

Західноукраїнський національний університет  
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

## **ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Освітнього ступеня "магістр"  
на тему:

Система автоматизації опалювального процесу промислово-виробничих приміщень та цехів / The system of automation of the heating process of industrial and production premises and workshops

Виконав студент групи АКІТм-21  
Казьмірук Станіслав Ігорович

Керівник роботи: к.т.н., доцент Албанський І.Б.

Тернопіль 2024



Західноукраїнський національний університет  
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем  
Освітній ступінь "магістр"  
Спеціальність – 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка  
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри СКС  
\_\_\_\_\_  
"\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. А.І.Сегін

## **ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Казьмірук Станіслава Ігоровича  
\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я по-батькові)

### **1. Тема кваліфікаційної роботи**

Система автоматизації опалювального процесу промислово-виробничих приміщень та цехів / The system of automation of the heating process of industrial and production premises and workshops.

Керівник роботи: к.т.н., доцент Албанський І.Б.

Затверджені наказом по університету від 12 грудня 2023 р. № 753

### **2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи**

02 грудня 2024р.

### **3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:**

1. Аналіз та дослідження автоматизованих систем опалення промислових об'єктів.

2. Структура та функціональні схеми автоматизованої системи теплопостачання.

3. Процеси збору й обробки інформації в автоматизованих системах.

4. Математична модель управління процесом теплоспоживання комплексу приміщень.

### **4. Основні питання, які потрібно розробити**

1. Дослідження автоматизованих систем теплопостачання і опалення виробничих приміщень.

2. Обґрунтування вибору елементної бази та реалізація автоматизованої системи опалення.

3. Підвищення ефективності моніторингу температурних режимів автоматизованою системою.

## 5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна та функціональна схеми автоматизованої системи теплопостачання.
2. Архітектура ієрархічних рівнів АСУ ТП котельної установки.

## Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта   | Підпис, дата   |                  |
|--------|---------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                             | Завдання видав | Завдання прийняв |
| 1      | Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС |                |                  |
| 2      | Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС |                |                  |
| 3      | Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС |                |                  |
|        |                                             |                |                  |
|        |                                             |                |                  |
|        |                                             |                |                  |

## 7. Дата видачі завдання 12 грудня 2023р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назви етапів кваліфікаційної роботи                                                                       | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Дослідження автоматизованих систем теплопостачання і опалення виробничих приміщень                        | 12.2023р. – 02.2024р.         | виконано |
| 2     | Обґрунтування вибору елементної бази та реалізація автоматизованої системи опалення                       | 03.2024р. – 06.2024р.         | виконано |
| 3     | Підвищення ефективності моніторингу температурних режимів автоматизованою системою                        | 07.2024р. – 11.2024р.         | виконано |
| 4     | Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату та виправлення недоліків | 11.2024р. – 12.2024р.         | виконано |

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Казьмірук С.І.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

к.т.н., доцент Албанський І.Б.

## АНОТАЦІЯ

Казьмірук С.І. Система автоматизації опалювального процесу промислово-виробничих приміщень та цехів. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» - Західноукраїнський національний університет. Тернопіль, 2024.

У роботі: проаналізовані основні види систем опалення промислових об'єктів; визначені основні вимоги та задачі для проектування систем опалення; розроблено структуру та функціональну схему автоматизованої системи теплопостачання; обґрунтовано вибір засобів автоматизації; розроблено математичну модель управління процесом теплоспоживання комплексу приміщень; проведено моделювання за допомогою програмного комплексу теплоспоживання виробничих приміщень автоматизованих ІТП.

## ANNOTATION

Kazmiruk S.I. The system of automation of the heating process of industrial premises and workshops. - Manuscript.

Research for obtaining a master's degree in the specialty - 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics", educational and professional program - "Automation and computer-integrated technologies" - Western Ukrainian National University. Ternopil, 2024.

In the work: the main types of heating systems of industrial facilities are analyzed; the main requirements and tasks for the design of heating systems are determined; the structure and functional scheme of the automated heat supply system were developed; the selection of automation tools is justified; a mathematical model for managing the process of heat consumption of a complex of premises was developed; modeling was carried out with the help of a software complex of heat consumption of industrial premises of automated industrial plants.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ                                                                                        | 5  |
| ВСТУП                                                                                                            | 6  |
| 1. ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ<br>ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ І ОПАЛЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ                         | 9  |
| 1.1 Аналіз основних видів систем опалення промислових об'єктів                                                   | 9  |
| 1.2 Сукупність та склад комплексу автоматизованої системи<br>опалення виробничих приміщень                       | 14 |
| 1.3 Етапи та особливості проектування систем генерації тепла на<br>підприємстві                                  | 19 |
| 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ТА<br>РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ                        | 24 |
| 2.1 Визначення основних вимог та задач при проектуванні систем<br>опалення                                       | 24 |
| 2.2 Розробка структури та функціональної схеми автоматизованої<br>системи теплопостачання                        | 28 |
| 2.3 Обґрунтування вибору компонентів АСУ ТП КУ                                                                   | 34 |
| 3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНІТОРИНГУ<br>ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ АВТОМАТИЗОВАНОЮ<br>СИСТЕМОЮ                      | 40 |
| 3.1 Розробка математичної моделі управління процесом тепло-<br>споживання комплексу приміщень                    | 40 |
| 3.2 Дослідження та практичні результати моделювання тепло<br>споживання виробничих приміщень автоматизованих ІТП | 48 |
| ВИСНОВКИ                                                                                                         | 56 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                                                                       | 59 |
| ДОДАТОК А                                                                                                        | 62 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АСО - автоматизовані системи опалення;  
АСУО - автоматизована система управління опаленням;  
СО - система опалення;  
СКУД - система контролю і управління доступом;  
АСУ - автоматизована система управління;  
АСУ ТП - автоматизована система управління технологічним процесом;  
АЦП - аналого-цифровий перетворювач;  
ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач;  
ОК - об'єкт керування;  
СЖБ - системи життєзабезпечення;  
ПІД - пропорційно-інтегрально-диференціальний;  
ОМС - оператор-моніторингова система;  
ПЛК - програмовано-логічний контролер;  
АРМ - автоматизоване робоче місце;  
ІЧ - інфрачервоний;  
КУ - котельна установка;  
ПК - персональний комп'ютер;  
ІТП - індивідуальний тепловий пункт.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Одним із головних викликів сучасного світу є раціональне використання енергоресурсів. Виробничі приміщення споживають значну частку теплової енергії, і її ефективне використання безпосередньо впливає на зниження експлуатаційних витрат підприємств. Автоматизовані системи опалення дозволяють зменшити втрати енергії, забезпечуючи оптимальний температурний режим.

Скорочення викидів парникових газів є ще одним важливим аргументом на користь автоматизації. Системи, оснащені сучасними технологіями керування, зменшують обсяг використання палива та електроенергії, що позитивно впливає на екологію. Це особливо актуально в умовах глобальних змін клімату та посилення екологічних норм.

Для багатьох виробничих процесів важливим є дотримання певних температурних і вологісних параметрів. Автоматизовані системи опалення забезпечують точний контроль цих параметрів, що сприяє підвищенню якості продукції та зменшенню втрат через несприятливі умови.

Проектування автоматизованих систем дозволяє мінімізувати витрати на енергоносії та обслуговування інженерних мереж. Інвестиції у впровадження таких технологій швидко окупаються за рахунок економії ресурсів і підвищення продуктивності виробництва. Автоматизовані системи опалення можуть бути інтегровані з загальною системою керування будівлею (BMS). Це дозволяє створювати єдину інфраструктуру, яка включає опалення, вентиляцію, кондиціонування, освітлення та інші інженерні мережі, що підвищує загальну ефективність управління об'єктом.

Сучасні технології дозволяють створювати системи, які адаптуються до змін у зовнішньому середовищі та особливостей виробничого процесу. Наприклад, автоматизація дозволяє враховувати погодні умови, рівень завантаження приміщень та інші фактори. Комфортний мікроклімат у виробничих приміщеннях позитивно впливає на продуктивність праці та

здоров'я працівників. Це важливий фактор для підтримання робочої атмосфери та зниження рівня професійних захворювань.

Проектування автоматизованих систем сприяє розвитку суміжних галузей, таких як ІТ, електроніка та енергетика. Новітні технології, включаючи Інтернет речей (IoT), штучний інтелект та аналітику даних, відкривають нові горизонти для автоматизації. Згідно з сучасними будівельними нормами та стандартами енергоефективності, проекти опалення повинні враховувати принципи автоматизації. Це особливо важливо для промислових об'єктів, які підлягають державному регулюванню. Автоматизовані системи є більш стійкими до зовнішніх кризових ситуацій, таких як перебої з постачанням енергії чи різкі кліматичні зміни. Завдяки дистанційному моніторингу та управлінню вони забезпечують безперервність виробничих процесів.

Отже, автоматизація систем опалення є не лише технологічним трендом, але й важливою умовою підвищення ефективності, екологічності та конкурентоспроможності сучасних підприємств.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є розробка автоматизованої системи теплопостачання виробничих приміщень та дослідження математичної моделі управління процесом тепло-споживання промислового об'єкта.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно:

- дослідити існуючі автоматизовані системи теплопостачання та опалення;
- проаналізувати елементну базу та структури автоматизованих систем опалення, апаратне та програмне забезпечення;
- розробити структуру автоматизованої системи опалення виробничих приміщень підприємства;
- обґрунтувати вибір елементної бази запропонованої автоматизованої системи;

- обґрунтувати методи та математичні моделі управління теплопостачанням та опалювальним процесом виробничих приміщень;
- реалізувати метод та дослідити результати моделювання теплоспоживання окремих виробничих приміщень в комплексі промислового об'єкта.

**Об'єкт дослідження:** процеси автоматизації та контролю за температурними параметрами теплоносія в процесі розподілу тепло-споживання різних виробничих приміщень підприємства.

**Предметом дослідження** є автоматизована система теплопостачання промислового об'єкта в використанні індивідуальних теплових пунктів для ефективного розподілу теплоносія по виробничих приміщеннях.

**Наукова новизна одержаних результатів:** реалізований метод та його математична модель управління процесом тепло-споживання комплексу виробничих приміщень шляхом використання ефективних способів обробки сигналу та моделювання процесів тепло-споживання окремих приміщень, що забезпечило ефективну роботу автоматизованої системи теплопостачання в залежності від умов експлуатації того чи іншого приміщення, це в свою чергу доводить ефективність програмно-апаратних засобів автоматизованої системи опалення.

**Практичне значення отриманих результатів:** гнучкість, простота та технічна можливість масштабування індивідуальних теплових пунктів запропонованої автоматизованої системи теплопостачання, яка дозволяє покращувати використання енергоресурсів промислового об'єкта.

**Апробація.** На основі досліджень підготовлено та опубліковано 2 тези доповідей на наукових конференціях (додаток А).

# 1. ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ І ОПАЛЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

## 1.1 Аналіз основних видів систем опалення промислових об'єктів

Автоматизовані системи опалення (АСО) виробничих приміщень є сучасними інженерними рішеннями, призначеними для підтримки комфортного та безпечного мікроклімату на промислових підприємствах. Вони об'єднують теплогенераційне обладнання, засоби передачі тепла, сенсори, автоматизовані системи керування для забезпечення ефективного функціонування виробничих потужностей підприємства (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд автоматизованої системи опалення промислового об'єкта

Основна функція таких систем — створення оптимальних температурних умов для персоналу та обладнання, що працює на підприємстві. Виробничі приміщення мають специфічні потреби, які залежать від типу виробництва, наявності технологічного обладнання та вимог до безпеки. Наприклад, у хімічних цехах важливо уникати перегріву, а

в харчовій промисловості потрібна стабільна температура для дотримання санітарних норм.

Автоматизовані системи дозволяють контролювати температурні параметри з високою точністю. Вони оснащені програмованими контролерами, сенсорами температури, тиску та вологості, а також виконавчими механізмами, які забезпечують швидку реакцію на зміну умов. Це дозволяє економити енергію, знижуючи витрати на опалення за рахунок оптимізації процесу.

Такі системи часто інтегруються з іншими елементами інфраструктури, наприклад, системами вентиляції, кондиціонування чи моніторингу енергоспоживання. Це створює єдиний комплекс, здатний автоматично адаптуватися до змін у роботі підприємства чи зовнішніх умов, таких як коливання температури на вулиці в залежності від пори року.

Ще однією важливою перевагою є безпека. Автоматизовані системи оснащуються механізмами аварійного відключення, сигналізації про несправності та можливістю дистанційного управління. Це мінімізує ризики, пов'язані з перегрівом обладнання, аваріями в системах трубопроводів або збоєм у роботі теплогенераторів.

Сучасні системи опалення часто включають відновлювані джерела енергії, такі як теплові насоси чи сонячні колектори. Це відповідає сучасним екологічним вимогам і сприяє зниженню викидів шкідливих речовин.

Загалом автоматизовані системи опалення є незамінним елементом сучасних промислових об'єктів. Вони забезпечують не лише комфорт і безпеку, але й сприяють зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню ефективності виробничих процесів [1].

Мікроклімат на робочих місцях, а також усередині виробничих ділянок регулярно контролюється у межах виробничого контролю. Організація та монтаж ефективної системи опалення на підприємстві є дуже трудомістким процесом. При створенні опалювального контуру необхідно врахувати

критерії надійності та функціональності, розміщення обладнання та верстатів, розташування вибухонебезпечних об'єктів, системи вентиляції.

Штучне нагрівання приміщення в холодну пору року для компенсації теплових втрат та підтримки нормованої температури із середньою незабезпеченістю 50 год/рік. Під системами внутрішнього теплопостачання будівлі слід розуміти системи теплопостачання опалення, водонагрівачів, системи гарячого водопостачання, повітронагрівачів припливних установок, кондиціонерів, повітряно-опалювальних агрегатів, повітряно-теплових завіс та інше.

Автоматизовані системи опалення виробничих приміщень класифікуються за різними критеріями, такими як тип використовуваного енергоносія, принцип роботи, спосіб передачі тепла та рівень автоматизації. Кожен вид має свої переваги й обмеження, що впливають на вибір системи залежно від особливостей виробництва.

За типом енергоносія автоматизовані системи можуть використовувати різні джерела енергії (рисунок 1.2) [2]:

- газові системи — найпоширеніший вид через доступність газу та відносно низьку вартість, вони оснащені автоматикою, яка контролює подачу газу, регулює горіння та забезпечує безпеку функціонування опалювального обладнання;
- електричні системи — застосовуються там, де доступ до газу обмежений, електричні котли, теплові насоси або інфрачервоні обігрівачі забезпечують точний контроль температури, але можуть бути енергозатратними;
- системи на твердому паливі — використовують дрова, вугілля чи пелети, такі системи зазвичай застосовуються на підприємствах із власними джерелами палива, тому автоматизація тут включає подачу палива та контроль згоряння;
- комбіновані системи — дозволяють використовувати кілька видів енергоносіїв, що підвищує гнучкість і економічність.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.2 – Види автоматизованих систем опалення виробничих приміщень підприємства за типом енергоносія: а) – газові, б) – електричні, в) – твердопаливні, г) – комбіновані.

За способом передачі тепла автоматизовані системи опалення поділяються на [3]:

- водяні системи — найпоширеніший варіант, що використовує нагріту воду як теплоносіє, системи обладнуються насосами для циркуляції води, що дозволяє рівномірно обігрівати великі приміщення;
- парові системи — ефективні для приміщень із високими тепловими втратами, оскільки пар має високу теплову ємність, вони потребують складніших механізмів контролю через високий тиск;

- повітряні системи — подають нагріте повітря через вентиляційні канали, такі системи часто інтегруються з вентиляцією та кондиціонуванням, забезпечуючи ефективний повітрообмін;

- інфрачервоні системи — використовують інфрачервоні обігрівачі, які нагрівають поверхні та людей безпосередньо, а не повітря, це підходить для зонального опалення великих приміщень.

За типом автоматизації системи опалення виробничих приміщень поділяються на:

- локальні системи автоматизації — контролюють окремі котли, обігрівачі або зони приміщення, це найпростіший рівень автоматизації, де кожен елемент працює автономно;

- централізовані системи — об'єднують усі елементи системи в єдиний комплекс, центральний контролер управляє всіма вузлами на основі показників сенсорів температури, вологості, витрати енергії тощо;

- інтелектуальні системи — використовують сучасні технології, такі як IoT (інтернет речей), для підключення до хмарних платформ, це дозволяє дистанційно моніторити й керувати опаленням через додатки чи веб-інтерфейси.

За призначенням АСО поділяють на [4, 5]:

- зональні системи — використовуються для обігріву окремих зон чи робочих місць у великих приміщеннях, таких як цехи чи склади;

- системи загального обігріву — забезпечують теплом усе приміщення, вони є більш потужними й складними, але їх застосування доцільне для рівномірного опалення великих площ.

За джерелом теплової енергії АСО поділяють на:

- традиційні котли — працюють на газі, електриці або твердому паливі;

- відновлювальні джерела — використовують теплові насоси, геотермальну енергію або сонячні колектори, забезпечуючи екологічність і економію.

Спеціалізовані системи АСО зустрічаються на великих і різнопрофільних промислових об'єктах. На окремих підприємствах застосовуються системи з урахуванням специфіки виробництва. Наприклад, у хімічній промисловості встановлюються системи, стійкі до агресивних середовищ, а у харчовій — з антикорозійними покриттями.

Кожен тип автоматизованих систем опалення має свої особливості, що визначаються потребами конкретного підприємства. Правильний вибір системи дозволяє знизити витрати на енергію, забезпечити комфортний мікроклімат і підвищити ефективність роботи обладнання та персоналу.

## 1.2 Сукупність та склад комплексу автоматизованої системи опалення виробничих приміщень

Автоматизована система опалення виробничих приміщень складається з взаємопов'язаних елементів, які забезпечують генерацію, передачу, розподіл і контроль теплової енергії (рисунок 1.3). Завдяки інтеграції сучасних технологій, ці системи можуть ефективно функціонувати в різних умовах, забезпечуючи комфорт, енергоефективність та безпеку.

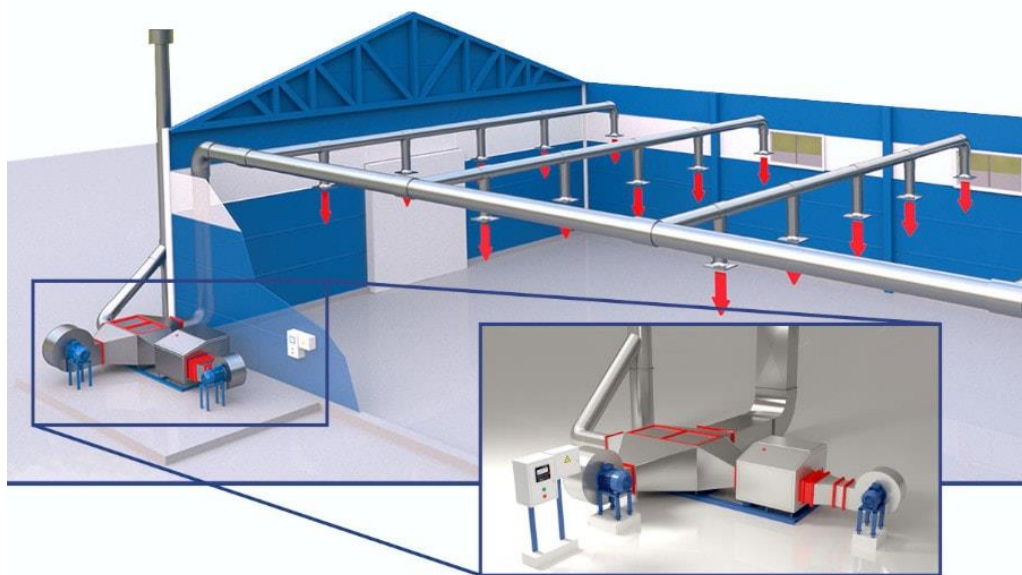


Рисунок 1.3 – Компонувка автоматизованої системи опалення виробничих приміщень

Теплогенераційне обладнання - це центральний елемент системи, який забезпечує виробництво теплової енергії (рисунок 1.4). У складі комплексу можуть бути [6]:

- газові, твердопаливні чи електричні котли;
- теплові насоси, що використовують відновлювані джерела енергії;
- сонячні колектори для підігріву води або повітря;
- комбіновані генератори, які працюють на декількох видах енергоносіїв.



Рисунок 1.4 - Теплогенераційне обладнання АСО

Система подачі енергоносія включає трубопроводи, газові магістралі, паливні баки чи електромережі, які забезпечують безперебійну подачу палива або енергії до теплогенератора (рисунок 1.5). Для контролю витрат використовуються лічильники, сенсори тиску та витрати.

Теплообмінники та розподільчі вузли передають тепло від джерела до теплоносія, яким може бути вода, пар або повітря (рисунок 1.5). Розподільчі вузли включають:

- насоси для циркуляції теплоносія;

- колектори для рівномірного розподілу тепла між зонами;
- регулювальні клапани для керування обсягом теплоносія.



Рисунок 1.5 - Система подачі енергоносія та теплообмінники АСО

Система передачі тепла - це мережа трубопроводів, які транспортують теплоносій до кінцевих споживачів. Така система оснащується ізоляцією для зменшення теплових втрат, а також засобами захисту від гідравлічних ударів.

Обігрівальні елементи, до цієї категорії належать наступні компоненти (рисунок 1.6):

- радіатори та конвектори для передачі тепла у повітря;
- інфрачервоні обігрівачі, що нагрівають поверхні;
- повітрянагрівачі для вентиляційних систем;
- системи “тепла підлога” для зонального обігріву.

Сенсори та вимірювальні пристрої є невід’ємними елементами АСО. Система оснащується різноманітними сенсорами, які контролюють (рисунок 1.7) [7]:

- температуру (в приміщеннях, трубопроводах, котлах);
- тиск і витрату теплоносія;
- вологість повітря;
- концентрацію газів (у разі використання газового палива).



Рисунок 1.6 - Система передачі тепла АСО

Дані з цих сенсорів передаються до системи автоматизації для аналізу та коригування основних параметрів АСО.



Рисунок 1.7 – Засоби автоматизації АСО, сенсори різного типу

Автоматизована система управління (АСУ) - це "мозок" комплексу, що включає:

- програмовані логічні контролери (PLC), які обробляють дані з сенсорів;

- програмне забезпечення для керування температурними параметрами, часом роботи обладнання та аварійними сигналами;
- інтерфейси для операторів (дисплеї, панелі керування або програми для смартфонів).

АСУ дозволяє централізовано керувати всіма елементами системи, знижувати енерговитрати та швидко реагувати на збої, тим саме забезпечуючи ефективну і безперебійну роботу АСО.

Система безпеки включає аварійні клапани, захист від перегріву та витоків, сенсори диму чи чадного газу, а також механізми автоматичного вимкнення [8]. У разі виявлення аварійної ситуації система може блокувати подачу палива чи теплоносія.

Енергоефективні компоненти, до них належать наступні компоненти і засоби автоматизації:

- інверторні насоси для регулювання швидкості потоку теплоносія;
- системи рекуперації тепла, які використовують відпрацьоване тепло;
- відновлювані джерела енергії, такі як сонячні панелі чи теплові насоси.

Інтеграція з іншими системами дає можливість функціонувати АСО більше ефективно і продуктивніше. Така кооперація дозволяє диспетчеризувати систему опалення створивши автоматизоване робоче місце (АРМ). Автоматизовані системи опалення можуть бути інтегровані з:

- вентиляційними та кондиціонувальними системами;
- системами моніторингу енергоспоживання;
- охоронно-пожежними сигналізаціями для синхронізації дій у разі аварій.

Дистанційне керування та моніторинг АСО дозволяє сучасним системам, що підтримують підключення до мережі Інтернет, яка дозволяє керувати процесами через мобільні додатки або комп'ютери. Це особливо

зручно для великих промислових підприємств, де потрібен контроль за кількома об'єктами.

Модульність та масштабованість автоматизованих систем дозволяє проектування АСО з урахуванням можливості розширення. Додаткові модулі, як наприклад нові котли чи обігрівальні елементи, можуть бути інтегровані без значних витрат.

Комплекс автоматизованої системи опалення є багатокomпонентною структурою, де всі елементи працюють у симбіозі для досягнення високої енергоефективності, комфорту та безпеки. Інтеграція сучасних технологій, таких як IoT, автоматизація та використання відновлюваних джерел енергії, робить ці системи незамінними для сучасних промислових підприємств.

### 1.3 Етапи та особливості проектування систем генерації тепла на підприємстві

Проектування автоматизованих систем опалення для промислових об'єктів потребує врахування характеру виробничих процесів. Наприклад, у харчовій промисловості важливо підтримувати санітарні умови та стійкість матеріалів до корозії, тоді як у металургії чи машинобудуванні враховують вплив високих температур і теплових навантажень. Для кожного типу виробництва вибираються відповідні джерела тепла, теплоносії та типи обігрівальних пристроїв.

Проектувальники прагнуть забезпечити максимальну енергоефективність, обираючи сучасні джерела тепла, такі як теплові насоси чи газові конденсаційні котли, і передбачаючи заходи щодо мінімізації теплових втрат. Важливу роль відіграє застосування якісної теплоізоляції трубопроводів, зонального керування обігрівом і рекуперації тепла для зменшення енерговитрат.

На етапі проектування проводяться точні розрахунки теплових навантажень для кожного приміщення. Враховуються об'єм приміщення,

ступінь його теплоізоляції, кількість тепловтрат через огорожувальні конструкції, наявність вікон, дверей та вентиляційних систем. На основі цих даних визначається потужність котлів, теплообмінників і обігрівальних елементів.

Важливою особливістю сучасних систем опалення є їхня інтеграція з автоматизованими системами управління. Проектування передбачає вибір відповідних контролерів, сенсорів, програмного забезпечення для моніторингу та керування. Також визначаються режими роботи системи, зокрема зональне опалення, нічний режим чи підтримання мінімальної температури під час простою виробництва [8].

Проектування автоматизованих систем опалення здійснюється відповідно до державних стандартів, технічних регламентів та правил безпеки. Забезпечення надійності, використання сертифікованого обладнання, встановлення аварійних сенсорів та механізмів відключення — ключові вимоги до систем. Крім того, проекти повинні враховувати можливість зростання виробничих потреб, забезпечуючи масштабованість і модернізацію системи в майбутньому. Проектування таких систем — це комплексний процес, який вимагає взаємодії інженерів, енергетиків, будівельників і фахівців з автоматизації для створення надійного, ефективного та безпечного рішення.

До основних переваг автоматизованих систем опалення виробничих приміщень підприємств відносять [9]:

- енергоефективність (Автоматизовані системи опалення дозволяють знизити споживання енергоносіїв завдяки оптимізації процесів генерації та розподілу тепла. Контроль температури, використання сенсорів та програмованих режимів роботи мінімізують теплові втрати та енергозатрати);

- комфорт та стабільність мікроклімату (Автоматизовані системи забезпечують підтримку заданих параметрів температури та вологості з

високою точністю. Це особливо важливо для виробничих приміщень, де стабільний мікроклімат впливає на якість продукції та комфорт працівників);

- гнучкість у керуванні (Системи дозволяють адаптувати параметри роботи залежно від змін у зовнішньому середовищі або виробничих процесах. Завдяки зональному регулюванню можна обігрівати лише необхідні ділянки приміщення, що зменшує витрати);

- дистанційне управління та моніторинг (Можливість контролю системи через Інтернет дозволяє оперативно вносити зміни в роботу обладнання, отримувати дані про стан системи та швидко реагувати на збої. Це особливо корисно для великих підприємств із розгалуженою інфраструктурою);

- інтеграція з іншими системами (Автоматизовані системи опалення можуть працювати в комплексі з вентиляцією, кондиціонуванням, охоронною сигналізацією або системами енергоменеджменту. Це підвищує загальну ефективність інженерної інфраструктури підприємства);

- зниження експлуатаційних витрат (Хоча початкові інвестиції можуть бути високими, автоматизація значно знижує витрати на обслуговування завдяки тривалій службі обладнання, зменшенню аварійних ситуацій та економії на енергоресурсах).

Як і кожна з проєктована система так і автоматизована система опалення не є виключенням має свої недоліки до яких можна піднести наступні пункти:

- висока початкова вартість (Проектування, закупівля обладнання та встановлення автоматизованої системи опалення можуть бути досить дорогими. Це може стати бар'єром для підприємств із обмеженим бюджетом, особливо для малого бізнесу);

- складність обслуговування (Автоматизовані системи вимагають кваліфікованого персоналу для обслуговування та ремонту. Виникнення несправностей у складних компонентах, таких як контролери чи сенсори, може вимагати дорогого ремонту або заміни);

- залежність від електроживлення (Більшість автоматизованих систем опалення потребують стабільного електропостачання. У разі перебоїв у електромережі виникає ризик зупинки системи, якщо не передбачено резервні джерела живлення);

- складність модернізації старих систем (Впровадження автоматизації в існуючі опалювальні системи може бути технічно складним і дороговартісним процесом. Це потребує значних змін у проекті, заміни старого обладнання та інтеграції нових технологій).

Автоматизовані системи опалення мають безліч переваг, зокрема енергоефективність, комфорт, гнучкість у керуванні та зниження витрат у довгостроковій перспективі. Проте підприємства повинні враховувати недоліки, такі як висока початкова вартість і складність обслуговування. Правильний вибір системи залежить від специфіки виробничого процесу, бюджету та стратегічних цілей компанії.

Обігрів для прикладу виробничого цеху – вибір оптимального варіанту із врахуванням ряду умов і параметричних даних. Кожен виробничий об'єкт є індивідуальним і знаходиться у своїй кліматичній зоні. У ньому встановлено різне обладнання та відбуваються унікальні технологічні процеси. Підібрати універсальне рішення для його обігріву неможливо. Проектувальники чи спеціалісти в даній галузі розробляють проект з урахуванням особливостей будівлі [10].

Для відносно невеликих виробничих приміщень приблизно 300м<sup>2</sup>. Тут підійде класичне водяне або парове опалення, обігрів за допомогою вентиляції та інфрачервоні обігрівачі. Можна встановити кілька систем, які замінюють та доповнюють одна одну. Так їхня експлуатація буде економічнішою.

Для виробничих приміщень приблизно 500м<sup>2</sup>. За своїми характеристиками такі цехи схожі на приміщення площею 300 м<sup>2</sup>. Використовують класичні варіанти, побудовані з урахуванням більших розмірів та високих перекриттів.

Для виробничих приміщень приблизно 700м<sup>2</sup>. Для таких цехів підходять стельові ІЧ-нагрівачі, повітряні системи обігріву. Централізоване опалення тут не застосовують, але водяні радіатори можна встановлювати. Головне, правильно підрахувати кількість необхідного тепла та його втрати.

Для великих виробничих приміщень приблизно 1000м<sup>2</sup>. Великі приміщення опалюють загальним та локальним обладнанням. Важливо передбачити способи перемішування повітря, щоб уникнути локально нагрітих та охолоджених зон. Найчастіше використовують водяне опалення.

Для дуже великих виробничих приміщень приблизно 4200м<sup>2</sup>. Для таких об'єктів обладнання вибирають індивідуально. Техніки враховують різні фактори, щоб максимально зменшити втрати тепла та скоротити витрати на обігріву зимою.

## 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

### 2.1 Визначення основних вимог та задач при проектуванні систем опалення

Критерії вибору системи опалення цехів заводів включають в себе ряд передумов, що враховуються в процесі проектування. Основними факторами є обсяг приміщення, кількість тепла, що виділяється, утеплення стін і перекриттів, тепловиділення обладнання, середня температура повітря взимку.

Проектування водяного радіаторного опалення в цеху має ряд переваг серед інших варіантів. Традиційним рішенням для малих та середніх цехів є водяні радіатори або реєстри з гладких труб. Другий варіант необхідний у цехах з високою вологістю повітря, а також у зонах, де він забруднений суспензією лакофарбових матеріалів або пилу. Популярність цього варіанта обумовлена простотою та надійністю системи. Її легко підтримувати у робочому стані. Але такі проекти не підходять для приміщень з великою відстанню від підлоги до стелі.

Повітряне опалення – спосіб обігріву приміщення шляхом примусового нагнітання у нього нагрітого повітря. Тому проектування повітряного опалення в цеху є актуальним для великих і високих цехів або ангарів (рисунок 2.1). Проект передбачає встановлення теплових вентиляторів або нагрівачів у системі провітрювання. Цей спосіб найефективніший для великих приміщень із високими перекриттями. Вентилятори рівномірно та швидко розподіляють повітря по всьому об'єму. Підготовка проекту та будівництво коштують дешевше за рахунок суміщення з мережею для подачі свіжого повітря.

Ще одним варіантом проектування зональної системи обігріву є інфрачервоні (ІЧ) системи опалення в цеху (рисунок 2.1). Проекти ІЧ-систем

готують для приміщень, які не потрібно повністю опалювати. Нагрівачі монтують у конкретних місцях, де працює персонал. Наприклад, у зонах ремонту автомобілів в ангарах для транспортних засобів. У проекті вказують тип енергоносія для роботи випромінювача та інші особливості. Перевагою такого варіанту – дешевий монтаж та експлуатація. Але вартість самого обладнання вища.



Рисунок 2.1 – Варіанти опалення виробничих цехів підприємства

Для наглядного прикладу проведено розрахунок опалення виробничого цеху підприємства приблизно для  $1000 \text{ м}^2$ . Приклад розрахунку опалення для цеху площею  $1000 \text{ м}^2$  виконується в кілька етапів. Вихідними умовами є те, що цех недостатньо ізольований, і температура зовні та всередині повинна відрізнятися на  $20^\circ\text{C}$  (тобто  $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ ). Так береться до уваги, що коефіцієнт теплопередачі ( $U$ ) становить  $1 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

Розрахунок теплових втрат цеху має наступний вигляд [11]:

$$Q = S * U * \Delta T,$$

$$Q = 1000 \text{ м}^2 * 1 \text{ Вт/м}^2 * ^\circ\text{C} * 20^\circ\text{C} = 20,000 \text{ Вт},$$

теплові втрати цеху становлять  $20,000 \text{ Вт}$  або  $20 \text{ кВт}$ .

Вибір опалювального обладнання проводиться по розрахункових даних. Для вибору газового котла з коефіцієнтом корисної дії (ККД)  $90\%$  потужність розраховується наступним чином:

$$\text{потужність котла} = Q / \text{ККД} = 20,000\text{Вт} / 0,9 \approx 22,222 \text{ Вт},$$

таким чином, вибір газового котла зупиняється на потужності близько 22,222 Вт або 22,22 кВт.

Вибір та розміщення обігрівальних пристроїв здійснюється на основі технічних вимог, правил експлуатації обладнання та розрахункових даних. Вибір радіаторів відбувається за розрахунковими параметрами площі і кубатури приміщення по відношенню до активної площі розсіювання тепла радіатора. Важливу роль відіграє правильне розміщення радіаторів по периметру опалювального приміщення так, щоб тепло рівномірно і однаково розповсюджувалося по всьому об'єму приміщення. В даному випадку автоматизована система опалення представлена на рисунку 2.2 є прикладом універсальної, ефективної і енергоекономною тепло генеруючою системою.

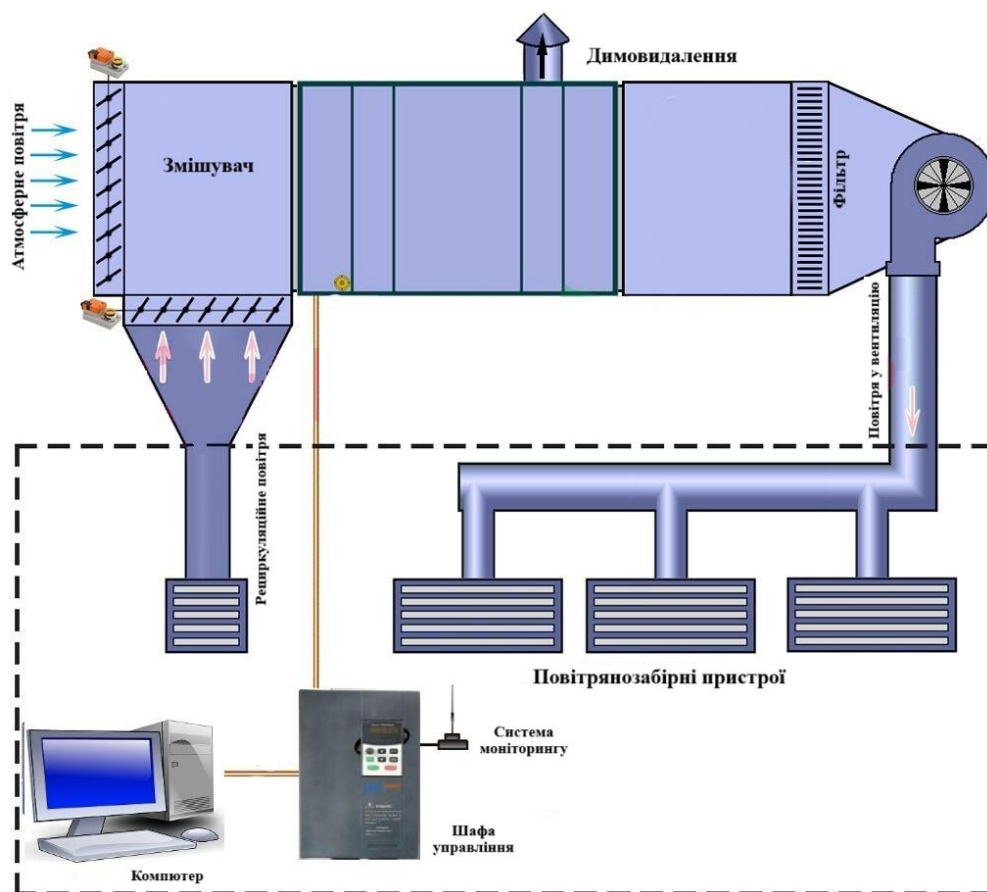


Рисунок 2.2 – Автоматизована система опалення виробничих приміщень

Встановлення термостатів у контрольованих точках (радіаторах) для контролю та регулювання температури всередині цеху.

Економічні та екологічні фактори – іншими словами кажучи перевірка вартості встановлення газового котла та його експлуатацію порівняно з іншими варіантами.

Наведений приклад, і реальні розрахунки можуть бути складнішими, враховуючи точніші значення коефіцієнтів теплопередачі, місцеві кліматичні умови та інші фактори. Важливо також зважити на можливі втрати тепла через вентиляцію та інші елементи цеху.

Інженерні розрахунки параметрів пристроїв для підтримки мікроклімату теплотехніки роблять в інженерному програмному забезпеченні для точно врахування усіх деталей [12]. Враховуються наступні параметри:

- площа приміщень та висоту стель;
- кількість тепловтрат через дах, стіни, підлогу; вентиляцію;
- внутрішні втрати (нагрів труб, охолодження із-за зовнішньої прокладки);
- ККД обраного обладнання;
- спосіб монтажу трубопроводів;
- наявність та характеристики магістральних систем.

Перед проведенням розрахунків потрібно зібрати дані про об'єкт з проектної та робочої документації, а також власних досліджень. Для оцінки тепловтрат доцільніше використовувати тепловізори.

Перед вибором системи опалення цеху рекомендується провести ретельний аналіз вимог, врахувати енергетичну ефективність, вартість установки та експлуатації та можливі екологічні аспекти. Важливо також дотримуватись усіх нормативів та стандартів безпеки під час встановлення та експлуатації опалювальних приладів (теплогенераторів).

## 2.2 Розробка структури та функціональної схеми автоматизованої системи теплопостачання

Розробка структури та функціональної схеми автоматизованої системи управління котельною установкою (КУ) починається з аналізу вимог до системи опалення. Враховуються тип палива (газ, тверде паливо, електроенергія), потужність котлів, кількість теплоносія, необхідна для обігріву виробничих приміщень, та інші технічні параметри. Додатково оцінюється необхідність зонального обігріву й інтеграції з іншими інженерними системами.

Структура автоматизованої системи управління котельною установкою передбачає декілька рівнів (рисунок 2.3) [13]:

- нижній рівень (фізичний рівень), що включає котли, теплообмінники, насоси, клапани, сенсори та трубопроводи;
- середній рівень (рівень збору, обробки та передачі даних), де дані з сенсорів (температури, тиску, витрат теплоносія) передаються на програмовані логічні контролери (ПЛК(PLC)), які забезпечують обробку даних і управління компонентами системи;
- верхній рівень (рівень моніторингу та візуалізації), який надає інформацію оператору через графічний інтерфейс.



Рисунок 2.3 – Архітектура ієрархічних рівнів АСУ ТП котельної установки

До складу системи входять сенсори температури, тиску, рівня води, витрати теплоносія та газоаналізатори (рисунок 2.4). Ці прилади забезпечують постійний моніторинг параметрів роботи котельні, передаючи дані до програмованих контролерів.

PLC є центральним елементом управління. Він отримує дані з сенсорів, обробляє їх відповідно до заданих алгоритмів і передає команди виконавчим механізмам, таким як клапани, насоси чи пальники.

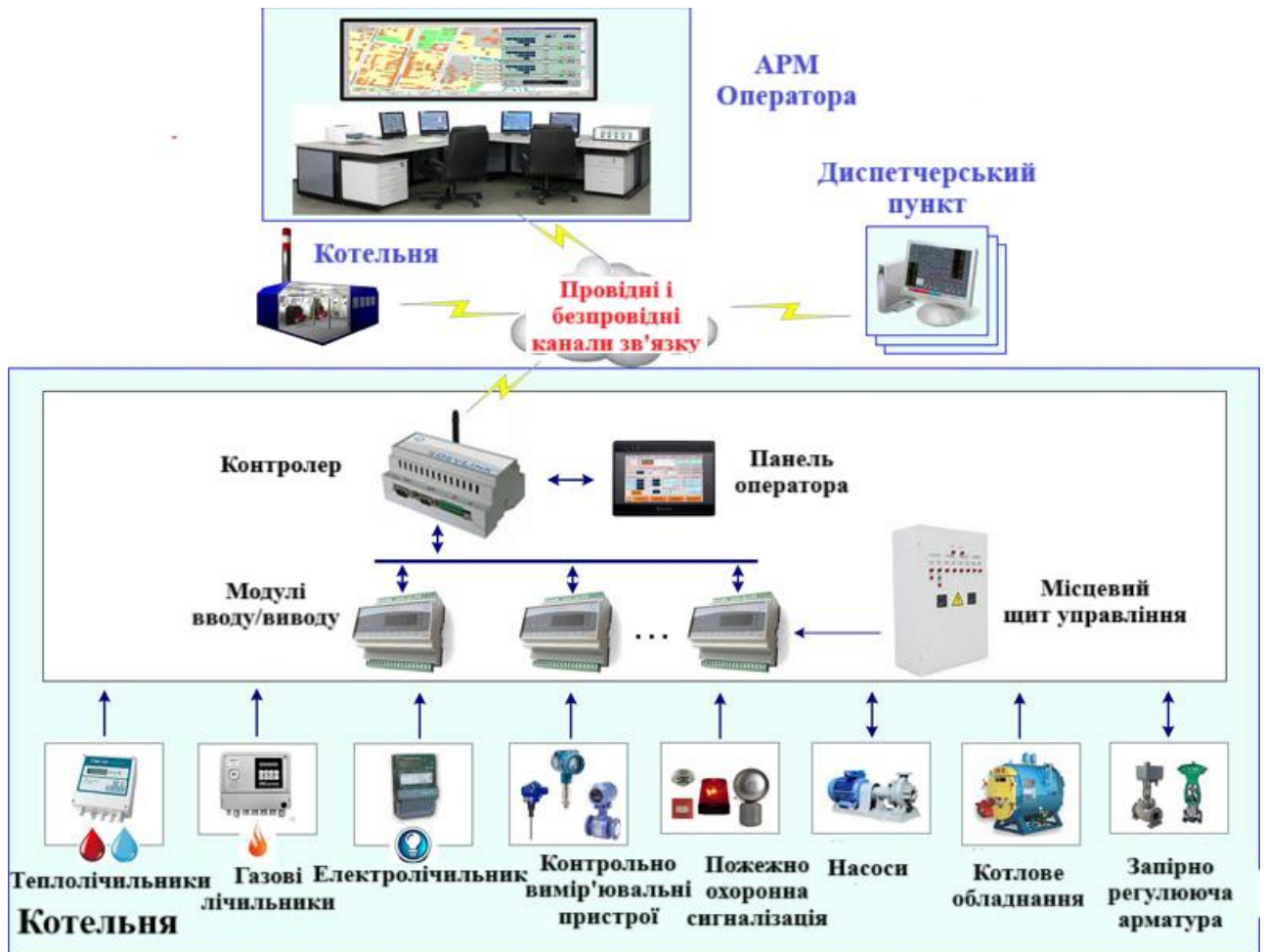


Рисунок 2.4 – Структурна схема автоматизованої системи опалення виробничих об'єктів

Наявність виконавчих механізмів забезпечує фізичне виконання команд від контролера, в даній автоматизованій системі наявні наступні пристрої даного типу:

- електроприводи клапанів для регулювання подачі теплоносія;

- насоси змінної потужності для циркуляції теплоносія;
- газові пальники з автоматичним регулюванням потужності.

Графічний інтерфейс забезпечує оператору доступ до поточного стану котельної установки. Через екрани або програмне забезпечення можна контролювати ключові параметри, переглядати аварійні повідомлення та вносити зміни в робочі режими. Система управління котельною може бути інтегрована із загальною автоматизованою системою управління підприємством (АСУП). Це дозволяє координувати роботу котельної з іншими процесами, наприклад, вентиляцією чи кондиціонуванням, і оптимізувати споживання енергії.

Система передбачає кілька рівнів захисту, зокрема аварійне відключення котлів при перегріві або перевищенні тиску, блокування витоку газу, запуск резервного обладнання. Також у схемі передбачено аварійне живлення для забезпечення роботи критичних компонентів. Система повинна бути розроблена з урахуванням можливості її розширення. Наприклад, можна додати нові котли, збільшити кількість сенсорів або інтегрувати сучасніші алгоритми управління. Це забезпечує довгострокову ефективність і актуальність системи. Розробка структури та функціональної схеми автоматизованої системи управління котельною установкою є складним і багатогранним процесом, що поєднує технічну інженерію, автоматизацію та енергетичний менеджмент.

Автоматика котельні - це апаратна реалізація комплексу рішень, спрямованого на збирання повної інформації про процеси експлуатації, спрощення регулювання та керування всіма процесами. Дані про процеси, що надходять, порівнюються із заданими контрольними параметрами, і в залежності від отриманих даних включаються ті чи інші регулюючі процеси.

Застосування систем автоматики виконує дві основні функції - це інформаційну (збір інформації про процес) та керуючу. Комплекс обладнання дозволяє керувати та контролювати технологічні операції без безпосередньої участі робочого персоналу. Ступінь автоматизації процесу підбирається

виходячи з особливостей виробничого процесу, його складності та вимог замовника-оператора. Так, виділяють три рівні автоматизації [14]:

- локальна (часткова) автоматизація окремого обладнання, машин та процесів;
- комплексна автоматизація певної ділянки цеху, комплексу обладнання, що працює як єдина система;
- повна автоматизація - це коли всі функції управління виконують технічні засоби (примітка: повна автоматизація рідко застосовується на підприємствах, оскільки основні рішення з управління покладаються на людину).

Створення та впровадження системи автоматизації котельні позитивно впливає на ефективність експлуатації теплоенергетичного обладнання. Серед основних переваг можна назвати:

- підвищення продуктивності та якості;
- покращення безпеки та надійності процесу;
- зменшення витрат на людські ресурси.
- оптимізація всього процесу та виключення помилок через людський фактор.

Все це разом призводить до очевидної економічної вигоди від запровадження системи автоматичного управління котелень та інших теплоенергетичних об'єктів.

Апаратно-програмний комплекс АСУ ТП КУ включає наступні компоненти:

- програмований логічний контролер (ПЛК);
- станція оператора на базі персонального комп'ютера (ПК), із встановленою операційною системою Linux OpenSuse та SCADA-пакетом BSS Cross-Contrul;
- прикладне програмне забезпечення ПЛК;
- прикладне програмне забезпечення станції оператора;
- прикладне програмне забезпечення сервера даних;

- сенсори та первинні перетворювачі контролю технологічних параметрів та станів основного обладнання;
- виконавчі механізми регулюючих органів.

Вихідні сигнали сенсорів та первинних перетворювачів технологічних параметрів - як правило, електричні безперервні сигнали постійного струму 4-20 мА. Вихідні сигнали сенсорів стану основного обладнання – електричні дискретні сигнали = 24В або ~ 220В. Вихідні сигнали контролера для управління виконавчими механізмами - безперервні електричні сигнали постійного струму 4-20 мА. Вихідні сигнали управління виконавчими механізмами - безперервні електричні сигнали = 24В, або електричні дискретні сигнали = 24В або ~ 220В.

Зв'язок через мережу реалізується з використанням стандартного протоколу TCP/IP. Обмін інформацією між компонентами системи – автоматичний. Для системи внутрішні зв'язки АСУ ТП КУ функціонують наступним чином (рисунок 2.5) [15]:

- струмовий (4-20мА або дискретний) сигнал від сенсора по провідній лінії зв'язку надходить на програмований логічний контролер відділення (ПЛК);
- ПЛК за заданими алгоритмами виробляє інформаційний сигнал, який відправляється на автоматизоване робоче місце оператора - АРМ, сигнал містить, виготовлені на підставі заданих алгоритмів, рекомендації щодо впливу на виконавчий механізм, у разі відсутності змін алгоритмів оператором керуючий сигнал відправляється на виконавчий механізм, якщо оператор приймає рішення змінити алгоритм, то ПЛК формує керуючий сигнал оснований тільки на рішенні оператора;
- керуючий струмовий (4-20мА або дискретний) сигнал приймається виконавчим механізмом та виконується, виконавчий механізм повідомляє ПЛК про виконання сигналу;
- система готова до нового циклу виконання команди.



Рисунок 2.5 – Функціональна схема автоматизованої системи керування КУ

У передбачених програмою керованих випадках за заданими алгоритмами АСУ ТП КУ виконує опитування сенсорів і виконавчих механізмів, інформуючи оператора про їх стан. З метою безпеки, у разі виникнення аварійної ситуації, перехід механізмів у стан “Аварія” фіксується системою, архівується та викликається повідомлення з описом причини.

Управління виконавчими механізмами здійснюється з урахуванням пріоритетів сигналів, що надходять. Вищим пріоритетом мають сигнали технологічних захистів. Наступні за пріоритетом команди логічних завдань (блокувань нормальної експлуатації). Після цього – команди управління від оператора. Дистанційне керування виконавчими механізмами здійснюється з відеокадрів, на яких відображено відповідне обладнання, з використанням віртуальних панелей керування, маніпулятора типу миша або функціональної клавіатури. Передбачено функції групового управління виконавчими механізмами. Впровадження АСУ ТП КУ забезпечує виконання всіх вимог

чинних нормативних документів у галузі енергетики, призводить до значного розширення функціональних можливостей системи, підвищення рівня надійності технологічного обладнання та засобів автоматизації, зниження трудовитрат на технічне обслуговування та ремонт [15, 16].

### 2.3 Обґрунтування вибору компонентів АСУ ТП КУ

Основними електронними модулями автоматизованої системи керування котельною установкою є програмовані логічні контролери (PLC), модулі входу/виходу (I/O) для підключення сенсорів і виконавчих механізмів, модулі PID-регулювання для точного контролю температури та тиску, сенсори (температури, тиску, рівня, газоаналізатори) для збору даних, модулі аварійного захисту для забезпечення безпеки, модулі комунікації для інтеграції з іншими системами, а також панелі оператора (HMI) для управління і моніторингу. У комплексі ці компоненти забезпечують стабільну, безпечну та ефективну роботу котельної установки.

PLC є центральним елементом системи, що забезпечує обробку сигналів від сенсорів і передачу команд виконавчим механізмам. Для котельних установок оптимально використовувати PLC із високою надійністю, достатньою кількістю входів/виходів та підтримкою протоколів зв'язку, таких як Modbus або Ethernet. Наприклад, контролери Siemens S7-1200 або Schneider Electric Modicon відомі своєю надійністю в промислових умовах.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд PLC Siemens S7-1200

Контролер Siemens Simatic s7 1200 працює на центральних процесорах типу CPU 1211C, 1212C, 1214C, 1215, 1217C. Основні технічні характеристики CPU 1214C PLC Siemens s7 1200 є наступні [17]:

- власна завантажувальна пам'ять – 4 МБ;
- робота з Simatic Memory Card;
- власна робоча пам'ять – 75 КБ;
- у разі перебоїв у роботі для збереження інформації передбачено 10 КБ;
- підтримка мов LAD, FBD та SCL.

Використовується модуль у різноманітних виробництвах. Програми, створені цих ПЛК, можна використовувати й у роботі siemens s7 1200. Загалом, програмування відбувається з допомогою Step 7 Basic. Програмне середовище включає багатий інструмент розробки. Незважаючи на це, з'явилися деякі нововведення, які дозволяють створювати потужний, економічний, легкий для розуміння та простий код.

Для вимірювання температури теплоносія, вихідних газів і навколишнього середовища використовуються термопари типу К чи платинові термометри опору PT100 представленого на рисунку 2.7. Переваги цих сенсорів: висока точність, широкий діапазон вимірювань і стійкість до агресивних умов.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд промислового сенсора температури PT-100

PT-100 – тонкоплівковий платиновий температурний сенсор, використовується для контролю та вимірювання температури із високою точністю. Сенсор виготовляється з платинових плівок, з керамічним покриттям, яке покращує параметри теплопередачі, забезпечує стійкість до вібрацій, широкий температурний діапазон, високу точність та стабільність вимірюваних значень. Корпус сенсора виготовлений із нержавіючої сталі. До опису основних характеристик відносять [18]:

- похибка вимірювання: відповідно до вимог IEC751 та стандартів JIS;
- розміри сенсора відповідають стандарту RTD;
- діапазон вимірюваних температур:  $- 50 + 260^{\circ}\text{C}$ ;
- точність відповідає “B CLASS” стандарту точності вимірювань.

Може бути використаний для вимірювання температури у трубопроводах, баках, ємностях невеликого об'єму, охолоджуючих або нагріваючих ланцюгах, кондиціонуванні або термостаті, а також в інших місцях установки з компактними розмірами в невеликому обсязі.

Для контролю тиску в системі теплоносія і газопроводах обираються п'єзорезистивні сенсори (рисунок 2.8 а)). Прилади типу Honeywell або WİKA забезпечують точність вимірювань, надійність і сумісність із системами автоматизації через стандартизовані виходи (4-20 мА або 0-10 В).

Для моніторингу концентрації кисню, чадного газу (CO) чи інших газів у вихлопних потоках використовуються газоаналізатори з оптичними або електрохімічними сенсорами (рисунок 2.8 б)). Це дозволяє контролювати ефективність згоряння палива та забезпечувати безпеку. Популярні бренди — Dräger, Testo.

Контроль рівня води в котлах або резервуарах здійснюється за допомогою ультразвукових, ємнісних або поплавкових сенсорів (рисунок 2.8 в)). Ультразвукові сенсори є безконтактними та забезпечують високу точність, навіть при роботі у високотемпературних умовах. Вони встановлюються у високотемпературних контурах.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд сенсорів АСУ ТП: а) – сенсор тиску, б) – газоаналізатор, в) – сенсор рівня.

До основних виконавчих механізмів належать:

- електроприводи клапанів, які регулюють подачу газу, води або теплоносія, використовуються серводвигуни з точним позиціонуванням, наприклад, продукція Belimo чи Honeywell;
- циркуляційні насоси, такі як Grundfos чи Wilo, забезпечують циркуляцію теплоносія, насоси повинні мати змінну швидкість обертання для оптимізації енерговитрат;
- пальники з модуляцією, які регулюють потужність згоряння палива, забезпечуючи ефективну роботу котлів;
- блоки живлення, для стабільної роботи всіх електронних компонентів використовуються імпульсні блоки живлення із захистом від перенапруг і короткого замикання, наприклад, блоки живлення Mean Well широко застосовуються в промисловості.

Для передачі даних між сенсорами, виконавчими механізмами та PLC застосовуються модулі комунікації, які підтримують протоколи Modbus, CAN, чи BACnet. Використання Ethernet-модулів забезпечує швидкий обмін даними в реальному часі.

Для вимірювання витрати теплоносія чи газу використовуються турбінні або ультразвукові сенсори. Наприклад, моделі Endress+Hauser гарантують точність і довговічність у промислових умовах.



Рисунок 2.9 – Виконавчі механізми та інші пристрої АСУ ТП: а) – електропровідний клапан, б) – циркуляційний насос, в) – пальник з модуляцією, г) – блок живлення.

Для забезпечення зручності роботи оператора використовуються панелі управління з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом. HMI панелі Siemens Simatic чи Schneider Electric Magelis надають можливість візуалізації стану системи, керування параметрами та отримання аварійних повідомлень.

Для стабільного управління температурою та тиском використовуються PID-регулятори, інтегровані в PLC. Вони дозволяють автоматично налаштовувати вихідні параметри відповідно до змін умов у системі. Для забезпечення безпеки система обладнується релейними модулями та сенсорами аварійних станів, які автоматично відключають котли чи припиняють подачу газу при виявленні критичних відхилень.

Щоб уникнути збоїв при перебоях у живленні, використовуються безперебійні джерела живлення для критично важливих компонентів системи, таких як PLC, насоси та сенсори. Для централізованого моніторингу та аналізу роботи всієї системи застосовується SCADA-система, яка дозволяє виявляти неефективності, прогнозувати несправності та

оптимізувати витрати енергії. Автоматизована система повинна бути сумісною з іншими елементами інженерної інфраструктури підприємства, такими як вентиляція, кондиціонування чи енергетичні мережі. Для цього використовуються стандартні протоколи передачі даних і відкриті архітектури управління.

Вибір радіоелектронних компонентів і модулів для автоматизованої системи управління котельною установкою здійснюється з урахуванням надійності, сумісності, енергоефективності та безпеки. Тільки комплексний підхід до розробки системи забезпечує стабільну та ефективну роботу всієї опалювальної інфраструктури.

### 3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ АВТОМАТИЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ

#### 3.1 Розробка математичної моделі управління процесом тепло- споживання комплексу приміщень

На фоні зростання вартості енергоносіїв особливої важливості набувають проблеми енергозбереження та зниження комунальних витрат. Істотна частка у загальному балансі комунальних витрат пов'язана із споживанням теплової енергії, основу якої, як правило, становлять витрати на опалення будівель. У зв'язку з цим актуальними є завдання щодо реконструкції існуючих систем теплопостачання виробничих приміщень, що мають низьку ефективність та високою зношеністю, на базі створення автоматизованих індивідуальних теплових пунктів (ІТП) на підприємствах та підвищення ефективності застосування систем автоматизації процесів теплопостачання.

Використання автоматичного регулювання у системах як централізованого, і децентралізованого теплопостачання дозволяє підвищити якість їх функціонування та знизити споживання теплової енергії. При цьому слід зауважити, що для виробничих приміщень з огорожуючи ми конструкціями з опором теплопередачі не відповідними нормативними умовами, застосування автоматизованої системи управління для комплексу приміщень (цехів) з ІТП дозволить суттєво знизити споживання теплової енергії. Але за умов якщо середньомісячні температури повітря вище середньостатистичних температур в опалювальний період (наприклад, тепла зима), в іншому випадку ефект від використання автоматизованих систем полягає у відсутності перевитрати тепло споживання без застосування капітальних витрат на утеплення виробничих приміщень, але у певному температурному діапазоні [19].

У сучасних автоматизованих системах наголошується, що одночасне функціонування елеваторних вузлів та автоматизованих ІТП у гідравлічно пов'язаній системі призводить до порушення гідравлічного режиму теплових мереж. Дослідження показали, що у системах як централізованого, так і децентралізованого теплопостачання спостерігається ефект, характерний для комплексу приміщень із спільним застосуванням автоматизованих ІТП та елеваторних вузлів, що призводить до істотного зниження економії теплової енергії.

Одне з можливих технічних рішень для виключення цього негативного ефекту пов'язано із створенням автоматизованих систем управління процесом теплоспоживання для комплексу виробничих цехів, яке також дозволяє частково наблизити їх до «розумних» будинків. У ряді актуальних публікацій запропоновано один із можливих методів для реалізації властивостей інтеграції автоматизованих систем теплопостачання на рівні міста у складі автоматизованої системи диспетчерського управління розподіленими енергосистемами.

З аналізу актуальних автоматизованих систем встановлено, що з допомогою програмних комплексів, наявних над ринку інформаційних технологій, неможливо моделювання фактичної картини як розподілу, так і перерозподілу потоків теплоносія в гідравлічних контурах комплексу цехів у випадках виникнення гідравлічної розрегульованості (наприклад, подачі нерозрахункових витрат теплоносія споживачам – більше чи менше щодо до розрахункових та інше). Завдання щодо налагодження такого типу систем, їх проектування, а також для аналізу в умовах впровадження чи планування технічних рішень дуже актуальні та практично значущі.

Особливості математичного моделювання гідравлічних режимів балансування та управління процесами нагрівання та охолодження осушення повітря в системах кондиціювання повітря представлені, наприклад, в сучасних автоматизованих системах опалення.

У даному розділі досліджуються можливості управління процесом теплоспоживання, наприклад, комплексу з п'яти виробничих приміщень промислового об'єкта із спільним застосуванням автоматизованих ІТП та елеваторних вузлів (за умов обмежених інвестицій). Виробничі цехи підключені до автономного джерела тепла. За основу математичного моделювання досліджуваних об'єктів прийнято метод розрахунку з урахуванням передумов, в яких запропоновані системи рівнянь як для приміщень з автоматизованими ІТП, так і для приміщень з елеваторними вузлами, а також система рівнянь для розрахунку перерозподілу витрат теплоносія комплексу приміщень з урахуванням експериментальних даних.

За основу взято, що теплові пункти п'яти виробничих приміщень у вихідному стані є елеваторні вузли з розрахунковим годинним тепловим навантаженням для опалювальних приміщень, представлено в таблиці 3.1 [20].

Таблиця 3.1 – Теплове навантаження виробничих приміщень підприємства

| Номер виробничого приміщення | Розрахункове теплове навантаження ГДж/г |
|------------------------------|-----------------------------------------|
| 1                            | 0,489                                   |
| 2                            | 0,308                                   |
| 3                            | 0,91                                    |
| 4                            | 0,18                                    |
| 5                            | 0,15                                    |

З даних таблиці 3.1 слідує, що максимальне розрахункове теплове навантаження мають приміщення 1 і 3. У зв'язку з цим за основу для імітаційного моделювання пропонується наступні дві схеми:

- схема 1 - приміщення 3 з автоматизованим ІТП, інші будівлі з елеваторними вузлами;

- схема 2 – приміщення 1 та 3 з автоматизованими ІТП, а приміщення 2, 4 та 5 з елеваторними вузлами.

Структура типового автоматизованого ІТП для залежної системи опалення (СО), представлена на рисунку 3.1, містить технологічний контролер ТК1, моноблок циркуляційних насосів Н1 та Н2 з електроприводами М1 та М2, регулюючий клапан К1 з виконавчим механізмом ВМ1, зворотний клапан КЗ1, регулятор перепаду тиску прямої дії РТ1 з клапаном К2, сенсор температури зовнішнього повітря ТС1, сенсори температури теплоносія ТС2 та ТС3 сенсори тиску СТ1 та СТ2, а також вузол обліку теплової енергії, наприклад теплолічильник з комплектом сенсорів температури, витрати та тиску.

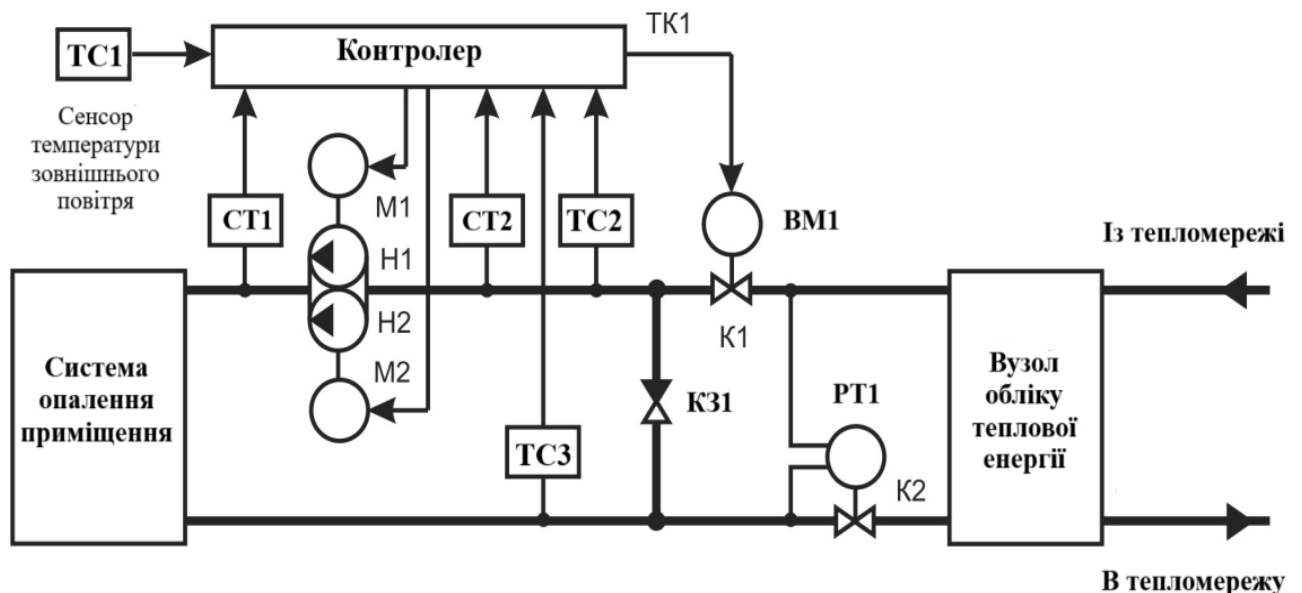


Рисунок 3.1 – Блок-схема автоматизованого ІТП виробничих приміщень промислового об'єкта

Узагальнена функціональна схема системи опалення автоматизованого ІТП виробничих цехів показано на рисунку 3.2. Склад елементів схеми є наступний: блок регулятора збурень Р1 (погодна компенсація); двоконтурний блок регулятора Р2 щодо відхилення технологічної величини від заданої; П1–П3 елементи-перетворювачі вихідних величин сенсорів температури С1-С3 (термоперетворювачі опору на виході з  $R_i$ ) у вимірювані ними фізичні

величини (наприклад, як у контролерах типу ECL Comfort (Danfoss, Данія)); виконавчий механізм ВМ; регулюючий орган РО у вигляді сидельного клапана; вузол змішування теплоносіїв ВЗ від подаючого трубопроводу тепломережі, від зворотного трубопроводу СО будівлі через перемичку з КО1; об'єкт управління ОУ, що є СО будівлі.

Позначення основних величин функціональної схеми наступні:  $T_a$  – температура зовнішнього повітря;  $T_a^*$  – температура зовнішнього повітря на вході в блок Р1;  $T_{CO}$  – необхідна величина з врахуванням принципу погодної компенсації, розрахункова температура теплоносія в подаючому трубопроводі СО приміщення після перемички з КЗ1 (рисунок 3.1);  $T_3$  – величина завдання з метою корекції температури теплоносія в подаючому трубопроводі будівлі ( $T_{CO}$ );  $\Delta T$  – відхилення за температурою регульованої величини  $T_{01}$ ;  $\varepsilon$  – наведений керуючий сигнал регулятора Р2;  $\xi$  – наведена величина переміщення РО;  $G_{01}$  – витрата теплоносія після РО, тобто перед перемичкою із зворотним клапаном;  $T_{01}$  – температура теплоносія в трубопроводі внутрішнього контуру СО приміщення;  $T_{01}^*$  – виміряна температура теплоносія в СО приміщення;  $T_{02}$  – температура теплоносія у зворотному трубопроводі виробничого приміщення;  $T_{02}^*$  – виміряна температура теплоносія на вході Р2 [19, 20].

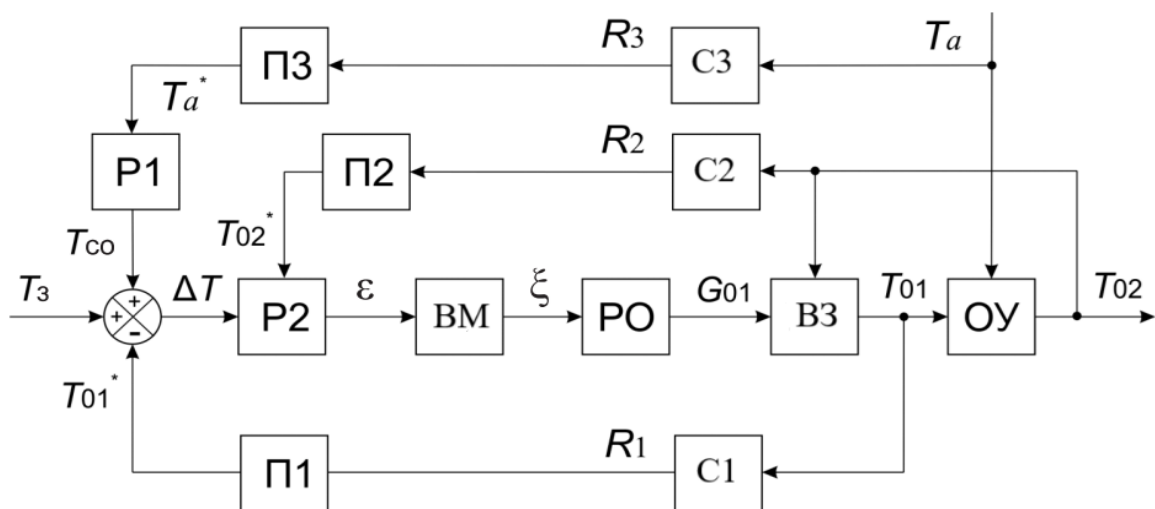


Рисунок 3.2 – Функціональна схема автоматизованого ІТП виробничих приміщень промислового об'єкта

Математична модель СО будівлі на основі автоматизованого ІТП відповідно до функціональної схеми та з урахуванням структур регуляторів Р1 та Р2 (з метою спрощення схеми на рисунку 3.2 їх структури не розкрито) представлена у вигляді системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{da} \frac{dT_a^*(t)}{dt} + T_a^*(t) = k_{da} T_a(t), \\ \tau_{d1} \frac{dT_{01}^*(t)}{dt} + T_{01}^*(t) = k_{d1} T_{01}(t), \\ T_{co}(t) = f_1(T_a^*), \\ \Delta T(t) = T_{co}(t) + T_3(t) - T_{01}^*(t), \\ x_1(\Delta T) = \begin{cases} 0, & -X_d \leq \Delta T(t) \leq X_d, \\ k_1 \Delta T(t), & |\Delta T(t)| > X_d, \end{cases} \\ \varepsilon(t) = \frac{k_m}{X_p} \left[ x_1(\Delta T) T_u + \frac{dx_1(\Delta T)}{dt} \right], \\ x_2(t) = \begin{cases} k_2 \varepsilon(t), & -k_m \leq \varepsilon(t) \leq k_m, \\ k_m, & |\varepsilon(t)| > k_m, \end{cases} \\ \frac{d\xi(t)}{dt} = \frac{k_u}{\tau_u} x_2(t), \\ G_{01}(t) = G_1 k_k e^{k_2 \xi(t)}, \\ T_1 G_{01}(t) + T_{02}(t)(G_{co} - G_{01}(t)) = G_{co} T_{01}(t), \\ \tau_1 \tau_2 \frac{d^2 T_{02}(t)}{dt^2} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{dT_{02}(t)}{dt} + T_{02}(t) = k T_{01}(t), \\ \tau_{d2} \frac{dT_{02}^*(t)}{dt} + T_{02}^*(t) = k_{d2} T_{02}(t). \end{array} \right. \quad (1)$$

Система рівнянь (1) включає наступні рівняння: рівняння руху сенсорів температури С3 та С1; рівняння для регуляторів Р1 і Р2 (рівняння опалювального графіка для обчислення розрахункової температури теплоносія в подавальному трубопроводі СО приміщення Т<sub>со</sub>; рівняння зв'язку для визначення ΔТ; нелінійне рівняння зони нечутливості регулятора Р2; рівняння регулятора Р2 для керування в системах теплопостачання, наприклад, за аналогією зі спеціалізованими контролерами типу ECL

Comfort; нелінійне рівняння зони обмеження P2); рівняння виконавчого механізму (приймається як інтегруюча ланка); рівняння РО щодо вихідної величини  $G_{01}$  з урахуванням визначається у розрахунках величини  $G_1$ ; рівняння зв'язки для ВЗ; рівняння руху ОУ каналом регулювання “температура теплоносія  $T_{02}$  – температура теплоносія  $T_{01}$ ”; рівняння руху сенсора температури С2.

Додаткові позначення у системі рівнянь (1) такі як:  $\tau_{di}$  та  $k_{di}$  – відповідно постійна часу та коефіцієнт передачі  $i$ -го сенсора температури;  $G_{co}$  – витрата теплоносія у внутрішньому контурі СО приміщення, що визначається циркуляційним насосом (рисунок 3.1);  $G_1$  – номінальна витрата теплоносія на вході РО;  $T_1$  – температура теплоносія в трубопроводі, що подає на введенні в ІТП;  $x_1(\Delta T)$  – вихідна величина нелінійної зони нечутливості регулятора P2;  $x_2(t)$  – вихідна величина нелінійної зони обмеження (насичення) у регуляторі P2;  $k_1$  та  $k_2$  – коефіцієнти пропорційності відповідно нелінійних зон нечутливості та обмеження регулятора P2;  $X_d$  – зона нечутливості регулятора P2;  $X_p$  – зона пропорційності регулятора P2;  $T_n$  – постійна регулятора P2.

Модель водоструменевого елеваторного вузла нерегульованих теплових пунктах будівель представляється у вигляді триходового змішувального клапана з фіксованим коефіцієнтом підмішування, що визначається співвідношеннями витрат  $G_{01}$  та  $G_{co}$ . З урахуванням цього система рівнянь, що описують СО приміщення з елеваторним вузлом, має наступний вигляд [21]:

$$\begin{cases} G_{01}(t) + G_{0k}(t) = G_{co}(t), \\ T_1 G_{01}(t) + T_{02}(t)(G_{co} - G_{01}(t)) = G_{co} T_{01}(t), \\ \tau_1 \tau_2 \frac{d^2 T_{02}(t)}{dt^2} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{dT_{02}(t)}{dt} + T_{02}(t) = k T_{01}(t). \end{cases} \quad (2)$$

Рівняння для визначення величини теплової потужності  $W(t)$  у кожному приміщенні з урахуванням застосування автоматизованих ІТП або елеваторних вузлів:

$$W(t) = G_{01}(t)T_{01}(t) - G_{02}(t)T_{02}(t). \quad (3)$$

В даному випадку  $G_{02}$  – витрата теплоносія у зворотному трубопроводі на виході будівлі. Витрати теплоносія на теплових вводах пунктів комплексу будівель суттєво залежать від положення штоків регулюючих клапанів автоматизованих ІТП. Визначення співвідношення витрат виконується на основі експериментальних досліджень для будівель комплексу з урахуванням системи рівнянь наступного вигляду:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n G_j(t) = G_0, \\ \sum_{j=1}^n S_j(t)G_j(t)|G_j(t)| - \sum_{i=1}^m H_{ni}(t) = 0, \\ S_j(t) = \Delta P_j(t) / G_j^2(t), \\ G_{pj}(t) = \frac{G_0}{\sum_{k=1}^n \sqrt{S_j(t) / S_k(t)}}. \end{cases} \quad (4)$$

В даному випадку  $G_0$  – загальна витрата теплоносія у гідравлічній системі комплексу з п'яти виробничих приміщень;  $G_j$  - витрата теплоносія на введенні  $j$ -приміщення; гідравлічний опір на введенні  $j$ -приміщення;  $H_{ni}$  - напір, що створюється мережевими насосами;  $\Delta P_j$  – перепад тиску між подаючим та зворотним трубопроводами на введенні  $j$ -приміщення; визначальна витрата  $G_1$  у системі рівнянь (1);  $S_k$  – гідравлічний опір на введенні  $k$ -приміщення [22].

Математична модель у вигляді систем рівнянь (1), (2) та (4), доповнених експериментальними даними, дозволяє визначати параметри теплоносія на вході та виході досліджуваного комплексу будівель за будь-яких змін, викликаних, у тому числі змінами температури зовнішнього

повітря або якісним регулюванням тепла в автономних джерелах тепла, кількісним регулюванням в автоматизованих ІТП та інше.

### 3.2 Дослідження та практичні результати моделювання тепло споживання виробничих приміщень автоматизованих ІТП

За допомогою моделювання в середовищі Simulink досліджуємо можливості управління процесом теплоспоживання комплексу п'яти приміщень із спільним застосуванням автоматизованих ІТП та елеваторних вузлів по двох схемах. Для цього використовується система рівнянь (1) для кожної  $j$ -го приміщення з автоматизованою ІТП, систему рівнянь (2) для кожного  $i$ -го приміщення з елеваторним вузлом, а також систему рівнянь (4) для розрахунку перерозподілу витрат досліджуваного комплексу виробничих цехів. Для визначення величини теплової потужності у кожному з п'яти цехів комплексу застосовується рівняння (3).

У початковий момент часу  $t = 0$  виконується перехід автоматизованих ІТП режим зниженого теплоспоживання за рахунок зменшення величини  $T_z$  на  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тривалість моделювання  $t_{m0}$  завжди становить 1 год 30 хв. Вихідні параметри для моделювання, зокрема параметри приміщень представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихідні параметри для моделювання

| Найменування параметра                       | Величини і розмірність параметрів |                       |                        |                       |                       |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                              | Цех 1                             | Цех 2                 | Цех 3                  | Цех 4                 | Цех 5                 |
| Коефіцієнт перетворення $k$                  | 0,75                              | 0,81                  | 0,72                   | 0,80                  | 0,79                  |
| Стала часу $\tau_1$                          | 139 с                             | 1317 с                | 1380 с                 | 903 с                 | 886 с                 |
| Стала часу $\tau_2$                          | 558 с                             | 619 с                 | 571 с                  | 290 с                 | 343 с                 |
| Максимальний розхід в СО приміщення $G_{CO}$ | 16 м <sup>3</sup> /Г              | 14 м <sup>3</sup> /Г  | 19 м <sup>3</sup> /Г   | 9 м <sup>3</sup> /Г   | 7 м <sup>3</sup> /Г   |
| Номінальний розхід на ввіді                  | 14, м <sup>3</sup> /Г             | 9,2 м <sup>3</sup> /Г | 17,5 м <sup>3</sup> /Г | 5,7 м <sup>3</sup> /Г | 4,6 м <sup>3</sup> /Г |

|                                        |         |  |  |  |  |
|----------------------------------------|---------|--|--|--|--|
| в приміщення $G_1$                     |         |  |  |  |  |
| Температура зовнішнього повітря $T_a$  | -1,0 °C |  |  |  |  |
| Початкова температура теплоносія $T_1$ | 64,0 °C |  |  |  |  |

Основні типи сенсорів температури у системі автоматизації ІТП та його параметри представлені у таблиці 3.3.

Основні характеристики регулюючого клапана РО типу VB2 фірми Danfoss представлені в таблиці 3.4 [23].

Таблиця 3.3 – Сталі часу сенсорів температури

| Тип сенсора | Призначення і умовне позначення                                  | Величина, розмірність |
|-------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| ESMU – 100  | Занурювальний сенсор температури теплоносія в гільзі $\tau_{d1}$ | 32 с                  |
| ESMT        | Сенсор температури зовнішнього повітря $\tau_{da}$               | 900 с                 |

Таблиця 3.4 – Характеристики регулюючого клапана типу VB2

| Найменування параметра | Величина, розмірність |
|------------------------|-----------------------|
| Діаметр $D_y$          | 40 мм                 |
| Коефіцієнт $k_{kvs}$   | 25 м <sup>3</sup> /Г  |
| Умовний тиск $P_y$     | 2,5 МПа               |
| Температура $T_{min}$  | 5 °C                  |
| Температура $T_{max}$  | 150 °C                |
| Хід штока $h$          | 10 мм                 |

Основні характеристики виконавчого механізму AME 20 фірми Danfoss для роботи з регулюючим клапаном VB2 представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристики виконавчого механізму типу АМЕ 20

| Найменування параметра                              | Величина, розмірність  |
|-----------------------------------------------------|------------------------|
| Напруга                                             | 24 В                   |
| Частота                                             | 50/60 Гц               |
| Використовувана потужність                          | 4 Вт                   |
| Тип керуючого сигналу                               | Аналоговий             |
| Розвиваюче зусилля                                  | 450 Н                  |
| Хід штока                                           | 10 мм                  |
| Час переміщення штока 1 мм                          | 15 с/мм                |
| Вхідний сигнал 1                                    | 0-10 В; $R_i=24$ кОм   |
| Вхідний сигнал 2                                    | 0-20 мА; $R_i=500$ кОм |
| Вихідний сигнал                                     | 0(2) – 10 В            |
| Мінімальна температура<br>навколишнього середовище  | 0 °С                   |
| Максимальна температура<br>навколишнього середовище | 55 °С                  |

Основні значення параметрів блоків регулювання технологічних контролерів ТК1 (аналогічні спеціалізованим контролерам типу ECL Comfort) у автоматизованих ІТП у всіх випадках однакові та представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Параметри контролерів ТК1 в автоматизованих ІТП

| Найменування параметра        | Величина, розмірність |
|-------------------------------|-----------------------|
| Зона нечутливості $X_d$       | 0 °С                  |
| Зона пропорційності $X_p$     | 80 °С                 |
| Коефіцієнт перетворення $k_m$ | 100 %                 |
| Стала $T_u$                   | 12 с                  |

Початкові значення параметрів для моделювання за схемою 1 представлені у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Початкові параметри для моделювання

| Найменування параметра                           | Величина і розмірність параметрів |          |           |          |          |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|----------|-----------|----------|----------|
|                                                  | Цех 1                             | Цех 2    | Цех 3     | Цех 4    | Цех 5    |
| Початкова температура теплоносія в системі $T_2$ | 43,8 °C                           | 43,9 °C  | 43,3 °C   | 42,7 °C  | 42,2 °C  |
| Початковий розхід на ввіді в приміщення $G_{01}$ | 10,6 м³/Г                         | 6,6 м³/Г | 14,6 м³/Г | 4,1 м³/Г | 3,3 м³/Г |

Для комплексу із п'яти приміщень результати розрахунків змін величин теплової потужності і температури теплоносія  $T_{02}$  з урахуванням переходу приміщення 3 з автоматизованим ІТП режим зниженого теплоспоживання, наприклад, у нічний період, представлені на рисунку 3.3. При цьому зміна  $W(t)$  представлена МВт [24].

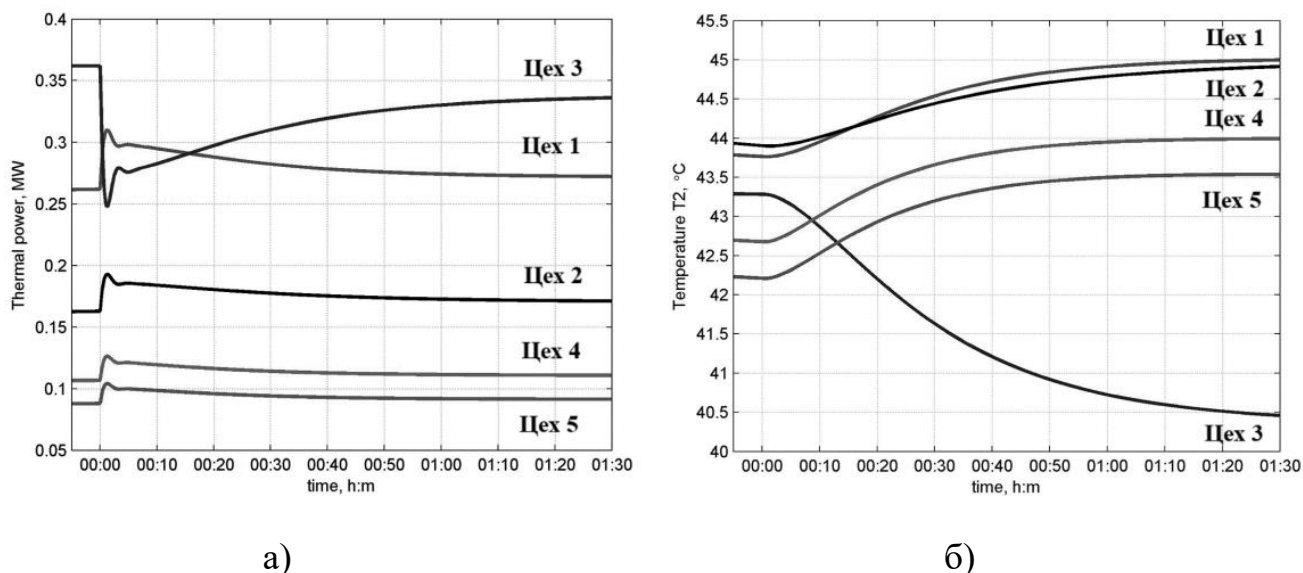


Рисунок 3.3 – Графічні залежності теплової потужності а) і температури теплоносія в зворотних трубопроводах б) комплексу приміщень

В результаті аналізу на рисунку 3.3 а) і б) слідує, що вихідні величини  $W(t)$  і  $T_{02}$  для цеху 3 зменшуються, а для інших приміщень з елеваторними

вузлами вони збільшуються. Слід зазначити, що аналогічний ефект спостерігається при використанні термостатів на опалювальних приладах для теплових пунктів з водоструминними елеваторами, так як спрацювання термостатів призводить до підвищення температури теплоносія в зворотних трубопроводах теплових пунктів. У зв'язку з цим не рекомендується застосовувати термостати на опалювальних приладах за даною схемою.

При аналізі зміни теплової потужності для комплексу будівель (рисунок 3.3 а)) враховуються особливості перехідних процесів у них з наступним виходом на встановлений режим у межах тривалості імітаційного моделювання  $t_{m0}$ .

У межах  $t_{m0}$  можна оцінити споживання теплової енергії кожним будинком комплексу за цей час. Значення споживаної теплової енергії будинками комплексу за схемою 1 представлені в таблиці 3.8 з урахуванням наступних позначень:  $Q_{n1}$  – споживана теплова енергія приміщення без переходу до зниженого теплоспоживання;  $Q_{n2}$  – споживана теплова енергія приміщенням при переході до зниженого теплоспоживання в автоматизованому ІТП цеху 3 комплексу приміщень [25].

Таблиця 3.8 – Теплоспоживання комплексу приміщень

| Номер приміщення | Теплова енергія<br>$Q_{n1}$ , ГДж | Теплова енергія<br>$Q_{n2}$ , ГДж | $\Delta Q_n = Q_{n2} - Q_{n1}$ , ГДж |
|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1                | 1,430900                          | 1,5268700                         | 0,095970                             |
| 2                | 0,892639                          | 0,958844                          | 0,066205                             |
| 3                | 1,973290                          | 1,717370                          | -0,255920                            |
| 4                | 0,582830                          | 0,619552                          | 0,036722                             |
| 5                | 0,480253                          | 0,510771                          | 0,030518                             |
| Разом            | 5,359912                          | 5,333407                          | -0,026505                            |

Аналіз результатів дослідження показує, що цех 3 має розрахункове теплове навантаження (таблиця 3.1) по відношенню до загального

навантаження комплексу приміщень близько 447%, тобто, при грубому округленні – близько половини загальної навантаження. З розрахунків випливає, що для цеху 3 економія теплової енергії  $\Delta Q_n = 0,25592$  ГДж, а загальна економія комплексу будівель  $\Delta Q_n = 0,02651$  ГДж. При цьому відносна економія теплової енергії для цеху 3 за рахунок впровадження автоматизованого ІТП близько 13,0 %, а стосовно комплексу приміщень – близько 4,8 % (відносно  $Q_{n1}$ ). Однак загальна економія теплової енергії для схеми 1 в межах 0,5%.

Початкові значення параметрів для імітаційного моделювання за схемою 2 представлені у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Початкові параметри для моделювання

| Найменування параметра                           | Величина, розмірність |          |           |          |          |
|--------------------------------------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|----------|
|                                                  | Цех 1                 | Цех 2    | Цех 3     | Цех 4    | Цех 5    |
| Початкова температура теплоносія в системі $T_2$ | 45,1 °C               | 42,8 °C  | 43,3 °C   | 41,9 °C  | 40,9 °C  |
| Початковий розхід на ввіді в приміщення $G_{01}$ | 11,7 м³/г             | 6,0 м³/г | 14,3 м³/г | 3,9 м³/г | 3,0 м³/г |

За схемою 2 для комплексу із п'яти приміщень результати розрахунків змін величин  $W(t)$  та температури теплоносія  $T_{02}$  в умовах автоматичного переходу цехів 1 і 3 з автоматизованими ІТП в режим зниженого теплоспоживання, наприклад в нічний період, представлені відповідно на рис. 4 а) і б).

З аналізу результатів випливає, що вихідні величини  $W(t)$  і  $T_{02}$  для приміщень 1 і 3 зменшуються, а інших приміщень комплексу – збільшуються, тобто досліджуваний процес аналогічний попередньому. Загалом параметри споживання теплової енергії комплексом будівель за схемою 2 представлені у таблиці 3.10.

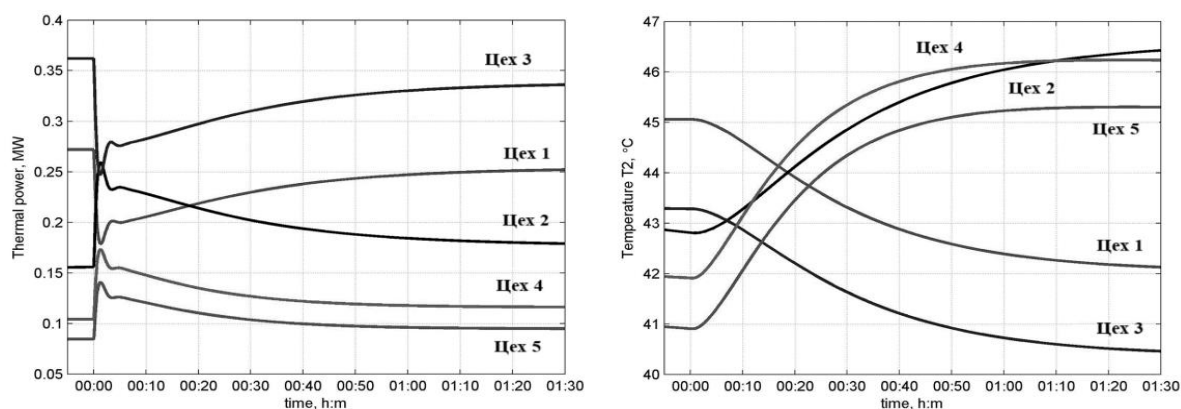


Рисунок 3.4 – Теплова потужність а) і температура теплоносія в зворотних трубопроводах б) приміщень

Аналіз результатів дослідження показує, що приміщення 1 та 3 з урахуванням даних таблиці 3.1 мають розрахункове теплове навантаження по відношенню до загального навантаження порядку 68,7 %, тобто близько 2/3 від загального теплового навантаження. З розрахунків випливає, що для приміщень 1 та 3 економія теплової енергії  $\Delta Q_n = 0,46114$  ГДж, а загальна економія комплексу будівель  $\Delta Q_n = 0,02824$  ГДж. При цьому відносна економія теплової енергії для цехів 1 і 3 зі збільшенням кількості автоматизованих ІТП становила близько 13,4 %, а стосовно комплексу будівель – 8,6 % (щодо  $Q_{n1}$ ). Однак загальна економія теплової енергії комплексу приміщень для схеми 2 приблизно 0,5%.

Таблиця 3.10 – Теплоспоживання комплексу приміщень

| Номер цеха | Теплова енергія<br>$Q_{n1}$ , ГДж | Теплова енергія<br>$Q_{n2}$ , ГДж | $\Delta Q_n = Q_{n2} - Q_{n1}$ , ГДж |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1          | 1,49720                           | 1,274390                          | -0,205330                            |
| 2          | 0,858820                          | 1,075240                          | 0,21420                              |
| 3          | 1,971840                          | 1,716030                          | -0,255810                            |
| 4          | 0,570044                          | 0,687889                          | 0,117845                             |
| 5          | 0,462972                          | 0,561612                          | 0,098640                             |
| Разом      | 5,343396                          | 5,315161                          | -0,028235                            |

Розроблена математична модель для досліджуваного комплексу приміщень дозволяє: враховувати особливості динамічних процесів при запрограмованому автоматичному переході автоматизованих ІТП приміщень в режим зниженого теплоспоживання, а також визначати відповідні перерозподіли витрат теплоносія між тепловими пунктами комплексу будівель; дослідити особливості ефективного управління розподіленими енергосистемами комплексу приміщень на основі моделювання управління процесами теплоспоживання, а від цього, у свою чергу, також залежить економічний ефект застосування автоматизованих ІТП будівель.

На основі одержаних результатів дослідження управління процесом тепло споживання на прикладі комплексу з п'яти цехів виробничої площадки підприємства із спільним застосуванням автоматизованих ІТП та елеваторних вузлів встановлено таке: якщо здійснюється автоматичний перехід у режим зниженого теплоспоживання приміщень на базі автоматизованих ІТП, то в будинках з елеваторними вузлами збільшується споживання теплової енергії. Отже, загалом погіршується ефективність функціонування систем теплоспоживання комплексу приміщень з автоматизованими ІТП та елеваторними вузлами та відповідно знижується економія теплової енергії в умовах обмежених інвестицій при реконструкції існуючих систем теплоспоживання приміщень на базі елеваторних вузлів необхідно враховувати, що часткове створення автоматизованих ІТП для комплексу приміщень призведе в цілому до зниження економії теплової енергії, якщо не застосовувати при цьому певні технічні рішення.

## ВИСНОВКИ

У представленій магістерській роботі розроблена автоматизована система теплопостачання виробничих приміщень промислового об'єкта. У ході роботи проаналізовані системи опалення які працюють на різних енергоресурсах, що в свою чергу дозволило реалізувати ефективну систему опалення, яка забезпечує комфортні умови праці в приміщеннях підприємства.

Досліджено та проаналізовано автоматизовані системи теплопостачання та опалення, що дало можливість вибрати оптимальний варіант для реалізації ефективної автоматизованої системи на основі сучасних засобів автоматизації.

Представлено функціональні можливості та основні завдання автоматизованої опалення, що базуються на засобах автоматизації, промислових контролерах, сенсорах, виконавчих механізмах.

Обґрунтовано вибір пристроїв та технічних засобів для розробки автоматизованої системи теплопостачання та опалення виробничих приміщень промислового об'єкта. Реалізовано структуру, функціональну схему та оптимізовано вибір компонентів автоматизації, для ефективного функціонування запропонованої системи. Представлена структура системи опалення, що дозволяє максимально ефективно враховувати параметри виробничих приміщень та технологічні процеси у них, та за допомогою ІТП максимально ефективно підтримувати задані температурні параметри у комплексі виробничих приміщень підприємства.

Для забезпечення якісного функціонування автоматизованої системи відповідно встановленим нормам, здійснено обрання технічних пристроїв та вузлів автоматизації, які б відповідали вимогам і завданням, щодо якісного протікання технологічного процесу. В процесі вибору засобів автоматизації обґрунтовано застосування технічних пристроїв для представленого об'єкту керування, з урахуванням параметрів, що контролюються, а саме

температура, затрати електроенергії, засоби контролю показів сенсорних блоків та інше. Обґрунтовано перспективи використання різнотипних сенсорів при зборі та обробці даних автоматизованою системою теплопостачання.

Обґрунтований метод та представлена математична модель управління процесом тепло споживання комплексу виробничих приміщень (цехів) підприємства на основі програмно-апаратних засобів мікроконтролерних модулів (промислових контролерів) та засобів автоматизації обладнання ІТП.

Проведений аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування та виявлення недоліків існуючих інформаційних алгоритмів та технічних пристроїв, що застосовуються при функціонуванні обладнання автоматизації систем теплопостачання. Визначено контрольовані параметри технологічного процесу.

Розроблені архітектура та технологічні схеми автоматизованої системи опалення в яку інтегровано методи та засоби моделювання тепло споживання виробничих приміщень.

Розроблена математична модель управління процесом тепло споживання шляхом використання ефективних способів обробки сигналу, що свою чергу дало чітке представлення про роботу мікроконтролерної системи її ефективності роботи у складі автоматизованої системи опалення.

Промодельовано за допомогою математичного комплексу програмного забезпечення тепло споживання виробничих приміщень автоматизованих ІТП шляхом використання ефективних способів обробки сигналу, що дало можливість більш надійно та ефективніше відобразити результати високошвидкісної обробки сигналів мікроконтролерним блоком обробки автоматизованої системи.

Запропонована автоматизована система опалення забезпечує надійну, безперебійну та якісну роботу в процесі контролю теплопостачання виробничих цехів підприємства, що дає можливість оперативно реагувати на зміни температурних параметрів і впливу на технологічні процеси в тих чи

інших приміщеннях та сигналізувати про це за допомогою апаратних засобів автоматизації. Це в свою чергу дає можливість мінімізувати витрати фізичної праці, що значно підвищує надійність роботи такої системи. А отже, застосування систем опалення – це одна із складових ефективних та комфортних умов праці і діяльності робочого персоналу на своїх робочих місцях та сучасній індустріалізації суспільства.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Остапчук М.В., Сердюк Л.В., Овсянникова Л.К. Система технологій. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 368 с.
2. Гершкович В.Ф. Пособие по проектированию систем водяного отопления к СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» - К.:ЗНИИЭП, 2001.-63с.
3. ДБН В 11-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму – К.: Мінрегіонбуд 2014, 54 с.
4. Покотилов В.В. Пособие по расчету систем отопления. Минск: HERZ Armaturen, 2006.- С.144.
5. Нимич, Г.В. Общие положения автоматического управления системами кондиционирования и вентиляции / Г.В. Нимич // С.О.К. – 2005. – № 7.
6. Дорошенко Ю.І. Огляд сучасних систем опалення та методик дослідження впливу температурних режимів на ефективність їх експлуатації в умовах сільського населеного пункту. Івано-Франківськ: Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, 2014. – С. 107-118.
7. Дешко В.І., Білоус І.Ю. Моделювання режимів опалення приміщень. Київ: Енергетика: економіка, технології, екологія. 2016. – №3. – С. 97- 104.
8. Круковский П.Г.Возможности и проблемы применения способа экономии энергии путем регулирования температуры помещений / П.Г. Круковский, М.А. Метель, О.Ю. Тадля// Промышленная теплотехника. - 2009. - №7. - С. 24.
9. Гершкович, В.Ф. Энергосберегающие системы жилых зданий: пособие по проектированию / В.Ф. Гершкович // С.О.К. – 2008. – № 8.
10. Росковшенко Ю.К., Штиленко В.П. Індивідуальне автоматичне регулювання та облік теплової енергії в системах водяного опалення. Київ. С.6.

11. [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурсу: URL: <https://budselo.in.ua/pohodnyj-termorehuliator-dlia-kotla-opalennia-termostaty-itermodatchyky-dlia-rehuliuвання.html>
12. [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурсу: URL: <https://stroisovety.org/termoregulatory-dlya-otopleniya/>.
13. Системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря будівель [Електронний курс]: навч. посіб для студентів спеціальності 144«Теплоенергетика» / М.Ф. Боженко; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 380с.
14. Боженко М. Ф. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало – К.; ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2003. – 192 с.
15. Прикладная теория цифровых автоматов / К.Г. Самофалов, А.М. Романкевич., В.Н. Валуйский., Ю.С. Каневский., М.М. Пиневич. К. : Вища шк. Головное изд-во, 1987. -375с.
16. Кравченко В.С. Інженерне обладнання будівель / В.С. Кравченко, Л.А. Саблій, В.І. Давидчук, Н.В. Кравченко. - Київ: Професіонал, 2008. - 480 с.
17. Любарец О.П. Проектування систем водяного опалення / О.П.Любарец, О.М. Зайцев, В.О. Любарец. - Відень - Київ - Сімферополь, 2010. - 201 с.
18. Ісаєнко О.М., Кіндрацька Л.В., Гончаренко В.А. Автоматизація виробничих процесів та систем. К.: Техніка, 2005. 616 с.
19. Ковальов Ю.Ю., Луценко В.В., Турчак М.В. Проектування систем автоматичного управління. К.: Вища школа, 2001. 536 с.
20. Потапенко В.І. Методичні рекомендації з проектування автоматизованих систем управління технологічними процесами виробництва / за заг. ред. В.І. Потапенка. К.: ВПІ, 2010. 112 с.
21. Ничипоренко Ю.Ю. Функціонування сучасної системи централізованого теплопостачання із використанням автоматизованого робочого місця персоналу. Виробництво & Мехатронні системи : матеріали V Міжнародної конференції. Харків, 2021. С. 14-15

22. Одарущенко О.Б. Верифікація програмного забезпечення програмованих логічних контролерів із використанням математичних блоків дискретного перетворення інформації. Збірник наукових праць науковопрактичної конференції професорсько-викладацького складу Полтавської державної аграрної академії за підсумками науково-дослідної роботи в 2018 році (м. Полтава, 16-17 травня 2019 року). Полтава : РВВ ПДАА, 2019. С. 52.
23. Боженко М.Ф., Сало В.П. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: навч. посіб. Київ : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004. 192 с.
24. Потапенко В.І., Бураковський В.Г., Губаренко О.В. Автоматизація 66 технологічних процесів та виробництв. К.: Центр учбової літератури, 2010. 768 с.
25. Скоренький В.В. Курс «Технології і програмне забезпечення комп'ютерної техніки»: Навчальний посібник. К.: Логос, 2007. 320 с.

## ДОДАТОК А