

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет	Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра	Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність	151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Форма навчання	Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Черевач Олесі Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Автоматизація системи керування котельним агрегатом
для підвищення енергоефективності технологічних процесів

(повна назва теми)

за матеріалами _____

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник доцент, д. філос. _____ Соломенко А.Г.

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від «___» _____ 2026р. № ___

Завідувач кафедри _____

(підпис)

к.п.н., доцент

(наук. ступень, вчене звання)

Є. О. Модло

(ініціали, прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

(підпис)

Модло Є. О.

(прізвище, ініціали)

«___» _____ 2026р.

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТКИ

Черевач Олесі Олександрівни

1. Тема роботи Автоматизація системи керування котельним агрегатом для підвищення енергоефективності технологічних процесів

Керівник роботи доцент, доктор філософії Соломенко А. Г.

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 06 » квітня 2026 р. № 239-ст

2. Строк подання здобувачем роботи до кафедри « 01 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: паспортні дані котла, програмований логічний контролер, модулі введення/виведення, датчики, частотні перетворювачі, панель оператора, середовище моделювання MATLAB/Simulink; показники якості регулювання, заходи з охорони праці та пожежної безпеки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 4.1. Аналітична частина: дослідити принцип роботи та характеристики котла ДКВр 10-13, проаналізувати існуючу систему управління, виявити недоліки. 4.2. Основна частина: розробити структурну і функціональну схему автоматизації, обрати технічні засоби, розробити алгоритм роботи, обґрунтувати вибір обладнання, виконати математичне моделювання, розглянути заходи з охорони праці та пожежної безпеки, сформулювати висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): ВРБ.151.239-ст.09.Е0.1-Блок-схема алгоритму керування котлом ДКВр 10-13 з основними контурами регулювання, ВРБ.151.239-ст.09.Е1-Структурна схема

автоматизації котла ДКВр 10-1, ВРБ.151.239-ст.09.Е2-Функціональна схема автоматизації котла ДКВр 10-13, ВРБ.151.239-ст.05.Е0.2-Результат моделювання окремо для контуру регулювання рівня води в барабані та витрати повітря, ВРБ.151.239-ст.09.Е0.3-Результат моделювання окремо для контуру тиску пари та розрідження в топці, ВРБ.151.239-ст.09.Е0.4-Модель системи керування котлом із зв'язками між контурами

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

№ з/п	Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
			Завдання видав	Завдання прийняв
1	Аналітична частина	Соломенко А. Г.	06.04.2026	06.04.2026
2	Основна частина	Соломенко А. Г.	06.04.2026	06.04.2026

7. Дата видачі завдання « 06 » квітня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Аналітична частина	10.04.2026	
2	Основна частина	20.04.2026	
3	Оформлення пояснювальної записки	03.05.2026	
4	Виконання графічної частини	15.05.2026	
5	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
6	Захист роботи в ЕК	19.06.2026	

Студент

(підпис)

Черевач О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Соломенко А. Г.
(прізвище та ініціали)

ВІДОМІСТЬ дипломної роботи бакалавра
(назва випускної кваліфікаційної роботи)

№ рядка	Формат	Позначення	Назва	Кіл. лист.	№ екз.	Прим.
1	A3	ВРБ.151.239-ст.09.Е0.1	Блок-схема алгоритму керування котлом ДКВр 10-13 з основними контурами регулювання	1		
2	A3	ВРБ.151.239-ст.09.Е1	Структурна схема автоматизації котла ДКВр 10-13	1		
3	A3	ВРБ.151.239-ст.09.Е2	Функціональна схема автоматизації котла ДКВр 10-13	1		
4	A3	ВРБ.151.239-ст.09.Е0.2	Результат моделювання окремо для контуру регулювання рівня води в барабані та витрати повітря	1		
5	A3	ВРБ.151.239-ст.09.Е0.3	Результат моделювання окремо для контуру тиску пари та розрідження в топці	1		
6	A3	ВРБ.151.239-ст.09.Е0.4	Модель системи керування котлом із зв'язками між контурами	1		
7	A4	ВРБ.151.239-ст.09.ПЗ	Пояснювальна записка	71		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до курсового проєкту: 71 стор., 37 рис., 11 таблиць, 15 джерел.

Тема кваліфікаційної роботи – «Автоматизація системи керування котельним агрегатом для підвищення енергоефективності технологічних процесів».

Об'єкт розробки – автоматична система керування паровим котлом ДКВр 10-13.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи парового котла ДКВр 10-13 шляхом розробки автоматичної системи управління.

У роботі здійснено модернізацію системи автоматизації парового котла ДКВр-10-13 з метою підвищення його енергоефективності, безпеки та надійності. Проведено аналіз конструкції та технологічної схеми котлоагрегату, визначено недоліки існуючої системи керування та обґрунтовано необхідність її вдосконалення. Розроблено алгоритм автоматизованої системи управління з чотирма основними контурами регулювання. Виконано вибір сучасних технічних засобів автоматизації. Розроблено структурну та функціональну схеми автоматизації. Виконано математичне моделювання контурів регулювання у середовищі MATLAB/Simulink із застосуванням PID Tuner.

Ключові слова: технологічний процес, ПЛК, автоматична система керування, паровий котел, енергоефективність, датчики, виконавчі механізми, регулятор, автоматизація.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	11
1.1 Аналіз котлоагрегату як об'єкта автоматизації.....	11
1.1.1 Призначення та область застосування.....	11
1.1.2 Технічні характеристики котла ДКВр 10-13	12
1.1.3 Конструктивна будова	13
1.1.4 Основне та допоміжне обладнання.....	14
1.1.5 Принцип роботи та технологічна схема	16
1.2 Аналіз існуючої системи та обґрунтування модернізації	19
1.2.1 Огляд існуючої системи керування та її недоліки.....	19
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	22
2.1 Розробка автоматизованої системи керування	22
2.1.1 Вимоги до автоматизованої системи.....	22
2.1.2 Алгоритм роботи системи (блок-схема)	23
2.1.3 Визначення контурів регулювання та безпеки	26
2.1.4 Перелік сигналів для ПЛК	27
2.2 Вибір технічних засобів автоматизації.....	28
2.2.1 Вимоги до вибору технічних засобів автоматизації	28
2.2.2 Вибір ПЛК.....	28
2.2.3 Вибір датчиків.....	33
2.2.4 Вибір виконавчих механізмів.....	41
2.2.5 Панель оператора НМІ	45
2.3 Структурна та функціональна схеми системи.....	48
2.3.1 Структурна схема автоматичної системи керування котлом	48
2.3.2 Функціональна схема автоматичної системи керування котлом	51
2.4 Математичне моделювання систем регулювання	52
2.4.1 Загальна методика математичного опису об'єктів	52

2.4.2	Моделювання контуру «паливо-повітря» (витрата повітря)	55
2.4.3	Моделювання контуру рівня води	57
2.4.4	Моделювання контуру розрідження в топці	58
2.4.5	Моделювання контуру тиску пари.....	59
2.5	Охорона праці	62
2.5.1	Аналіз небезпечних факторів.....	62
2.5.2	Правові та організаційні заходи.....	63
2.5.3	Технічні рішення щодо аварійних блокувань	65
2.5.4	Пожежна безпека	66
ВИСНОВКИ		68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		70

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУ ТП – автоматизована система керування технологічним процесом

ККД – коефіцієнт корисної дії

НПАОП – нормативно-правовий акт з охорони праці

ПЗК – запобіжний запірний клапан (аварійне перекриття палива)

ПІ – пропорційно-інтегральний (регулятор)

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний (регулятор)

ПЛК – програмований логічний контролер

ЧП – частотний перетворювач

AI – Analog Input (аналоговий вхід)

AO – Analog Output (аналоговий вихід)

DI – Digital Input (дискретний вхід)

DO – Digital Output (дискретний вихід)

HMI – Human Machine Interface (людино-машинний інтерфейс, панель оператора)

PID – Proportional-Integral-Derivative (пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор)

PROFINET – промисловий комунікаційний протокол (Process Field Net)

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерське керування та збір даних)

TIA Portal – Totally Integrated Automation Portal (середовище програмування SIEMENS)

CPU – Central Processing Unit (центральний процесор)

ВСТУП

Котельні установки є ключовим елементом промислової теплоенергетики, забезпечуючи паром та теплом більшість виробничих процесів. Ефективність їх роботи безпосередньо впливає на енергетичні, а також економічні витрати підприємства, стабільність технологічних режимів та безпеку експлуатації обладнання.

Найбільш поширеним типом котельного обладнання в Україні залишаються парові котли серії ДКВр. У даній роботі об'єктом дослідження обрано автоматичну систему керування котлом типу ДКВР 10-13, який характеризується високою надійністю, універсальністю щодо використання різних видів палива та широким застосуванням у промисловості. Водночас його система автоматизації є застарілою та не забезпечує необхідної точності регулювання технологічних параметрів.

Більшість котлів цього типу була введена в експлуатацію у 1970-1990-х роках і оснащена релейно-контактними системами автоматики, ресурси яких нормативно становлять 20-25 років. Аналіз експлуатації показує, що незалежне регулювання тиску пари, рівня води, розрідження в топці, та співвідношення палива та повітря без урахування їх взаємного впливу призводить до перевитрати палива на 5-8%, нестабільність режимів та підвищених ризиків аварійних ситуацій.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування котлом ДКВр 10-13 на базі програмованого логічного контролера, яка забезпечує оптимальне регулювання технологічних параметрів, підвищення енергоефективності та безпеки обладнання.

Особливістю роботи є використання математичного моделювання основних контурів регулювання для визначення їх динамічних показників, вибору параметрів регуляторів оцінки якості перехідних процесів на етапі проектування. Такий підхід дозволить врахувати взаємний вплив контурів

керування та забезпечити належні показники якості функціонування системи ще до її фізичного впровадження.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз котлоагрегату як об'єкта автоматизації

1.1.1 Призначення та область застосування

Паровий котел ДКВр 10-13 призначений для перетворення хімічної енергії палива, на теплову енергію водяної пари при заданих параметрів - тиску та температури. Розшифровка позначення: ДКВр - двобарабанний котел водотрубний реконструйований, 10 - паропроодуктивність 10 т/год, 13 - робочий тиск пари 1,3 МПа (13 атмосфер).

Котли даної серії призначені для отримання насиченої або перегрітої пари, яка використовується для технологічних потреб виробництва, опалення, вентиляції та гарячого водопостачання промислових об'єктів.

Область застосування котлів типу ДКВР 10-13 включає:

- виробничі потреби підприємств харчової, хімічної, металургійної та деревообробної промисловості;
- системи опалення та вентиляції виробничих цехів та адміністративних приміщень;
- гаряче водопостачання промислових та комунальних об'єктів;
- паливне господарство для розігріву в'язких нафтопродуктів.

Оскільки котел ДКВР 10-13 працює в умовах високих температур (до 194 °С для насиченої пари) та тиску 1,3 МПа, він належить до об'єктів підвищеної небезпеки. Це обумовлює необхідність безперервного контролю технологічних параметрів: рівня води в барабані, витрати палива, тиску пари, розрідження в топці, температури перегрітої пари. Вироблення пари має відповідати поточному споживанню, що досягається шляхом впровадження автоматизованої системи керування.

1.1.2 Технічні характеристики котла ДКВр 10-13

Таблиця 1.1

Паспортні дані парового котла з різними видами палива

Показники	Значення
Номінальна паропродуктивність, т/год	10
Температура пари, °С	194
Робочий тиск пари, МПа (кгс/см ²), не більше	1,3 (13)
Розрахункове паливо	газ, мазут, вугілля
Розрахункова витрата палива (газ, м ³ /год), не більше	740
Розрахункова витрата палива (мазут, кг/год), не більше	700
Розрахункова витрата палива (вугілля, кг/год), не більше	1100
ККД (газ), %, не менше	91
ККД (мазут), %, не менше	89,5
ККД (вугілля), %, не менше	83,6
Довжина,	8850
Ширина, мм	5830
Висота, мм	7100
Маса котла, кг, не більше (тверде паливо)	16349
Маса котла, кг, не більше (газ, мазут)	15396

Наведена характеристика котла є базовою для розрахунку режимів роботи та вибору обладнання автоматизації. На їх основі визначаються діапазони вимірювання для датчиків тиску, температури, рівня та витрати.

1.1.3 Конструктивна будова



Рис. 1.1. Паровий котел ДКВр 10-13 продукція ТОВ Монастирищенський котельний завод «Енергетик»

Конструкція котла складається з двох горизонтальних барабанів - верхнього (довгого) та нижнього (короткого). Вони з'єднані між собою системою екранних і конвективних труб. У передній частині котла розташована топкова камера з пальниковим пристроєм, а за нею - конвективний пучок труб, через який проходять продукти згоряння. Екранні труби приварені до нижніх колекторів і розвальцьовані у верхньому барабані. Усередині топки встановлена вертикальна перегородка яка ділить топку на камеру згоряння та камеру догорання. Таке конструктивне рішення збільшує час перебування продуктів згоряння в зоні високих температур, зменшує винесення полум'я (факела) в конвективний пучок і знижує недопал палива.

1.1.4 Основне та допоміжне обладнання

Для забезпечення повноцінної та ефективної роботи котла недостатньо тільки його самого. Потрібне ще допоміжне обладнання яке, як правило, не входить до базової комплектації агрегату, і замовляється окремо, залежно від потреб конкретного об'єкта та побажань замовника. Основним критерієм вибору є відповідність параметрів допоміжного обладнання характеристикам самого котла.

1. Для спалювання газу або мазуту котел ДКВр 10-13 зазвичай комплектується двома пальниками типу ГГБ, ГМ. Пальники забезпечують стабільне займання суміші та рівномірний розподіл факела по об'єму топкової камери.



Рис. 1.2. Пальник типу ГМ продукція ТОВ Монастирищенський котельний завод «Енергетик»

2. Для подачі повітря на горіння та відведення димових газів використовуються вентилятори та димососи.

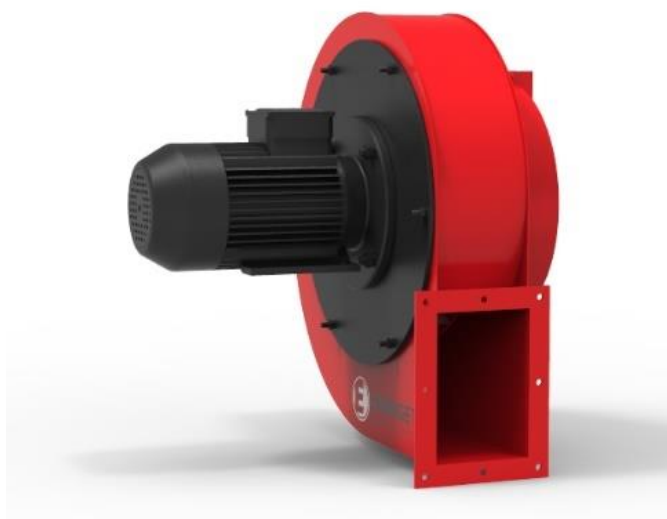


Рис. 1.3. Вентилятор типу ВД продукція ТОВ Монастирищенський котельний завод «Енергетик»

3. Для відведення продуктів згоряння та підтримки розрідження в топці використовуються димосос.



Рис. 1.4. Димосос типу ДН продукція ТОВ Монастирищенський котельний завод «Енергетик»

Для підігріву живильної води за рахунок тепла відхідних газів використовуються економайзер. Його використання підвищує загальний ККД котельної установки на 3-5% за рахунок глибшої утилізації димових газів.



**Рис. 1.5. Економайзер типу БВЕС продукція ТОВ
Монастирищенський котельний завод «Енергетик»**

Параметри двигунів вентилятора та димососа є вихідними даними для вибору частотних перетворювачів.

1.1.5 Принцип роботи та технологічна схема

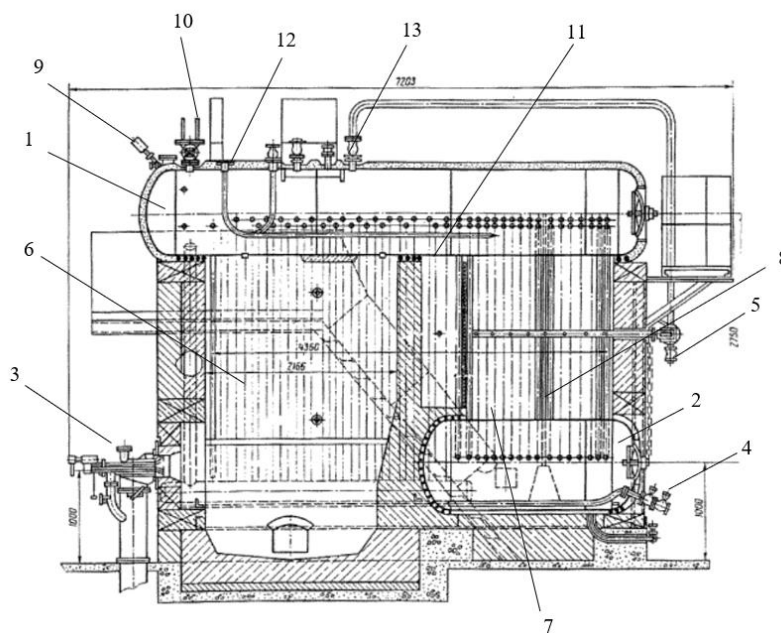


Рис. 1.6. Схема котла ДКВр 10-13

1, 2 - верхній та нижній барабани, 3 - пальник, 4, 5 - продувочний та обдувочний пристрої, 6 - боковий екран, 7 - конвективний блок, 8 - перегородка, 9 - манометр для пари, 10 - запобіжні клапани, 11 - камера догорання, 12 - живильні трубопроводи, 13 - клапан для виводу пари для власних потреб

Верхній та нижній барабани. Виготовлені з котельної сталі та з'єднані між собою трубами конвективного пучка. Верхній барабан використовується для приймання пароводяної суміші з кип'ятильних труб та її сепарації: усередині нього встановлені пристрої, які відділяють насичену пару від води, після чого пара відводиться до споживача. Нижній барабан виконує функцію колектора для води, що опускається з верхнього барабана, а також слугує збірником шламу та осаду.

Пальник. Пристрій, встановлений у топковій камері, призначений для спалювання палива. Він забезпечує подачу паливно-повітряної суміші, створює стабільний факел для нагрівання екранних труб і димових газів, регулює інтенсивність горіння та впливає на ефективність роботи котла.

Продувочний та обдувочний пристрої. Продувочний пристрій являє собою систему трубопроводів, підключену до нижнього барабана, призначену для видалення шламу, надлишку солей та інших забруднень, які накопичуються в котловій воді, що необхідно для підтримання нормативного хімічного складу води та запобігання утворенню накипу. Обдувочний пристрій подає пару або стиснене повітря безпосередньо на труби конвективного пучка для очищення їх від сажі, золи та інших відкладень, які погіршують теплопередачу.

Конвективний блок. Це система вертикальних кип'ятильних труб, що з'єднують верхній і нижній барабани, у яких вода нагрівається димовими газами, та перетворюється на пароводяну суміш. Бокові екранні труби, розташовані на стінах топки, додатково захищають від високих температур і також беруть активну участь у процесі пароутворення за рахунок сприйняття променистого тепла факела.

Перегородка. Це вогнетривка конструкція, встановлена в газоходах котла, яка спрямовує потік димових газів певною траєкторією для рівномірного омивання труб конвективного пучка. Завдяки перегородкам збільшується шлях проходження газів, що підвищує час їх контакту з поверхнями нагріву та покращує теплопередачу.

Манометр. Вимірювальний прилад, встановлений на верхньому барабані або паропроводі, який постійно контролює тиск насиченої або перегрітої пари, дозволяючи оператору або автоматичній системі керування своєчасно реагувати на відхилення тиску від норми.

Запобіжні клапани. Це автоматичні клапани прямої дії, також встановлені на верхньому барабані, які спрацьовують при перевищенні допустимого тиску пари, миттєво відкриваючись та скидаючи надлишок пари в атмосферу, чим запобігають аварійному підвищенню тиску та руйнуванню котла.

Камера догорання. Це додатковий об'єм у топці або газоході, призначений для завершення процесу горіння палива та спалювання горючих компонентів, які не встигли згоріти в основній топці. Використання камери догорання підвищує повноту згоряння палива, збільшує коефіцієнт корисної дії котла та зменшує викиди шкідливих речовин у атмосферу.

Живильні трубопроводи. Система труб, якими живильна вода після хімічної водоочистки та підігріву у водяному економайзері подається безпосередньо у верхній барабан котла. Вони забезпечують безперервне поповнення води, необхідне для підтримання стабільного рівня в барабані та компенсації відбору пари споживачами.

Клапан для виводу пари для власних потреб. Це запірний або регулюючий клапан, встановлений на лінії відбору пари, який дозволяє відводити частину виробленої пари для забезпечення допоміжних потреб самої котельні.

Технологічний процес виробництва пари в котлі ДКВр 10-13 можна описати наступним чином:

1. Живильна вода подається у барабани котла (залежно від конструкції, у верхній або нижній), після чого циркулює по необігрівних та екранних трубах.

2. У топковій камері паливник спалює газоповітряну суміш. Температура факела досягає 1100-1200 °С. Димові гази підіймаються вгору, омивають екранні труби, потім проходять через кип'ятильний пучок, де тепловіддача відбувається переважно конвекцією.

3. У трубах, що обігріваються, вода нагрівається до температури насичення та частково випаровується, утворюючи пароводяну суміш. Оскільки густина суміші менша за густину води, вона підіймається у верхній барабан, там сепараційні пристрої відділяють пар від води. Насичена пара через клапан подається до споживача.

4. Відпрацьовані димові гази проходять через економайзер, де віддають залишкову теплоту живильній воді, після чого димососом видаляються в димову трубу.

5. Рівень води у верхньому барабані підтримується автоматично шляхом регулювання витрати живильної води відповідно до витрати пари.

1.2 Аналіз існуючої системи та обґрунтування модернізації

1.2.1 Огляд існуючої системи керування та її недоліки

Найпоширенішим технічним рішенням на більшості промислових котелень, де експлуатуються котли ДКВр 10-13, це встановлення релейно-контактних схем та окремих регуляторів. Такі системи мають кілька незалежних вузлів. Регулятор тиску впливає на клапан подачі газу. Регулятор рівня води - на клапан живильної води. Регулятор розрідження - на шибер димососа. Співвідношення палива та повітря, в більшості випадків, налаштовується вручну. Всі контури працюють незалежно один від одного. Вимірювальні прилади щитові, без архівації даних. Сигналізація - світлова та звукова, але вона без пріоритизації подій. Пуск і зупинку котла оператор виконує вручну, автоматика забезпечує лише найпростіші блокування.

За останні роки на деяких об'єктах почали встановлювати сучасніші системи автоматизації, наприклад, на базі контролерів ОВЕН або Crystal. Однак і цих випадках якість регулювання все ще залишається низькою. Причини - відсутність коректних налаштувань регуляторів, неправильно підібрані параметри регуляторів та інші.

Незалежно від типу застосованої елементної бази існуючі системи мають спільні недоліки, такі як:

1. Низька точність регулювання співвідношення палива та повітря, що приводить до перевитрати палива на 5-8% та підвищених викидів шкідливих речовин.
2. Регулювання рівня води виконується без компенсації збурень за витратою пари. При різких змінах навантаження виникає «набухання» рівня води в барабані, що може призвести до виникнення аварійних ситуацій.
3. Регулятор тиску пари має велику інерційність. При зміні споживання пари тиск може коливатися в широких межах і це відповідно негативно вплине на роботу обладнання.
4. Система аварійного захисту спрацьовує із запізненням - це створює ризики, особливо при згасанні факела або при падінні рівня води.
5. Відсутнє математичне налаштування регуляторів. Параметри підбираються «на око» або методом проб, без урахування динамічних характеристики об'єкта.

Наведені недоліки свідчать про необхідність модернізації існуючої системи керування. Вона дозволить без заміни самого котла суттєво підвищити його ефективність та безпеку його експлуатації. Впровадження сучасної автоматизованої системи керування на базі програмованого логічного контролера дає змогу реалізувати складні алгоритми регулювання та підвищити рівень безпеки. ПЛК самостійно відпрацьовує змінні навантаження, підтримує задані параметри та фіксує всі події.

Увага також приділена математичному моделюванню в середовищі MATLAB/Simulink. Це дозволить заздалегідь підібрати оптимальні параметри регуляторів для кожного контуру, врахувати взаємний вплив контурів та забезпечити якісне регулювання.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка автоматизованої системи керування

2.1.1 Вимоги до автоматизованої системи

Автоматизована система керування котлом повинна забезпечувати його надійну, безпечну та економічну експлуатацію в цілодобовому режимі. Відповідно до технологічних норм та правил безпеки система повинна забезпечувати наступні вимоги:

1. Функціональні вимоги. АСУ ТП повинна автоматично підтримувати тиск пари в барабані на заданому рівні з точністю не гірше ± 0.02 МПа. Співвідношення «паливо-повітря» має забезпечувати вміст кисню в димових газах у межах 3-5%, що відповідає оптимальному коефіцієнту надлишку повітря. Рівень води у верхньому барабані необхідно підтримувати з відхиленням не більше ± 20 мм від заданого значення. Розрідження в топці має утримуватися в діапазоні від -3...-5 Па. Крім того, система повинна реалізовувати алгоритми аварійного захисту, при перевищенні тиску пари вище 1.4 МПа, зниженні рівня води нижче мінімального або згасанні факела подача палива має припинятися миттєво, із спрацюванням світлозвукової сигналізації.

2. Технічні вимоги. Система будується на базі програмованого логічного контролера з можливістю розширення модулів введення-виведення. Усі датчики повинні мати уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА для сумісності з контролером. Ступінь захисту польового обладнання - не нижче ніж IP54, враховуючи умови підвищеної запиленості, вібрації та температури. Живлення системи від мережі 220/380 В з резервуванням через блок безперебійного живлення для збереження працездатності контурів безпеки при короткочасних просіданнях напруги.

3. Інформаційні вимоги. Забезпечення візуалізації технологічного процесу на панелі оператора, а саме мнемосхема котла, поточні значення

параметрів, стан виконавчих механізмів. Передбачається архівація технологічних параметрів.

4. Вимоги безпеки. Контури безпеки реалізуються окремими дискретними каналами. Передбачається можливість ручного аварійного зупинення котла з дублюванням на звукову сигналізацію. Повторний пуск котла після аварійної зупинки можливий лише після ручного скидання блокування оператором та підтвердження нормального стану параметрів.

2.1.2 Алгоритм роботи системи (блок-схема)

Алгоритм роботи автоматизованої системи керування котлоагрегатом побудований за принципом послідовного контролю та регулювання технологічних параметрів із забезпеченням аварійного захисту та безперервного робочого циклу. Його структура відображена у блок-схемі (Рис. 2.1) та включає такі основні етапи:

1. Початок та ініціалізація (блок 1). Запуск системи, перевірка готовності датчиків, виконавчих механізмів та контролера.
2. Контроль параметрів безпеки (блок 2). Здійснюється контроль критичних величин: тиску пари, рівня води, наявності факела та розрідження в топці.
3. Аналіз стану параметрів (блок 3)
 - якщо параметри знаходяться в межах норми («Так») - система переходить до робочого циклу (блоки 4–8);
 - якщо параметри виходять за допустимі межі («Ні») - виконується перехід до аварійної зупинки (блок 9).
4. Робочий цикл (блоки 4–8). Включає виконання функцій:
 - регулювання тиску пари;
 - регулювання співвідношення «паливо–повітря»;
 - регулювання розрідження в топці;

- регулювання рівня живильної води;
- архівація даних для подальшого аналізу.

5. Після завершення архівації даних система повертається до блоку 2 (контроль параметрів безпеки), забезпечуючи безперервність роботи.

6. Аварійна зупинка та відновлення (блоки 9–14). У випадку відхилення параметрів система переходить у режим очікування ручного скидання аварії оператором (блок 10). Після ручного скидання виконується повторна перевірка параметрів безпеки (блок 11) з прийняттям рішення (блок 12):

- якщо параметри відповідають нормі - відбувається перехід до робочого режиму (блок 13), після чого система входить до робочого циклу (блок 2);
- якщо параметри не відповідають нормі - виконується повторна аварійна зупинка (блок 14), після чого система знову переходить до блоку 10 (очікування ручного скидання аварії) для повторної спроби відновлення.

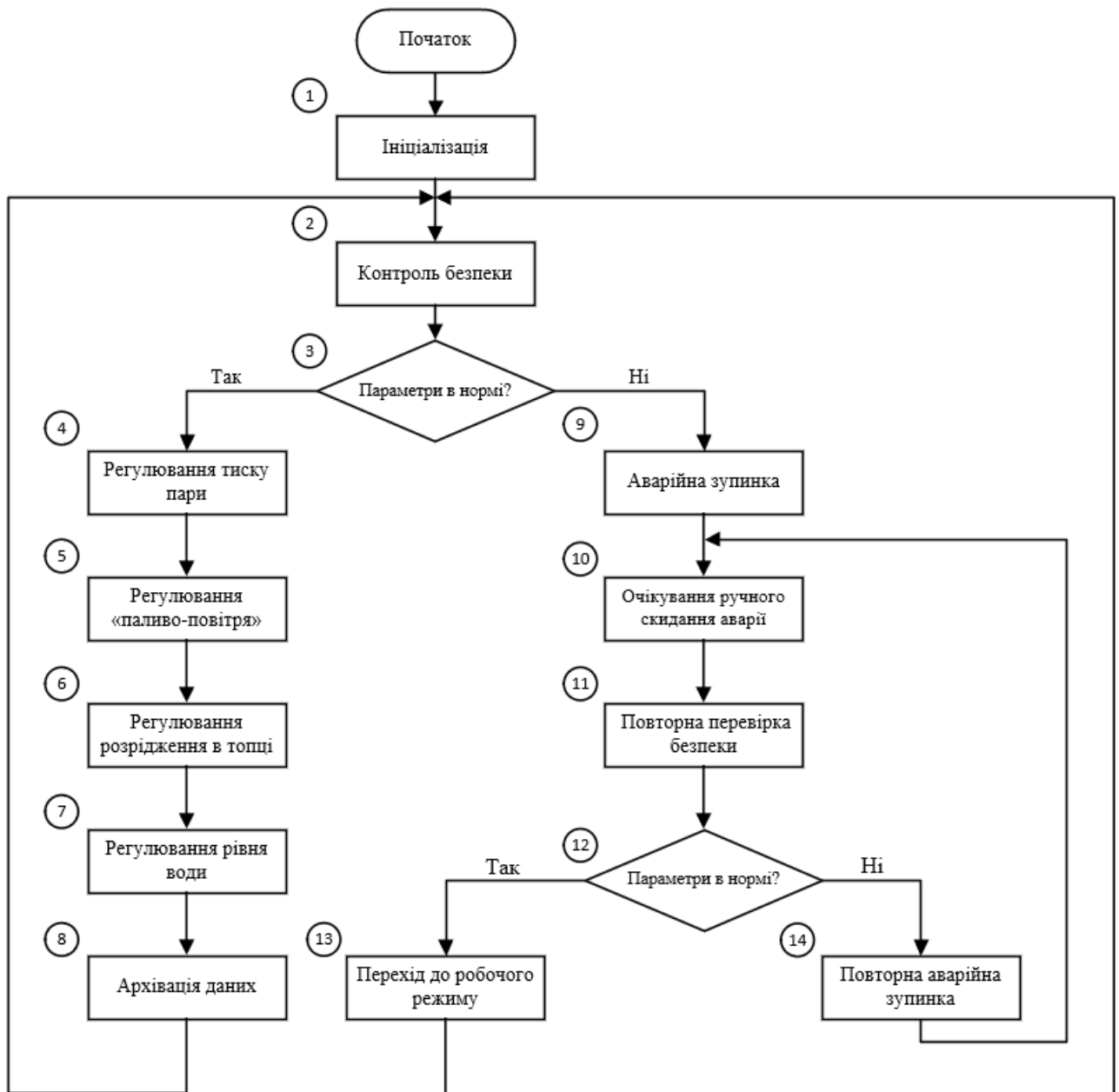


Рис. 2.1. Блок-схема алгоритму керування котлоагрегатом

(розроблено автором)

Алгоритм відображає логіку роботи системи керування котлом, включаючи перевірку параметрів безпеки, регулювання основних контурів та реалізацію аварійного захисту.

2.1.3 Визначення контурів регулювання та безпеки

Для вирішення поставлених задач пропонується реалізувати наступні контури автоматичного регулювання та систему аварійних блокувань.

Контур регулювання тиску пари. Призначений для підтримання тиску пари у верхньому барабані на заданому рівні (1.3 МПа) незалежно від змін навантаження споживача. Вхідний сигнал - від датчика тиску, встановленого на барабані. Керуючий вплив подається на регулюючий клапан на газопроводі. При зниженні тиску клапан відкривається, збільшуючи подачу газу. При підвищенні прикривається. Контур працює за принципом регулювання за відхиленням.

Контур регулювання співвідношення «паливо - повітря». Забезпечує повне згоряння газу шляхом підтримання оптимального співвідношення між витратою палива та повітря. Вхідні сигнали від датчика газу та газоаналізатора кисню в димових газах. Керуючий вплив подається на частотний перетворювач дуттьового вентилятора, який змінює продуктивність подачі повітря.

Контур регулювання розрідження в топці. Підтримує невелике розрідження для (-20...-30 Па) для безпечного відведення димових газів та запобігання вибиванню полум'я. Вхідний сигнал - від датчика розрідження, встановленого у верхній частині топки. Керуючий вплив подається на частотний перетворювач димососа, який регулює відсмоктування газів.

Контур регулювання рівня води в барабані. Забезпечує стабільний рівень води незалежно від змін навантаження. Керуючий вплив подається на регулюючий клапан. Така схема дозволяє компенсувати ефект «набухання» рівня при змінах навантаження та запобігає аварійним ситуаціям, пов'язаним падінням рівня води.

Система аварійного захисту. При досягненні критичних параметрів (тиск пари вище 1,4 МПа, рівень води нижче мінімального, згасання факела) ПЛК негайно перекриває подачу газу за допомогою ПЗК та вмикає світлозвукову та сигналізацію.

2.1.4 Перелік сигналів для ПЛК

Таблиця 2.1

Набір сигналів для реалізації описаних контурів

№	Найменування сигналу	Тип сигналу	Призначення
1	Тиск пари в барабані	AI	Регулювання подачі газу
2	Рівень води в барабані	AI	Регулювання живлення
3	Витрата газу	AI	Розрахунок необхідного повітря
4	Витрата пари	AI	Регулювання витрати пари
5	Розрідження в топці	AI	Регулювання димососа
6	Вміст кисню в димових газах	AI	Коригування співвідношення газ/повітря
7	Наявність факела	DI	Контроль горіння
8	Тиск газу	AI	Контроль подачі палива
9	Кнопка «Аварійний стоп»	DI	Екстрена зупинка
10	Клапан газу (регулюючий)	AO	Керування подачею палива
11	Частотний перетворювач вентилятора	AO	Керування подачею повітря
12	Частотний перетворювач димососа	AO	Керування відведенням газів
13	Електромагнітний клапан ПЗК	DO	Аварійне перекриття палива
14	Пуск/стоп вентилятора	DO	Керування двигуном
15	Пуск/стоп димососа	DO	Керування двигуном
16	Пуск/стоп живильного насоса	DO	Керування двигуном
17	Сигналізація (світло/звук)	DO	Оповіщення про аварію

Визначений перелік сигналів є вихідними даними для вибору ПЛК.

2.2 Вибір технічних засобів автоматизації

2.2.1 Вимоги до вибору технічних засобів автоматизації

На основі переліку сигналів, визначених у таблиці 1, та проаналізованих задач автоматизації, необхідно обрати конкретні технічні засоби для реалізації системи керування котлом ДКВр 10-13.

Вибір обладнання здійснюється за наступними критеріями:

- відповідність діапазонів вимірювання технологічним параметрам котла (тиск до 1,3 МПа, температура до 194°C)
- наявність уніфікованого вихідного сигналу 4-20 мА для сумісності з ПЛК
- ступінь захисту корпусу не нижче IP54 (враховуючи умови експлуатації – підвищену температуру, вологість, вібрацію та запиленість)
- надійність виробника та наявність сервісної підтримки в Україні.

Оскільки котел ДКВр 10-13 є об'єктом підвищеної небезпеки, особлива увага приділяється надійності компонентів, особливо тих, що задіяні в контурах безпеки: контролі полум'я, аварійному перекритті газу, захисті за рівнем та тиском. Усі обрані засоби автоматизації повинні забезпечувати безперебійну роботу в цілодобовому режимі з мінімальним обслуговуванням. Нижче наведено обґрунтування вибору ПЛК, вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів відповідно до поставлених задач автоматизації.

2.2.2 Вибір ПЛК

Програмований логічний контролер є центральним елементом системи автоматизації, який виконує збір даних з датчиків, їх обробку, реалізацію алгоритмів керування та формування керуючих впливів на виконавчі механізми.

Від правильного вибору ПЛК залежить надійність, швидкодія та функціональні можливості всієї системи.

Таблиця 2.2

Підрахунок кількості та типів сигналів для визначення необхідної конфігурації ПЛК

Тип сигналу	Кількість	Призначення
Аналогові входи (AI)	7	Тиск пари, рівень води, витрата пари, витрата газу, розрідження, вміст O ₂ , тиск газу
Дискретні входи (DI)	2	Наявність факела, кнопка «Аварійний стоп»
Аналогові виходи (AO)	3	Клапан газу, ЧП вентилятора, ЧП димососа
Дискретні виходи (DO)	5	Е/м клапан, пуск/стоп 3 двигунів, сигналізація
Всього сигналів	17	

З урахуванням необхідності забезпечення запасу на розширення системи (рекомендовано 15-20%), було здійснено вибір контролера з можливістю розширенням модулів введення/виведення.

Проаналізувавши варіанти на ринку промислових контролерів для вибору оптимального варіанту було розглянуто три моделі ПЛК, що відповідають вимогам.

Таблиця 2.3

Порівняльний аналіз моделей ПЛК

Характеристика	Siemens SIMATIC S7-1200 (CPU 1214C)	Schneider Electric Modicon M221	Yaskawa (VIPA) 200V
Виробник	Німеччина	Франція	Німеччина
Програмне забезпечення	TIA Portal	EcoStruxure Machine Expert - Basic	Speed7 Studio / Simatic Manager
Пам'ять програм	100 - 150 КБ (Робоча)	256 КБ	Від 64 до 128 КБ
Вбудовані I/O	14 DI / 10 DO / 2 AI	16 DI / 8 DO	Залежить від модуля (зазв. 16/16)
Вбудовані аналогові входи	2 канали (0–10В)	Відсутні (потрібні модулі)	Відсутні (потрібні модулі)
Мережеві інтерфейси	PROFINET (Ethernet)	Ethernet, Serial (RS232/485)	MPI, Profibus (опція), Ethernet
Мови програмування	LAD, FBD, SCL (ST)	LAD, FBD, ST, IL	LAD, FBD, ST
Швидкодія	Висока	Середня	Дуже висока
Можливість розширення	До 8 модулів + 1 Signal Board	До 7 модулів локально	До 32 модулів у ряд
Співвідношення ціна/якість	Оптимальне	Дуже вигідне	Середнє

Після аналізу технічних характеристик розглянутих контролерів та враховуючи вимоги до надійності, простоти програмування та сервісного обслуговування обрано контролер Siemens SIMATIC S7-1200. Цей вибір обґрунтований наступними перевагами:

1. Контролери Siemens якісні, призначені для роботи в жорстких промислових умовах, мають напрацювання на відмову понад 100000 годин.

2. На українському ринку представлена широка мережа офіційних дистриб'юторів та сервісних центрів Siemens, що гарантує наявність запасних частин та технічну підтримку.
3. Середовище програмування TIA Portal дозволяє реалізувати складні алгоритми керування, зокрема регулювання рівня та корекцію співвідношення "паливо-повітря" за киснем.
4. Можливість підключення додаткових модулів введення/виведення дозволяє легко адаптувати систему під конкретні потреби та розширювати її в майбутньому.
5. Наявність вбудованих входів - наявність 2 аналогових входів у базовому модулі дозволяє підключити найбільш критичні датчики без використання додаткових модулів.
6. Інтеграція з SCADA, HMI.



Рис. 2.2. Контролер Siemens SIMATIC S7-1200

Також обрано наступну комплектацію обладнання Siemens SIMATIC S7-1200

Центральний процесор CPU 1214C (6ES7214-1BG40-0XB0) - має вбудовані 14 дискретних входів, 10 дискретних виходів та 2 аналогові входи. Забезпечує необхідну обчислювальну потужність та швидкодію.

Модуль аналогових входів SM 1231 (6ES7231-4HD32-0XB0) - 8 аналогових входів, сигнал 4-20 мА. Використовується для підключення всіх 7 аналогових датчиків, забезпечуючи резерв на 1 канал.



Рис. 2.3. Модуль аналогових входів SM 1231

Модуль аналогових виходів SM 1232 (6ES7232-4HD32-0XB0) - 4 аналогові виходи, сигнал 4-20 мА. Використовується для керування двома частотними перетворювачами та регулюючим клапаном газу, забезпечуючи резерв на 1 канал.



Рис. 2.4. Модуль аналогових виходів SM 1232

Модуль дискретних виходів SM 1222 (6ES7222-1BH32-0XB0) - 8 дискретних виходів, 24V DC. Використовується для комутації кіл керування двигунами (вентилятор, димосос, живильний насос), електромагнітним клапаном ПЗК та світлозвуковою сигналізацією.



Рис. 2.5. Модуль дискретних виходів SM 1222

Блок живлення PM 1207 (6ES7132-1SH71) - вхід 120/230V AC, вихід 24V DC, 2.5A. Забезпечує живлення контролера та модулів розширення.



Рис. 2.6. Блок живлення PM 1207

Така конфігурація забезпечує необхідну кількість входів/виходів з резервом на випадок розширення системи в майбутньому, а також відповідає всім технічним вимогам роботи.

2.2.3 Вибір датчиків

Для контролю технологічних параметрів роботи котла обрані сучасні вимірювальні перетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, що забезпечує їх повну сумісність з обраним ПЛК Siemens S7-1200. Всі датчики

розраховані на роботу в жорстких умовах котельні: температура від -40 до $+85^{\circ}\text{C}$, вологість до 95% , наявність вібрації, можливе запилення. Ступінь захисту корпусу не нижче IP65, підключення до контролера здійснюється екранованим кабелем для захисту від електромагнітних завад.

Для вимірювання тиску пари у верхньому барабані обрано датчик тиску Siemens SITRANS P200 (Німеччина).



Рис. 2.7. Датчик тиску Siemens SITRANS P200

Основні характеристики Siemens SITRANS P200:

- Вимірювальний діапазон: $0 \dots 1,6$ МПа (що відповідає робочому тиску котла $1,3$ МПа з запасом)
- Вихідний сигнал: $4\text{--}20$ мА,
- Клас точності: $0,5\%$
- Принцип дії: п'єзорезистивний сенсор з кремнієвою мембраною
- Матеріал мембрани: нержавіюча сталь 316L
- Ступінь захисту: IP65
- Діапазон робочих температур: -25°C до $+85^{\circ}\text{C}$
- Похибка від зміни температури: $< 0,2\%$
- Напруга живлення: $12\text{--}36\text{V DC}$
- Час відгуку: < 5 мс

Датчик має вбудований захист від перенапруги та імпульсних завад, що важливо в умовах промислової котельні з потужним електрообладнанням.

Для контролю рівня води у верхньому барабані обрано гідростатичний датчик рівня (Швейцарія/Німеччина).



Рис. 2.8. Гідростатичний датчик рівня Endress+Hauser Deltapilot S FMB70

Основні характеристики Endress+Hauser Deltapilot S FMB70:

- Вимірювальний діапазон: 0...100 кПа (відповідає висоті стовпа води до 10 метрів, що перекриває діапазон рівня в барабані)
- Вихідний сигнал: 4-20 мА з протоколом HART (можливість цифрової діагностики)
- Клас точності: 0,5% (з можливістю калібрування під конкретний діапазон)
- Принцип дії: гідростатичний з керамічним сенсором
- Матеріал мембрани: кераміка з покриттям з нержавіючої сталі
- Спеціальна функція: компенсація зміни густини води залежно від температури (критично важливо для точного вимірювання рівня в барабані котла)
- Ступінь захисту: IP67
- Діапазон робочих температур: -40°C до +85°C
- Напруга живлення: 11,5-45V DC

- Час відгуку: < 300 мс

Датчик підключається до імпульсних трубок, з'єднаних з паровим та водяним простором барабана за стандартною схемою для котлів. Вбудована компенсація зміни густини води забезпечує точне вимірювання рівня незалежно від режиму роботи котла.

Для вимірювання витрати природного газу обрано вихровий витратомір Yokogawa DY series (Японія).



Рис. 2.9. Вихровий витратомір Yokogawa DY series

Основні характеристики Yokogawa DY series:

- Модель: DY040 (DN40) або DY050 (DN50) залежно від діаметру газопроводу
- Вимірювальний діапазон: $0 \dots 1000$ м³/год
- Вихідний сигнал: 4-20 мА з протоколом HART/BRAIN
- Клас точності: 0,75%
- Принцип дії: вихровий (вимірювання частоти коливань тиску, що виникають при обтіканні тіла обтікання)
- Матеріал: нержавіюча сталь 316L
- Ступінь захисту: IP66/IP67 (повний захист від пилу та води)
- Діапазон робочих температур: -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ (для електроніки)
- Температура вимірюваного середовища: -200°C до $+400^{\circ}\text{C}$
- Напруга живлення: 12-42V DC

- Вбудований цифровий фільтр: придушення перешкод від вібрацій трубопроводу
- Самодіагностика: постійний контроль стану сенсора та електроніки

Для контролю розрідження в топці (близько -3 Па) обрано спеціалізований датчик низького тиску Siemens SITRANS P200 для малих діапазонів (Німеччина). Це той самий тип датчика, що й для тиску пари, але зі спеціальним сенсором для вимірювання дуже малих перепадів тиску.



Рис. 2.10. Датчик низького тиску Siemens SITRANS P200

- Основні характеристики Siemens SITRANS P200 (низький тиск):
- Вимірювальний діапазон: -1...1 кПа (спеціально підібраний для контролю розрідження в топці)
- Вихідний сигнал: 4-20 мА
- Клас точності: 1,0%
- Принцип дії: п'єзорезистивний з диференціальним підключенням
- Особливість: підвищена чутливість для вимірювання малих перепадів тиску
- Приєднання до процесу: два штуцери для підключення до топки та атмосфери
- Ступінь захисту: IP65
- Діапазон робочих температур: -25°C до +85°C
- Напруга живлення: 12-36V DC

Цей датчик дозволяє точно підтримувати розрідження в топці на рівні -3...-5 Па, що забезпечує безпечну роботу котла (відсутність вибивання полум'я) та оптимальні умови для горіння.

Для корекції співвідношення "паливо-повітря" обрано газоаналізатор АВВ АО2020 з виносним зондом (Швейцарія/Швеція).



Рис. 2.11. Газоаналізатор АВВ АО2020

Основні характеристики АВВ АО2020:

- Тип: стаціонарний газоаналізатор з виносним зондом для встановлення в димохід
- Вимірювальний компонент: кисень (O₂)
- Діапазон вимірювання: 0...21%
- Вихідний сигнал: 4-20 мА
- Клас точності: 1,0%
- Принцип дії: цирконієвий сенсор (електрохімічний) - найбільш поширений для вимірювання кисню в димових газах
- Температура вимірюваного газу: до 600°C (з прямим зануренням зонда)
- Час відгуку: < 5 секунд
- Ступінь захисту: IP54
- Самодіагностика: автоматичний контроль стану сенсора та індикація необхідності калібрування

Наявність даних про вміст кисню дозволяє реалізувати адаптивне регулювання подачі повітря, що забезпечує оптимальний коефіцієнт надлишку

повітря ($\alpha = 1,05-1,1$) та підвищує ККД котла на 2-5%. Це один з ключових елементів енергоефективності проекту.

Для контролю полум'я в топці обрано УФ-датчик Siemens QRI2 (Німеччина). Це спеціалізований датчик для газових пальників, який є стандартом для більшості європейських пальникових пристроїв.



Рис. 2.12. УФ-датчик Siemens QRI2

Основні характеристики Siemens QRI2:

- Тип: УФ-датчик (реагує на ультрафіолетове випромінювання факела)
- Спектральна чутливість: 190-270 нм (тільки УФ-діапазон, не реагує на інфрачервоне випромінювання розжарених стінок)
- Вихідний сигнал: дискретний (реле) - нормально відкритий/нормально закритий контакт
- Час спрацювання: < 1 секунди (при появі полум'я) / < 0,5 секунди (при згасанні)
- Ступінь захисту: IP65
- Максимальна відстань до полум'я: до 2 метрів
- Живлення: 230V AC або 24V DC (залежно від модифікації)
- Кут огляду: 60 градусів
- Особливість: самоконтроль (вбудована діагностика несправностей)

Датчик встановлюється в спеціальний отвір у пальниковому пристрої та направляється на факел. Завдяки високій селективності (реакції тільки на УФ-

випромінювання), він не дає хибних спрацьовувань від розжареної цегли топки, що критично для безпеки.

Для контролю тиску газу на вході в котел обрано датчик тиску WIKA A-10 (Німеччина).



Рис. 2.13. Датчик тиску WIKA A-10

Основні характеристики WIKA A-10:

- Вимірювальний діапазон: 0...16 кПа (що відповідає тиску газу в мережі низького тиску)
- Вихідний сигнал: 4-20 мА
- Клас точності: 0,5% (висока точність для контролю тиску палива)
- Матеріал мембрани: нержавіюча сталь 316L
- Ступінь захисту: IP65
- Діапазон робочих температур: -30°C до +80°C
- Напруга живлення: 8-30V DC

Датчик контролює тиск газу перед регулюючим клапаном та електромагнітним клапаном. При падінні тиску нижче мінімально допустимого (або перевищенні максимального) ПЛК формує аварійний сигнал та блокує роботу котла.

Всі датчики забезпечують необхідну точність для реалізації поставлених задач автоматизації та відповідають умовам експлуатації котельного агрегату.

2.2.4 Вибір виконавчих механізмів

Виконавчі механізми забезпечують безпосередній вплив на технологічний процес відповідно до команд ПЛК. Вибір здійснено з урахуванням необхідної точності регулювання, швидкодії, надійності та відповідності параметрам середовища. Розглянемо кожен обраний механізм детально.

Для плавного регулювання витрати газу обрано електроприводну поворотну заслінку Belimo B3 (Швейцарія).



Рис. 2.14. Поворотна заслінка Belimo B3

Основні характеристики Belimo B3:

- Крутний момент: 10 Нм
- Керуючий сигнал: 4-20 мА
- Напруга живлення: 24V AC/DC
- Ступінь захисту: IP54 (захист від пилу та бризок води)
- Зворотний зв'язок: потенціометр 1 кОм для контролю положення
- Час повного ходу: 90-120 с
- Матеріал корпусу: алюмінієвий сплав з антикорозійним покриттям

Заслінка забезпечує плавне регулювання положення з високою точністю та має зворотний зв'язок за положенням, що дозволяє ПЛК контролювати фактичне відкриття клапана. Швидкодія приводу оптимальна для ефективного відпрацювання змін навантаження котла.

Для аварійного відключення подачі газу обрано швидкодіючий електромагнітний клапан Dungs MVD 215/5 (Німеччина).



Рис. 2.15. Електромагнітний клапан Dungs MVD 215/5

Основні характеристики Dungs MVD 215/5:

- Тип: одноступеневий електромагнітний запірний клапан, нормально закритий
- Максимальний робочий тиск: 200 мбар (20 кПа)
- Пропускна здатність: 90 м³/год при перепаді тиску 10 мбар
- Напруга живлення: 230V AC, 50/60 Гц
- Час спрацювання: менше 1 секунди (миттєве закриття при зникненні напруги)
- Ступінь захисту: IP54
- Матеріал корпусу: литий алюміній
- Наявність вбудованого фільтра: сітка з нержавіючої сталі на вході для захисту від забруднень
- Можливість регулювання витрати: вбудований дросель для налаштування пропускної здатності

Для регулювання продуктивності дутьового вентилятора та димососа обрано частотні перетворювачі Siemens SINAMICS V20.



Рис. 2.16. Частотний перетворювач Siemens SINAMICS V20

Основні характеристики Siemens SINAMICS V20:

- Призначення: спеціалізоване рішення для керування насосами та вентиляторами
- Діапазон потужності: від 0,12 до 15 кВт для трифазної мережі 400V
- Керуючий сигнал: 4-20 мА (аналоговий вхід для завдання частоти)
- Наявність аналогового виходу: 4-20 мА для контролю поточної частоти/потужності
- Дискретні входи: 4 входи (для сигналів Пуск/Стоп, Скидання аварії тощо)
- Вбудований ПІД-регулятор: дозволяє реалізувати зворотний зв'язок за тиском або розрідженням
- Інтерфейси зв'язку: USS та Modbus RTU для інтеграції з ПЛК Siemens S7-1200
- Функція енергозбереження: вбудовані режими ECO та "сплячий режим" знижують енергоспоживання на 20-60%
- Ступінь захисту: IP20 (для встановлення в шафу керування)
- Діапазон робочих температур: -10°C до +50°C без зниження потужності
- Вбудований фільтр RFI: клас C2 для захисту від електромагнітних завад

Для вентилятора обрано модель потужністю 5,5 кВт, для димососа - 7,5 кВт, що відповідає потужності штатних двигунів котла ДКВр 10-13. Застосування частотних перетворювачів забезпечує значну економію електроенергії (до 30-40% порівняно з дросельним регулюванням) за рахунок оптимального підбору продуктивності відповідно до поточного навантаження котла .

Для дискретного керування (пуск/стоп) двигунами вентилятора, димососа та живильного насоса обрано контактори Eaton Moeller серії DIL (Ірландія/Німеччина).



Рис. 2.17. Контактор Eaton Moeller серії DIL

Основні характеристики контакторів Eaton DIL:

- Тип: модульні контактори з котушкою 24V DC
- Номінальний струм: 9А (для вентилятора та насоса), 12А (для димососа)
- Категорія застосування: AC-3 (керування асинхронними двигунами)
- Кількість контактів: 3 normally open (силові) + 1 normally open/1 normally closed (допоміжні)
- Механічна зносостійкість: 30 млн циклів
- Можливість встановлення теплового реле для захисту від перевантажень

Контактори забезпечують гальванічну розв'язку між ПЛК та силовими колами (380V), що критично для безпеки експлуатації.

Для оповіщення персоналу про аварійні ситуації обрано комбінований пристрій Werma (Німеччина).



Рис. 2.18. Сигналізатор Werma

Основні характеристики Werma:

- Тип: комбінований сигналізатор (світло + звук)
- Напруга живлення: 24V DC (безпосереднє керування від ПЛК)
- Звуковий тиск: 95 дБ на відстані 1 м
- Колір світла: червоний (аварійний режим)
- Ступінь захисту: IP65 (пило- та вологозахищене виконання)
- Можливість синхронізації кількох сигналізаторів

Пристрій забезпечує чітке оповіщення про аварійні ситуації (перевищення тиску, зниження рівня води, згасання факела тощо) та керується безпосередньо дискретним виходом ПЛК.

2.2.5 Панель оператора НМІ

Встановлення панелі оператора є доцільним та рекомендованим з наступних причин:

1. Моніторинг параметрів. Оператор повинен бачити поточні значення параметрів у реальному часі.
2. Оперативне керування. Панель дозволяє змінювати завдання регуляторам, вмикати/вимикати режими роботи, підтверджувати аварійні сигнали.
3. Візуалізація трендів. Можливість перегляду графіків зміни параметрів допомагає аналізувати роботу котла та прогнозувати можливі проблеми.
4. Архівація подій. Панель може зберігати історію аварійних ситуацій, дій оператора та змін параметрів.

Для інтеграції з обраним ПЛК Siemens S7-1200 оптимальним вибором є панель серії Siemens SIMATIC HMI Basic Panel з наступних причин:



Рис. 2.19. Siemens SIMATIC HMI KTP400 Basic

- Достатній розмір екрану для відображення мнемосхеми котла та основних параметрів

- Наявність функціональних клавiш дозволяє оператору швидко реагувати на аварійні ситуації навіть без використання сенсорного екрану
- Повна сумісність з ПЛК S7-1200 через PROFINET (одна лінія зв'язку)
- Просте конфігурування в середовищі TIA Portal (єдина інженерна платформа з ПЛК)

Панель буде встановлена на шафі керування в приміщенні операторської котельні та відображатиме:

1. Технологічна схема котла: умовне зображення верхнього та нижнього барабанів, пальника, вентилятора, димососа, трубопроводів пари, води, газу та повітря.
2. Поточні значення параметрів: поряд з кожним датчиком на схемі виведено числові значення тиску пари (МПа), рівня води (мм), витрати газу (м³/год), розрідження в топці (Па), вмісту кисню в димових газах (%) та тиску газу (кПа).
3. Стан виконавчих механізмів: заслінки (клапани) та частотні перетворювачі відображаються у вигляді анімованих елементів, які змінюють колір або положення залежно від поточного стану (відкрито/закрито, працює/зупинено).
4. Кнопки керування: на панелі передбачені кнопки для перемикання режимів («Пуск», «Стоп», «Скидання аварії»), а також поля для введення завдання регулятора тиску пари.
5. Індикація аварій: при виникненні аварійної ситуації (перевищення тиску, згасання факела, падіння рівня води) відповідний елемент на мнемосхемі починає блимати червоним кольором, а на панелі з'являється текст аварійного повідомлення.

Така організація інтерфейсу дозволяє оператору миттєво оцінити стан котла та вжити необхідних заходів.

Альтернативним рішенням могла б слугувати повноцінна SCADA - система, наприклад Siemens WinCC. Однак для модернізації одного котлоагрегату такий підхід є надлишковим. SCADA - системи доцільні при централізованому диспетчерському контролі над кількома одиницями обладнання в межах однієї або групи котелень, де до однієї системи підключено всі об'єкти. У даному випадку панель оператора повністю забезпечує необхідний рівень візуалізації та керування для одного котла, при цьому не потребує окремого промислового комп'ютера, ліцензійного програмного забезпечення та додаткової інфраструктури.

2.3 Структурна та функціональна схеми системи

2.3.1 Структурна схема автоматичної системи керування котлом

На основі аналізу технологічного процесу та визначених контурів регулювання розроблено структурну схему автоматизованої системи керування котлом ДКВр 10-13.

Розроблена схема має трирівневу ієрархічну структуру, що відповідає стандартам побудови промислових АСУ ТП. Така архітектура забезпечує розділення функцій управління, контролю та візуалізації між окремими рівнями, що підвищує загальну надійність системи, спрощує її діагностику та технічне обслуговування, а також такий підхід дозволяє локалізувати несправності на окремому рівні без зупинки всієї системи та забезпечує можливість поетапної модернізації окремих компонентів. До складу системи входять три рівні:

1. Верхній – рівень оператора.
2. Середній – рівень контролю
3. Нижній – рівень польового обладнання.

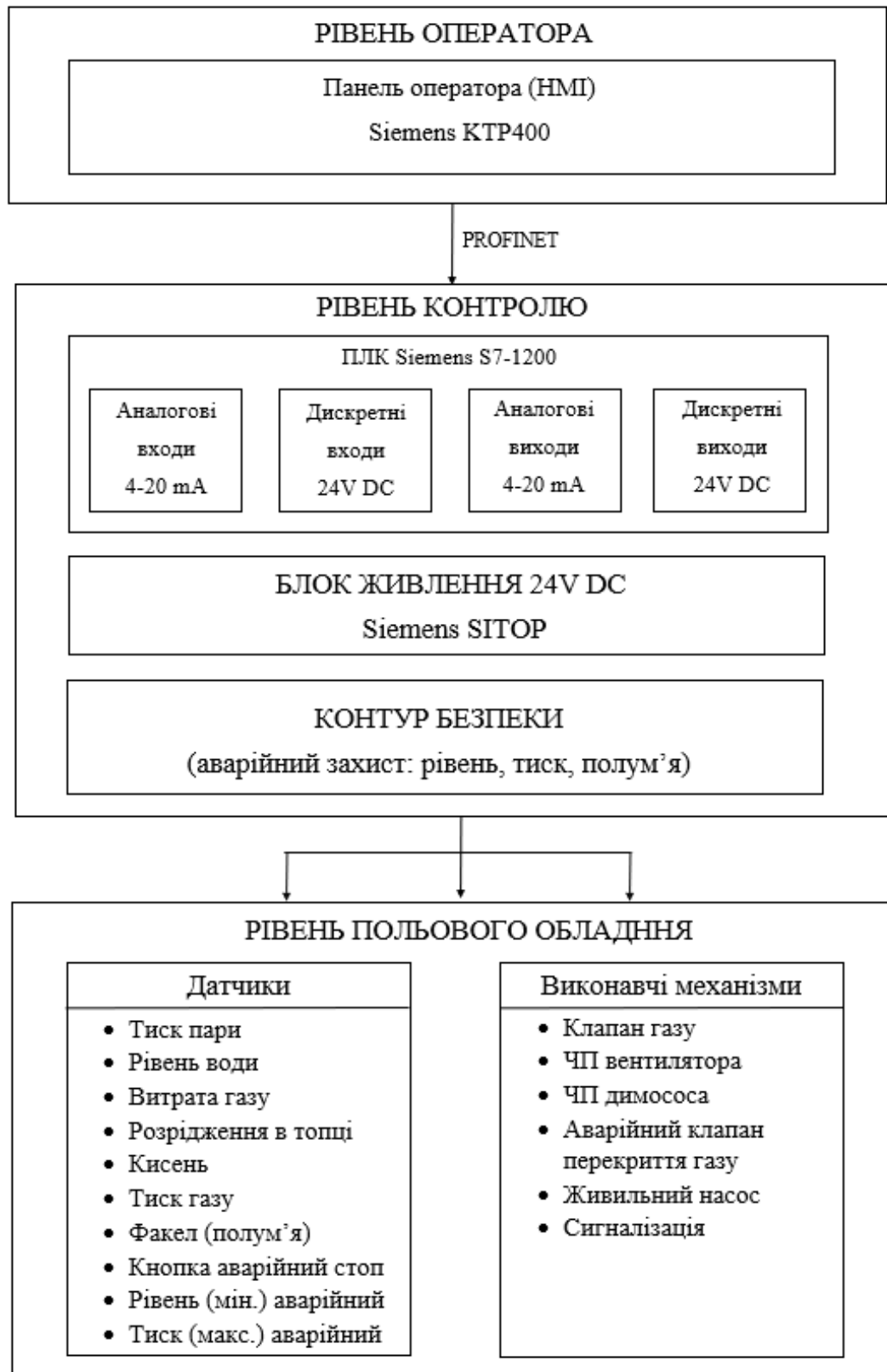


Рис. 2.20 Структурна схема АСУ ТП ДКВр 10-13

(розроблено автором)

Верхній рівень (рівень оператора). Цей рівень забезпечує взаємодію оператора з технологічним процесом. Основним елементом є панель оператора Siemens SIMATIC HMI KTP400, яка монтується на шафі керування. Панель дозволяє в реальному часі контролювати основні параметри. Оператор має можливість змінювати завдання регуляторам, переглядати графіки зміни параметрів та журнал аварійних подій. Для забезпечення централізованого диспетчерського контролю та довготривалого архівування даних передбачена можливість підключення SCADA-системи. Зв'язок між верхнім рівнем та контролером реалізовано через промисловий протокол PROFINET.

Середній рівень (рівень контролю). Цей рівень є обчислювальним ядром всієї системи автоматизації. На ньому реалізовано збір та обробку даних з датчиків, виконання алгоритмів регулювання, логіку аварійних захистів та обмін даними з верхнім рівнем. Як центральний елемент обрано ПЛК SIMATIC HMI S7-1200 з необхідними модулями розширення. До складу середнього рівня також входить блок живлення, який забезпечує електроживлення контролера, панелі оператора та польових приладів. Окремим рівнем виділяємо контур безпеки, який безперервно контролює критичні параметри: наявність факела, тиск пари, рівень води та тиск газу. При відхиленні будь якого з цих параметрів за допустимі межі ПЛК формує команду на закриття ПЗК, блокує подачу палива та активує світлозвукову сигналізацію.

Нижній рівень (рівень польового обладнання). До цього рівня належать датчики та виконавчі механізми, безпосередньо встановлені на котлі та допоміжному обладнанні. Зокрема, до складу нижнього рівня входять датчики тиску пари, рівня води, витрати газу, розрідження в топці, вмісту кисню, тиску газу, наявності факела, а також виконавчі механізми: регулюючий клапан газу, частотні перетворювачі вентилятора та димососа, ПЗК, контактор двигунів та пристрій сигналізації. Від нижнього рівня до контролера передаються аналогові сигнали 4-20 мА та дискретні сигнали 24V DC.

2.3.2 Функціональна схема автоматичної системи керування котлом

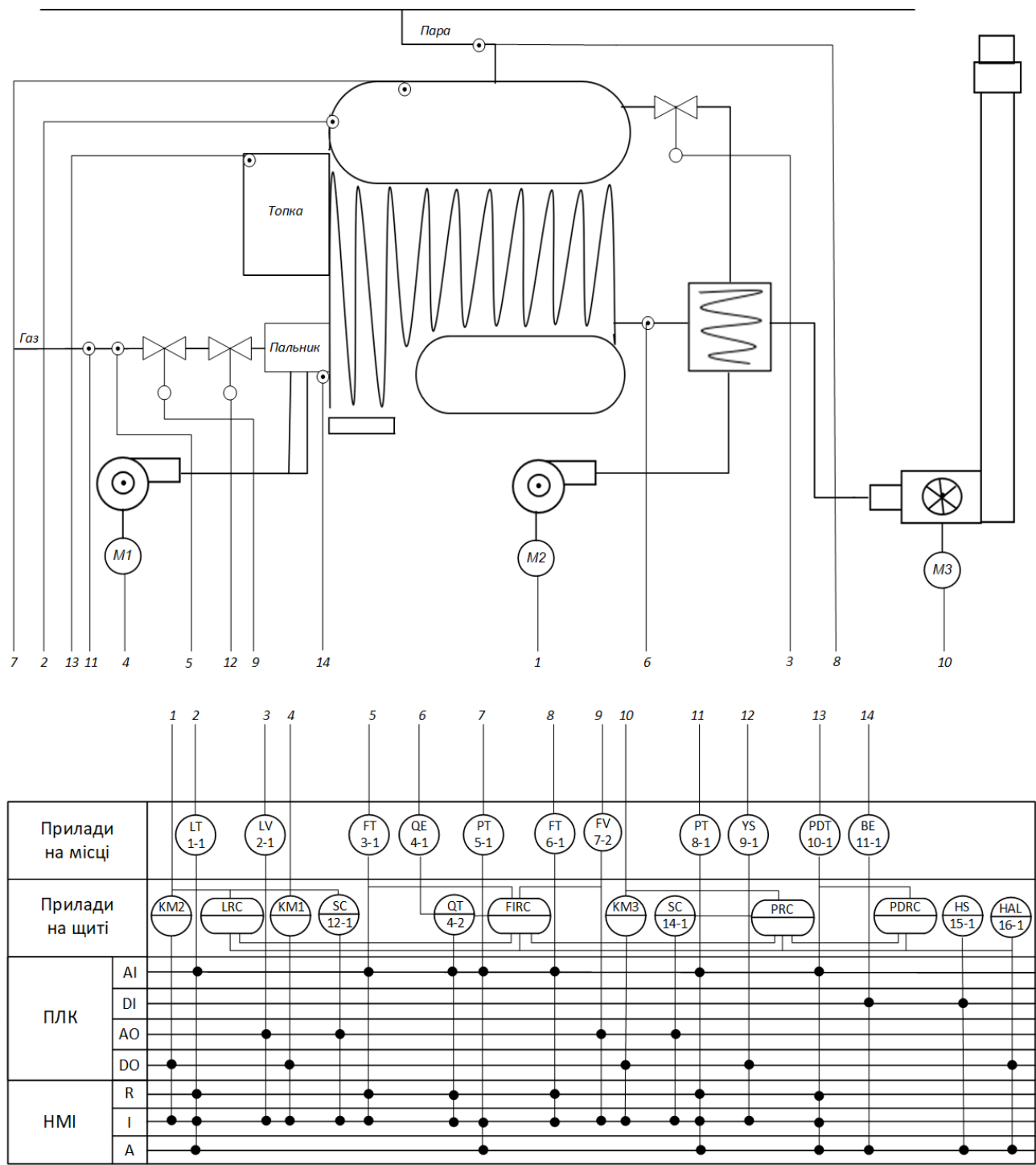


Рис. 2.21 Функціональна схема АСУ ТП ДКВр 10-13

(розроблено автором)

На основі проведеного аналізу технологічного процесу, розроблених контурів регулювання та обраних технічних засобів автоматизації було створено функціональну схему автоматизації котлоагрегату ДКВр 10-13.

Функціональна схема відображає технологічне обладнання котла (верхній та нижній барабани, топку, пальник, економайзер, вентилятор, димосос), місцеві прилади (датчики) та прилади на щиті керування. Всі датчики передають сигнали до програмованого логічного контролера, який обробляє інформацію та формує керуючі впливи на виконавчі механізми.

Розроблена функціональна схема забезпечує реалізацію всіх поставлених задач автоматизації: регулювання тиску пари, співвідношення «паливо-повітря», розрідження в топці, рівня води, а також аварійний захист котлоагрегату.

2.4 Математичне моделювання систем регулювання

2.4.1 Загальна методика математичного опису об'єктів

Для того щоб отримати математичний опис поведінки котла під час роботи, зазвичай використовують випробування безпосередньо на об'єкті або узагальнені дані з технічної документації. У даному випадку застосовано другий підхід - параметри моделей прийнято на основі типових значень, які зустрічаються у фаховій літературі, присвяченій автоматизації котельних агрегатів подібної продуктивності. Отримані в результаті аналізу цих даних чисельні значення коефіцієнтів підсилення, сталих часу та запізнення лежать у діапазонах, характерних для обладнання такого класу.

Таблиця 2.4

Вибір типу регулятора з урахуванням динамічних властивостей кожного контуру

Контур регулювання	Тип регулятора	Обґрунтування вибору
Тиск пари	ПІ	Контур є інерційним з великою сталою часу. Диференціальна складова не дасть суттєвого ефекту, але може підсилювати високочастотні шуми вимірювального каналу. ПІ-регулятор забезпечує нульову статичну похибку та достатню стійкість.
Рівень води в барабані	ПІ	Контур працює за схемою, яка компенсує основні збурення. Додаткова диференціальна складова є надлишковою. ПІ-регулятор є стандартним рішенням для даного типу обладнання.
Розрідження в топці	ПІД	Диференціальна складова дозволяє зменшити динамічні викиди при різких збуреннях та підвищити стійкість системи.
Співвідношення паливо-повітря	ПІ	Контур є швидким, однак диференціальна складова може підсилювати шуми від витратоміра повітря. ПІ-регулятор забезпечує необхідну точність підтримання співвідношення без ускладнення алгоритму.

Кожен контур регулювання описано передатною функцією у вигляді аперіодичної ланки першого порядку із запізненням:

$$W(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\tau s}, \quad (2.1)$$

де K - коефіцієнт підсилення, T - стала часу, τ – чисте запізнення.

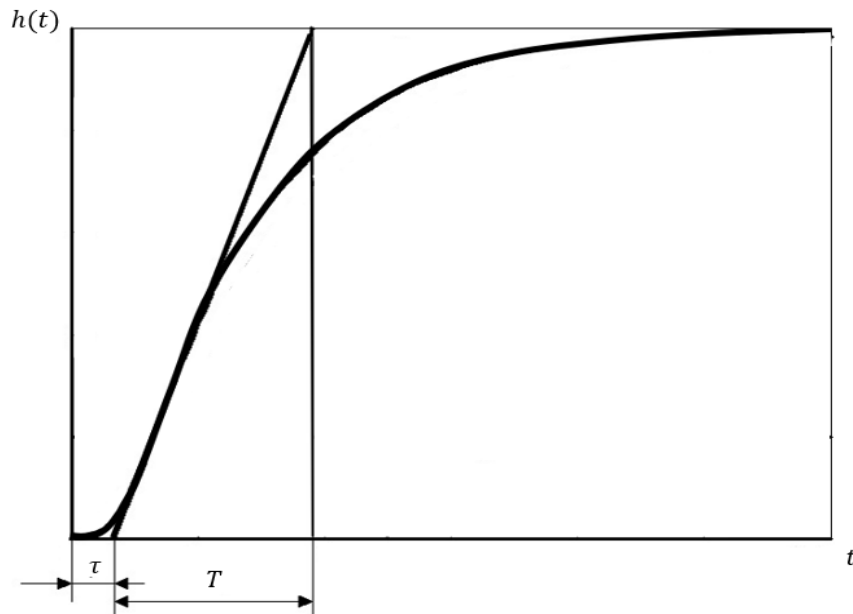


Рис. 2.22 Перехідна характеристика аперіодичної кривої об'єкта керування

Методика визначення параметрів регуляторів. Пропорційний коефіцієнт K_p , час інтегрування T_i та час диференціювання T_d визначено автоматичного за допомогою інструменту PID Tuner, вбудованого в середовище MATLAB/Simulink. Інструмент виконує лінеаризацію математичної моделі об'єкта в робочій точці та розраховує оптимальні параметри регулятора на основі задані вимог до якості перехідного процесу. Автоматичний підбір параметрів обрано з таких міркувань. Класичний метод налаштування, наприклад Зіглера-Нікольса дає лише наближені початкові значення, які потребують подальшого ручного коригування на реальному об'єкті. Для котлоагрегату, що є об'єктом підвищеної небезпеки, такі експерименти з налаштуванням пов'язані з ризиком аварійних ситуацій. PID Tuner розраховує параметри регулятора без будь якого впливу на реальних технологічний процес. Отримані значення вводяться безпосередньо у відповідні блоки регуляторі програми ПЛК.

Якість перехідних процесів оцінюється за трьома стандартними показниками:

1. Перерегулювання (σ)

Перерегулювання характеризує максимальне відхилення вихідної величини від усталеного значення і розраховується за формулою:

$$\sigma = \frac{\gamma_{\max} - \gamma_{\text{уст}}}{\gamma_{\text{уст}}} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

де $\gamma_{\max}$ – максимальне значення вихідної величини,

$\gamma_{\text{уст}}$ – усталене значення.

2. Час регулювання (t_p)

Час регулювання - мінімальний час, після якого вхідна величина входить у задану зону (зазвичай $\pm 2\%$ або $\pm 5\%$ від усталеного значення) і більше з неї не виходить.

3. Статична помилка.

Статична помилка визначаються як різниця між заданим значенням і фактичним.

$$e_{\text{ст}} = h_{\text{зад}} - h_{\text{уст}}. \quad (2.3)$$

2.4.2 Моделювання контуру «паливо-повітря» (витрата повітря)

Передавальна функція об'єкта для контуру регулювання витрати повітря (співвідношення «паливо-повітря») має вигляд:

$$W(s) = \frac{0,20}{5s + 1} e^{-2,5s}. \quad (2.4)$$

– $K - 0,20$

– $T - 5 \text{ с}$

– $\tau - 2,5 \text{ с}$



Рис. 2.23 Модель перехідної характеристики контуру витрати повітря (співвідношення «паливо-повітря»)

(розроблено автором)

Отримані коефіцієнти:

- Пропорційний коефіцієнт $K_p = 5.8$;
- Час інтегрування $T_i = 1,075$.

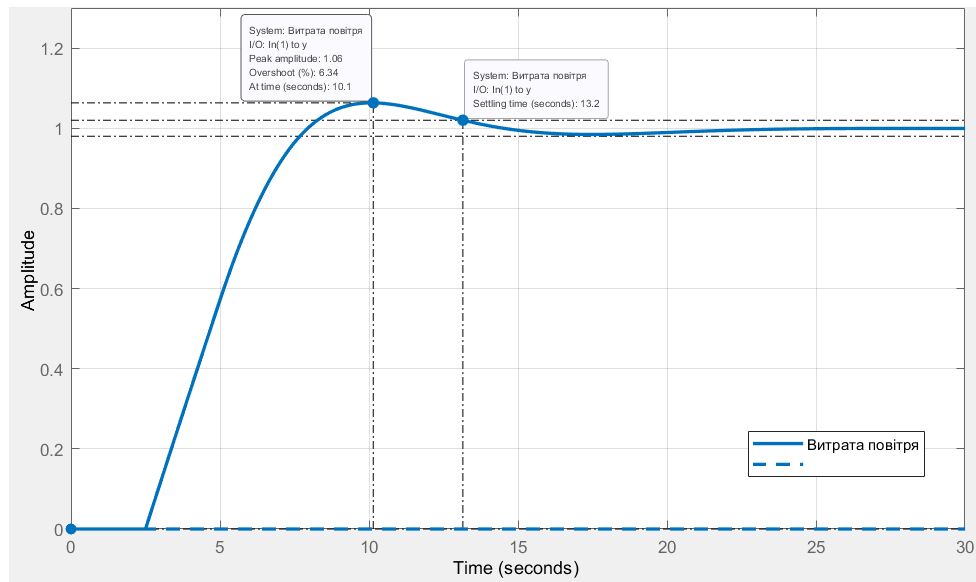


Рис. 2.24 Перехідна характеристика контуру витрати повітря
(співвідношення «паливо-повітря»)
(розроблено автором)

Таблиця 2.5

**Показники для оцінки якості регулювання за перехідною
характеристикою контуру витрати повітря (співвідношення «паливо-
повітря»)**

Показник	Позначення	Значення	Допустиме значення
Перерегулювання	σ	6%	$\leq 20\%$
Час регулювання	t_p	13,2 с	≤ 30 с
Статична похибка	$e_{ст}$	0	0

Отримані показники підтверджують коректність налаштування регулятора.

2.4.3 Моделювання контуру рівня води

Передавальна функція об'єкта для контуру регулювання рівня води в барабані має вигляд:

$$W(s) = \frac{0,01}{85s + 1} e^{-12s}. \quad (2.5)$$

- $K = 0,01$
- $T = 85 \text{ с}$
- $\tau = 12 \text{ с}$



Рис. 2.25 Модель перехідної характеристики контуру рівня води
(розроблено автором)

Отримані коефіцієнти:

- Пропорційний коефіцієнт $K_p = 241$.
- Час інтегрування $T_i = 3,21$.

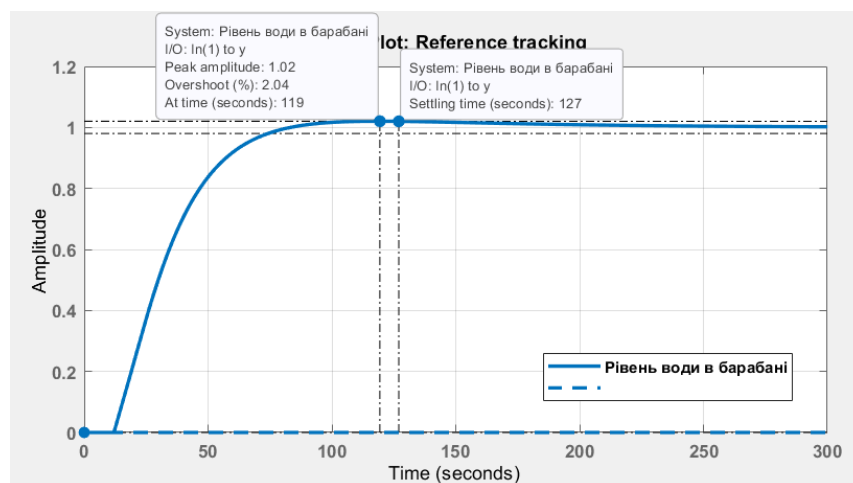


Рис. 2.26 Перехідна характеристика контуру рівня води
(розроблено автором)

Таблиця 2.6

**Показники для оцінки якості регулювання за перехідною
характеристикою контуру рівня води**

Показник	Позначення	Значення	Допустиме значення
Перерегулювання	σ	2%	$\leq 5\%$
Час регулювання	t_p	127 с	≤ 200 с
Статична похибка	$e_{ст}$	0	0

2.4.4 Моделювання контуру розрідження в топці

Передавальна функція об'єкта для контуру регулювання розрідження в топці має вигляд:

$$W(s) = \frac{0,45}{15s + 1} e^{-6s}. \quad (2.6)$$

- $K - 0,45$
- $T - 15$ с
- $\tau - 6$ с



Рис. 2.27 Модель перехідної характеристики контуру розрідження в топці
(розроблено автором)

Отримані коефіцієнти:

- Пропорційний коефіцієнт $K_p = 4,19$.
- Час інтегрування $T_i = 0,22$.
- Час диференціювання $T_d = 3,79$

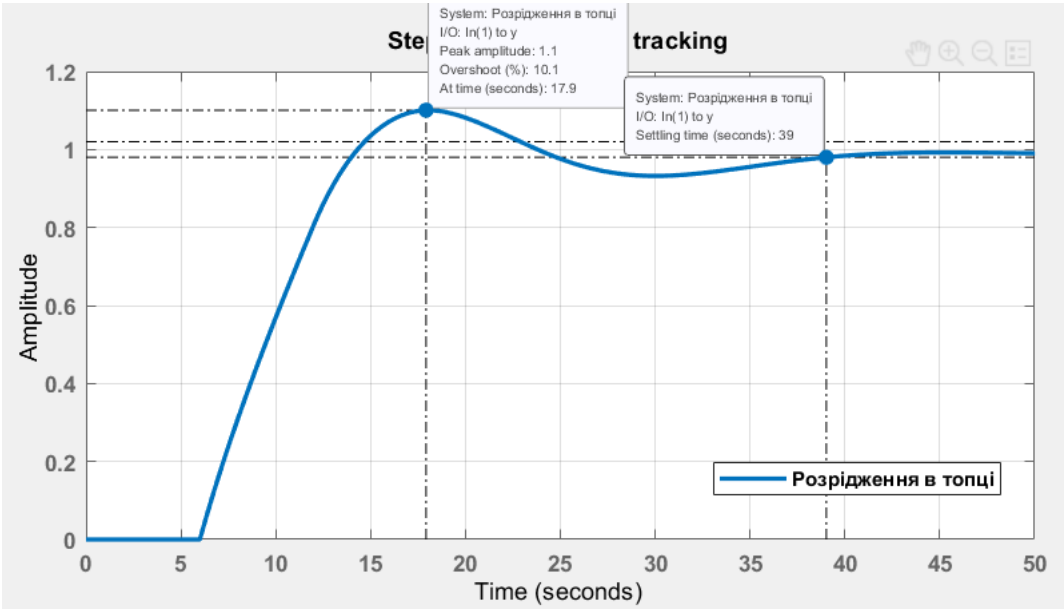


Рис. 2.28 Перехідна характеристика контуру розрідження в топці
(розроблено автором)

Таблиця 2.7

**Показники для оцінки якості регулювання за перехідною
характеристикою контуру розрідження в топці**

Показник	Позначення	Значення	Допустиме значення
Перерегулювання	σ	10%	$\leq 15\%$
Час регулювання	t_p	39 с	≤ 50 с
Статична похибка	$e_{ст}$	0	0

2.4.5 Моделювання контуру тиску пари

Передавальна функція об’єкта для контуру регулювання тиску пари в має вигляд:

$$W(s) = \frac{0,18}{90s + 1} e^{-35s}. \tag{2.7}$$

- $K = 0,18$
- $T = 90 \text{ с}$
- $\tau = 35 \text{ с}$



Рис. 2.29 Модель перехідної характеристики контуру тиску пари
(розроблено автором)

Отримані коефіцієнти:

- Пропорційний коефіцієнт $K_p = 4,25$.
- Час інтегрування $T_i = 0,04$.

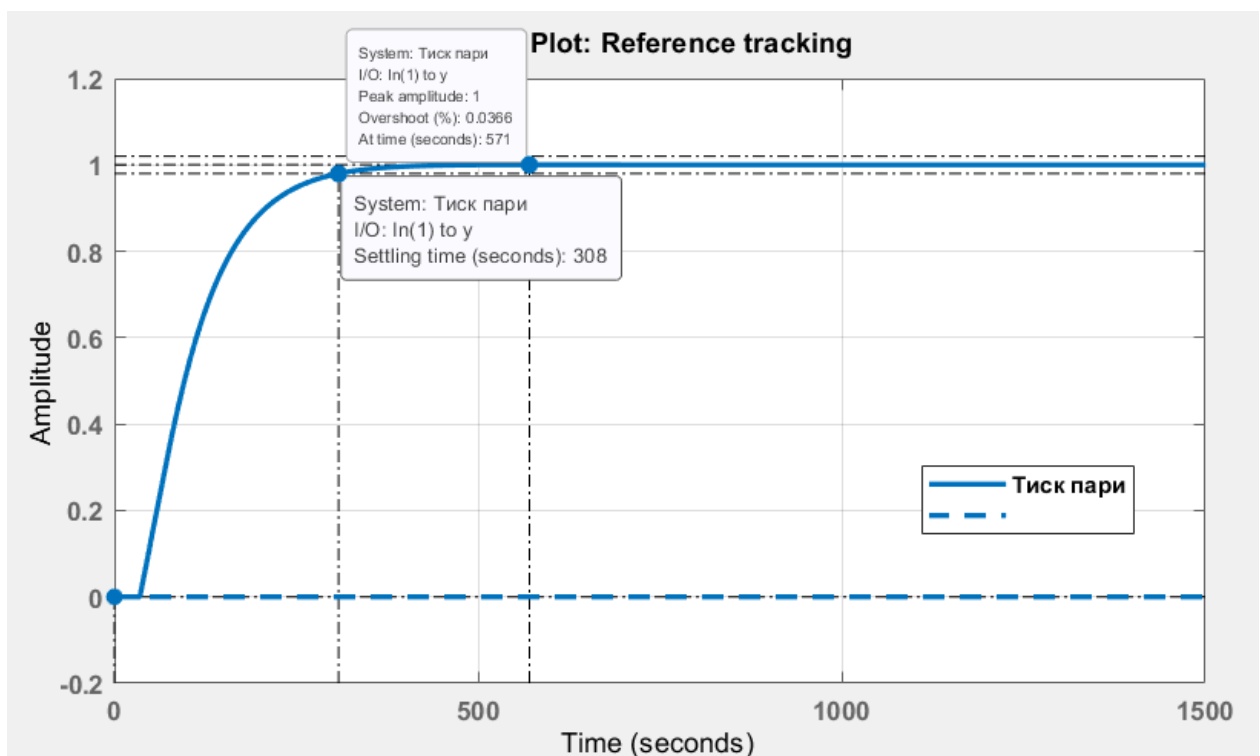


Рис. 2.30 Перехідна характеристика контуру тиску пари
(розроблено автором)

Таблиця 2.8

Показники для оцінки якості регулювання за перехідною характеристикою контуру тиску пари

Показник	Позначення	Значення	Допустиме значення
Перерегулювання	σ	0%	$\leq 5\%$
Час регулювання	t_p	308с	≤ 350 с
Статична похибка	$e_{ст}$	0	0

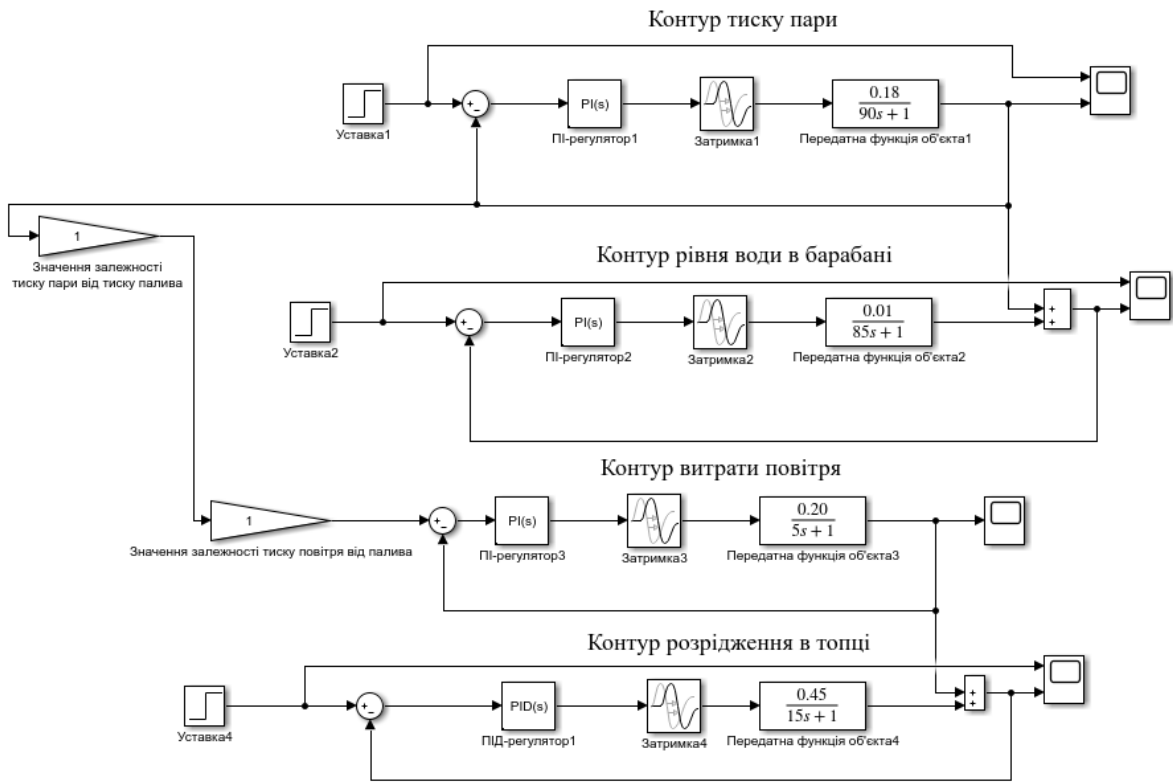


Рис. 2.31 Модель системи керування котлом зі зв’язками між контурами (розроблено автором)

Аналізуючи результати моделювання, встановлено, що розроблена модель враховує взаємний вплив контурів регулювання один на одного. Жоден з

показників якості регулювання не виходить за допустимі межі. Це підтверджує правильність обраних параметрів регуляторів та стійкість системи.

2.5 Охорона праці

2.5.1 Аналіз небезпечних факторів

При експлуатації парового котла ДКВр 10-13 обслуговуючий персонал піддається впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація», ці фактори поділяються на фізичні, хімічні та психофізіологічні.

Фізичні фактори - це фактори, що виникають внаслідок дії фізичних полів, рухомих частин обладнання, підвищених температур, шуму, вібрації тощо. Основними фізичними небезпечними факторами є:

- підвищена температура поверхонь (барабан котла, паропроводи, трубопроводи гарячої води), що при контакті може спричинити термічні опіки;
- підвищений рівень шуму та вібрації від працюючих вентиляторів, димососа, живильного насоса;
- небезпека ураження електричним струмом від електродвигунів, кабелів, щитів управління;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- підвищена запиленість повітря.

Хімічні фактори - це фактори, що виникають внаслідок впливу на організм токсичних речовин, газів, парів тощо. Основним хімічним фактором є природний газ, який використовується як паливо. При витіках газ накопичується в приміщенні, що може спричинити отруєння персоналу або уварення вибухонебезпечної суміші. Продукти згоряння (оксид вуглецю, оксид азоту) також є токсичними.

Психофізіологічні фактори. До них належать:

- монотонність праці (однотипна робота призводить до зниження уваги, втоми, що може спричинити несвоєчасне реагування на відхилення параметрів);
- нервово-емоційне напруження (при виникненні аварійних ситуацій створює додаткове психологічне навантаження).

Таблиця 2.9

Основні небезпечні та шкідливі фактори

№	Найменування фактору	Джерело фактору	Характер впливу	Нормативний документ
1	Підвищена температура поверхонь	Барабан котла, паропроводи, труби	Термічні опіки	НПАОП 0.00-1.81-18
2	Підвищений рівень шуму	Вентилятор, димосос, насоси	Зниження слуху, втома	ДСН 3.3.6.037-99
3	Підвищений рівень вібрації	Вентилятор, димосос	Порушення нервової системи	ДСН 3.3.6.039-99
4	Небезпека ураження електричним струмом	Електродвигуни, щити, кабелі	Електротравма	НПАОП 40.1-1.01-97
5	Токсична дія природного газу (метан)	Витоки газу	Отруєння, задуха	ГОСТ 12.1.005-88
6	Токсична дія оксиду вуглецю (СО)	Димові гази при порушенні тяги	Отруєння, головний біль	ДСН 3.3.6.042-99
7	Підвищена запиленість	Зношування теплоізоляції	Захворювання дихальних шляхів	ДСН 3.3.6.042-99
8	Монотонність праці	Тривале спостереження	Зниження уваги	Гігієнічна класифікація праці

2.5.2 Правові та організаційні заходи

Безпечна експлуатація парового котла ДКВр 10-13 регулюється наступними нормативно-правовими актами України.

Основні законодавчі документи:

1. Закон України «Про охорону праці».

2. НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском».

3. НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок».

4. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

5. ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

6. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Організаційні заходи з охорони праці:

1. До роботи з котлом допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання там мають посвідчення на право обслуговування котлів.

2. Проводяться наступні види інструктажів: вступний - при прийомі на роботу, первинний - на робочому місці перед початком самостійної роботи, повторний - не рідше 1 разу на 6 місяців, позаплановий - при зміні умов праці або після аварії, цільовий - при виконанні разових робіт підвищеної небезпеки.

3. Перевірка знань персоналу з питань охорони праці та правил безпечної експлуатації обладнання проводиться не рідше 1 разу на рік.

4. На кожному котлі вивішується режимна карта з допустимим параметрами роботи. Ведеться змінний журнал, де фіксуються параметри роботи котла, час пуску та зупинки, виявлені несправності, аварійні ситуації.

5. Персонал забезпечується засобами індивідуального захисту: костюм, рукавиці, захисні окуляри, навушники або беруші (при рівні шуму понад 80 дБА).

2.5.3 Технічні рішення щодо аварійних блокувань

Для забезпечення безпечної експлуатації котла ДКВр 10-13 в розробленій автоматичній системі керування передбачено наступні технічні рішення щодо аварійних блокувань.

Таблиця 2.10

Параметри контурів регулювання

Параметр	Нормальне значення	Аварійна уставка
Тиск пари в барабані	1,3 МПа	> 1,4 МПа
Рівень води в барабані	50-75 мм	< 0 мм або > 150 мм
Наявність факела	є	згасання
Тиск газу перед пальником	2-4 кПа	< 1 кПа

Система безперервно контролює наступні параметри, вихід за межі яких є аварійною ситуацією.

При досягненні аварійних уставок ПЛК автоматично виконує наступні дії:

1. Формує команду на закриття ПЗК на газопроводі, що припиняє подачу газу до пальника.
2. Вимикає дугтьовий вентилятор та димосос.
3. Блокує повторний пуск котла до усунення причини аварії та ручного скидання блокування.
4. Активує світлозвукову сигналізацію.
5. Фіксує в пам'яті контролера час та причину аварійної зупинки.

2.5.4 Пожежна безпека

Приміщення котельні за вибухопожежною та пожежною небезпекою згідно НАПБ Б.03.002-2007 відноситься до категорії «А» (підвищена вибухопожежонебезпека), оскільки використовується природний газ.

Причини пожежі:

- витік природного газу через розгерметизацію газопроводів, з'єднань або арматури,
- пошкодження електричних кабелів, коротке замикання;
- порушення режиму горіння;
- відсутності або несправності засобів захисту до яких відносить ПЗК та газоаналізатор.

Приміщення котельні обладнується наступними первинними засобами пожежогасіння:

- вуглекислотні вогнегасники для гасіння електрообладнання під напругою;
- порошкові вогнегасники для гасіння газових пожеж;
- ящик з піском та лопата;
- протипожежне полотно.

Система автоматичної пожежної сигналізації включає стаціонарні газоаналізатори для виявлення витоків природного газу, димові та теплові пожежні сповіщувачі а також систему світлового та звукового оповіщення персоналу.

Дії персоналу при виникненні пожежі:

1. Негайно викликати пожежно-рятувальну службу за телефоном 101.
2. Натиснути кнопку «Аварійний стоп» на щиті керування, що перекриває подачу газу та вимкне вентилятор та димосос.
3. Приступити до гасіння пожежі первинними засобами, якщо це не

загрожує життю.

4. При неможливості ліквідувати пожежу - залишити приміщення та чекати прибуття рятувальною служби.

ВИСНОВКИ

У ході дослідження було виконано модернізацію системи автоматизації парового котла ДКВр 10-13, яка дозволяє підвищити енергоефективність, безпеку та надійність його експлуатації.

Проведено аналіз об'єкта автоматизації. Розглянуто його призначення, конструкцію, технологічну схему та основні технічні характеристики. Виявлено недоліки. Обґрунтовано необхідність модернізації системи керування. Розроблено алгоритм автоматизованої системи управління, яка включає чотири основні контури регулювання. Для кожного контуру визначено перелік необхідних сигналів, що забезпечує повну відповідність системи поставленим вимогам автоматизації.

Розроблено алгоритм функціонування системи у вигляді блок-схеми, що враховує робочі режими, контролю технологічних параметрів та дії при виникненні аварійних ситуацій.

Виконано вибір технічних засобів автоматизації, центральним елементом яких є програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200, а також модулі введення-виведення, вимірювальні перетворювачі, виконавчі механізми, частотні перетворювачів та панель оператора. Обране обладнання забезпечує реалізацію всіх функцій контролю, регулювання, сигналізації та керування відповідно до вимог технологічного процесу.

Було розроблено структурну та функціональну схеми автоматизації, які відображають ієрархію рівнів управління, конкретні зв'язки між технічними засобами і технологічним обладнанням.

Математичне моделювання контурів регулювання в середовищі MATLAB/Simulink з автоматичним підбором параметрів засобами PID Tuner дозволило отримати коректні налаштування регуляторів без проведення експериментів на реальному об'єкті. Показники якості перехідних процесів для всіх контурів знаходяться в межах допустимих значень, статична похибка дорівнює нулю.

Запропоновані технічні рішення дозволяють модернізувати котельний агрегат ДКВр 10-13, підвищити його енергоефективність, забезпечити стабільність технологічного процесу, зменшити витрати на експлуатацію та відповідати сучасним вимогам промислової безпеки. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані під час модернізації існуючих котельних установок без заміни основного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борисенко А. В. Основи теплової енергетики : конспект лекцій / А. В. Борисенко, В. А. Пешко. – Запоріжжя : ЗНУ, 2021. С. 17 – 30 с.
2. Програмований логічний контролер, модулі розширення, панель оператора та їх технічні характеристики – каталог товарів компанії «ABRSTORE». – URL: <https://abr.com.ua/> (дата звернення: 17.05.2026).
3. Степанов Д. В. Котельні установки промислових підприємств: навчальний посібник / ред. Д. В. Степанов, Є. С. Корженко, Л. А. Боднар. Вінниця: ВНТУ, 2011. С. 99 – 110 с.
4. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском: НПАОП 0.00-1.81-18, затв. наказом Мінсоцполітики України від 19.03.2018 р. № 333. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-18> (дата звернення: 29.05.2026).
5. Правила безпечної експлуатації електроустановок: НПАОП 40.1-1.01-97, затв. наказом Держнаглядохоронпраці від 06.10.1997 р. № 257. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0011-98> (дата звернення: 29.05.2026).
6. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку: ДСН 3.3.6.037-99, затв. постановою Головного держсанлікаря України від 01.12.1999 р. № 37. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0037400-99> (дата звернення: 29.05.2026).
7. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2694-XII (в редакції від 01.01.2023 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 29.05.2026).
8. Монастирищенський котельний завод «Енергетик»: веб-сайт. URL: <https://energetik.com.ua> (дата звернення: 10.04.2026).

9. SIMATIC S7-1200 Programmable controller System Manual: Siemens, 2022. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/829/109814829/att_1120874/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf (дата звернення: 24.05.2026).
10. SITRANS P Pressure transmitter SITRANS P200 Compact Operating Instructions, 2020. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/371/109782371/att_1034063/v1/A5E03304326-AAdeen_P200_COI_en-US.pdf (дата звернення: 24.05.2026).
11. SINAMICS SINAMICS V20 Inverter Operating Instructions 2014. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/056/104426056/att_70877/v1/v20_operating_instructions_complete_en-US_en-US.pdf (дата звернення: 24.05.2026).
12. Technical Information Deltapilot S FMB70 Hydrostatic level measurement, 2021. URL: https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/7680/000/11/TI00416PEN_1713.pdf (дата звернення: 22.05.2026).
13. User's Manual Model DY Vortex Flowmeter, 2020. URL: <https://www.yokogawa.com/solutions/products-platforms/field-instruments/flow-meters/vortex-flowmeters/dy/> (дата звернення: 22.05.2026).
14. Advance Optima Continuous gas analyzers AO2000 Series Software version 5.1 Operator's manual, 2017. URL: <https://library.e.abb.com/public/78248a4e79bf4f5da3baf22bcd3ad438/42241011EN.pdf?xsign=smzik1SYFZO1yyx5fKGr6A06DRnvysjlCUo3vECP/n42sdxuOUQPhECXoztZt7il> (дата звернення: 23.05.2026).
15. Pressure transmitter for general industrial applications Model A-10, 2026. URL: https://www.wika.com/media/Data-sheets/Pressure/Pressuresensors/ds_pe8160_en_co.pdf (дата звернення: 23.05.2026).



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок:

151-18д-2026вр6

Автор:

151-18д-2026вр6

Науковий керівник / Експерт:

Модло Є.О.

ІД документа:

334249764

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації:

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Підрозділ:

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

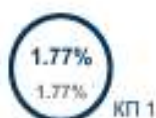
Дата звіту:

6/10/2026

Дата редагування:

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

8143

Кількість слів



КЗ

63801

Кількість знайдених

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		6
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		10

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Копіювати текст

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	Кількість ідентичних слів (фрагментів)
1	http://www.vtei.com.ua/doc/2018/konf18/5.pdf	17 (0.21 %)

**ЗГОДА здобувача(чки) вищої освіти
Державного університету економіки і технологій про перевірку
кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету**

Я, Черевач Олеся Олександрівна, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Автоматизація системи керування котельним агрегатом для підвищення енергоефективності технологічних процесів» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

«01» червня 2026р.


підпис


ініціали, прізвище (власноруч)