

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологійКафедра Комп'ютерно-Інтегрованих технологій, автоматизації та робототехнікиРівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютеризовані та робототехнічні системи

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Редькіну Кирилу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка автоматизованого модуля адаптивної системи центрального теплового пункту для подачі опалення теплоспоживачам затверджена наказом університету від 10 листопада 2025 р. № 1018Ст
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 20 грудня 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи включають технічне завдання, яке передбачає створення модуля автоматизації системи управління, регуляції та ефективного використання, а також вимоги до функціоналу, початкові дані температури теплоносія, приміщення та зворотного трубопроводу. Крім того, у розпорядженні були наукові та технічні джерела, центральних теплових пунктів, систем управління, а також рекомендації щодо розробки програмного забезпечення.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі У роботі необхідно опрацювати питання, центральний тепловий пункт, автоматизований модуль управління, адаптивні системи, інтеграцію газового котла в систему теплозабезпечення, недоліки сучасних теплових пунктів та систем централізованого теплопостачання, модулю автоматизації центрального теплового пункту, реалізації основних компонентів програмного забезпечення, способи

вирішення основних проблем подальшої автоматизації, модуль адаптивної системи центрального теплового пункту як спосіб вирішення поставлених проблем, вербальний опис програми управління, оцінка якості та ефективності роботи адаптивної системи, експериментальна частина, безпека праці персоналу центрального теплового пункту.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал у вигляді презентації 11 с.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання, вступ	16.09.2025	Виконав
2	Аналіз теоритичного матеріалу	30.10.2025	Виконав
3	Дослідно аналітичний розділ	07.11.2025	Виконав
4	Реалізація розробку модуля автоматизації системи управління центрального теплового пункту для подачі опалення тепла споживачам	21.11.2025	Виконав
5	Програмне забезпечення та експеримент	30.11.2025	Виконав
6	Оформлення пояснювальної записка	16.12.2025	Виконав
7	Подання кваліфікаційної роботи на перевірку оригінальності	17.12.2025	Виконав
8	подання роботи на рецензію	18.12.2025	Виконав
9	подання роботи на підпис зав.кафедри	19.12.2025	Виконав
10	подання роботи до ЕК	21.12.2025	Виконав

Дата видачі завдання 11 листопада 2025 р.

Здобувач Кирило РЕДЬКІН

(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Леонід ІВАНОВ

(підпис)

(посада, власне ім'я, прізвище)

Я, Редькін Кирило Сергійович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«16» грудня 2025 р.



Редькін К.С.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 с., 1 табл., 35 рис., 2 дод., 18 джерел

ЦЕНТРАЛЬНИЙ ТЕПЛОВИЙ ПУНКТ, АДАПТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПРОГРАМОВАНИЙ КОНТРОЛЕР, ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

Об'єкт дослідження – процеси автоматизованого управління тепловим режимом підготовки та подачі теплоносія споживачам на центральному тепловому пункті.

Предмет дослідження – метод автоматизації адаптивного управління регулюванням температури теплоносія на центральному тепловому пункті.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення ефективності управління процесами підготовки та подачі теплоносія на центральному тепловому пункті за рахунок створення автоматизованого модуля адаптивної системи.

Методи дослідження – теоретичний аналіз існуючих методів та підходів автоматизації управління регулювання температури теплоносія, експериментальна розробка автоматизованого модуля управління та перевірка його на працездатність, тестування та верифікація.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованого модуля адаптивної системи центрального теплового пункту для підготовки та подачі опалення споживачам. Модуль реалізує алгоритм збору даних з датчиків температури та тиску, адаптивне регулювання положення електронного клапана на основі аналізу температурних параметрів. досліджено методи адаптивного управління, розроблено структуру модулю автоматизації з програмованим контролером, створено алгоритм керування та принципову схему реконструкції ЦТП.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 80 p., 1 table, 35 figures, 2 appendices, 18 sources

CENTRAL HEATING STATION, ADAPTIVE CONTROL SYSTEM, AUTOMATION, PROGRAMMABLE CONTROLLER, HEAT SUPPLY, ENERGY EFFICIENCY.

The object of research is the processes of automated control of the thermal regime of heat carrier preparation and supply to consumers at the central heating station.

The subject of research is the method of automation of adaptive control of heat carrier temperature regulation at the central heating station.

The purpose of the qualification work is to improve the efficiency of managing the processes of preparing and supplying heat carrier at the central heating station by creating an automated module of an adaptive system.

Research methods – theoretical analysis of existing methods and approaches to automating heat carrier temperature control, experimental development of an automated control module and testing its performance, testing and verification.

The thesis is devoted to the development of an automated module of an adaptive system of a central heating station for the preparation and supply of heating to consumers. The module implements an algorithm for collecting data from temperature and pressure sensors, adaptive control of the position of the electronic valve based on the analysis of temperature parameters. Adaptive control methods were studied, the structure of the automation module with a programmable controller was developed, a control algorithm and a schematic diagram of the central heating station reconstruction were created.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	7
Вступ	8
1 Теоретичний аналіз предметної області	10
1.1 Центральний тепловий пункт	10
1.2 Автоматизовний модуль управління	10
1.3 Адаптивні системи	18
1.4 Інтеграція газового котла в систему центрального теплозабезпечення	24
2 Обґрунтування подальшої модернізації ЦТП	30
2.1 Недоліки сучасних теплових пунктів та систем централізованого теплопостачання	30
2.2 Способи вирішення основних проблем подальшої автоматизації	35
2.3 Модуль адаптивної системи центрального теплового пункту як спосіб вирішення поставлених проблем	39
3 Розробка програмного забезпечення роботи адаптивної системи	44
3.1 Вербальний опис програми управління	44
3.3 Оцінка якості та ефективності роботи адаптивної системи	47
3.4 Експериментальна частина	52
4 Безпека праці персоналу ЦТП	60
Висновки	63
Перелік джерел посилання	65
Додаток А Публікація на конференцію ««Automation and development of electronic devices» ADED-2025)	68
Додаток Б Лістинг програми	76

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ІТП – Індивідуальний тепловий пункт

ККД – Коефіцієнт корисної дії

ПІД – Пропорційно-інтегрально-диференціальний;

ПК – Персональний комп'ютер

ЦТП – Центральний тепловий пункт;

MRAC – Model Reference Adaptive Control;

ВСТУП

У сучасних умовах зростання цін на енергоносії та посилення вимог до енергоефективності будівель особливої актуальності набуває проблема оптимізації систем централізованого теплопостачання.

Традиційні системи управління центральним тепловим пунктом (ЦТП), не враховують динаміку зміни зовнішніх умов, часу доби та реальних потреб теплоспоживачів, перевитрати енергії та додаткових фінансових витрат.

Мета – підвищення ефективності управління процесами підготовки та подачі теплоносія на центральному тепловому пункті за рахунок створення автоматизованого модуля адаптивної системи.

Для досягнення цієї мети визначено такі завдання:

- провести теоретичний аналіз існуючих систем автоматизованого управління центральними тепловими пунктами та виявити їх основні недоліки;
- дослідити метод адаптивного управління теплопостачання та обґрунтувати вибір оптимального підходу для ЦТП;
- розробити структуру модулю автоматизації управління адаптивними параметрами підготовки та подачі теплоносія на основі програмованого забезпечення регулювання його температури;
- розробити алгоритм функціонування автоматизованого модуля, що забезпечують збір, аналіз даних та прийняття керуючих рішень;
- обґрунтувати вибір технічних засобів для реалізації системи управління;
- розробити програмне забезпечення перевірки працездатності автоматизованого модуля;
- запропонувати принципову схему реконструкції ЦТП для впровадження адаптивного регулювання;
- провести оцінку якості та ефективності роботи адаптивної системи.

Об'єктом дослідження процеси автоматизованого управління тепловим режимом підготовки та подачі теплоносія споживачам на центральному тепловому пункті.

Предмет дослідження – метод автоматизації адаптивного управління регулюванням температури теплоносія на центральному тепловому пункті.

Методи дослідження – теоретичний аналіз існуючих методів та підходів автоматизації управління регулювання температури теплоносія, експериментальна розробка автоматизованого модуля управління та перевірка його на працездатність, тестування та верифікація.

Наукова новизна кваліфікаційній роботі полягає в розробці автоматизованого модуля управління адаптивної системи регулювання температурою теплоносія на ЦТП шляхом введення електронного адаптивного клапана в подавальний трубопровід з можливістю динамічного регулювання на основі отриманих даних від комплексу датчиків, який забезпечує автоматизоване регулювання положення виконавчого механізму адаптивного клапану з урахуванням швидкості зміни зовнішньої температури та теплових потреб споживачів. Робота складається з чотирьох основних розділів.

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було використано методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи, які визначають вимоги до структури та змісту роботи, а також документацію щодо структури та правил оформлення ДСТУ 3008:2015, що регламентують оформлення документів відповідно до національних стандартів.

Результати роботи були опубліковані: стаття на тему “Розроблення методу оцінки якості тепlopостачання в центральному тепловому пункті”, тези на тему “Сучасні технології систем управління якістю Quality 5.0 та їх впровадження на підприємствах”.

Результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 7 "Доступна та чиста енергія", а саме п.7.3 "До 2030 року подвоїти глобальний показник підвищення енергоефективності", а також до Цілі 9 "Промисловість, інновації та інфраструктура", а саме п.9.4 "До 2030 року модернізувати інфраструктуру і переобладнати виробництво з метою зробити його стійким при розширенні використання чистих і екологічно безпечних технологій".

1 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Центральний тепловий пункт

Більшість багатоквартирних будинків в Україні має централізоване опалення. Це загальна практика, яка дісталась нам з минулого масового будівництва, коли в багатоквартирні будинки теплова енергія подається мережею трубопроводів від загальної котельні.

Втім така система має не тільки свої переваги, але й мінуси. Буває, що мешканці будинків, які знаходяться поруч з котельнею, отримують так званий «перетоп» та вимушені відкривати вікна. А у віддалених будинках радіатори ледь теплі – «недотоп». Така ж ситуація може бути й в розбалансованих системах всередині одного будинку в залежності від поверху та під'їзду.

Тож головний недолік централізованого теплопостачання – це громіздкість системи та відсутність можливості налаштувати сталі параметри її роботи для конкретного будинку.

Тепловий пункт – це комплекс обладнання, призначений для прийому теплової енергії від магістральних мереж, її перерозподілу, регулювання та передачі кінцевим споживачам (рис. 1.1). Він регулює параметри теплоносія (температуру, тиск) відповідно до потреб об'єкта. Він служить проміжною ланкою між централізованою системою теплопостачання (наприклад, міськими тепломережами) і кінцевими споживачами тепла (рис. 1.2).

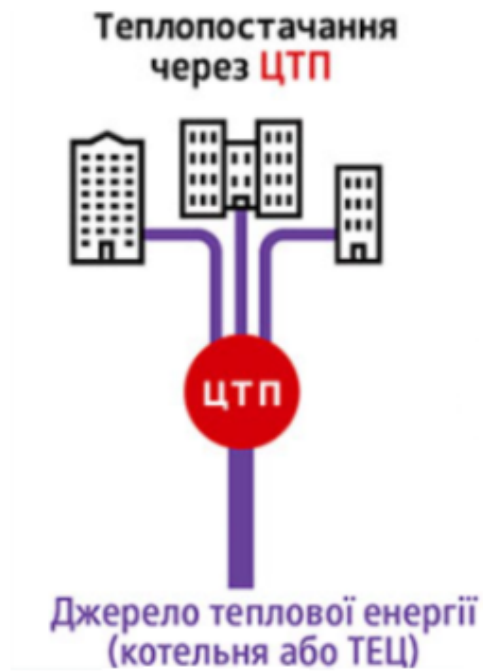


Рисунок 1.1 – Теплопостачання через ЦТП



Рисунок 1.2 – Обладнання сучасного центрального теплового пункту

Основні функції теплового пункту:

– тепловий пункт приймає теплоносій від магістральних мереж;

- здійснюється підлаштування температури і тиску для відповідності потребам об'єкта;
- забезпечує рівномірний розподіл тепла між різними системами будівлі – опалення, гаряче водопостачання і вентиляція;
- вбудовані прилади дозволяють контролювати обсяг спожитого тепла для аналізу та розрахунку оплати;
- запобігає гідроударом і перевантаженням в системі, продовжуючи термін служби обладнання.

Принцип роботи теплового пункту

Пункт приймає холодну воду зі звичайної міської мережі водопостачання. Потім вода розподіляється на 2 або 3 потоки: перший одразу подається в крани холодної води, а другий – на підігрів.

Другий потік – це замкнений контур, який і є системою опалення. За допомогою насосів, теплоносій циркулює від ЦТП до споживачів, і назад до теплообмінників. Під час циркуляції частина тепла втрачається, тому теплоносій постійно підігрівається в теплообмінниках. Можливе використання і центральних систем теплопостачання, але тільки для додаткового підживлення в періоди пікових навантажень, наприклад, сильних морозів.

Третій потік в ЦТП забезпечує гаряче водопостачання, він переводиться в циркуляційний контур системи гарячого водопостачання для підігріву та подальшого розподілу гарячої води по квартирах. Крім того, ЦТП управляє системою вентиляції.

Таким чином, ЦТП забезпечує якісну підготовку теплоносія і контроль його параметрів: температури, тиску і витрат. За допомогою ЦТП раціоналізується розподіл теплоносія по споживачах і підвищується загальна ефективність системи теплозабезпечення.

ЦТП дозволяє організувати облік споживання теплоносія «за фактом», а не за розрахунками компаній-постачальників.

Елементи теплового пункту:

- теплообмінники, забезпечують передачу теплової енергії від одного теплоносія до іншого;
- насоси, відповідають за циркуляцію теплоносія в системі;
- регулятори тиску і температури, підтримують оптимальні параметри системи;
- лічильники тепла, враховують споживання енергії для розрахунків;
- автоматизація та контроль, системи автоматизації дозволяють контролювати та регулювати роботу теплового пункту в реальному часі.

Ці системи можуть працювати на різних джерелах енергії, таких як природний газ, нафта та електроенергія, або на відновлюваних джерелах енергії, таких як сонячна, геотермальна або біомаса.

У водяних системах центрального опалення гаряча вода генерується в котлі або печі, а потім циркулює по трубах до радіаторів або систем підлогового опалення в кожній кімнаті. Радіатори або системи підлогового опалення випромінюють тепло в кімнату, а охолоджена вода повертається в котел для повторного нагрівання.

У системах центрального опалення на основі повітря гаряче повітря генерується в котлі або печі, а потім циркулює по повітроводах до вентиляційних отворів у кожній кімнаті, випускаючи нагріте повітря в приміщення і забираючи охолоджене повітря для повторного нагрівання.

Система центрального опалення зазвичай включає термостат, який вимірює температуру в приміщенні і подає сигнал котлу або печі про ввімкнення або вимкнення залежно від налаштованої температури, допомагаючи підтримувати постійну температуру в приміщенні.

В цілому, центральне опалення забезпечує ефективний і зручний спосіб обігріву будівлі та підтримки комфортної температури в приміщенні, особливо в холодні місяці.

Основні переваги теплового пункту:

- система опалення будинку не залежить від проблем центрального опалення;

- знижується аварійність, бо система компактна і має широкі можливості обслуговування;
- зменшуються витрати на теплоізоляцію та інші матеріали;
- знижуються витрати на будівництво та утримання трубопроводів;
- є налаштування параметрів постачання тепла в залежності від побажань споживачів.

1.2 Автоматизований модуль управління

Попри те, що теплові пункти добре працюють як посередники між великими мережами та споживачами, їм бракує гнучкості. Здебільшого, старі теплові пункти працюють напівавтоматично. Це означає, що основні показники, як температура, тиск і обсяг теплоносія, виставляються вручну. При цьому не беруться до уваги зміни умов зовні та всередині приміщень.

Через це виникають ті самі проблеми, що й у старих системах опалення: або занадто жарко, або холодно, енергія витрачається даремно, важко швидко реагувати на аварії або зміну навантаження.

Тому зараз теплові пункти вдосконалюють, впроваджуючи розумні системи керування. Вони можуть самі регулювати роботу обладнання, враховуючи поточні умови. Це допомагає заощаджувати енергію, стабільно подавати тепло та зменшувати витрати на обслуговування.

Головне в цій модернізації – автоматизований модуль управління. Це набір пристроїв і програм, які збирають дані з датчиків, обробляють їх і віддають команди насосам, клапанам і регуляторам (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Щит автоматизації на ЦТП.

Автоматизований модуль управління – це система, яка може автоматично регулювати та контролювати виробничий процес або стан обладнання. Система автоматичного управління в основному складається з таких ланок: ланка виявлення, контролер, привід, керований об'єкт та ланка зворотного зв'язку.

Ланка виявлення є вхідною частиною системи автоматичного управління. Її основна функція полягає в моніторингу стану та параметрів керованого об'єкта в режимі реального часу та перетворенні цієї інформації в електричні сигнали. Ланка виявлення зазвичай включає датчики, передавачі та інше обладнання. Датчик відповідає за перетворення фізичної величини керованого об'єкта (такої як температура, тиск, потік тощо) в електричні сигнали, а передавач перетворює ці електричні сигнали в стандартні сигнали, щоб контролер міг правильно їх ідентифікувати та обробляти.

Роль ланки виявлення в основному відображається в наступних аспектах:

- моніторинг в режимі реального часу: ланка виявлення може контролювати стан і параметри керованого об'єкта в режимі реального часу і надавати точну вхідну інформацію для контролера;

- перетворення сигналу: Ланка виявлення перетворює фізичну величину керованого об'єкта в електричний сигнал для зручної обробки контролером;

- обробка сигналу: ланцюг виявлення виконує необхідну обробку сигналу, таку як фільтрування та підсилення, для поліпшення якості та надійності сигналу.

Контролер є основною частиною системи автоматичного управління. Його основна функція полягає в обчисленні сигналу управління на основі вхідного сигналу, що надається ланкою виявлення, за допомогою певного алгоритму управління та надсиланні його до виконавчого механізму.

Контролер зазвичай складається з двох частин: апаратної та програмної. Апаратна частина відповідає за реалізацію обчислення алгоритму управління та виведення сигналу управління, а програмна частина відповідає за реалізацію конкретної логіки алгоритму управління.

Функції контролера в основному відображаються в наступних аспектах:

- алгоритм управління: контролер обирає відповідний алгоритм управління, такий як ПД-регулювання, нечітке регулювання, управління нейронною мережею тощо, виходячи з характеристик керованого об'єкта та вимог до управління;

- розрахунок сигналу управління: контролер розраховує сигнал управління на основі алгоритму управління для досягнення регулювання та управління об'єктом управління;

- адаптація та оптимізація: контролер може автоматично регулювати параметри управління відповідно до змін об'єкта управління та ефекту управління, таким чином досягаючи адаптивного та оптимізованого управління.

Привід є вихідною частиною системи автоматичного управління. Його основною функцією є прийом керуючого сигналу, що виводиться контролером, і перетворення його в механічні, гідравлічні, пневматичні та інші фізичні величини

для приведення в дію керованого об'єкта. Приводи зазвичай включають двигуни, гідравлічні циліндри, циліндри та інше обладнання.

Функції приводу в основному відображаються в наступних аспектах:

- перетворення сигналу: Привід перетворює електричний сигнал, що виводиться контролером, в механічні, гідравлічні, пневматичні та інші фізичні величини;

- приведення в дію керованого об'єкта: Привід приводить в дію керований об'єкт для виконання роботи, такої як регулювання відкриття клапана, зміна швидкості двигуна тощо;

- інформація зворотного зв'язку: привід передає інформацію про робочий стан керованого об'єкта контролеру, щоб контролер міг здійснювати подальші регулювання та управління.

Об'єкт управління є об'єктом управління автоматичної системи управління. Його основною функцією є прийом фізичної величини, що виводиться виконавчим механізмом, і робота відповідно до заздалегідь визначених вимог. Об'єктом управління можуть бути різні пристрої, процеси або системи, такі як нагрівачі в системах регулювання температури, клапани в системах регулювання тиску тощо.

Роль об'єкта управління в основному відображається в таких аспектах:

- досягнення цілей управління: керований об'єкт працює відповідно до інструкцій контролера для досягнення заздалегідь визначених цілей управління;

- вплив на ефективність управління: характеристики та параметри керованого об'єкта впливатимуть на показники ефективності системи управління, такі як стабільність та швидкість реагування;

- інформація зворотного зв'язку: робочий стан керованого об'єкта буде передаватися контролеру через ланку виявлення, забезпечуючи основу для регулювання та управління контролером.

1.3 Адаптивні системи

Адаптивне управління – це динамічний підхід до проектування систем управління, в якому параметри регулюються в режимі реального часу з урахуванням змін у системі або середовищі, в якому вона функціонує.

Адаптивні системи управління створені для постійної зміни своєї поведінки у відповідь на мінливі умови, невизначеності або збурення, які не були конкретно враховані на етапі проектування.

Це контрастує з традиційними системами управління, в яких параметри контролера є фіксованими і налаштовуються на основі заздалегідь визначеної моделі.

На рис. 1.4 наведено представлено функціональна схема адаптивної системи автоматичного керування. Система складається з регулятора, об'єкта керування та спеціального модуля адаптації параметрів.

На вхід подається значення, яке порівнюється з вихідним параметром об'єкта. Регулятор формує керуючий сигнал, що передається на об'єкт. На основі вихідного сигналу система аналізує динаміку процесу та через модуль автоматично змінює параметри регулятора.

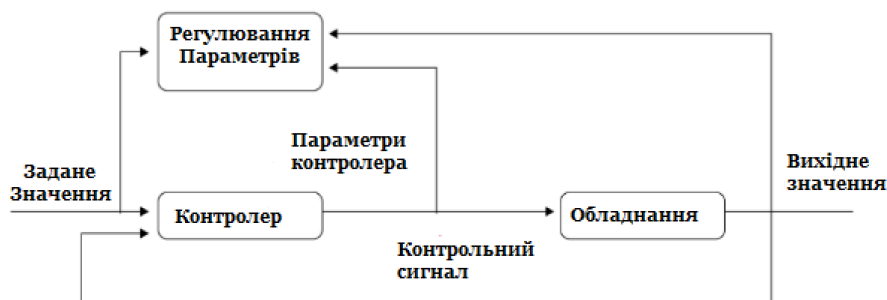


Рисунок 1.4 – Функціональна схема адаптивної системи управління

Основною характеристикою адаптивної системи управління є її здатність до саморегулювання параметрів. Зазвичай це здійснюється за допомогою механізму

адаптації, який контролює роботу системи та змінює параметри контролера за необхідності.

Адаптивні системи управління можна уявити як системи з двома контурами: контуром регулювання параметрів та звичайним контуром зворотного зв'язку, що включає процес та контролер. У міру зміни системи або середовища адаптація дозволяє контролеру підтримувати або покращувати продуктивність.

Адаптивне управління часто базується на оцінці параметрів або станів системи в режимі реального часу.

Адаптивні контролери використовують дані в режимі реального часу для оцінки важливих параметрів, оскільки точна модель системи може бути невідомою або змінюватися з часом.

Затем закони управління динамічно модифікуються з використанням цих оцінок. Ця процедура, яка іноді називається адаптацією або оцінкою параметрів, є необхідною для ефективної роботи адаптивної системи управління. Регресійні моделі та метод найменших квадратів є двома методами оцінки.

Спеціальні закони адаптації регулюють процес адаптації в адаптивних системах управління, визначаючи, як слід змінювати параметри контролера у відповідь на спостережуване продуктивність системи.

Ці закони, які гарантують стабільність системи та її збіжність до бажаної продуктивності, створюються за допомогою різних методів, включаючи методи градієнтного спуску та теорію стійкості Ляпунова.

Підтримка стабільності системи під час її пристосування до мінливих умов є одним з основних викликів в адаптивному контролі. Адаптивні контролери, що забезпечують стабільність системи під час адаптації, часто розробляються з використанням теорії стабільності, особливо прямого методу Ляпунова. Крім того, функції збіжності адаптивного алгоритму мають вирішальне значення для гарантування того, що параметри контролера встановлюються на ідеальні значення і продуктивність системи поступово поліпшується.

Головною перевагою адаптивного управління є його здатність управляти невизначеностями та змінами в динаміці системи без необхідності ручного

переналаштування контролера. Завдяки цьому адаптивне управління ідеально підходить для систем з невизначеними умовами експлуатації або відносно незнайомою моделлю системи.

Адаптивні системи управління призначені для адаптації своїх параметрів у реальному часі з метою пристосування до змін у динаміці системи або зовнішніх збурень.

Існує два методи адаптивного управління: прямий і непрямий. Ці методи відрізняються тим, як вони використовують оцінені параметри.

Оцінювані параметри використовуються безпосередньо в адаптивному контролері при прямому адаптивному управлінні. Непряме адаптивне управління визначає необхідні параметри контролера на основі оцінених параметрів.

Розроблено кілька типів адаптивних систем управління, кожна з яких має власний набір методів адаптації та управління. Серед найбільш поширених – адаптивне управління з еталонною моделлю, самоналагоджувальні регулятори та інші специфічні адаптивні системи управління. Кожен тип має свої переваги та недоліки, особливо в галузі силової електроніки, де умови системи можуть різко змінюватися.

Модельно-орієнтоване адаптивне регулювання – це популярний метод прямого адаптивного регулювання, в якому еталонна модель визначає бажану поведінку системи. Щоб вихідні дані системи максимально наближалися до вихідних даних еталонної моделі, контролер динамічно змінює свої параметри. У номінальних умовах еталонна модель відображає ідеальну реакцію системи.

Розбіжність між вихідними даними еталонної моделі та фактичними вихідними даними системи визначає процес адаптації в MRAC. Згодом параметри контролера змінюються для зменшення цієї помилки.

На рис. 1.5 представлена функціональна схема моделі-орієнтованої адаптивної системи керування. У системі формується еталонний сигнал виходу за допомогою спеціальної моделі, яка описує бажану динаміку процесу.

Регулятор генерує керуючий сигнал на основі вхідного завдання та своїх поточних параметрів. Порівняння фактичного виходу об'єкта з виходом еталонної

моделі здійснюється в блоці механізму адаптації, який визначає необхідні зміни параметрів регулятора.

Це забезпечує автоматичне підлаштування регулятора до змінних умов роботи об'єкта.

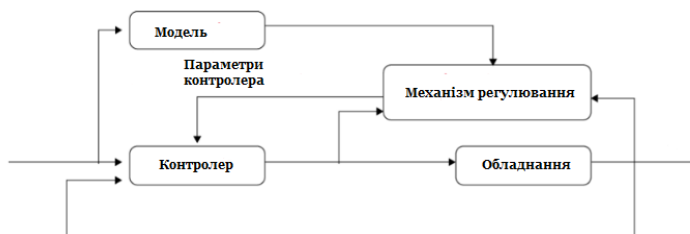


Рисунок 1.5 – Функціональна схема адаптивної системи управління?

MRAC особливо корисний у системах силової електроніки, таких як приводи двигунів і перетворювачі потужності, де параметри системи, такі як навантаження або напруга живлення, можуть значно змінюватися. Наприклад, у системі приводу двигуна контролер MRAC може адаптуватися до змін крутного моменту навантаження, забезпечуючи оптимальну продуктивність без необхідності ручного переналаштування.

Переваги:

- гарантує, що вихідна потужність системи максимально наближена до бажаної продуктивності;
- стійкість до змін у динаміці системи;
- підходить для систем з чітко визначеними еталонними моделями.

Самоналагоджувальні регулятори – це непрямі адаптивні контролери, які змінюють свої налаштування залежно від оцінки динаміки системи в режимі реального часу. На відміну від MRAC, який покладається на еталонну модель для визначення адаптації, системи безпосередньо виявляють і змінюють параметри моделі системи. Ці фактори потім використовуються для зміни закону керування, що забезпечує оптимальну продуктивність системи. На рис. 1.6, представлена функціональна схема.

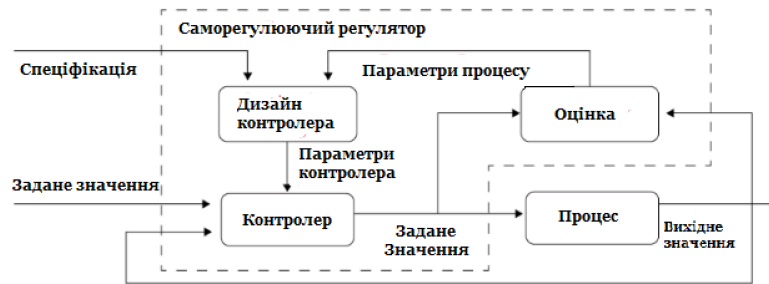


Рисунок 1.6 – Функціональна схема самоналагоджувального регулятора

Контролер починає роботу з початковим набором параметрів, заснованим на номінальній моделі системи. Під час роботи системи процедура онлайн-ідентифікації оцінює поточні параметри системи, такі як постійні часу, коефіцієнти підсилення та затримки.

Потім закон управління оновлюється залежно від оцінених параметрів, що по суті означає налаштування контролера в режимі реального часу для реагування на мінливі умови.

Зазвичай такий контролер застосовується в системах, де параметри системи є змінними або їх важко точно змодельювати. Наприклад, у перетворювачі постійного струму, де навантаження змінюється непередбачувано, може модифікувати параметри управління, щоб підтримувати постійну вихідну напругу.

Переваги:

- може працювати з системами, що мають невизначені або змінні в часі параметри;
- гнучкість у налаштуванні до різних умов експлуатації;
- не потрібна заздалегідь визначена еталонна модель.

Планування коефіцієнта підсилення – це практична техніка адаптивного управління, в якій параметри контролера змінюються у відповідь на заздалегідь визначені умови роботи або графіки.

Замість безперервної адаптації система чергує різні набори коефіцієнтів підсилення контролера на основі поточної робочої точки.

Система планування коефіцієнта підсилення розділяє діапазон роботи на багато областей, кожна з яких має власний набір параметрів контролера. Коли умови роботи системи змінюються (наприклад, швидкість, навантаження або температура), контролер вибирає відповідний набір параметрів із плану.

Цей метод дозволяє здійснити частково-лінійне наближення закону управління, що забезпечує адаптивність без складності безперервної модифікації параметрів. Планування коефіцієнта підсилення може здійснюватися у вигляді таблиці або функції. На рис. 1.7, представлено функціональну схему.

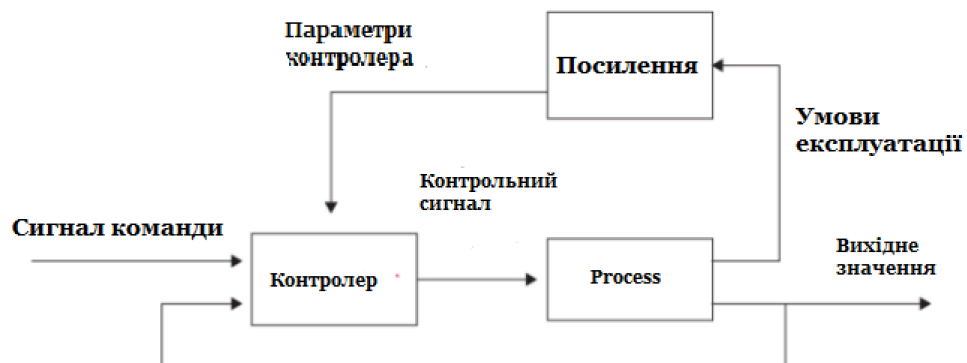


Рисунок 1.7 – Функціональна схема системи управління з плануванням коефіцієнта підсилення

Планування коефіцієнта підсилення широко використовується в аерокосмічних застосуваннях, таких як управління динамікою польоту літаків, де динаміка системи різко змінюється залежно від умов польоту.

В силовій електроніці воно може використовуватися в таких застосуваннях, як приводи двигунів із змінною швидкістю, де стратегія управління повинна змінюватися залежно від швидкості та навантаження двигуна.

Переваги:

- реалізація простіша, ніж безперервне адаптивне управління;
- ефективне для систем з чітко визначеними областями роботи;
- зменшує обчислювальне навантаження, уникаючи безперервної адаптації.

1.4 Інтеграція газового котла в систему центрального теплоснабження

В умовах руйнування основних теплоелектроцентралей в Україні запропоновано впровадження газових котлів як альтернативного джерела тепlopостачання.

Ці котли передбачається інтегрувати в систему центральних теплових пунктів для забезпечення безперебійного постачання теплової енергії до споживачів та адаптації до сучасних викликів.

Такий підхід покликаний мінімізувати перебої в роботі тепломережі, забезпечуючи стабільність та тепlopостачання в умовах надзвичайних ситуацій. енергоефективність Робота опалювального котла заснована на нагріванні теплоносія, що циркулює через пристрій.

Нагрів реалізується через використання теплотворної здатності палива (газу, твердих та рідких енергоносіїв), яке спалюється в камері топки котла. Електричні агрегати нагрівають теплоносій, використовуючи опір матеріалів при протіканні через них електричного струму. Газові котли вважаються найвигіднішими щодо величини витрат на паливо. Вони мають ККД (коефіцієнт корисної дії) близько від 85 до 90%, відрізняються надійністю та простотою управління.

Основні плюси газових котлів у порівнянні з іншими джерелами опалення:

- у 2 рази дешевше в період експлуатації (порівняно з електричними котлами);
- великий вибір;
- при вимкненні електрики можуть працювати на невеликому електрогенераторі;
- не вимагають постійного догляду (порівняно з твердопаливними котлами);
- за рахунок їхньої варіативності, можна підібрати котел до будь-якої системи. Вони можуть бути як додатковим джерелом тепла, так і основним з

можливістю погодозалежного управління та регулювання всією системою опалення через інтернет;

- прості у монтажі;
- мають величезну модуляцію (1:20).

За класифікацією газові котли поділяються на кілька типів:

– димохідний, турбований чи парапетний котли;– з відкритою або закритою камерою горіння;

- конденсаційні чи не конденсаційні;
- одноконтурні, двоконтурні чи комбіновані.

Димохідні газові котли – це котли, які використовують природний спосіб відведення продуктів згорання через вертикальний димохід. Вони потребують спеціально облаштованої вентиляційної системи, оскільки робота таких котлів залежить від тяги, що забезпечується димоходом.

Цей вид котлів є найбільш традиційним і потребує більш ретельної установки, особливо в багатоповерхових будинках.

Турбовані котли оснащені вентилятором, який примусово виводить продукти згорання через коаксіальний димохід (труба в трубі). Завдяки такій системі котли можна встановлювати навіть у приміщеннях без природної тяги. Турбовані газові котли є більш компактними та безпечними, адже вони не залежать від умов вентиляції приміщення.

Парапетні газові котли є автономними пристроями, які не потребують окремого димоходу. Вони працюють за принципом замкнутого циклу, де повітря для горіння надходить із зовнішнього середовища через спеціальний канал у стіні будівлі, а продукти згорання виводяться через той самий канал.

Це робить парапетні котли ідеальним рішенням для квартир, де немає можливості встановити димохідну систему. Газові котли з відкритою камерою згорання беруть повітря для горіння пального з приміщення.

Даний тип газових котлів поступово знімають з виробництва через їх небезпечну роботу, низьку продуктивність і невелику модуляцію потужності, порівняно з іншими типами газових котлів.

Котли із закритою камерою згоряння беруть повітря для горіння пального з вулиці за допомогою димаря. Від цього типу котла виходить два димарі (один для викиду відпрацьованих газів, другий для забору повітря з вулиці).

Котлів із закритою камерою є кількох видів: конденсаційні та котли без конденсації (рис. 1.8).

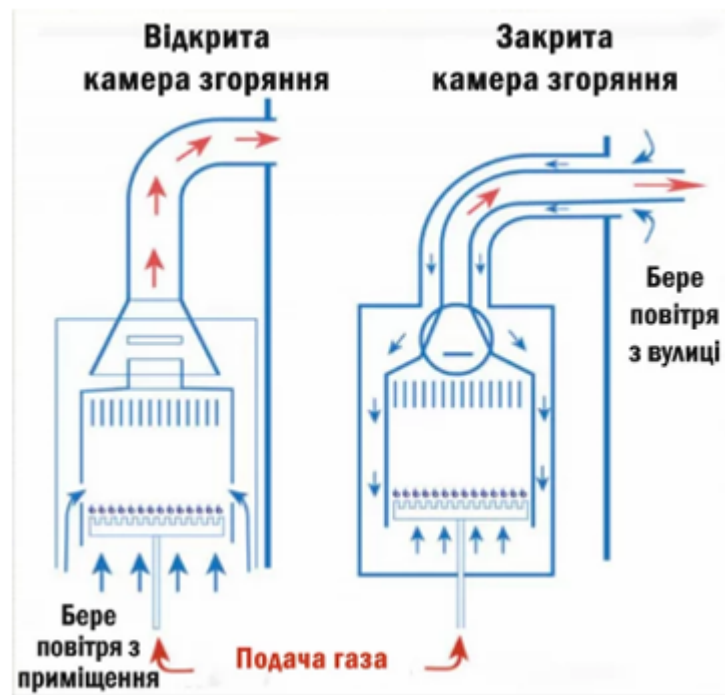


Рисунок 1.8 – Газові котли з відкритою та закритою камерою згоряння

Газові котли без конденсації – найпоширеніший тип котлів на сьогоднішній день – але не найефективніший.

Вони популярні через відносну дешевизну, в порівнянні з конденсаційними котлами, і легкість монтажу. Конденсаційні котли – найекономічніший і найефективніший тип газових котлів на сьогоднішній день.

У них вище ККД, ніж у звичайних газових котлів за рахунок вологи, яка знаходиться в димових газах.

Даний тип котлів просто не видаляє вологу через димохід (як це відбувається в котлах без конденсації), а скидає її в дренаж.

Для видалення вологи з димових газів звичайний котел витрачає близько 11% своєї енергії, відповідно, конденсаційний котел на 11% ефективніший. Але для того, щоб вода осідала на теплообміннику котла потрібно підтримувати температуру подачі до 55 °С.

Також необхідно використовувати теплообмінник з нержавіючої сталі, інакше він вийде з ладу через один сезон своєї роботи. Тому ціна конденсаційних котлів значно вища (рис. 1.9).

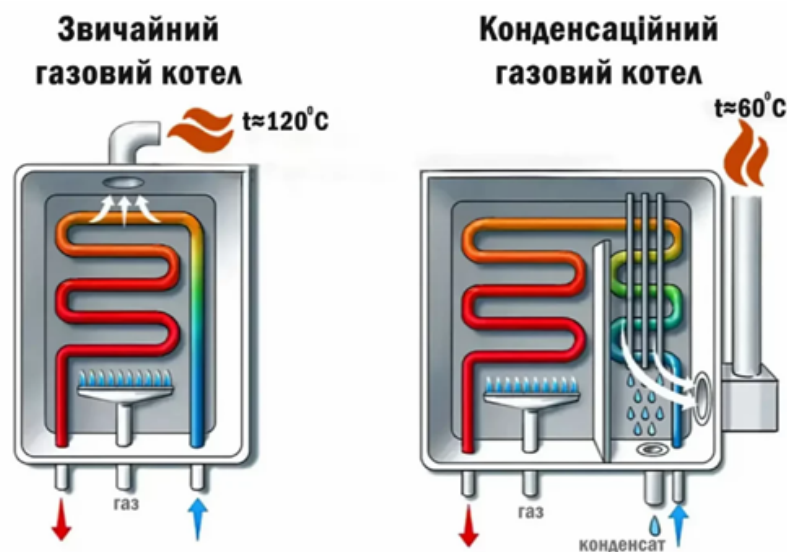


Рисунок 1.9 – Звичайний та конденсаційний газовий котли

Газові котли, як універсальні пристрої для забезпечення цих потреб, поділяються на одноконтурні та двоконтурні моделі залежно від їхніх функціональних можливостей.

Одноконтурні газові котли спеціалізуються виключно на опаленні приміщень. Їхня робота базується на принципі теплообміну: під час згоряння природного газу у камері згоряння виділяється тепло, яке через теплообмінник передається теплоносію. Нагрітий теплоносій циркулює у системі опалення, забезпечуючи стабільне і рівномірне прогрівання приміщення (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Будова одноконтурного котла

Двоконтурні газові котли поєднують функції опалення приміщень і гарячого водопостачання. Принцип їхньої роботи схожий з одноконтурними моделями щодо опалення, але вони мають додатковий контур для нагрівання води.

У момент відкриття крана гарячої води котел автоматично перенаправляє енергію для нагріву води, забезпечуючи її подачу в режимі реального часу. Це робить двоконтурні моделі особливо зручними для будинків і об'єктів, де є постійна потреба в гарячій воді (рис 1.11).

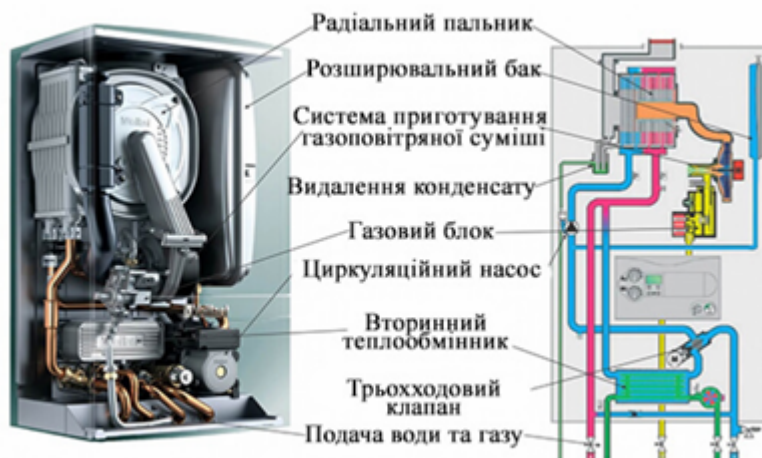


Рисунок 1.11 – Будова двоконтурного котла

Таким чином, одноконтурні котли є оптимальним вибором для тих, хто потребує виключно ефективного опалення, тоді як двоконтурні моделі дозволяють забезпечити і опалення, і гаряче водопостачання, що підвищує зручність експлуатації.

Для забезпечення стабільного теплопостачання в центральних теплових пунктах рекомендовано використовувати конденсаційні газові котли завдяки їхній високій енергоефективності, екологічності та адаптивності до різних систем опалення.

Двоконтурні моделі є оптимальними для об'єктів з додатковими потребами гарячого водопостачання. Інтеграція таких котлів дозволить знизити енергозатрати і підвищити надійність теплопостачання.

У першому розділі проведено теоретичний аналіз предметної області, що охоплює принципи функціонування центральних теплових пунктів, структуру автоматизованих модулів управління та методи адаптивних систем.

ЦТП є проміжною ланкою між централізованою системою теплопостачання і споживачами, виконуючи функції регулювання параметрів теплоносія, розподілу тепла та обліку споживання. Традиційні теплові пункти працюють напівавтоматично з ручним регулюванням, що призводить до "перетопів", "недотопів" та неефективного використання енергії. Проаналізовано структуру автоматизованого модуля управління, який складається з датчиків, контролера, приводів та зворотного зв'язку.

Досліджено три основні типи адаптивних систем управління: адаптивне управління з еталонною моделлю (MRAC), самоналагоджувальні регулятори та планування коефіцієнта підсилення. Розглянуто можливості інтеграції газових котлів у систему ЦТП.

Обґрунтована модернізація газових котлів у центральних теплових пунктів України. Конденсаційні газові котли демонструють найвищу енергоефективність із ККД на 11% більшим порівняно зі звичайними котлами, що дозволяє суттєво знизити витрати на паливо. Двоконтурні моделі забезпечують як опалення, так і гаряче водопостачання, що робить їх універсальним вибором для різних об'єктів.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ПОДАЛЬШОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЦТП

2.1 Недоліки сучасних теплових пунктів та систем централізованого теплопостачання

Існуюча система централізованого теплопостачання України була сформована переважно в період масового житлового будівництва 60-х – початку 80-х років ХХ століття і з того часу майже не модернізувалася. Через це більшість теплотехнічної інфраструктури сьогодні має значний ступінь фізичного та морального зносу.

Проблеми системи охоплюють як джерела теплової енергії, так і транспортні мережі та центральні теплові пункти (ЦТП):

Застарілі котельні: значна частина котлів має низький ККД (від 70 до 80%), обладнана застарілими пальниковими пристроями та автоматикою. Із наявних 69,8 тис. котлів близько 23,7% експлуатуються понад нормативний термін у 20 років, що призводить до перевитрат палива (на 20% більше від сучасних стандартів) та підвищених викидів.

Зношені теплові мережі: близько 5,2 тис. км трубопроводів знаходяться у старому та аварійному стані. Значна частина мереж прокладена в непрохідних залізобетонних каналах з мінераловатною ізоляцією, що часто замочується ґрунтовими водами. Це спричиняє зовнішню корозію металу, появу свищів, розриви труб та великі теплові втрати.

Втрати теплової енергії: у магістральних мережах втрати часто перевищують нормативні значення більш ніж на 10%, а сумарні втрати з урахуванням розподільчих мереж можуть досягати 30% від відпущеної теплоти.

Проблеми ЦТП: близько 40% центральних теплових пунктів перебувають у старому або аварійному стані. Значна частина з них:

- не має сучасних змішувальних пристроїв;
- використовує нерегульовані елеваторні вузли;

– не оснащена циркуляційними насосами чи системами автоматичного регулювання;

не забезпечує належної гідравлічної та теплової стабільності системи.

Через це споживачі отримують нестабільні параметри теплоносія, виникають перебої в гарячому водопостачанні, а теплопостачальна компанія зазнає суттєвих енергетичних втрат.

Впродовж всіх років існування і становлення України як незалежної держави підприємства житлово-комунального господарства, і в першу чергу теплопостачальні, виконували і виконують досі функцію «соціального буфера і вогнегасника».

Технічний рівень систем і обладнання багато років практично не оновлювався. За останні 15-20 років було використано майже всі внутрішні технічні резерви систем і обладнання, забезпечено його технічне і моральне старіння.

Під час дослідження, було проаналізовано декілька графіків залежностей теплових характеристик від температури зовнішнього повітря.

Аналіз іноземних досліджень оптимізації роботи систем опалення приміщень (рис. 2.1), підключених до централізованого теплопостачання показав наступні недоліки в роботі вітчизняних ЦТП:

– у сучасних застарілих ЦТП часто немає можливості чітко підтримувати таку криву через відсутність якісного регулювання;

– якщо фактична подача теплоносія не відповідає теоретичній кривій, це може свідчити про регуляторні проблеми, надмірну циркуляцію або нестабільність системи.

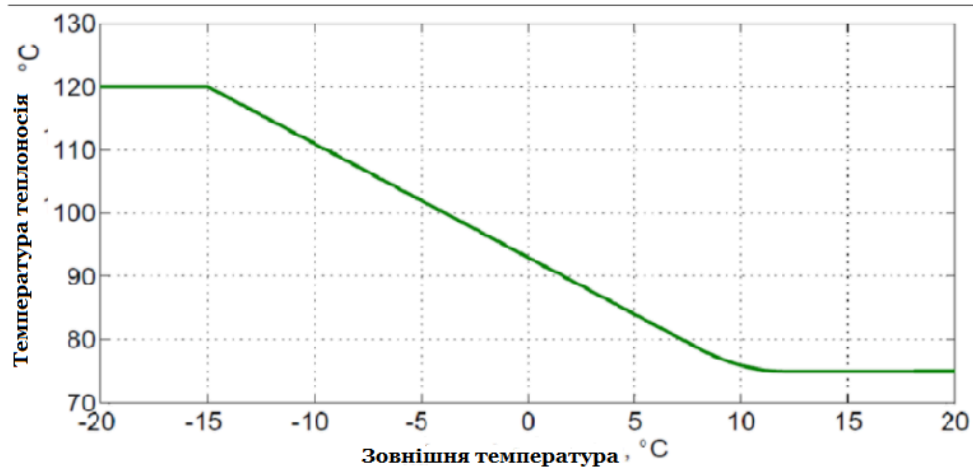


Рисунок 2.1 – Досліджена температурна крива опалення

На рис. 2.2, представлені дані з дослідження моделей навантаження централізованого теплопостачання та короткострокового прогнозування для будівель та міста.

Дослідження проводились в місті Гельсінкі, та відповідних закладах: офіс, лікарня, житловому будинку, торговому центрі та центри освіти дорослих. Кожна точка показує годинну навантаженість при різній температурі зовнішнього повітря.

В результаті аналізу:

- розкидання точок навантаження показує, що в система можуть бути пікові навантаження, або нерівномірне завантаження;
- відхилення вказують на нестабільність гідравліки або недостатнє регулювання;
- додаткові втрати тепла в мережі або про неправильний поділ потоків теплоносія між споживачами.

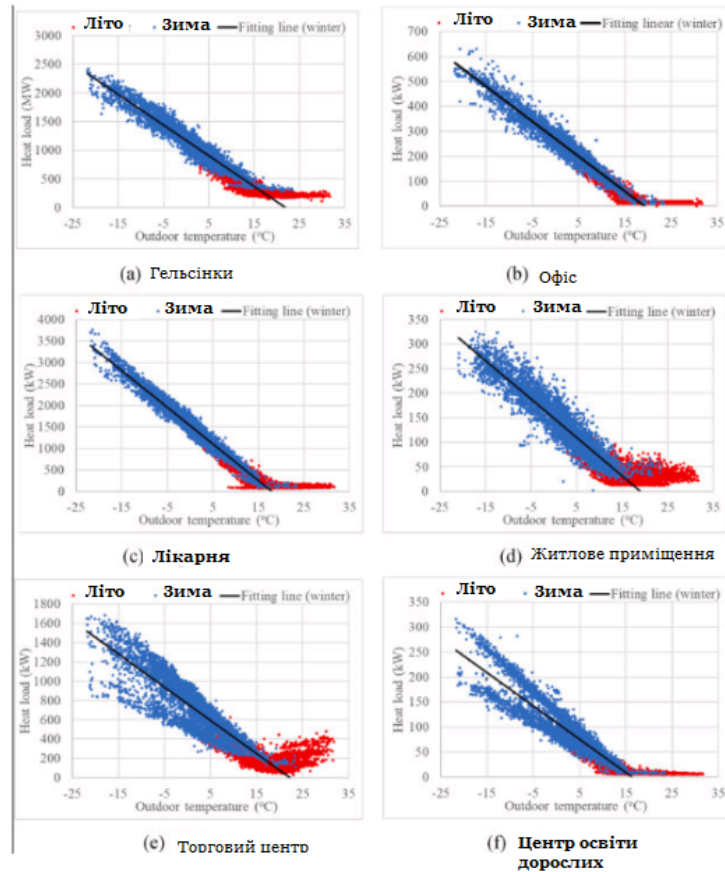


Рисунок 2.2 – Графіки залежності теплового навантаження від температури зовнішнього повітря

Для доброго розуміння важливості контролю подачі теплопостачання в різні години доби, було використано діаграму теплового навантаження в залежності в 3 часових проміжків, від 19:00 до 21:00, від 6:00 до 18:00 та 22:00 та 5:00. Можна визначити, що навіть при однаковій зовнішній температурі навантаження може суттєво відрізнятись залежно від часу доби (рис. 2.3).

В час пік, йде найбільше навантаження системи, в нічний час після йде спад навантаження внаслідок накопленого тепла. В більш теплі часи доби 6:00 від 18:00 можна побачити зменшення навантаження.

– закономірності показують, що автоматизація ЦТП повинна враховувати не тільки температурні криві, але й час доби;

– Старі системи, де немає інтелектуального регулювання, може виникати перетоп у пікові години або недостатнє завантаження уночі.

Основною перешкодою на шляху впровадження автоматизованих центральних теплових пунктів та якісно – кількісного регулювання системи тепlopостачання є не лише неготовність джерел енергії.

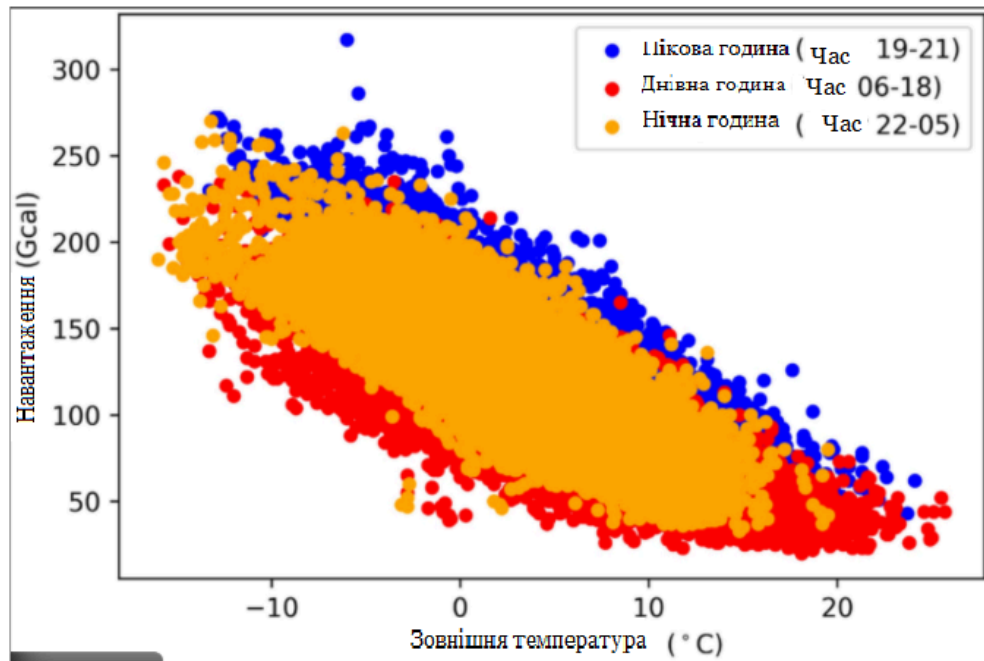


Рисунок 2.3 – Графіки залежності теплового навантаження в різні часи доби

Не менш важливим є порушення гідравлічної та теплової стійкості абонентських систем опалення для тих будинків, які не матимуть автоматизованих індивідуальних теплових пунктів на вводі в будівлі.

Це відбудеться в результаті неминучої зміни перепаду тиску та витрат теплоносія, що надходить від теплових мереж до таких будівель.

Особливо у разі значних змін у витраті теплоносія, а також, у разі залежного підключення абонентських систем і, як вже було сказано вище, у разі відсутності змішувальних пристроїв та циркуляційних насосів на індивідуальних теплових пунктах.

2.2 Способи вирішення основних проблем подальшої автоматизації

Аналіз сучасного стану центральних теплових пунктів свідчить, що значна частина обладнання працює на межі своїх технічних можливостей, що безпосередньо впливає на якість теплопостачання, енергоефективність та надійність системи.

Технічний стан матеріалів, конструкцій та елементів автоматики визначає працездатність ЦТП в умовах динамічних змін теплового навантаження, кліматичних факторів та режимів експлуатації.

Показники складу та структури матеріалів є важливою групою характеристик, що визначають їхню стійкість до корозії, впливу високих температур, хімічної взаємодії з теплоносієм та механічних навантажень.

Від якості конструкційних матеріалів теплообмінників, трубопроводів і теплоізоляційних елементів залежить тривалість їх служби, а також енерговитрати системи.

Наявність небажаних домішок у матеріалах або порушення мікроструктури може призводити до прискореного старіння обладнання та збільшення втрат тепла.

Важливою характеристикою ЦТП є надійність, яка визначає його здатність стабільно виконувати покладені функції протягом тривалого часу.

До показників надійності належать:

- здатність працювати без перерв і аварій у заданих умовах;
- збереження працездатності до граничного стану за умови періодичного технічного обслуговування;
- можливість оперативного виявлення та усунення дефектів;
- стійкість обладнання до впливу умов зберігання та транспортування.

У сучасних вимог до теплопостачання особливу роль відіграють функціональні показники ЦТП. Насамперед це теплова потужність та енергоефективність, які визначають здатність системи забезпечувати необхідний рівень теплового навантаження при мінімальних витратах енергії.

Енергоефективність безпосередньо залежить від стану теплообмінників, регулюючої арматури, теплоізоляції та методів керування режимами роботи.

Не менш важливими є конструктивні характеристики, такі як габаритні розміри, компактність, модульність, взаємозамінність елементів та зручність технічного обслуговування. Від цих параметрів залежить можливість модернізації існуючих об'єктів, адаптації до нових технологічних вимог та підключення автоматизованих систем управління.

Сучасні системи теплопостачання вимагають впровадження технологій, які дозволяють не лише контролювати основні параметри, а й забезпечувати адаптивне керування в реальному часі. Саме тому актуальним є застосування автоматизованих модулів керування, що здатні оптимізувати роботу теплового пункту залежно від зовнішніх умов та потреб тепло споживачів.

Елементи автоматизації формують динамічне технологічне середовище, яке дає змогу підвищити надійність, стабільність та ефективність роботи ЦТП.

Це пояснюється тим, що автоматизовані системи реагують на зміни параметрів оперативніше, ніж традиційні механічні або ручні методи керування. Завдяки цьому зменшуються теплові втрати, підвищується комфорт у приміщеннях споживачів та забезпечується прозорий моніторинг роботи обладнання.

Для підвищення ефективності системи централізованого теплопостачання потрібна комплексна модернізація. Враховуючи значний ступінь зношеності інфраструктури та обмежені фінансові можливості, модернізація повинна бути поетапною та економічно обґрунтованою.

Перехід до такої комплексної модернізації може бути повністю здійснений лише після впровадження у всіх, без винятку, будівлях, підключених до системи центрального теплопостачання незалежної схеми підключення.

У зв'язку з цим, як перехідний варіант, у системі центрального теплопостачання з будинками без автоматизованих індивідуальних теплових пунктів пропонується виконувати локальне групове регулювання на центральних теплових пунктах.

Перехід до сучасної схеми групового якісно-кількісного регулювання подачі тепла можливий лише за умови реконструкції центральних теплових пунктів.

Це включає:

- встановлення теплообмінників для незалежного підключення;
- впровадження змішувальних вузлів;
- обладнання насосних груп із частотним регулюванням;
- заміну застарілої автоматики.

Повністю уникнути гідравлічних дисбалансів можливо лише після оснащення всіх будинків автоматизованими ІТП зі змішувальними пристроями.

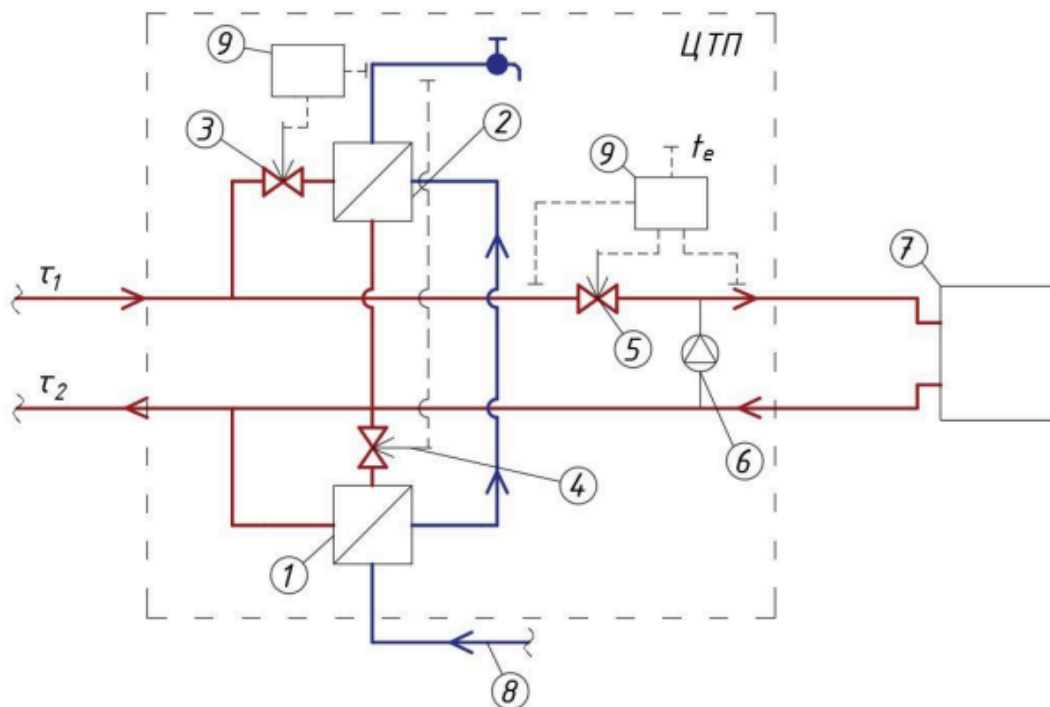
Для будинків, які тимчасово не можуть бути оснащені ІТП, групове регулювання дозволяє:

- зменшити “перетопи”;
- забезпечити належний температурний режим;
- стабілізувати гідравліку системи.

Використання сучасного регулювального та насосного обладнання:

– застосування підмішувальних насосів з частотним регулюванням та регуляторів потоків дозволяє оптимізувати витрати теплоносія.

На рис. 2.4, наведена принципова схема реконструкції центральних теплових пунктах для можливості переходу на якісно-кількісне групове регулювання відпуску теплоти.



τ_1 – подавальний трубопровід тепломережі; τ_2 – зворотний трубопровід тепломережі; 1 – теплообмінник гарячого водопостачання першого ступеню; 2 – теплообмінник гарячого водопостачання другого ступеню; 3 – регулятор температури гарячої води теплообмінника другого ступеню; 4 – регулятор температури гарячої води теплообмінника першого ступеню; 5 – регулятор витрати теплоносія на опалення (підтримка постійних витрат теплоносія на опалення); 6 – підмішувальний насос з частотним регулюванням в центральному тепловому пункті; 7 – споживач теплоти на опалення; 8 – подача холодної води для гарячого водопостачання; 9 – контролер.

Рисунок 2.4 – Принципова схема реконструкції центрального теплового пункту для реалізації якісно-кількісного регулювання відпуску теплоти для опалення та гарячого водопостачання

Адаптивне регулювання у поєднанні з груповим регулюванням в центральних теплових пунктах для будинків, підключених до системи центрального тепlopостачання за залежною схемою (без змішувальних пристроїв та без автоматичного регулювання залежного від зовнішньої температури), дозволяє уникнути значних непродуктивних втрат теплоти з «перетопами».

Також забезпечує поліпшені умови для роботи генераторів теплоти, у тому числі в конденсаційному режимі та інших низькотемпературних джерел тепла. Така система забезпечує можливість надання послуг з гарячого водопостачання протягом всього опалювального періоду та зменшує витрати електроенергії, що суттєво підвищує загальну ефективність роботи системи центрального тепlopостачання.

2.3 Модуль адаптивної системи центрального теплового пункту як спосіб вирішення поставлених проблем

Автоматизований модуль адаптивної системи керування ЦТП є одним із найбільш ефективних та перспективних шляхів вирішення вищенаведених проблем. Він дозволяє:

- реалізувати якісно-кількісне регулювання подачі тепла залежно від зовнішніх умов (погода, теплове навантаження, час доби);
- адаптуватися до змін гідравлічних режимів у мережі та будинках-споживачах;
- стабілізувати температуру подачі та повернення, що зменшує втрати та підвищує ефективність роботи джерела тепла;
- оптимізувати роботу насосного обладнання, зменшуючи електроспоживання;
- забезпечити моніторинг у реальному часі, включно з температурою, тиском, витратою та станом обладнання;
- використовувати алгоритми адаптивного та інтелектуального керування, що підвищує точність роботи системи;
- попереджати аварійні ситуації за рахунок аналізу трендів та прогнозування параметрів;
- зменшити “перетопи” та непродуктивні втрати теплоти, що є одним з головних напрямів підвищення ефективності тепlopостачання.

Таким чином, впровадження автоматизованого адаптивного модуля на рівні ЦТП є логічним, технологічно обґрунтованим та економічно доцільним кроком для модернізації систем централізованого тепlopостачання в Україні.

Це дає змогу покращити якість надання послуг, зменшити теплові втрати та забезпечити більш стабільний і ефективний режим подачі теплоносія до споживача.

Поставлена задача вирішується за рахунок встановлення та застосування модуля автоматизації управління адаптивними параметрами подачі теплоносія споживачам, який містить подавальний та зворотний трубопроводи теплової мережі, на котрих встановлені запірні арматура, сітчастий фільтр, циркуляційний насос, датчик-реле тиску, датчики температури теплоносія, додатково введено електронний адаптивний клапан, що знаходиться в подавальному трубопроводі ЦТП, вихід якого з'єднано засобами передачі даних зі входом програмованого контролера, що знаходиться в щиті автоматизації, основне призначення якого отримання інформації від датчиків температури: датчики температури та тиску теплоносія, виносного датчику визначення температури повітря (кліматичний) і виносного датчику визначення температури повітря (у приміщенні споживачів), а потім її подальша обробка та видача відповідних команд, які також за допомогою засобів передачі даних передається у вигляді відповідної команди до регулятора температури з електроприводом електронного адаптивного клапану для визначення його відповідного положення в трубі ЦТП (рис. 2.5).

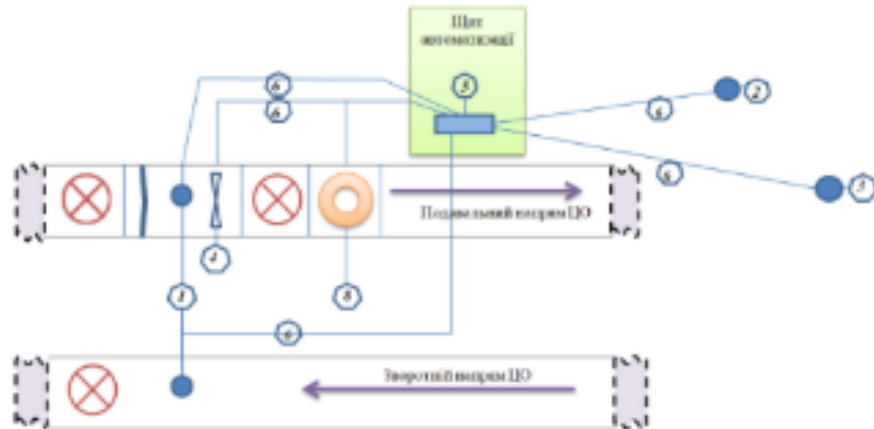


Рисунок 2.5 – Загальна схема розташування модуля автоматизації управління адаптивними параметрами підготовки і подачі теплоносія споживачам на ЦТП.

Перелік технічних засобів відповідно до нумерування:

1. Датчики температури та тиску теплоносія – на трубах подавального та зворотного напрямку ЦТП;
2. Виносний датчик визначення температури повітря (кліматичний);
3. Виносний датчик визначення температури повітря (у приміщенні);
4. Електронний адаптивний клапан;
5. Програмований контролер (ПК);
6. Засоби передачі даних;
7. Рідинно-кристалічний дисплей програмованого контролеру;
8. Вузол обліку теплоносія.

Запропонований модуль автоматизації управління адаптивними параметрами подачі теплоносія споживачам працює наступним чином. Програмований контролер (5) постійно отримує за допомогою засобів передачі даних і обробляє інформацію від датчиків (1, 2, 3) про поточне значення температурних параметрів.

Після обробки отриманої інформації ПК у автоматизованому режимі надає команду на регулятор температури з електроприводом електронного адаптивного клапану для визначення його відповідного положення «відкрито».

Це відповідне положення електронного адаптивного клапану (4), на основі обробленої інформації визначає параметр температури теплоносія, який подається до приміщень споживачів.

Якщо відбувається різка зміна кліматичної температури повітря, то програмований контролер (5) з виносного датчика визначення температури повітря (кліматичний) (2) своєчасно отримує цю інформацію та автоматизовано надає команду електронному адаптивному клапану (4) на відпрацювання параметрів температури теплоносія за допомогою механізму регулятора температури з електроприводом, з метою їх підвищення до відповідного значення показників температури у приміщеннях споживачів.

Цю інформацію для ПК постійно видають виносні датчики температури повітря у приміщенні споживачів. Механізм регулятора температури з електроприводом електронного адаптивного клапану (4) буде відпрацьовувати до тих пір, поки температура у приміщенні не стане відповідати заданій температурі на основі проведених досліджень.

Оператор ЦТП повинен постійно контролювати правильність та своєчасність надходження інформації від датчиків, її обробку та виконання команд механізму регулятора температури з електроприводом електронного адаптивного клапану. А у випадку відсутності або несвоєчасності надходження 4 цієї інформації виконувати відповідні до ситуації управлінські дії: перевірку, регулювання, зупинку та перехід до ручного управління, тощо.

Додатково можливо використання електронного адаптивного клапана, що входить до складу модулю автоматизації управління адаптивними параметрами подачі теплоносія, з механічними приладами вимірювання параметрів стрілочного типу.

На практичне застосування модуля автоматизації були проведені стендові випробування системи ЦТП в цілому. Випробування показали, що запропонована

модель підвищує ККД системи ЦТП від 15% до 40% в залежності від кількості підключених споживачів.

Таким чином, в другому розділі проведено аналіз існуючих на сьогодні час проблем на цтп, та запропоновано спосіб вирішення деяких проблем пов'язаних автоматизованим контролем якості подачі теплоносія споживачам, який базується на основі частоті зміни кліматичної температури повітря. Реалізуються цей спосіб, за рахунок розробки адаптивної системи яка складається: датчиків температури та тиску теплоносія, виносних датчиків температури повітря у приміщення та кліматичних, електронний адаптивний клапан, засоби передачі даних, дідинно-кристалічний дисплей програмованого контролеру, вузолу обліку теплоносія.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Вербальний опис програми управління

Алгоритм роботи адаптивного модуля побудований на послідовному зборі інформації, її аналізі, ухваленні керуючих рішень та виконанні цих рішень виконавчими механізмами. Уся логіка організована так, щоб система могла самостійно реагувати на будь-які зміни зовнішніх та внутрішніх температурних параметрів і забезпечувати споживачам стабільний комфорт.

Поділимо цикл на 6 етапів:

Збір отриманої інформації, яка надходить з датчиків:

- температури подаючого трубопроводу;
- температури зворотного трубопроводу;
- температури приміщення;
- температури зовнішнього повітря;
- тиску.

Після отримання необхідних даних, інформація аналізуються та порівнюється з отриманими шаблонами норм температури та тиску, тобто програмований контролер порівнює значення:

- температури подаючого трубопроводу;
- температури зворотного трубопроводу;
- температури приміщення;
- температури зовнішнього повітря;
- тиску.

Після аналізу даних контролер переходить до прийняття рішення:

- при температурі нижчій за норму, то потрібно відкрити клапан ширше;
- при температурі підвищеній за норму, то потрібно перекрити клапан;

- при різкому падінні температури, потрібно збільшити подачу тепла на теплоносій;

- при різкому підвищенню температури, потрібно зменшити подачу тепла на теплоносій;

- при комфортній температурі, збереження режиму роботи клапанов;

Прийшовши до рішення, ПЛК надає команду електронному адаптивному клапану:

- повне відкриття клапану;

- часткове відкриття клапану;

- зміна кута відкриття клапану;

- повне або часткове закриття клапану.

Після цього йде перевірка контролю виконання роботи модуля автоматизації:

- перевірка, чи клапан змінив положення;

- повтор команди у разі збоїв.

Обов'язково оператор отримує всю інформації на дисплеї ПЛК, та в разі критичної ситуації переходить на ручне управління.

До критичних ситуацій можна віднести:

- відсутності сигналу від датчика;

- некоректні значень з показників датчиків;

- аварійної зміни тиску;

- збій в роботі клапана.

3.2 Алгоритм програмного забезпечення модуля автоматизації

На основі розробленого логіко-лінгвістичного методу, завдяки програмному забезпеченню draw.io створено блок-схему роботи адаптивної системи роботи центрального теплового пункту подачі тепlopостачання.

Draw.io – сервіс для створення візуальних структур. Поширюється на безкоштовній основі з відкритим вихідним кодом, на платформі не потрібна авторизація – при вході користувач одразу потрапляє в робочий інтерфейс.

Інструмент дозволяє створювати: графіки, діаграми, таблиці, презентації, блок-схеми, плани приміщень, воронки продажів, ментальні карти, карти сайтів, інтелект-карти, бізнес-макети, відносини сутностей, програмних блоків тощо. На рис. 3.1, можна побачити результат використання програмного забезпечення

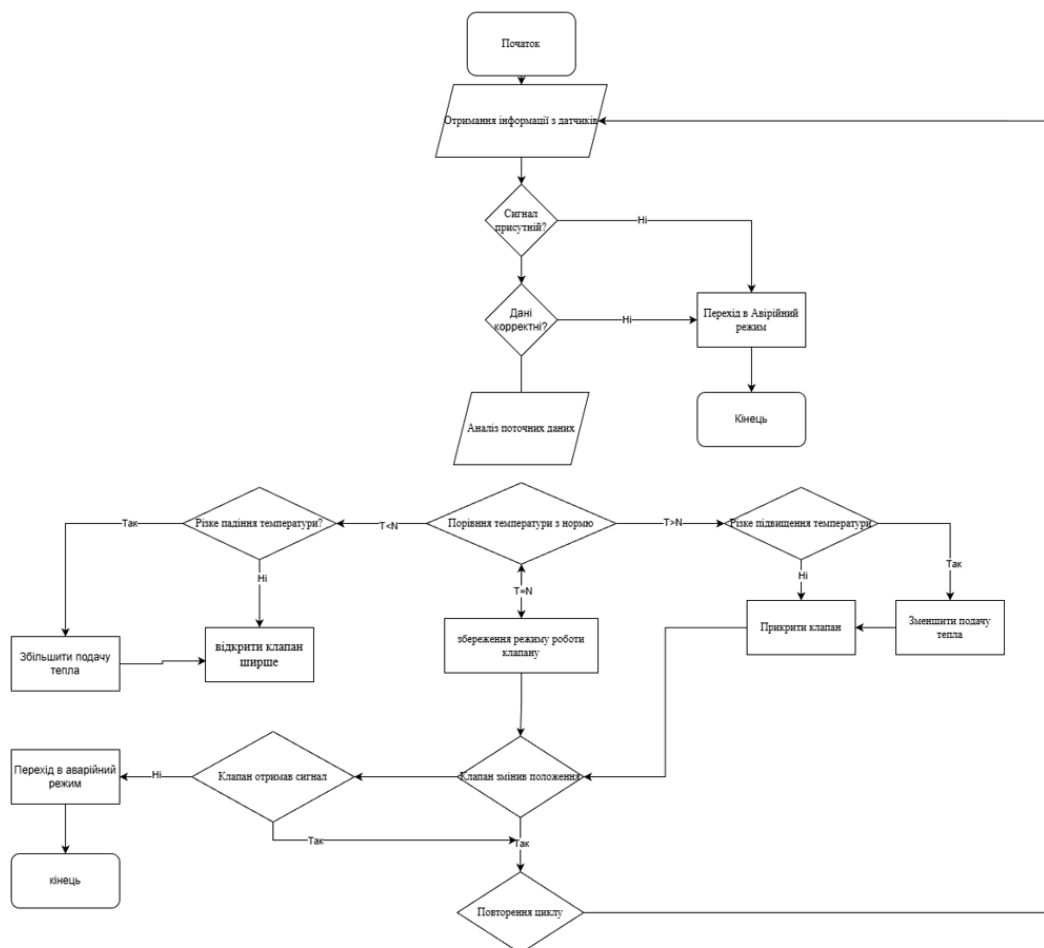


Рисунок 3.1 – Блок-схема роботи адаптивної системи роботи центрального теплового пункту подачі тепlopостачання

3.3 Оцінка якості та ефективності роботи адаптивної системи

Сучасні теплові пункти міст відповідають складним технологічним системам, що складаються з основних взаємопов'язаних теплофікаційних процесів, магістральних та допоміжних теплових мереж, а також просторово розподілених мереж теплопостачання та гарячого водопостачання.

При перевірці якості послуг теплопостачання враховуються :

- своєчасність початку і закінчення опалювального сезону;
- безперервність надання послуги з постачання теплової енергії;
- відповідність тиску теплоносія встановленим параметрам тиску;
- відповідність температури теплоносія температурному графіку теплової мережі в частині температури подавального трубопроводу відповідно до умов договору.

Щоб провести більш глибоку та системну оцінку ефективності роботи теплового пункту, цих параметрів недостатньо. Тому виникає потреба у впровадженні чітко визначених показників якості.

Вони дозволяють оцінити якість функціонування обладнання не лише з точки зору формальної відповідності, але й з урахуванням реальної енергетичної ефективності, надійності, довговічності та здатності системи забезпечувати споживачів теплом відповідно до їхніх очікувань та нормативів (рис. 3.2).

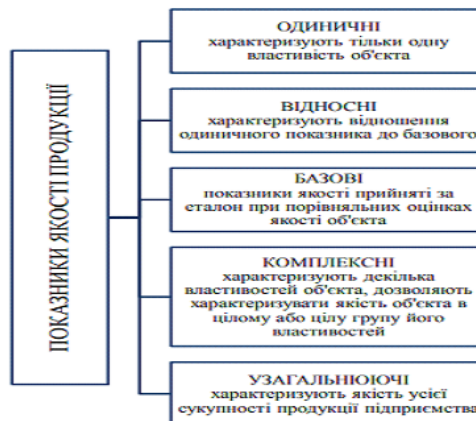


Рисунок 3.2 – Показники якості продукції

Для оцінки рівня якості продукції всі показники якості згруповані. Класифікація груп які будуть розглядатись в цій науковій роботі:

- показники призначення;
- показники надійності.

Показники призначення. Група показників призначення характеризує ступінь відповідності виробу його цільовому призначенню, а також властивості, що визначають основні функції, для виконання яких виріб призначений.

Показники призначення визначають і сферу застосування даного виробу.

Група показників призначення складається з таких підгруп:

- класифікаційних;
- функціональних;
- конструктивних;
- складу та структури.

Класифікаційні показники характеризують належність даної продукції до відповідної класифікаційної групи, оскільки будь-яка сукупність однорідної продукції має свою класифікацію.

Функціональні показники характеризують корисний ефект від експлуатації або вживання продукції, а також прогресивність технічних рішень, які були реалізовані в даній продукції.

Конструктивні показники характеризують основні проектно-конструкторські рішення, зручність монтажу та установки, можливість агрегування та взаємозамінності продукції.

Показники складу та структури характеризують в оброблених матеріалах кількість домішок хімічних елементів та структурний стан цих матеріалів.

Для підтримання високої якості подачі теплопостачання затверджено певні температурні норми які можна побачити на табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – температурні норми в залежності від типа приміщення

Температура повітря	Тип приміщення
від 18 до 22	Оптимальна температура до житлових приміщень
від 20 до 22	Для офісних й робочих приміщень
від 16 до 18	Спальні
від 20 до 24	Зимовий період (для запобігання конденсації та утворення плісняви
від 23 до 26	Літній період

Для проведення оцінки ефективності, обрано метод накладання графіків. Створено графік температур в лютому 2025 року в місті Харкові на якому зображено середню температуру впродовж місяця (рис. 3.3).

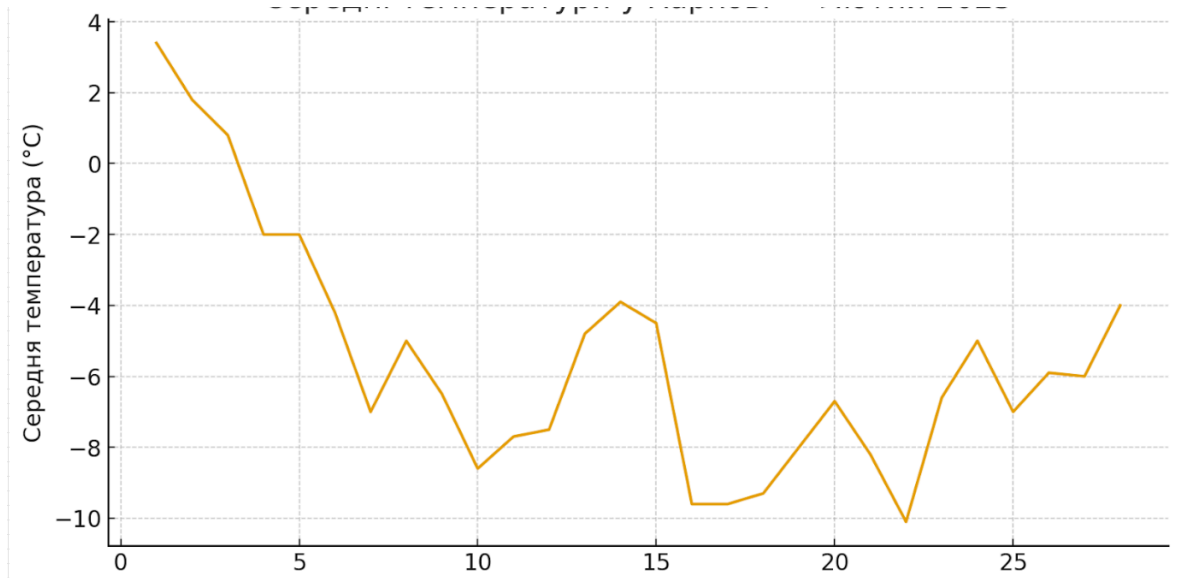


Рисунок 3.3 – Графік середньої температури за лютий місяць

Візьмемо рис. 2.1, температурної кривої опалення, для створення графіку залежності температури теплоносія за лютий місяць який використовуватиме адаптацію до зовнішньої кліматичною температурою (рис. 3.4).

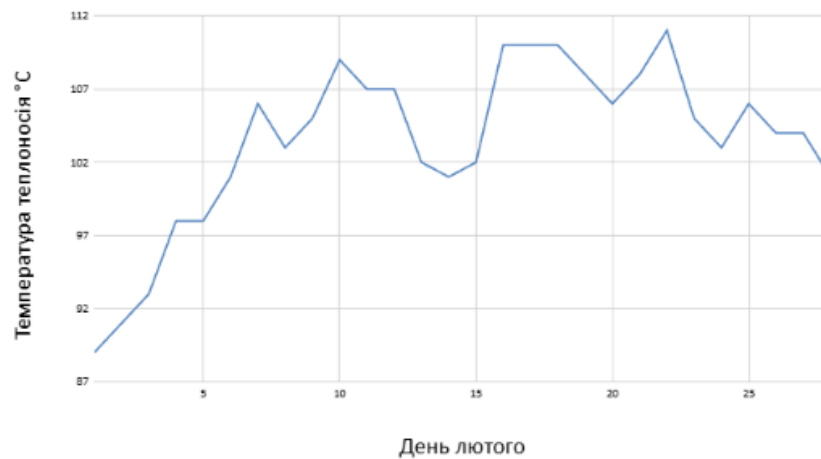


Рисунок 3.4 – Графік залежності температури теплоносія від температури зовнішнього повітря за лютий місяць

Для порівняння візьмемо теоретичний центральний тепловий пункт в якому повністю відсутня регуляція температури теплоносія, та встановлена постійна

температура при середнє значення температури за лютий місяць 5.5°C та температура теплоносія в розмірі 103°C (рис. 3.5).

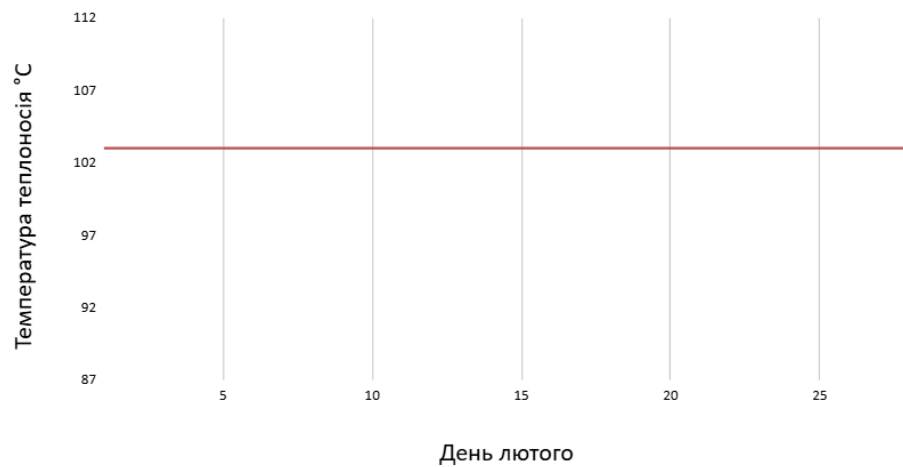


Рисунок 3.5 – Графік залежності температури теплоносія від температури зовнішнього повітря з відсутньої регуляцією за лютий місяць

Порівняємо рис. 3.3, та 3.4, та зробимо графік оцінки ефективності автоматизованого модуля адаптивної системи центрального теплового пункту (рис 3.5).

На якому зображенні два графіка залежності, синім кольором графік температурної залежності яка регулюється модулем автоматизації, та червоним кольором графік з відсутньої регуляцією.

Також виділені дві кольорові зони, червона та синя. Червоний колір штриховки – показує зону перетопу та втрат тепла, синій колір штриховки – недостатньо надану кількість тепла для збереження комфортної температури згідно з тепловими нормами.

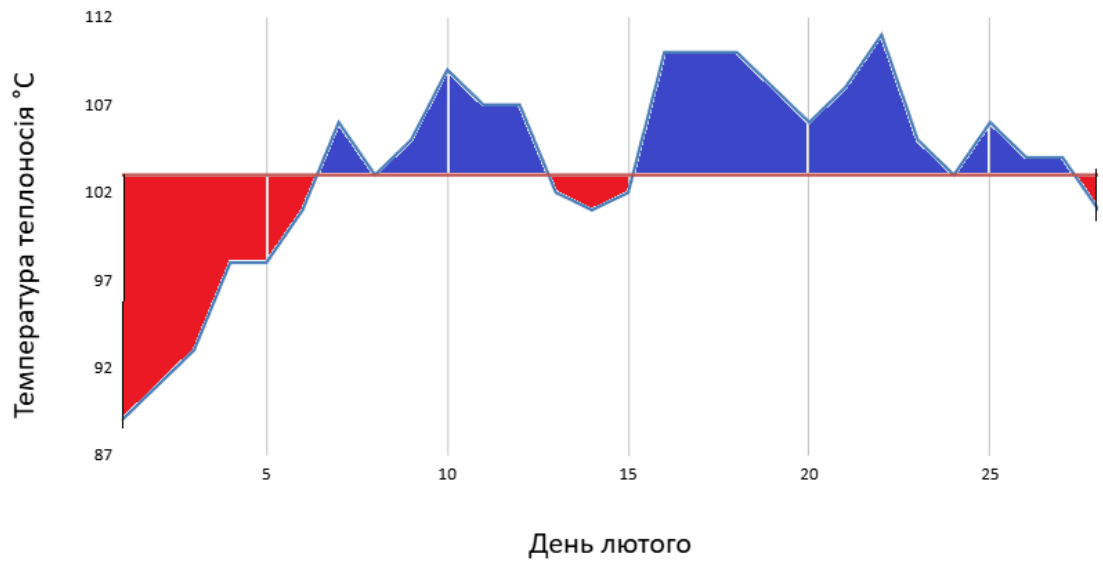


Рисунок 3.6 – Графік оцінки ефективності роботи модуля автоматизації центрального теплового пункту

Проведений аналіз стверджує:

- повна відсутність регуляції теплоносія приводить до енергетичних втрат;
- при використанні модулю автоматизації надаються якісне та ефективне надання послуг населенню.

3.4 Експериментальна частина

Для перевірки працездатності модуля автоматизації адаптивної системи центрального теплового пункту розроблено програмне забезпечення.

Метою програмного забезпечення регуляція температури подаючого теплоносія до житлового приміщення. Принцип роботи оснований на роботі алгоритму та поділений на 5 етапів.

Перший етап імітує роботу датчиків температури приміщення та теплоносія. В протязі 5 днів (рис. 3.7) аналізуються сигнали датчиків, дані випадковим образом визначаються від -15 до 10 °C (рис. 3.8).

```
int days = 5;

for (int day = 0; day < days; day++) {
    int outside_temp = distr(gen);
    print_with_delay("\nДень " + to_string(day + 1));
}
```

Рисунок 3.7 – Частина коду відповідаюча за зміну дня

```
random_device rd;
mt19937 gen(rd());
uniform_int_distribution<> distr(-15, 10);
```

Рисунок 3.8 – Частина коду відповідаюча за випадкові значення температури

Для імітація зчитування даних датчиків: температури подаючого теплоносія, температури зворотнього теплоносія та температури приміщення. Задаються початкові дані (рис 3.9).

```
double actual_temp = 103;
double return_temp = 40;
double room_temp = 21;
```

Рисунок 3.9 – Частина коду відповідаюча за початкові дані з датчиків температури

Температури з датчиків приміщення та зворотного теплоносія постійні, а подаючий змінюється у протязі роботи програми.

Згідно із нормами, температура приміщення має дорівнювати 21 °С. За початкові значення візьмемо середнє значення температури 5.5°С та температури теплоносія в розмірі 103°С, зворотного 40°С.

В другому етапі йде порівняння даних з датчиків, з заданими паттернами.

Для регуляції температури теплоносія потрібно знайти лінійну залежність температуру теплоносія від зовнішньої температури, використовуючи дані з рис. 2.1, температурної кривою опалення. Лінійну залежність знайдемо за формулою (3.1).

$$y = kx + b \quad (3.1)$$

Для знаходження коефіцієнту нахилу використаємо формулу (3.2).

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.2)$$

Для нашого випадку зробимо заміну змінних (3.3).

$$k = \frac{T_{\text{под}} - T_{\text{под}}}{T_{\text{зовн}} - T_{\text{зоін}}} \quad (3.3)$$

Проводимо розрахунки (3.4):

$$k = \frac{75 - 120}{10 + 15} = -1.8 \quad (3.4)$$

Знаходимо вільний член b (3.5):

$$b = 120 - 27 = 93 \quad (3.5)$$

Отриманий паттерн:

$$T_{\text{под}} = -1.8 * T_{\text{зовн}} + 93 \quad (3.6)$$

Це температура теплоносія, при котрій температура приміщення дорівнює 21°C (рис. 3.10).

```
double compute_target_temperature(double outside_temp) {
    return -1.8 * outside_temp + 93;
}
```

Рисунок 3.10 – Частина коду відповідаюча за паттерн температури теплоносія

В третьому етапі йде порівняння температур, при умові якщо значення більше таргетної температури менше ніж 3 °С, то в такому випадку йде повне відкриття клапану, якщо менша ніж 7 °С додається увімкнення більшої подачі тепла (рис. 3.11).

```
if (actual_temp < target_temp - 2) {
    double diff = target_temp - actual_temp;
    command = (diff > 10.0) ? "Різде відкриття клапана" : "Відкрити клапан (потрібно більше тепла)";
}
```

Рисунок 3.11 – Частина коду відповідаюча за порівняння температуру та її підвищення

При умові якщо значення більше таргетної температури більше ніж 3 °С, то в такому випадку йде закриття відкриття клапану, якщо більша ніж 7 °С додається вимкнення подачі тепла (рис. 3.12).

```
else if (actual_temp > target_temp + 2) {
    double diff = actual_temp - target_temp;
    command = (diff > 10.0) ? "Різде закриття клапана" : "Закрити клапан (надлишок тепла)";
}
```

Рисунок 3.12 – Частина коду відповідаюча за порівняння температуру та її зниження

При досягненні оптимальної температури, клапан зберігає свій режим (рис. 3.13).

```

else {
    command = "Клапан залишити без змін (температура комфортна)";
}

```

Рисунок 3.13 – Частина коду відповідаюча за збереження положення клапану

В четвертому етапі, передається сигнал клапану та виконуються такі операції: відкриття клапану, яке має підвищити температуру на 3 °С, відкриття клапану та збільшення температури, яке має підвищити температуру на 7 °С, закриття клапану, яке має знизити температуру на 3 °С, закриття клапану та збільшення температури, яке має зменшити температуру на 7°С (рис. 3.14).

```

double step = 3.0;
if (command.find("Пізнє") != string::npos)
    step = 7.0;

if (command.find("відкриття") != string::npos || command.find("Відкрити") != string::npos)
    actual_temp += step;
else if (command.find("закриття") != string::npos || command.find("Закрити") != string::npos)
    actual_temp -= step;

```

Рисунок 3.14 – Частина коду відповідаюча за збільшення та зменшення температур

В результаті створеного програмного забезпечення, ми отримали такі результати роботи модуля автоматизації адаптивної системи центрального теплового пункту за 5 днів (рис. 3.15 – 3.19).

```

День 1
Зовнішня температура: -5 °С
Обчислена необхідна температура подачі: 102.000000 °С
Рішення контролера: Клапан залишити без змін (температура комфортна)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 103.000000 °С

```

Рисунок 3.15 – Робота модуля автоматизації адаптивної системи за перший день

```

День 2
Зовнішня температура: -7 °C
Обчислена необхідна температура подачі: 105.600000 °C
Рішення контролера: Відкрити клапан (потрібно більше тепла)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 106.000000 °C
Рішення контролера: Клапан залишити без змін (температура комфортна)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 106.000000 °C

```

Рисунок 3.16 – Робота модуля автоматизації адаптивної системи за другим
днем

```

День 3
Зовнішня температура: -3 °C
Обчислена необхідна температура подачі: 98.400000 °C
Рішення контролера: Закрити клапан (надлишок тепла)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 103.000000 °C
Рішення контролера: Закрити клапан (надлишок тепла)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 100.000000 °C
Рішення контролера: Клапан залишити без змін (температура комфортна)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 100.000000 °C

```

Рисунок 3.17 – Робота модуля автоматизації адаптивної системи за третім
днем

```

День 4
Зовнішня температура: 3 °C
Обчислена необхідна температура подачі: 87.600000 °C
Рішення контролера: Різке закриття клапана
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 93.000000 °C
Рішення контролера: Закрити клапан (надлишок тепла)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 90.000000 °C
Рішення контролера: Закрити клапан (надлишок тепла)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 87.000000 °C
Рішення контролера: Клапан залишити без змін (температура комфортна)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 87.000000 °C

```

Рисунок 3.18 – Робота модуля автоматизації адаптивної системи за
четвертим днем

```

День 5
Зовнішня температура: -10 °C
Обчислена необхідна температура подачі: 111.000000 °C
Рішення контролера: Різке відкриття клапана
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 94.000000 °C
Рішення контролера: Різке відкриття клапана
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 101.000000 °C
Рішення контролера: Відкрити клапан (потрібно більше тепла)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 104.000000 °C
Рішення контролера: Відкрити клапан (потрібно більше тепла)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 107.000000 °C
Рішення контролера: Відкрити клапан (потрібно більше тепла)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 110.000000 °C
Рішення контролера: Клапан залишити без змін (температура комфортна)
Виконання команди клапана...
Поточна температура теплоносія: 110.000000 °C

=== Робота системи завершена ===

```

Рисунок 3.19 – Робота модуля автоматизації адаптивної системи за п'ятий день

В розділі було вербально описано програму управління для створення експерименту перевірки роботи модулю автоматизації адаптивної системи управління. Алгоритм роботи модуля автоматизації адаптивної системи управління центральним тепловим пунктом організовано у шість етапів:

1. збір даних з датчиків температури та тиску;
2. порівняння з нормативними значеннями;
3. прийняття рішення про регулювання;
4. подача команди клапану;
5. контроль виконання;
6. інформування оператора.

Система передбачає можливість переходу на ручне управління у критичних ситуаціях, таких як відсутність сигналу від датчиків або аварійна зміна тиску. На основі вербального опису створено блок-схема роботи адаптивної системи роботи центрального теплового пункту подачі тепlopостачання.

Для оцінки ефективності використано метод накладання графіків температурних режимів за лютий місяць у місті Харкові. Порівняльний аналіз систем з автоматичною регуляцією та без неї виявив значні енергетичні втрати при відсутності регулювання температури теплоносія.

Експериментальна перевірка працездатності модуля проводилась впродовж п'яти днів з імітацією температурних коливань від -15 до $+10^{\circ}\text{C}$.

Встановлено лінійну залежність температури теплоносія від зовнішньої температури для підтримання комфортної температури приміщення 21°C .

Програмне забезпечення автоматично регулювала положення клапана, змінюючи температуру від 3 до 7°C залежно від потреби. Результати експериментів доводять, що впровадження модуля забезпечує якісне та енергоефективне надання послуг тепlopостачання населенню. Повний код програмного забезпечення можна побачити в Додатку Б.

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПЕРСОНАЛУ ЦТП

Охорона праці – це система правових, технічних і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки, здоров'я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності. Основним нормативним документом, що регламентує права і обов'язки працівників, роботодавців і механізми забезпечення безпеки праці в Україні, є Закон України «Про охорону праці».

Він встановлює загальні вимоги щодо створення безпечних умов праці на підприємствах, обов'язок роботодавця організувати систему управління охороною праці, забезпечити підготовку персоналу та технічні засоби для безпечної роботи, а також права працівників на безпечні умови праці та відмову від виконання небезпечних робіт. Закон України «Про охорону праці»

Охорона праці під час роботи з модулем автоматизації системи управління центральним тепловим пунктом є комплексом технічних, організаційних та програмно-апаратних заходів, спрямованих на зниження виробничих ризиків, попередження аварійних ситуацій та забезпечення безпечних умов праці для обслуговуючого персоналу.

Особливість центральних теплових пунктів полягає у поєднанні електротехнічного обладнання, систем автоматичного керування та теплотехнічних установок, що створює підвищену небезпеку у разі порушення режимів роботи.

Технічний захист, який реалізується за рахунок застосування автоматизованих засобів контролю та регулювання. Модуль автоматизації постійно відстежує параметри температури теплоносія, тиску в системі, температури приміщення та зовнішнього повітря. У разі виходу цих параметрів за допустимі межі система автоматично формує керуючі сигнали для зменшення теплового навантаження або переходу в безпечний режим.

Важливу роль у захисті праці відіграє електробезпека. Елементи автоматизації ЦТП працюють від електромережі, тому передбачено використання захисного заземлення, автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення та гальванічної розв'язки сигнальних ланцюгів. Програмований логічний контролер та датчики розміщуються в захищених шафах управління з обмеженим доступом, що зменшує ймовірність випадкового контакту персоналу з струмоведучими частинами.

Значний вплив на захист праці має програмна складова модуля автоматизації. Алгоритм керування передбачає перевірку достовірності сигналів з датчиків, фільтрацію помилкових або нестабільних значень та блокування виконання небезпечних команд.

У разі втрати сигналу від датчика або виникнення некоректних показників система формує аварійне повідомлення та переводить виконавчі механізми у безпечне положення. Це дозволяє запобігти розвитку аварійних ситуацій без участі оператора.

Організаційний захист праці забезпечується правильним плануванням робочих місць, регламентацією доступу до обладнання та чітким розподілом обов'язків між працівниками.

Оператор центрального теплового пункту працює переважно з інформаційною панеллю або дисплеєм ПЛК, що дозволяє контролювати параметри системи дистанційно, без необхідності постійного перебування поблизу трубопроводів з високою температурою.

Модуль автоматизації забезпечує автоматичну сигналізацію при аварійному підвищенні тиску, різкій зміні температури або відмові виконавчого клапана. Оператор отримує попереджувальні та аварійні повідомлення, а також має можливість оперативного переходу на ручне управління.

Завдяки автоматизації процесів регулювання зменшується навантаження на оператора, скорочується кількість рутинних операцій та підвищується надійність прийняття рішень. Чітка візуалізація параметрів, логічна структура інтерфейсу та

автоматичні підказки сприяють зменшенню ймовірності помилок, викликаних людським фактором.

Застосування модуля автоматизації системи управління центральним тепловим пунктом дозволяє реалізувати комплексний підхід до захисту праці.

Поєднання технічних засобів, програмних алгоритмів та організаційних заходів забезпечує безпечні умови роботи персоналу, знижує ризик аварійних ситуацій та підвищує надійність функціонування системи теплопостачання в цілому.

ВИСНОВКИ

У процесі розробки модуля автоматизації адаптивної системи центрального теплового пункту проведено теоретичний аналіз предметної області, що охоплює принципи функціонування центральних теплових пунктів, структуру автоматизованого модуля управління процесом подачі тепла та метод роботи адаптивною системою.

Встановлено, що традиційні теплові пункти працюють напівавтоматично з ручним регулюванням параметрів, що призводить до "перетопів", "недотопів" та перевитрати енергії. Досліджено три основні типи адаптивних систем управління: адаптивне управління з еталонною моделлю, самоналагоджувальні регулятори та планування коефіцієнта підсилення.

Виконано комплексний аналіз існуючих проблем централізованого теплопостачання в Україні. Виявлено, що близько 40% центральних теплових пунктів перебувають у старому або аварійному стані, не мають сучасних змішувальних пристроїв та систем автоматичного регулювання.

Аналіз температурних графіків теплового навантаження показав, що існуючі системи не враховують динаміку зміни зовнішніх умов та часу доби.

Розроблено структуру модуля автоматизації управління адаптивними параметрами подачі теплоносія, який включає датчики температури та тиску теплоносія на подавальному та зворотному трубопроводах, виносні датчики температури повітря, електронний адаптивний клапан, програмований контролер, засоби передачі даних, рідинно-кристалічний дисплей та вузол обліку теплоносія. Запропоновано принципову схему реконструкції ЦТП для реалізації якісно-кількісного регулювання.

Створено алгоритм функціонування автоматизованого модуля адаптивної системи, який реалізує шість послідовних етапів:

1. збір даних з датчиків температури та тиску;
2. порівняння з нормативними значеннями;
3. прийняття рішення про регулювання;

4. подача команди клапану;
5. контроль виконання;
6. інформування оператора.

Розроблено блок-схему роботи адаптивної системи управління процесами надання послуг споживачам, визначено лінійну залежність температури теплоносія від зовнішньої температури.

Виконано оцінку ефективності, шляхом порівняльного аналізу температурних графіків регульованої та нерегульованої систем за лютий місяць. Аналіз показав, що впровадження модуля автоматизації дозволяє уникнути зон "перетопу" та "недотопу", забезпечити відповідність температурних параметрів у приміщеннях встановленим нормам.

Розроблено програмне забезпечення для програмованого контролера, що реалізує логіку адаптивного управління з урахуванням швидкості зміни зовнішньої температури. Проведено експериментальне тестування роботи модуля протягом п'яти днів з випадковими значеннями зовнішньої температури від -15°C до $+10^{\circ}\text{C}$. Результати показали стабільну роботу системи з підтриманням температури приміщення на рівні 21°C відповідно до встановлених норм.

Розглянуто питання охорони праці під час роботи з модулем автоматизації системи управління ЦТП. Встановлено, що застосування автоматизованого модуля дозволяє реалізувати комплексний підхід до захисту праці персоналу через технічні засоби, програмні алгоритми та організаційні заходи, включаючи дистанційний контроль через дисплей та автоматичну сигналізацію аварійних ситуацій.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2024. 57 с.
2. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.
3. EEWorld- The Origin of Innovative Electronic Design - Professional Electronic Engineering Portal. URL: <https://en.eeworld.com.cn/news/qrs/eic687312.html>.
4. What Is Central Heating and How Does it Work?. Green Central. URL: <https://www.greencentral.co.uk/boiler-advice/what-is-central-heating/#:~:text=Central%20heating%20systems%20work%20by,temperature,%20particularly%20during%20cold%20er%20months>.
5. Your central heating system explained – City of York Council. City of York Council. URL: <https://www.york.gov.uk/council-homes/central-heating-system-explained#:~:text=A%20central%20heating%20system%20has,cylinder%20to%20store%20it%20in>.
6. Редькін К. С. Розроблення методу оцінки якості тепlopостачання в центральному тепловому пункті// Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2025) : збірник студентських наукових статей. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Вип. 1. – С. 188-192.
7. Білозерова Л. Теплові пункти: як виправити вади централізованого опалення. GreenPost. URL: <https://greenpost.ua/news/teplovi-punkty-yak-nazavzhdy-poproshhatysya-z-tsentralizovanym-opalennyam-i9289> (дата звернення: 13.12.2025).

8. Комфортна температура в приміщенні - норми та рекомендації. Провент - интернет магазин климатической техники, отопление вентиляция и кондиционирование. URL: https://provent.ua/ua/statti/optimalna-temperatura-povitrya-u-kvartiry-budinku/?srsltid=AfmBOopFeBMS_JKbKxFvKfQqbRBFk19nxdhIAG4EZQ2xT9YTluDqNPb (дата звернення: 13.12.2025).
9. Новини | Асоціація міст України. URL: https://auc.org.ua/sites/default/files/regulyuvannya-podachi-teploty_povna_versiya_pdf.pdf (дата звернення: 13.12.2025).
10. Редькін К. С., Янушкевич Д. А. Розроблення методу оцінки якості теплопостачання в центральному тепловому пункті.
11. District heating load patterns and short-term forecasting for buildings and city level, Energy,. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223032607>.
12. Optimization of the operation of space heating systems connected to district heating for an improved cooling of the primary water. URL: https://www.researchgate.net/publication/304581815_Optimization_of_the_Operation_of_Space_Heating_Systems_Connected_to_District_Heating_for_an_Improved_Cooling_of_the_Primary_Water.
13. Toward explainable heat load patterns prediction for district heating - Scientific Reports. Nature. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-34146-3> (date of access: 13.12.2025).
14. О. Б. Білоцерківський. Аналіз методів оцінки економічної ефективності заходів з теплопостачання у промисловості та житлово-комунальному господарстві України. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/eec26d57-3374-43d6-a562-a299f0ea2396/content> (дата звернення: 13.12.2025). (дата звернення: 13.12.2025).
15. Dang, L.M., Shin, J., Li, Y. *et al.* Toward explainable heat load patterns prediction for district heating. *Sci Rep* 13, 7434 (2023). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34146-3>.

16. ЗАКОН УКРАЇНИ «ПРО ОХОРОНУ ПРАЦІ». *tax.gov.ua*. URL: <https://tax.gov.ua/pro-sts-ukraini/roboza-z-personalom/profesiyniy-rozvitok-personalu/v-nutrishni-navchannya/prezentatsii/764197.html> (дата звернення: 14.12.2025).

17. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z2127-13> (дата звернення: 14.12.2025).

18. Про охорону праці. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 14.12.2025).