

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Розроблення проекту системи автоматизації**

електрокотельні для промислової будівлі

Виконав: студент 4 курсу, групи 401МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Следь О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Трет'як А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Шкура М.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи

«Розроблення проекту системи автоматизації електрокотельні для промислової будівлі»

Робота містить 51 сторінку, 22 ілюстрацій, 11 таблиць, 17 використаних джерел.

Ключові слова: автоматизація електричні котельні, моделювання, керування електричною котельнею, диспетчерське керування, електрична котельня.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є технологічний процес обігріву промислової будівлі за допомогою електрокотельні.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є дослідження можливості розробки автоматизованої системи обігріву промислової будівлі за допомогою електрокотельні.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є створення комп'ютерної динамічної моделі процесу керування електричною котельнею в рамках існуючої системи автоматизації для покращення роботи шляхом моделювання умов експлуатації та аварійних ситуацій.

Використання засобів автоматизації процесу керування електричною котельнею дозволяє спостерігати та регулювати технологічні характеристики системи тепlopостачання. Актуальність роботи полягає в необхідності моделювання процесу керування для запобігання помилкам оператора та забезпечення експлуатаційної безпеки.

Результатом роботи є створення структурної схеми для автоматизації системи керування електричною котельнею опис алгоритму автоматичного керування електричною котельнею, на основі якого в програмі SimInTech була створена комп'ютерно-динамічна модель, за допомогою якої вплив різних значень температури і тиску на роботу системи може бути визначена. Комп'ютерна модель схеми тепlopостачання є графічним і аналітичним інструментом, який дозволяє оперативно виконувати поставлені завдання.

ABSTRACT

of the qualification work

«Development of a project for an automation system for an electric boiler room for an industrial building»

The work contains 51 pages, 22 illustrations, 11 tables, 17 sources used.

Keywords: automation of electric boiler houses, modeling, electric boiler room control, dispatching control, electric boiler room.

The object of the bachelor's qualification work is the technological process of heating an industrial building using an electric boiler room.

The subject of the bachelor's qualification work is the study of the possibility of developing an automated heating system for an industrial building using an electric boiler room.

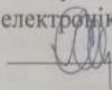
The purpose of the bachelor's qualification work is to create a computer dynamic model of the electric boiler room control process within the existing automation system to improve work by modeling operating conditions and emergency situations.

The use of means of automation of the electric boiler room control process allows you to observe and regulate the technological characteristics of the heat supply system. The relevance of the work lies in the need to model the control process to prevent operator errors and ensure operational safety.

The result of the work is the creation of a structural diagram for the automation of the electric boiler room control system, a description of the algorithm for automatic control of the electric boiler room, on the basis of which a computer-dynamic model was created in the SimInTech program, with the help of which the influence of different values of temperature and pressure on the operation of the system can be determined. The computer model of the heat supply scheme is a graphical and analytical tool that allows you to quickly perform the tasks set.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,
електроніки та телекомунікацій

О.В. Шефер
«01» квітня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Следю Олександрю Олександровичу

- Тема проекту (роботи) «Розроблення проекту системи автоматизації електрокотельні для промислової будівлі».
Керівник проекту Трет'як Андрій Валерійович, к.т.н., доцент, затверджена наказом вищого навчального закладу №306/1 ф.а від 03.03.2025 року.
- Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2025р.
- Вихідні дані до проекту (роботи) площа обігрівуючого приміщення – до 1250 м²; теплопродуктивність – до 2,58 Гкал/год; напруга електричного ланцюга – 380В; максимальний тиск теплоносія – 1,0 МПа.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз загальних характеристик електрокотельні. Аналіз видів електричних котелень. Технологічний процес обігріву електричної котельні як об'єкт модернізації. Завдання та функції електрокотельні. Вибір засобів автоматизації електрокотельні. Розробка функціональної схеми автоматизації. Параметри контролю та регулювання. Теплогідрравлічний розрахунок електрокотельні. Розробка алгоритму моделі електрокотельні. Моделювання роботи електрокотельні.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - Актуальність, мета та задачі розроблення системи автоматизації електрокотельні.
 - Аналіз основних характеристик електрокотельні.
 - Засоби автоматизації електрокотельні.
 - Функціональна схема автоматизації електрокотельні.
 - Алгоритм роботи автоматизованої електрокотельні.
 - Комп'ютерна модель електрокотельні.
 - Теплогідравлічна схема електрокотельні.

8. Результати моделювання автоматизованої системи керування електрокотельні.

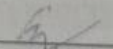
9. Висновки.

6. Дата видачі завдання 01.04.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Аналіз загальних характеристик електрокотельні. Аналіз видів електричних котелень	15.04.25		10%	Пл. 1, 2
2	Технологічний процес обігріву електричної котельні як об'єкт модернізації	22.04.25	I	20%	Пл. 3, 4
3	Завдання та функції електрокотельні. Вибір засобів автоматизації електрокотельні	08.05.25		30%	Пл. 5
4	Розробка функціональної схеми автоматизації. Параметри контролю та регулювання	22.05.25	II	40%	Пл. 6, 7
5	Теплогідравлічний розрахунок електрокотельні. Розробка алгоритму моделі електрокотельні. Моделювання роботи електрокотельні	30.05.25		70%	Пл. 8, 9
6	Оформлення кваліфікаційної роботи	10.06.25	III	100%	

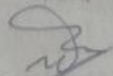
Студент


(підпис)

Следь О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Трет'як А.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРИЧНИХ КОТЕЛЕНЬ Й ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ЇХ МОДЕРНІЗАЦІЇ	
1.1 Аналіз загальних характеристик електрокотельні	10
1.2 Аналіз видів електричних котелень	16
1.2.1 Тенові електричні котли	16
1.2.2 Індукційні котли	18
1.2.3 Електродні опалювальні котли	18
1.3 Технологічний процес обігріву електричної котельні як об'єкт модернізації	20
2. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОКОТЕЛЬНІ	
2.1 Завдання та функції електрокотельні	23
2.2 Вибір засобів автоматизації електрокотельні	26
2.3 Розроблення функціональної схеми автоматизації електрокотельні	33
2.4 Параметри контролю та регулювання	36
3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОКОТЕЛЬНІ	
3.1 Теплогідрравлічний розрахунок електрокотельні	38
3.2 Комп'ютерна модель із застосуванням програми VisSim	40
3.3 Моделювання роботи електрокотельні	41
ВИСНОВКИ	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	50
ДОДАТОК А	53
ДОДАТОК Б	65

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ШКН – шафа керування насосами

ТЕН – трубчастий електричний нагрівач

ГВП – гаряче водопостачання

ТЕЦ – теплоелектроцентрально

ВПУ – водо-підготовча установка

ККД – коефіцієнт корисної дії

АРМ – автоматизоване робоче місце

АСК ТП – автоматизована система керування технологічним процесом

ОС – операційна система

ПЗ – програмне забезпечення

ДБЖ – джерело безперебійного живлення

графік ППР – графік планово-попереджувального ремонту

АС – аварійна ситуація

ВСТУП

Актуальність роботи. Найширше використання серед видів енергії, що виробляється, є електрична і теплова. Теплопостачання – одна з основних підсистем енергетики. На теплопостачання використовується третина всіх використовуваних паливно-енергетичних ресурсів. Теплофікація – найдосконаліший метод теплопостачання, є одним з основних шляхів зниження витрати палива на вироблення енергії. Енергетичний ефект теплофікації полягає в заміні теплоти, що виробляється при роздільному енергопостачанні в котельнях, відпрацьованою теплотою, відведеною з тепломережі електростанції. Автоматизація виробництва – це процес розвитку машинного виробництва, у якому функції керування та контролю, що раніше виконувались людиною, передаються на прилади та автоматичні пристрої. Автоматизація актуальна у різних галузях виробництва, зокрема й у системах теплопостачання. Використання засобів автоматизації процесу керування електричною котельнею дозволяє спостерігати та регулювати технологічні характеристики системи теплопостачання. Актуальність роботи полягає в необхідності розроблення сучасної автоматизованої електрокотельні.

Тому **метою** кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення проекту системи автоматизації електрокотельні та моделювання процесу її роботи для запобігання помилок оператора та забезпечення експлуатаційної безпеки.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є технологічний процес обігріву промислової будівлі за допомогою електрокотельні.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є дослідження можливості розробки автоматизованої системи обігріву промислової будівлі за допомогою електрокотельні.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання:**

- проаналізувати технологічний процес обігріву промислової будівлі;
- проаналізувати види котлів для обігріву промислової будівлі;

- обґрунтувати необхідність автоматизувати процес обігріву промислової будівлі за допомогою електрокотельні;
- виділити основні завдання та функції електрокотельні;
- здійснити вибір засобів автоматизації електрокотельні;
- розробити функціональну схему автоматизації;
- здійснити дослідження основних параметрів контролю та керування;
- виконати теплогідравлічний розрахунок електрокотельні;
- розробити алгоритм функціонування електрокотельні;
- здійснити моделювання роботи електрокотельні.

Методи дослідження: під час теоретичного аналізу в роботі використовувалися методи ідентифікації динамічних об'єктів, теорії лінійних і нелінійних систем автоматичного керування, теорії дискретних систем, теорії механізмів і машин, теорії теплопровідності, а також методи математичного моделювання на персональному комп'ютері. Теоретичні дослідження підкріплюються практичними та обчислювальними дослідженнями процесу обігріву промислової будівлі електрокотельні.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРИЧНИХ КОТЕЛЕНЬ Й ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ЇХ МОДЕРНІЗАЦІЇ

1.1 Аналіз загальних характеристик електрокотельні

Електричні котельні призначені для опалення та гарячого водопостачання як житлових, так і промислових будівель та приміщень. Завдяки широкому діапазону продуктивності, вони здатні обігрівати приміщення площею до 30 000 м².

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики електричних котельних установок

№	Параметри	Значення
1	Призначення	опалення та гаряче водопостачання житлових та промислових об'єктів
2	Конструкція	блочно-модульна (контейнерна) • на рамі
3	Потужність, кВт	• на базі промислових котлів – 150-1000 кВт • на базі універсальних котлів – 35-125 кВт
4	Площа обігрівуючого приміщення, м ²	• на базі промислових котлів – до 10000 • на базі універсальних котлів – до 1250
5	Теплопродуктивність, Гкал/год.	до 2,58
6	ККД котлів, %	до 96
7	Система автоматики	клімат-залежне регулювання
8	Напруга електричного ланцюга, В	380
9	Максимальний тиск теплоносія, МПа	0,4
10	Діапазон регулювання температури теплоносія, °С	0-90
11	Номінальний струм автоматичного вимикача по фазі, А	400, 500, 630, 800, 1000

Потужність та теплопродуктивність електричних котелень залежать від типу та кількості котлів, що входять до їх складу. Отже, універсальні котли потужністю від 35 до 125 кВт підходять для опалення житлових приміщень та невеликих об'єктів площею до 1 250 м². Для великих об'єктів площею до 10 000 м² доцільно використовувати котельні з котлами потужністю від 150 до 1 000 кВт. В свою чергу, для обігріву будівель та споруд площею до 30 000 м² та більше випускаються надпотужні електричні котли з нормативною потужністю до 3 000 кВт.

До переваг електричних котлів відноситься їх здатність функціонувати як основне так і альтернативне джерело теплопостачання, що забезпечується високим рівнем автономності обладнання. Основою електричних котелень є котли, оснащені клімат-залежним контролером та багатоступінчастою системою захисту, яка охоплює як окремі нагрівальні елементи, так і весь котел в цілому [1].

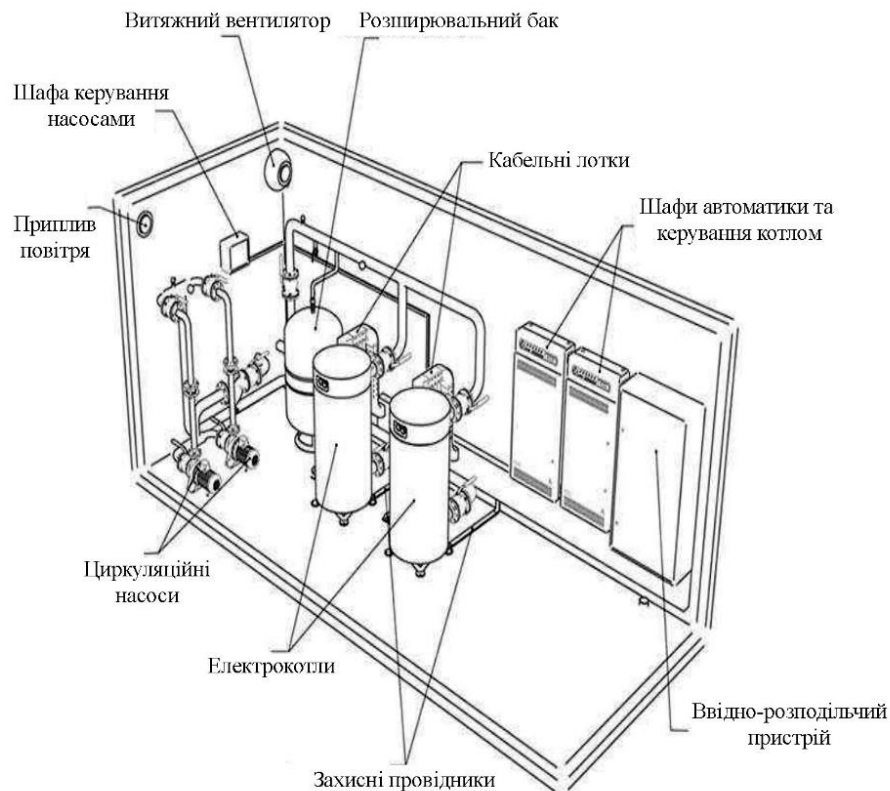


Рисунок 1.1 – Схема розміщення обладнання електричної котельні

Крім електричних котлів котельні оснащені (рис. 1.1):

- мережевими насосами;
- баком-акумулятором;
- шафою керування насосами (ШКН);
- шафою автоматики та керування електричними котлами;
- вступно-розподільчим пристроєм;
- контрольно-вимірювальними приладами (термоманометр, лічильник).

Для забезпечення постачання гарячої води електричні котельні обладнані теплообмінником або, так званим, накопичувальним водонагрівачем [2].

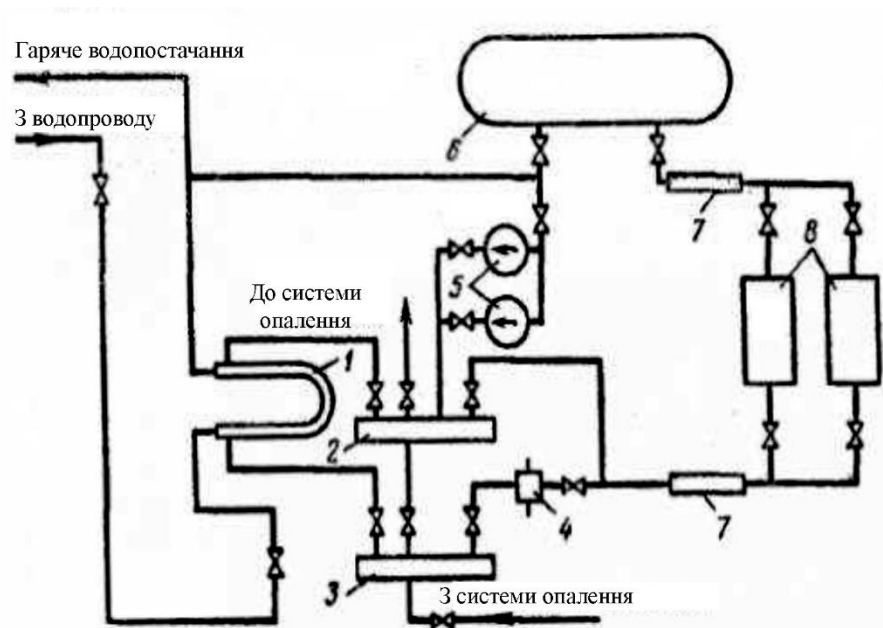


Рисунок 1.2 – Принципова схема електричної котельні

- 1 - швидкісного водонагрівача; 2 - колектора гарячої води;
 3 - колектора холодної води; 4 – грязьовика; 5 – насосів; 6 - бак-акумулятора;
 7 - ізоляційної вставки; 8 - електричних котлів

Система автоматизації електричних котлів дає змогу експлуатувати обладнання без необхідності постійної присутності персоналу та забезпечує ряд функцій:

- регулювання температури води для підтримки комфортного клімату;
- плавне та каскадне вмикання/вимикання електричних котлів з можливістю вибору оптимальної кількості активних нагрівальних елементів;

Отже, живлення подається на схему за допомогою перемикача QS. Насоси (основний та резервний) підключаються за допомогою автоматичних вимикачів QF2 та QF3, а котли – QF4, QF5 та контактором КМ.

Завдяки тому, що реле часу СТ має дві програми, котли можуть включатися в заданий час. Реле температури SK1 контролює температуру води у баці. Верхній контакт SK1 спрацьовує, коли температура води нижче заданої норми, нижній вмикається при досягненні максимального значення температури. Коли температура води вище на три-чотири градуси, ніж верхня межа реле SK1, реле SK2 активується, режим набуває статусу аварійного.

Блокуючий контакт SQ запобігає запуску котлів у разі, якщо двері огороження не зачинені. Котли можуть бути увімкнені лише тоді, коли один із контактів реле часу КТ замкнутий. Одночасно після включення QF2 або QF3 запускається насос та спрацьовують автоматичні вимикачі QF4, QF5 та QF1.

Кнопка SB2 живить котушку реле KV2, яке через проміжне реле KV3 запускає контактор силового ланцюга КМ котла. Коли температура піднімається вище за мінімум, верхній контакт SK1 розмикається, але живлення на реле KV3 подається через власний контакт KV3.1.

При максимальному значенні температури, нижній контакт SK1 замикається, отримує живлення від реле KV4 та через контакт KV3.3 проміжне реле KV3 знімає напругу з контакту КМ, що призводить до вимкнення котлів,

Якщо ланцюг не працює в аварійному режимі, то контакт SK2 замикається, отримує живлення реле KV5, активує реле KV6 своїм контактом, що подає напругу на котушку незалежного роз'єднувача QF1, перериваючи подачу живлення котлів. Блок контактів QF1.3 включають аварійне освітлення (HL2) та звукову сигналізацію НА [34].

Силова схема керування залишається релейно-контакторною, а керуючі ланцюги та алгоритми реалізуються за допомогою контролерів. Сталевий бак обладнаний форсунками для підключення підвідних та зворотних труб системи опалення, а також вбудованими пристроями різних конструкцій для

нагріву води, такими як індукційні котушки, електроди або нагрівальні елементи (рис. 1.4).

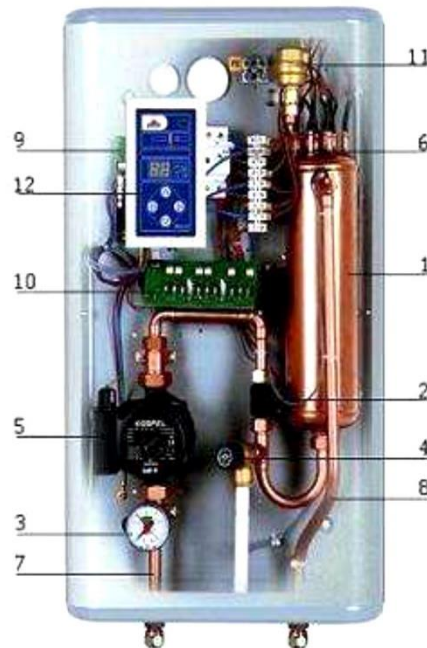


Рисунок 1.4 – Конструкція електричного котла

1 - нагрівальний вузол; 2 - датчик протоки; 3 - манометр; 4 - клапан безпеки;
 5 - насос; 6 - обмежувач температури; 7 - патрубок входу; 8 - патрубок виходу;
 9 - вузол WE/WY для спільної роботи з бойлером-акумулятором;
 10 - вузол потужності; 11 - автоматичний відвідник повітря; 12 - вузол потужності

Конструкція трифазного котла [2]:

Вражає, що принцип роботи трифазного котла надзвичайно простий: охолоджуюча рідина подається в розширювальний бак, який нагрівається за допомогою електроенергії, а потім розподіляється по радіаторах та трубах. Електричні котли відрізняються стовідсотковим коефіцієнтом корисної дії, простотою у використанні, високою економічністю та шумоізоляцією. Поряд з тим, варто відзначити безпечність та екологічність пристрою. Проте електричні котли мають певні недоліки, які зазвичай пов'язані з організацією електропостачання в країні.

Також, слід враховувати постійно зростаючу вартість електроенергії, перебої в електропостачанні, коливання напруги, які, в результаті, зменшують термін експлуатації обладнання негативно впливаючи на його функціонал.

1.2 Аналіз видів електричних котелень

В залежності від методу нагрівання теплоносія прийнято виділяти три основні типи електричних котлів, серед яких: тенові, електродні та індукційні.

В електричній котельні «Київська», яку ми досліджуємо, використовуються тенові котли типу ТЕН.

1.2.1 Тенові електричні котли

У котлах такого типу для нагріву охолоджуючої рідини застосовуються трубчасті нагрівальні елементи, так звані ТЕНи. Такі електричні провідники мають дуже високий опір. Коли через елемент безпосередньо проходить електричний струм, провідник нагрівається, передаючи тепло охолоджуючій рідині.

Варто згадати, що у побуті ТЕНами оснащені старі електрочайники та портативні водонагрівачі.

Недоліком тенових електричних котлів є утворення вапняних відкладень на стінках котла та поверхні нагрівача, що викликане жорсткою побутовою водою. Щоб запобігти цьому, котел оснащують різними «присадками» для очищення від вапна. Крім того, перед запуском котла, можна штучно знизити жорсткість води до оптимально допустимого рівня. Для пом'якшення води застосовують різноманітні спеціальні фільтри, дистиляцію води та попереднє кип'ятіння [1].

Також, деяким нюансом у використанні такого котла є витік охолоджуючої рідини. Якщо нагрівач не занурений у воду, він може перегрітися та «згоріти», що може спричинити займання всього приладу. Тому варто звернути особливу увагу на автоматизацію електричних котлів.

Розглянемо детально конструкцію теного котла на прикладі настінного електричного котла з еківтермальним регулюванням моделі Proterm. (рис. 1.5).

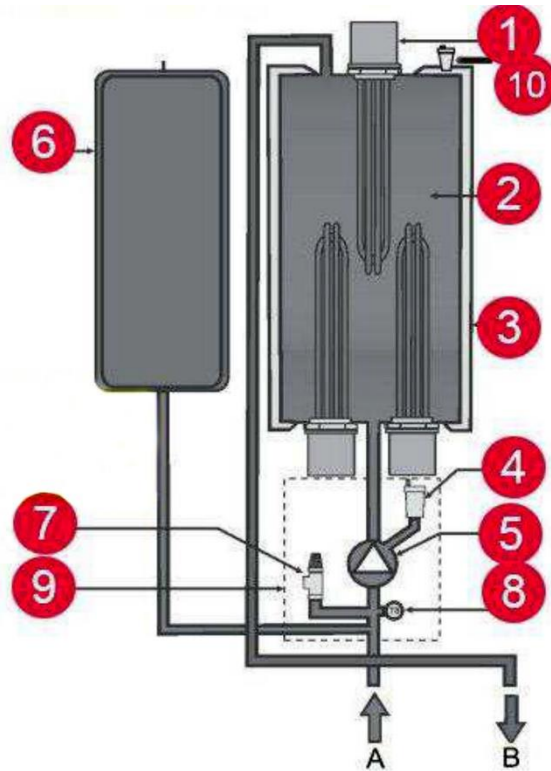


Рисунок 1.5 – Конструкція ТЕН котла

- 1 - ТЕНИ; 2 - розширювальний бак; 3 - насос; 4 - теплообмінник;
 5 - повітровідвідник; 6 - повітровідвідник теплообмінника; 7 - гідрогрупа;
 8 - запобіжний клапан; 9 - датчик тиску; 10 - ізоляція

Вода, що використовується як охолоджуюча рідина в системі опалення (стрілка А), потрапляє в котел, де нагрівається за допомогою трьох встановлених нагрівальних елементів. Після нагрівання вода піднімається в бак та виконує розворот (стрілка В) в системі опалення. Цей котел може працювати з системою теплої підлоги, якщо підключений аварійний термостат для регулювання температури води. Гідравлічна група котла містить двошвидкісний насос, який забезпечує циркуляцію охолоджуючої рідини.

Відзначимо, що теновий котел має захист від замерзання охолоджуючої рідини, від замерзання котла непрямого нагріву, захист насоса від заклинювання, а також запобіжний клапан на 3 бари.

Електричний котел підключається через відокремлену електропроводку, що оснащена власним автоматичним вимикачем. Інформацію про перетин кабелю та номінал автоматичних вимикачів можна знайти в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Рекомендовані параметри запобіжників та перерізів провідників [1]

Потужність котла, кВт	Кількість і потужність нагрівальних елементів	Сила струму в однофазовій системі (А)	Номінальний струм запобіжника (А)	Перетин дроту – Cu (мм ²)
6	2*3 кВт	9,5 (28*)	10 (32*)	1,5 (6*)
9	3 кВт + 6 кВт	14 (39*)	16 (50*)	1,5 (10*)
12	2*6 кВт	18,5	20	2,5
14	2*7 кВт	23	25	2,5
18	3*6 кВт	27,5	32	4
21	3*7 кВт	32	40	4
24	4*6 кВт	36,5	40	6
28	4*7 кВт	43	50	10

1.2.2 Індукційні котли

Електромагнітна індукція, що прямо впливає на провідник з феромагнітними властивостями, в результаті призводить до його нагрівання. У загальній системі опалення феромагнітний провідник виконує роль труби, в якій циркулює охолоджувальна рідина. Тому маємо проблему з утворення вапна, а також потрібен захист від витoku охолоджуючої рідини.

До складу індукційних котлів може входити декілька нагрівачів.

Три індукційних нагрівача включаються до конструкції котла. В свою чергу, кожен із них складається з індукційної котушки, теплообмінного металевго корпусу з вхідним та вихідним патрубками та клемної групи у захисній металевій коробці [2].

1.2.3 Електродні опалювальні котли

Проведемо порівняльний аналіз електродних котлів можна з проточними водонагрівачами, де вода нагрівається внаслідок проходження електричного струму через теплоносій. У пристроях такого типу

охолоджувальна рідина нагрівається безпосередньо завдяки спеціальним електродам, які вводяться в охолоджувальне середовище. Ці електроди викликають коливання вільних електронів, що, в свою чергу, нагріває воду.

Прийнято відрізняти електродні котли за такими параметрами як: циліндрична форма, компактний розмір, відносна економічність при встановленні та безпечність, адже вони не працюють без води. Також, відмінністю є автоматичне вмикання/вимикання за допомогою датчиків температури.

Таблиця 1.3 – Відомості про електричну котельню

Встановлена потужність Е/К, Гкал.	158,2
Наявна потужність Е/К, Гкал.	151,4
Витрати теплової потужності на власні потреби, Гкал/год.	0,01
«Фактичне» навантаження споживачів, Гкал/год, у тому числі:	133,5
опалення	132,2
вентиляція	1,1
ГВП (середньогодинна)	0,2
Переклад навантаження в ТЕЦ-2, Гкал/год.	75,0
Втрати теплової потужності в мережах, Гкал/год.	1,41
Фактичне навантаження на колекторах Е/К у гарячій воді, Гкал/год.	89,9
Резерв/дефіцит потужності котельні, Гкал/год.	61,4
Резерв/дефіцит встановленої потужності, Гкал/год	68,3

Поряд з перевагами, електродні опалювальні котли мають ряд недоліків, серед яких:

- потужність не підлягає регулюванню, можливе лише вмикання або вимикання;
- утворення накипу може виникнути через зниження потужності;
- вода потребує попередньої підготовки (очищення);
- не можливість використання традиційних охолоджувальних рідин (наприклад, тосолу чи класичного антифризу);
- дистильована вода не підходить як охолоджувальна рідина;

– існування ризику прямого витоку електрики на корпус та труби опалення;

– електроліз, що відбувається в електродному котлі, може призвести до утворення токсичних газів, що потребує періодичної заміни охолоджувальної рідини, що в свою чергу, призводить до удорожчання використання приладу.

Сьогодні, враховуючи складну ситуацію гідравлічних умов, повне перенесення споживачів теплової енергії від котелень на теплові мережі ТЕЦ не є економічно вигідним. Для втілення у життя такого перенесення потрібно виконати ряд витратних дій. Щоб знизити капітальні витрати для впровадження таких заходів, доцільно розглянути можливість часткового переведення споживачів котелень на мережі ТЕЦ. Щоправда, у цьому випадку котельня працюватиме виключно в пікові періоди, коли споживання мережної води в системах теплопостачання досягає свого максимуму [1].

До такої категорії котелень можна віднести електричні котельні. Максимально піковий режим роботи гарантує надійність та якість теплопостачання для споживачів у ті моменти, коли температури наближаються до розрахункових значень для опалювальних систем. Крім того, це дозволить знизити собівартість виробництва тепла безпосередньо в усій системі теплопостачання.

1.3 Технологічний процес обігріву електричної котельні як об'єкт модернізації

Автономна електрична котельня – це готова конструкція, призначена для опалення житлових та промислових будівель через закриту систему теплопостачання. Робота котельні є автоматизованою, що виключає необхідність присутності обслуговуючого персоналу. Керування її функціонуванням здійснюється дистанційно за допомогою переносного диспетчерського пульта.

Розглянемо технологічний процес електричної котельні, який має наступний алгоритм. Спочатку мережеву воду з температурою 70°C подають із системи опалення через зворотню трубу до відстійника, а звідти - до насосів, які забезпечують електричні котли. Потім вода нагрівається у котлах під впливом електричного струму, що проходить між електродами. Коли температура води буде 95°C , вона подається в систему опалення через пряму трубу. Після цього через трубопровід вода повертається до насосів та знову надходить у котли. Під час аналізу гарячої води підживлювальний насос перекачує необхідну кількість води, що бракує в загальній системі. Статичний тиск всмоктування насосів підтримується за допомогою спеціального регулятора тиску [1].

Відомо, що температура на виході з котла є регульованим параметром у загальній системі опалення. Це означає, що вона постійно підтримується на певному рівні під час роботи котла. Суттєвим фактором, що впливає на зміну температури, є процес надходження води в котел для нагрівання та вихід вже нагрітої води. Отже, основним чинником, що викликає коливання температури, є витрата води через котел.

Подача тепла автоматично регулюється на основі сигналів, отриманих від датчика температури котла та датчика температури навколишнього середовища. Електричний сигнал, що генерують датчики через з'єднувальні дроти, надходить до мікропроцесорного контролера, де оператор встановлює всі необхідні параметри для керування. Дані датчиків автоматично порівнюються в цій системі, а вплив контролю створюється у вигляді електричного імпульсу. Він подається на двигун та трансформується на обертання шпинделя, що прикріплений через масляний ущільнювач посередині кришки котла. Контролер потужності встановлений на вищезгаданому шпинделі, який прикріплений до ряду діелектричних екранів, які включені в прогалини таблички та вертикально переміщені проти них. У цьому пристрої сигнал, отриманий датчиком, порівнюється і керуючий вплив генерується у формі електричного імпульсу. Він передається на електродвигун

і перетворюється на обертання ротора, з'єднаного зі шпинделем, який проходить через сальник у середині кришки котла. Контролер потужності розташований на шпинделі у вигляді ряду діелектричних екранів, які входять у проміжки між пластинами і вертикально переміщуються щодо них. Залежно від кута, на який повернеться ротор двигуна, контролер потужності, переміщуючись по різьбленню шпинделя, спускатиметься або підніматиметься на певну висоту, змінюючи активну поверхню електродів, що підвищить або знизить потужність котла. Діапазон регулювання потужності котла може бути в межах від 25 до 100 % від номінальної потужності котла.

Так само як можливе регулювання температури в нормальному режимі роботи приладу, можна регулювати і при аварійних ситуаціях. Проте контролер може не впоратися з поверненням температури до належного рівня. Саме у таких випадках спрацьовує аварійна безпека. До таких заходів належить системи оборони, автоматичні вимикачі, комутатори, різноманітні запобіжники, а також інше захисне обладнання. З температурою нагрівання води до 1000 градусів, а також у випадку багатофазних та однофазних коротких ланцюгів у лінії, яка постачає у котел електроенергією, що перевищує максимальну напругу у п'ять відсотків, втрачається асиметрія.

Висновки за розділом

Виконали аналіз процесу обігріву промислової будівлі. Провели огляд видів котлів. Виявили сильні та слабкі сторони кожного з видів. Провели аналіз технологічного процесу обігріву електричною котельною як об'єкт модернізації.

2. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОКОТЕЛЬНІ

2.1 Завдання та функції електростельні

Автоматизація – це можливість застосування інструментів, які виконують виробничі процеси без прямої участі людини, але під її безпосереднім контролем. Вона сприяє збільшенню обсягів виробництва, зменшенню витрат, покращенню якості продукції, скороченню чисельності працівників, підвищенню надійності, а також поліпшенню умов праці та безпеки.

Отже, автоматизація дозволяє здійснювати контроль за роботою механізмів без людської участі. В ідеалі, в автоматизованому виробничому процесі роль людини зводиться лише до налаштування, обслуговування обладнання та моніторингу його роботи. Автоматизація спрощує як фізичну працю, так і розвантажує розумову діяльність.

Сьогодні застосування автоматизованих систем керування будь-якими технологічними процесами є перспективним сучасним напрямком у сфері енергозбереження. Зазначимо, що об'єкти автоматизації охоплюють опалення, гаряче та холодне водопостачання, системи вентиляції, а також різноманітні технологічні пристрої, які потрібні для наукових досліджень. Очікуваний економічний ефект від застосування АСК ТП досягається завдяки максимально точному контролю параметрів процесу, обліку енергоспоживання, моніторингу технологічного обладнання та зменшенню часу реагування персоналу на аварійні ситуації.

При підтримці каскадів АСК ТП електричні котли можуть мати найбільш ефективну залежність між продуктивністю та споживанням тепла. Споживачі максимально забезпечені теплом в необхідний період. Також, досягається бажана температура котлів та суттєво заощаджується значна кількість палива.

Сучасні автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСУ ТП) можуть складатися з компонентів від різних виробників, що, в свою чергу, забезпечує можливість якісного та кількісного розширення.

Основні завдання автоматизації котельні включають:

1. Автоматичний запуск та зупинка котлів у робочому режимі, а також зупинка в аварійних ситуаціях.
2. Автоматичне регулювання потужності котла.
3. Каскадне керування котельнею.
4. У разі відмови основного котла автоматичне включення резервного.
5. Контроль температури охолоджувальної рідини.
6. Відновлення робочих і теплових мереж.
7. Керування насосами.
8. Захист котлів та технологічного обладнання від перевищення граничних навантажень.
9. Сигналізація для персоналу та аварійні повідомлення на робочому місці оператора (АРМ оператора котельні).
10. Алгоритми енергозбереження для ефективної роботи котельні.

Диспетчеризація електричного котельного приміщення – це система контролю елементів, яка забезпечує координовану експлуатацію обладнання та службових одиниць, які входять до складу комплексу ланцюга водопостачання. Диспетчерські служби підтримки котелень покликані підвищити ефективність застосування електрообладнання, зменшити виробничі витрати та покращити якість виробленої продукції.

Відзначимо, що функції диспетчеризації електрокотельні реалізуються через автоматичне керування, яке включає в себе:

- 1) забезпечення безперервної подачі води споживачам з заданими параметрами тиску та температури;
- 2) підвищення надійності системи шляхом ефективного контролю за роботою персоналу;

- 3) моніторинг та зберігання інформації про функціонування мережі для подальшої аналітичної та статистичної обробки;
- 4) вимірювання витрат води та складання графіків роботи насосів;
- 5) скорочення часу на аналіз та прийняття рішень у різних ситуаціях;
- 6) зниження витрат завдяки раціональному використанню енергії;
- 7) керування насосами, які підтримують тиск у мережі при зміні обсягу;
- 8) зменшення споживання енергії без порушення технологічних процесів.

Диспетчерське керування електричною котельнею реалізується за допомогою програмного забезпечення, яке надає оператору інтерактивний доступ до архіву даних про роботу пристроїв та можливості керування технологічними процесами.

Також, завдяки диспетчеризації черговий диспетчер може дистанційно запустити або зупинити електричну котельню, а також перемикати та регулювати будь-які її механізми.

Теплотехнічний контроль функціонування електричної котельні та всього обладнання виконується за допомогою автоматизованих приладів, які забезпечують безперервний моніторинг процесів. Теплотехнічні пристрої керування розташовані на панелях та щитах керування, що сприяє зручності моніторингу та обслуговування.

Технологічні блокування виконують визначену кількість операцій у певній послідовності під час запуску та зупинки механізмів, а також при активації технологічного захисту. Вони запобігають виконанню неправильних дій під час технічного обслуговування та забезпечують відключення обладнання в разі аварійної ситуації.

Відзначимо, що пристрої технологічної сигналізації сповіщають черговий персонал про стан обладнання, попереджають про наближення параметрів до небезпечних значень та сигналізують про виникнення аварійних ситуацій в електричній котельні та її обладнанні. Сигнали можуть бути звукові та світлові.

Головним завданням роботи електричних котлів є ефективний розвиток необхідних параметрів та безпечні умови праці. Тому експлуатація обладнання повинна відповідати вимогам чинного законодавства, правилам та стандартам Держтехнагляду.

Для кожної електричної котельні, як окремої одиниці, мають бути розроблені посадові та технологічні інструкції, що регламентують нормативне обслуговування обладнання, необхідність проведення ремонтних робіт, своєчасність застосування заходів безпеки, а також запобігання та усунення будь-яких аварій. Відзначимо, що технічні паспорти на трубопровідне обладнання, документи, що регламентують виконавчі, експлуатаційні та технологічні плани повинні бути розроблені для кожної поставленої цілі окремо. Знання вищенаведених інструкцій, режимних карт роботи котла та інших нормативних матеріалів є обов'язковим для робочого штату котельні.

Також, обов'язковим є ведення оперативного журналу, в якому фіксуються інструкції керуючого котельні та записи чергового персоналу щодо оперативної роботи всього обладнання. Ще одним обов'язковим документом є ремонтна книга, де фіксуються всі виявлені дефекти роботи приладу, а також заходи, що були вжиті для їх усунення. За результатами роботи котельні формуються первинні та вторинні звіти. Перші формуються на основі роботи блоків та реєстраторів, тоді як другі звіти містять загальні дані про котел за певний період. Кожен котел маркується унікальним номером.

2.2 Вибір засобів автоматизації електрокотельні

Щоб отримати дійсно достовірну, кількісну та якісну інформацію про параметри технологічного процесу, необхідно обрати вірний метод та засіб вимірювання. Саме тому інструменти автоматизації повинні бути технічно обґрунтованими та економічно виправданими. Конкретний тип автоматичного пристрою визначається на основі характеристик об'єкта керування та обраної системи керування.

Доведено, що доцільним буде використання пристроїв одного типу, які є централізованими та економічно доступними, що значно спростить постачання та експлуатацію приладів. Оскільки процес нагрівання води не є вибухонебезпечним, тому для автоматизації використовують електричні пристрої. Електричні пристрої порівняно з пневматичними є максимально точними та швидкими. Саме джерело енергії для електричної автоматизації є простішим та надійнішим, а також не має обмежень по відстані між підсилювачем та приводом. Також, електричне керування спрощує об'єднання різних імпульсів. Досліджуваним об'єктом автоматизації системи керування у нашій роботі є електрична котельня «Київська».

Перетворювач частоти. Для впровадження автоматизації системи встановимо перетворювачі частоти HYUNDAI N700E-004HF (рис. 2.1) на кожен окремий насос разом з датчиками тиску та температури. Головна функція мережевих насосів полягає в тому, що холодна вода надходить до насосів електричної котельні, які перекачують її в групу електричних котлів. Вода нагрівається до 130 °С для подальшого опалення та водопостачання кінцевим споживачам [3].



Рисунок 2.1 – Перетворювач частоти HYUNDAI N700E-004HF

Функцію підтримки постійного тиску з варіативною витратою в електричній котельні виконують мережеві насосами та насоси підживлення, які постачають у систему воду. Дані про актуальний тиск у системі подачі води надходять з датчика, розташованого на виході з котельні. Система керування

мережевим насосом може працювати в автоматичному та в ручному режимах. Перемикання між режимами здійснюється з панелі керування відповідальною особою.

Якщо режим регулювання тиску є автоматичним, то система керування складається з контролера та модуля введення/виведення. Поточне значення тиску в напірній частині подачі води отримується від датчика тиску. В залежності від цього значення контролер надсилає команди на перетворювач частоти HYUNDAI N700E-004HF, підключаючи його до насоса 1 або насоса 2. Цікавим є те, що можливе одночасне використання обох насосів або роботи лише одного, коли інший в режимі очікування. Контролер управляє одночасно усією електроавтоматикою, встановлюючи параметри продуктивності насоса на перетворювачі частоти та необхідну потужність для мережевого насоса. Ручний режим використовується не часто – коли автоматична робота системи керування неможлива або має аварійний стан [13].

Датчик тиску. У якості датчику тиску обираємо Rosemount 3051C (рис. 2.2). Цей датчик оснащений сенсорним модулем на основі ємнісної комірки для вимірювання перепаду тиску, надлишкового та абсолютного тиску з верхніми межами виміру від 0,025 до 27580 кПа [4].



Рисунок 2.2 – Датчик тиску Rosemount 3051 виконання Coplanar™

Параметри датчика:

- точність: + / - 0.075%;
- перепад тиску: тарування inH₂O 0.5 - 2000 psi;
- тиск: тарування inH₂O 0.5 - 2000 psi;

– абсолютний тиск: ряд тарування 0.167 - 4000 psia [14].

Датчик температури. Принцип вимірювання температури для датчиків ТП101 - К (рис. 2.3) ґрунтується на залежності опору чутливого платиного елемента ТП100, який розташований у вимірювальному зонді, від температури води, в яку занурений цей зонд. Датчики ТП101-К мають герметичний вимірювальний зонд та 2-провідний кабель стандартної довжини 5 метрів. У зонді з нержавіючої сталі міститься платиновий термочутливий елемент ТП100, а також плата, що перетворює інформацію про температуру води на стандартний вихідний сигнал у вигляді струму (4 - 20 мА). Один кінець кабелю датчика ТП101 - К герметизований за допомогою зонда, тоді як з іншого боку розташовані два відкриті провідники, вмонтовані в кінці штирів [5].



Рисунок 2.3 – Датчик температури ТП101 – К

Результати вимірювань температури передаються на будь-який приймальний пристрій, що підтримує аналоговий сигнал. Такими пристроями можуть бути реєстратори даних, контролери, шафи керування, персональні комп'ютери та зовнішні монітори, які оснащені аналого-цифровим перетворювачем. Дистанція зв'язку між датчиком та реєстратором може досягати 500 метрів. Датчики ТП101-К призначені для тривалого занурення і мають ступінь захисту IP54.

Технічні параметри:

- показник теплової інерції – 90 с;
- максимальна швидкість нагрівання – 80 °С/хв;

- ступінь захисту - IP54;
- довжина кабельного виводу - 0.5-1м;
- допустима температура на вузлах датчика – від -40 до +200 °С [15].

Контролер. Відзначимо, що програмовані контролери Simatic S7-300 призначені для побудови систем автоматизації низької та середньої складності. Використовуються для автоматизації насосів (рис. 2.4), кожен з яких запрограмований для кожної конкретної цілі [6].



Рисунок 2.4 – Контролер Simatic S7-300

Серед основних переваг контролера виокремлюють наступні:

- модульна конструкція з легким монтажем завдяки профільній шині (рейці);
- система охолодження;
- розподілене та локальне введення/виведення;
- підтримка комунікаційних мереж: MPI, Profibus, Industrial Ethernet/PROFINet, AS-i, BACnet, MODBUS TCP;
- підтримка функцій реального часу на рівні операційної системи;
- обробка апаратних та програмних помилок на рівні ОС;
- підтримка апаратних переривань на рівні ОС;
- безкоштовне розширення можливостей з модернізацією системи;
- використання розподілених структур введення/виведення та легка інтеграція в різні типи мереж [16].

Операторська панель. Операторські панелі серії WebOP-2000T, що базуються на процесорі з RISC-архітектурою, задовольняють стандарти

автоматизаційних додатків таких як упаковка, вирізання етикеток, автоматизоване дозування [7].



Рисунок 2.5 – Панель оператора WebOP-2000T

Модель WOP-2070T підтримує понад 350 протоколів промислового зв'язку ПЛК, забезпечуючи відповідність широкому спектру промислових застосувань. Панелі НМІ від Advantech випускаються з попередньо встановленою ОС реального часу або з вбудованою Microsoft WinCE 6.0, що доповнюється редактором WebOP Designer для обох типів моделей, що робить їх ідеальними для керування в системах з гнучкою інтеграцією. WebOP Designer 2.0 - це інструмент для розробки, який забезпечує сумісність з різними моделями ПЛК і сприяє створенню прикладних рішень для зменшення робочих зусиль, підвищення продуктивності виробництва та оптимізації процесу керування на кожному виробничому об'єкті. Панелі оператора від Advantech оснащені РК-дисплеями з легкістю очищення та захистом IP66, з діагоналлю від 3.5" до 12", що робить їх відмінно підходящими для використання з будь-якими ПЛК-додатками, контролерами руху, терморегуляторами, інверторами та датчиками.

Модульна станція. Розглянемо станцію ET 200S (рис. 2.6), що призначена для налаштування розподілених систем введення/виведення, що базуються на мережах PROFIBUS DP або PROFINET IO. Вона оптимізована для використання з програмованими контролерами SIMATIC S7/WinAC, але є сумісною з контролерами інших виробників, які підтримують функції

провідного пристрою DP або контролера PROFINET IO. Станція має рівень захисту IP 20 [8].

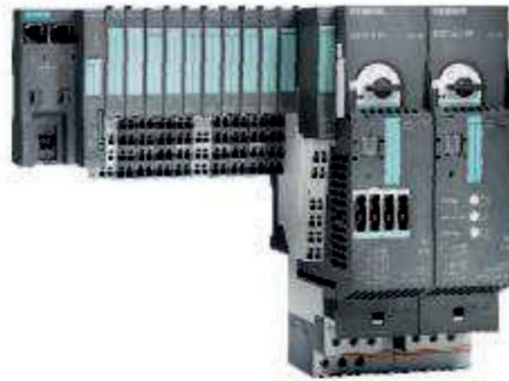


Рисунок 2.6 – Модульна станція ET 200S

До основних переваг модульної станції ET 200S відносять:

- 1) система розподіленого введення/виведення з рівнем захисту IP 20;
- 2) наявність звичайних та інтелектуальних інтерфейсних модулів з вбудованими центральними процесорами для підключення станції до мереж PROFIBUS DP та PROFINET IO;
- 3) використання в системах розподіленого введення/виведення загального призначення, а також у системах протиаварійного захисту та забезпечення безпеки;
- 4) попередня обробка інформації на рівні станції за допомогою інтелектуальних інтерфейсних модулів, що зменшує навантаження на мережу;
- 5) широкий асортимент електронних, технологічних та силових модулів;
- 6) гнучкі можливості адаптації обладнання до вимог конкретних завдань;
- 7) потужні діагностичні функції, швидке усунення несправностей, що дозволяє скоротити час простою промислових машин та установок;
- 8) можливість «гарячої» заміни модулів під час роботи станції, керованої програмованим контролером S7-400/S7-1500.

2.3 Розроблення функціональної схеми автоматизації електрокотельні

Відзначимо, технологічна схема системи теплопостачання аналогічна відкритій, але система підживлення призначена для компенсації незначних витоків води. Це означає, що об'єм баків для підживлювальної води значно менший, або такі баки можуть бути зовсім відсутніми, що характерно для систем теплопостачання малої потужності. У котельнях з невеликою потужністю для гарячого водопостачання встановлюють підігрівачі води.

Спрощена схема закритої залежної системи теплопостачання зображено на рисунку 2.7.

Отже, силова схема керування залишається релейно-контакторною, а керуючі ланцюги та алгоритми реалізуються за допомогою контролерів.

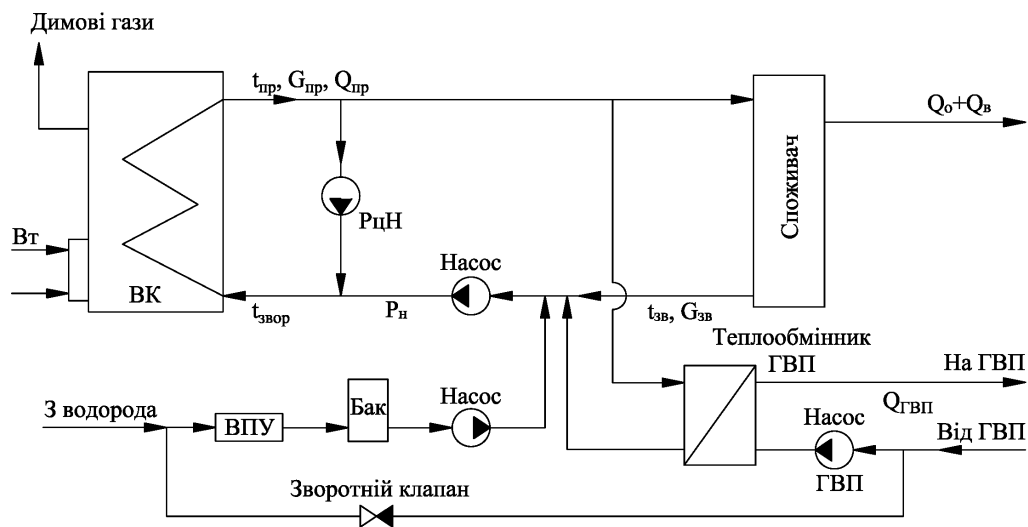


Рисунок 2.7 – Спрощена технологічна схема закритої системи теплопостачання

Електричний котел забезпечує теплове навантаження, яке визначається різницею температур між прямою водою ($t_{пр}$) та зворотною водою ($t_{зв}$) перед котлом, а також потоком прямої води ($G_{пр}$). Для цього котел повинен бути оснащений регуляторами температури для обох потоків. Регулювання підживлення має гарантувати, що незначні втрати води в системі

компенсуються підготовленою водою (через ВПУ) шляхом активації підживлювального насосу. Система гарячого водопостачання також повинна бути забезпечена зворотним клапаном, який відкривається при зниженні тиску води в системі ГВП.

Структурна схема ілюструє основні функціональні компоненти обладнання, їх призначення та взаємозв'язки між ними.

На рисунку 2.8 представлена структурна схема автоматизації системи електричної котельні з акумуляцією теплоти для тепlopостачання. У ній зазначені всі датчики та виконавчі механізми, які використовуються для регулювання параметрів процесу. Ця схема спрощує визначення необхідних модулів для контролера.

Згідно вищенаведеної схеми підігріта в електричних котлах вода потрапляє в бак-акумулятор, звідки мережеві насоси подають її до лінії теплової мережі. Частина цієї води використовується в теплообміннику для нагрівання чистої водопровідної води, що надходить у систему гарячого водопостачання (ГВП). Температура нагрівання регулюється контролером ТС, який контролює витрату води, що проходить через теплообмінник.

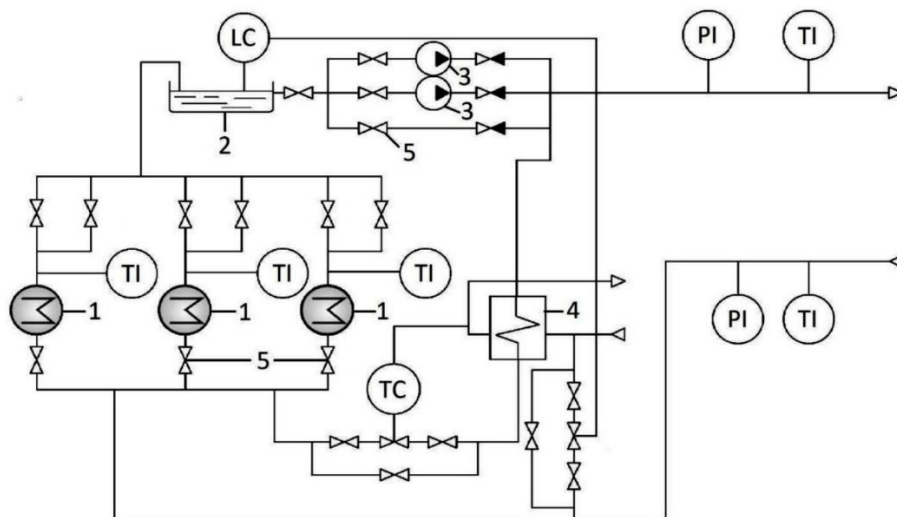


Рисунок 2.8 – Схема автоматизації електричної котельні

Теплова мережа постачається водопровідною водою через регулятор LC, який підтримує необхідний рівень води в баку-акумуляторі. Програмне реле

працює за встановленим графіком, що запобігає включенню котлів під час пікових навантажень. Якщо температура води в опалювальній мережі знижується до критично низького рівня, теплопроводи можуть замерзнути. У такому випадку котли автоматично активуються.

Блокуючі пристрої інтегруються в систему перемикавання котла, щоб зупинити його роботу у разі переривання водного циклу (наприклад, при відключенні мережевих насосів) та автоматично активувати резервний насос замість зупинених.

Візуально функціональна схема електричної котельні зображена на рисунку 2.9.

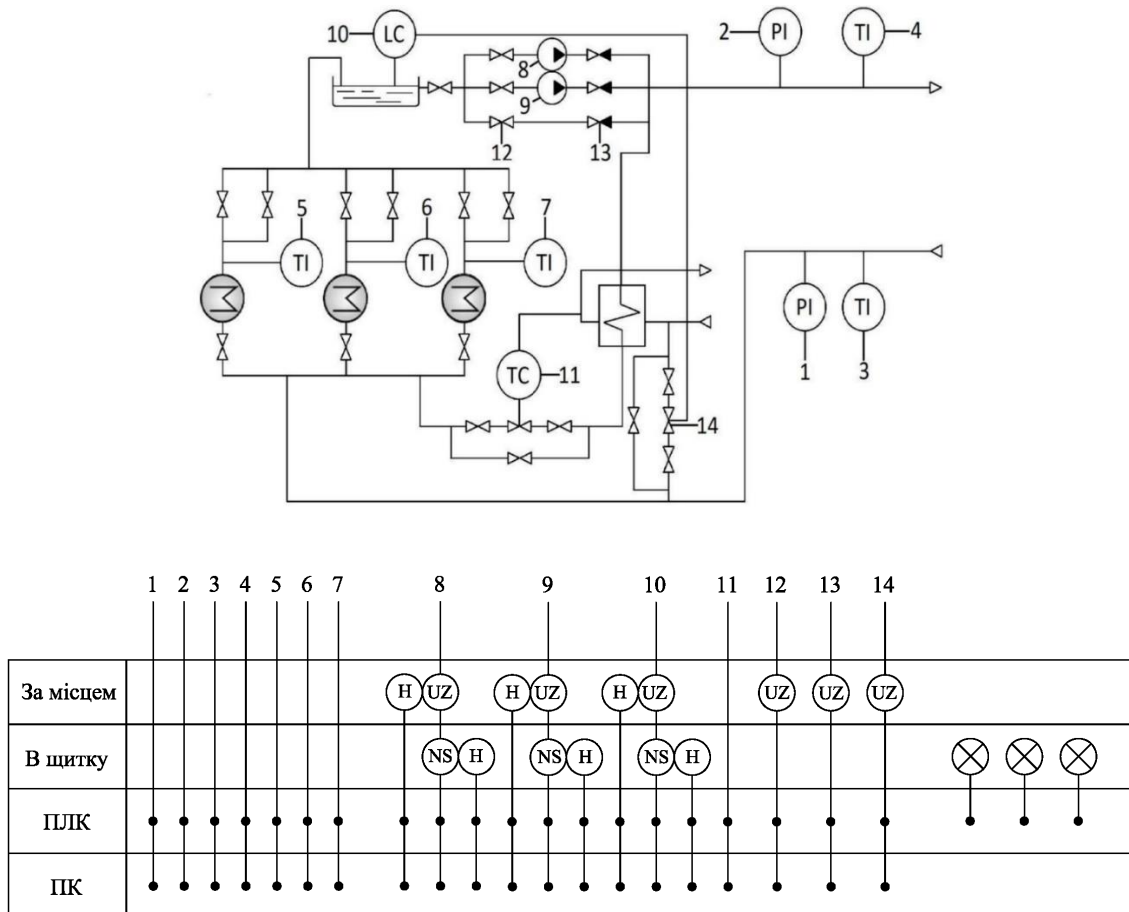


Рисунок 2.9 – Функціональна схема автоматизації електричної котельні
 1 – тиск на вході; 2 – тиск на виході; 3 – температура на вході;
 4 – температура на виході; 5, 6, 7 – температура на виході електродкотла;
 8 – керування насоса №1; 9 – керування насоса №2; 10 – керування підживлюючого насосу; 11 – температура нагріву; 12 – клапан з електроприводом; 13 – зворотній клапан з електроприводом; 14 – клапан з електроприводом на перемичці

Таблиця 2.1 – Прилади за місцем

Позиція	Найменування	Кількість
1,2	Датчик тиску Rosemount 3051C	2
3-7	Датчик температури ТП101 – К	5
8,9,12-14	Операторська панель WebOP-2000T	1
10	Перетворювач частоти HYUNDAI N700E-004HF	1

До складу автоматизованої електричної котельні входять: електричні котли; бак-акумулятор; насоси; водяний теплообмінник системи гарячого водопостачання; регулюючі клапани.

Вона є основним технічним документом, що визначає структуру та особливості автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСК ТП) проектного об'єкта. Ця схема включає технологічне обладнання, комунікації, пристрої керування, прилади та засоби автоматизації, а також взаємозв'язки між ними.

2.4 Параметри контролю та регулювання

Відповідно до функціональної схеми маємо 8 параметрів контролю та сигналізації, 4 параметри регулювання, що представлені в таблицях 2.2-2.4.

Таблиця 2.2 – Параметри контролю

№	Найменування	Значення
1	Тиск води на вході трубопроводу опалення	До 1.6 Мпа
2	Тиск води на виході трубопроводу опалення	До 1.6 Мпа
3	Тиск води на вході трубопроводу ГВП	До 1.6 Мпа
4	Тиск води на виході трубопроводу ГВП	До 1.6 Мпа
5	Температура води на вході трубопроводу опалення	0 – 180 °С
6	Температура води на виході трубопроводу опалення	0 – 180 °С
7	Температура води на вході трубопроводу ГВП	0 – 180 °С
8	Температура води на виході трубопроводу ГВП	0 – 180 °С

Таблиця 2.3 – Параметри регулювання

№	Найменування	Призначення
1	Електродвигун насоса	Підтримка тиску в системі теплопостачання
2	Засувка на подаючому трубопроводі	Подача води по подаючому трубопроводу
3	Засувка на зворотному трубопроводі	Подача води по зворотному трубопроводу
4	Засувка на перемичці	Подача води із зворотного трубопроводу в подаючий

Таблиця 2.4 – Параметри сигналізації

№	Найменування	Значення
1	Тиск на вході подаючого трубопроводу	менше 0.5 МПа або більше 1.2 МПа
2	Тиск на виході подаючого трубопроводу	менше 0.5 МПа або більше 1.2 МПа
3	Тиск на вході зворотного трубопроводу	менше 0.4 МПа або більше 1.2 МПа
4	Тиск на виході зворотного трубопроводу	менше 0.4 МПа або більше 1.2 МПа
5	Температура на вході подаючого трубопроводу	менше 65°C або більше 100°C
6	Температура на виході подаючого трубопроводу	менше 65°C або більше 100°C
7	Температура на вході зворотного трубопроводу	менше 40°C або більше 100°C
8	Температура на виході зворотного трубопроводу	менше 40°C або більше 100°C

Висновки за розділом

Побудовано структурну схему та представлено функціональну схему автоматизації системи керування електричною котельнею. Описані технічні засоби автоматизації, обрані при модернізації електричної котельні, що включають в себе головним чином: запобіжні, регулюючі клапани та контрольно-вимірювальні прилади.

3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОКОТЕЛЬНІ

3.1 Теплогідравлічний розрахунок електрокотельні

Проведемо тепло-гідравлічний розрахунок. Для цього прийємо початкові умови теплових навантажень тепло-споживаючих систем будівель:

- опалювальний період – 5616 год;
- розрахункова температура зовнішнього повітря для системи опалення, -37°C ;
- середня температура за опалювальний період $-6,7^{\circ}\text{C}$.

Розрахунок витрат мережної води проводився за температурним режимом $65 - 100^{\circ}\text{C}$ обмеженням температури теплоносія в трубопроводі до 100°C . Середньо-годинні витрати тепла та теплоносія на водопостачання для систем теплопостачання розраховувалися за ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація» від 01.03.2013 [9].

Отже, втрати тепла трубопроводами системи теплопостачання обчислюють за такою формулою:

$$Q^{ht} = \sum Q_i^{ht}; \quad (3.1)$$

$$Q^{ht} = K_i \cdot dT \cdot I = K \cdot (T_{ср.} - T_{навк.}) \cdot I; \quad (3.2)$$

де: Q_{ht} – тепловтрати окремих ділянок теплопостачання, Вт;

K_i – лінійний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м $^{\circ}\text{C}$);

dT – температурний тиск, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{ср.}$ – середня температура води у трубопроводі, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{навк.}$ – температура навколишнього повітря, $^{\circ}\text{C}$;

I – довжина ділянки трубопроводу, м.

Формула 3.3 регламентує розрахунок втрат температури у трубопроводах системи тепломережі:

$$T_3 = \frac{3,6 \cdot Q_{дiл} \cdot T_2 - Q_i^{ht} \cdot (1/1,163)}{3,6 \cdot Q_{дiл}}; \quad (3.3)$$

де: $Q_{\text{діл}}$ – розрахункова витрата води на ділянці трубопроводу; л/с;

Q^{ht} – втрати теплової ділянки трубопроводу з урахуванням ізоляції, Вт;

T_2 – початкова температура теплоносія; °С;

(1/1,163) – коефіцієнт перекладу. 1 ккал/год. = 1,163 Вт.

Результати обчислень за формулою (3.3) показані у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Втрати температури теплоносія у трубопроводах

Температура на виході трубопроводу, T_2 °С	Температура на вході трубопроводу, T_3 °С	Температура зовнішнього повітря, $T_{\text{зовн}}$ °С
75	50	0
85	60	0
75	48,5	-10
85	58,5	-1
75	40,15	-20
85	50,25	-20

Коли вода рухається по трубі, вона стикається з опором, викликаним тертям об стінки та іншими перешкодами. Це явище називається гідравлічним опором трубопроводу. Його чисельне значення прямо пропорційне швидкості потоку.

Розрахунок втрати тиску на відрізку трубопроводу з відомою довжиною здійснюється наступним чином:

$$\Delta p = R \cdot L \cdot (1 + K_m); \quad (3.4)$$

де: Δp – втрата тиску в метрах водяного стовпа. Така характеристика застосовна через те, що змінюється тиск води в її потоці;

R – питомі втрати тиску 1 м довжини трубопроводу, Па/м;

L – довжина трубопроводу в метрах, м;

K_m – коефіцієнт додаткових опорів (ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація» від 01.03.2013) [10].

У таблиці 3.2 представлені значення тиску в трубопроводі різниця між якими відповідає величині обчисленої за формулою (3.4).

Таблиця 3.2 – Порівняння значень тиску теплоносія у трубопроводі

Тиск на виході трубопроводу P_2 , МПа	Тиск на вході трубопроводу P_3 , МПа
1,2	1
1	0,8
0,95	0,75
0,85	0,65
0,7	0,5
0,6	0,4

Порівняння значень тиску теплоносія у трубопроводі показало, що втрати тиску становлять 0,2 МПа.

3.2 Комп'ютерна модель із застосуванням програми VisSim

У сучасному світі при створенні математичних комп'ютерних моделей використовується спеціалізоване програмне забезпечення, яке покликане спрощувати та автоматизувати процес моделювання. Це досягається завдяки принципу візуального програмування, де користувач формує модель пристрою, використовуючи стандартну бібліотеку блоків, та проводить розрахунки. На відміну від традиційних методів моделювання, для роботи з такими програмами можна не володіти мовою програмування, достатньо загальних комп'ютерних навичок та знань у відповідній предметній області. Існує широкий вибір програм, які реалізують принцип візуального програмування для розробки комп'ютерних математичних моделей, серед яких: Simulink, ПК MBTU, VisSim тощо [11].

У нашому проєкті для моделювання була обрана програма VisSim, оскільки вона є більш потужною та безкоштовною.

VisSim – це система автоматизації розрахунків, призначена для моделювання явищ та різних процесів у складних технічних системах. У VisSim об'єктом моделювання може бути будь-яка система, пристрій або процес, математична модель якого описується за допомогою системи

диференціально-алгебраїчних рівнянь та реалізується методами структурного моделювання.

VisSim впроваджує принцип модельно-орієнтованого проектування, який об'єднує розробку технологічних систем із створенням складних моделей. У процесі розвитку проекту з'являється можливість уточнювати та інтегрувати окремі елементи моделі для досягнення більшої точності [12].

3.3 Моделювання роботи електрокотельні

Для активації робочого режиму, система повинна виконати весь алгоритм роботи котельні. Після цього проводиться контроль основних параметрів, які забезпечують стабільну роботу тиску та температури води в усій мережі [13].

Основне призначення та функції автоматизованої системи зводяться до:

- 1) нагрівання води та її подача в мережу;
- 2) виконання алгоритму та перехід системи в робочий режим;
- 3) моніторинг основних параметрів для підтримки системи в дієздатному стані.

Алгоритм функціонування комп'ютерної моделі автоматизованої електричної котельні наведено на рисунку 3.1. При запуску системи нагрівається вода та подається до мережі. Через зворотний трубопровід вона повертається до насосів та знову надходить у котли. Під час аналізу гарячої води підживлювальний насос перекачує необхідну кількість води, якої бракує в системі. Статичний тиск всмоктування насосів підтримується за допомогою регулятора тиску.

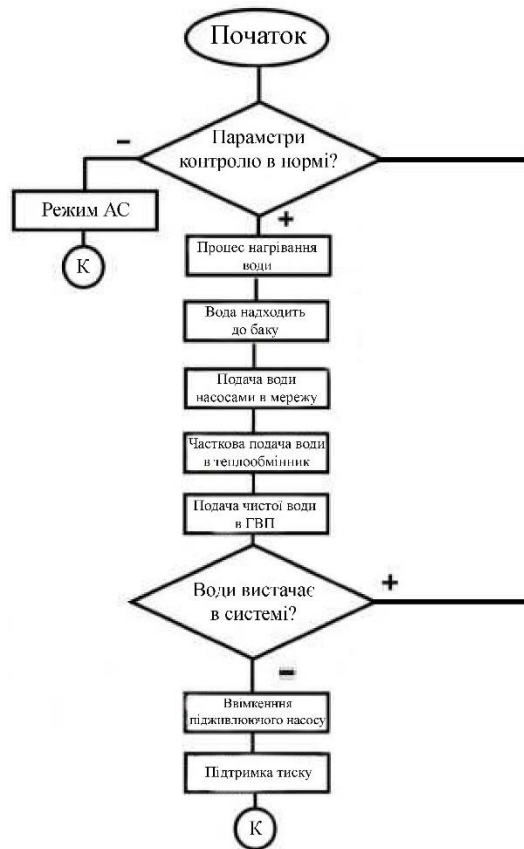


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи, автоматизованої електричної котельні

Маємо загальний вигляд комп'ютерної моделі на рисунку 3.2. На ньому зображені електричні котли, бак-акумулятор, теплообмінник, засувки, трубопроводи та насоси [14].

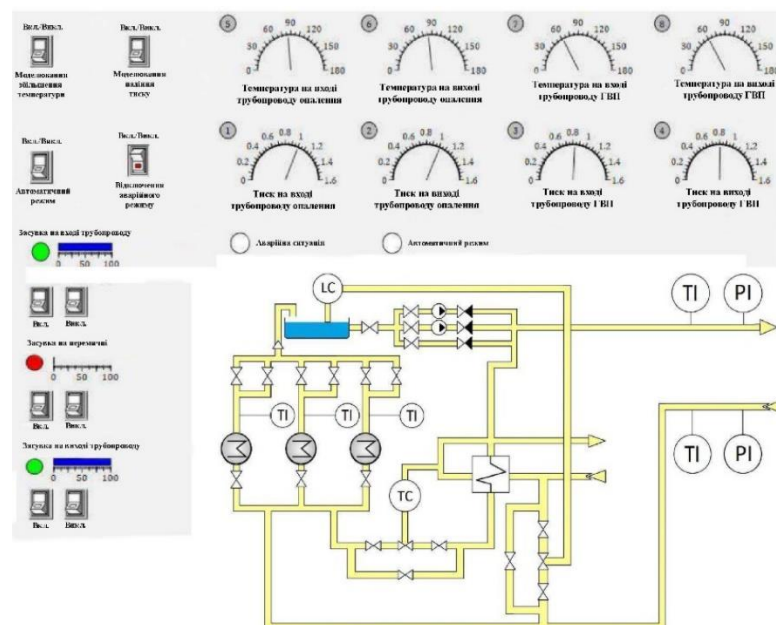


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд комп'ютерної моделі

Умовні позначення датчиків на панелі оператора:

- 1) датчик тиску води на вході опалювального трубопроводу;
- 2) датчик тиску води на виході опалювального трубопроводу;
- 3) датчик тиску води на вході трубопроводу ГВП;
- 4) датчик тиску води на виході трубопроводу ГВП;
- 5) датчик температури води на вході опалювального трубопроводу;
- 6) датчик температури води на виході опалювального трубопроводу;
- 7) датчик температури води на вході трубопроводу ГВП;
- 8) датчик температури води на виході трубопроводу ГВП.

На рисунку 3.3 представлена тепло-гідравлічна схема електричної котельні, виконана в програмі VisSim [15].

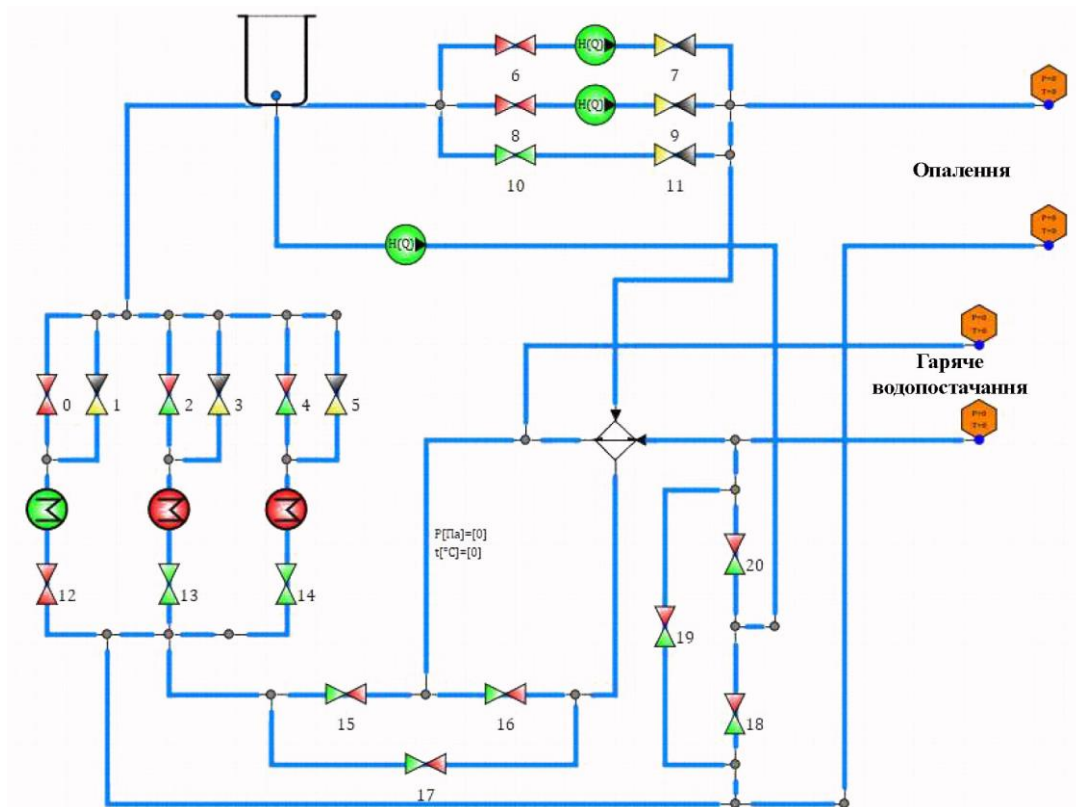


Рисунок 3.3 – Теплогідравлічна схема електричної котельні

Маємо часові графіки зміни тиску та температури води у трубопроводі (рис. 3.4, 3.5) з моменту відкриття засувки.

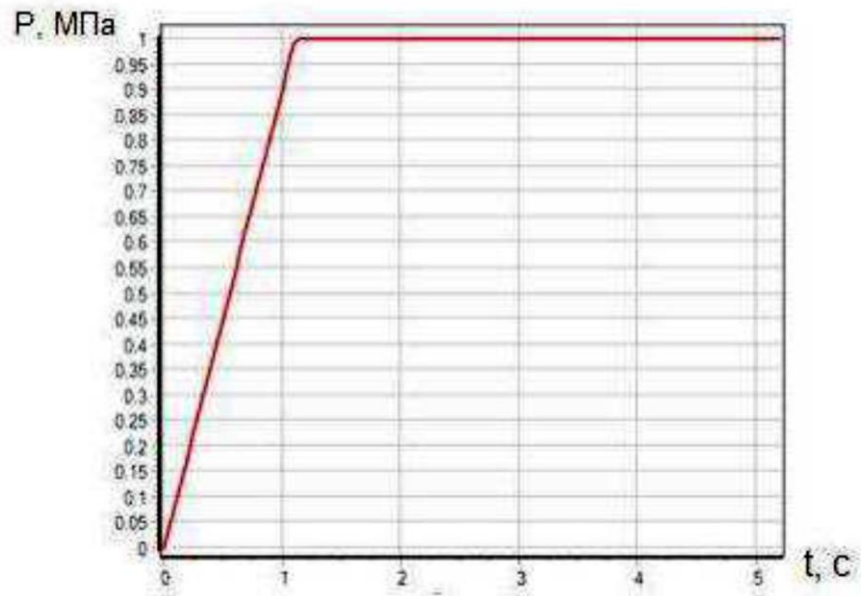


Рисунок 3.4 – Тимчасовий графік тиску у трубопроводі

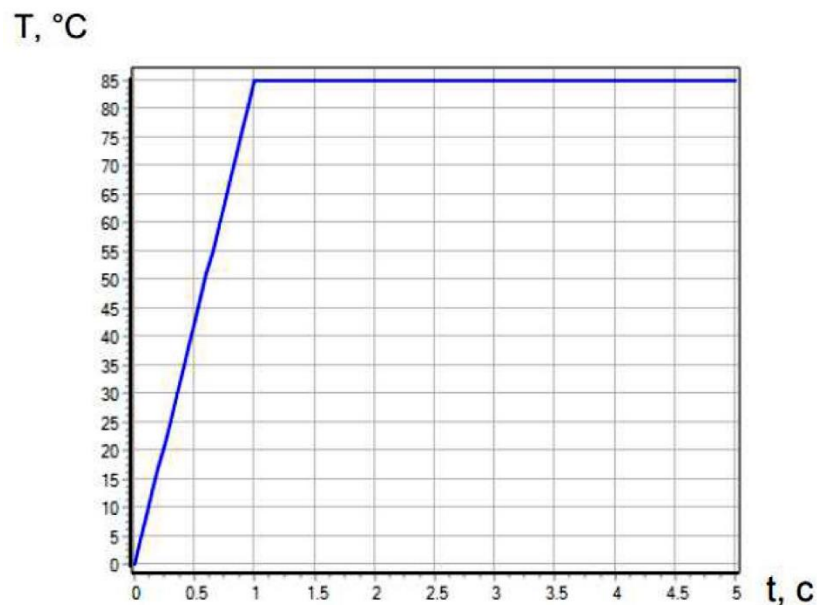


Рисунок 3.5 – Тимчасовий графік температури у трубопроводі

Відомо, що система керування насосом забезпечує підтримку необхідного тиску в системі. Тимчасова шкала зміни тиску води ілюструється на рисунку 3.6.

Алгоритм керування дає змогу регулювати положення засувки для підтримання необхідної температури в подаючій трубі. На рисунку 3.7 представлено хронологію зміни температури теплоносія в подаючій трубі після відкриття засувки.

Р, МПа

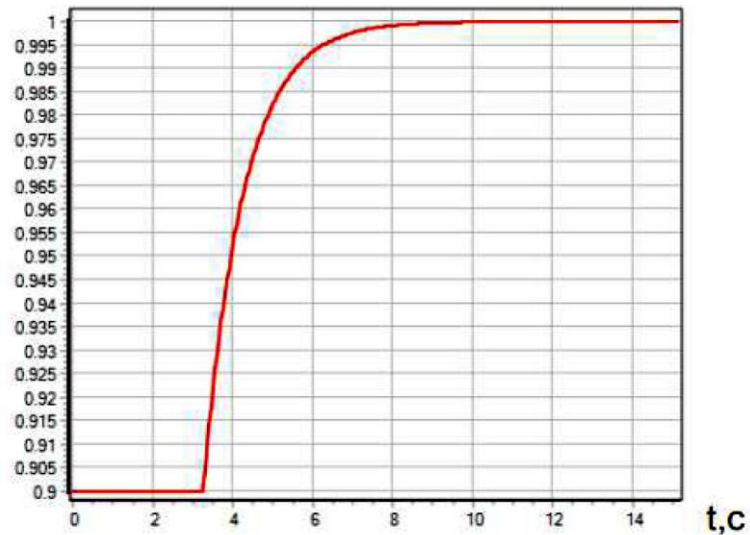


Рисунок 3.6 – Тимчасовий графік тиску у трубопроводі

Т, °С

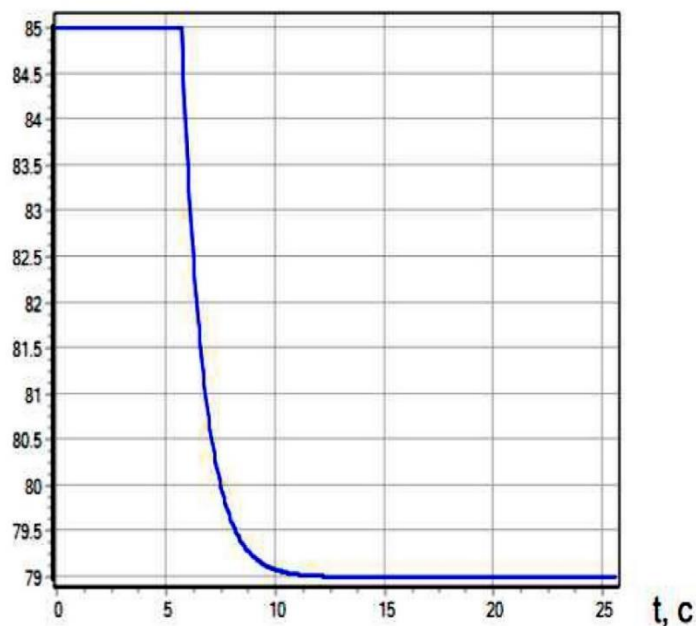


Рисунок 3.7 – Тимчасовий графік температури у трубопроводі

Для забезпечення споживачів необхідним теплом на виході подаючого трубопроводу, тиск повинен підтримуватися на рівні 1 МПа, а температура – в межах 65-100 °С. Зміна зовнішньої температури впливає на споживання тепла, що вимагає контролю тиску та температури води в системі. Отримавши сигнал від датчиків на вході зворотного трубопроводу, система автоматичного

керування регулює положення засувки на перемичці між подаючим та зворотним трубопроводами, а також надсилає сигнал перетворювачам частоти для досягнення необхідних параметрів.

З побудованої моделі проведемо верифікацію чисельних значень розрахункових параметрів, які знаходяться в допустимих межах, що забезпечують ефективну роботу електричної котельні. Результати чисельного експерименту, що демонструють вплив зміни тиску в подаючому трубопроводі на тиск у зворотному трубопроводі при температурі на виході подаючого трубопроводу 85 °С, наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Численні експерименти при робочому режимі

Тиск на виході трубопроводу P_2 , МПа	Тиск на вході трубопроводу P_3 , МПа
1,2	1,02
1	0,82
0,95	0,77
0,85	0,67
0,7	0,52
0,6	0,42

Таблиця 3.4 – Численні експерименти при робочому режимі

Температура на виході трубопроводу, T_2 °С	Температура на вході трубопроводу, T_3 °С	Температура зовнішнього повітря, $T_{\text{зовн.}}$ °С
75	50,54	0
85	60,57	0
95	70,6	0
75	48,7	-10
85	58,6	-10
95	68,7	-10
75	40,2	-20
85	50,1	-20
95	60,15	-20

Розрахункові значення відповідають встановленій залежності між тиском на вході та виході трубопроводів. Значення, обчислені за формулою

(3.3), узгоджуються з даними, отриманими з моделі, в межах допустимої похибки.

Різноманітні експерименти та дослідження підтверджують встановлені залежності між перепадами температури та тиску на вході і виході трубопроводів, отримані в результаті тепло-гідравлічного розрахунку, що свідчить про точність роботи моделі.

Під час моделювання аварійної ситуації розглянемо випадок, коли температура в трубопроводі знижується до критично низького рівня. Якщо температура опускається нижче допустимого значення 65°C , система переходить в аварійний режим (рис. 3.8).

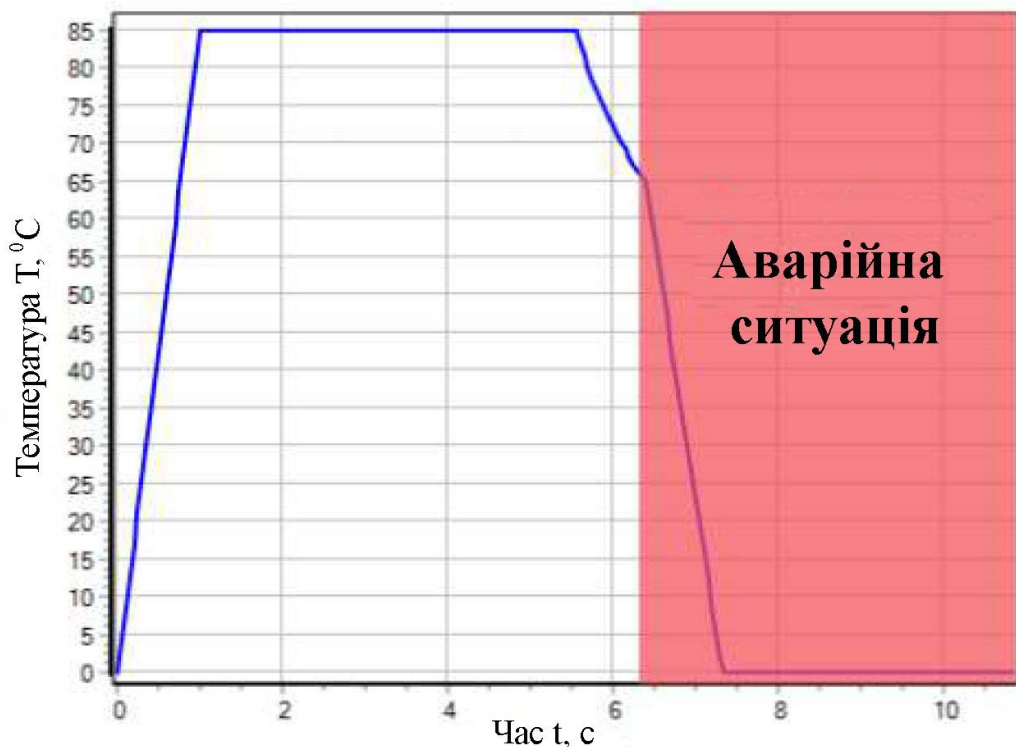


Рисунок 3.8 – Тимчасовий графік зміни температури при аварійній ситуації

Послідовність дій у разі зниження температури в подаючому трубопроводі є такою:

- 1) включається індикатор аварійної ситуації;
- 2) закриваються засувки на трубопроводах;
- 3) припиняється робота насосів;

4) система переходить у ручний режим керування до усунення аварійної ситуації.

Висновки за розділом

Розроблені алгоритми автоматизованого керування електричною котельнею дозволили створити комп'ютерну динамічну модель. Завдяки цій моделі було змодельовано систему керування котельнею в автоматичному режимі, а також елементи, які запобігають аваріям при перевищенні граничних температур та тиску води. У разі виникнення загрози аварійної ситуації система подає сигнал і автоматично зупиняє насоси, а також миттєво закриває клапани. Це є важливим, оскільки реакція персоналу не завжди може бути достатньо швидкою для запобігання аварійної ситуації.

ВИСНОВКИ

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра досягнута, а саме розроблено систему автоматизації електростанції та змодельований процес її роботи для запобігання помилок оператора та забезпечення експлуатаційної безпеки.

У першому розділі виконали аналіз процесу обігріву промислової будівлі. Провели огляд видів котлів. Виявили сильні та слабкі сторони кожного з видів. Провели аналіз технологічного процесу обігріву електричною котельною як об'єкт модернізації.

У другому розділі побудували структурну схему та функціональну схему автоматизації системи керування електричною котельною. Описали технічні засоби автоматизації, обрані при модернізації електричної котельні, що включають в себе головним чином: запобіжні, регулюючі клапани та контрольно-вимірювальні прилади.

У третьому розділі розроблені алгоритми автоматизованого керування електричною котельною, що дозволили створити комп'ютерну динамічну модель. Завдяки цій моделі було змодельовано систему керування котельною в автоматичному режимі, а також елементи, які запобігають аваріям при перевищенні граничних температур та тиску води. У разі виникнення загрози аварійної ситуації система подає сигнал і автоматично зупиняє насоси, а також миттєво закриває клапани. Це є важливим, оскільки реакція персоналу не завжди може бути достатньо швидкою для запобігання аварійної ситуації.

Розроблена система автоматизації електростанції може бути застосована на аналогічних об'єктах за площею та потужністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конспект лекцій з дисципліни «Котельні установки промислових підприємств» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 144 – Теплоенергетика очної та заочної форм навчання / Укл. Глущенко О.Л., – Кам'янське: ДДТУ, 2019 – 103 с.
2. Водогрійні котельні для систем децентралізованого та помірно-централізованого теплопостачання [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,021 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 170 с.
3. Каталог перетворювачів частоти. – Режим доступу: <https://electrocontrol.com.ua/preobrazovateli-chastoty/preobrazovatel-chastoty-hyundai-n700e-004hf>
4. Каталог датчиків тиску. – Режим доступу: <https://trade-control.com.ua/ua/rosemount-3051>
5. Каталог датчиків температури. – Режим доступу: <https://elemag.dp.ua/ua/p478626726-termometr-tp101-pogruzhnym>
6. Каталог контролерів. – Режим доступу: <https://simat.com.ua/cat-s7300?srsId=AfmBOorSLhoQMpiBxIH8pMnlZ6PhyX03Efqv-x9fWXaG7WUug-0ZZDdY>
7. Каталог операторської панелі. – Режим доступу: <https://www.proxis.ua/product/wvga-operator-panel-with-webaccess-hmi-software-advantech-WebOP-2070T>
8. Каталог модульних станцій. – Режим доступу: <https://www.avigan.com.ua/page/stancii-raspredeleynoy-periferii-et-200s/mp/18971/>
9. ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація» від 01.03.2013 року.
10. ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні» від 01.07.2018 року.

11. Моделювання систем керування в SIMULINK : навч. посібник / [В. О. Богомолів, О. Г. Гурко, В. І. Клименко, Д. М. Леонтьєв, О. М. Красюк] ; М-во освіти і науки України. Харків ХНАДУ, 2018. - 220 с.

12. Теорія автоматичного керування. Частина 1: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Керування, захист та автоматизація енергосистем» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.А. Марченко, В.С. Гулій. - Електронні текстові данні (1 файл: 3,32 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 54 с.

13. Хорольський, В. П. Х 81 Автоматизація виробничих процесів: підручник / В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець. – Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2022. – 400 с.

14. Аблесімов О. К. Теорія автоматичного керування: навчальний посібник / О. К. Аблесімов – К. : «Освіта України», 2019. – 270 с.

15. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язєв, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, –2019. – 492 с.

16. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. – 18 с.

17. J. Paul Guyer, P.E., R.A., Fellow ASCE, Fellow AEI Introduction to Boiler Control Systems Course No: E03-017, Continuing Education and Development, Inc. 22 Stonewall Court Woodcliff Lake, NJ 07677.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

1. CHARACTERISTICS OF ELECTRIC BOILERS AND JUSTIFICATION OF THE DIRECTION OF THEIR MODERNIZATION

1.1 Analysis of general characteristics of electric boiler plants

Electric boiler plants are designed for heating and hot water supply of both residential and industrial buildings and premises. Due to the wide range of performance, they are able to heat premises with an area of up to 30,000 m².

Table 1.1 – Technical characteristics of electric boiler plants

№	Parameters	Value
1	Appointment	heating and hot water supply of residential and industrial facilities
2	Construction	block-modular (container) • on a frame
3	Power, kW	• based on industrial boilers – 150-1000 kW • based on universal boilers – 35-125 kW
4	Area of heated room, m ²	• based on industrial boilers – up to 10,000 • based on universal boilers – up to 1,250
5	Thermal efficiency, Gcal/h	to 2,58
6	Boiler efficiency, %	to 96
7	Automation system	climate-dependent regulation
8	Electrical circuit voltage, V	380
9	Maximum coolant pressure, MPa	0,4
10	Heat transfer fluid temperature adjustment range, °C	0-90
11	Rated current of the circuit breaker per phase*, A	400, 500, 630, 800, 1000

The power and heat output of electric boilers depend on the type and number of boilers included in their composition. Thus, universal boilers with a capacity of 35 to 125 kW are suitable for heating residential premises and small objects with an

area of up to 1,250 m². For large objects with an area of up to 10,000 m², it is advisable to use boilers with a capacity of 150 to 1,000 kW. In turn, for heating buildings and structures with an area of up to 30,000 m² and more, high-power electric boilers with a standard capacity of up to 3,000 kW are produced. The advantages of electric boilers include their ability to function as both the main and alternative source of heat supply, which is ensured by a high level of equipment autonomy. The basis of electric boilers are boilers equipped with a climate-dependent controller and a multi-stage protection system that covers both individual heating elements and the entire boiler as a whole [1].

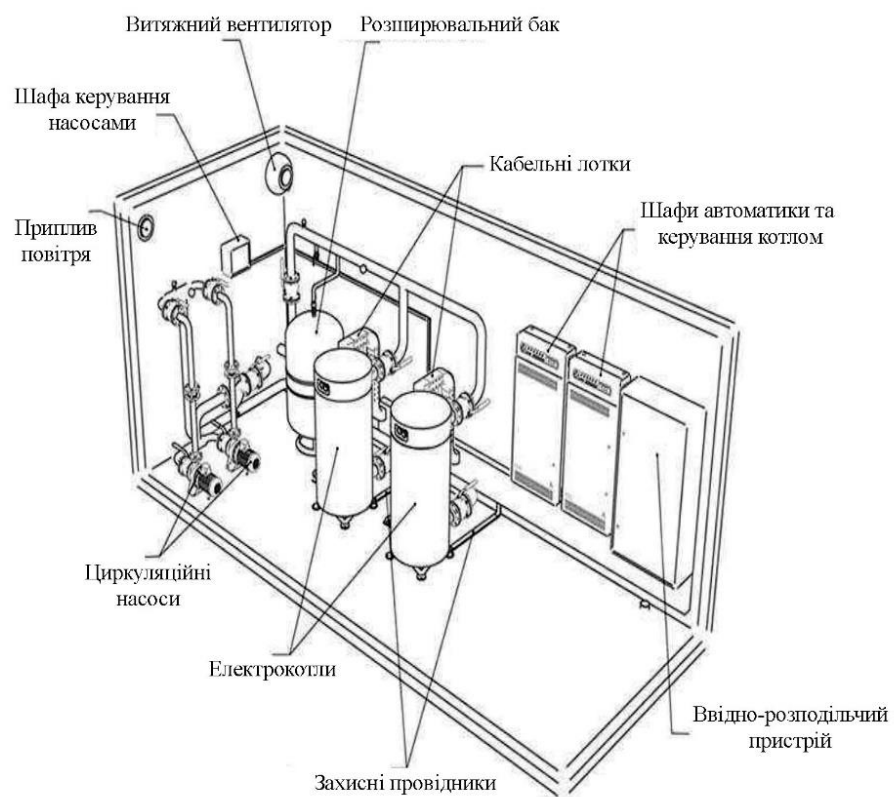


Figure 1.1 – Layout of the equipment of an electric boiler room

In addition to electric boilers, boiler rooms are equipped with (Fig. 1.1):

- mains pumps;
- accumulator tank;
- pump control cabinet (PCC);
- electric boiler automation and control cabinet;
- input and distribution device;

– control and measuring devices (thermomometer, meter).

To ensure the supply of hot water, electric boiler rooms are equipped with a heat exchanger or, so-called, storage water heater [2].

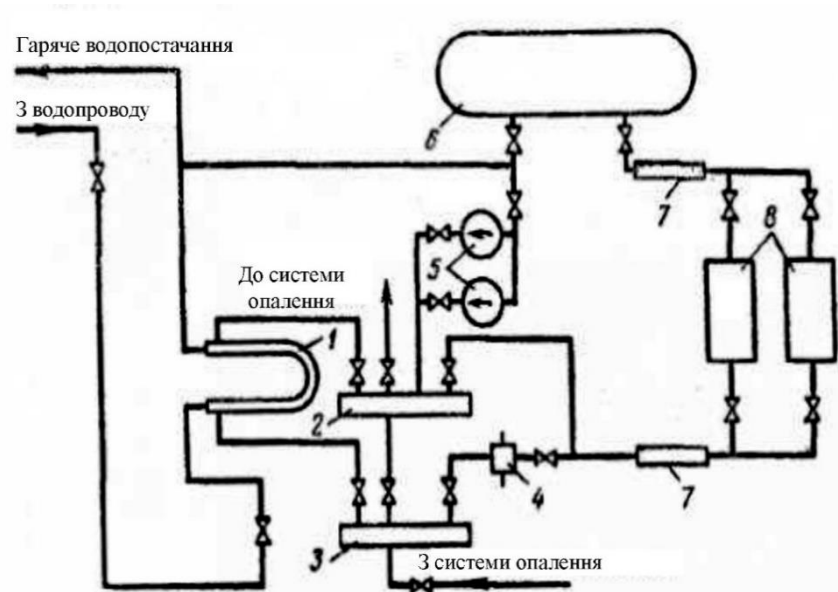


Figure 1.2 – Schematic diagram of an electric boiler room

- 1 - high-speed water heater; 2 - hot water collector;
 3 - cold water collector; 4 - mud pump; 5 - pumps; 6 - accumulator tank; 7 -
 insulating insert; 8 - electric boilers

The electric boiler automation system allows you to operate the equipment without the need for constant personnel presence and provides a number of functions:

- water temperature regulation to maintain a comfortable climate;
- smooth and cascade switching on/off of electric boilers with the ability to select the optimal number of active heating elements;
- protection of electric boilers from emergency overheating.

In particular, each individual component of the electric boiler automation system ensures reliability, safety, efficiency and ease of use of the system as a whole:

- electric boilers are equipped with thermal insulation;
- heating elements are made of stainless steel;
- modular contactors guarantee quiet and long-lasting operation;

- the power supply for the control circuits has a phase switch;
- the sensor monitors the presence of the coolant, including non-freezing glycol fluids;
- an automatic air vent eliminates the formation of “air jams”;
- an installed safety valve protects the equipment from high pressure [1].

Let's analyze the basic electrical diagram of an electric boiler room (Fig. 1.3).

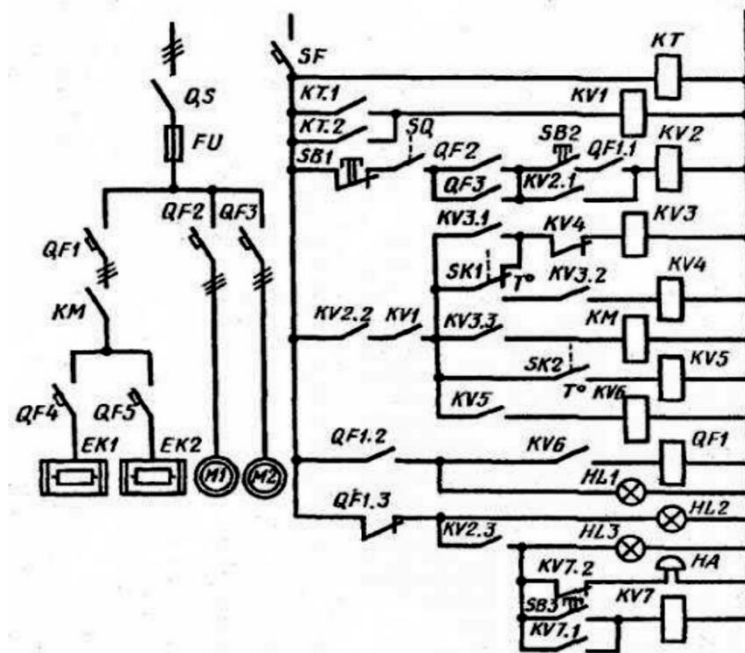


Figure 1.3 – Electrical diagram of an electric boiler room

So, power is supplied to the circuit using the QS switch. The pumps (main and backup) are connected using circuit breakers QF2 and QF3, and the boilers – QF4, QF5 and the KM contactor.

Due to the fact that the CT time relay has two programs, the boilers can be turned on at a given time. The SK1 temperature relay controls the water temperature in the tank. The upper SK1 contact is triggered when the water temperature is below the set norm, the lower one is turned on when the maximum temperature value is reached. When the water temperature is three to four degrees higher than the upper limit of the SK1 relay, the SK2 relay is activated, the mode acquires an emergency status.

The SQ blocking contact prevents the boilers from starting if the enclosure doors are not closed. The boilers can be turned on only when one of the KT time relay contacts is closed. At the same time, after turning on QF2 or QF3, the pump starts and the circuit breakers QF4, QF5 and QF1 are triggered.

The SB2 button powers the coil of the KV2 relay, which, through the intermediate relay KV3, starts the contactor of the boiler's KM power circuit. When the temperature rises above the minimum, the upper contact SK1 opens, but power is supplied to the KV3 relay through its own contact KV3.1.

At the maximum temperature value, the lower contact SK1 closes, receives power from the KV4 relay and through the contact KV3.3 the intermediate relay KV3 removes voltage from the KM contact, which leads to the boilers being turned off.

If the circuit does not operate in emergency mode, the SK2 contact closes, receives power from the KV5 relay, activates the KV6 relay with its contact, which supplies voltage to the coil of the independent disconnecter QF1, interrupting the power supply to the boilers. The QF1.3 contact block includes emergency lighting (HL2) and the HA sound alarm [34].

The power control circuit remains relay-contactor, and the control circuits and algorithms are implemented using controllers. The steel tank is equipped with nozzles for connecting the supply and return pipes of the heating system, as well as built-in devices of various designs for heating water, such as induction coils, electrodes or heating elements (Fig. 1.4).

Design of a three-phase boiler [2]:

It is striking that the principle of operation of a three-phase boiler is extremely simple: the coolant is fed into an expansion tank, which is heated by electricity, and then distributed through radiators and pipes. Electric boilers are distinguished by a one hundred percent efficiency, ease of use, high efficiency and noise insulation. Along with this, it is worth noting the safety and environmental friendliness of the device. However, electric boilers have certain disadvantages, which are usually associated with the organization of electricity supply in the country.

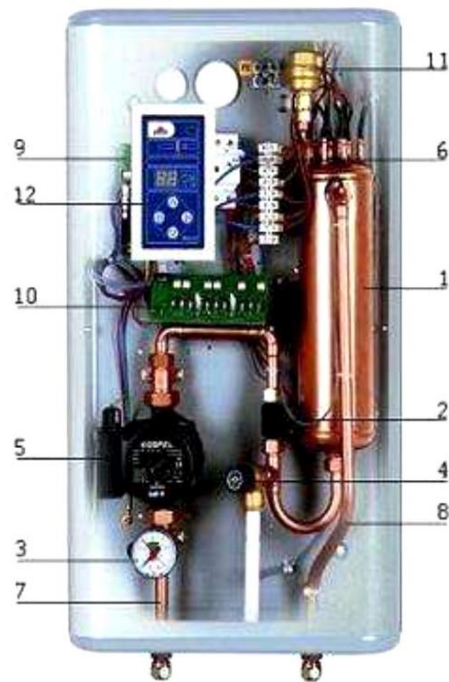


Figure 1.4 – Electric boiler design

- 1 - heating unit; 2 - flow sensor; 3 - pressure gauge; 4 - safety valve;
 5 - pump; 6 - temperature limiter; 7 - inlet pipe; 8 - outlet pipe; 9 - WE/WY
 unit for joint operation with a storage tank;
 10 - power unit; 11 - automatic air vent; 12 - power unit

Also, one should take into account the constantly growing cost of electricity, power outages, voltage fluctuations, which, as a result, reduce the service life of the equipment, negatively affecting its functionality.

1.2 Analysis of types of electric boilers

Depending on the method of heating the coolant, it is customary to distinguish three main types of electric boilers, including: heating element, electrode and induction.

The electric boiler house "Kyivska", which we are investigating, uses heating element boilers of the TEN type.

1.2.1 Heating element electric boilers

In boilers of this type, tubular heating elements, so-called TENs, are used to heat the coolant. Such electrical conductors have very high resistance. When an electric current passes directly through the element, the conductor heats up, transferring heat to the coolant.

It is worth mentioning that in everyday life, old electric kettles and portable water heaters are equipped with heating elements.

The disadvantage of heating electric boilers is the formation of limescale deposits on the walls of the boiler and the surface of the heater, which is caused by hard household water. To prevent this, the boiler is equipped with various "additives" for cleaning from limescale. In addition, before starting the boiler, it is possible to artificially reduce the hardness of the water to the optimal permissible level. Various special filters, water distillation and preliminary boiling are used to soften the water [1].

Also, some nuance in using such a boiler is the leakage of the coolant. If the heater is not immersed in water, it can overheat and "burn", which can cause the entire device to catch fire. Therefore, it is worth paying special attention to the automation of electric boilers.

Let us consider in detail the design of a heating boiler using the example of a wall-mounted electric boiler with equithermal regulation of the Proterm model. (Fig. 1.5).

Water used as a coolant in the heating system (arrow A) enters the boiler, where it is heated by three installed heating elements. After heating, the water rises to the tank and makes a U-turn (arrow B) in the heating system. This boiler can work with a heated floor system if an emergency thermostat is connected to regulate the water temperature. The boiler hydraulic group contains a two-speed pump that ensures the circulation of the coolant.

Note that the thermoelectric boiler has protection against coolant freezing, indirect heating boiler freezing, pump jamming protection, and a 3 bar safety valve.

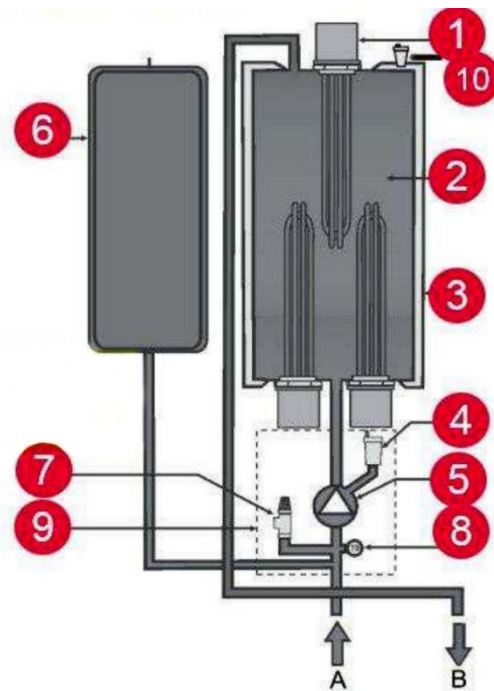


Figure 1.5 – Boiler HEAT HEATERS design

- 1 - HEAT HEATERS; 2 - expansion tank; 3 - pump; 4 - heat exchanger;
 5 - air vent; 6 - heat exchanger air vent; 7 - hydraulic group;
 8 - safety valve; 9 - pressure sensor; 10 - insulation

The electric boiler is connected via a separate electrical wiring equipped with its own circuit breaker. Information on the cable cross-section and the rating of circuit breakers can be found in Table 1.2.

Table 1.2 – Recommended fuse and conductor cross-section parameters [1]

Boiler power, kW	Number and power of heating elements	Current in a single-phase system (A)	Fuse rating (A)	Wire cross-section – Cu (mm ²)
6	2*3 kW	9,5 (28*)	10 (32*)	1,5 (6*)
9	3 κBT + 6 kW	14 (39*)	16 (50*)	1,5 (10*)
12	2*6 kW	18,5	20	2,5
14	2*7 kW	23	25	2,5
18	3*6 kW	27,5	32	4
21	3*7 kW	32	40	4
24	4*6 kW	36,5	40	6
28	4*7 kW	43	50	10

1.2.4 Induction boilers

Electromagnetic induction, which directly affects a conductor with ferromagnetic properties, ultimately leads to its heating. In a general heating system, a ferromagnetic conductor acts as a pipe in which the coolant circulates. Therefore, we have a problem with limescale formation, and protection against coolant leakage is also required.

Induction boilers may include several heaters.

Three induction heaters are included in the boiler design. In turn, each of them consists of an induction coil, a heat-exchange metal housing with inlet and outlet pipes, and a terminal group in a protective metal box [2].

1.2.4 Electrode heating boilers

Let's conduct a comparative analysis of electrode boilers with instantaneous water heaters, where water is heated by the passage of electric current through the coolant. In devices of this type, the coolant is heated directly by special electrodes that are inserted into the cooling medium. These electrodes cause oscillations of free electrons, which, in turn, heat the water.

Table 1.3 - Information about the electric boiler room

Installed capacity of E/C, Gcal	158,2
Available power E/C, Gcal	151,4
Thermal power consumption for own needs, Gcal/h	0,01
"Actual" consumer load, Gcal/h, including:	133,5
heating	132,2
ventilation	1,1
DHW (average hourly)	0,2
Load transfer to CHP-2, Gcal/h.	75,0
Thermal power losses in networks, Gcal/h.	1,41
Actual load on E/C collectors in hot water, Gcal/h.	89,9
Boiler room capacity reserve/deficit, Gcal/h.	61,4
Reserve/deficit of installed capacity, Gcal/h	68,3

It is customary to distinguish electrode boilers by such parameters as: cylindrical shape, compact size, relative economy during installation and safety,

because they do not work without water. Also, the difference is automatic on/off using temperature sensors.

Along with the advantages, electrode heating boilers have a number of disadvantages, including:

- power cannot be regulated, only switching on or off is possible;
- scale formation may occur due to a decrease in power;
- water requires preliminary preparation (purification);
- inability to use traditional coolants (for example, antifreeze or classic antifreeze);
- distilled water is not suitable as a coolant;
- the risk of direct leakage of electricity to the housing and heating pipes;
- electrolysis occurring in an electrode boiler can lead to the formation of toxic gases, which requires periodic replacement of the coolant, which in turn leads to an increase in the cost of using the device.

Today, given the difficult situation of hydraulic conditions, the complete transfer of heat energy consumers from boiler houses to the heat networks of CHPs is not economically viable. To implement such a transfer, a number of costly actions must be performed. To reduce capital costs for the implementation of such measures, it is advisable to consider the possibility of partially transferring boiler house consumers to the CHP network. However, in this case, the boiler house will operate exclusively during peak periods, when the consumption of network water in the heat supply systems reaches its maximum [1].

Electric boiler houses can be included in this category of boiler houses. The maximum peak operation mode guarantees the reliability and quality of heat supply for consumers at those times when temperatures approach the design values for heating systems. In addition, this will reduce the cost of heat production directly in the entire heat supply system.

1.3 Technological process of heating an electric boiler house as an object of modernization

An autonomous electric boiler house is a ready-made structure designed for heating residential and industrial buildings through a closed heat supply system. The operation of the boiler house is automated, which eliminates the need for the presence of service personnel. Its operation is controlled remotely using a portable dispatcher.

Let's consider the technological process of an electric boiler house, which has the following algorithm. First, network water with a temperature of 70°C is supplied from the heating system through a return pipe to the sump, and from there to the pumps that supply electric boilers. Then the water is heated in the boilers under the influence of an electric current passing between the electrodes. When the water temperature is 95°C , it is fed into the heating system through a straight pipe. After that, the water returns to the pumps through the pipeline and enters the boilers again. During the analysis of hot water, the feed pump pumps the required amount of water that is missing in the general system. The static suction pressure of the pumps is maintained by means of a special pressure regulator [1].

It is known that the temperature at the outlet of the boiler is a regulated parameter in the general heating system. This means that it is constantly maintained at a certain level during the operation of the boiler. A significant factor affecting the temperature change is the process of water entering the boiler for heating and the outlet of already heated water. Therefore, the main factor causing temperature fluctuations is the water flow rate through the boiler.

The heat supply is automatically regulated based on the signals received from the boiler temperature sensor and the ambient temperature sensor. The electrical signal generated by the sensors through the connecting wires is fed to the microprocessor controller, where the operator sets all the necessary parameters for control. The sensor data are automatically compared in this system, and the control effect is created in the form of an electrical pulse. It is fed to the engine and

transformed into the rotation of a spindle attached through an oil seal in the middle of the boiler cover. The power controller is mounted on the aforementioned spindle, which is attached to a series of dielectric screens that are included in the gaps of the plate and vertically moved against them. In this device, the signal received by the sensor is compared and a control effect is generated in the form of an electrical pulse. It is transmitted to the electric motor and converted into the rotation of a rotor connected to the spindle, which passes through an oil seal in the middle of the boiler cover. The power controller is located on the spindle in the form of a series of dielectric screens that enter the gaps between the plates and vertically move relative to them. Depending on the angle at which the engine rotor rotates, the power controller, moving along the spindle thread, will descend or rise to a certain height, changing the active surface of the electrodes, which will increase or decrease the boiler power. The boiler power adjustment range can be from 25 to 100% of the nominal boiler power.

Just as it is possible to adjust the temperature in the normal operating mode of the device, it can also be adjusted in emergency situations. However, the controller may not be able to return the temperature to the proper level. It is in such cases that emergency safety is triggered. Such measures include defense systems, circuit breakers, switches, various fuses, as well as other protective equipment. With a water heating temperature of up to 1000 degrees, as well as in the case of multi-phase and single-phase short circuits in the line that supplies electricity to the boiler exceeding the maximum voltage by five percent, asymmetry is lost.

Conclusions by section

We performed an analysis of the heating process of an industrial building. We conducted an overview of the types of boilers. We identified the strengths and weaknesses of each type. We conducted an analysis of the technological process of heating with an electric boiler room as an object of modernization.

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Розроблення проекту системи автоматизації електрокотельні для промислової будівлі

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

студент 401МЕ групи

Керівник:

к.т.н, доцент

Следь О.О.

Трет'як А.В.

Полтава 2025

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення проекту системи автоматизації електрокотельні та моделювання процесу її роботи для запобігання помилок оператора та забезпечення експлуатаційної безпеки.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є технологічний процес обігріву промислової будівлі за допомогою електрокотельні.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є дослідження можливості розробки автоматизованої системи обігріву промислової будівлі за допомогою електрокотельні.

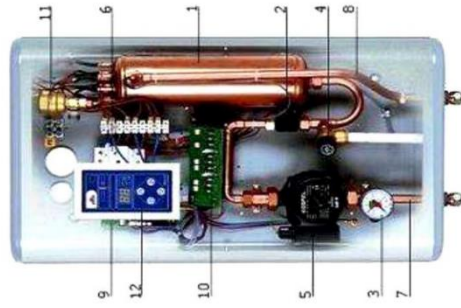
Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- проаналізувати технологічний процес обігріву промислової будівлі;
- проаналізувати види котлів для обігріву промислової будівлі;
- обґрунтувати необхідність автоматизувати процес обігріву промислової будівлі за допомогою електрокотельні;
- виділити основні завдання та функції електрокотельні;
- здійснити вибір засобів автоматизації електрокотельні;
- розробити функціональну схему автоматизації;
- здійснити дослідження основних параметрів контролю та керування;
- виконати теплогідравлічний розрахунок електрокотельні;
- розробити алгоритм функціонування електрокотельні;
- здійснити моделювання роботи електрокотельні.

Методи дослідження: під час теоретичного аналізу в роботі використовувалися методи ідентифікації динамічних об'єктів, теорії лінійних і нелінійних систем автоматичного керування, теорії дискретних систем, теорії механізмів і машин, теорії теплопровідності, а також методи математичного моделювання на персональному комп'ютері.

Аналіз основних характеристик електрокотельні

2



Конструкція електричного котла

1 - нагрівальний вузол; 2 - датчик протоки;

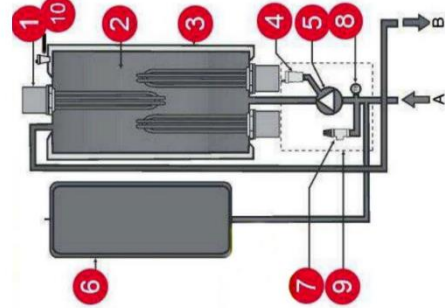
3 - манометр; 4 - клапан безпеки;

5 - насос; 6 - обмежувач температури; 7 - патрубок входу;

8 - патрубок виходу; 9 - вузол WE/WY для спільної роботи з бойлером-акумулятором;

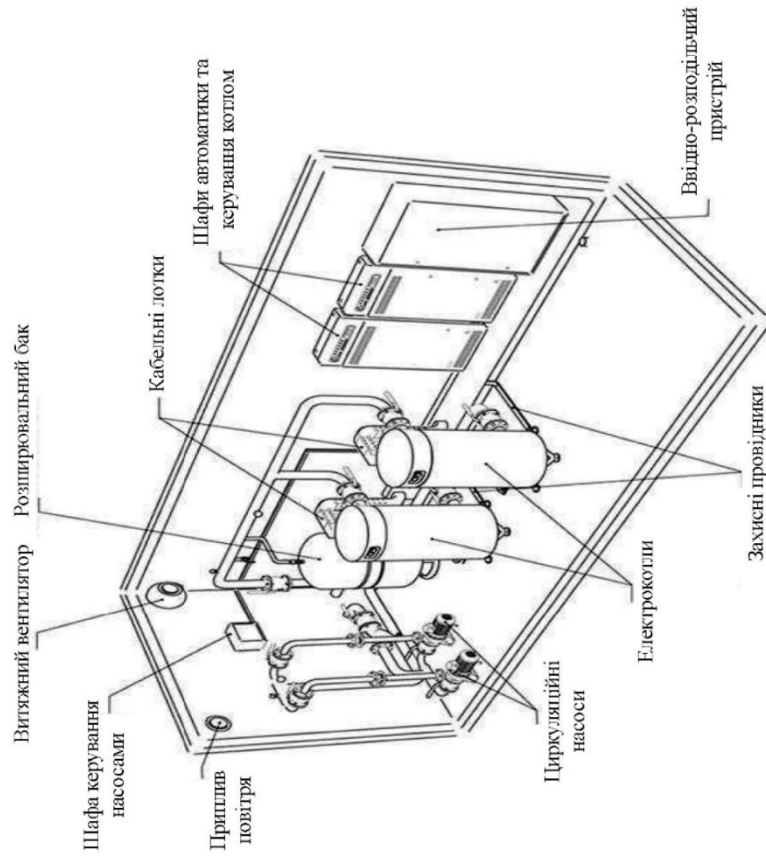
10 - вузол потужності;

11 - автоматичний відвідник повітря; 12 - вузол потужності



Конструкція ТЕН котла

- 1 - ТЕН;
- 2 - розширювальний бак; 3 - насос;
- 4 - теплообмінник;
- 5 - повітровідвідник;
- 6 - повітровідвідник теплообмінника;
- 7 - гідргрупа;
- 8 - запобіжний клапан;
- 9 - датчик тиску;
- 10 - ізоляція



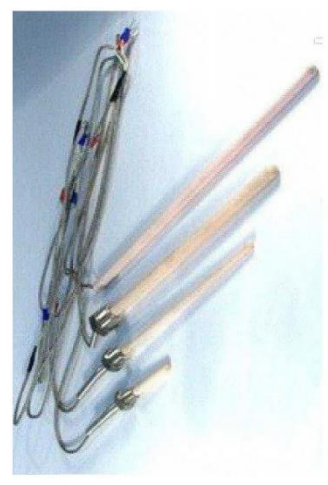
Засоби автоматизації електрокотельні



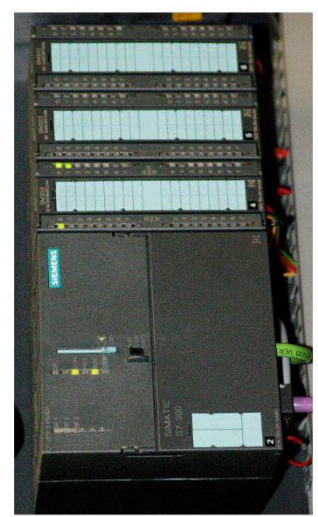
Перетворювач частоти
HYUNDAI N700E-004HF



Датчик тиску Rosemount 3051
виконання SorplanГТМ



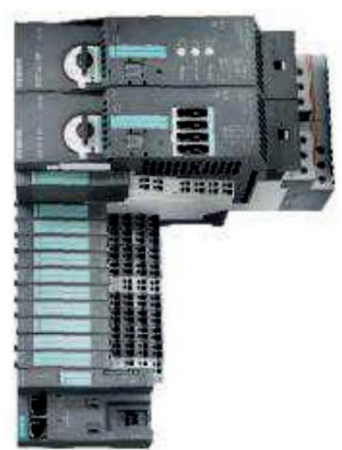
Датчик температури
ТП101 – К



Контролер Simatic S7-300

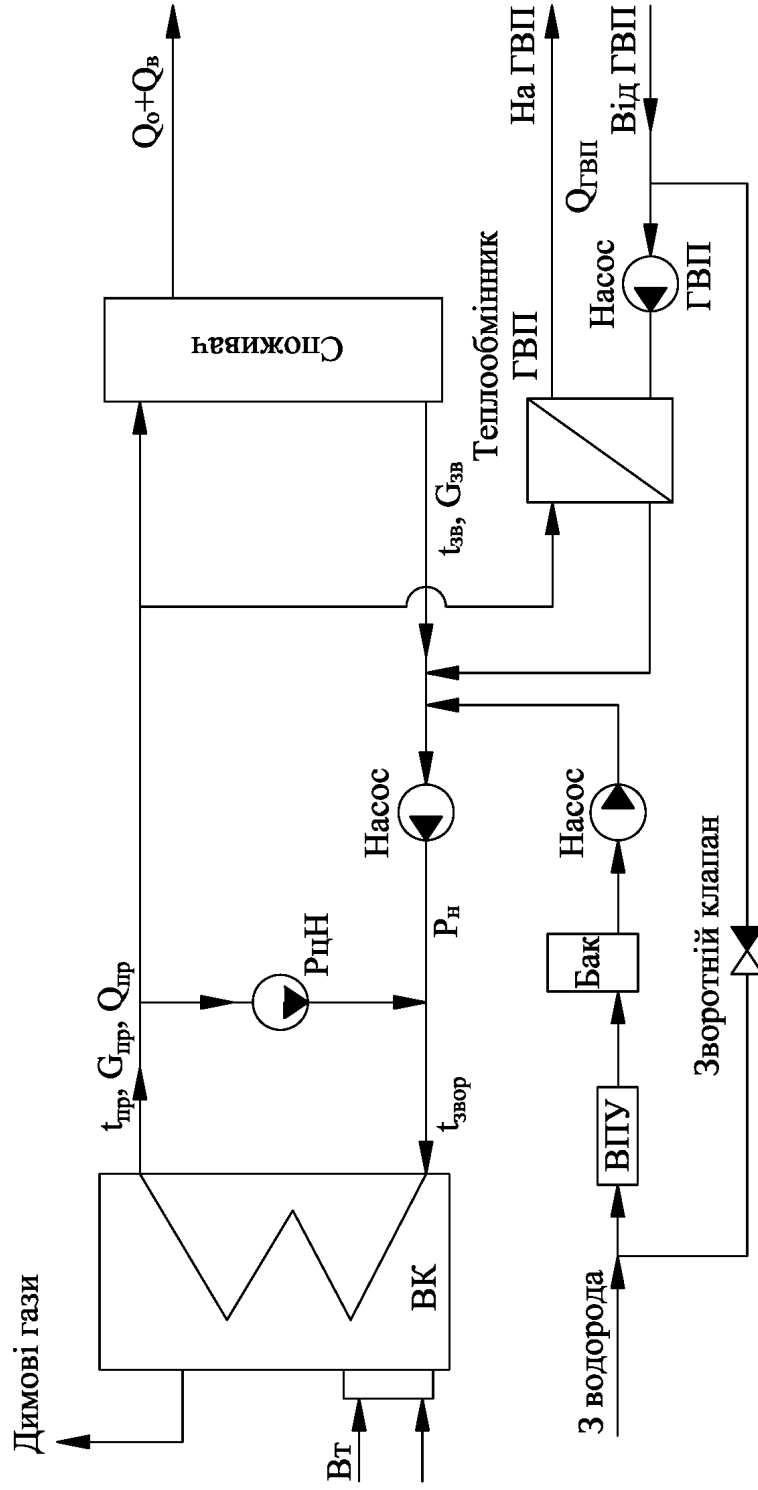


Панель оператора
WebOP-2000T



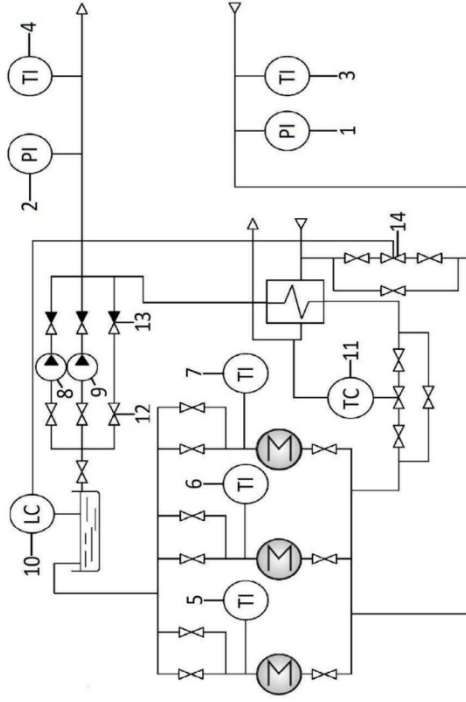
Модульна станція ET 200S

Спрощена технологічна схема закритої системи теплопостачання



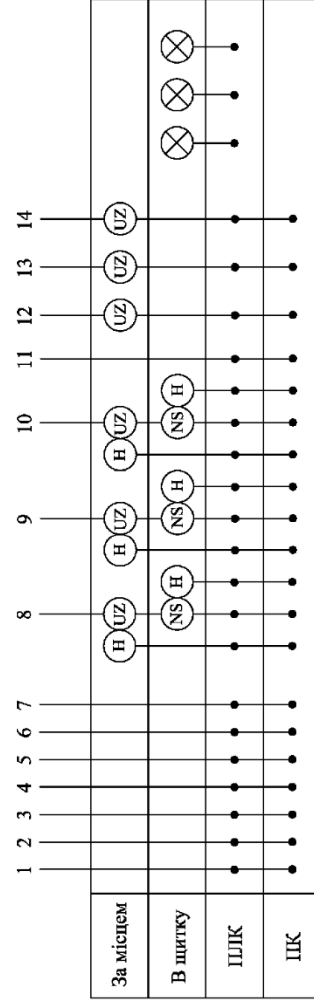
ВК – водяний котел, ВПУ – водо-підготовча установка, ГВП – гаряче водопостачання;
Вт – вимірювач температури

Функціональна схема автоматизації електрокотельні

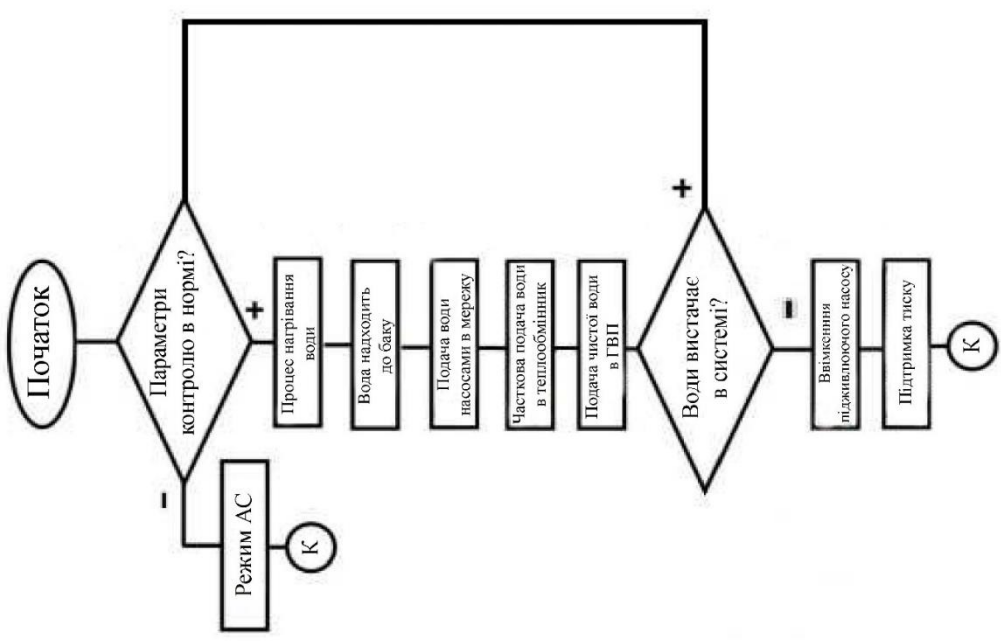


- 1 – тиск на вході; 2 – тиск на виході;
- 3 – температура на вході; 4 – температура на виході;
- 5, 6, 7 – температура на виході електрокотла; 8 – управління насоса №1; 9 – управління насоса №2; 10 – управління підживлючого насосу; 11 – температура нагріву;
- 12 – клапан з електроприводом; 13 – зворотній клапан з електроприводом; 14 – клапан з електроприводом на перемицці

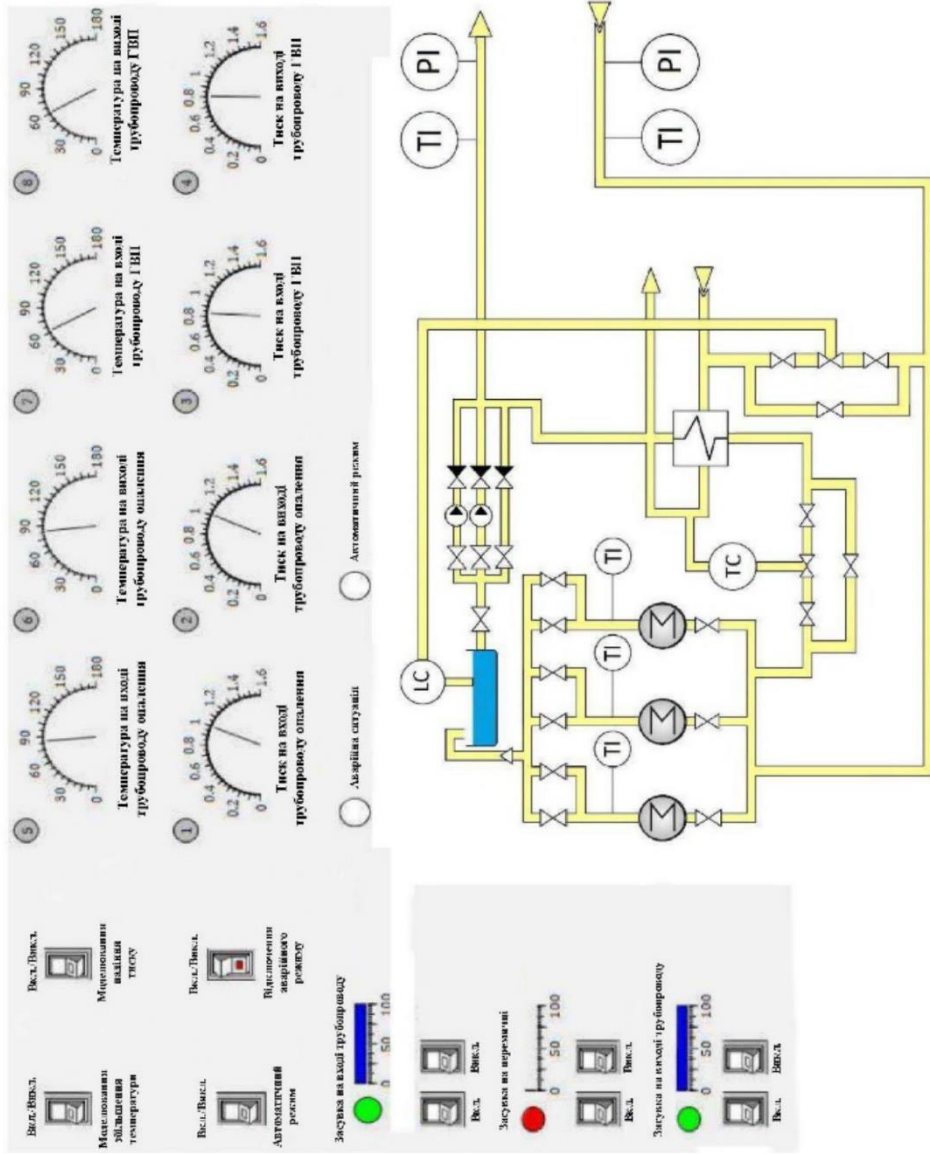
Функціональна схема автоматизації електричної котельні



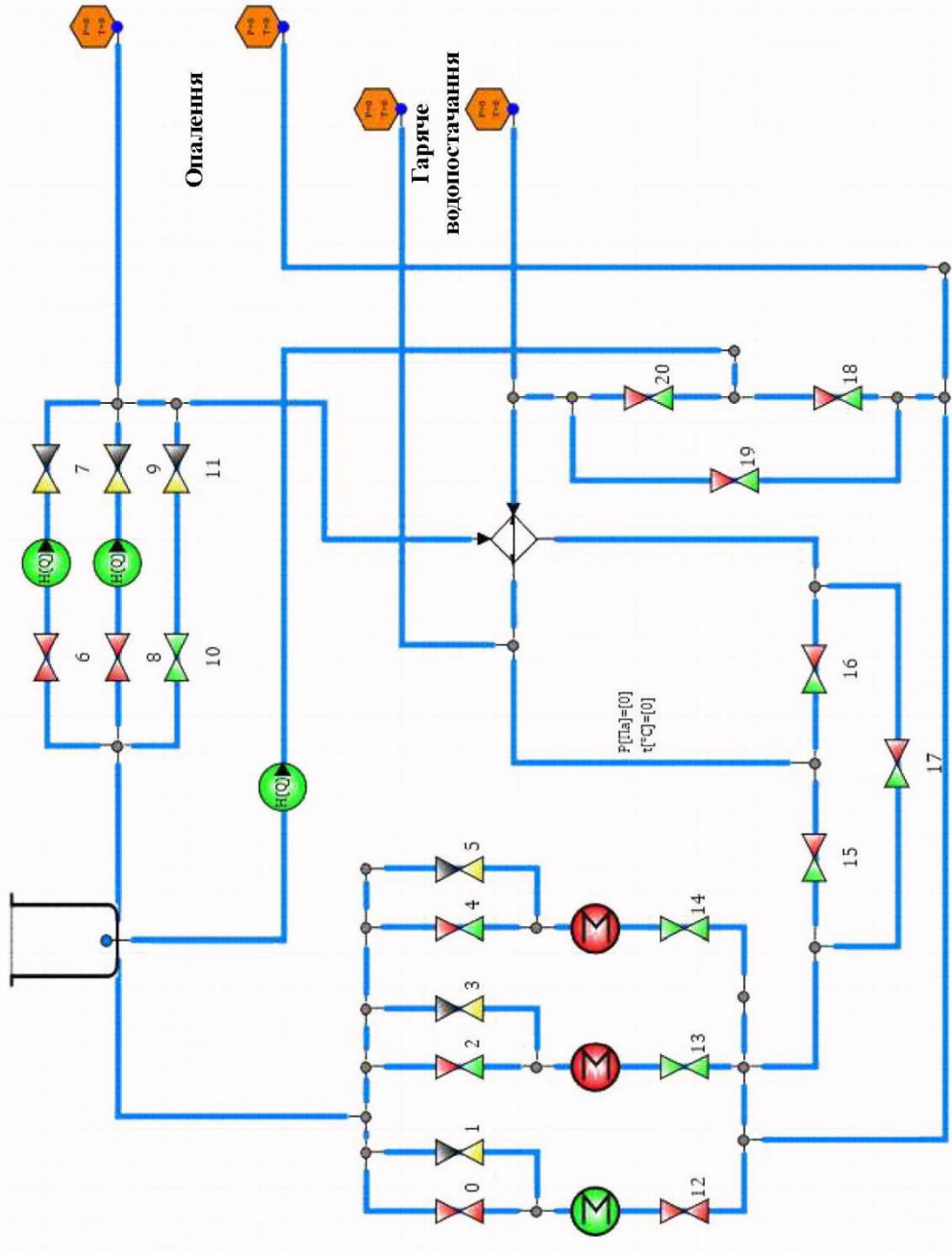
Алгоритм роботи автоматизованої електростанції



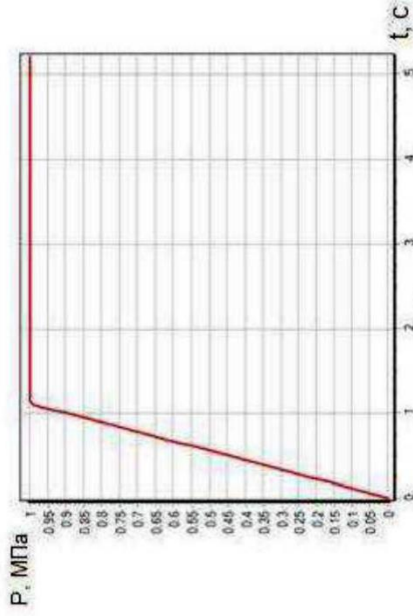
Комп'ютерна модель електрокотельні



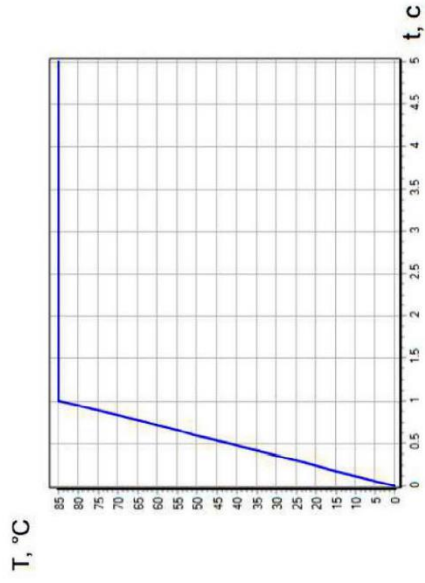
Теплогідравлічна схема електростанції



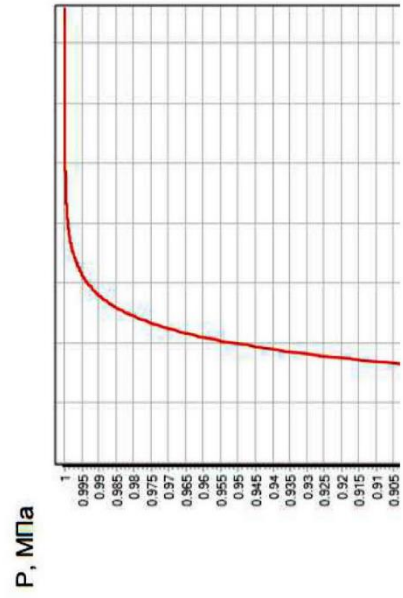
Результати моделювання автоматизованої системи керування електрокотельні



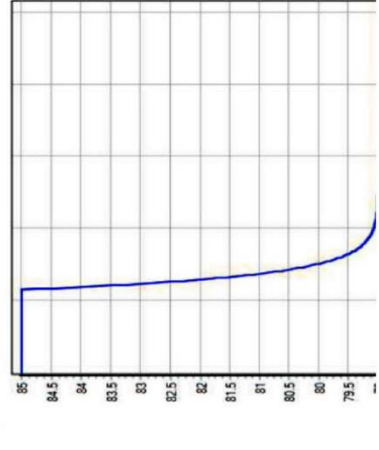
Тимчасовий графік тиску у трубопроводі



Тимчасовий графік температури у трубопроводі



Тимчасовий графік тиску у трубопроводі



Тимчасовий графік температури у трубопроводі

Висновки

Мета кваліфікаційної робота бакалавра досягнута, а саме розроблено систему автоматизації електрокотельні та змодельований процес її роботи для запобігання помилок оператора та забезпечення експлуатаційної безпеки.

У першому розділі виконали аналіз процесу обігріву промислової будівлі. Провели огляд видів котлів. Виявили сильні та слабкі сторони кожного з видів. Провели аналіз технологічного процесу обігріву електричною котельною як об'єкт модернізації.

У другому розділі побудували структурну схему та функціональну схему автоматизації системи керування електричною котельною. Описали технічні засоби автоматизації, обрані при модернізації електричної котельні, що включають в себе головним чином: запобіжні, регулюючі клапани та контрольно-вимірювальні прилади.

У третьому розділі розроблені алгоритми автоматизованого керування електричною котельною, що дозволили створити комп'ютерну динамічну модель. Завдяки цій моделі було змодельовано систему керування котельною в автоматичному режимі, а також елементи, які запобігають аваріям при перевищенні граничних температур та тиску води. У разі виникнення загрози аварійної ситуації система подає сигнал і автоматично зупиняє насоси, а також миттєво закриває клапани. Це є важливим, оскільки реакція персоналу не завжди може бути достатньо швидкою для запобігання аварійної ситуації.

Розроблена система автоматизації електрокотельні може бути застосована на аналогічних об'єктах за площею та потужністю.

Дякую за увагу!