

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Автоматизація парового котла ДКВР-6,5-13»

«Automation of the DKVR-6,5-13 steam boiler»

Виконав: студент 4 курсу, групи 4А
спеціальність 151 – «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»

Білий Я. Ю.

Керівник: к.т.н., доцент Сарафаннікова Н.В.

Рецензент Корніловська Н.В.
(прізвище та ініціали)

Хмельницький – 2026 рік

	<u>Херсонський національний технічний університет</u>
Факультет	<u>Інженерії та транспорту</u>
Кафедра	<u>Автоматизації, робототехніки і мехатроніки</u>
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u>
Спеціальність	<u>151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри автоматизації,
робототехніки і мехатроніки
Селіверстов І.А.
« 23 » Січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Білому Ярославу Юрійовичу

1. Тема проекту: Автоматизація парового котла ДКВР-6,5-13

керівник проекту: к.т.н., доцент Сарафаннікова Н.В.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 23.01.2026 р. № 98-с

2. Строк подання студентом проекту «12» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: Розробити автоматизовану систему
керування технологічним процесом роботи парового котла ДКВР-6,5-13
згідно технічного завдання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1) Аналіз об'єкта автоматизації.

2) Огляд існуючих рішень.

3) Розробка функціональної схеми автоматизації.

4) Вибір технічних засобів автоматизації.

5) Математичне моделювання та синтез регуляторів.

5. Перелік графічного матеріалу:

1. Технологічна схема котла ДКВР-6,5-13.

2. Структурна схема управління технологічним процесом.

3. Функціональна схема автоматизації.

4. Апаратна конфігурація контролера Modicon M340.

5. Структурні схеми контурів регулювання тиску пари та рівня води.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Сарафаннікова Н.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____ «09» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Підбір і огляд літератури	09.02.26. - 22.02.26.	
2	Аналіз об'єкта автоматизації	23.02.26. - 08.03.26.	
3	Огляд існуючих рішень	09.03.26. - 22.03.26.	
4	Розробка функціональної схеми автоматизації	23.03.26. - 05.04.26.	
5	Вибір технічних засобів автоматизації	06.04.26. - 19.04.26.	
6	Математичне моделювання системи	20.04.26. - 03.05.26.	
7	Оформлення ПЗ і графічного матеріалу	04.05.26. - 24.05.26.	

Студент _____ Білий Я. Ю.
(підпис)

Керівник проекту _____ Сарафаннікова Н.В.
(підпис)

[illegible]

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить: 59 сторінок, 28 рисунків, 10 таблиць.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці системи автоматизації парового котла ДКВР-6,5-13. У роботі детально розглянуто принципи побудови автоматизованої системи контролю та регулювання технологічних параметрів котельної установки. Основна увага приділяється вибору технічних засобів автоматизації, аналізу існуючих рішень та розробці функціональної схеми автоматизації парового котла.

Описано методи вимірювання технологічних параметрів, зокрема рівня води за допомогою диференційного манометра та датчиків, а також принципи побудови системи сигналізації та регулювання. Представлено взаємодію датчиків із програмованим логічним контролером, виконавчим механізмом типу МЕО та індикаторами, що забезпечують відображення параметрів і аварійних станів. Виконано математичне моделювання об'єктів керування та синтезовано регулятори тиску пари і рівня води, якість роботи яких було досліджено моделюванням у середовищі MATLAB Simulink.

У результаті розроблено систему автоматизації, яка забезпечує стабільну та безпечну роботу парового котла, а також автоматичне реагування на відхилення технологічних параметрів.

ДКВР, ПЛК, ДАТЧИКИ, СИГНАЛІЗАЦІЯ, РЕГУЛЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ,
АВТОМАТИЗАЦІЯ.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 РФ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The bachelor's qualification work contains: 59 pages, 28 figures, 10 tables.

The bachelor's qualification work is devoted to the development of an automation system for the DKVR-6,5-13 steam boiler. The work examines in detail the principles of constructing an automated system for monitoring and regulating the technological parameters of a boiler installation. The main focus is on the selection of technical means of automation, analysis of existing solutions, and development of a functional diagram for steam boiler automation.

Methods of measuring technological parameters, in particular water level using a differential pressure gauge and sensors, as well as the principles of building alarm and control systems are described. The interaction of sensors with a programmable logic controller, an MEO-type executive mechanism, and indicators that display parameters and emergency conditions is presented. Mathematical modeling of the control objects was performed, both steam pressure and water level controllers were synthesized, their performance was investigated through simulation in MATLAB Simulink.

As a result, an automation system has been developed that ensures stable and safe operation of the steam boiler, as well as automatic response to deviations in technological parameters.

DKVR, PLC, SENSORS, ALARM, CONTROL, MONITORING,
AUTOMATION.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 РФ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1 Найменування проекту

Повне найменування проекту – Автоматизована система керування технологічним процесом (АСКТП) роботи парового котла ДКВР-6,5-13.

2 Призначення та цілі створення системи

2.1 Призначення системи

– Автоматичне підтримання заданих технологічних параметрів роботи котла (тиск пари, рівень живильної води в барабані, витрата газу та повітря) шляхом керування виконавчими механізмами.

– Централізований контроль основних параметрів виробництва шляхом збору та відображення інформації з датчиків та перетворювачів нижнього рівня.

– Автоматична аварійна сигналізація при виході контрольованих параметрів за допустимі межі.

– Автоматичний аварійний захист (відсікання подачі палива та зупинка котла при виникненні небезпечних режимів роботи).

– Реєстрація та архівування основних виробничих параметрів з можливістю доступу до архівних даних.

– Відображення поточного стану технологічного процесу на панелі оператора.

Об'єктом керування є технологічні процеси парового котла ДКВР-6,5-13: горіння природного газу в топці, нагрів живильної води та генерація насиченої пари, яка подається до цехів м'ясопереробки та молокопереробки підприємства.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 РФ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

2.2 Мета створення системи

Метою створення АСКТП є:

- Зниження простою обладнання і підвищення надійності роботи котельні.
- Попередження аварійних ситуацій, пов'язаних з відмовою однієї з підсистем.
- Централізоване відображення ключових технологічних параметрів роботи котла для аналізу роботи системи в реальному часі та аналізу історії процесу.
- Зменшення впливу людського фактора на технологічні процеси котельні.
- Стабілізація режимних параметрів котла для забезпечення якості та безпеки виробництва пари.
- Облік витрат живильної води та палива;
- Покращення умов праці обслуговуючого персоналу котельні.
- Підвищення надійності роботи обладнання та їх захист в аварійних ситуаціях.

3. Вимоги до системи

АСКТП повинна бути структурованою і мати 3-рівневу структуру:

- Рівень пристроїв та датчиків (датчики, виконавчі механізми): датчики тиску, датчики температури, диференційний манометр, виконавчі механізми, перетворювачі частоти.
- Рівень контролерів: ПЛК, який виконує збір даних, реалізацію алгоритмів регулювання та логіку аварійного захисту.
- Рівень оператора: індикатори на щиті керування для відображення поточних значень параметрів та стану сигналізації.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 РФ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Система повинна бути функціонально розподіленою, тобто у разі відсутності зв'язку між рівнями ПЛК повинен продовжувати виконувати всі функції автоматичного регулювання та захисту незалежно.

Щит керування з індикаторами виступає як центральна точка відображення стану котла для чергового оператора котельні підприємства.

3.1 Вимоги до технічних засобів

Основні вимоги до технічних засобів АСКТП:

- Датчики та первинні перетворювачі нижнього рівня, у яких вихідний (вхідний) сигнал уніфікований струмовий 4–20 мА, який сумісний з логічним контролером (ПЛК).
- Виконавчі механізми електричні (МЕО), керовані від безконтактних пускачів (ПБР).
- Перетворювачі частоти для керування електродвигунами, димососами та повітрянагнітачами.
- Програмований логічний контролер (ПЛК), як центральний рівень обробки інформації, сумісний з обраними технічними засобами.
- Панель оператора для відображення параметрів у реальному часі.
- Ступінь захисту польових пристроїв не нижче IP54.
- Наявність протоколів зв'язку: Modbus RTU, Modbus TCP, Profibus DP, для інтеграції всіх рівнів системи.
- Живлення пристроїв (датчиків): 24 В від блоку живлення ПЛК.
- Стійкість до вібрації від обладнання котельні.
- Матеріал частин, що контактують з робочим середовищем повинен бути виготовлений з нержавіючої сталі, яка стійка до корозії та гідроударів.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 РФ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	13
ВСТУП	14
1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	16
1.1 Призначення та маркування котлів ДКВР.....	17
1.2 Особливості котлів типу ДКВР	18
1.3 Експлуатаційні параметри.....	19
1.4 Опис роботи котлоагрегату	20
2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	24
2.1 Класифікація котельних установок	24
2.2 Аналіз технічних рішень	25
3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	27
3.1 Визначення регульованих параметрів	27
3.2 Вибір технічних засобів автоматизації	29
3.2.1 Диференційний манометр	29
3.2.2 Індикатор технологічних показників	31
3.2.3 Перетворювач положення	32
3.2.4 Пускач безконтактний реверсивний	34
3.2.5 Виконавчі механізми	35
3.2.6 Датчики тиску.....	37
3.2.7 Датчики температури.....	38
3.2.8 Перетворювач частоти.....	41
3.2.9 Програмований логічний контролер.....	43
3.2.10 Обрані модулі	44
3.3 Опис функціональної схеми автоматизації	49
4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ	52
4.1 Побудова математичної моделі об'єкта керування	52
4.1.1 Модель тиску пари в барабані котла.....	52

4.1.2 Модель рівня води в барабані котла	52
4.2. Синтез регуляторів.....	53
4.2.1 Синтез ПІ-регулятора тиску пари.....	53
4.2.2 Синтез П-регулятора рівня води.....	54
4.3 Дослідження системи в середовищі MATLAB Simulink	54
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ДКВР – Двохбарабанный Котел Вертикально водотрубный Реконструированный;

ККД – Коефіцієнт корисної дії;

ГРП – Газорегуляторный пункт;

ПЛК – Программований логічний контролер;

МЕО – Виконавчий механізм електричний однообертовий;

ПД – Перетворювач диференційного тиску (диференційний манометр);

ІТП – Індикатор технологічних показників;

ППМ – Перетворювач положення механізму;

ПБР – Пускач безконтактний реверсивний.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні котельні установки є основними джерелами теплової енергії на промислових підприємствах, а їх ефективна та безпечна робота значною мірою залежить від рівня автоматизації технологічних процесів. Парові котли широко застосовуються для вироблення пари, яка використовується у технологічних цілях, системах опалення та енергопостачання.

Цей проект виконується з урахуванням застосування на підприємстві групи компаній “ТИТАН” (м. Кілія, Одеська область), де котел ДКВР-6,5-13 використовується для забезпечення технологічної пари в процесах м'ясопереробки та молокопереробки, з метою підвищення енергоефективності та безпеки виробництва.

На підприємстві групи компаній “Титан”, яке було засноване 1998 року на базі колишнього Кілійського м'ясокомбінату та маслозаводу, функціонує сучасний виробничий комплекс харчової промисловості. Компанія спеціалізується на переробці м'яса та молока і випускає широкий асортимент продукції під торговельними марками “Кілія”, “Lactrima” та іншими. Для забезпечення технологічною парою процесів термічної обробки сировини, стерилізації та опалення на підприємстві встановлено два парові котли ДКВР-6,5-13, вони обладнані індивідуальними димососами, повітронагнітачами та водяними економайзерами.

Для покращення параметрів енергозбереження на виробництві застосовуються парові котли ДКВР-6,5-13 (2 шт.). Ці котли з паропродуктивністю 6,5 т/год кожен при тиску 1,3 МПа та ККД до 90 – 92 % дозволяють оптимізувати витрати палива, зменшити теплові втрати порівняно зі старішими агрегатами та забезпечити стабільне виробництво пари під змінне навантаження.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Модернізація котельні з використанням таких котлів сприяє зниженню енергоспоживання (за рахунок кращої теплопередачі, автоматизованого регулювання та меншого утворення накипу), що критично для енергоємного харчового виробництва.

Особлива увага приділяється технологічним потребам виробництва, де пара є ключовим теплоносієм і безпосередньо бере участь у процесах. У харчовій промисловості, зокрема в м'ясопереробці, пара використовується не тільки для опалення, але й як основний компонент для термічної обробки сировини, забезпечення гігієни та підтримки якості продукції. Без стабільного постачання пари з оптимальними параметрами, процеси можуть порушуватися, що призводить до втрат якості, збільшення відходів або простоїв.

Наприклад, пара необхідна для точного контролю температурних режимів, щоб уникнути переопалення або недостатньої обробки, що впливає на мікробіологічну безпеку та термін придатності продуктів.

Автоматизація роботи котлів забезпечує постійний контроль технологічних параметрів (тиску, температури, рівня води), підвищує ефективність виробництва, зменшує вплив людського фактора та сприяє безпеці експлуатації.

Метою даної роботи є розробка та аналіз системи автоматизації котла ДКВР-6,5-13. У роботі будуть детально розглянуті технічні засоби автоматизації, принцип функціонування системи, а також буде розроблена функціональна схема автоматизації.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Призначення та маркування котлів ДКВР

Парові котли типу ДКВР призначені для вироблення насиченої або перегрітої пари, яка використовується для технологічних потреб промислових підприємств, систем опалення та гарячого водопостачання. Маркування котлів розшифровується наступним чином:

Д – Двохбарабанний

К – Котел

В – Вертикально-водотрубний

Р – Реконструйований

Перша цифра в маркуванні вказує номінальну паропроодуктивність у тоннах на годину, а друга – надлишковий тиск пари на виході.

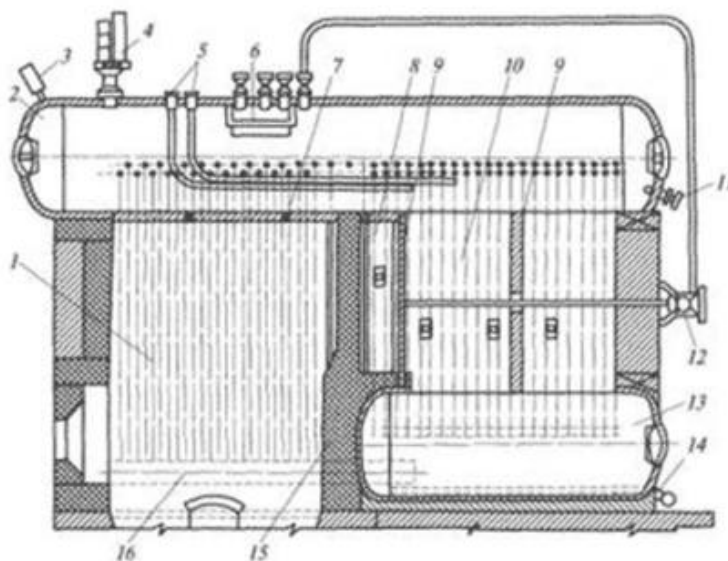


Рисунок 1.1 – Котел ДКВр-6,5-13

Рисунок 1.2 – Схематичне зображення котла

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

Опис схематичного зображення парового котла ДКВр-6,5-13:

1. Топкова камера;
2. Верхній барабан;
3. Манометр;
4. Запобіжний клапан;
5. Живильні трубопроводи;
6. Сепараційний пристрій;
7. Легкоплавка пробка;
8. Камера догорання;
9. Перегородка;
10. Кип'ятильний пучок труб;
11. Трубопровід безперервного продування;
12. Обдувний пристрій;
13. Нижній барабан;
14. Трубопровід періодичної продувки;
15. Цегляна стінка;
16. Колектор.

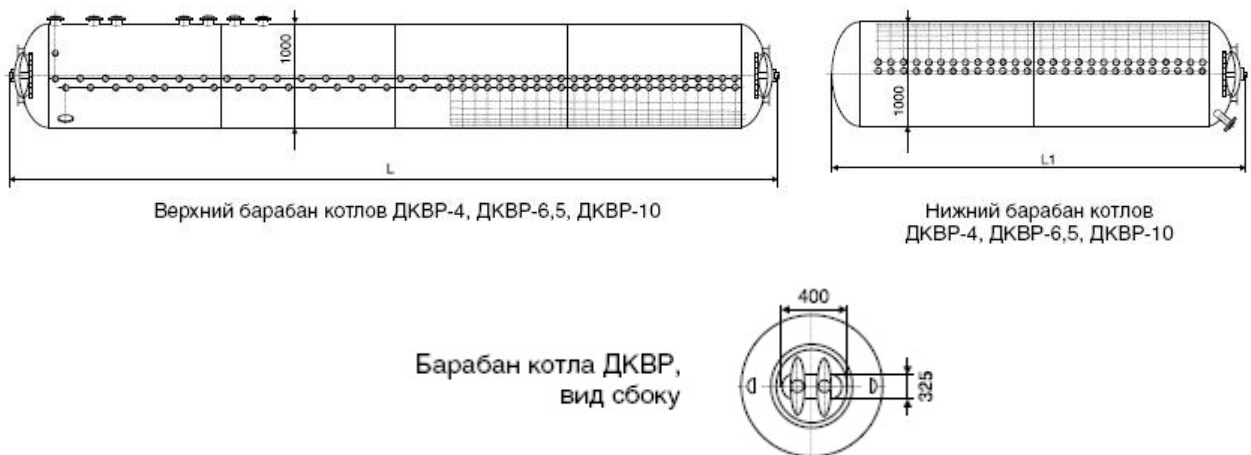


Рисунок 1.3 – Схематичне зображення барабанів котлів ДКВР

1.2 Особливості котлів типу ДКВР

Котли серії ДКВР належать до двохбарабанных котлів вертикально водотрубних реконструйованих, з природною циркуляцією води. Вони добре зарекомендували себе в умовах змінного навантаження завдяки деяким важливим особливостям.

Серед ключових особливостей варто зазначити:

- Широкий діапазон регулювання продуктивності, від 40 – 120 % номінального значення, це дозволяє використовувати котел з максимальною ефективністю й значно заощаджувати витрати на теплоенергопостачання.
- Можливість роботи як на природному газі, так і на мазуті з відносно простим переходом між видами палива.
- Розбірна (реконструйована) конструкція, яка дозволяє монтувати котел у діючих котельнях без значних будівельних робіт і швидко підключати його до існуючих трубопроводів.
- Надійна схема, завдяки якій коефіцієнт корисної дії (ККД) досягає 90 – 92 % при номінальному навантаженні.
- Можливість подальшого переведення котла у водогрійний режим після закінчення терміну експлуатації в паровому режимі.
- Відносно низькі експлуатаційні витрати та розрахунковий ресурс роботи близько 25 років.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

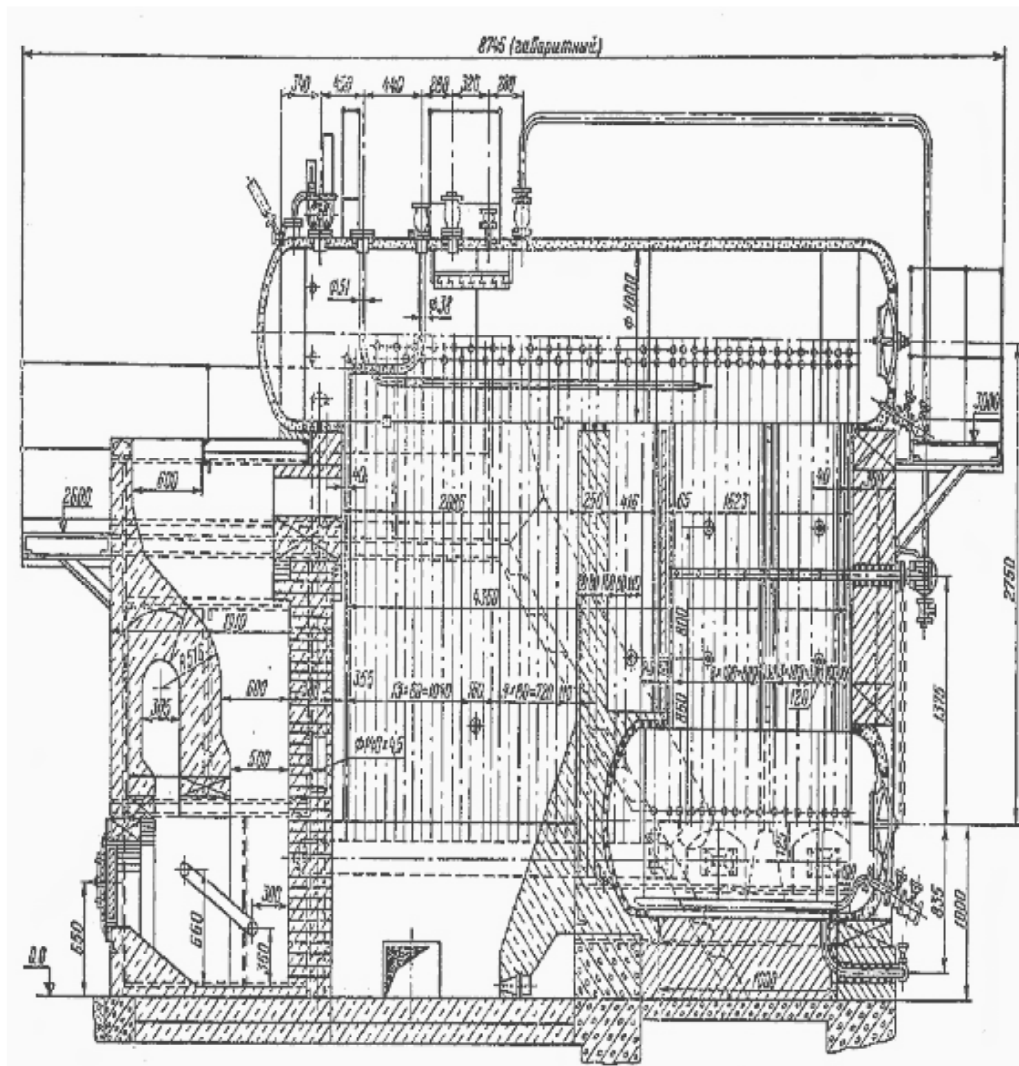


Рисунок 1.4 – Схема котла ДКВР-6,5-13 у розрізі

1.3 Експлуатаційні параметри

Котли типу ДКВР можуть надійно працювати при зниженому тиску порівняно з номінальним. Для котлів серії ДКВР-6,5-13 мінімальний допустимий абсолютний тиск становить близько 0,7 МПа (7 кгс/см²). При цьому коефіцієнт корисної дії практично не знижується.

Елементи котла розраховані на робочий тиск до 1,4 МПа. Безпека експлуатації забезпечується встановленими запобіжними клапанами та системами захисту. Температура насиченої пари при тиску 1,3 МПа становить приблизно 194 °С. [1, 13]

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ

Арк.

19

1.4 Опис роботи котлоагрегату

Принцип роботи котла ДКВР-6,5-13 базується на природній циркуляції води між верхнім і нижнім барабанами через кип'ятильні трубки. Природний газ після підготовки на ГРП подається до пальників, де змішується з повітрям і спалюється в топці, необхідне розрідження в топці створюється димососом.

Тепло від продуктів згоряння передається воді через екранні та кип'ятильні трубки. Утворена пара накопичується у верхньому барабані, проходить сепарацію і при необхідності перегрівається. Живильна вода попередньо проходить очищення, пом'якшення та деаерацію для запобігання корозії та утворення накипу.

Для підтримання оптимального горіння важливо забезпечувати правильне співвідношення газу та повітря (Приблизно 1:9 для природного газу, з певним коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha = 1,05 - 1,25$ залежно від режиму роботи). Регулювання подачі повітря здійснюється заслінкою повітрянагнітача або зміною частоти обертання двигуна [2, 3].

Основними контрольованими параметрами під час роботи котла є:

- Рівень води в барабані;
- Тиск пари;
- Температура пари та димових газів;
- Витрата живильної води та палива;
- Розрідження в топці.

Відхилення цих параметрів може призвести до аварійних ситуацій (перегрів труб, гідроудар, зниження ККД, вибух котла). Саме тому автоматизація контролю та регулювання саме цих величин є типовим завданням проектів з автоматизації таких котлів [3].

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

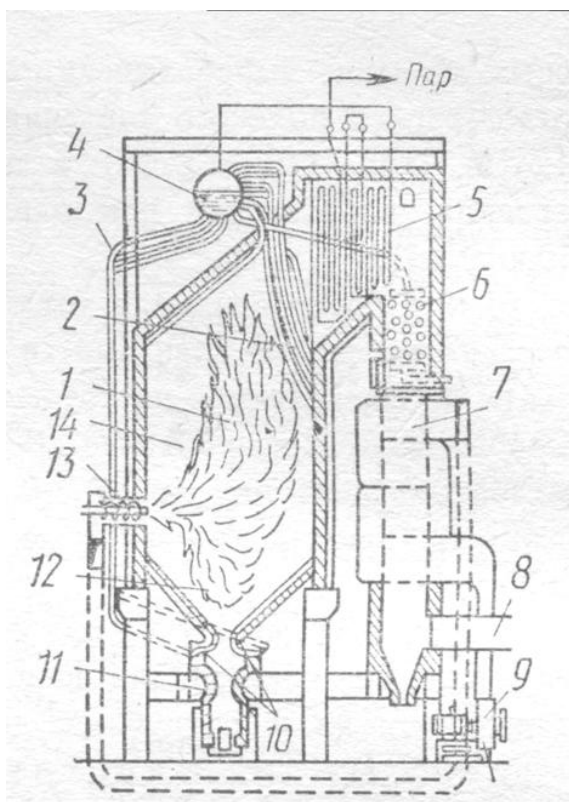


Рисунок 1.5 – Принципова схема котла ДКВР-6,5-13

Опис принципової схеми парового котла ДКВр-6,5-13:

1. Топка;
2. Фестон;
3. Опускні труби;
4. Барабан котла;
5. Пароперегрівач;
6. Економайзер;
7. Повітропідігрівач;
8. Вихід димових газів в трубу;
9. Димосос;
10. Колектори екранні;
11. Шлакова шахта;
12. Холодна воронка;
13. Пальник;
14. Екранні трубки;

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ

Арк.

21

У топці котла відбувається спалювання природного газу, який надходить після підготовки на ГРП. Основна задача ГРП – зниження тиску газу до робочого значення, його очищення та забезпечення аварійного відключення подачі палива при спрацюванні системи захисту.

Після ГРП газ подається через регулюючий клапан до пальників, де змішується з повітрям, що нагнітається вентилятором (повітронагнітачем). Для ефективного та економічного горіння необхідно підтримувати оптимальне співвідношення газу до повітря. Як вже було зазначено вище, для природного газу теоретичне співвідношення становить приблизно 1:9, проте на практиці подається деякий надлишок повітря (коефіцієнт надлишку повітря α зазвичай лежить у межі 1,05 – 1,25). Величина α залежить від конструкції пальника, режиму роботи котла та якості змішування.

Продукти згорання, рухаючись по газовому тракту, віддають тепло воді та парі через екранні трубки, кип'ятильний пучок, пароперегрівач та економайзер. Необхідне розрідження в топці та газоходах забезпечує димосос.

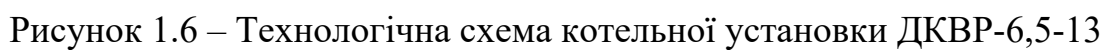
Живильна вода перед подачею в барабан проходить комплексну підготовку: механічне очищення, хімічне пом'якшення та деаерацію при температурі близько 105 °С. Підігрів води відбувається в економайзері за рахунок тепла відхідних димових газів. Цей процес дозволяє підвищити ККД установки та зменшити теплові втрати.

У верхньому барабані відбувається сепарація пари від води. При необхідності пара додатково перегрівається до температури близько 380 °С. Рівень води в барабані підтримується постійним за допомогою живильних насосів. Надлишок води видаляється через системи безперервного та періодичного продування.

Продукти згорання палива після остаточної віддачі тепла в економайзері видаляються в атмосферу через димохід [2].

Для більш наочного представлення технологічного процесу роботи котла, було розроблено технологічну схему, яка представлена на рисунку 1.6.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		



2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

2.1 Класифікація котельних установок

Котельні установки класифікують за кількома основними ознаками: призначенням, видом вироблюваного теплоносія та масштабами теплопостачання [2].

За характером споживачів котельні поділяються на:

Енергетичні – призначені для виробництва пари високих параметрів, яка використовується в парових турбінах на теплових електростанціях. Такі установки оснащуються потужними котлоагрегатами і працюють у базовому режимі з високими вимогами до надійності.

Виробничо-опалювальні – виробляють пару або гарячу воду як для технологічних потреб промислових підприємств, так і для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання. Саме до цього типу належить котельня групи компаній “Титан”, де пар від котлів ДКВР-6,5-13 використовується для термічної обробки м’ясної та молочної продукції.

Опалювальні – забезпечують теплом системи опалення та гарячого водопостачання житлових і громадських будівель. Вони можуть бути як паровими, так і водогрійними [4].

За видом теплоносія котельні установки бувають:

Парові – призначені для генерації пари (Пара може бути як насичена так і перегріта);

Водогрійні – виробляють гарячу воду для систем теплопостачання.

За масштабами теплопостачання опалювальні котельні поділяють на місцеві (індивідуальні), групові та районні. Місцеві котельні обслуговують одну або кілька будівель, групові – квартали чи мікрорайони, а районні – великі житлові масиви [2, 4].

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

2.2 Аналіз технічних рішень

Сучасні котельні установки характеризуються високим рівнем автоматизації, що дозволяє забезпечити стабільну, безпечну та економічну роботу парових і водогрійних котлів. Основна мета впровадження автоматизованих систем керування полягає у підтриманні оптимальних технологічних параметрів – тиску, рівня води, витрати палива та повітря, у заданих межах без постійного втручання оператора [5, 6].

На даний час для автоматизації котлоагрегатів застосовуються різні технічні рішення, серед яких можна виділити дві основні групи:

1. Локальні системи керування на базі аналогових приладів та регуляторів;
2. Мікропроцесорні системи на базі програмованих логічних контролерів.

Локальні системи керування, що будувались на аналогових елементах, забезпечували лише базові функції, та мали обмежену точність, низьку швидкодію та відсутність можливості централізованого моніторингу. Такі системи, як правило, використовувались у котельнях старого типу й потребували постійного нагляду оператора. Також вони були вразливими до впливу зовнішніх факторів (температура, вологість, електромагнітні перешкоди) [7].

Сучасні мікропроцесорні системи автоматизації, навпаки, дозволяють реалізувати повнофункціональне керування котельними установками. Найбільш поширеними рішеннями є системи на базі ПЛК, тому що ці пристрої підтримують цифрові інтерфейси обміну даними (Modbus, Profibus, Ethernet), мають модульну структуру і забезпечують надійний зв'язок із датчиками, регуляторами та виконавчими механізмами.

Наприклад, ПЛК дозволяють інтегрувати дублювання датчиків, автоматичне регулювання витрати палива та повітря, а також аварійну сигналізацію з блокуванням подачі газу при відхиленнях [7].

Переваги таких систем включають високу швидкодію, точність та можливість віддаленого доступу, що знижує вплив людського фактора. Також варто зазначити додаткові переваги систем на ПЛК, а саме: суттєве зниження питомих витрат палива, зменшення викидів шкідливих речовин [4].

Для котлів ДКВР-6,5-13 мікропроцесорні системи особливо ефективні, оскільки вони дозволяють адаптувати регулювання різних видів палива (газ/мазут) та різних режимів роботи (від 40% до 120% номінальної продуктивності), забезпечуючи стабільність параметрів і підвищення ККД.

Перехід від аналогових до цифрових систем, як показує практика, скорочує час реакції на відхилення з хвилин до секунд, що критично для запобігання вибухів чи перегрівів. Крім того, сучасні системи забезпечують повне архівування всіх технологічних параметрів, що дозволяє проводити аналіз аварійних ситуацій та оптимізувати процеси теплопостачання [2].

Автоматизація на базі ПЛК також дозволяє значно скоротити кількість персоналу, необхідного для обслуговування котельні, та мінімізувати ризики помилок через людський фактор. Крім того, такі системи легко масштабуються і можуть бути поступово розширені при модернізації обладнання або збільшенні потужності котельної. Використання сучасних протоколів зв'язку забезпечує сумісність із обладнанням різних виробників, що спрощує подальше технічне обслуговування та оновлення таких систем [4].

Таким чином, аналіз існуючих технічних рішень показав, що найбільш ефективним напрямком розвитку є впровадження автоматизованих систем керування на базі ПЛК, які забезпечують інтеграцію вимірювальних, регулювальних і сигналізаційних засобів у єдину систему.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.

3.1 Визначення регульованих параметрів

Оскільки процес роботи парового котла ДКВР-6,5-13 має визначений алгоритм функціонування, для його автоматизації необхідно виділити параметри, за якими здійснюється керування, та способи їх регулювання.

Автоматика захисту повинна спрацьовувати в таких випадках:

- Низький або високий тиск газу;
- Низький рівень води в барабані;
- Високий тиск пари;
- Низьке розрідження в топці котла;
- Відрив полум'я.

Можна також виділити контури автоматичного регулювання, задача яких підтримання необхідних значень технологічних параметрів:

- Рівень води в барабані;
- Розрідження в топці;
- Значення тиску газу, пари;
- Витрати живильної води.

Головний керуючий елемент для даної системи це ПЛК Modicon M340, який забезпечує збір даних від усіх датчиків та відповідає за формування команд на виконавчі механізми в режимі реального часу.

Взаємозв'язок між параметрами, датчиками, виконавчими механізмами та самим контролером у системі автоматизації котла наведено на рисунку 3.1.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		27

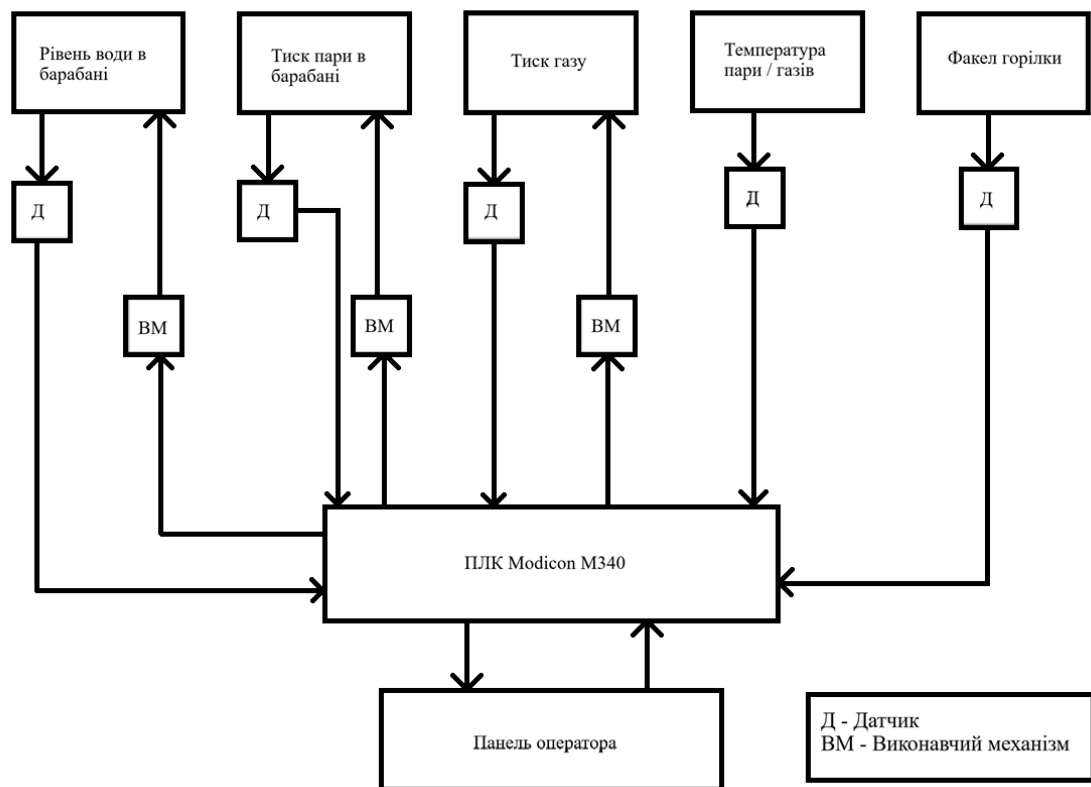


Рисунок 3.1 – Структурна схема управління технологічним процесом

Основним параметром контролю у даній системі є рівень води в барабані котла, оскільки його відхилення від заданих значень може призвести до порушення стабільної роботи котла або аварійних ситуацій.

Основним засобом для вимірювання рівня води є диференціальний манометр ПД310. При необхідності додатковою системою можуть бути датчики рівня, які сигналізують про критичні перевищення або зниження рівня води в барабані.

Таким чином, автоматизована система забезпечує стабільну та безпечну роботу парового котла, своєчасне реагування на зміни рівня та запобігання аварійним ситуаціям [2, 5].

3.2 Вибір технічних засобів автоматизації

При виборі технічних засобів автоматизації враховувалися умови експлуатації котла ДКВР-6,5-13 (високий тиск пари, температура насиченої пари, наявність вібрації, пилу та можливих перепадів температури в котельні).

Основними вимогами були: надійність, сумісність з уніфікованим сигналом 4 – 20 мА, можливість підключення до ПЛК Modicon M340, стійкість до промислових умов.

3.2.1 Диференційний манометр

Для безперервного контролю рівня води в барабані котла обрано перетворювач диференційного тиску ПД310 виробництва “AQteck”. Цей прилад вимірює перепад тиску, що створюється стовпом води в рівнемірній колонці, і перетворює його в стандартний струмовий сигнал 4 – 20 мА. Використання диференційного манометра обумовлено високою точністю та надійністю в умовах підвищеного тиску і температури. Прилад стійкий до гідроударів і дозволяє дублювати вимірювання рівня рідини [2, 14].



Рисунок 3.2 – Диференційний манометр ПД310

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		29

Принцип роботи приладу базується на вимірюванні різниці тисків між нижньою і верхньою точками рівнемірної колонки. Манометр перетворює цей перепад у пропорційний струмовий сигнал 4 – 20 мА, який надходить як на ПЛК, так і на вторинний індикатор.

У порівнянні з іншими типами рівнемірів, наприклад радарними чи ультразвуковими, диференційний манометр виявився найбільш надійним рішенням для умов високого тиску і температури в барабані котла [14].

Основні характеристики ПДЗ10 наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики ПДЗ10

Название	Значение	
	ПДЗ10-Д	ПДЗ10-Н
Выходной сигнал	4...20 мА + HART	
Пределы основной погрешности измерения	±0,075 %	±0,1 %
Напряжение питания	16,5...55 В (номинальное напряжение =24В)	
Сопrotивление нагрузки	Не менее 250 Ом	
Перенастройка диапазонов измерения	100:1	
Штуцер для подключения давления	Фланец, міжосьова відстань – 54 мм	M20×1,5
Степень защиты корпуса	IP65	
Среднее время наработки, не менее	50 000 ч	
Средний термин службы, не менее	5 лет	
Вес без упаковки / в упаковке	3,5 кг / 4,5 кг	1,5 кг / 2,5 кг
Диапазон рабочих температур окружающего воздуха	-20 (-40°)...70 (80°) °C	
Диапазон температур измерительной среды	-40...120 °C	
Максимальное статическое давление:	• Предел перегрузки на стороне высокого давления H: 25 МПа • Предел перегрузки на стороне низкого давления L: 16 МПа	• для Н0,04: 1,0 МПа • для Н0,25: 4,0 МПа • для Н1,0: 6,0 МПа • для Н3,0: 15,0 МПа • для Н10,0: 20,0 МПа • для Н40,0: 80,0 МПа

* Температура работы без показаний жидкокристаллической индикации

3.2.2 Індикатор технологічних показників

Для візуального відображення рівня води безпосередньо на щиті управління застосовується індикатор технологічних параметрів ІТП-11 від компанії “AQteck”. Прилад живиться безпосередньо від струмової петлі 4 – 20 мА, тому він не потребує окремого джерела живлення і відображає значення рівня у відсотках або в абсолютних одиницях.

Індикатор забезпечує оперативний контроль без необхідності оператору звертатися до екрану. Він також підтримує функції масштабування та сигналізації при виході за межі діапазону [14].



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд ІТП-11

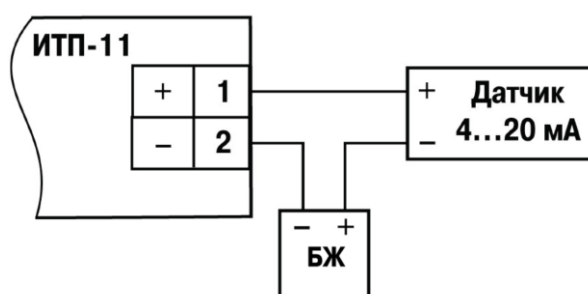


Рисунок 3.4 – Схема підмикання ІТП-11

3.2.3 Перетворювач положення

Виконавчі механізми МЕО працюють у режимі позиційного регулювання, тому для точного контролю фактичного положення їхнього вихідного валу необхідний надійний перетворювач сигналу. Було обрано перетворювач положення ППМ-1 виробництва “МІКРОЛ”, який працює з реостатним датчиком, встановленим на механізмі [15].

Прилад перетворює зміну опору в уніфікований вихідний сигнал (4 – 20 мА або 0 – 10 В) і передає інформацію про поточне положення заслінки або клапана до ПЛК. Це дозволяє реалізувати зворотний зв'язок у контурі регулювання і своєчасно виявляти будь які несправності виконавчого механізму [3, 4].

ППМ-1 вирізняється простотою конструкції, високою стійкістю до промислових завад і можливістю роботи в умовах підвищеної температури та запиленості котельні. Його застосування значно підвищує надійність системи в цілому, як і регулювання витрати газу, повітря та живильної води [15].

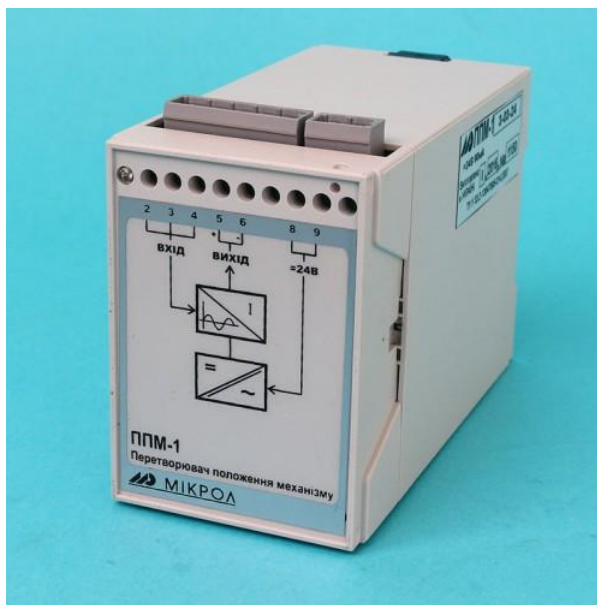


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд ППМ-1

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

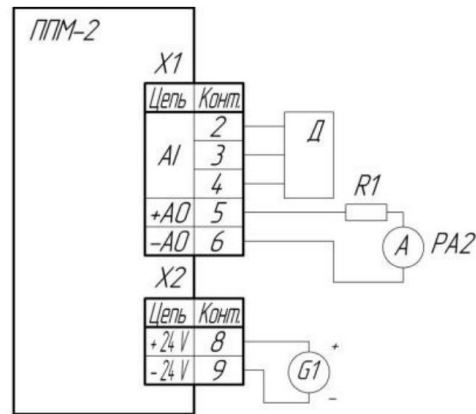


Рисунок 3.6 – Схема підмикання ППМ-1

Технічні характеристики ППМ-1:

- Кількість незалежних каналів: 1
- Схема підключення давача: трипровідна
- Тип давача, що підключається: резистивний
- Діапазон зміни вихідного сигналу: 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-10 В
- Напруга живлення:

Змінна напруга: 220 (+22, -33) В

Постійна напруга: 24 (+4, -4) В

- Струм споживання:

При живленні 220 В змінної напруги: 3 ВА

При живленні 24 В постійної напруги: 90 мА

- Максимальний опір резистивного давача: 1 кОм
- Максимальна похибка перетворення: 2,5 %

Застосування ППМ-1 дозволяє значно підвищити якість і надійність систем дистанційного контролю положення виконавчих механізмів. Технічні характеристики пристрою роблять його універсальним рішенням для промислових завдань, де потрібна стабільна робота в складних умовах експлуатації.

3.2.4 Пускач безконтактний реверсивний

Для керування електроприводами виконавчих механізмів МЕО в системі автоматизації котла ДКВР-6,5-13 застосовано безконтактний реверсивний пускач ПБР-21 від компанії “МІКРОЛ”. Цей пристрій призначений для управління однофазними асинхронними двигунами потужністю до 2,2 кВт і забезпечує реверсування напрямку обертання валу виконавчого механізму [15].

На відміну від традиційних контактних пускачів, ПБР-21 працює на основі напівпровідникових елементів (тиристорів або транзисторів), що повністю виключає наявність механічних контактів [7, 15].

Така конструкція має ряд важливих переваг у промислових умовах:

- Значно вища надійність і довговічність завдяки відсутності механічного зносу контактів;
- Повна відсутність електричної дуги при комутації, що підвищує пожежну безпеку в приміщенні з можливим витоком газу;
- Висока стійкість до вібрації, пилу, підвищеної вологості та перепадів температури, характерних для котельних установок харчових підприємств;
- Миттєва реакція на команди керування від ПЛК і можливість частого перемикання без ризику перегріву;
- Зменшення витрат на технічне обслуговування і ремонт порівняно з контактними аналогами.

Принцип роботи пристрою такий: ПБР-21 отримує дискретні команди “Відкрити” та “Закрити” від модуля дискретних виходів ПЛК. Це дозволяє реалізовувати позиційне регулювання положення регулюючих органів (клапанів газу, повітря та живильної води) з необхідною точністю [2, 15].



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд ПБР-21

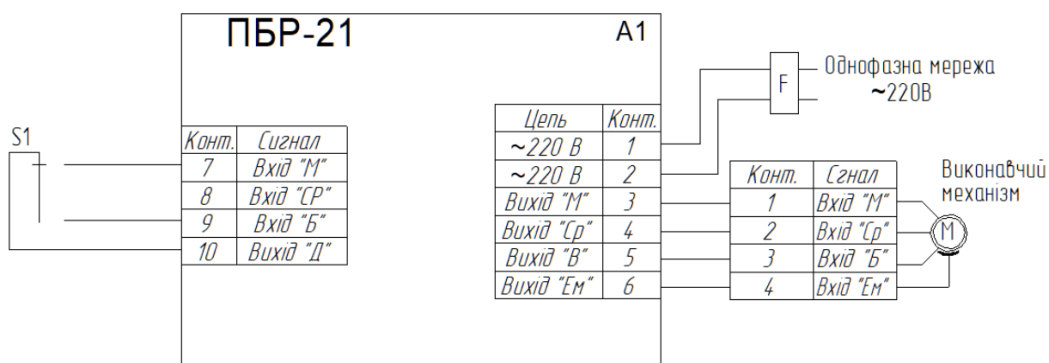


Рисунок 3.8 – Схема підмикання ПБР-21

3.2.5 Виконавчі механізми

Для безпосереднього регулювання витрати природного газу, повітря горіння та живильної води в котлі ДКВР-6,5-13 застосовуються електричні однообертові виконавчі механізми. Було обрано модель МЕО 250/63-0,25-99 з вбудованим реостатним позиціонером.

Механізм розвиває номінальний крутний момент 250 Нм, а час повного ходу вихідного валу становить 63 секунди при куті повороту 90° (0,25 обороту). Потужність електродвигуна не перевищує 250 Вт. Корпус має ступінь захисту IP54, що забезпечує надійну роботу в умовах котельні з підвищеною вологістю, запиленістю та вібрацією [16].

Основні переваги МЕО 250/63-0,25-99:

- Достатній запас крутного моменту для надійного переміщення промислових регулюючих клапанів і заслінок середнього діаметру;
- Плавність ходу, яка дозволяє уникнути різких коливань тиску та рівня води під час регулювання;
- Вбудований реостатний датчик положення, що в поєднанні з перетворювачем ППМ-1 дає можливість постійного контролю фактичного положення валу;
- Можливість реверсивного керування через безконтактний пускач;
- Простота інтеграції з системою на базі ПЛК.

Використання електричних виконавчих механізмів замість пневматичних суттєво спрощує монтаж і обслуговування обладнання. Таке рішення дозволяє точно підтримувати положення регулюючих органів і забезпечувати стабільну роботу котла при змінних навантаженнях [6, 7].



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд МЕО 250/63-0,25-99

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		36

3.2.6 Датчики тиску

Для вимірювання тиску пари в барабані котла, тиску природного газу перед пальниками та розрідження в топці використовуються перетворювачі тиску серії ПД100-ДІ виробництва компанії “AQteck”.

Ці прилади перетворюють надлишковий тиск у стандартний уніфікований сигнал 4 – 20 мА. Сенсорна мембрана виготовлена з нержавіючої сталі AISI 316L, завдяки чому датчики добре витримують корозійну дію середовищ і короткочасні гідроудари, які можливі під час роботи котла [14].

Головні переваги даної серії для котла ДКВР-6,5-13:

- Висока точність вимірювання (основна похибка не більше $\pm 0,25$ %);
- Вбудована температурна компенсація;
- Стійкість до перевантажень тиском;
- Простота монтажу та підключення до аналогових входів контролера.

Датчики тиску забезпечують постійний моніторинг ключових параметрів і беруть участь в алгоритмах аварійного захисту. При перевищенні допустимого тиску пари або критичному падінні тиску газу вони дозволяють швидко сформувати сигнал на відключення подачі палива, що суттєво підвищує безпеку експлуатації котельної установки [4, 7].



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд перетворювача тиску ПД100

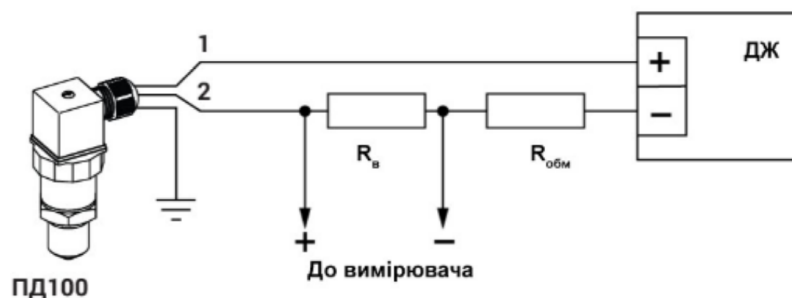


Рисунок 3.11 – Схема підмикання ПД100

3.2.7 Датчики температури

Контроль температури перегрітої пари, живильної води після економайзера та димових газів на виході з котла здійснюється за допомогою термопарних перетворювачів серії ДТПХхх5М-І виробництва “AQteck”.

Особливістю цих датчиків є поєднання термопари з вбудованим нормуючим перетворювачем в одному корпусі. На виході відразу формується уніфікований струмовий сигнал 4 – 20 мА, що спрощує монтаж і підвищує завадостійкість каналу вимірювання [3, 14].

Основні переваги застосування цих перетворювачів:

- Інтеграція термопари і нормуючого перетворювача в єдиному корпусі значно спрощує монтаж і зменшує кількість з'єднань, що підвищує загальну надійність вимірювального каналу;
- Струмовий вихід 4 – 20 мА забезпечує високу завадостійкість лінії зв'язку навіть у умовах сильних електромагнітних перешкод, характерних для котельні;
- Широкий діапазон вимірюваних температур (до 380 °С і вище) повністю перекриває всі необхідні точки контролю котла;
- Висока швидкість реакції дозволяє швидко виявляти зміни теплового режиму і вчасно коригувати процес горіння;

- Відсутність потреби в додаткових проміжних пристроях знижує ймовірність помилок підключення та спрощує подальше технічне обслуговування;

- Можливість використання різних типів термопар (L, J, N, K) дає гнучкість при підборі під конкретні температурні діапазони.



Рисунок 3.12 – Зовнішній вигляд ДТПХxx5М-І

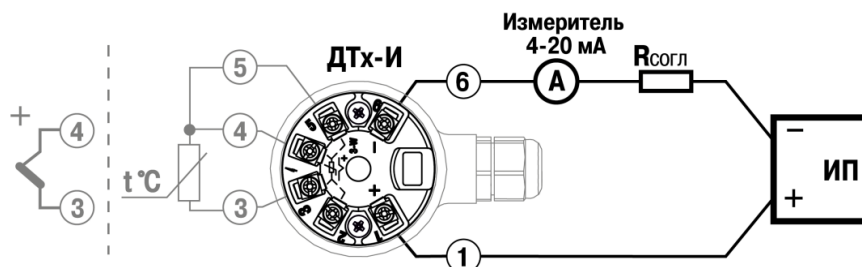


Рисунок 3.13 – Схема підмикання ДТПХxx5М-І

Для котлів типу ДКВР-6,5-13 зазвичай використовуються термопари типів К (Хромель–Алюмель) та L (Хромель–Копель). Отримані дані дозволяють відстежувати тепловий баланс агрегату, коригувати процес горіння та запобігати перегріву елементів поверхні нагрівання [2, 4].

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики ДТПХхх5М-І

Наименование	Значение
Номинальное значение напряжения питания (постоянного тока)	24 В
Диапазон допустимых напряжений питания (постоянного тока)	12...36 В
Максимальная мощность, потребляемая преобразователем	0,8 Вт
Диапазон выходного тока преобразователя	4...200 мА
Вид зависимости «ток от температуры»	линейная
Нелинейность преобразования, не хуже	±0,2%
Разрядность цифро-аналогового преобразователя, не менее	12 бит
Сопротивление каждого провода, соединяющего преобразователь с термометром сопротивления, Ом, не более	30
Сопротивление линии связи с термоэлектрическим преобразователем, Ом, не более	100
Номинальное значение сопротивления нагрузки (при напряжении питания 24 В)	500 Ом ±5%
Максимальное допустимое сопротивление нагрузки (при напряжении питания 36 В) *	1250 Ом
Пульсации выходного сигнала	0,6%
Время установления рабочего режима для преобразователя (предварительный прогрев) после включения напряжения питания, не более	30 мин
Показатель тепловой инерции, не более	20...40 с

Таблиця 3.3 – Типи термопар, які використовуються в ДТПХхх5М-І:

Тип ЧЭ	Диапазон преобразования	Минимальный диапазон преобразования *	Тип ЧЭ	Диапазон преобразования	Минимальный диапазон преобразования *
ДТП-И			ДТС-И		
ТХК (L)	–200...+800 °C	50 °C	50М	–180...+200 °C	50 °C
ТЖК (J)	–200...+1200 °C	50 °C	100М	–180...+200 °C	50 °C
ТНН (N)	–200...+1300 °C	50 °C	100П	–200...+750 °C	100 °C
ТХА (K)	–200...+1200 °C	50 °C	Pt100	–200...+750 °C	100 °C

ТХК (L) – Хромель–Копель;

ТХА (K) – Хромель–Алюмель;

ТНН (N) – Нікросил–Нісил;

ТЖК (J) – Залізо–Константан.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		40

3.2.8 Перетворювач частоти

Перетворювачі частоти широко використовуються в промисловості для керування електроприводами. Вони дозволяють точно регулювати швидкість асинхронних і синхронних двигунів, підтримувати високий момент на валу та забезпечувати необхідні режими роботи механізмів. Завдяки цьому вдається оптимізувати технологічні процеси, підвищити продуктивність і загальну енергоефективність обладнання [3, 4].

За рахунок подвійного перетворення електроенергії частотні перетворювачі суттєво знижують пускові струми, доводячи їх практично до рівня номінального робочого струму двигуна. Крім того, вони дозволяють зменшити загальне енергоспоживання установки. Це дає можливість запускати та стабільно працювати обладнанню навіть від джерел з обмеженою потужністю, наприклад, від резервного генератора. Вбудовані функції захисту двигуна та самого перетворювача підвищують надійність роботи і зменшують кількість аварійних зупинок [5, 6].

У системі автоматизації котла ДКВР-6,5-13 застосовується частотний перетворювач Altivar Machine ATV320 компанії Schneider Electric. Ця серія призначена для керування асинхронними та синхронними двигунами потужністю від 0,18 до 22 кВт.

Перетворювачі Altivar Machine ATV320 поєднують у собі високий рівень безпеки, надійність та простоту експлуатації. Вони оснащені великою кількістю готових функцій, які дозволяють створювати ефективні системи керування приводом. Прилади випускаються в компактному та книжковому виконанні, що значно спрощує монтаж і економить місце в шафах управління.

Серія ATV320 забезпечує стабільне та точне керування двигунами, відрізняється сучасними технічними характеристиками та зручним введенням в експлуатацію. Перетворювачі мають понад 150 вбудованих функцій і підтримують інтеграцію в різні системні архітектури, зокрема через протоколи Ethernet, CANopen, Profibus та інші [17].



Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд Altivar Machine ATV320

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики Altivar Machine ATV320

Перетворювачі ATV320 компакт з 1ф напругою живлення 200...240 В 50/60 Гц								
Двигун	Потужність в кВт	0.18	0.37	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2
	Потужність в к.с.	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3
Altivar 320	Макс. тривалий вихідний струм (1)	1.5	3.3	3.7	4.8	6.9	8	11
Габарити: Ш x В x Г (мм) (4)		72 x 143 x 109	72 x 143 x 128	72 x 143 x 138			105 x 142 x 158	
Артикул		ATV320 U02M2C	ATV320 U04M2C	ATV320 U06M2C	ATV320 U07M2C	ATV320 U11M2C	ATV320 U15M2C	ATV320 U22M2C
Перетворювачі ATV320 з високим ступенем захисту IP та 1ф напругою живлення: 200...240 В 50/60 Гц								
Двигун	Потужність в кВт	0.18	0.37	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2
	Потужність в к.с.	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3
Altivar 320	Макс. тривалий вихідний струм (1)	1.5	3.3	3.7	4.8	6.9	8	11
Габарити: Ш x В x Г (мм) (4)		250 x 340 x 182				250 x 340 x 235		
Артикул		ATV320 U02M2W(S)	ATV320 U04M2W(S)	ATV320 U06M2W(S)	ATV320 U07M2W(S)	ATV320 U11M2W(S)	ATV320 U15M2W(S)	ATV320 U22M2W(S)
Перетворювачі ATV320 "кнажка" з 1ф напругою живлення 200...240 В 50/60 Гц								
Двигун	Потужність в кВт	0.18	0.37	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2
	Потужність в к.с.	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3
Altivar 320	Макс. тривалий вихідний струм (1)	1.5	3.3	3.7	4.8	6.9	8	11
Габарити: Ш x В x Г (мм) (4)		45 x 325 x 245				60 x 325 x 245		
Артикул		ATV320 U02M2B	ATV320 U04M2B	ATV320 U06M2B	ATV320 U07M2B	ATV320 U11M2B	ATV320 U15M2B	ATV320 U22M2B

3.2.9 Програмований логічний контролер

Для реалізації системи автоматизації парового котла ДКВР-6,5-13 обрано програмований логічний контролер Modicon M340 від компанії “Schneider Electric”.

Цей контролер має ряд важливих переваг, які роблять його придатним для управління паровими котлами. Найголовніша з них, це поєднання високої продуктивності та надійності. Завдяки швидкій обробці даних і можливості одночасно працювати з великою кількістю вхідних і вихідних сигналів, контролер ефективно керує основними процесами – моніторингом температури, тиску, рівня води та подачею палива. Це забезпечує стабільну і безперебійну роботу котла навіть у складних умовах експлуатації [7, 17].

Крім того, Modicon M340 має широкі функціональні можливості для побудови сучасних систем автоматизації. Він підтримує популярні промислові протоколи зв'язку, такі як EtherNet/IP, Profibus та Modbus. Це дозволяє легко інтегрувати контролер у загальну систему управління підприємством [2].

Також слід зазначити, що Modicon M340 забезпечує збереження основних технологічних параметрів у внутрішній пам'яті контролера. Архівування даних дозволяє проводити подальший аналіз роботи котла, контролювати аварійні ситуації та відстежувати зміни параметрів у процесі експлуатації.



Рисунок 3.15 – Зовнішній вигляд ПЛК Modicon M340

Процесорні модулі (CPU) серії M340 відрізняються між собою швидкістю обробки інструкцій, кількістю підтримуваних входів і виходів, обсягом оперативної пам'яті та набором вбудованих комунікаційних інтерфейсів [17].

Таблиця 3.5 – Загальні характеристики процесорних модулів

Характеристика		BMX P34 1000	BMX P34 2000	BMX P34 2010	BMX P34 2020	BMX P34 2030
Максимальна кількість	шасі	2	4			
	дискретних входів+виходів	512	1024			
	аналогових входів+виходів	128	256			
	лічильних каналів	20	36			
Обсяг RAM	загальний розмір	2048 Кб	4096 Кб			
	для програм, констант,	1792 Кб	3584			
	для даних	128 Кб	256 Кб			
Максимальна кількість об'єктів	внутрішні біти %Mi	16250	32464			
	внутрішні слова %MWi	32464				
	нелокалізовані внутрішні дані	128 Кб	256 Кб			
Вбудовані комунікації	Послідовний RS-485/RS232C	+	+	+	+	-
	Ethernet TCP/IP	-	-	-	+	+
	CANOpen	-	-	+	-	+

Вибір процесорного модуля здійснюється за такими критеріями: загальна кількість аналогових і дискретних каналів, тип комунікацій та обсяг доступної пам'яті.

Необхідна кількість сигналів становить:

- Кількість аналогових входів + виходів: $8 + 4 = 12$.
- Кількість дискретних входів + виходів: $16 + 16 = 32$.

Оскільки більшість процесорних модулів задовольняють вимогам за кількістю каналів, остаточний вибір було зроблено з урахуванням обсягу пам'яті та наявних комунікаційних можливостей. В результаті було обрано процесорний модуль BMX P34 2000.

3.2.10 Обрані модулі

Необхідно розрахувати кількість аналогових (AI, AO) та дискретних (DI, DO) входів та виходів, потрібних для реалізації всіх контурів керування та захисту котла. На основі отриманих даних підбираються відповідні модулі

ПЛК, які забезпечують прийом сигналів, їх обробку та формування керуючих команд [2, 7].

Таблиця 3.6 – Перелік вхідних та вихідних сигналів системи автоматизації

Тип сигналу	Кількість сигналів	Призначення / Параметри
AI	8	Контроль технологічних параметрів (рівень води, тиск пари, тиск газу, розрідження), контроль температури (пари, газів, води), витрата живильної води.
AO	4	Керування частотним перетворювачем, керування виконавчими механізмами МЕО (подача газу, живильної води, повітря).
DI	12	Аварійні сигнали (низький або високий тиск газу, низький рівень води, високий тиск пари, низьке розрідження), кнопки управління (пуск, стоп, скидання), сигнали стану приводів (ПБР-21 для МЕО, частотний перетворювач).
DO	12	Управління пускачами ПБР-21 (команди відкрити та закрити для МЕО), сигналізація та індикація (лампа нормального стану, лампа аварійного стану, звукова сирена), виконавчі команди (реле блокування подачі газу, пуск димососа, пуск повітрянагнітача).

Аналогові входи (AI): У системі використовуються датчики та перетворювачі, які формують уніфікований струмовий сигнал 4 – 20 мА. Цей сигнал надходить на модуль аналогового вводу BMX AMI 0810. Вбудований аналого-цифровий перетворювач модуля переводить аналогову величину в цифрову, після чого дані використовуються контролером для подальшої обробки та прийняття рішень.

Аналогові виходи (AO): Для керування частотними перетворювачами застосовуються уніфіковані аналогові сигнали 4 – 20 мА, які формує модуль BMX AMO 0410. Частотний перетворювач отримує цей сигнал і перетворює його на сигнал змінної частоти, що дозволяє регулювати швидкістю обертання електродвигунів повітрянагнітача та димососа.

Дискретні входи (DI): Дискретні входи призначені для контролю стану захисних пристроїв, кнопок управління та сигналів від виконавчих механізмів. Сигнали надходять на модуль BMX DDI 1602. Залежно від їхнього стану контролер приймає рішення щодо роботи котла та формує необхідні команди.

Дискретні виходи (DO): Сигнали з модуля дискретних виходів BMX DDO 1602 подаються на безконтактні реверсивні пускачі ПБР-21. Пускачі, у свою чергу, керують двигунами виконавчих механізмів МЕО, які регулюють положення клапанів і заслінок. Модуль формує команди, що визначають напрямок і режим роботи двигунів МЕО.

Таблиця 3.7 – Обрані модулі вводу/виводу

Компонент	Модуль	Кількість	Характеристики
Аналоговий ввід	BMX AMI 0810	1	8 Каналів 4-20 мА.
Аналоговий вивід	BMX AMO 0410	1	4 Канали 4-20 мА.
Дискретний ввід	BMX DDI 1602	1	16 Каналів 24 VDC.
Дискретний вивід	BMX DDO 1602	1	16 Каналів 24 VDC.

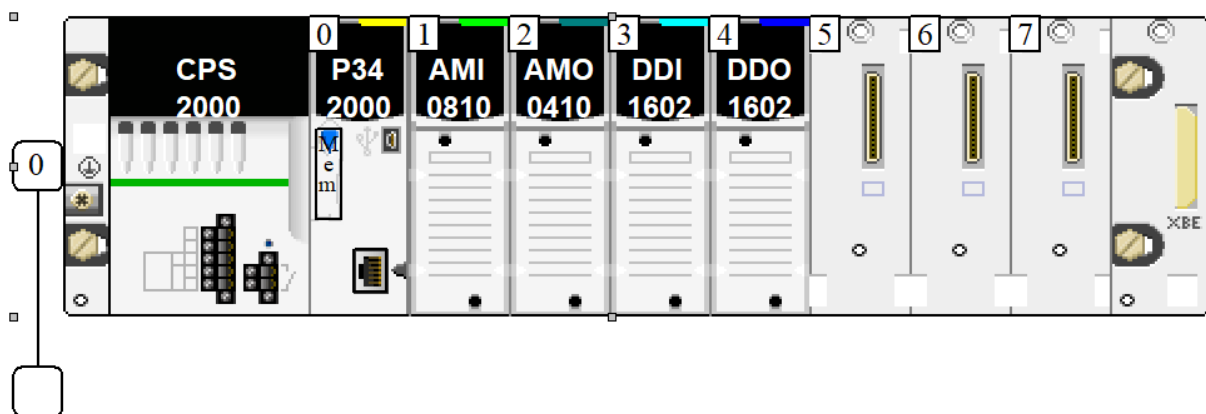


Рисунок 3.16 – Апаратна конфігурація контролера Modicon M340

Таблиця 3.8 – Обрані аксесуари для модулів вводу/виводу

Модуль вводу/виводу	Аксесуари			
Найменування	Кільк.	Найменування	Кільк.	Примітка
BMX AMI 0810	1	BMX FTB 2820	1	28 контактна знімна клемна колодка
BMX AMO 0410	1	BMX FTB 2010	1	20 контактна знімна колодка з гвинтовими затискачами
BMX DDI 1602	1	BMX FTB 2010	1	20 контактна знімна колодка з гвинтовими зажимами
BMX DDO 1602	1	BMX FTB 2010	1	20 контактна знімна колодка з гвинтовими зажимами

Наступним кроком є вибір монтажного шасі для модулів. Загальна кількість модулів разом із процесорним становить 5 штук (1 CPU + 1 AI + 1 AO + 1 DI + 1 DO). Тому було обрано шасі BMX XBP 0600 на 6 місць, яке забезпечує необхідний запас.

Після цього проводиться розрахунок споживаної потужності модулів. З урахуванням усіх компонентів розрахункова потужність становить 7,99 Вт. Оскільки цей показник значно нижчий за максимальну потужність блоку живлення BMX CPS 2000 (16,5 Вт), даний модуль живлення повністю задовольняє вимогам конфігурації.

Таблиця 3.9 – Споживана потужність модулів

Шасі	Модуль		Середній споживаний струм, в мА	
00	Місце	Найменування модуля	На виході 3V3 ВАС	На виході 24V ВАС
	PS	BMX CPS 2000 P3V3 24V = 16,5 Вт	I3V3 ВАС = 490, P = 1.61 Вт	I24V ВАС = 266, P = 6.38 Вт
			$\Sigma P = 7.99 \text{ Вт}$	
	00	BMX P34 2000	-	72
	01	BMX AMI 0810	150	54
	02	BMX AMO 0410	150	140
	03	BMX DDI 1602	90	-
	04	BMX DDO 1602	100	-

3.3 Опис функціональної схеми автоматизації

У рівнемірній колонці встановлено диференційний манометр ПД310. Він вимірює перепад тиску, що створюється стовпом води, і перетворює його в уніфікований струмовий сигнал 4 – 20 мА. Цей сигнал одночасно надходить на вторинний індикатор AQteck ІТП-11, який відображає поточне значення рівня води на щиті управління, та на модуль аналогових входів ПЛК для подальшої обробки. Контролер постійно відстежує рівень води в барабані, формує сигнали аварійної сигналізації при досягненні граничних значень і видає керуючі команди відповідно до заданого алгоритму.

Контроль тиску пари в барабані котла здійснюється за допомогою датчика ПД100-ДІ. Прилад також формує сигнал 4 – 20 мА і передає його до системи керування. Це дозволяє ПЛК у реальному часі оцінювати значення тиску і оперативно реагувати на відхилення від встановлених меж, формуючи необхідну сигналізацію або команди захисту.

Температура середовища контролюється за допомогою датчиків ДТПХхх5М-І. Вони перетворюють виміряну температуру в уніфікований сигнал 4 – 20 мА, який надходить на модуль аналогових входів ПЛК.

Для контролю положення виконавчих механізмів МЕО використовується реостатний датчик у поєднанні з перетворювачем сигналу ППМ-1. Контролер постійно порівнює фактичне положення регулюючого органу із заданим і при необхідності коригує його, подаючи команди на безконтактний реверсивний пускач ПБР-21, до якого підключений двигун механізму.

Регулювання швидкості обертання двигунів повітрянагнітача та димососа здійснюється за допомогою частотного перетворювача Altivar Machine ATV320 компанії Schneider Electric. Перетворювач отримує від ПЛК аналоговий сигнал 4 – 20 мА і на його основі формує змінну частоту живлення двигуна, забезпечуючи потрібний режим роботи.

Контроль відриву полум'я реалізований так, що ПЛК формує аварійний сигнал та припиняє подачу газу шляхом закриття запірних заслінок.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

4. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ

Для проектування ефективної системи автоматичного регулювання котла ДКВР-6,5-13 необхідне математичне моделювання його динамічних властивостей. Математична модель дозволяє встановити залежності між вхідними та вихідними параметрами, проаналізувати перехідні процеси та зробити синтез регуляторів, які в свою чергу забезпечують стабільну роботу котла [18, 19].

4.1 Побудова математичної моделі об'єкта керування

У даній роботі розглядаються два основні канали керування: канал тиску пари в барабані котла та канал рівня води в барабані котла. Моделі побудовані на основі матеріального та енергетичного балансів з подальшою лінеаризацією.

4.1.1 Модель тиску пари в барабані котла

Зміна тиску пари описується аперіодичною ланкою першого порядку. Після складання рівняння матеріального балансу пари та його лінеаризації отримана передаточна функція має вигляд: $W(s) = \frac{K}{Ts + 1}$.

Для парового котла ДКВР-6,5-13 прийнято $K = 1$ (у відносних одиницях), $T = 120$ с. Таким чином: $W(s) = \frac{1}{120s + 1}$.

4.1.2 Модель рівня води в барабані котла

Рівень води описується інтегральною ланкою. На основі матеріального балансу потоків отримано передаточну функцію: $W(s) = \frac{K}{s}$, де $K = \frac{1}{S}$, S – площа дзеркала води в барабані.

Для ДКВР-6,5-13 $S \approx 0,785 \text{ м}^2$, тому $K \approx 1,274$. Остаточна передаточна функція: $W(s) = \frac{1,274}{s}$.

4.2 Синтез регуляторів

Синтез регуляторів – це процес визначення структури та параметрів закону керування, що забезпечують задані показники якості перехідних процесів у замкненій системі. Для двох каналів керування котлоагрегату ДКВР-6,5-13 були обрані різні типи регуляторів з урахуванням особливостей динаміки кожного об'єкта [6, 19].

4.2.1 Синтез ПІ-регулятора тиску пари

Об'єкт керування каналу тиску – аперіодична ланка першого порядку $W(s) = \frac{1}{120s + 1}$. Головними недоліками чистого ПІ-регулятора для такого об'єкта є статична похибка регулювання, яка не дозволяє досягти нульової усталеної помилки.

Для її усунення застосовується пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор:

$$W(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} \right)$$

П-складова (K_p) – забезпечує реакцію регулятора, пропорційну поточній помилці $e(t)$.

І-складова ($\frac{1}{T_i}$) – усуває статичну помилку шляхом накопичення інтегральної суми відхилень.

Метод синтезу – налаштування за критерієм модульного оптимуму (МО). Для аперіодичної ланки першого порядку з передаточною функцією $\frac{K}{Ts + 1}$

рекомендовані значення за МО: $T_i = T = 120$ с; $K_p = T / (2 * K * T_m)$,

де T_m – мала стала часу (зумовлена запізнюванням виконавчих механізмів, ~ 15 с). Підставляючи значення: $K_p = 120 / (2 * 1 * 15) = 4$; $T_i = T = 120$ с.

Таким чином, остаточно прийнято: $K_p = 4$, $T_i = 120$ с. Умова МО $T_i = T$ забезпечує скорочення полюса об'єкта нулем регулятора [19].

4.2.2 Синтез П-регулятора рівня води

Канал рівня описується інтегруючою ланкою $W(s) = \frac{1,274}{s}$. Оскільки об'єкт є інтегратором, при будь-якому $K_p > 0$ статична похибка також дорівнює нулю. Введення додаткової І-складової до П-регулятора при інтегруючому об'єкті призвело б до зниження стійкості та суттєвого перерегулювання [19].

Застосовується простий пропорційний (П) регулятор: $W(s) = K_p$

Прийнято значення $K_p = 2$. Це значення було обрано з умови перерегулювання $\leq 8\%$.

Передаточна функція замкненої системи має вигляд:

$$W(s) = \frac{K_p \cdot K}{s + K_p \cdot K} = \frac{2,548}{s + 2,548}.$$

Замкнена система керування це аперіодична ланка першого порядку з $T_{зс} = \frac{1}{K_p \cdot k} \approx 0,39$ с, час регулювання $t_p \approx 3 \cdot T_{зс} \approx 1,2$ с.

Таблиця 4.1 – Параметри синтезованих регуляторів

Канал керування	Тип регулятора	K_p	T_i , с
Тиск пари	ПІ	4	120
Рівень води	П	2	—

4.3 Дослідження системи в середовищі MATLAB Simulink

Математичні моделі об'єктів керування та синтезовані регулятори реалізовані в середовищі MATLAB Simulink [20, 21]. Для кожного з контурів побудовано перехідні процеси за ступінчастим збуренням.

Структурні схеми та графіки перехідних процесів наведено на рисунках 4.1 – 4.4.

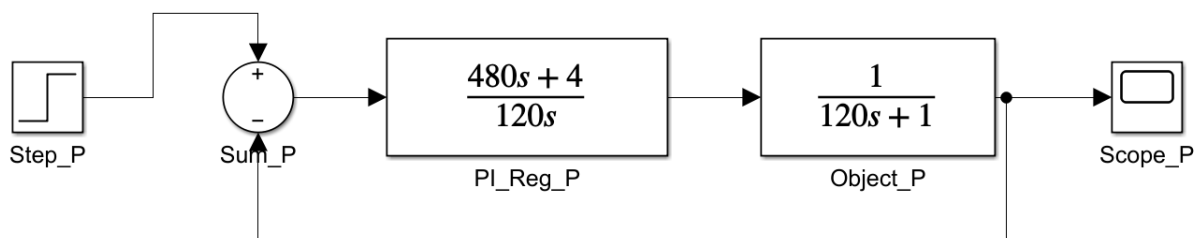


Рисунок 4.1 – Структурна схема контуру тиску пари

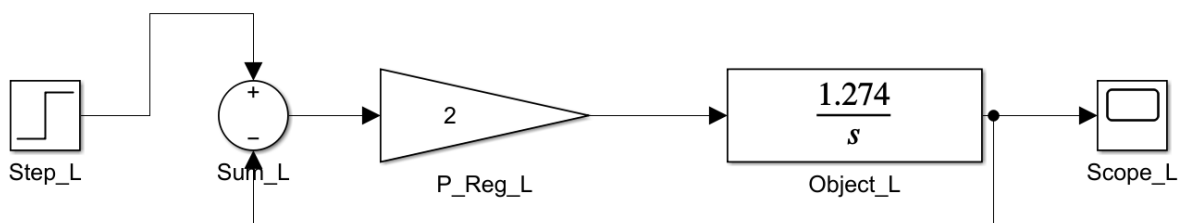


Рисунок 4.2 – Структурна схема контуру рівня води

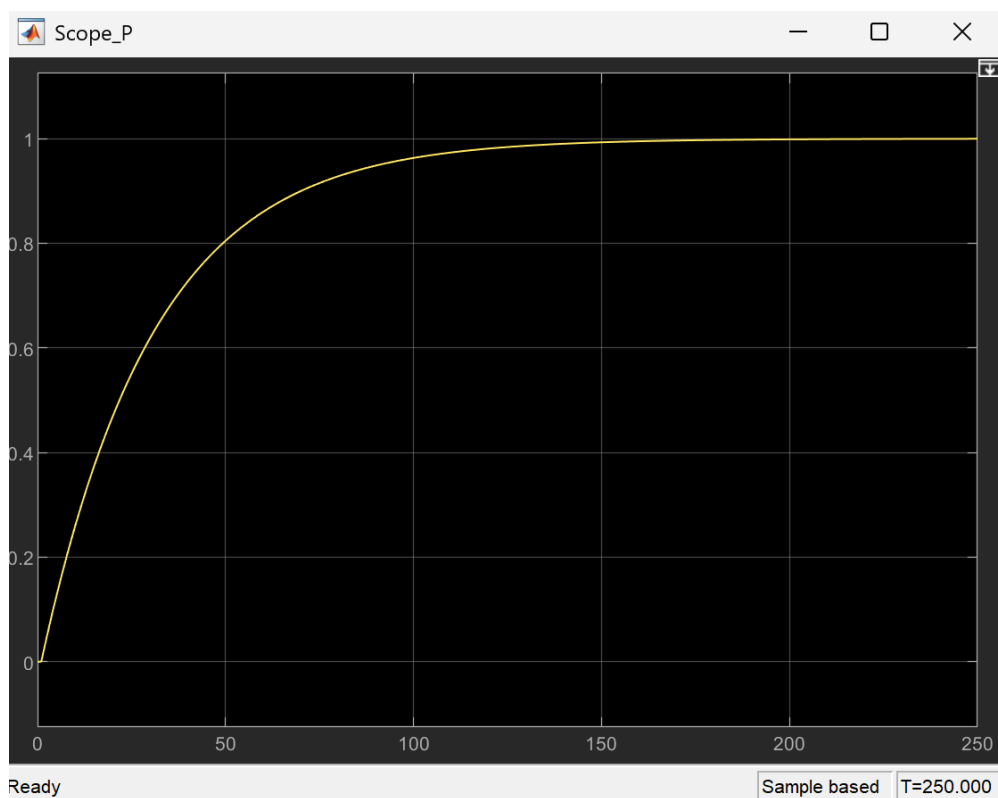


Рисунок 4.3 – Перехідний процес контуру тиску пари

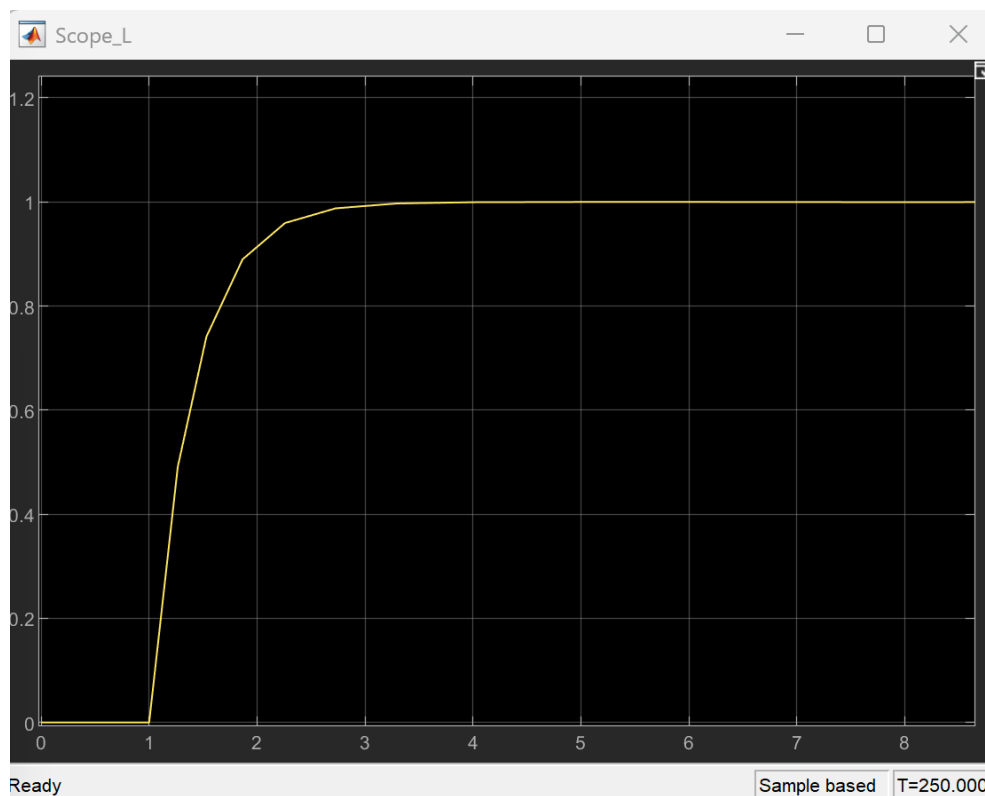


Рисунок 4.4 – Перехідний процес контуру рівня води

Отже, результати моделювання показали задовільну якість регулювання. Для контуру тиску пари час регулювання $t_p \approx 90$ с, перерегулювання відсутнє. Для контуру рівня води $t_p \approx 1,2$ с, перерегулювання відсутнє. Статична похибка також відсутня в обох контурах.

Побудовані математичні моделі адекватно описують динаміку котла. Синтезовані ПІ-регулятор для тиску пари та П-регулятор для рівня води забезпечують задовільну якість перехідних процесів і можуть бути використані при програмуванні ПЛК Modicon M340.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра було розроблено систему автоматизації парового котла ДКВР-6,5-13, призначену для контролю та регулювання заданих параметрів, а також сигналізації аварійних станів.

Були синтезовані ПІ-регулятор тиску пари та ПІ-регулятор рівня води, перерегулювання відсутнє в обох контурах.

Основою системи є програмований логічний контролер Modicon M340, який забезпечує обробку сигналів від контрольно-вимірювальних приладів і керування виконавчими механізмами.

У ході проектування було виконано опис технологічного процесу, визначено основні контролювані параметри, проведено обґрунтування вибору засобів автоматизації. Розроблено функціональну схему автоматизації, що відображає взаємодію датчиків, регуляторів, контролера та виконавчих пристроїв.

Розроблена система забезпечує точний контроль, своєчасну сигналізацію про відхилення параметрів і безпечну роботу котельної установки.

					ХНТУ 151.КРМБ.23.012 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ткаченко, С. Й., Степанов Д. В., Бондар Л. А. Котельні установки: навчальний посібник – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 189 с.
2. Пупена О. М., Ельперін І. В., Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. – К.: Ліра-К, 2011. – 500 с.
3. Ладанюк А.П, Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. Автоматизація технологічних процесів та виробництв харчової промисловості: Підручник – К.: Аграрна освіта, 2001. – 224 с
4. І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2015. – 378 с.
5. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.
6. G. F. Gilman, Jerry Gilman – Boiler Control Systems Engineering, 2nd Edition, 2010. - 198 p.
7. Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації: Навчальний посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 344 с.
8. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ. ЗОБРАЖЕННЯ УМОВНИХ ПРИЛАДІВ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ В СХЕМАХ, 2008. – 12 с.
9. ДСТУ Б А.2.4-3:2009. ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ РОБОЧОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ, 2009. – 54 с.
10. ДСТУ Б А.2.4-4:2009. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ПРОЕКТНОЇ ТА РОБОЧОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ, 2009. – 78 с.

11. НПАОП 0.00-1.81-18. ПРАВИЛА ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ, ЩО ПРАЦЮЄ ПІД ТИСКОМ, 2018. – 39 с.
12. ГК “Титан” – Група компаній “Титан” URL: <https://kiliia.ua/> (Дата звернення 13.02.2026)
13. МОНАСТИРИЩЕНСЬКИЙ ЗАВОД КОТЕЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ URL: <https://mmzavod.com.ua/> (Дата звернення 18.02.2026)
14. Контрольно-вимірювальні прилади і промислова автоматизація виробництва | АКУТЕК Україна URL: <https://aqteck.ua/> (Дата звернення 23.03.2026)
15. Сайт підприємства Microl URL: <http://microl.ua/> (Дата звернення 26.03.2026)
16. ТОВ "ЗАВОД УКРМАШПРОМ" URL: <https://www.mashprom.com.ua/> (Дата звернення 31.03.2026)
17. Глобальний фахівець з енергоменеджменту та автоматизації | Schneider Electric Україна URL: <https://www.se.com/ua/uk/> (Дата звернення 05.04.2026)
18. Світий І.М., Черняк О.І. Щодо автоматичного керування виробництвом пари в котлах ДКВР-10-13: вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. URL: https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2024/3_2024/part_1/3_2.pdf (Дата звернення 24.04.2026)
19. Жученко А. І., Козаневич З. Я., Ладієва Л. Р., Дунаєва Т. А. Математичне моделювання технологічних об'єктів: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/64ef81ef-0d6f-4132-8835-7356f5d9efcc/content> (Дата звернення: 27.04.2026)
20. MATLAB URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (Дата звернення 30.04.2026)
21. SIMULINK URL: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> (Дата звернення 30.04.2026)

