмом. До роботи з комп’ютерною технікою та периферійним обладнанням допускаються лише працівники, які вивчили інструкцію з охорони праці та пройшли відповідний інструктаж.

Електроживлення пристроїв здійснюється від однофазної мережі змінного струму з напругою 220 В та частотою 50 Гц. Комп’ютер і все підключене обладнання повинні бути заземлені. Захист людини від дії напруг дотику та струмів короткого замикання забезпечується конструкцією електроустановок, технічними засобами захисту та комплексом організаційно-технічних заходів.

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань

Під час роботи з ПЕОМ проводиться оцінка рівня електромагнітних випромінювань. Джерелами електромагнітного поля промислової частоти найчастіше є струмопровідні частини діючих електроустановок. Допустимий рівень напруженості електричного поля визначається тривалістю перебування людини у відповідній зоні. Так, робота в зоні з напруженістю електричного поля 20–25 кВ/м не повинна перевищувати 10 хвилин. Якщо напруженість становить

менше ніж 5 кВ/м, перебування працівників у робочій зоні допускається протягом усього восьмигодинного робочого дня.

6.4. Екологічна безпека

В роботі шкоду екології може завдати неправильна утилізація устаткування теплового пункту (насоси, датчики, електропроводки і т.д.) і автоматизованого робочого місця оператора (ПЕОМ, лампи).

Деякі компоненти ПЕОМ можна використовувати повторно, а інші або залишати на переробку і подальше використання, або піддавати похованню на полігонах. Також можливе перероблення обладнання теплового вузла. Полігони створюють відповідно до вимог. Вони повинні знаходитися далеко від водоохоронних зон і мати санітарно-захисні зони. У місцях складування проводиться гідролізація для запобігання забрудненню ґрунтових вод. Перед похованням відходи, що пресуються, бажано спресувати, а відходи з високим ступенем вологості обезводити.

6.5. Безпека у надзвичайних ситуаціях

Найімовірнішим видом надзвичайної ситуації як у тепловому пункті, так і на робочому місці оператора є пожежа. Під час експлуатації обладнання необхідно постійно контролювати його технічний стан шляхом зовнішнього огляду. Ознаками можливого самозаймання можуть бути підвищення температури та поява характерного запаху.

Приміщення з ЕОМ і ПЕОМ, а також приміщення теплового вузла належать до категорії У – пожежобезпечних. Робочі приміщення з ПЕОМ повинні бути оснащені аптечкою першої допомоги та вуглекислотними вогнегасниками. Кількість і тип вогнегасників визначають залежно від площі приміщення і класу можливих пожеж; якщо об’єкт включає кілька приміщень одного класу з невеликою площею, кількість засобів пожежогасіння визначається за сумарною площею цих приміщень.

У тепловому пункті, у разі спрацювання пожежної сигналізації, необхідно негайно викликати пожежну службу та одразу розпочати гасіння займання первинними засобами.

Кожен працівник, який виявив загоряння, задимлення чи інші ознаки можливого виникнення пожежі, зобов’язаний:

– негайно повідомити пожежну частину;

– поінформувати керівництво об’єкта;

– ужити заходів для обмеження поширення вогню за допомогою первинних засобів пожежогасіння.

Одним із ключових аспектів забезпечення пожежної безпеки, окрім наявності відповідної сигналізації та спеціального обладнання, є:

– проходження всіма співробітниками інструктажу з пожежної безпеки, оволодіння навичками та чітке знання послідовності дій під час пожежі;

– поінформованість персоналу про місця розташування засобів пожежогасіння та засобів зв’язку;

– наявність у приміщеннях планів евакуації, на яких позначено маршрути аварійного виходу.

6.6. Висновки за розділом

Тема роботи має на увазі вибір обладнання та технічних засобів автоматизації з подальшим монтажем на тепловий вузол. Вибраний комплект автоматизації, а також дистанційне керування дозволять покращити контроль над технологічним процесом, тим самим значно скоротиться ризик аварійної ситуації.

Можна виділити такі основні результати з роботи над розділом:

– відображені правові і організаційні питання по забезпеченню безпеки персоналу;

– наведено опис шкідливих та небезпечних факторів, які можуть виникнути на об'єкті та робочому місці;

– запропоновані методи по зниженню оцінки впливу представлених

факторів;

– визначено вплив об'єкта на довкілля;

– розглянуто найбільш ймовірну НС, запропоновано заходи щодо її запобігання.

Висновок

У межах виконання роботи було розроблено автоматизовану систему керування тепловим пунктом. У процесі роботи виконано такі завдання:

– проведено експериментальні дослідження процесів запалювання гелеподібних палив;

– здійснено всебічний аналіз об’єкта автоматизації;

– підготовлено комплект проектної та технічної документації, який включає структурну та функціональну схеми і засобів автоматизації, монтажну схему, схеми електричних з’єднань щита автоматизації та щита управління, переліки елементів, а також загальні види зазначених щитів;

– виконано розрахунок оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора;

– спроєктовано мнемосхему для дистанційного моніторингу та керування тепловим пунктом.

У розділі «Охорона праці» проведено оцінку шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що можуть впливати на персонал та навколишнє середовище, а також розроблено заходи щодо їх усунення або мінімізації.

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.5-39:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. – Чинний від 07.01.2009. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.

2. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинний від 01.01.2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013.

3. Euroheat & Power. Guidelines for District Heating Substations. – Brussels : Euroheat & Power, 2008.

4. District Heating in Buildings – Why and How. – Brussels : BUILD UP, 2012. – 24 p.

5. Modernization of the District Heating Systems in Ukraine. – EU/UNDP report. – 2012.

6. Options for Large-Scale Installation of Individual Heating Substations in Buildings. PNNL-30222. – Pacific Northwest National Laboratory, 2020.

7. Mandatory IHS in Buildings with District Heating: What the Government Proposes and What It Means for Residents [Електронний ресурс] // A Energy Service. – 27.09.2025. – Режим доступу: aesetua.com.

8. Переверзєва А. М., Птиченко О. Р. Автоматизація індивідуального теплового пункту // Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика : матеріали 5-ї міжнар. наук.-техн. конф., 28–29.11.2024. – Харків : НТУ «ХПІ», 2024. – С. 43–44.

9. Басок Б. І., Лисенко О. М., Приємченко В. П., Андрейчук С. В. Особливості теплозабезпечення адміністративної будівлі на основі індивідуального теплового пункту // Будівельні конструкції. 2013. Вип. 77. С. 184–187.

10. Савченко О. І., Король С. В., Приймак Б. І. Автоматизований індивідуальний тепловий пункт // Вісник НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Серія : Енергетика : зб. наук. пр. – 2018.

11. Автоматизований індивідуальний тепловий пункт як елемент енергоефективного будинку // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : матер. наук.-практ. конф. – Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. – Т. 1.

12. Лисенко О. М., Кужель Л. М., Божко І. К. Управління теплопостачанням будівлі на основі використання індивідуального теплового пункту оригінальної конструкції // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2015. Т. 1, № 8(73). С. 61–67. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.37917

13. Алексахін О. О., Бобловський О. В., Круглякова О. В. Використання двоступінчастої змішаної схеми приєднання теплообмінників гарячого водопостачання у теплових пунктах утеплених будівель // Комунальне господарство міст. 2024. № 3(184). С. 93–98. DOI: 10.33042/2522-1809-2024-3-184-93-98.

14. Demirovic N. Techniques to Achieve Energy Efficient Heating Substation // Proc. ERK'2014. – Portorož, 2014. – P. 205–208.

15. Vannahme A., et al. Enhancement of a District Heating Substation as Part of a Heating Network // Resources. – 2021. – Vol. 10, No. 5. – 53.

16. Gustafsson J., Delsing J., van Deventer J. Improved District Heating Substation Efficiency with a New Control Strategy // Applied Energy. – 2010. – Vol. 87. – P. 1996–2004.

17. Lazarević S., et al. A Novel Approach to Real-Time Modelling of the District Heating Substation // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 231. – P. 1250–1262.

18. District Heating Substation Elements Modeling for the Development of the Real-Time Model // Proc. Int. Conf. (автори за текстом статті). – 2019.

19. Prívara S., Široký J., Ferkl L., Cigler J. Model Predictive Control of a Building Heating System: The First Experience // Energy and Buildings. – 2011. – Vol. 43. – P. 564–572.

20. Široký J. Model Predictive Control of Building Heating System // Proc.

CLIMA 2010. – 2010.

21. Ma L., et al. A Model Predictive Control for Heat Supply at Building Level // Buildings. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – 1879.

22. Perekrest A., Konokh I., Kushch-Zhyrko M. Administrative Buildings Heating Automatic Control Based on Maximum Efficiency Criterion // Proc. 2019 IEEE Int. Conf. on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – Kremenchuk, 2019. – P. 202–205.

23. Zagirnyak M., Perekrest A., Ogar V., Mur O. Segmentation of Heat Energy Consumers Based on Data on Daily Energy Consumption // Naukovyi Visnyk (серія енергетики). – 2021. – № 2. – С. 89–96.

24. Росковшенко Ю. К., Штиленко В. П. Індивідуальне автоматичне регулювання та облік теплової енергії в системах водяного опалення // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2013. – № 4. – С. 238–243.

25. Łukasik Z. Automation of Work Supervision as an Element of Ensuring Safety of Heating Material Transfer for a Selected Heating Station // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – 2025.