

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра механічної та електричної інженерії**

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

*бакалавр*

на тему: «Розробка та впровадження автоматизованої системи керування  
котлового устаткування»

КРБ.14ЕЕбд\_31[3].16.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
*«Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка»*  
спеціальності 141  
*«Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка»*  
ступеня вищої освіти *бакалавр*  
групи *141ЕЕбд\_31[3]*  
Теренько А.Р.  
Керівник: Харак Р.М.  
Рецензент: Сусліч О.Г.

**Полтава – 2026 року**

## ВСТУП

Ефективне функціонування систем теплопостачання є однією з важливих умов забезпечення стабільної роботи промислових, комунальних, адміністративних та аграрних об'єктів. Котлове устаткування широко використовується для виробництва теплової енергії, опалення будівель, забезпечення технологічних процесів і гарячого водопостачання. Надійність, економічність та безпечність роботи котельних установок значною мірою залежать не лише від конструктивних параметрів котла, а й від рівня автоматизації процесів керування.

У сучасних умовах особливої актуальності набуває впровадження автоматизованих систем керування котловим устаткуванням. Такі системи забезпечують безперервний контроль основних технологічних параметрів, автоматичне регулювання температури, тиску, подачі палива, роботи насосів і вентиляторів, а також своєчасне виявлення аварійних режимів.

Одним із перспективних напрямів модернізації котельного обладнання є застосування сучасних водогрійних конденсаційних котлів, зокрема Bosch Uni Condens 8000 F [1]. Таке обладнання характеризується високою ефективністю використання палива, можливістю роботи в автоматизованому режимі, сумісністю з сучасними системами регулювання та диспетчеризації. Водночас для забезпечення повної реалізації технічних можливостей котла необхідно розробити раціональну автоматизовану систему керування з використанням датчиків, виконавчих механізмів, програмованого логічного контролера та засобів візуалізації технологічного процесу [2, 3].

Актуальність теми роботи полягає в необхідності підвищення енергоефективності, надійності та безпеки роботи котлового устаткування шляхом впровадження сучасної автоматизованої системи керування. Дана тема є важливою, оскільки вона поєднує питання електропривода, електропостачання, автоматичного керування, вибору електротехнічного обладнання, контролю технологічних параметрів і раціонального використання енергетичних ресурсів.

**Мета роботи** – розробити автоматизовану систему керування водогрійним котлом Bosch Uni Condens 8000 F для підвищення енергоефективності, надійності та безпеки роботи котлового устаткування.

**Об’єкт дослідження** – процес керування роботою водогрійного котлового устаткування в системі теплопостачання.

**Предмет дослідження** – автоматизована система керування водогрійним котлом Bosch Uni Condens 8000 F, її структура, технічні засоби, алгоритми регулювання та електротехнічне забезпечення.

**Методи дослідження:** аналіз технологічного процесу роботи котельної установки; вибір технічних засобів автоматизації; розробка функціональної схеми автоматизації; обґрунтування вибору датчиків, виконавчих механізмів і програмованого логічного контролера; розробка алгоритму керування; оцінювання енергоефективності, безпеки та економічної доцільності запропонованого рішення.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв’язати такі завдання: проаналізувати особливості роботи сучасного котлового устаткування; визначити основні параметри, які підлягають контролю та регулюванню; обґрунтувати вибір водогрійного котла Bosch Uni Condens 8000 F як об’єкта автоматизації; розробити структуру автоматизованої системи керування; вибрати датчики температури, тиску, витрати та виконавчі механізми; обґрунтувати застосування програмованого логічного контролера; розробити алгоритм керування котловим устаткуванням; розглянути питання охорони праці, екологічної безпеки та економічної ефективності впровадження системи.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані технічні рішення можуть бути використані під час модернізації або впровадження автоматизованих систем керування котельними установками. Реалізація такої системи дозволяє підвищити стабільність роботи котла, зменшити витрати енергоресурсів, покращити умови експлуатації обладнання та забезпечити безпечне функціонування системи теплопостачання.

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОТЛОВОГО УСТАТКУВАННЯ

## 1.1 Призначення та особливості роботи котлових установок

Котельні установки є важливими елементами систем теплопостачання промислових підприємств, комунальних об'єктів, закладів освіти, медичних установ та житлового сектору [8, 20]. Основним призначенням котельного устаткування є перетворення енергії палива на теплову енергію, яка використовується для опалення приміщень, гарячого водопостачання та забезпечення технологічних процесів.

У сучасних умовах особливого поширення набули водогрійні котли, які забезпечують нагрівання теплоносія до заданої температури та його подальшу циркуляцію в системах теплопостачання. Ефективність роботи таких установок значною мірою залежить від підтримання оптимальних параметрів технологічного процесу, серед яких основними є температура теплоносія, тиск води, витрата палива, кількість повітря для горіння та режим роботи насосного обладнання [14, 15].

Котельна установка являє собою складний технологічний комплекс, до складу якого входять котел, пальниковий пристрій, циркуляційні насоси, теплообмінне обладнання, системи водопідготовки, димовидалення та автоматизації [21, 22, 24]. Узгоджена робота всіх елементів забезпечує безпечне виробництво теплової енергії та підтримання необхідних параметрів теплоносія.

Однією з особливостей сучасних котельних установок є необхідність роботи в умовах змінного теплового навантаження [20]. Протягом доби та опалювального сезону потреба в тепловій енергії може суттєво змінюватися залежно від температури навколишнього середовища, режиму експлуатації будівель та особливостей технологічних процесів. У зв'язку з цим виникає необхідність автоматичного регулювання теплової потужності котла та продуктивності допоміжного обладнання.

Важливою вимогою до сучасного котлового устаткування є висока енергоефективність. Значна частка енергоресурсів витрачається саме на

виробництво теплової енергії, тому навіть незначне підвищення коефіцієнта корисної дії котла дозволяє отримати суттєвий економічний ефект. Для досягнення цього використовуються конденсаційні технології [1, 20], автоматичне регулювання процесу горіння, частотне керування насосами та сучасні системи моніторингу.

Особливу увагу під час експлуатації котлових установок приділяють питанням безпеки. Порушення режимів роботи може призвести до аварійних ситуацій, перегріву обладнання, перевищення допустимого тиску або зупинки системи тепlopостачання. Саме тому котельні установки обладнуються багаторівневими системами захисту [10, 12, 24], які забезпечують контроль параметрів технологічного процесу та автоматичне відключення обладнання у разі виникнення небезпечних режимів.

Сучасний розвиток інформаційних технологій сприяє широкому впровадженню автоматизованих систем керування котельними установками. Використання програмованих логічних контролерів [2, 14, 15], цифрових датчиків та систем диспетчеризації дозволяє здійснювати безперервний моніторинг роботи обладнання, автоматичне регулювання параметрів процесу та дистанційне керування котельною установкою.

Для даної дипломної роботи як об'єкт автоматизації розглядається водогрійний конденсаційний котел Bosch Uni Condens 8000 F [1]. Даний котел належить до сучасного енергоефективного обладнання, характеризується високим коефіцієнтом корисної дії, низьким рівнем викидів шкідливих речовин та можливістю інтеграції в автоматизовані системи керування.

Таким чином, сучасні котлові установки є складними енерготехнологічними об'єктами, ефективність та безпечність роботи яких значною мірою визначається рівнем автоматизації процесів керування та контролю.

## 1.2 Основні параметри технологічного процесу виробництва теплової енергії

Процес виробництва теплової енергії у водогрійних котлах базується на спалюванні палива та передачі теплоти теплоносію через поверхні теплообміну [20, 21]. Для забезпечення ефективної роботи котельної установки необхідно підтримувати низку технологічних параметрів у встановлених межах.

Одним із головних параметрів є температура теплоносія на виході з котла. Саме вона визначає кількість теплової енергії, що передається споживачам. Підтримання заданої температури здійснюється шляхом зміни теплової потужності пальника залежно від поточного навантаження [20].

Другим важливим параметром є тиск теплоносія в системі. Недостатній тиск може призвести до порушення циркуляції води та зниження ефективності тепlopостачання, тоді як надмірний тиск створює загрозу пошкодження обладнання та виникнення аварійних ситуацій [22, 23].

Суттєвий вплив на ефективність роботи котла має співвідношення між кількістю палива та повітря [24, 25], що подається в камеру згоряння. Недостатня кількість повітря призводить до неповного згоряння палива та збільшення втрат енергії, а надлишкова кількість повітря знижує температуру продуктів згоряння та зменшує коефіцієнт корисної дії установки.

Для конденсаційних котлів важливим параметром є температура зворотного теплоносія. Чим нижча температура води, що повертається до котла, тим ефективніше використовується теплота конденсації водяної пари, яка міститься в димових газах. Це дозволяє досягати коефіцієнта корисної дії понад 100 % відносно нижчої теплоти згоряння палива [1].

Контроль зазначених параметрів здійснюється за допомогою датчиків температури, тиску, витрати та газоаналізаторів. Отримані дані використовуються автоматизованою системою керування для формування керуючих впливів на виконавчі механізми та підтримання оптимального режиму роботи котельної установки.

### **1.3 Аналіз існуючих систем автоматизованого керування котловим устаткуванням**

Розвиток сучасних технологій автоматизації сприяв широкому впровадженню автоматизованих систем керування в теплоенергетичних установках різного призначення. Системи автоматизації забезпечують підтримання заданих параметрів технологічного процесу, підвищення енергоефективності обладнання, зниження витрат палива та забезпечення безпечної експлуатації котельних установок [14, 15, 28].

Основним призначенням автоматизованої системи керування котлом є забезпечення стабільного теплового режиму при мінімальному втручанні обслуговуючого персоналу. Для цього система повинна здійснювати безперервний контроль технологічних параметрів, аналізувати поточний стан обладнання та формувати керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

Перші системи автоматизації котелень будувалися на основі електромеханічних реле, контактних датчиків та аналогових регуляторів. Такі системи забезпечували лише базові функції контролю та захисту. Їх основними недоліками були низька гнучкість, обмежені можливості налаштування та значний обсяг монтажних робіт.

Подальший розвиток автоматизації пов'язаний із застосуванням мікропроцесорних регуляторів та програмованих логічних контролерів. Використання цифрових технологій дозволило реалізувати складні алгоритми керування, автоматичну діагностику обладнання, архівування параметрів та дистанційний моніторинг роботи котельної установки.

У сучасних котельних установках найбільшого поширення набули багаторівневі системи автоматизації. На нижньому рівні розташовані первинні датчики та виконавчі механізми. Середній рівень представлений програмованими логічними контролерами, які реалізують алгоритми керування. Верхній рівень включає операторські станції та SCADA-системи, що забезпечують візуалізацію процесу та диспетчерський контроль [2, 6, 7, 14, 15].

Типова автоматизована система керування котлом виконує такі функції [7, 15]:

- автоматичне підтримання температури теплоносія;
- регулювання потужності пальника;
- контроль тиску води в системі;
- керування циркуляційними насосами;
- контроль подачі газу та повітря;
- моніторинг роботи виконавчих механізмів;
- формування аварійних повідомлень;
- архівування технологічних параметрів;
- дистанційне керування та диспетчеризацію.

Особливе значення для сучасних котелень має використання каскадного керування кількома котлами. Такий підхід дозволяє автоматично підключати або відключати окремі агрегати залежно від поточного теплового навантаження, що забезпечує підвищення загальної енергоефективності системи тепlopостачання.

Важливим напрямом розвитку автоматизованих систем керування є впровадження частотного регулювання електроприводів насосів та вентиляторів. Використання частотних перетворювачів дозволяє змінювати продуктивність обладнання відповідно до фактичних потреб системи, зменшуючи споживання електричної енергії на 20–40 % [4, 5].

Сучасні системи автоматизації також забезпечують інтеграцію з локальними комп'ютерними мережами та мережами Інтернет [7]. Завдяки цьому оператор може контролювати роботу котельної установки за допомогою персонального комп'ютера, планшета або смартфона незалежно від місця знаходження.

Для автоматизації сучасних конденсаційних котлів використовуються програмовані логічні контролери Siemens, Schneider Electric, Allen-Bradley, Omron та інших виробників. Найбільшого поширення в промислових системах тепlopостачання набули контролери Siemens серії S7 [2, 3], які характеризуються високою надійністю, широкими можливостями програмування та підтримкою сучасних промислових протоколів обміну даними.

Таким чином, сучасні системи автоматизованого керування котлами являють собою складні багаторівневі комплекси технічних і програмних засобів, які забезпечують ефективну, економічну та безпечну роботу котельного устаткування.

#### **1.4 Сучасні засоби автоматизації та диспетчеризації котельних установок**

Ефективність функціонування автоматизованої системи керування значною мірою визначається правильним вибором технічних засобів автоматизації [14, 15, 28]. До складу сучасних систем входять датчики, програмовані логічні контролери, виконавчі механізми, частотні перетворювачі, засоби зв'язку та системи диспетчеризації.

Первинну інформацію про параметри технологічного процесу отримують за допомогою датчиків. Для контролю температури найчастіше використовуються термометри опору типу Pt100 та Pt1000 [14]. Вони характеризуються високою точністю вимірювання, стабільністю характеристик та надійністю в умовах тривалої експлуатації.

Для контролю тиску застосовуються електронні датчики тиску з аналоговим вихідним сигналом 4–20 мА [14] або цифровим інтерфейсом передачі даних. Такі пристрої забезпечують безперервний моніторинг стану системи та дозволяють реалізувати автоматичне регулювання параметрів теплоносія.

Контроль витрати води та природного газу здійснюється за допомогою витратомірів різних типів [20]. Отримані дані використовуються для оцінювання енергоефективності установки та оптимізації режимів роботи обладнання.

Центральним елементом системи автоматизації є програмований логічний контролер. Саме він виконує обробку сигналів від датчиків, реалізує алгоритми керування та формує команди для виконавчих механізмів. Для автоматизації котельних установок доцільно використовувати контролер Siemens S7-1200 [2, 3], який має достатню кількість входів і виходів, підтримує промислові мережі та забезпечує можливість подальшого розширення системи.

Виконавчими пристроями системи є електроприводи регулюючих клапанів, газові клапани, циркуляційні насоси та вентилятори. Для підвищення енергоефективності електроприводи насосів рекомендується оснащувати частотними перетворювачами [4, 5], які забезпечують плавне регулювання частоти обертання електродвигунів.

Важливою складовою сучасних систем автоматизації є засоби візуалізації та диспетчеризації. Для цього використовуються операторські панелі НМІ та SCADA-системи [6, 7]. Вони дозволяють відображати поточні параметри технологічного процесу, формувати звіти, зберігати архіви та оперативно реагувати на аварійні ситуації.

SCADA-системи забезпечують реалізацію таких функцій:

- візуалізація технологічного процесу;
- архівування параметрів роботи обладнання;
- формування графіків та звітів;
- реєстрація аварійних подій;
- дистанційне керування обладнанням;
- передавання інформації на диспетчерський пункт.

Сучасні системи диспетчеризації підтримують протоколи Modbus TCP/IP, Profinet, OPC UA та інші стандарти промислового зв'язку [2, 3, 15]. Це дозволяє інтегрувати котельну установку в загальну систему керування підприємством або об'єктом теплопостачання.

Однією з головних тенденцій розвитку автоматизації є впровадження концепції Industry 4.0 та елементів промислового Інтернету речей. Завдяки цьому забезпечується безперервний моніторинг технічного стану обладнання, прогнозування відмов та підвищення ефективності експлуатації котельних установок.

Таким чином, сучасні засоби автоматизації та диспетчеризації забезпечують комплексний контроль технологічного процесу, підвищують рівень безпеки, надійності та енергоефективності роботи котельного устаткування, що робить їх невід'ємною складовою сучасних систем теплопостачання.

## Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто особливості функціонування сучасних котлових установок та визначено їх роль у системах тепlopостачання промислових, комунальних і аграрних об'єктів. Встановлено, що ефективність роботи котельного устаткування значною мірою залежить від точності підтримання технологічних параметрів та рівня автоматизації процесів керування.

Проаналізовано основні параметри технологічного процесу виробництва теплової енергії, до яких належать температура та тиск теплоносія, витрата палива, кількість повітря для горіння та режими роботи насосного обладнання. Визначено, що підтримання зазначених параметрів у заданих межах є необхідною умовою забезпечення економічної та безпечної роботи котельної установки.

Проведений аналіз існуючих систем автоматизованого керування показав, що найбільш ефективними є мікропроцесорні системи на базі програмованих логічних контролерів, які забезпечують автоматичне регулювання параметрів технологічного процесу, моніторинг стану обладнання, архівування даних та дистанційне керування.

Розглянуто сучасні технічні засоби автоматизації, включаючи датчики температури, тиску та витрати, програмовані логічні контролери, частотні перетворювачі, операторські панелі та SCADA-системи. Встановлено, що їх використання дозволяє підвищити енергоефективність роботи котельної установки, знизити витрати паливно-енергетичних ресурсів та забезпечити високий рівень експлуатаційної безпеки.

## РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ

### 2.1 Загальна характеристика котлового устаткування

Об'єктом автоматизації у дипломній роботі є водогрійний конденсаційний котел Bosch Uni Condens 8000 F [1], призначений для виробництва теплової енергії в системах опалення, гарячого водопостачання та технологічного теплопостачання. Даний тип котла може використовуватися на промислових, адміністративних, комунальних та аграрних об'єктах, де необхідне стабільне, економічне та безпечне виробництво теплової енергії.

Вибір котла Bosch Uni Condens 8000 F як об'єкта автоматизації зумовлений тим, що він належить до сучасного вискоелективного котлового обладнання конденсаційного типу. Особливістю конденсаційних котлів є використання не лише теплоти згоряння палива, а й додаткової теплоти, яка виділяється під час конденсації водяної пари [1, 20], що міститься у продуктах згоряння. Це дозволяє підвищити ефективність використання природного газу та зменшити витрати енергоресурсів.

Котел Bosch Uni Condens 8000 F є підлоговим водогрійним котлом, який може працювати в автоматичному режимі та інтегруватися в сучасні системи керування і диспетчеризації [1, 2, 3]. Його застосування є доцільним у складі автоматизованих котельних установок, де передбачено контроль температури теплоносія, тиску, витрати, роботи пальника, насосів та системи безпеки.

До складу котлового устаткування входять такі основні елементи: корпус котла; теплообмінник; пальниковий пристрій; газова арматура; система подачі повітря на горіння; система відведення продуктів згоряння; циркуляційний контур теплоносія; датчики температури та тиску; запобіжна арматура; система автоматичного керування [21, 22, 24].

На рисунку 2.1 представлено загальний вигляд водогрійного конденсаційного котла Bosch Uni Condens 8000 F.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд водогрійного конденсаційного котла  
Bosch Uni Condens 8000 F

Основні технічні характеристики котла наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики котла Bosch Uni Condens 8000 F

Параметр	Значення
Тип котла	Водогрійний конденсаційний
Вид палива	Природний газ
Тип встановлення	Підлоговий
Призначення	Опалення, гаряче водопостачання, технологічне теплопостачання
Прийнята теплова потужність для розрахунку	800 кВт
Температура теплоносія на виході	70–90 °C
Температура зворотного теплоносія	40–60 °C

Робочий тиск теплоносія	до 6 бар
Тип регулювання потужності	Модульоване
Можливість автоматизації	Передбачена
Можливість диспетчеризації	Передбачена

Основною перевагою котла є можливість роботи зі змінним тепловим навантаженням. Це особливо важливо для систем теплопостачання, де споживання тепла змінюється протягом доби та опалювального сезону. За таких умов автоматизована система керування повинна забезпечувати зміну потужності котла відповідно до фактичної потреби споживачів.

## **2.2 Аналіз технологічної схеми котельної установки**

Технологічна схема котельної установки відображає послідовність перетворення енергії палива в теплову енергію та її передачу споживачам. У загальному вигляді процес роботи водогрійного котла включає подачу природного газу [8, 9, 10], подачу повітря для горіння, спалювання паливно-повітряної суміші, нагрівання теплоносія, циркуляцію води в системі та відведення продуктів згоряння.

Основними технологічними ланками котельної установки є:

- система газопостачання;
- пальниковий пристрій;
- теплообмінник котла;
- система циркуляції теплоносія;
- система димовидалення;
- система контролю та захисту;
- автоматизована система керування.

Природний газ надходить до пальника через газову арматуру [9, 10, 24], яка виконує функції регулювання, перекриття та захисту. У пальнику газ змішується з повітрям, після чого паливно-повітряна суміш згоряє у камері згоряння. Теплота, що виділяється під час горіння, передається воді через поверхні теплообміну [20, 21].

Нагрітий теплоносіє подається у систему теплопостачання, де передає теплову енергію споживачам. Після охолодження вода повертається до котла по зворотному трубопроводу. У конденсаційному режимі температура зворотного теплоносія має важливе значення, оскільки за її зниження підвищується ефективність конденсації водяної пари в продуктах згоряння.

На рисунку 2.2 представлена технологічна схема котельної установки на базі котла Bosch Uni Condens 8000 F.

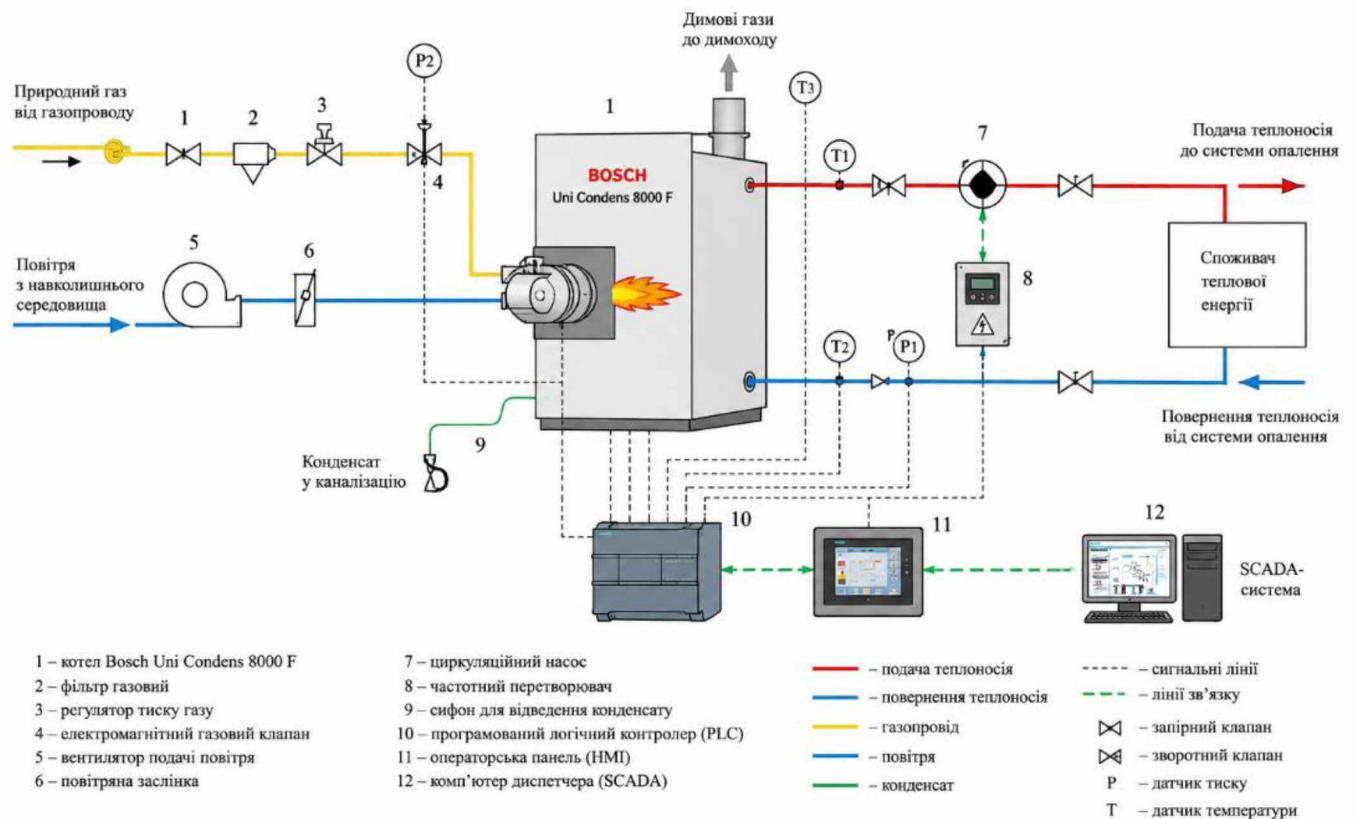


Рисунок 2.2 – Технологічна схема котельної установки на базі котла Bosch Uni Condens 8000 F

Узагальнена послідовність роботи котельної установки наведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Послідовність технологічного процесу роботи котельної установки

Етап	Технологічна операція	Обладнання
------	-----------------------	------------

1	Подача природного газу	Газопровід, газовий клапан
2	Подача повітря для горіння	Вентилятор пальника
3	Утворення паливно-повітряної суміші	Пальниковий пристрій
4	Спалювання палива	Камера згоряння
5	Передача теплоти теплоносію	Теплообмінник котла
6	Подача нагрітої води споживачу	Циркуляційний насос
7	Повернення охолодженого теплоносія	Зворотний трубопровід
8	Відведення продуктів згоряння	Димохід
9	Контроль параметрів	Датчики температури, тиску, витрати
10	Формування керуючих сигналів	PLC-контролер

Робота котельної установки повинна здійснюватися таким чином, щоб температура теплоносія підтримувалася на заданому рівні, а тиск у системі не виходив за допустимі межі. При цьому автоматизована система керування повинна враховувати зміну теплового навантаження, стан насосного обладнання, наявність полум'я та параметри газопостачання.

### **2.3 Основні параметри контролю та регулювання**

Для забезпечення надійної, безпечної та енергоефективної роботи котельної установки необхідно здійснювати постійний контроль основних технологічних параметрів [14, 15]. Частина параметрів використовується для регулювання, а частина — для захисту обладнання від аварійних режимів.

До основних контрольованих параметрів належать:

- температура теплоносія на виході з котла;
- температура зворотного теплоносія;
- тиск води в системі;
- тиск природного газу перед пальником;
- витрата теплоносія;
- витрата газу;
- температура димових газів;
- наявність полум'я;
- стан циркуляційного насоса;
- стан аварійних захистів.

Основним регульованим параметром є температура теплоносія на виході з котла. Саме вона визначає режим тепlopостачання та кількість теплової енергії, що передається споживачам. Регулювання температури здійснюється шляхом зміни теплової потужності пальника.

Другим важливим параметром є тиск теплоносія. Недостатній тиск може призвести до порушення циркуляції води, а надмірний — до аварійного спрацювання запобіжної арматури або пошкодження обладнання.

Температура зворотної води має особливе значення для конденсаційного котла. Чим нижчою є температура зворотного теплоносія, тим ефективніше використовується теплота конденсації водяної пари, що підвищує загальну ефективність котла.

Перелік параметрів контролю та рекомендовані технічні засоби наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні параметри контролю котельної установки

Параметр	Позначення	Орієнтовний діапазон	Засіб контролю	Призначення
Температура подачі	T1	70–90 °C	Датчик температури Pt100	Регулювання потужності котла

Температура зворотної води	T2	40–60 °С	Датчик температур и Pt100	Контроль конденсаційного режиму
Тиск теплоносія	P1	3–6 бар	Датчик тиску 4–20 мА	Захист і контроль
Тиск газу	P2	15–25 мбар	Датчик тиску газу	Контроль подачі палива
Витрата теплоносія	Q1	За розрахунком	Витратомір	Контроль циркуляції
Витрата газу	Q2	За навантаження м	Газовий лічильник	Оцінка енергоефективності
Температура димових газів	T3	40–80 °С	Датчик температур и	Контроль втрат теплоти
Наявність полум'я	F1	Є/немає	Датчик полум'я	Аварійний захист
Робота насоса	M1	Увімк./вимк.	Сигнал від пускача або ПЧ	Контроль циркуляції

Для автоматичного регулювання температури теплоносія може використовуватися пропорційно-інтегральний або пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання [15, 28]. У спрощеному вигляді система керування порівнює фактичне значення температури з заданим і формує керуючий сигнал на пальник.

Функціональна залежність похибки регулювання має вигляд:

$$e = T_{\text{зад}} - T_{\text{факт}},$$

де  $e$  – похибка регулювання, °С;  $T_{\text{зад}}$  – задана температура теплоносія, °С;  $T_{\text{факт}}$  – фактична температура теплоносія на виході з котла, °С.

У разі збільшення похибки система підвищує потужність пальника, а при досягненні заданої температури зменшує подачу палива. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільний температурний режим та зменшити перевитрати газу.

Крім основних режимів регулювання, автоматизована система повинна забезпечувати аварійне відключення котла у таких випадках [10, 12, 24]:

- перевищення допустимої температури теплоносія;
- перевищення допустимого тиску в системі;
- зниження тиску газу нижче допустимого рівня;
- згасання полум'я;
- зупинка циркуляційного насоса;
- відсутність витрати теплоносія;
- несправність датчиків або виконавчих механізмів.

Аварійні та попереджувальні сигнали доцільно представити в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Аварійні та попереджувальні сигнали системи керування

Сигнал	Умова спрацювання	Дія системи
Перегрів теплоносія	$T1 > 95 \text{ }^\circ\text{C}$	Відключення пальника, сигнал аварії
Низький тиск води	$P1 < 3 \text{ бар}$	Блокування запуску котла
Високий тиск води	$P1 > 6 \text{ бар}$	Відключення котла, сигнал аварії
Низький тиск газу	$P2 < \text{допустимого рівня}$	Закриття газового клапана
Відсутність полум'я	$F1 = 0 \text{ під час роботи}$	Аварійне вимкнення пальника
Зупинка насоса	$M1 = 0 \text{ під час роботи}$	Відключення пальника

Відсутність витрати	$Q_1 = 0$	Блокування роботи котла
Несправність датчика	Обрив або некоректний сигнал	Перехід у безпечний режим

#### **2.4 Формування вимог до автоматизованої системи керування**

На підставі аналізу котлового устаткування та технологічного процесу сформовано вимоги до автоматизованої системи керування. Система повинна забезпечувати автоматичну, безпечну та енергоефективну роботу котла Bosch Uni Condens 8000 F у змінних режимах теплового навантаження.

Основними вимогами до системи керування є:

- автоматичне підтримання температури теплоносія;
- контроль температури подачі та зворотної води;
- контроль тиску теплоносія;
- контроль тиску газу;
- керування палинковим пристроєм;
- керування циркуляційним насосом;
- частотне регулювання електропривода насоса;
- захист від аварійних режимів;
- візуалізація параметрів на операторській панелі;
- архівування основних параметрів роботи;
- формування аварійних повідомлень;
- можливість дистанційного моніторингу.

Структурно автоматизована система керування повинна складатися з трьох рівнів:

- нижній рівень — датчики та виконавчі механізми;
- середній рівень — програмований логічний контролер;
- верхній рівень — операторська панель або SCADA-система.

На рисунку 2.3 наведена структурна схема автоматизованої системи керування котлом.

Функції основних елементів системи наведено в таблиці 2.5.

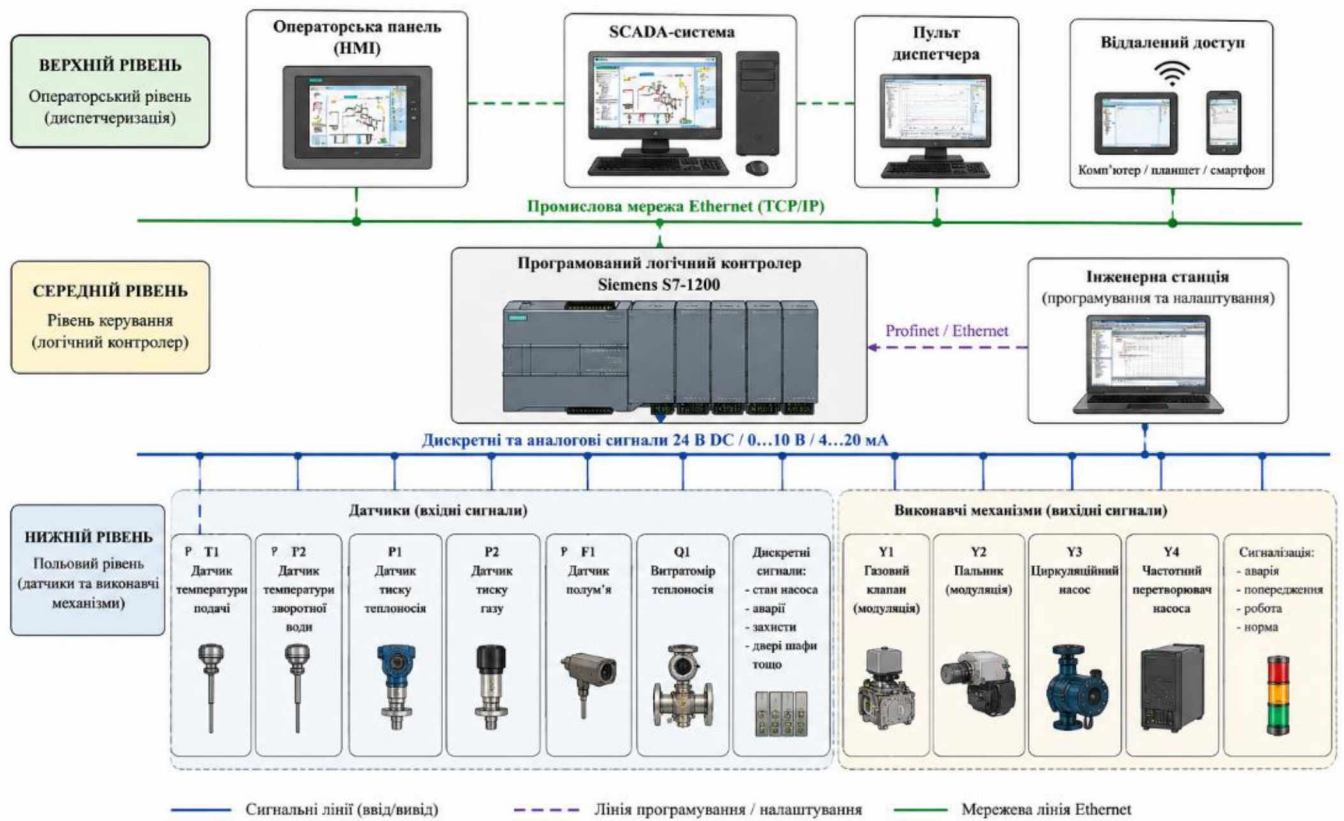


Рисунок 2.3 – Структурна схема автоматизованої системи керування КОТЛОМ

Таблиця 2.5 – Функції основних елементів автоматизованої системи керування

Елемент системи	Основна функція
Датчики температури	Вимірювання температури подачі та зворотної води
Датчики тиску	Контроль тиску теплоносія та газу
Витратомір	Контроль циркуляції теплоносія
Датчик полум'я	Контроль наявності горіння
PLC-контролер	Обробка сигналів і формування команд керування
Частотний перетворювач	Регулювання швидкості обертання насоса

Газовий клапан	Регулювання або перекриття подачі газу
Циркуляційний насос	Забезпечення руху теплоносія
Операторська панель	Візуалізація параметрів і керування
SCADA-система	Диспетчеризація, архівування та контроль

Для реалізації системи керування доцільно використати програмований логічний контролер Siemens S7-1200. Він забезпечує обробку аналогових і дискретних сигналів, підтримує промислові мережі зв'язку та може бути інтегрований з операторськими панелями і SCADA-системами.

На рисунку 2.4 подана інформаційна схема обміну сигналами в автоматизованій системі керування.

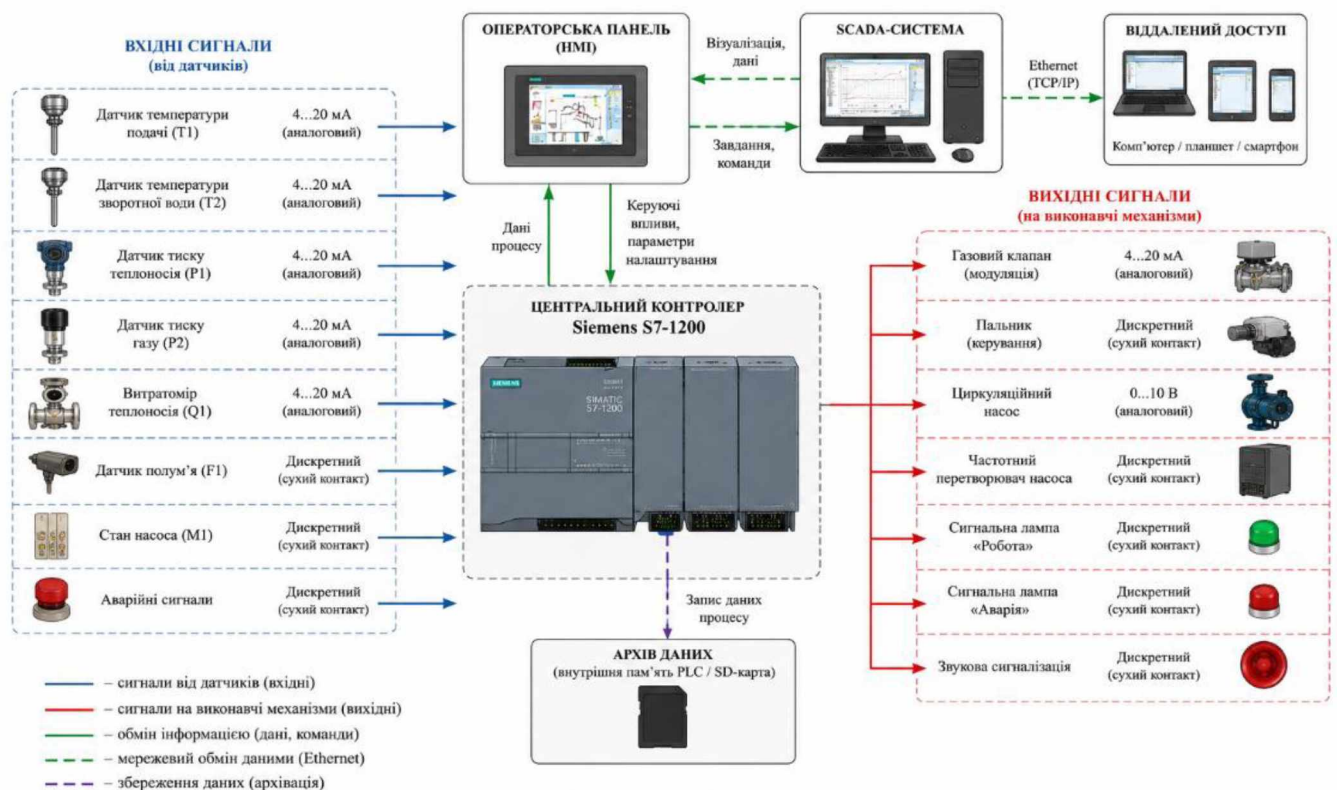


Рисунок 2.4 – Інформаційна схема обміну сигналами в автоматизованій системі керування.

Таким чином, розроблювана автоматизована система керування повинна забезпечувати не лише підтримання заданих параметрів роботи котла, а й повний

контроль технічного стану обладнання, аварійний захист, енергоефективне регулювання та можливість подальшої модернізації.

## Висновки до розділу 2

У другому розділі розглянуто водогрійний конденсаційний котел Bosch Uni Condens 8000 F як об'єкт автоматизації. Встановлено, що даний котел є сучасним енергоефективним обладнанням, яке може використовуватися в системах опалення, гарячого водопостачання та технологічного теплопостачання.

Проаналізовано технологічну схему котельної установки, яка включає систему газопостачання, пальниковий пристрій, теплообмінник, циркуляційний контур, систему димовидалення, датчики контролю та засоби автоматичного керування. Визначено основні етапи технологічного процесу виробництва теплової енергії.

Визначено основні параметри контролю та регулювання: температуру теплоносія на виході з котла, температуру зворотної води, тиск теплоносія, тиск газу, витрату теплоносія, витрату газу, температуру димових газів, наявність полум'я та стан насосного обладнання.

Сформовано вимоги до автоматизованої системи керування котловим устаткуванням. Встановлено, що система повинна забезпечувати автоматичне підтримання температури теплоносія, керування пальником, частотне регулювання циркуляційного насоса, аварійний захист, візуалізацію параметрів, архівування даних і можливість дистанційного моніторингу.

Запропоновано структурну побудову автоматизованої системи керування, яка включає нижній рівень датчиків і виконавчих механізмів, середній рівень програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 та верхній рівень операторської панелі або SCADA-системи. Отримані результати є основою для подальшого вибору технічних засобів автоматизації та розробки алгоритмів керування у наступному розділі.

## **РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОТЛОВИМ УСТАТКУВАННЯМ**

### **3.1 Вибір структури автоматизованої системи керування**

На підставі аналізу технологічного процесу роботи водогрійного конденсаційного котла Bosch Uni Condens 8000 F та вимог до автоматизованої системи керування запропоновано трирівневу структуру системи автоматизації.

Перший рівень складають первинні датчики та виконавчі механізми, які безпосередньо взаємодіють з технологічним обладнанням. До цього рівня належать датчики температури, тиску, витрати теплоносія, датчики полум'я, електромагнітні клапани, циркуляційні насоси та частотні перетворювачі.

Другий рівень представлений програмованим логічним контролером, який здійснює збір інформації від датчиків, виконання алгоритму керування, обробку аварійних сигналів та формування команд для виконавчих механізмів.

Третій рівень включає операторську панель та SCADA-систему, які забезпечують візуалізацію технологічного процесу, архівування даних, формування звітів та дистанційний моніторинг роботи котельної установки.

Запропонована структура дозволяє реалізувати принцип централізованого автоматичного керування та забезпечує можливість подальшого розширення функціональних можливостей системи.

На рисунку 3.1 подана функціональна структура автоматизованої системи керування котлом.

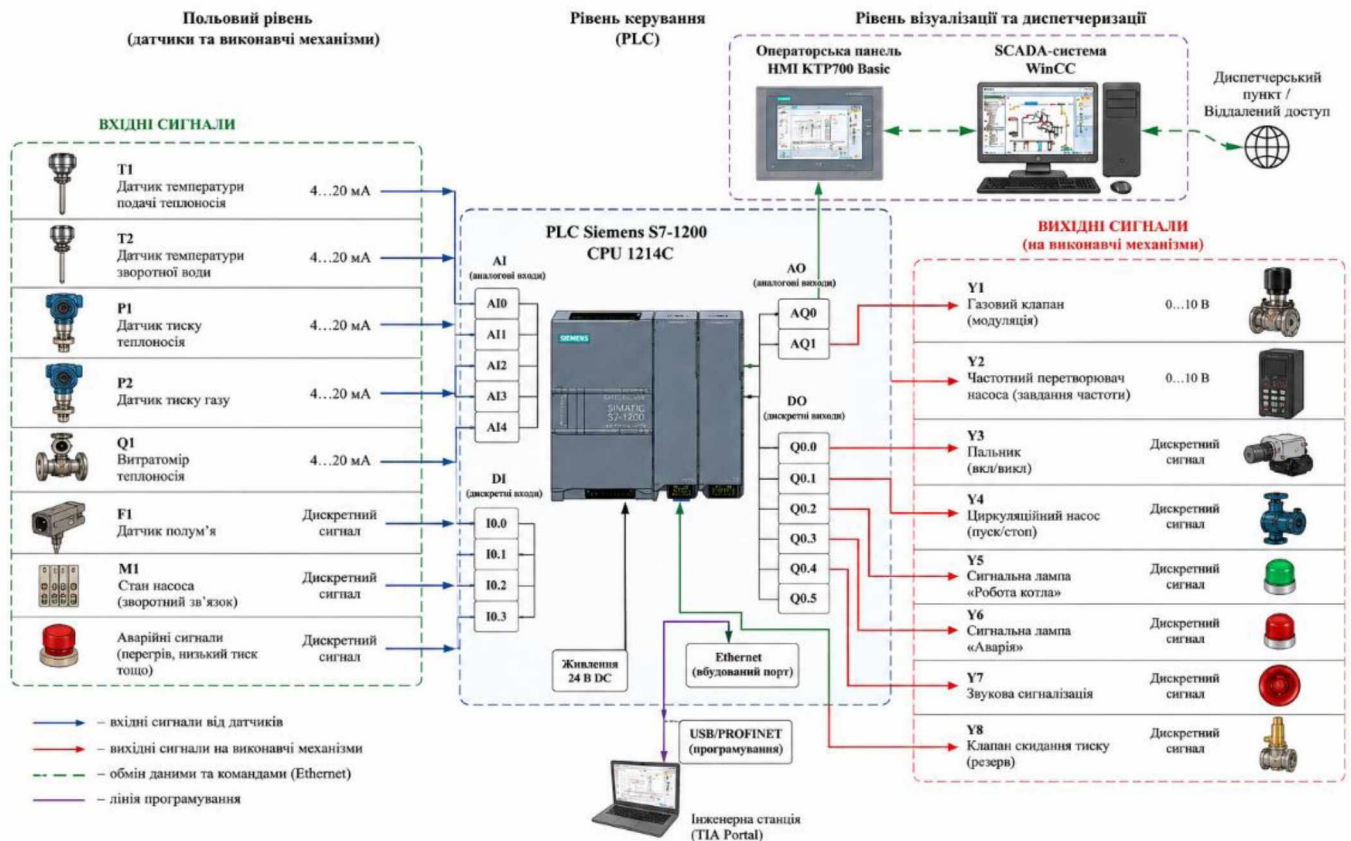


Рисунок 3.1 – Функціональна структура автоматизованої системи керування котлом

### 3.2 Вибір програмованого логічного контролера

Центральним елементом системи автоматизації є програмований логічний контролер. Для реалізації функцій керування обрано контролер Siemens S7-1200 [2, 3].

Даний контролер широко використовується в системах автоматизації теплотехнічних об'єктів та має такі переваги: висока надійність; підтримка аналогових і дискретних сигналів; вбудований Ethernet-порт; підтримка протоколів Modbus TCP та Profinet; можливість підключення операторських панелей; інтеграція з SCADA-системами; простота програмування у середовищі TIA Portal [2, 15].

Для реалізації задач автоматизації обрано контролер CPU 1214C.

Основні характеристики наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C

Параметр	Значення
Напруга живлення	24 В DC
Дискретні входи	14
Дискретні виходи	10
Аналогові входи	2 (розширювані)
Ethernet	Вбудований
Обсяг пам'яті	100 кБ
Ступінь захисту	IP20

Кількість входів та виходів контролера є достатньою для реалізації автоматизованої системи керування котлом.

### 3.3 Вибір датчиків і виконавчих механізмів

Для контролю параметрів технологічного процесу необхідно вибрати сучасні засоби вимірювання.

Для вимірювання температури теплоносія використовуються термометри опору Pt100 [14].

Основні характеристики наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики датчика температури Pt100

Параметр	Значення
Тип	Pt100
Діапазон вимірювання	-50...+200 °C
Клас точності	A
Вихідний сигнал	4–20 мА

Для вимірювання тиску теплоносія та газу прийнято електронні датчики тиску з уніфікованим вихідним сигналом 4–20 мА. Для регулювання продуктивності циркуляційного насоса використовується частотний перетворювач.

Таблиця 3.3 – Характеристики датчиків тиску

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	0–10 бар
Вихідний сигнал	4–20 мА
Напруга живлення	24 В DC
Клас захисту	IP65

Для приводу насоса потужністю 5,5 кВт обрано перетворювач частоти Siemens V20 [4, 5]. Основні характеристики наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристики частотного перетворювача

Параметр	Значення
Потужність	5,5 кВт
Вхідна напруга	380 В
Частота виходу	0–50 Гц
Керуючий сигнал	0–10 В

### 3.4 Розробка алгоритму керування котлом

Основною задачею системи керування є підтримання температури теплоносія на виході котла на рівні, заданому оператором.

Алгоритм роботи системи складається з таких етапів [15, 28]: Зчитування показів датчиків. Перевірка аварійних параметрів. Порівняння фактичної температури із заданою. Розрахунок похибки регулювання. Формування сигналу керування пальником. Регулювання продуктивності насоса. Передача інформації на операторську панель. Архівування даних.

Похибка регулювання визначається:

$$e = T_{\text{зад}} - T_{\text{факт}}$$

де:  $e$  – похибка регулювання температури;  $T_{\text{зад}}$  – задана температура теплоносія;  $T_{\text{факт}}$  – фактична температура теплоносія.

При позитивній похибці система збільшує потужність пальника.

При від'ємній похибці подача газу зменшується.

Для забезпечення високої точності регулювання використовується ПІД-регулятор. Структурна схема алгоритму керування наведена на рисунку 3.2.

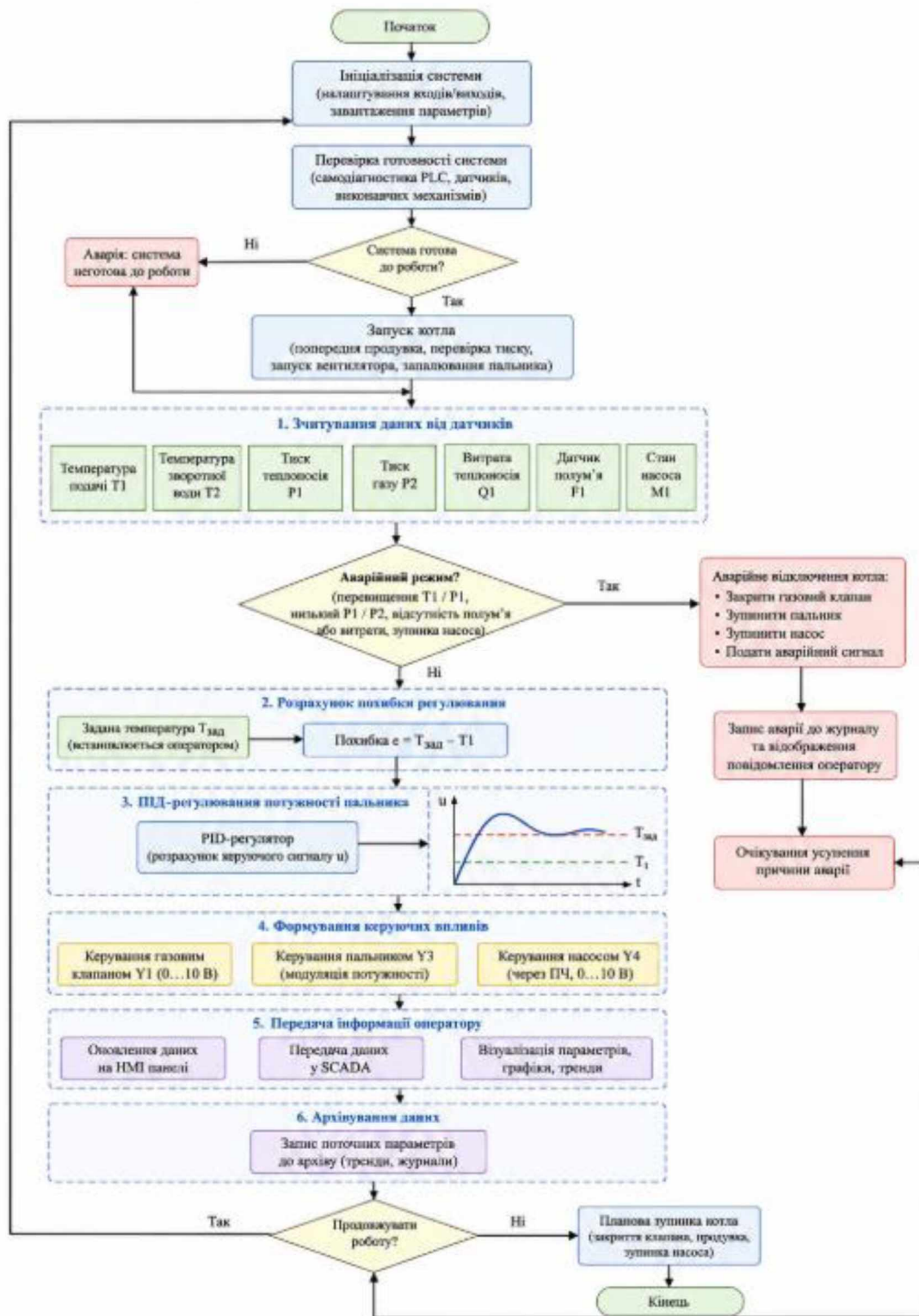


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму керування котлом

### 3.5 Розробка системи диспетчеризації та візуалізації

Для відображення параметрів технологічного процесу передбачено використання операторської панелі Siemens KTP700 Basic та SCADA-системи WinCC [6, 7].

На екрані оператора відображаються: температура подачі теплоносія; температура зворотної води; тиск теплоносія; тиск газу; стан пальника; стан насоса; аварійні повідомлення; графіки зміни параметрів.

SCADA-система забезпечує: архівування параметрів; формування звітів; реєстрацію аварій; віддалений доступ через Ethernet; диспетчерський контроль.

На рисунку 3.3. представлено екран головного вікна SCADA-системи котельної установки.

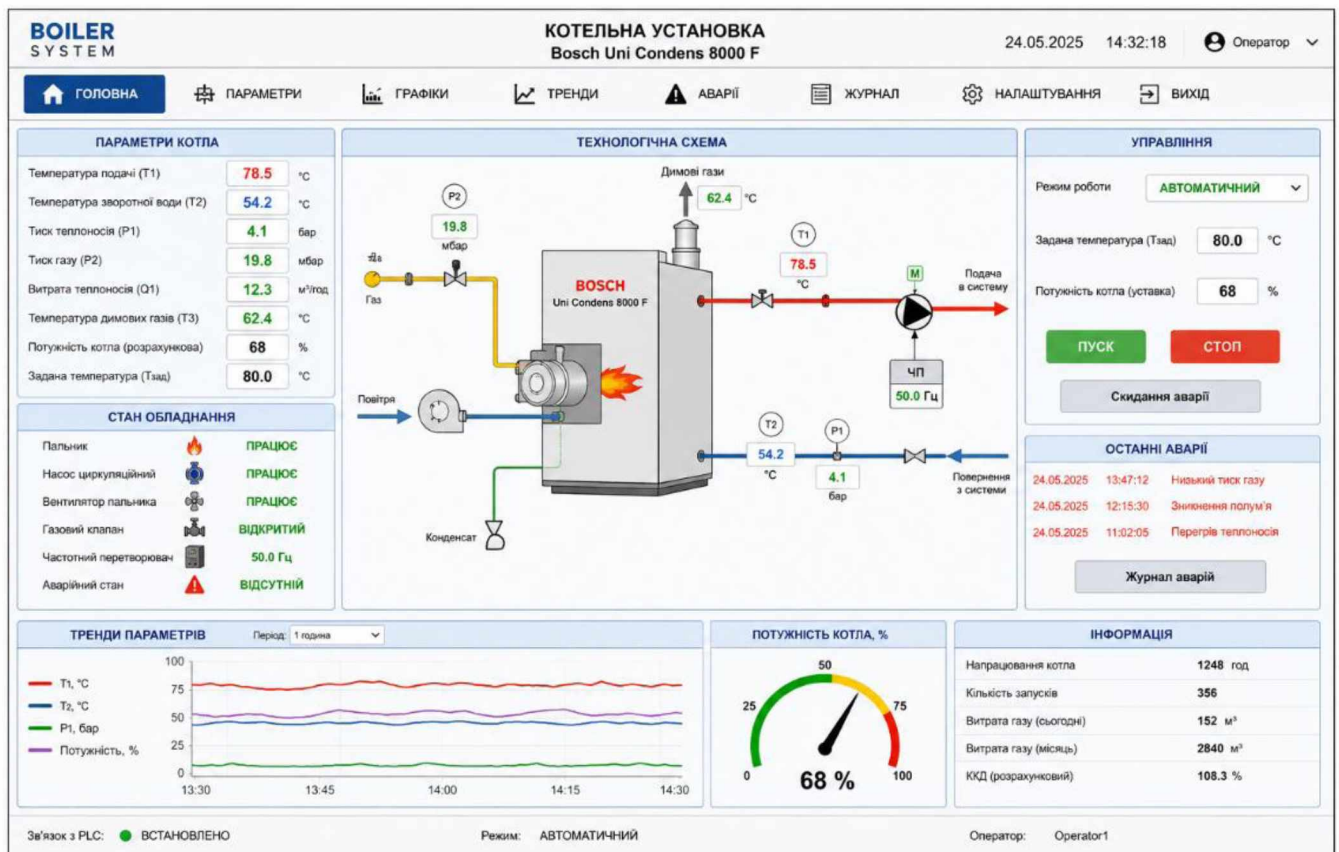


Рисунок 3.3 – Екран головного вікна SCADA-системи котельної установки

### Висновки до розділу 3

У розділі розроблено структуру автоматизованої системи керування водогрійним конденсаційним котлом Bosch Uni Condens 8000 F. Обґрунтовано використання трирівневої архітектури системи, яка включає польовий рівень, рівень керування та рівень диспетчеризації.

Для реалізації функцій автоматичного керування обрано програмований логічний контролер Siemens S7-1200, датчики температури Pt100, датчики тиску з виходом 4–20 мА та частотний перетворювач Siemens V20 для керування циркуляційним насосом.

Розроблено алгоритм автоматичного регулювання температури теплоносія на основі ПД-регулятора та визначено принципи функціонування системи аварійного захисту.

Запропоновано структуру диспетчеризації з використанням операторської панелі та SCADA-системи WinCC, що забезпечує візуалізацію, архівування даних та дистанційний моніторинг роботи котельної установки.

## РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 4.1 Вибір та розрахунок електротехнічного обладнання системи керування

Для реалізації автоматизованої системи керування котлом Bosch Uni Condens 8000 F необхідно вибрати електротехнічне обладнання [1, 2, 12], яке забезпечить надійну роботу системи, живлення контрольно-вимірювальних приладів, програмованого логічного контролера та виконавчих механізмів.

До складу системи входять: програмований логічний контролер Siemens S7-1200; операторська панель Siemens KTP700 Basic; датчики температури; датчики тиску; витратомір; частотний перетворювач; циркуляційний насос; газовий клапан; система світлової та звукової сигналізації.

Структурна схема електроживлення наведена на рисунку 4.1.

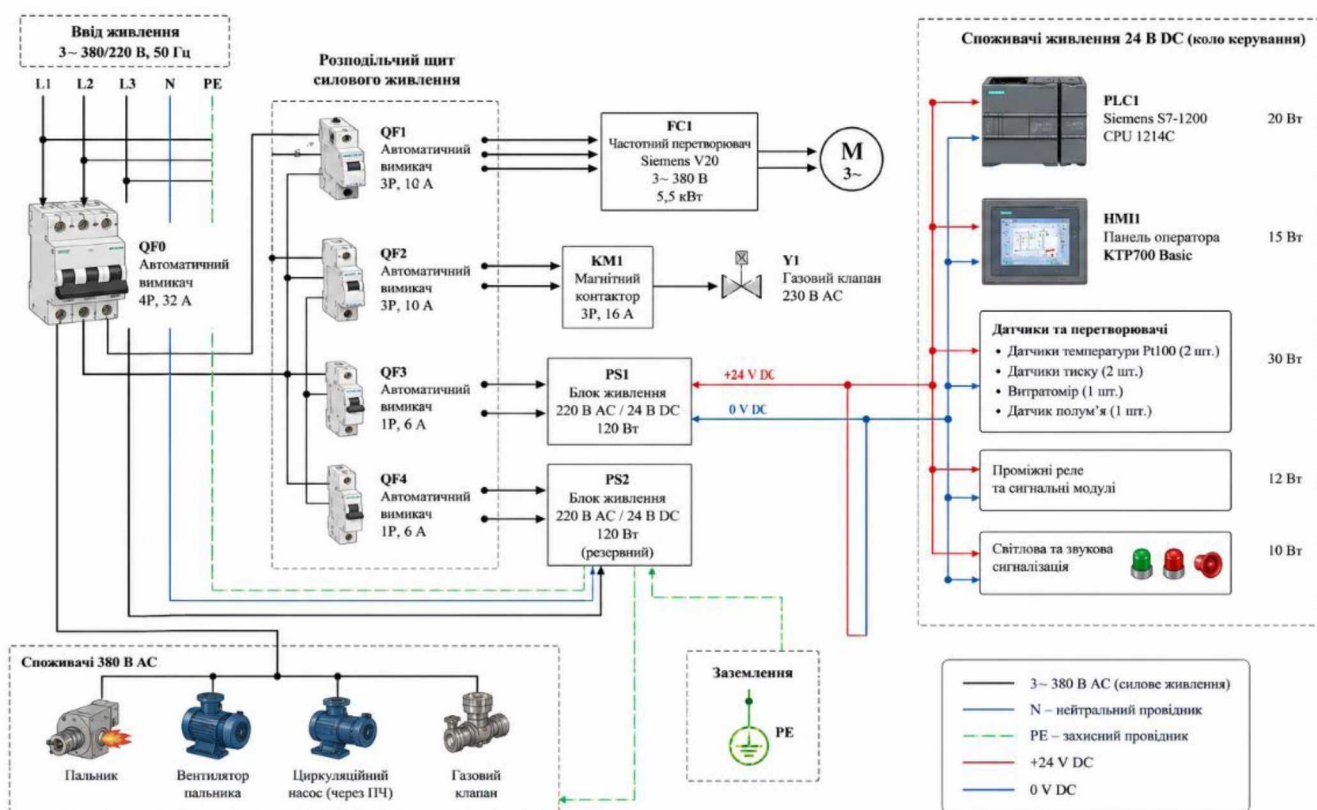


Рисунок 4.1 – Структурна схема електроживлення автоматизованої системи керування

Для живлення системи використовується трифазна мережа напругою 380 В та частотою 50 Гц [11, 12].

Живлення контролера та датчиків здійснюється через імпульсний блок живлення 24 В постійного струму [2, 14].

Загальна потужність споживачів кола керування визначається:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{PPLC}} + P_{\text{НМІ}} + P_{\text{датч}} + P_{\text{сигн}}$$

де:  $P_{\text{PPLC}} = 20$  Вт;  $P_{\text{НМІ}} = 15$  Вт;  $P_{\text{датч}} = 30$  Вт;  $P_{\text{сигн}} = 10$  Вт.

Тоді

$$P_{\text{заг}} = 20 + 15 + 30 + 10 = 75 \text{ Вт.}$$

Для забезпечення необхідного резерву приймаємо блок живлення потужністю 120 Вт.

Технічні характеристики блоку живлення наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри джерела живлення

Параметр	Значення
Вхідна напруга	220 В АС
Вихідна напруга	24 В DC
Потужність	120 Вт
Струм навантаження	5 А
Ступінь захисту	IP20

#### **4.2 Розрахунок параметрів циркуляційного насоса та частотного перетворювача**

Для забезпечення необхідної циркуляції теплоносія необхідно визначити продуктивність насосного агрегату [20].

Теплова потужність котла:  $P = 800$  кВт.

Температура подачі теплоносія:  $t_1 = 80$  °С.

Температура зворотної води:  $t_2 = 60$  °С.

Перепад температур:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Масова витрата теплоносія:

$$G = \frac{P}{c \cdot \Delta t}$$

де:  $c = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

Після підстановки:  $G = 800 / (4,19 \cdot 20) = 9,55 \text{ кг/с}$ .

Об'ємна витрата:

$$Q = \frac{G \cdot 3600}{\rho}$$

де:  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

$$Q = \frac{9,55 \cdot 3600}{1000} = 34,38 \text{ м}^3/\text{год}$$

Для забезпечення резерву приймається насос продуктивністю  $40 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Необхідний напір насоса:  $H = 25 \text{ м}$ .

Потужність насоса визначається [20]:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{3600 \cdot \eta}$$

де:  $\eta = 0,75$ .

Після розрахунку:  $N = 3,63 \text{ кВт}$ .

З урахуванням експлуатаційного запасу приймається двигун потужністю  $5,5 \text{ кВт}$  [4].

Для регулювання продуктивності насоса використовується частотний перетворювач Siemens V20.

Розрахунковий струм двигуна:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos\varphi}$$

де:  $P = 5500$  Вт;  $U = 380$  В;  $\eta = 0,9$ ;  $\cos\varphi = 0,85$ .

Після розрахунку:  $I = 10,95$  А.

З урахуванням запасу приймається частотний перетворювач потужністю 5,5 кВт та номінальним струмом 13 А.

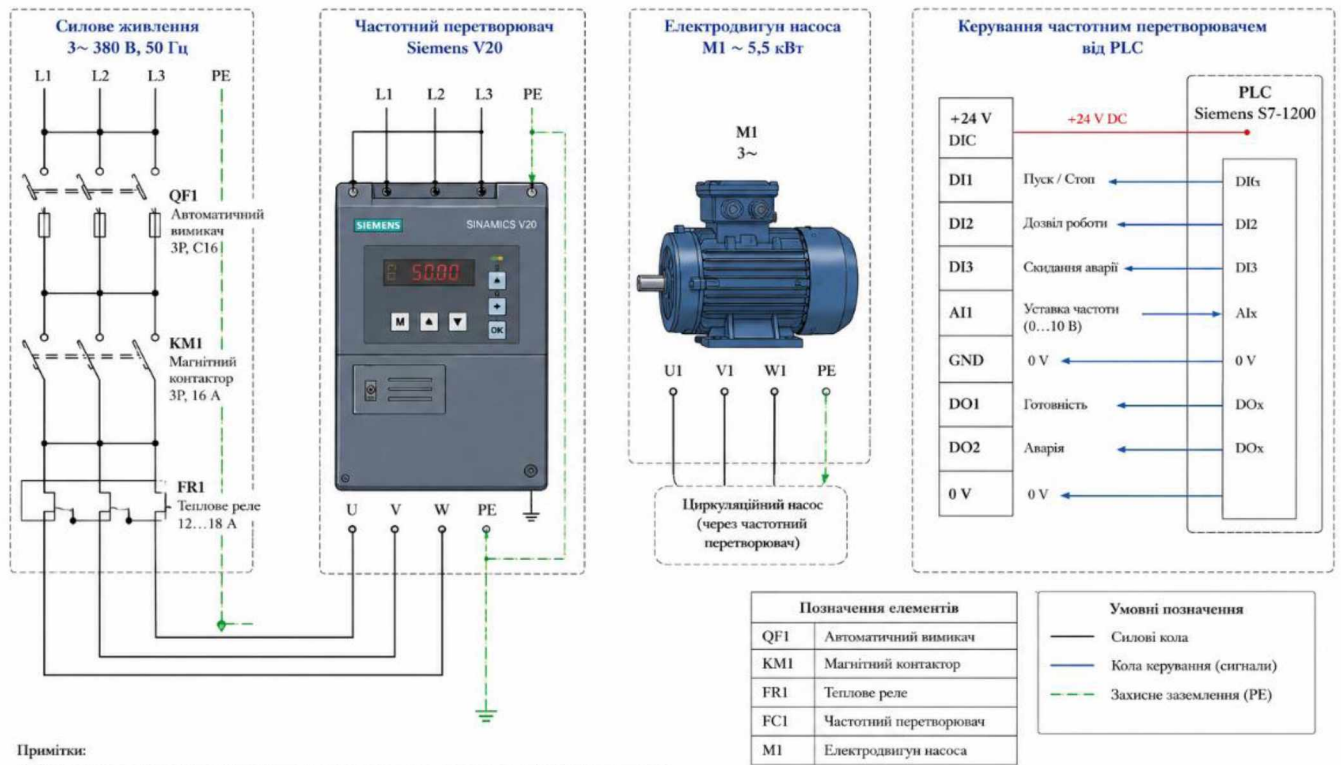
В таблиці 4.2 наведені основні характеристики електропривода насоса.

Таблиця 4.2 – Основні характеристики електропривода насоса

Параметр	Значення
Потужність двигуна	5,5 кВт
Напруга живлення	380 В
Номінальний струм	10,95 А
Частота обертання	1500 об/хв
Частотний перетворювач	Siemens V20

Використання частотного регулювання дозволяє знизити споживання електроенергії на 30–50 % залежно від теплового навантаження.

На рис. 4.2 наведена електрична схема підключення насоса через частотний перетворювач.



Примітки:

1. Частотний перетворювач забезпечує плавний пуск насоса та регулювання його продуктивності.
2. Сигнали керування та зворотний зв'язок підключаються до дискретних (DI/DO) та аналогового (AI) входів/виходів PLC.

Рисунок 4.2 – Електрична схема підключення насоса через частотний перетворювач

### 4.3 Розрахунок кабельної мережі, апаратів захисту та шафи керування

Вибір кабельної продукції здійснюється за допустимим струмом навантаження [11, 17].

Розрахунковий струм двигуна:  $I = 10,95 \text{ A}$ .

З урахуванням коефіцієнта запасу:

$$I_{\text{розр}} = 1,2 \cdot I = 13,14 \text{ A}.$$

Для такого струму приймається кабель ВВГнг 4×2,5 мм<sup>2</sup> [11].

Допустимий струм даного кабелю:  $I_{\text{доп}} = 27 \text{ A}$ .

Умова виконується:  $I_{\text{доп}} > I_{\text{розр}}$ .

Для захисту двигуна використовується автоматичний вимикач [11, 12].

Номинальний струм автомата:

$$I_{\text{авт}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{розр}}$$

$$I_{\text{авт}} \geq 16,4 \text{ А.}$$

Приймається автоматичний вимикач типу С16.

В таблиці 4.3 наведена інформація щодо вибору апаратів захисту

Таблиця 4.3 – Вибір апаратів захисту

Позначення	Найменування
QF1	Автоматичний вимикач С16
QF2	Автоматичний вимикач С10
FU1–FU6	Плавкі запобіжники
KM1	Магнітний контактор
FR1	Теплове реле

Для розміщення обладнання автоматизації проєктується металева шафа керування [12, 16].

До складу шафи входять:

- PLC Siemens S7-1200;
- блок живлення 24 В;
- автоматичні вимикачі;
- частотний перетворювач;
- клемні колодки;
- мережевий комутатор;
- проміжні реле.

Габарити шафи: 800 × 600 × 250 мм.

Ступінь захисту: IP54.

На рисунку 4.3 наведено компонування обладнання в шафі керування.

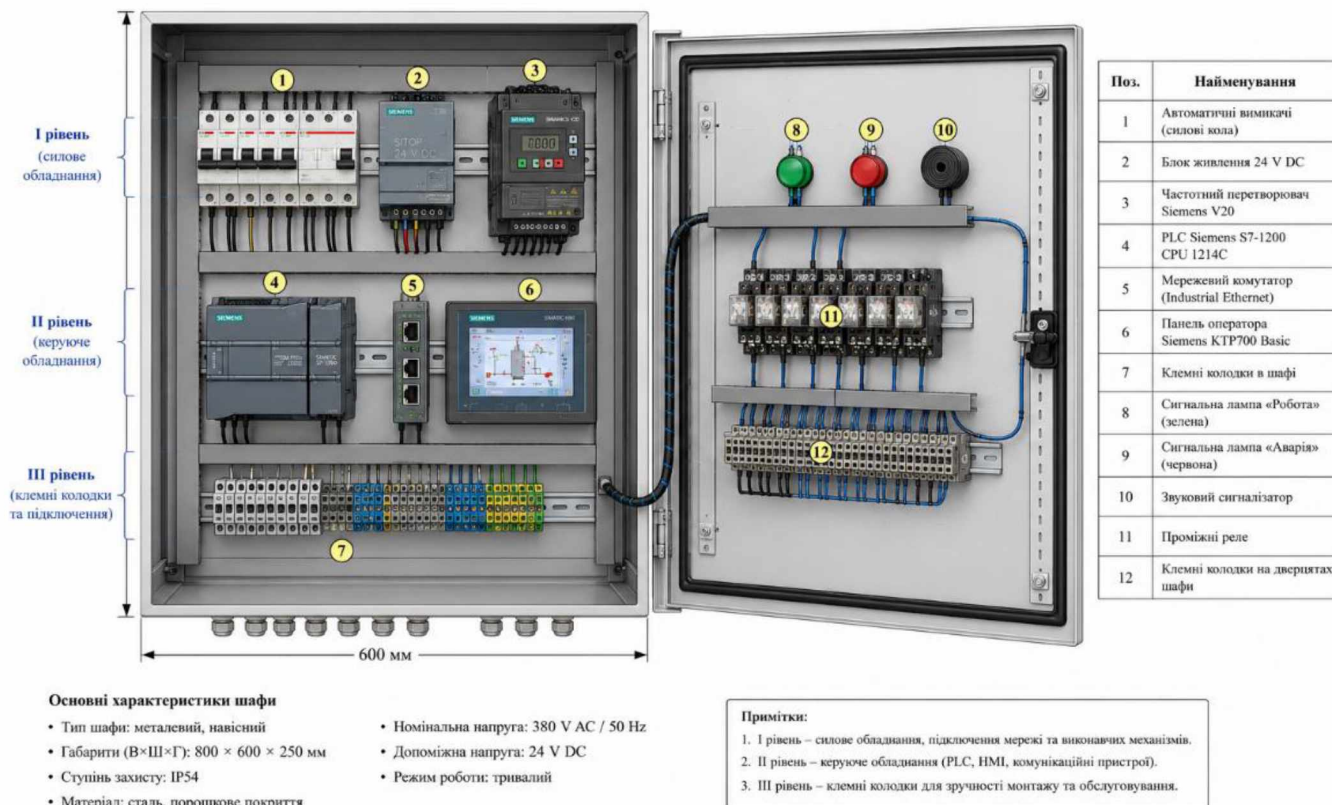


Рисунок 4.3 – Компонування обладнання в шафі керування

#### 4.4 Оцінка енергоефективності та надійності автоматизованої системи

Однією з головних переваг впровадження автоматизованої системи керування є підвищення енергоефективності роботи котельної установки [18, 19].

Основні джерела економії енергії:

- оптимізація режимів роботи пальника;
- частотне регулювання насоса;
- автоматичне підтримання температури;
- зменшення кількості запусків обладнання;
- оперативне виявлення аварійних режимів.

При використанні частотного регулювання потужність насоса може зменшуватися відповідно до закону кубів [4, 5]:

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

При зниженні частоти обертання до 80 %:

$$P_2 = 5,5 \cdot (0,8)^3 = 2,82 \text{ кВт.}$$

Економія потужності:

$$\Delta P = 5,5 - 2,82 = 2,68 \text{ кВт.}$$

Відносна економія:

$$\eta_{\text{ек}} = \left( \frac{\Delta P}{P_1} \right) \cdot 100\%$$

$$\eta_{\text{ек}} = 48,7 \%$$

Надійність системи оцінюється коефіцієнтом готовності:

$$K_g = \frac{T_p}{T_p + T_v}$$

де:  $T_p$  – середній час безвідмовної роботи;  $T_v$  – середній час відновлення.

Для сучасних PLC-систем [2, 14]:  $K_g = 0,995-0,998$ .

В таблиці 4.4 наведені основні показники ефективності системи.

Таблиця 4.4 – Основні показники ефективності системи

Показник	Значення
Потужність насоса	5,5 кВт
Потужність при регулюванні	2,82 кВт
Економія потужності	2,68 кВт
Відносна економія	48,7 %
Коефіцієнт готовності	0,995–0,998

Отже, впровадження автоматизованої системи керування забезпечує зменшення споживання електричної енергії, підвищення надійності роботи котельної установки та покращення якості регулювання технологічного процесу.

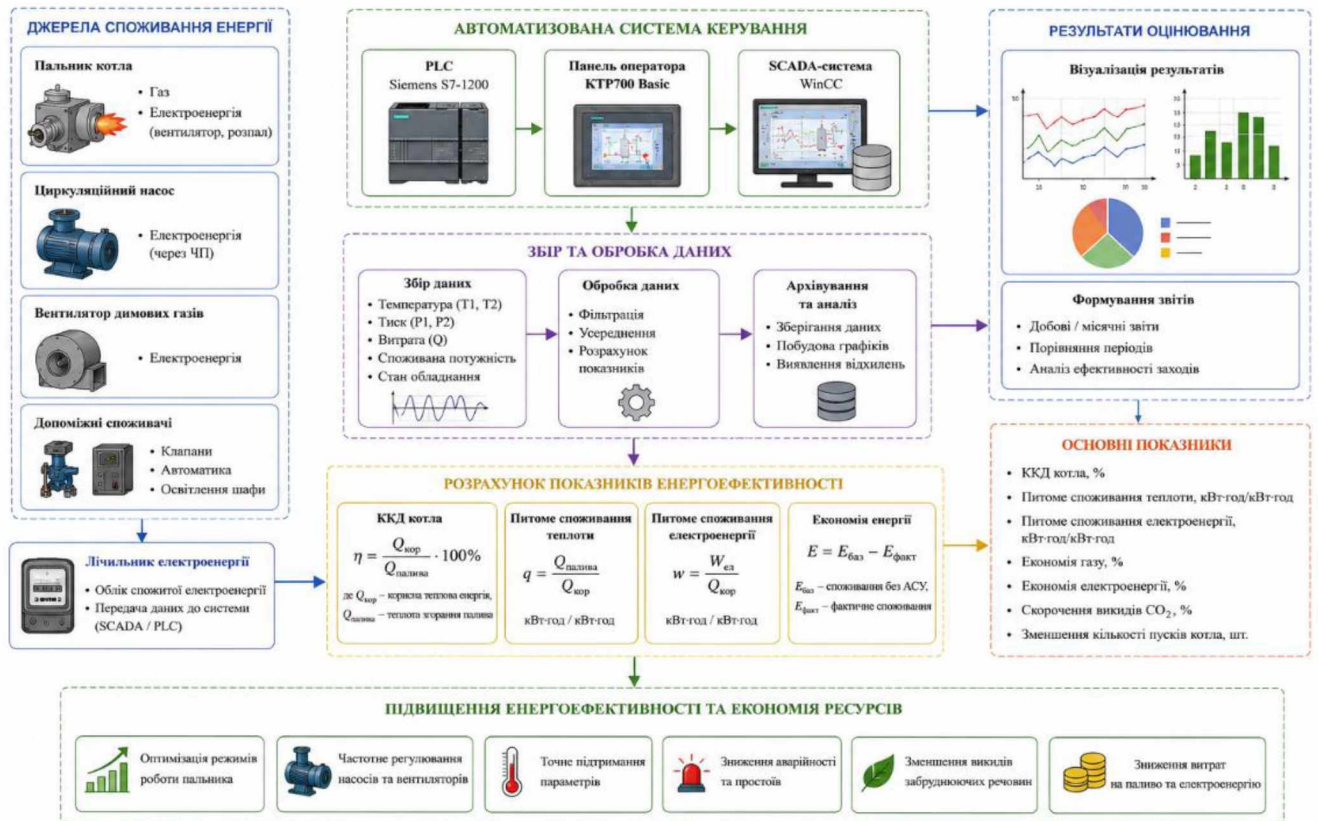


Рисунок 4.4 – Структурна схема оцінювання енергоефективності автоматизованої системи

## Висновки до розділу 4

У четвертому розділі виконано технічне проектування автоматизованої системи керування водогрійним конденсаційним котлом Bosch Uni Condens 8000 F. Обґрунтовано вибір програмованого логічного контролера Siemens S7-1200, операторської панелі, датчиків температури і тиску, частотного перетворювача та виконавчих механізмів.

Виконано розрахунок параметрів циркуляційного насоса та електропривода, визначено необхідну продуктивність теплоносія 40 м<sup>3</sup>/год та обґрунтовано застосування двигуна потужністю 5,5 кВт. Проведено вибір частотного перетворювача Siemens V20 для регулювання швидкості обертання насоса.

Розраховано кабельну мережу, вибрано апарати захисту та розроблено структуру шафи керування. Встановлено, що вибране обладнання забезпечує надійну та безпечну роботу системи.

Оцінка енергоефективності показала, що використання частотного регулювання дозволяє знизити споживання електричної енергії насосним агрегатом майже на 49 %. Розрахунок коефіцієнта готовності підтвердив високий рівень надійності автоматизованої системи керування, що відповідає вимогам сучасних котельних установок.

## **РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОТЛОВИМ УСТАТКУВАННЯМ**

### **5.1 Заходи з охорони праці під час експлуатації експлуатації котлового устаткуванням**

Експлуатація котлового устаткування належить до потенційно небезпечних видів діяльності [10], оскільки пов'язана з використанням природного газу, високих температур, електрообладнання та систем автоматизації. Тому одним із найважливіших завдань є забезпечення безпечних умов праці обслуговуючого персоналу.

Під час роботи котельної установки на працівників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [11, 12]:

- ураження електричним струмом;
- опіки від нагрітих поверхонь обладнання;
- підвищена температура повітря в приміщенні котельні;
- підвищений рівень шуму від насосного обладнання;
- можливість витоку природного газу;
- виникнення пожежі або вибуху газоповітряної суміші;
- психофізіологічне навантаження під час ліквідації аварійних ситуацій.

Для забезпечення безпечної роботи котельної установки необхідно виконувати вимоги Правил безпечної експлуатації тепломеханічного обладнання, Правил улаштування електроустановок та Правил безпеки систем газопостачання.

До експлуатації обладнання допускається персонал, який пройшов відповідне навчання, інструктаж з охорони праці та перевірку знань з електробезпеки.

Для захисту персоналу передбачаються такі заходи [11, 12]:

- заземлення електрообладнання;
- автоматичне вимкнення живлення при аваріях;

- контроль концентрації природного газу;
- автоматичне перекриття подачі газу;
- використання аварійної сигналізації;
- застосування засобів індивідуального захисту.

Автоматизована система керування забезпечує постійний контроль температури теплоносія, тиску, роботи пальника та насосного обладнання. У разі виникнення аварійної ситуації система автоматично відключає котел та формує сигнал тривоги [24, 25].

Таким чином, реалізація комплексу організаційних та технічних заходів дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію котлового устаткування та мінімізувати ризик виникнення нещасних випадків.

## **5.2 Екологічна безпека проєктного рішення**

Сучасні вимоги до енергетичних установок передбачають не лише ефективне використання енергетичних ресурсів [18, 19], а й мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище.

Запропонована автоматизована система керування котловим устаткуванням дозволяє оптимізувати процес спалювання природного газу та забезпечити підтримання режимів роботи котла на рівні, близькому до оптимального.

Основними екологічними перевагами впровадження автоматизованої системи є:

- зниження питомих витрат природного газу;
- зменшення викидів оксидів азоту та вуглекислого газу;
- підвищення коефіцієнта корисної дії котла;
- зниження кількості аварійних режимів;
- скорочення обсягів ремонтних робіт та відходів.

Застосування конденсаційного котла Bosch Uni Condens 8000 F забезпечує більш повне використання теплоти продуктів згоряння порівняно з традиційними котлами. Це сприяє зменшенню витрат палива та скороченню викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Додатковий позитивний ефект досягається завдяки використанню частотного регулювання циркуляційного насоса [4, 5]. Зменшення споживання електричної енергії сприяє скороченню непрямих викидів парникових газів, пов'язаних із виробництвом електроенергії.

Таким чином, запропоноване проектне рішення є екологічно доцільним та відповідає сучасним вимогам енергоефективності та охорони навколишнього середовища.

### **5.3 Економічна ефективність впровадження автоматизованої системи керування**

Економічна ефективність впровадження автоматизованої системи керування визначається зниженням витрат на енергоносії, скороченням витрат на технічне обслуговування та підвищенням надійності роботи котельного устаткування [18, 19].

Структуру витрат на впровадження системи наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Витрати на впровадження автоматизованої системи керування

Найменування витрат	Сума, тис. грн
PLC Siemens S7-1200	35
Операторська панель	20
Датчики та виконавчі механізми	45
Частотний перетворювач	25
Монтажні та налагоджувальні роботи	30
Інші витрати	15
Разом	170

Основний економічний ефект досягається за рахунок:

- економії природного газу;
- зниження споживання електроенергії насосом;

- скорочення аварійних простоїв;
- зменшення витрат на технічне обслуговування.

Річна економія становить:

- економія природного газу – 45 тис. грн/рік;
- економія електроенергії – 25 тис. грн/рік;
- зниження витрат на ремонт та обслуговування – 20 тис. грн/рік.

Загальний річний економічний ефект:

$$E_{\text{річна}} = 45 + 25 + 20 = 90 \text{ тис. грн/рік.}$$

Термін окупності проекту:

$$T = K / E_{\text{річна}}$$

де:  $K = 170$  тис. грн – капітальні вкладення;

$E_{\text{річна}} = 90$  тис. грн/рік – річний економічний ефект.

Тоді:  $T = 170 / 90 = 1,89$  року.

Основні показники економічної ефективності наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Основні показники економічної ефективності

Показник	Значення
Капітальні витрати	170 тис. грн
Річний економічний ефект	90 тис. грн
Термін окупності	1,89 року
Економія електроенергії	25 тис. грн/рік
Економія природного газу	45 тис. грн/рік

Отримані результати свідчать про економічну доцільність впровадження автоматизованої системи керування котловим устаткуванням [18, 19].

## Висновки до розділу 5

У розділі розглянуто питання охорони праці, екологічної безпеки та економічної ефективності впровадження автоматизованої системи керування котловим устаткуванням. Визначено основні небезпечні виробничі фактори та запропоновано комплекс заходів щодо забезпечення безпечної експлуатації котельної установки.

Показано, що використання автоматизованої системи керування та сучасного конденсаційного котла сприяє зменшенню споживання паливно-енергетичних ресурсів і скороченню негативного впливу на навколишнє середовище.

Економічний аналіз підтвердив доцільність впровадження запропонованого рішення. Річний економічний ефект становить 90 тис. грн, а термін окупності проєкту – близько 1,9 року, що свідчить про ефективність та перспективність використання автоматизованих систем керування котловим устаткуванням.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розв'язано актуальне технічне завдання, що полягає в розробці та впровадженні автоматизованої системи керування котловим устаткуванням на базі водогрійного конденсаційного котла Bosch Uni Condens 8000 F. Встановлено, що застосування сучасних засобів автоматизації дозволяє підвищити енергоефективність, надійність і безпеку роботи котельної установки, зменшити витрати паливно-енергетичних ресурсів та забезпечити стабільне регулювання технологічних параметрів.

1. Проведено аналіз сучасних систем автоматизації котлового устаткування та визначено, що ефективна робота котельної установки потребує постійного контролю температури теплоносія, тиску, витрати, стану пального, насосного обладнання та аварійних режимів. Обґрунтовано доцільність використання програмованих логічних контролерів і SCADA-систем для керування такими об'єктами.

2. Охарактеризовано водогрійний конденсаційний котел Bosch Uni Condens 8000 F як об'єкт автоматизації. Встановлено, що даний котел є сучасним енергоефективним обладнанням, яке може працювати у змінних режимах теплового навантаження та потребує автоматичного регулювання основних технологічних параметрів.

3. Розроблено структуру автоматизованої системи керування котловим устаткуванням на базі PLC Siemens S7-1200. Обґрунтовано вибір датчиків температури, тиску, витрати, датчика полум'я, виконавчих механізмів, операторської панелі, частотного перетворювача та SCADA-системи для диспетчеризації роботи котельної установки.

4. Виконано технічні розрахунки основних елементів системи керування. Визначено необхідну витрату теплоносія 34,38 м<sup>3</sup>/год, прийнято циркуляційний насос продуктивністю 40 м<sup>3</sup>/год, обґрунтовано вибір електродвигуна потужністю 5,5 кВт і частотного перетворювача Siemens V20. Також виконано вибір кабельної мережі, апаратів захисту та шафи керування.

5. Доведено, що використання частотного регулювання циркуляційного насоса забезпечує суттєве зниження споживання електричної енергії. При зменшенні частоти обертання насоса до 80 % від номінальної споживана потужність знижується з 5,5 кВт до 2,82 кВт, що забезпечує економію потужності 2,68 кВт, або близько 48,7 %.

6. Розглянуто питання охорони праці, електробезпеки, пожежної та екологічної безпеки під час експлуатації автоматизованої котельної установки. Встановлено, що автоматичний контроль аварійних режимів, застосування захисного заземлення, блокувань, сигналізації та автоматичного перекриття подачі газу підвищують рівень безпеки роботи обладнання і персоналу.

7. Економічна оцінка підтвердила доцільність впровадження запропонованої автоматизованої системи керування. Загальні капітальні витрати становлять 170 тис. грн, річний економічний ефект – 90 тис. грн, а термін окупності проєкту – близько 1,9 року. Це свідчить про економічну ефективність запропонованого технічного рішення.

8. Запропонована автоматизована система керування котловим устаткуванням забезпечує підвищення точності регулювання технологічних параметрів, зменшення енергоспоживання, покращення умов експлуатації, підвищення надійності та безпеки роботи котельної установки. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування та модернізації автоматизованих котельних установок промислових, комунальних, адміністративних і агропромислових об'єктів.