МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Кваліфікаційна робота / проєкт

першого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему Проект автоматизації водогрійного газо-мазутного котла в умовах міських теплових мереж. Система автоматичного регулювання розрідження у робочому просторі котла

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 6.1512
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код і назва спціальності)
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
Т. В. Ендік
(ініціали та призвище)
Керівник доцент, доцент, канд. техн. наук, Міняйло Н. О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент директор ТОВ «Електротехмаш» Курілець І. А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерний навчально науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології»
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва)
Спеціалізація
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри Д. М. Морозов
"____" _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧЕВІ
Ендік Тарасу Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Проект автоматизації водогрійного газо-мазутного котла в умовах міських теплових мереж. Система автоматичного регулювання розрідження у робочому просторі котла
Керівник роботи (проєкту) Міняйло Наталія Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від від «23» грудня 2025 року №1833-с
2. Строк подання студентом роботи 01 червня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи дані отримані під час виробничої практики, аналіз існуючого рівня автоматизації, технічна документація, ДСТУ
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вичення особливостей функціонування водогрійного котла; розробка технічного завдання; проєктування системи автоматизації; розробка технічної документації; розрахунок надійності системи регулювання; замовна специфікація на весь комплекс технічних засобів автоматизації; організаційне забезпечення системи атоматизації та розрахунок техніко-економіних показників; техніка безпеки та охорона праці; висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) об'єкт управління; схема матеріальних та інформаційних потоків; функціональна схема атоматизації; принципова електрична схема; принципова електрична схема живлення; монтажно-комутаційна схема щита

КВПіА; зовнішній вигляд щита; схема зовнішніх з'єднань; результати моделювання САР; компонування ПЛК та прикладна підпрограма; графічний інтерфейс АРМ оператора; техніко-економічні показники; висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Міняйло Н. О. доцент	11.02.2026	21.02.2026
2	Міняйло Н. О. доцент	24.02.2026	09.03.2026
3,4	Міняйло Н. О. доцент	10.03.2026	10.04.2026
5	Міняйло Н. О. доцент	13.04.2026	29.04.2026
6	Міняйло Н. О. доцент	30.04.2026	04.05.2026
7,	Міняйло Н. О. доцент	05.05.2026	15.05.2026
8	Міняйло Н. О. доцент	18.05.2026	23.05.2026

7. Дата видачі завдання 09 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Ознайомлення з системої автоматизації на дійочому виробництві	11.02.2026-21.02.2026	
2	Розробка технічного завдання на систему управління	24.02.2026-02.03.2026	
3	Проектування програмного забезпечення	03.03.2026-09.03.2026	
4	Розробка технічної документації	10.03.2026-10.04.2026	
5	Розрахунок надійності системи регулювання	13.04.2026-29.04.2026	
6	Розробка специфікації на комплекс засобів автоматизації	30.04.2026-04.05.2026	
7	Розрахунок техніко-економічних показників	05.05.2026-15.05.2026	
8	Оформленя вимог до охорони праі та техніки безпеки	18.05.2026-23.05.2026	
9	Перевірка та корегування кваліфікаційної роботи	25.05.2026-27.05.2026	
10	Оформлення кваліфікаційної роботи та підготовка доповіді	27.05.2026-30.05.2026	

Студент _____ Т. В. Ендік
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Н. О. Міняйло
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ А.В. Колосок
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Ендік Т.В. Проєкт автоматизації водогрійного газо-мазутного котла в умовах міських теплових мереж. Система автоматичного регулювання розрідження у робочому просторі котла.

Пояснювальна записка містить 96 сторінок, 38 рисунків, 8 таблиць, 3 додатки на 9 сторінках та список використаних джерел із 28 найменувань.

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», науковий керівник Міняйло Н.О., Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2026.

Мета роботи полягає у проєктуванні системи автоматизації, що забезпечує стабільне і безпечне функціонування котла КВГМ-10-150 у складі міської системи теплопостачання.

У роботі проведено аналіз конструктивних особливостей котельних установок і детально розглянуто технологію підігріву мережевої води. Оцінено поточний стан автоматизації об'єкта на аналогічних підприємствах України і надано перелік недоліків існуючої системи автоматизації. Сформульовано технічне завдання на розробку системи керування. Здійснено обґрунтований вибір сучасних контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації. Виконано розрахунки параметрів регулювання. Розроблено повний комплект технічної документації.

Наведено перелік потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів і запропоновано комплекс заходів щодо мінімізації ризиків та забезпечення безпеки персоналу. Розрахована собівартість та обґрунтовано економічну доцільність впровадження проєкту.

Ключові слова: водогрійний котел, автоматизація, проєкт автоматизації, контролер, щит, електрична схема, метрологічне забезпечення, програмне забезпечення.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1 ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА 9
1.1 Водогрійний котел і алгоритм його роботи 9
1.2 Технологічний процес підігріву води як об'єкт автоматизації 15
1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві 16
1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків 17
1.5 Стан рівня автоматизації на аналогічних об'єктах підприємств України 19
1.6 Недоліки існуючої системи управління 21
2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ 23
2.1 Вимоги до системи в цілому 23
2.2 Вимоги до функції, які виконуються системою 23
2.3 Вимоги до видів забезпечення 24
2.3.1 Вимоги до технічних засобів 24
2.3.2 Вимоги до програмного забезпечення 26
3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 27
3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА 27
3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру 28
3.3 Вибір математичної моделі САР розрідження у робочому просторі 29
3.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА 33
3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючи пристрої, вторинні прилади 33
3.4.2 Промисловий контролер Weintek cMT-CTRL01 38
3.4.3 Виконавчі механізми та регулюючі органи 45
4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ 58
4.1 Функціональна схема автоматизації системи управління водогрійного газо-мазутного котла КВГМ-10-150 58

4.2 Принципова електрична схема автоматизації. 61
4.3 Принципова електрична схема живлення 62
4.4 Монтажна комутаційна схема щита КВПіА 62
4.5 Зовнішній вигляд щита та вид на внутрішні панелі 63
4.6 Схема зовнішніх з'єднань 64
5 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ 66
5.1 Розрахунок надійності САР наближеним методом 66
6 ЗАМОВНА СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕСЬ КОМПЛЕКС ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ 71
7 ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ 72
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації 72
7.2 Розрахунок техніко-економічних показників 74
7.2.1 Розрахунок одноразових витрат на створення автоматизованої системи управління 75
7.2.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на функціонування автоматизованої системи управління 77
7.2.3 Розрахунок показників економічної ефективності автоматизованої системи 79
8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ 83
8.1 Загальні положення 83
8.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори та заходи їх усунення 83
8.3 Вимоги до приміщення котельні 86
8.4 Безпека при роботі з обладнанням 87
8.5 Електробезпека 89
8.6 Пожежна безпека 89
8.7 Охорона праці та захист працівників 91
8.8 Автоматизація та дистанційне управління 91
ВИСНОВКИ 92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 94

ДОДАТОК А Програма моделювання перехідного процесу в середовищі Matlab..... 98
ДОДАТОК Б Программа автоматичного регулювання розрідження на мові ST в середовищі CODESYS 100
ДОДАТОК В Замовна специфікація на комплекс технічних засобів..... 106

ВСТУП

У сучасних умовах підвищення вимог до енергоефективності та екологічної безпеки теплових установок, питання модернізації водогрійних котлів набуває особливої актуальності. Значна частина котельного обладнання, що експлуатується на підприємствах комунальної енергетики України, морально та фізично застаріла, має низький коефіцієнт корисної дії та підвищені витрати палива. Це призводить до зростання собівартості виробництва теплової енергії та негативно впливає на довкілля.

Водогрійні котли типу КВГМ-10-150 широко застосовуються для теплопостачання промислових і житлових об’єктів. Вони мають потужність 10 МВт і працюють на природному газі або мазуті, забезпечуючи нагрів води до температури 150 °С. Проте у процесі тривалої експлуатації обладнання втрачає свої первинні технічні характеристики, знижується ККД, зростають витрати палива та кількість викидів шкідливих речовин.

Завданням даного проєкту є техніко-економічне обґрунтування проектних рішень з модернізації водогрійного котла КВГМ-10-150 і створення автоматичної системи регулювання розрідження в робочому просторі котла, з метою підвищення його енергоефективності, надійності та екологічності.

1 ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА

1.1 Водогрійний котел і алгоритм його роботи

Теплогенеруюча установка (ТГУ) – це складна споруда, що включає в себе різне обладнання, пов'язане в єдине ціле загальною технологічною схемою. До ТГУ відносяться парові котли та водогрійні котли. Водогрійні котли призначені для виробництва необхідної кількості кінцевого продукту (гарячої води) із заданими споживачем показниками якості.

Водогрійний котел – представляє собою сукупність теплообмінних пристроїв, підключених один до одного, у яких тепло джерела енергії передається воді. Вони розрізняються за видом палива, за призначенням, за конструкцією.

За конструкцією водогрійні котли бувають чавунні та сталеві, що накладає обмеження на їх використання за кінцевою температурою і продуктивністю. Чавунні водогрійні котли використовуються для підігріву води до 115 °С і продуктивністю до 400 кВт, мають високу теплову інерційність, та довговічність. Сталеві, можуть підігрівати воду до 150 °С і мають продуктивність від 4,75 МВт до 210 МВт. Вони легші за чавунні і швидше реагують на зміни в навантаженні.

За призначенням водогрійні котли розділяються на технологічні, які використовуються у промислових процесах і котли опалення.

Джерелом енергії для водогрійний котлів різного призначення є природні і штучні палива в твердому, рідкому і газоподібному станах, теплота вихідних газів технологічних установок, теплота екзотермічних перетворень, що виділяється в окремих технологічних процесах.

Загалом водогрійний котел, складається з наступних елементів:

а) топкова камера, служить для спалювання палива і перетворення його хімічної енергії в тепло нагрітих газів;

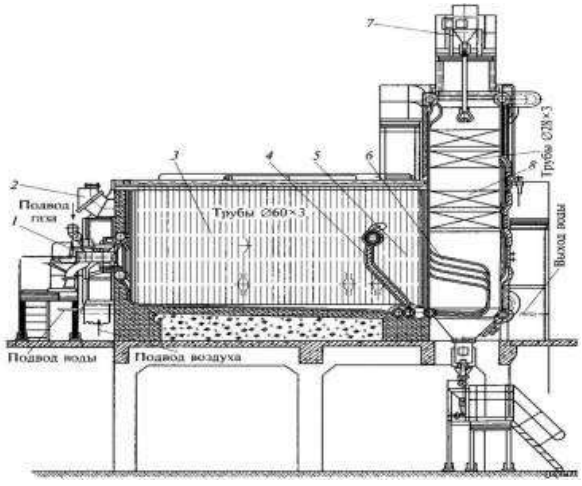
б) живильні пристрої (насоси, інжектори) призначені для подання води до котла;

в) тягодутьові пристрої, які складаються з дутьових вентиляторів, системи газоповітряводів, димососів і димової труби, з допомогою яких забезпечуються подача необхідної кількості повітря в топку і рух продуктів згоряння по газоходам котла з видаленням в атмосферу.

Модифікацією водогрійних котлів є прямоточний котел КВ-ГМ-10-150. Він призначений для роботи на газі та мазуті і нагрівання води до 150 °С, яка використовується як теплоносій у системах опалення, вентиляції, гарячого водопостачання промислового та побутового призначення, а також для технологічних цілей [2].

Продуктивність КВ-ГМ-10-150 складає 10 Гкал/год (11,63 МВт), а ККД сягає 91,9/ 88,4 % при використанні газу, мазуту відповідно. Тиск води до 2,5 МПа, витрата води через котел 123,5 т/год. Площа поверхні нагріву 295,1 м^2 [3].

Принципова схема водогрійного котла КВ-ГМ-10-150 представлена на рис. 1.1.



1 – газомазутний пальник, 2 – вибуховий клапан, 3 – топкова камера, 4 – проміжний екран, 5 – камера догоряння, 6 – фестон, 7 – установка дробоочищення, 8 – конвективна шахта

Рисунок 1.1 – Водогрійний котел КВ-ГМ-10-150

Топкова камера 3 (рис.1.1) повністю екранована трубами діаметром 60 х 3 мм з кроком 64 мм, які утворюють:

а) лівий та правий бічні екрани топки – вертикальні труби, приварені до нижніх та верхніх колекторів;

б) передній (фронтовий) екран – вигнуті труби, які екранують фронт та під (низ) топки; труби приварені до переднього (фронтового) та далекого (подового) колекторів; передній (фронтовий) колектор розташований ближче до поду, а над ним встановлений пальник;

в) проміжний (поворотний) екран — вертикально-зігнуті труби, встановлені у два ряди, які приварені до верхнього та нижнього колекторів та виконані у вигляді газощільного екрану; поворотний екран не доходить до стелі топки, залишаючи вікно для проходу газів топки з топки в камеру догоряння.

Конвективна шахта 8 (рис.1.1) складається з:

а) фестонний екран - вертикально-зігнуті труби, приварені до верхнього і нижнього колекторів, причому у верхній частині труби виконані у вигляді газощільного цільнозварювального екрану, а в нижній частині стіни труби розведені в чотирирядний фестон; фестонний екран є одночасно заднім екраном топки;

б) задню стінку - вертикальні труби, приварені до верхнього та нижнього колекторів;

в) ліву та праву бічні стінки шахти – вертикальні стояки (труби діаметром 83 х 3,5 мм, встановлені з кроком 128 мм), приварені до верхніх та нижніх колекторів, а в ці стояки вварені три пакети горизонтально розташованих U-подібних ширм, виконаних з труб діаметром 28 х 3 мм.

На фронтовій стінці топки встановлюється один ротаційно газомазутний пальник (РГМП) (рис. 1.2).

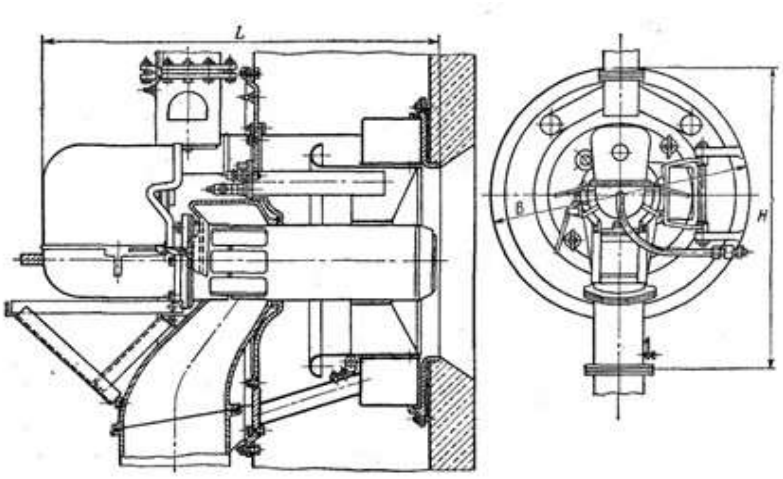


Рисунок 1.2 – Ротаційно газомазутний пальник РГМП-10

Між проміжним (поворотним) екраном топки та фестонним екраном розташована камера догоряння. У відповідних місцях верхніх та нижніх колекторів екранів топки та стінок конвективної шахти встановлені заглушки (перегородки) для забезпечення багатоходового руху води трубами - вгору, вниз і так далі. Для підтримки швидкостей руху не більше 0,9... 1,9 м/с.

Труби задньої стінки шахти мають діаметр 60 х 3 мм і встановлені з кроком 64 мм, а труби фестонного екрану – діаметр 60 х 3 мм і встановлені з кроком s = 256 мм і S2 – 180 мм. Усі колектори та перепускні труби котла мають діаметр 219 х 10 мм. Усі верхні колектори топки та конвективної шахти мають повітряники для випуску повітря (при заповненні казана водою), а нижні – спускові вентилі.

Газоповітряний тракт. Паливо та повітря подаються в пальник, а в топці утворюється смолоскип горіння. Теплота від топкових газів у топці передається всім екранним трубам (радіаційним поверхням нагріву), а від труб теплота передається воді, що циркулює по екранах. З топки, огинаючи зверху проміжний (поворотний) газощільний екран, топкові гази входять у камеру догоряння, потім унизу проходять чотирирядний фестон, потрапляють у конвективну шахту, де теплота передається воді, що циркулює по пакетах секцій (ширм) і, пройшовши шахту знизу гази димососом видаляються в димар і в атмосферу.

Для видалення забруднень та відкладень із зовнішньої поверхні труб конвективної шахти котли обладнуються дробоочищенням, що використовує чавунний дріб, який подається до конвективної шахти.

Зворотна мережева вода з температурою 70 °С мережевим насосом подається в далеку (від фронту) частину нижнього колектора лівого бокового екрана топки і розподіляється по ньому до заглушки (рис. 1.3).

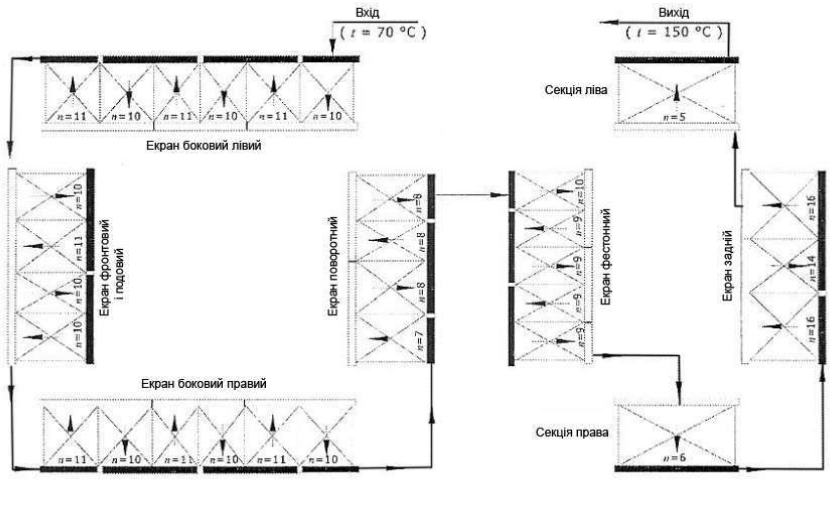


Рисунок 1.3 – Схема руху води в водогрійному котлі КВГМ-10-150

Після ряду підйомно-опускних рухів по лівому бічному екрані вода з нижнього колектора перепускної труби переходить у фронтовий верхній колектор переднього (фронтового) екрану.

По лівій стороні фронтового та подового екрану вода надходить у нижній, дальній колектор, звідки після низки підйомно-опускних рухів праворуч екрана знову повертається у фронтовий верхній колектор. По перепускній трубі вода надходить у нижній колектор правого бокового екрана топки і після ряду підйомно-опускних рухів по ньому, з нижнього колектора, по перепускній трубі, переходить в нижній колектор поворотного (проміжного) екрану. Після низки підйомно-опускних рухів по проміжному екрану вода з нижнього колектора, по перепускній трубі переходить у нижній колектор фестонного екрану, проходить його, піднімаючись і опускаючись, і з

верхнього колектора фестонного екрану надходить у верхній колектор правої бічної стіни конвективної шахти.

По стояках та U-подібних пакетах секцій вода проходить зверху вниз праву бічну стінку шахти та з нижнього колектора переходить у нижній колектор задньої стінки конвективної шахти. Після підйомно-опускних рухів з верхнього колектора заднього екрану вода переходить у верхній колектор лівої бічної стіни конвективної шахти і, проходячи по стоякам і U-подібним ширмам: зверху вниз, вода з нижнього колектора йде в тепломережу.

Котел заповнюється водою за допомогою відкриття дренажних, повітряних вентилів, а потім відкриття засувки на вході води у котел. Повітряні вентилі мають буди закриті після подання води з них безперервним струменем. Після промивки котла через дренажні лінії, він підключається до мережі, за допомогою засувки на виході із котла. Дренажні лінії закриваються.

За допомогою димососу і вентилятору необхідно провентилювати топкову камеру і газоходи котла не менше 10 хв.

Для утворення смолоскипу горіння у котлі використовується ротаційний газо- мазутний пальник РГМП-10.

При роботі котла на газу, тиск газу має бути забезпечено на рівні 0,02 МПа. Шибер первинного повітря має бути закритим і вентилятор первинного повітря не вмикається. Положення лопатей на вентиляторі вторинного повітря, має забезпечувати 20 % витрату повітря. Розрідження в топковій камері має бути забезпечено на рівні 20-30 Па. Після вмикання запалювального пристрою, необхідно переконатись в наявності запального факелу. Відкрити подачу газу на пальник і після запалення витримати 5хв. роботи на мінімальному навантажені. Відключити запальний пристрій і встановити необхідний режим роботи.

При роботі на мазуті, необхідно забезпечити тиск палива на рівні 0,1–0,2 МПа, а температуру палива перед форсунками на рівні 90–100 °С. Шибер первинного повітря має бути встановлений на ¼ повного відкриття, забезпечуючи тиск первинного повітря на рівні 60–70 % від номінального.

Положення лопатей на вентиляторі вторинного повітря, має забезпечувати 20 % витрату повітря. При цьому розрідження в топковій камері забезпечується на рівні 20-30 Па, більше розрідження може викликати підсос повітря. Після запуску електромотору форсунки і вмикання запалювального пристрою, необхідно переконатись в наявності запального факелу. Відключити запальний пристрій і встановити необхідний режим роботи.

Теплота від топкових газів у топці передається всім екранним трубам (радіаційним поверхням нагріву), а від труб теплота передається воді, що циркулює по екранах. З топки, огинаючи зверху проміжний (поворотний) газощільний екран, топкові гази входять у камеру догоряння, потім унизу проходять чотирирядний фестон, потрапляють у конвективну шахту, де теплота передається воді, що циркулює по пакетах секцій (ширм) і, пройшовши шахту знизу гази з температурою 185–230 °С димососом видаляються в димар і в атмосферу.

Зворотна мережева вода мережевим насосом під тиском 2,5 МПа подається в далеку (від фронту) частину нижнього колектора лівого бокового екрана топки і розподіляється по ньому до заглушки. За для уникнення низькотемпературної корозії температура зворотної мережевої води має підтримуватись в діапазоні 60–70 °С. Пройшовши всі екрани, вода з нижнього колектора з температурою 150 °С під тиском не менше 1,0 МПа йде в тепломережу.

При роботі котла також необхідно температуру поверхні обмурівки, яка не повинна перевищувати 55 °С.

1.2 Технологічний процес підігріву води як об’єкт автоматизації

Підтримка заданого значення розрідження в робочому просторі є одним із ключових факторів для стабільної, безпечної та ефективної роботи котла КВГМ-10-150. Розрідження створює умови, за яких димові гази надійно відводяться в димову трубу і не прориваються в котельне приміщення – це

критично для запобігання загазуванню і вибухонебезпечним ситуаціям. Також розрідження забезпечує оптимальне згоряння палива і ефективність теплообміну в котлі.

Підтримка розрідження в топковій камері в діапазоні 20-30 Па забезпечується направляючим апаратом димососу. Димосос рухає димові гази в напрямку від робочого простору до димової труби, а направляючий апарат димососу регулює швидкість руху, а отже і тягу. Зміною кута лопатей направляючого апарату регулюється розрідження в робочому просторі водогрійного котла.

Таким чином, автоматичне регулювання розрідження в топковій камері водогрійного котла відбувається за рахунок, керуючого впливу на направляючий апарат димососу відповідно до вимірюваного і заданого розрідження в робочому просторі.

Отже, розрідження в робочому просторі є регульована величина. Керуючий вплив – кут нахилу лопатей направляючого апарату димососа. А зміна продуктивності роботи котла (витрата повітря) є основним збуренням.

Безпосередньо об’єкт керування можна охарактеризувати, як динамічна ланка з запізнюванням, що обумовлено інерційністю газоповітряного тракту та механічного приводу.

1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві

У зв’язку з розробкою в 60-80х роках минулого століття, існуюча автоматична система регулювання параметрів водогрійного котла КВГМ-10-150 застаріла, як морально так і фізично. Завдання підвищення економічності процесу горіння в топці котла КВ-ГМ-10-150 є критичним технічним питанням. Традиційні принципи керування водогрійними котлами базуються на жорстких режимних картах, які не можуть забезпечити економічну і в той же час ефективну роботу котла.

Існуюча система автоматичного регулювання, побудована на аналоговій базі, тривалий час демонструвала надійність, проте в сучасних умовах вона не відповідає жорстким вимогам щодо енергоефективності та екологічності. Більшість встановлених приладів вже давно перевищили термін експлуатації і потребують ремонту або заміни.

Основними регулюючими приладами для регулювання палива, вторинного повітря та розрідження, виступають регулятори Р-25, в яких зміна закону регулювання або часу інтегрування здійснюється за допомогою механічних перемикачів, що не дозволяє реалізувати складні алгоритми адаптивного або екстремального керування, для досягнення максимального ККД.

Первинні прилади – датчики тиску, температури чутливі до електромагнітних завад, зміни температури навколишнього середовища і потребують додаткових нормуючих приладів. При цьому, застарілі стандарти нормуючого сигналу 0-20 мА не дозволяють системі виявити обрив лінії зв'язку або забиття імпульсної трубки.

Система може забезпечувати підтримку необхідних параметрів (розрідження в топці, кількість повітря та палива), але позбавлена можливості будь-якої інтелектуальної діагностики, енергоефективного керування та цифрової передачі даних.

1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків

На рис. 1.4 представлена схема матеріальних та інформаційних потоків водогрійного котла КВГМ-10-150.

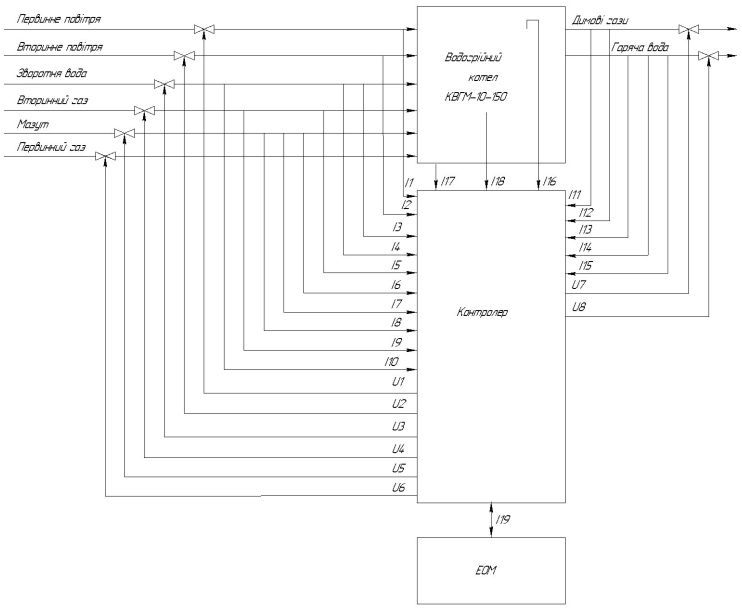


Рисунок 1.4 – Схема існуючих матеріальних і інформаційних потоків

Потоки інформаційних сигналів:

I_1 – сигнал з первинного перетворювача тиску первинного повітря, 6.3 кПа;

I_2 – сигнал з первинного перетворювача тиску вторинного повітря, 1.35 кПа;

I_3 – сигнал з первинного перетворювача тиску зворотної води, 2,5 МПа;

I_4 – сигнал з первинного перетворювача температури зворотної води, 60-70 °С;

I_5 – сигнал з первинного перетворювача тиску первинного природного газу, 20 кПа;

I_6 – сигнал з первинного перетворювача тиску мазуту, 200 кПа;

I_7 – сигнал з первинного перетворювача температури мазуту, 90-100 °С;

I_8 – сигнал з первинного перетворювача витрати мазуту, 1220 кг/г.;

I_9 – сигнал з первинного перетворювача витрата газу, 1260 $м^3$/г.;

I_{10} – сигнал з первинного перетворювача витрати зворотної води, 123.5 т/г;

I_{11} – сигнал з первинного перетворювача тиску димових газів, 1,2 Па;

I_{12} – сигнал з первинного перетворювача температури димових газів, 230 °С;

I_{13} – сигнал з первинного перетворювача тиску гарячої води, 1,08 МПа;

I_{14} – сигнал з первинного перетворювача температури гарячої води, 150 °С.

I_{15} – сигнал з первинного перетворювача витрати гарячої води, 123.5 т/г;

I_{16} – сигнал з первинного перетворювача розрідження у топковій камері, 20-30 Па;

I_{17} – сигнал з первинного перетворювача температури обмурівки, 55 °С;

I_{18} – сигнал наявності полум’я;

I_{19} – зв’язок з ЕОМ.

Потоки керуючих сигналів:

U_1 – сигнал увімкнення вентилятора первинного повітря;

U_2 – сигнал керування направляючим апаратом вентилятора вторинного повітря;

U_3 – сигнал керування засувкою зворотної води;

U_4 – сигнал керування засувкою вторинного природного газу;

U_5 – сигнал керування клапаном мазуту;

U_6 – сигнал увімкнення клапана первинного природного газу;

U_7 – сигнал керування направляючим апаратом димососа;

U_8 – сигнал керування засувкою гарячої води.

1.5 Стан рівня автоматизації на аналогічних об’єктах підприємств України

Сучасний етап розвитку автоматизації характеризується активним переходом від застарілих засобів автоматизації (приладів Р-25, КСД, КСП) до розподілених систем керування (РСК) на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК). Для газомазутних котлів типу КВ-ГМ-10-150 на провідних

підприємствах галузі (наприклад, об'єкти комунальної енергетики міст Києва, Харкова, Львова) впроваджуються сучасні рішення.

Замість розрізнених аналогових регуляторів, що виконували лише одну функцію (регулювання тиску або температури), сьогодні стандартом є використання ПЛК. В Україні найбільш поширеними для автоматизації водогрійних котлів є:

а) Siemens Simatic S7-1200/1500 – використовується на великих ТЕЦ через високу надійність;

б) Schneider Electric (Modicon) – часто зустрічається в проєктах модернізації за кошти міжнародних грантів (EBRD);

в) вітчизняні рішення на базі МІК-51, МІК-52 від «Мікрол» – популярні завдяки повній адаптації до специфіки українських котелень та нижчій вартості порівняно із західними аналогами. Вони замінюють цілі щити старої автоматики одним компактним пристроєм;

г) Weintek активно розширює присутність в Україні, пропонуючи повноцінні промислові ПЛК за дуже привабливими цінами.

На діючих об'єктах України замість диференційно-трансформаторних датчиків ДМ, ДТ-2, П-ДТ, використовуються перетворювачі з уніфікованим сигналом 4-20 мА + HART-протокол. Заміна ДТ-2 на малогабаритні тензорезистивні датчики серій «Сапфір», «Аплісенс» або «Rosemount» усуває проблему витікання масла та забезпечує похибку вимірювання до 0.1 % замість 1-1.5 % у старих приладів.

Одночасно впроваджується частотно-регульовані приводи (ЧП) для двигунів димососів та дуттьових вентиляторів. У старих системах регулювання здійснювалося поворотом шиберів (направляючих апаратів), що призводило до великих втрат енергії. Сучасні системи автоматизації, з використанням ЧП виробництва «Danfoss» або «ABB», інтегровані в загальну логіку ПЛК, що дозволяє економити до 30-40 % електроенергії на власних потребах котла.

Також, практикою стало встановлення цирконієвих аналізаторів кисню безпосередньо в газоході, наприклад датчики серії «Lambda». Це дозволяє реалізувати контур автоматичної корекції співвідношення «паливо-повітря», що мінімізує викиди та забезпечує роботу котла з мінімальним коефіцієнтом надлишку повітря.

На багатьох котельнях Києва, де експлуатуються котли серії КВ-ГМ, було проведено комплексну заміну автоматики «Контур» на сучасні системи з встановленням ПЛК серії Siemens S7-1500 або вітчизняні МІК-51. Виконана киснева корекція, за рахунок встановлення зондів «ABB» та «Zullig», що дозволило автоматично підтримувати оптимальне співвідношення «газ-повітря» при зміні калорійності газу.

В м. Житомир за проектом EBRD на димососи та вентилятори котлів КВ-ГМ встановлено перетворювачі частоти «Danfoss VLT». Старі дифманометри ДМ замінені на цифрові датчики тиску «Aplisens» (Польща) з похибкою 0,1 %.

На котельні ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» впроваджено екстремальне регулювання за алгоритмом, який шукає максимум ККД при зміні тиску доменного газу. Замість старих МЕО встановлено інтелектуальні електроприводи серії «Auma» або «Regada», які мають вбудовані датчики положення та не потребують окремих блоків ДУП-М [4].

1.6 Недоліки існуючої системи управління

Система управління і принцип роботи, побудований на жорстких режимних картах морально та фізично застаріла.

Більшість встановлених приладів зняті з виробництва. Відсутність оригінальних запчастин змушує персонал використовувати вживані компоненти, що знижує загальну відмовостійкість системи.

Використання великої кількості проміжних перетворювачів сигналу збільшує ймовірність відмови обладнання. А застарілі стандарти нормуючого сигналу 0-20 мА не залишають можливості для контролю обриву лінії.

Застарілі аналогові регуляторі не дозволяють реалізувати складні алгоритми адаптивного або екстремального керування.

Відсутність цифрових інтерфейсів передачі даних (RS-485, Ethernet) та підтримки протоколів (Modbus, Profinet) унеможливлює інтеграцію водогрійного котла у сучасну SCADA-систему загальноміської диспетчеризації. Це обмежує можливості дистанційного моніторингу, архівування даних та оперативного реагування на аварійні ситуації.

В сукупності, наведені недоліки збільшують вірогідність відмови, простоїв обладнання, зменшують надійність і ефективність системи в цілому.

2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Вимоги до системи в цілому

Система автоматизації (СА) водогрійного котла КВГМ-10-150 призначена для забезпечення оптимального, безпечного та економічного режиму роботи котла при мінімальному втручанні обслуговуючого персоналу.

СА повинна забезпечувати автоматичне керування технологічними параметрами процесу горіння, подачею палива, повітря, води, а також контроль параметрів безпеки та діагностику стану обладнання.

При розробці технічного завдання необхідно врахувати умови експлуатації водогрійного котла, які характеризуються:

а) температура в котельному відділенні від 0 до +45 °С (у верхній частині котла в районі обмуровування до +60 °С);

б) підвищеним рівнем вологості;

в) значним рівнем напруженості електромагнітних полів, які створюються основним устаткуванням котельні (эл. приводу й эл. двигуни насосів вентиляторів і т.п.);

г) наявністю високого рівня напруженості магнітних полів;

д) можливою наявністю значного рівня перешкод у ланцюгах електроживлення та заземлення.

Вимоги до надійності системи в цілому:

а) середній час напрацювання на відмову системи не менше 10 000 годин;

б) середній час відновлення працездатності не більше 4 години;

в) термін служби системи 10-15 років.

2.2 Вимоги до функції, які виконуються системою

СА повинна реалізовувати такі функції:

а) автоматичне регулювання:

1) температури води на виході з котла на рівні 150 °С;

2) розрідження в топковій камері в межах 20-30 Па;

3) співвідношення «паливо–повітря» для забезпечення повного згоряння палива.

б) контроль та сигналізація:

1) контроль температури, тиску, витрати палива, повітря та води;

2) контроль положення запірної та регулюючої арматури;

3) сигналізація про перевищення граничних параметрів або відмову обладнання;

4) автоматичне відключення котла у разі аварійної ситуації.

в) інформаційно-обчислювальні функції:

1) візуалізація технологічних параметрів на операторському моніторі (SCADA-система);

2) ведення архіву даних (тренди, події, аварії);

3) формування звітів про роботу котла (годинні, добові, місячні);

4) дистанційне керування режимами роботи.

г) функції безпеки:

1) блокування пуску при відсутності розпалювального полум’я або тиску газу;

2) автоматичне вимкнення при перегріві, перевищенні тиску або втраті тяги.

2.3 Вимоги до видів забезпечення

2.3.1 Вимоги до технічних засобів

Система має бути побудована на базі промислового контролера із підтримкою протоколів Modbus, Profibus або Ethernet.

Всі датчики і виконавчі механізми повинні мати інтерфейси сумісні з контролером. Датчики мають бути з унфіківаним токовим вихідним сигналом 4-20 мА або дискретним.

Використання диспетчерського комп'ютера (HMI/SCADA) для візуалізації та керування процесом:

а) процессор не менше 4 ядер (частота від 3.0 ГГц) Intel Core i5;

б) оперативна пам'ять не менше 16 ГБ DDR4 для швидкої обробки баз даних та трендів;

в) накопичувач SSD типу NVMe для швидкий запуск системи та запис логів;

г) мережеві інтерфейси, як мінімум 2 порти Ethernet один для зв'язку з ПЛК у локальній мережі, другий для передачі даних на рівень підприємства;

д) монітор 24-27";

е) ДБЖ UPS 1500 VA.

В системі має бути передбачено резервування живлення контролера, входів/виходів модулів розширення.

В таблиці 2.1. наведено параметри, що контролюються та керуються системою автоматизації.

Усі елементи системи автоматизації повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 61508 та ДСТУ IEC 61131 щодо надійності та безпеки.

Таблиця 2.1 – Метрологічне забезпечення системи автоматизації

Параметр	Одиниці виміру	Діапазон вимірювання	Середнє значення
1. Тиск первинного повітря	кПа	0-8	6,3
2. Тиск вторинного повітря	кПа	0-3	1,35
3. Тиск зворотньої. води	МПа	2-3	2,5
4. Температура зворотної води	°С	20-80	70
5. Тиск природного газу	кПа	15-20	20
6. Тиск мазуту	МПа	0,1-0,2	0,15

Продовження таблиці 2.1

Параметр	Одиниці виміру	Діапазон вимірювання	Середнє значення
7. Температура мазуту	°С	90-100	95
8. Витрата мазуту	т/г	1,1-1,3	1,22
9. Витрата газу	$м^3$/г	1200-1400	1290
10. Витрата зворотної води	т/г	123,5	123,5
11. Тиск димових газів	Па	0-2	1,02
12. Температура димових газів	°С	0-240	185-230
13. Тиск гарячої води	МПа	0,98-1,08	10
14. Температура гарячої води	°С	20-155	150
15. Витрата гарячої води	т/г	123,5	123,5
16. Розрідження у топковій камері	Па	20-30	25
17. Температура обмурівки	°С	0-60	55°С
18. Наявність полум’я		0-1	

2.3.2 Вимоги до програмного забезпечення

Програмне забезпечення контролера має бути розроблене на основі стандарту IEC 61131-3 (мови LAD, FBD або ST).

SCADA-система повинна забезпечувати:

а) відображення мнемосхем котельної;

б) формування трендів основних параметрів;

в) ведення журналу подій і тривог;

г) можливість зміни уставок та режимів роботи;

д) ідентифікацію користувачів та захист паролем і мати різні рівні доступу (оператор, інженер, адміністратор).

3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА

Для забезпечення надійної та ефективної роботи водогрійного котла КВ-ГМ-10-150 обрано ієрархічну структуру системи автоматизації з трьох рівнів. Такий підхід дозволяє розмежувати завдання збору даних, безпосереднього цифрового керування та диспетчерського нагляду.

Для системи автоматизованого управління котлом КВ-ГМ-10-150, необхідно мати:

а) набір датчиків для вимірювання температури, тиску, розрідження, витрати;

б) виконавчі механізми;

в) програмовано-логічний контролер для керування процесом;

г) диспетчерський пункт для моніторингу параметрів та стану системи в реальному часі, внесення змін у роботу котла, а також перегляду архівної інформації.

Нижній рівень (рівень збору даних та виконавчих пристроїв) На цьому рівні зосереджені засоби отримання первинної інформації про стан об’єкта та механізми впливу на технологічний процес.

Для контролю параметрів (температура води на вході/виході, тиск газу та повітря, розрідження в топці, витрата палива) використовуються датчики з уніфікованим вихідним сигналом (4-20 мА). Це забезпечує високу завадостійкість та сумісність із входами контролера.

В якості виконавчі механізмів використовуються електричні однообертові (МЕО), що керують положенням заслінок, клапанів, направляючого апарату, регулюючи подачу палива та повітря та розрідження.

Середній рівень (рівень контролю та управління) – це «інтелектуальний» центр системи, де реалізуються алгоритми автоматичного регулювання та логічного захисту.

В якості ПЛК обрано Weintek cMT-CTRL01 [7]. Вибір даного контролера обґрунтований його високою продуктивністю, підтримкою протоколу багатьох промислових протоколів для швидкісного обміну даними та інтеграцією з хмарними сервісами і вбудованою підтримкою CODESYS. Контролер обробляє сигнали від датчиків, формує керуючі сигнали для МЕО згідно з обраними законами регулювання та забезпечує безаварійну зупинку котла у разі виходу параметрів за допустимі межі.

Верхній рівень (рівень операторського контролю / SCADA), призначений для візуалізації технологічного процесу та взаємодії людини з машиною (HMI). ЕОМ зі SCADA-системою на базі персонального комп'ютера реалізується графічний інтерфейс (мнемосхема котла), що дозволяє оператору:

а) отримувати інформацію про стан об'єкта в реальному часі;

б) дистанційно змінювати уставки регуляторів;

в) аналізувати тренди (графіки) параметрів;

г) переглядати архів аварійних подій.

Обрана структура забезпечує автономність: навіть при тимчасовій втраті зв'язку з верхнім рівнем ЕОМ, середній рівень ПЛК продовжує виконувати програму керування та захисту, що є критично важливим для безпечної експлуатації котла КВ-ГМ-10-150. Використання стандартних протоколів передачі даних робить систему гнучкою для подальшої модернізації.

3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру

Регулювання тиску вторинного повітря залежить від кількості палива (природний газ, мазут) і виконується за ПІД законом.

При використанні природного газу, як палива, тиск природного газу регулюється в залежності від температури гарячої та зворотної води і виконується за ПІД законом.

При використанні мазуту, як палива, тиск мазуту регулюється в залежності температури гарячої та зворотної води за ПІД законом.

Розрідження у топковій камері виконується за ПІ законом і регулюється положенням направляючого апарату димососу.

Тиск первинного повітря, зворотної і гарячої води, димових газів, температура мазуту, димових газів, обмурівки входить до системи контролю і сигналізації.

3.3 Вибір математичної моделі САР розрідження у робочому просторі

Процес регулювання розрідження – це динамічна система, яка складається з двох послідовних ланок: виконавчого механізму та газоповітряного тракту [5]. Виконавчий механізм є класичною інтегруючою ланкою, а передавальна функція якої знаходиться за формулою 3.1:

$$W_{\text{вм}}(S) = \frac{\text{К}_{\text{вм}}}{S}, \tag{3.1}$$

де S – комплексна змінна Лапласса;

$\text{К}_{\text{вм}}$ – коефіцієнт підсилення.

Газоповітряний тракт – це аперіодична ланка з транспортним запізненням, а її передавальна функція якої визначається за формулою 3.2:

$$W_{\text{об}}(S) = \frac{\text{К}_{\text{об}}}{\text{Т}_{\text{об}}S+1} e^{-\tau S}, \tag{3.2}$$

де $\text{К}_{\text{об}}$ – коефіцієнт підсилення;

$\text{Т}_{\text{об}}$ – стала часу;

τ затримка часу.

Підсумкова передавальна функція визначається за формулою 3.3:

$$W_{\text{заг}}(S) = W_{\text{вм}} * W_{\text{об}}(S) = \frac{\text{К}_{\text{об}} * \text{К}_{\text{вм}}}{S(\text{Т}_{\text{об}} S + 1)} e^{-\tau S} \quad (3.3)$$

З урахування даних розрахунку з'єднання виконавчого механізму та регулювального органу приймаємо, що робочий хід валу виконавчого механізму МЕО-100/63-0,25 складає 80°. Враховуючи, що повний хід ВМ складає 90°, а час руху 63с, тоді швидкість ВМ:

$$\text{К}_{\text{вм}} = \frac{100}{56} = 1{,}78\,{}^{\circ}/_{\text{с}}$$

Коефіцієнт підсилення $\text{К}_{\text{об}} = 0{,}25\,{}^{\text{Па}}/_{\text{с}}$

Стала часу $\text{Т}_{\text{об}} = 5\text{с}$

Транспортна затримка $\tau_{\text{об}} = 1{,}2\text{с}$

За формулою 3.3 обчислюємо підсумкову передавальну функцію:

$$W_{\text{заг}}(S) = \frac{0{,}445}{5S + 1} e^{-1{,}2}$$

Загальний вигляд крива розгону відображає рис. 3.1.

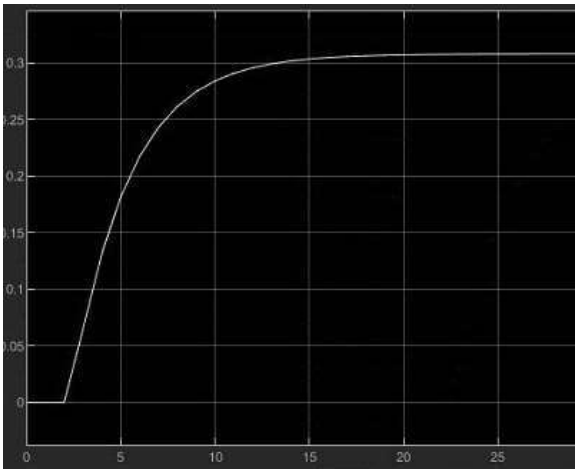


Рисунок 3.1 – Крива розгону

Відношення транспортного запізнення до сталої часу $\frac{\tau_{об}}{T_{об}} = \frac{1,2}{5} = 0,24$ знаходиться в межах $0,1<\frac{\tau_{об}}{T_{об}}<0,5$ тому обрано ПІ закон регулювання.

Коефіцієнти для перехідного аперіодичного процесу:

$$К_р = \frac{0,6*5}{0,445*1,2} = 5,617$$
$$T_i = 0,6 * 5 = 3,0$$

Коефіцієнти для перехідного процесу з 20% перерегулюванням:

$$К_р = \frac{0,7*5}{0,445*1,2} = 6,554$$
$$T_i = 0,7 * 5 = 3,5$$

Коефіцієнти для перехідного процесу з 40% перерегулюванням:

$$К_р = \frac{5}{0,445*1,2} = 9,363$$
$$T_i = 5$$

Програма моделювання перехідного процесу в Matlab представлена в Додаток А.

Графік аперіодичного перехідного процесу зображено на рис. 3.2.

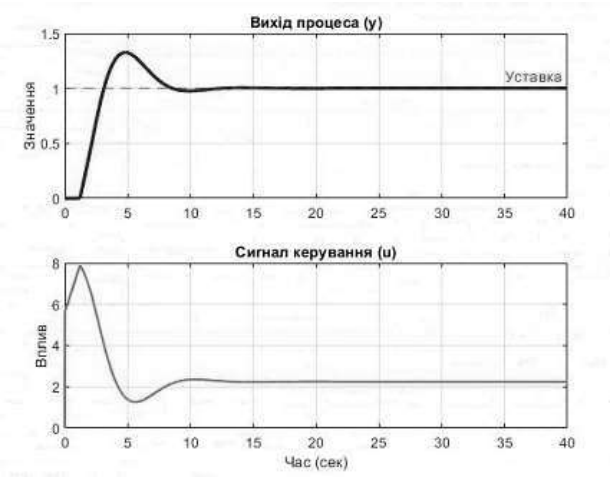


Рисунок 3.2 – Перехідний аперіодичного процес

Графік перехідного процесу з 20 % перерегулюванням відображає графік на рис. 3.3.

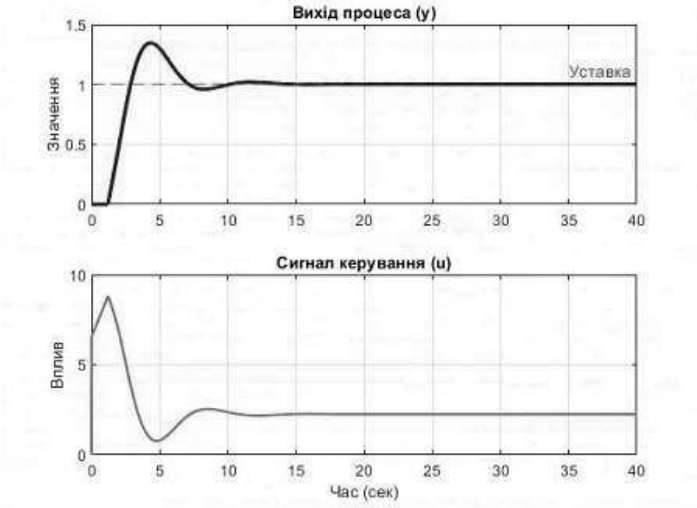


Рисунок 3.3 – Перехідний процес з 20 % пере регулюванням

Графік перехідного процесу з 40 % перерегулюванням зображено на рис.3.4.

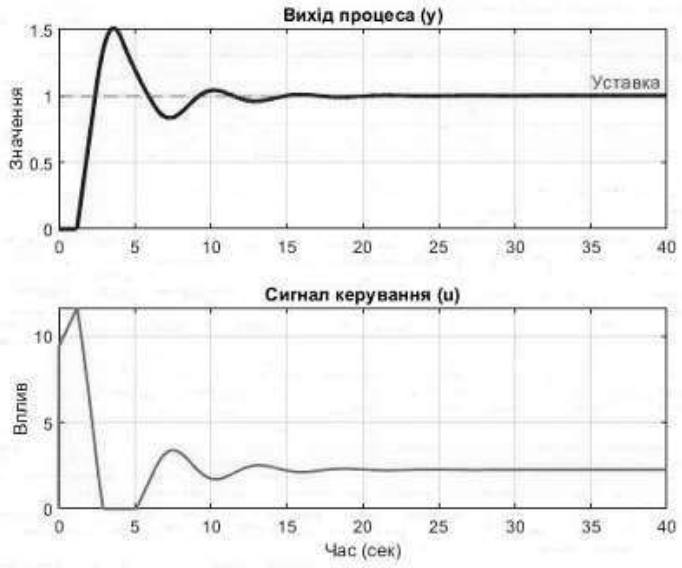


Рисунок 3.4 – Перехідний процес з 40 % пере регулюванням

3.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА

Нижній рівень автоматизації включає технічні засоби для отримання первинної інформації про стан об’єкта та безпосереднього впливу на нього. Сюди відносяться: датчики та вимірювальні, виконавчі, регулюючі органи.

Обґрунтування вибору засобів базується на таких параметрах, як діапазон вимірювань, клас точності, інерційність, стійкість в заданому середовищі, температурний режим, підтримка уніфікованих сигналів (4–20 мА, 0–10 В) або цифрових протоколів.

3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючи пристрої, вторинні прилади

Перетворювач тиску DST P140 1811-A5GB04-1 (075G4027) (рис. 3.5) має діапазон вимірювання 0-10 Бар. Вихідний сигнал струмовий 4-20 мА. Робоча температура -20…+80 °C. Вимірюване середовище: газ, рідина, повітря [11].



Рисунок 3.5 – Перетворювач тиску DST P140 1811-A5GB04-1

Перетворювач тиску MBS 1250 063G19721 (рис. 3.6) має діапазон вимірювання 0-60 Бар. Вихідний сигнал струмовий 4-20 мА. Робоча температура -40…+125 °С. Вимірюване середовище: рідина, масло.



Рисунок 3.6 – Перетворювач тиску MBS 1250 063G19721

Перетворювач тиску MBS 1700 1811-A1AB04-0 (рис. 3.7) працює в діапазоні вимірювання 0-6 Бар. Вихідний сигнал струмовий 4-20 мА. Робоча температура -40…+125 °С. Вимірюване середовище: газ, рідина, повітря, масло.



Рисунок 3.7 – Перетворювач тиску MBS 1700 1811-A1AB04-0

Перетворювач тиску MBS 9300 A311-A1GB04-1 (рис. 3.8) вимірює в діапазоні 0,07-0,07 Бар; Вихідний сигнал струмовий 4-20 мА. Робоча температура -40…+125 °С. Вимірюване середовище: газ, повітря.



Рисунок 3.8 – Перетворювач тиску MBS 9300 A311-A1GB04-1

Перетворювач тиску PR3860-0100BA (рис. 3.9) має діапазон вимірювання 0-160 Бар. Вихідний сигнал струмовий 4-20 мА. Робоча температура до 250 °С. Вимірюване середовище: газ, повітря.



Рисунок 3.9 – Перетворювач тиску PR3860-0100BA

Термоперетворювач МВТ 3560 0000-0050-10-1100100BA (рис. 3.10) має діапазон вимірювання 0-100 °С. Вихідний сигнал струмовий 4-20 мА.



Рисунок 3.10 – Термоперетворювач МВТ 3560 0000-0050-10-110

Термоперетворювач МВТ 3560 0001-0200-10-120 (рис. 3.11) має діапазон вимірювання 0-200 °С. Вихідний сигнал струмовий 4-20 мА.



Рисунок 3.11 – Термоперетворювач МВТ 3560 0001-0200-10-120

Термоперетворювач МВТ 5252 1021-0200-0200-G140120 (рис. 3.12) має діапазон вимірювання -50..400 °С. Вихідний сигнал струмовий 4-20 мА.



Рисунок 3.12 – Термоперетворювач МВТ 5252 1021-0200-0200-G140

Перетворювач наявності полум’я ПНП-ФР (рис. 3.13) має дискретний вихідний сигнал у формі зміни стану контактів реле (за наявності полум'я — контакти замкнуті).



Рисунок 3.13 – Перетворювач наявності полум’я ПНП-ФР

Витратомір CoriolisMaster FCH4505 (рис. 3.14) вимірює в діапазоні 0-250000 кг/г. Вихідний сигнал струмовий 4-20 мА. Робоча температура -50-205 °С.



Рисунок 3.14 – Витратомір CoriolisMaster FCH45

Електромагнітний клапан EV-6 MADAS (рис. 3.15) призначений для автоматичного перекриття потоку газового середовища. Максимальний тиск 6 Бар, живлення 12, 24, 110, 230 В змінного струму або 12, 24 постійного. Температура середовища до 70 °С



Рисунок 3.15 – Електромагнітний клапан EV-6 MADAS

Функції ручного керування виконує пристрій БРУ-15 (рис. 3.16) фірми «Мікрол», який має можливість роботу в автоматичному і ручному режимі, з можливістю ручного завдання керованої величини.



Рисунок 3.16 – Блок ручного керування БРУ-15 «Мікрол»

Одноканальний індикатор ІТМ-100 (рис. 3.17) використовується для індикації і вимірювання температури, тиску, витрати.



Рисунок 3.17 – Одноканальний індикатор ІТМ-100 «Мікрол»

3.4.2 Промисловий контролер Weintek cMT-CTRL01

Для надійної та ефективної роботи системи автоматизації водогрійного котла КВГМ-10-150, пропонується обрати промисловий контролер Weintek cMT-CTRL01 (рис. 3.18). Цей контролер має: високопродуктивний двоядерний 32бітний процесор частотою 1Ггц. На першому ядрі працює операційна система Linux з підтримкою IoT шлюзу. На другому ядрі CODESYS Runtime, виконуючи функції ПЛК. Контролер має розподілені Ethernet-порти для CODESYS та IIoT, гальванічну розв’язку, захист від збоїв та збереження даних при втраті живлення.

Інтеграція ПЛК cMT-CTRL01 з середовищем CODESYS та IIoT-шлюзів в одному пристрої, дозволяє створювати надійні та масштабовані рішення для керування технологічними процесами, а також забезпечує тісну інтеграцію з IT-системами підприємств.



Рисунок 3.18 – Промисловий контролер Weintek cMT-CTRL01

Контролер cMT-CTRL01 має вбудовані інтерфейси:

а) 2×Ethernet 10/100/1000 Мбіт/с (RJ-45);

б) 1×COM1 RS-232;

в) 1×COM2 RS-485 2W/4W;

г) 1×COM3 RS-485 2W;

д) 1×USB 2.0.

Підтримує протоколи:

а) Modbus TCP/IP Maste;

б) EtherCAT Maste;

в) EtherNet/IP Scanne;

г) Canopen Manager.

Може бути розширений завдяки всій лінійці модулів iR:

а) iR-Dxxx-X;

б) iR-Axxx-X;

в) iR-PU01-P;

г) iR-ETN40.

Використовує живлення 24 В DC (допустимий діапазон 18…28 В).

Має пам'ять File system: 12 MB, Data memory: 5 MB, Retain, Persistent: 32 KB.

Габаритні розміри контролера складають 50x109x81 мм, а вага 240 г. Контролер розміщується на 35 мм DIN рейці. Захищений за стандартом IP20 і впевнено працює при температурі навколишнього середовища від -10 до +50 ^{o}C.

В якості модуля аналогових входів пропонується використати модуль iR-AI04-VI (рис. 3.19), який має 4 аналогові входи напруга/струм.



Рисунок 3.19– Модуль аналогових входів iR-AI04-VI

Необхідна кількість таких модулів, які забезпечать підключення 21 аналогових входів і 3 резервні канали, складає 6шт.

Для вихідних дискретних сигналів пропонується модуль iR-DQ16-N, який підтримує 16 дискретних NPN транзисторних виходів (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 – Модуль дискретних виходів iR-DQ16-N

Необхідна кількість таких модулів, які забезпечать підключення 10 дискретних виходів і 6 резервні канали, складає 1шт.

Для 1 дискретного входу пропонується модуль iR-DM16-N, який має 8 дискретних входів і 8 дискретних транзисторних NPN виходів (рис 3.21).



Рисунок 3.21 – Модуль дискретних виходів/входів iR-DM16-N

Таким чином для резервування залишиться 7 дискретних входів, та 8 дискретних виходів.

Отже, загальна кількість необхідних для компонування модулів вводу/виводу складає 8шт: 6шт iR-AI04-VI, 1шт iR-DQ16-N, 1шт. iR-DM16-N. Максимальна можлива кількість підключених модулів до контролера cMT-CTRL-01 складає 16шт, що залишає можливість для майбутніх модернізації обладнання.

З урахування вимог до системи автоматичного регулювання розрідженням в топковій камері водогрійного котла КВГМ-10-150, в середовищі Codesys розроблено програму керування на мові ST (рис. 3.24).

Опис основних сигналів системи керування.

Current_P – вимірюване розрідження в камері.

Current_Fun_val – поточне значення положення вихідного валу виконавчого механізму (0-100).

FunTarget – задане значення вихідного валу виконавчого механізму (0-100).

SetPoint_P – значення уставки розрідження(25 Па +/- 0.5 Па).

Fun_more, Fun_less – дискретні вихідні сигнали «більше», «менше» на виконавчий механізм.

Fire_val – значення задавача повітряно-паливної суміші (0-100).

isWork – режим «робота», який дозволяє системі функціонувати.

isFailure – сигнал «аварія».

Max_P, *Min_P* – робочий діапазон розрідження (20-30Па).

Алгоритм роботи системи керування розрідженням.

В початковому стані робота системи обмежена і очикує на увімкнення живлення димососу, при цьому *isWork* має значення *false*, режим роботи автоматичний (*isAuto* в значенні *true*), тумблер запалювання заблокований (сигнал *isIgnition в* значенні *false*).

Увімкнення тумблера живлення (сигнал *isPower*), за відсутності сигналу «аварія» (сигнал *isFailure*), встановлює *isWork* в значення *true*, що дає дозвіл на повноцінне функціонування системи. Встановлення сигналу *isFailure* в значення *true* скидає *isWork* в значення *false*, що забороняє подальшу роботу системи до скидання цього сигналу.

В автоматичному режимі (*isAuto* в значенні *true*) блокуються кнопки ручного керування виконавчим механізмом, а ПІД регулятор обчислює значення заданого положення вихідного валу *FunTarget*, яке порівнюється з поточним значенням положення вихідного валу *Current_Fun_val* і відповідно активуються необхідні дискретні виходи *Fun_more, Fun_less.*

В ручному режимі кнопки керування виконавчим механізмом «більше» і «менше» (*BTN_Fun_more*, *BTN_Fun_less*) розблоковані і безпосередньо впливають на вихідні дискретні сигнали *Fun_more, Fun_less.*

Вихід поточного значення розрідження *Current_P* за межі робочого діапазону *Max_P*, *Min_P* встановлює сигнал *OutOfRange_P* в значення *true*, що призводить до появи сповіщення на графічному інтерфейсі, а з увімкненим запалюванням (сигнал *isIgnition*) до встановлення сигналу «аварія» (сигнал *isFailure*).

Наявність сигналу *isFailure* вимикає живлення димососу та запалювання, скидає режим «робота» (сигнал *isWork* в значені *false).*

Вимикання режиму «аварія» відбувається за сигналом *Reset_Failure* , що формується кнопкою скидання аварії.

При досягненні розрідженням значення уставки, розблоковується тумблер запалювання (сигнал . *Ignition_Lock* в значенні *false*).

Вмикання тумблера запалювання встановлює сигнал *isIgnition* в значення *true* і розблоковує задавач повітряно-паливної суміші.

Структура проекту зображено на рис. 3.22.

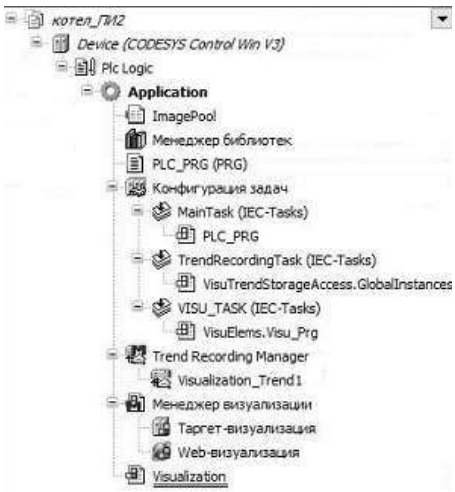


Рис.3.22 – Структура проекту системи керування розрідженням.

Лістінг програми автоматичного керування на мові ST представлено в Додаток Б.

Программа автоматичного регулювання розрідженням в топковій камері водогрійного котла КВГМ-10-150 враховує вхідний дискретний сигнал «наявність полум'я», аналоговий (4-20 мА) сигнал «тиск в топковій камері», аналоговий (4-20 мА) сигнал «положення валу виконавчого механізму», а також вихідні дискретні сигнали «більше», «менше» на виконавчий механізм для керування направляючим апаратом димососа.

Уставка розрідження складає 25 Па. Допустимий діапазон розрідження: 20…30 Па. Зона нечутливості +/-0,5 Па від уставки.

Алгоритм безпеки блокує:

- тумблер запалювання, доки розрідження не досягне заданого значення;
- кнопки «більше», «менше» в режимі «Авто»;

– регулятор палива, доки не ввімкнено запалювання,

а також дозволяє режим «робота» при виконанні 2 умов:

– наявність сигналу «живлення»;

– відсутність режиму «аварія».

Аналоговий сигнал «тиск в топковій камері» перетворюється в значення розрідження в Па. Режим «аварія» виникає при виході значення розрідження за межі допустимого діапазону з одночасною наявністю сигналу «наявність полум'я». Режим «аварія» вимикає сигнали «живлення», «наявність полум'я». Скидання режиму «аварія» відбувається натисканням відповідної кнопки.

В режимі «робота», за різницею тиску між значенням розрідження і уставки, враховуючи зону нечутливості, визначається пропорційна, інтегральна та диференційна похибка, яка задає необхідне значення відкриття лопатей димососу. Це значення порівнюється з перетвореним сигналом «положення валу виконавчого механізму» і відповідно вмикається необхідний дискретний сигнал «більше» або «менше».

Система має можливість переходу з автоматичного на ручне керування виконавчий механізмом.

Графічний інтерфейс програми (статичний режим) зображено на рис. 3.23.

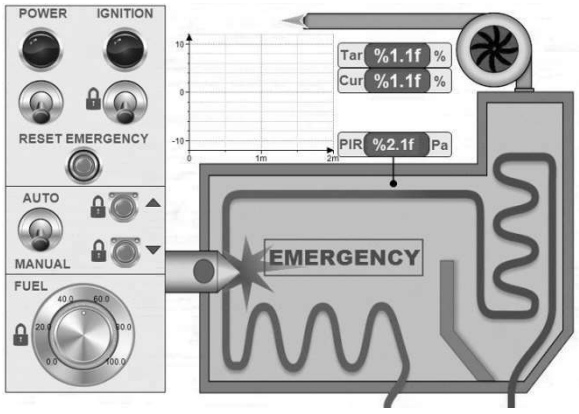


Рис. 3.23 – Статичний графічний інтерфейс програми керування розрідженням.

Робота програми в режимі реального часу (динамічний режим) зображено на рис. 3.24.

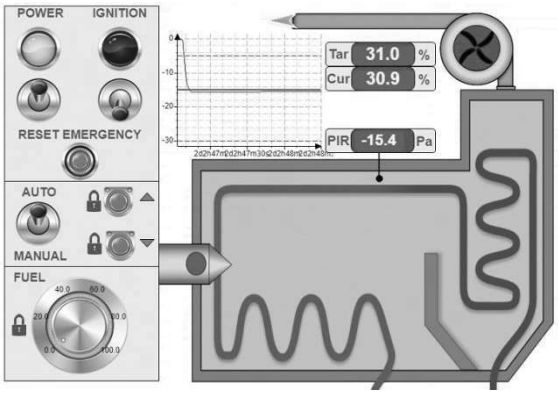


Рис. 3.24 – Динамічний графічний інтерфейс в автоматичному режимі без запалювання.

3.4.3 Виконавчі механізми та регулюючі органи

Вихідні дані для розрахунку та вибору регулюючого органу:

1. Номінальна витрата палива $B = 1198{,}4 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$;
2. Об’єм димових газів на 1м^3 газу (при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 1{,}15$) $V_{\text{сг}} = 12{,}5 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$;
3. Максимальна робоча температура перед димососом $\theta = 170$ °С/
4. Надмірний тиск $H_{\text{ном}} = 1900$ Па;
5. Коефіцієнт запасу за витратой $\beta_q = 1{,}1$, за напором $\beta_h = 1{,}15$.

Визначимо номінальний об’ємний розхід газів за нормальних умов при 0 °С за формулою 3.4:

$$V_{\text{ном}}^{\text{н.у}} = B * V_{\text{сг}} \tag{3.4}$$

$$V_{\text{ном}}^{\text{н.у}} = 1198{,}4 * 12{,}5 = 14980 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Визначимо максимальний розхід з урахування темепаратури димових газів та коефіцієнту запасу за витратою за формулою 3.5:

$$G_{max} = V_{\text{ном}}^{\text{н.у}} * \left(\frac{273+\theta}{273}\right) * \beta_q \quad (3.5)$$

$$G_{max} = 14980 * \left(\frac{273 + 170}{273}\right) * 1.1 = 26739 \ \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

За формулою 3.6 визначимо густину газу при максимальній темепартур:

$$\rho_{\text{газ}} = \rho_0 * \frac{273}{273+\theta}, \quad (3.6)$$

де ρ_0 – густина димових газів за нормальних умов, $\rho_0 = 1{,}32 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

$$\rho_{\text{газ}} = 1{,}32 * \frac{273}{273 + \theta} = 0{,}813 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Розрахункова максимальна витрата газу для умов до РО, тобто при $\text{P}_{\text{поч}}\text{Q}_{\text{max1}}$, $\text{м}^3/\text{год}$, знаходиться за формулою 3.7:

$$Q_{max1} = \frac{G_{max}}{\rho_1} \quad (3.7)$$

$$Q_{max1} = \frac{26739}{0{,}813} = 32889 \ \text{м}^3/\text{год}$$

Розрахункова швидкість середовища в трубопроводі до РО $\text{V}_1, \text{м/с}$, визначається за формулою 3.8:

$$V_1 = \frac{354 * G_{max}}{D_{\text{ст}}^2 * \rho_1}, \quad (3.8)$$

де $D = 18{,}85\sqrt{Q_{max1}/V}$ – діаметр трубопроводу, мм.;

$V = 30$ м/с – допускна швидкість середовища.

$$D = 18{,}85\sqrt{32889\ /30} = 624 \text{ мм}$$

Знайдену величину округляють до близького стандартного $D_{\text{ст}}$ значення, $D_{\text{ст}} = 630$.

$$V_1 = \frac{354 * 26739}{630^2 * 0{,}813} = 29{,}33 \text{ м/с}$$

Для газового середовища при малих перепадах тиску ($\Delta P_{p0} \leq 0.25 * P_1$) розрахунок умовної пропускної здатності здійснюється за формулою 3.9:

$$K_{vmax} = \frac{G_{max}}{511} * \sqrt{\frac{\rho_{\text{газ}} * T}{\Delta P_{p0}}}, \tag{3.9}$$

де ΔP_{p0} – максимальний динамічний перепад тиску регулювання, який приймається максимальному розрахунковому напору димососа.

$$\Delta P_{p0} = H_{\text{ном}} * \beta_h$$

$$\Delta P_{p0} = 1900 * 1{,}15 = 2185 \text{ Па} = 0{,}02185 \text{ Бар}$$

$$K_{vmax} = \frac{26739}{511} * \sqrt{\frac{0{,}813 * 443}{0{,}02185}} = 6718 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Обираємо РО з умовною пропускною здатністю $К_{vy}$, що більша за розрахункове $К_{vmax}$ на 20%:

$$K_{vy} \geq 1{,}2K_{vmax} = 1{,}2 * 6718 = 8062\ \frac{м^3}{год}$$

Для розрахованих параметрів за каталогом тягодутьєвих машин підходить димосос ДН 12,5-1000, з діаметром всмоктуючого патрубка $D_y = 630$ мм $= 0{,}63$м. Максимальна конструктивна пропускна здатність направляючого апарату (НА) ДН 12,5-1000 у відкритому стані становить $23300\frac{м^3}{год}$ [8]. Отже умова повністю виконується.

Для лінеаризації контуру регулювання розрідження в топці обираємо лінійну пропускну характеристику лопаток НА.

Розрахунок зусиль та вибір виконавчого механізму.

Потік діє на лопатки направляючого апарату, створюючи момент закриття згідно формули 3.10:

$$M_p = 0{,}07 * \Delta P_{p0} * D_y^3 \qquad (3.10)$$

$$M_p = 0{,}07 * 2185 * 0{,}63^3 = 38{,}24\ Нм$$

Момент тертя в опорних вузлах визначається за формулою 3.11:

$$M_T = 0{,}785 * D_y^2 * \Delta P_{p0} * r_ш * \lambda, \qquad (3.11)$$

де $r_ш$ – радіус шийки поворотного механізму, $r_ш = 0{,}03$;

λ – коефіцієнт тертя в опорах при робочій температурі газу, $\lambda = 0{,}2$.

$$M_T = 0{,}785 * 0{,}63^2 * \Delta 2185 * 0{,}03 * 0{,}2 = 4{,}08\ Н$$

Сумарний необхідний момент на валу визначається за формулою 3.12:

$$\text{М} = K * (M_p + M_T), \tag{3.12}$$

де K – коефіцієнт запасу, $K = 2$.

$$\text{М} = 2 * (38{,}24 + 4{,}08) = 84{,}64 \text{ Нм}$$

На основі розрахованого сумарного моменту за каталогом обираємо електричний обнооборотний виконавчий механізм з найближчим номінальним зусиллям. Під вимоги підходить МЕО-100/25-0,25, який має номінальний момент на вихідному валу 100 Нм.

Проведемо розрахунок з'єднання регулювального органу з виконавчим механізмом, де для якісного регулювання коефіцієнта передачі САР повинен бути незмінним, а його величина визначається добутком за формулою 3.13:

$$K = K_{\text{об}} * K_{\text{р}} * K_{\text{вм}} * K_{\text{з}} * K_{\text{ро}}, \tag{3.13}$$

де $K_{\text{об}}$ – коефіцієнт передачі об'єкта,

$K_{\text{р}}$ – коефіцієнт передачі регулятора,

$K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт передачі виконавчого механізму,

$K_{\text{з}}$ – коефіцієнт передачі з'єднання,

$K_{\text{ро}}$ – коефіцієнт передачі регулювального органа.

При обраних формах витрачальної та пропускної характеристик, які забезпечують сталість коефіцієнта передачі регулювального органа, незмінність K може бути отримана шляхом компенсації нелінійності статичної характеристики об'єкта не лінійністю з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом.

Статичну характеристику об’єкта подаємо в безрозмірній формі відповідно до формули 3.14, 3.15:

$$X_{\text{вих об}} = \frac{X^{\text{і}}_{\text{вих}}}{X_{\text{вих}\,max}} \tag{3.14}$$

$$X_{\text{вх об}} = X_{\text{вих РО}} = \frac{X^{\text{і}}_{\text{вх}}}{X_{\text{вх}\,max}}, \tag{3.15}$$

де $X_{\text{вих об}}$ і $X_{\text{вх об}}$ – безрозмірні значення вихідної та вхідної величини об’єкта регулювання;

$X^{\text{і}}_{\text{вих}}$ і $X_{\text{вих}\,max}$ – і-те та максимальне значення розмірної вихідної величини об’єкта регулювання;

$X^{\text{і}}_{\text{вх}}$ і $X_{\text{вх}\,max}$ – і-те та максимальне значення розмірної вхідної величини об’єкта регулювання.

Безрозмірну статичну характеристику об’єкта регулювання будуємо у першому квадранті координатної площини, де $X_{\text{вих об}} = f(X_{\text{вих РО}})$

У другому квадранті цієї ж площини будуємо лінійну характеристику «виконавчий механізм – об’єкт регулювання» в безрозмірному вигляді.

Праву піввісь координатної площини ділимо на десять рівних інтервалів і відповідно до схеми, будуємо у четвертому квадранті статичну характеристику з’єднання виконавчого механізму з регулювальним органом.

Отримана характеристика лінеаризує регулювальний об’єкт, оскільки вона є дзеркальним відображенням його статичної залежності і забезпечує сталість коефіцієнта передачі САР.

Вхідною величиною з’єднання є кут повороту вала регулюючого органу. Тому статичну характеристику з’єднання потрібно перевести з безрозмірної в розмірну, перерахувавши кожну точку в градуси кута повороту, отримавши таким чином залежність кута повороту регулюючого органу від кута повороту

вихідного валу виконавчого механізму, отримавши таким чином залежність $\varphi_{\text{ро}} = f(\varphi_{\text{вм}})$.

На графіку (рис. 3.25) виділяємо точки, які найбільш вірогідно відображають його характеристику у бажаному діапазоні.

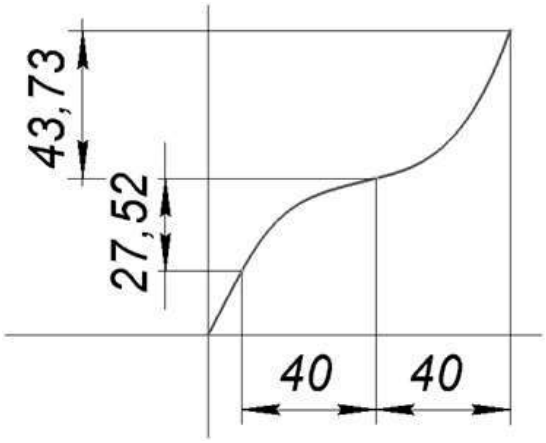


Рисунок 3.25 – Графік статичної характеристики об’єкта

Визначаємо прирощення кутів повороту вихідного валу виконавчого механізму і відповідно їм прирощення кутів повороту регулювального органа.

Задаючи відстань між вісями виконавчого механізму та регулюючого органа, а також знаючи довжину кривошипа виконавчого механізму – 200мм попередньо приймаємо розмір кривошипа – 250мм.

Задаючи початкові кути положення кривошипів 30°, будуємо їх взаєморозміщення в масштабі 1:5.

Будуємо нові положення кривошипів виконавчого механізму та регулюючого органу для прирощень кутів повороту ВМ та РО.

За рис. 3.26, враховуючи масштаб 1:5, визначаємо дійсний розмір кривошипа РО та кута його положення:

- довжина кривошипа РО=208,6 мм;
- довжина тяги між кривошипами РО та ВМ = 613,6 мм

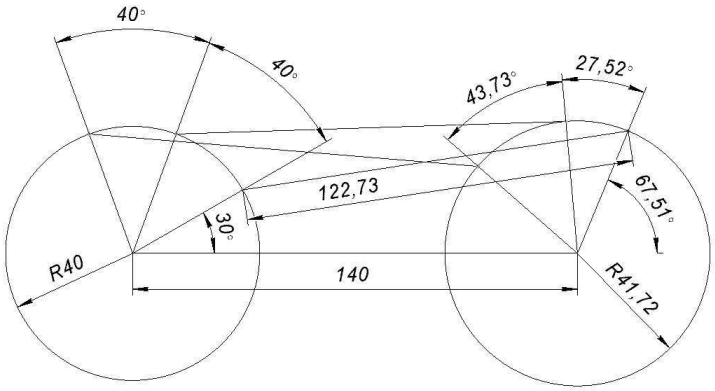


Рисунок 3.26 – Кінематична схема з’єднання кривошипів в масштабі 1:5

Виконавчий механізм електричний одно оборотний МЕО-100/63-0,25 призначений для переміщення регулюючих органів у системах автоматичного регулювання технологічними процесами відповідно до командних сигналів, що надходять від регуляторів та ПЛК.

Механізм встановлюються окремо від трубопровідної арматури та з'єднуються з регулюючим органом за допомогою сполучної тяги.

Управління механізмом – контактне за допомогою пускачів серії ПМЛ чи ПМА або безконтактне за допомогою пускача безконтактного реверсивного ПБР-21.

Механізм комплектований індуктивним блоком сигналізації положення.

Принцип роботи механізму полягає в перетворенні електричного сигналу, що надходить від регулюючого або керуючого пристрою, в обертальне переміщення вихідного валу.

Вихідний сигнал: обертальне переміщення вихідного валу.

Вхідними сигналами є напруга змінного струму 220 В на клеми 1,2 та клеми 1,3.

Загальний вигляд МЕО-100/63-0,25 зображено на рис 3.27.

Механізм складається з таких основних вузлів :редуктора 1, електродвигуна 2, блоку сигналізації положення 3, панелі 4, штепсельного введення 5, болта заземлення 6, гальма 7, кришки 8, механічного обмежувача 9, переносної ручки 10.

У механізмі передбачено два мікроперемикачі для обмеження переміщення вихідного валу і два мікроперемикачі для блокування та сигналізації проміжних положень вихідного валу. Ці чотири мікроперемикачі розташовані компактно і утворюють власне блок кінцевих вимикачів БКВ. Кожен мікроперемикач має контакт, що розмикається і замикається, з роздільними висновками на контакти клемних колодок. Диференціальний хід мікроперемикачів має бути не більше ніж 4% повного ходу вихідного валу.

Редуктор є основним вузлом, до якого приєднуються всі інші вузли, які входять у механізм. Редуктор складається з корпусу, кришки та багатоступінчастої прямозубої передачі. Для обмеження величини вибігу вихідного валу та запобігання переміщення його від зусилля регулюючого органу за відсутності напруги на електродвигуні на механізмі передбачено механічне гальмо.

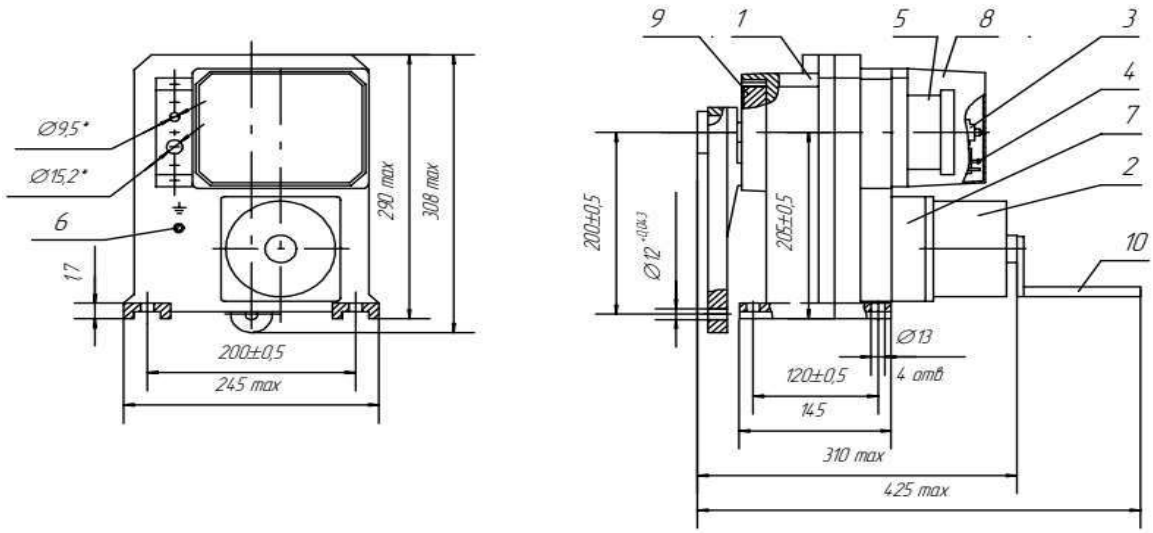


Рисунок 3.27 – Загальний вигляд МЕО-100/63-0,25

Технічні характеристики МЕО-100/63-0,25 приведені в таб.3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики МЕО-100/63-0,25

Параметр	Значення
Живлення	220 В (+10/-15 %), частота 50 Гц (+/-2 %)
Споживана потужність	Не більше 132 ВА
Номінальний крутний момент на вихідному валу	100 Нм
Номінальний час повного ходу вихідного валу,	63 с
Номінальний повний хід вихідного валу	0,25 об
Тип електродвигуна	ДСОР110-1,0-60
Габаритні розміри	245х308х310 мм
Вага	Не більше 19 кг

Схема підключення МЕО-100/63-0,25 зображена рис. 3.28.

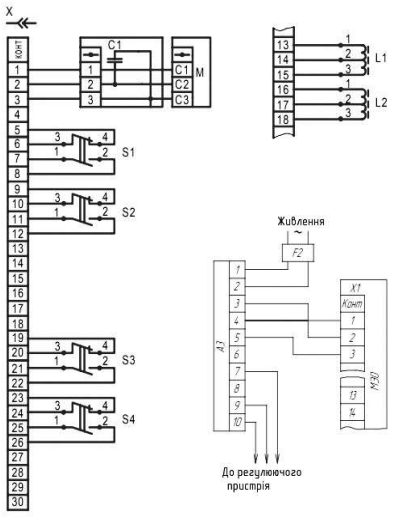


Рисунок 3.28 – Схема підключення МЕО-100/63-0,25

Виконавчий механізм електричний одно оборотний МЕО-100/25-0,25 (рис.3.29) має таке ж функціональне призначення, як і МЕО-100/63-0,25. Повний хід складає 0,25 оберти а час обертання 0,25с.



Рисунок 3.29 – Загальний вигляд МЕО-100/25-0,25

Пускач ПБР-21 (Мікрол) призначений для безконтактного керування електричним виконавчим механізмом з однофазним електродвигуном оснащеними електромеханічним гальмом [9].

Загальний вигляд ПБР-21 зображено на рис 3.30.

Вихідними сигналами є напруга змінного струму 220 В на клемах 1,2,3. Вхідними сигналами є середнє значення двонапівперіодної випрямленої синусоїдальної напруги 24 В (+/-6 В) на клемах 8-7 и 8-9 і стан контактних або безконтактних ключів на клемах 7-10 і 9-10.

Пускач виготовлений з литого ударостійкого пластссового корпусу. На передній стінці встановлені захвати для монтажу на DIN рейку. На передній стінці ьлоку розташовані: індикатор наявності напруги живлення, клеми підключення вхідних та вихідних ланцюгів, індикатор наявності сигналів «Більше» та «Менше».

Схема складається з функціональних вузлів: схеми керування безконтактними ключами, силової схеми для комутації напруги живлення виконавчого механізму та джерела живлення для керування пускачем дистанційно.



Рисунок 3.30 – Загальний вигляд ПБР-21

Технічні характеристики ПБР-21 приведені в таб.3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики ПБР-21

Параметр	Значення
Живлення	220 В (+10/-15 %), частота 50 Гц (+/-2 %)
Споживана потужність	Не більше 7 ВА
Середнє значення двонапівперіодної випрямленої синусоїдальної напруги на клемах 8-7, 8-9	Увімкнено: 24 В (+/-6 В) Вимкнено: 0-2 В
Стан контактних або безконтактних ключів на клемах 7-10 і 9-10	Увімкнено: 0-3 В Вимкнено: 18-30 В
Струм вхідного ланцюга	Не більше 50 мА
Максимальний струм, що комутується	4 А
Час запізнення вихідного струму при подачі та зняття керуючого сигналу	Не більше 25 мс
Габаритні розміри	95х100х110 мм
Кріплення	на DIN рейку (DIN35х7,5 EN50022)
Вага	Не більше 0,55 кг

Схема підключення ПБР-21 зображена рис. 3.31.

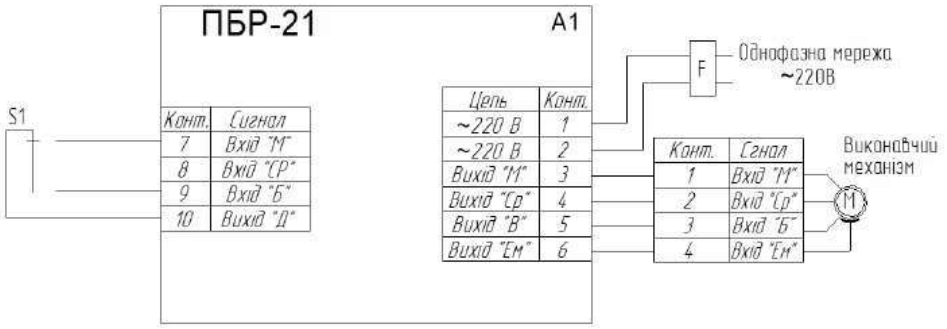


Рисунок 3.31 – Схема підключення ПБР-21

Електромагнітний пускач ПМЛ-1101 (рис. 3.32), застосовується для дистанційного запуску під'єднанням до мережі живлення, у стаціонарних приладах, виконує зупинку та пуск асинхронних трифазних електродвигунів та інших електричних приладів.

Пускач ПМЛ-1101 складається з якоря та осердя, поміщених у пластмасовий кожух, на осердя встановлюється втягувальна котушка. Пристрій має Ш-подібну систему магнітів прямого ходу, система контактів розташовується перед магнітною. Траверсна та рухомі частини електромагнітного блока є одним цілим, у них передбачені рухомі пружини та рухомі контакти. Пружина повернення розташовується на середньому керні рухомої частини електромагнітного. На камері дугогасіння розташовані приєднувальні контакти для додаткових приставок: контактного типу ПКЛ або пневматичної ПВЛ, кнопки «Пуск» або «Стоп» та сигнальної лампи.



Рисунок 3.32 – Загальний вигляд електромагнітного пускача ПМЛ-1101

4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

4.1 Функціональна схема автоматизації системи управління водогрійного газо-мазутного котла КВГМ-10-150

Для відображення елементів системи автоматичного регулювання в робочому просторі водогрійного котла КВГМ-10-150, їх взаємозв'язків, функцій та принципів взаємодії використовується функціональна схема (ФСА), наведена на кресленні ЗНУ.ІННІ.Д2.23004.001.ФСА. Схема виконується на основі структурної схеми засобів автоматизації.

На схемі елементи системи позначено умовними позначеннями, сформованими з латинських літер, які:

а) ідентифікують фізичний параметр, який контролюється або регулюється (наприклад, тиск, розрідження, витрата);

б) уточнюють функціональне призначення елемента (вимірювання, сигналізація, регулювання тощо);

в) вказують на місце встановлення або дії елемента в системі.

Крім того, кожен елемент має позиційне позначення, яке формується за принципом: [номер схеми] + [літера або код елемента].

До наведеної функціональної схеми входить: САР палива, САР повітря, САР розрідження та системи контролю і сигналізації.

САР палива складається з термоперетворювача МВТ 3560 0000-0050-10-110 (1а), з нормованим вихідним сигналом 4-20 мА, який до індикатора вимірювача ІТМ-100 (1б) та контролера передає температура мережевої води. А з термоперетворювача температури гарячої води МВТ 3560 0001-0200-10-120 (1в), також з нормованим вихідним сигналом 4-20 мА, подається до індикатора вимірювача ІТМ-100 (1г) та контролера. Керуючи сигнали з контролера передаються на блоки ручного керування БРУ-15 (1д, 1з) при роботі на мазуті і газі відповідно. Реалізація ручного та автоматичного режиму роботи в БРУ-15 дозволяє визначати, які керуючи сигнали передаються на

пускач магнітний реверсивний ПБР-21 (1е, 1і) або з контролера або встановлені в ручну. Відповідний пускач виконує керування одно оборотним виконавчим механізмом МЕО-100/63-0.25 (1ж, 1к) в залежності від обраного виду палива, а положення вихідного валу виконавчого механізму відображається на блоці ручного керування БРУ-15 (1д, 1з) і потрапляє до контролера. Сигнал увімкнення газу до пальника з кнопки КУО-3 (1л) потрапляє на магнітний пускач ПМЛ 1101Б (1м), який керує електромагнітним клапаном EV-6 (1н). При роботі на мазуті, кнопка КУО-3 (1о) передає сигнал на магнітний пускач ПМЛ 1101Б (1п), який керує увімкненням двигуна ротаційного пальника.

В системі контролю палива, витратоміри мазуту та газу CoriolisMaster FCH45 (2а, 2в) з нормованими вихідними сигналами 4-20 мА, передають сигнали відповідно до індикаторів вимірювачів ІТМ-100 (2б, 2г) та контролера. Температура мазуту з термоперетворювача МВТ 3560 0001-0200-10-120 (2д) з нормованим вихідним сигналом 4-20 мА, потрапляє до індикатора вимірювача ІТМ-100 (2е) та контролера.

Система контролю полум’я складається з перетворювача яскравості ПНП-ФР (3а) з дискретним виходом, що передає сигнал до контролера.

В САР повітря перетворювач тиску DST P140 1811-A5GB04-1 (4а), з нормованим вихідним сигналом 4-20 мА, передає тиск вторинного повітря до індикатора вимірювача ІТМ-100 (4б) та контролера. Перетворювач тиску DST P140 1811-A5GB04-1 (4в), з нормованим вихідним сигналом 4-20 мА, передає тиск мазуту до індикатора вимірювача ІТМ-100 (4г) та контролера. Тиск газу з перетворювача тиску DST P140 1811-A5GB04-1 (4д), з нормованим вихідним сигналом 4-20 мА, потрапляє на індикатор вимірювач ІТМ-100 (4г) та контролера. Відповідно керуючи сигнали з контролера передаються на блок ручного керування БРУ-15 (4ж), який в залежності від режиму роботи визначає, які керуючи сигнали передаються на пускач магнітний реверсивний ПБР-21 (4з) або з контролера або встановлені в ручну. Пускач виконує керування одно оборотним виконавчим механізмом МЕО-100/63-0.25 (4і), а

положення вихідного валу виконавчого механізму відображається на блоці ручного керування БРУ-15 (4ж) і потрапляє до контролера. Тиск первинного повітря з перетворювача тиску DST P140 1811-A5GB04-1 (4к) з нормованим вхідним сигналом 4-20 мА, потрапляє на індикатор вимірювача ІТМ-100 (4л) та контролера. Сигнал з кнопки КУО-3 (4м) передається на магнітний пускач ПМЛ 1101Б (4н), який керує вентилятором первинного повітря 19ЦС-63 (4о). Сигнал з кнопки КУО-3 (4п) передається на магнітний пускач ПМЛ 1101Б (4р), який керує вентилятором вторинного повітря ВДН-10 (4с).

В системі контролю води, з перетворювача тиску MBS 1250 063G1972 (5а) з нормованим вихідним сигналом 4-20 мА, сигнал тиску зворотної води подається на індикатор вимірювач ІТМ-100 (5б) та контролера. Тиск гарячої води з перетворювача тиску MBS 1250 063G1972 (5в) з нормованим вихідним сигналом 4-20мА, передається на індикатор вимірювач ІТМ-100 (5г) та контролер. Витрати зворотної та гарячої води з відповідних витратомірів CoriolisMaster FCH45 (5д, 5ж) з нормованими вихідними сигналами 4-20 мА потрапляють на відповідні індикатори вимірювачі ІТМ-100 (5е, 5з) та контролер. Сигнали відкриття/закриття засувок з контролера передаються на блоки ручного керування БРУ-15 (5і, 5м) та в залежності від режиму роботи, керуючи сигнали передаються на пускачі магнітні реверсивні ПБР-21 (5к, 5н) або з контролера або встановлені в ручну. Пускачі керують одно оборотними виконавчими механізмами МЕО-100/63-0.25 (5л, 5о).

В САР розрідження з перетворювача тиску MBS 9300 A311-A1GB04-1 (6а), з нормованим вихідним сигналом 4-20 мА, розрідження в робочому просторі потрапляє до індикатора вимірювача ІТМ-100 (6б) та контролера. Керуючи сигнали з контролера передаються на блок ручного керування БРУ-15 (6в) і в залежності від режиму роботи, керуючи сигнали передаються на пускач магнітний реверсивний ПБР-21 (6г) або з контролера або встановлені в ручну. Пускач керує одно оборотним виконавчим механізмом МЕО-100/63-0.25 (6д), а положення вихідного валу виконавчого механізму відображається на блоці ручного керування БРУ-15 (6в) і потрапляє до контролера. Сигнал з

КУО-3 (6е) передається на контактор e.industrial.ukc.75.220 (6ж), який керує димососом ДН-12,5-1000 (6з).

В системі контролю димових газів, з перетворювача тиску PR3860-0100BA (7а) з нормованим вихідним сигналом 4-20 мА, тиск передається на індикатор вимірювач ІТМ-100 (7б) та контролер. Температура димових газів з термоперетворювача МВТ 5252 1021-0200-0200-G140 (7в) з вихідним нормованим сигналом 4-20мА, передається на індикатор вимірювач ІТМ-100 (7г) та контролер.

В системі контролю обмурівки, температура обмурівки з термоперетворювача МВТ 3560 0000-0050-10-110 (8а) передається на індикатор вимірювач ІТМ-100 (8б) та контролер.

4.2 Принципова електрична схема автоматизації.

Електричні з’єднання між елементами системи автоматизації, а також принцип дії системи в цілому відображає принципова електрична схема автоматизації (ПЕС) на кресленні ЗНУ.ІННІ.Д2.23004.002.ПЕС, яка виконується без масштабу.

Кожен елемент на принциповій схемі показаний прямокутником, в якому знаходяться клеми підключення дротів, назва приладу, та позиція згідно функціональної схеми. З зовнішньої сторони прямокутника до клем приєднуються дроти які нумерується починаючи згори до низу та зліва направо. Для однозначної ідентифікації кожного дроту, його функціонального призначення, місця підключення та взаємозв’язку з іншими елементами використовується система позначень номерів дротів:

а) 1-399 – інформаційні, керуючи;

б) 400-799 – сигнальні;

в) 800-999 – живлення.

Для кращого візуально сприйняття дроти можуть об’єднуватись в джгути.

Сигнал 4-20мА з термоперетворювача MBS 9300 A311-A1GB04-1 (6а) подається на індикатор вимірювач ІТМ-100 (6б) та на вхід аналогового модуля розширення iR-AI04-VI контролера cMT-CTRL01. Контролер визначає керуючий вплив і через модуль дискретних транзисторних NPN виходів iR-DQ16N подає через відповідний ключ сигнал до блоку ручного керування БРУ-15 (6в). Блок ручного керування БРУ-15 (6в), в залежності від обраного режиму роботи: автоматичний або ручний, подає через ключі сигнал до пускача магнітного реверсивного ПБР-21 (6г), який комутує обмотки двигуна одно оборотного виконавчого механізму МЕО-100/25-0.25 (6д). З блоку сигналізації датчику положення вихідного валу виконавчого механізму надходить аналоговий сигнал 4-20 мА на вхід блоку ручного керування БРУ-15 (6в) і на вхід аналогового модуля розширення iR-AI04-VI. Електро живлення відповідних засобів автоматизації виконується за допомогою блоку живлення БП-32-1. Живлення через кнопку КУО-з (6е) передається на втягуючу катушку контактора e.industrial.ukc.75.220 (6ж), який комутує 3 фази живлення для димососу.

4.3 Принципова електрична схема живлення

На кресленні ЗНУ.ІННІ.Д2.23004.005.ПЕСЖ зображено принципову електричну схему живлення (ПЕСЖ), яка відображає підведення електричного струму до споживачів, які входять до складу системи автоматизації, розміщення вимикачів та запобіжників.

4.4 Монтажна комутаційна схема щита КВПіА

З’єднання всіх елементів системи автоматизації та електропостачання між собою фізично, з урахуванням фактичного прокладання проводів, клемників, шин, перемичок, джгутів тощо відображає монтажно-комутаційна схема (МКС) на кресленні ЗНУ.ІННІ.Д2.23004.004.МКС. Схема виконується

на основі функціональної, принципової електричної та зовнішнього вигляду щита, а отже має враховувати розташування елементів на щиті.

Кожен елемент маркується порядковим номером в схемі, а також позицією згідно функціональної схеми. Номера дротів наносяться згідно принципової електричної схеми. В монтажно-комутаційних схемах часто використовується адресний метод з'єднання, який забезпечує максимальне візуальне сприйняття, точність і зручність при монтажі та перевірці. Кожен дріт або з'єднання чітко прив'язується до конкретного місця початку та завершення. Тому кожен дріт окрім номера має додатково конкретну кінцеву адресу підключення у вигляді номеру або літери елемента в схемі.

Індикатор вимірювач ІТМ-100 (6б) має адресний номер 1, а його клеми мають з’єднання з елементом з адресом К, що є клемником. Блок ручного керування БРУ-15 (6в) має адресний номер 2, а його клеми мають з’єднання з елементом з адресом К і 6. Кнопка КУО-3 з адресом 3 має з’єднання з клемником К. Контролер cMT-CTRL01 має адресний номер 4 і поєднаний з адресом К. Аналоговий модуль розширення iR-AI04-VI має адресний номер 5 і поєднаний з адресом К. Модуль дискретних NPN транзисторних виходів iR-DQ16N має адресний номер 6 і поєднаний з адресом К і 2. Блок живлення БП-32-1К має адрес 7 та поєднаний з адресом К.

4.5 Зовнішній вигляд щита та вид на внутрішні панелі

Графічне зображення панелі, на якій відображено розміщення всіх елементів управління, індикації та контролю представлено на кресленні зовнішнього виду шита (ЗВЩ) ЗНУ.ІННІ.Д2.23004.003.ЗВЩ.

Розташування приладів по висоті має бути виконано згідно наступних вимог:

а) 2000-2200 мм – світло-сигналізаційна арматура;

б) 1000-2000 мм – показуючи прилади;

в) 1100-1700 мм – регулюючи та реєструючи прилади;

г) 700-1500 мм – арматура перемикання и ДУ

д) не нижче 150-200 мм – живлення

На схемі прилади маркуються згідно функціональної схеми. Між зовнішніми габаритами приладів має дотримуватись відстань не менше 30-60мм. На виді панелі ззаду розміри не проставляються, замість цього використовується дециметрова шкала. Окрім розміщення приладів, на схемі зображуються місце нанесення пояснювального підпису до приладу з порядковим номером.

На схемі зовнішнього вигляду щита на висоті 1700 мм розташований індикатор вимірювач (6б). На висоті 1500 мм розміщується блок ручного керування (6в). Кнопка КУО-30 розміщена на висоті 1250мм. Клемна колодка розміщена на відстані 400 мм від полу. Din рейка для розміщення контролера і модулів розширення знаходиться на відстані 800 мм від полу.

4.6 Схема зовнішніх з’єднань

Схема зовнішніх з’єднань (СЗЗ) на кресленні ЗНУ.ІННІ.Д2.23005.006.СЗЗ відображає з’єднання між окремими приладами, шафами, панелями, датчиками та виконавчими механізмами, які розташовані поза межами одного щита або шафи. Її основне завдання – надати повну інформацію про зовнішні кабельні траси комунікації між усіма елементами системи автоматизації.

Схема зовнішніх з’єднань виконується на основі рішень, які були прийняті у:

а) функціональній схемі автоматизації;

б) принципових електричних схемах;

в) монтажно-комутаційній схемі щита.

У схемі виносяться точки відбору параметрів, а також шляхи підведення сигналів або робочого середовища до засобів вимірювання та керування.

При прокладанні зовнішніх кабелів обов’язково вказується марка кабелю, кількість жил, довжина. А в зовнішніх трубних з’єднаннях вказують марку труб, діаметр, товщину стінки, довжину.

Перетворювач тиску через імпульсну трубку довжиною 1м з робочого простору вимірює розрідження і підключений до панелі П1 на щиті КВПА кабелем КВВГЕ 3х25 довжиною 60 м, який прокладено в трубі 40х3 довжиною 58 м.

Клемники СК-1, СК-2, СК-3, СК-4, СК-5, СК-6 знаходяться в шафі за місцем. СК-1 підключений до панелі П1 кабелем АКВВГ 7х25 довжиною 55 м, який прокладено в трубі 40х3 довжиною 55 м. СК-2 підключений до схеми живлення кабелем ВВГ 3х2,5 довжиною 31 м в трубі 40х3. СК-3 до схеми живлення підключений кабелем ВВГ 4х16 довжиною 30 м в трубі довжиною 28 м. Від клемника СК-4 та СК-5 відходять 2 кабелі на електричний однооборотний виконавчий механізм: кабель ВВГ 3х25 довжиною 3 м і кабель АВВГ 2х2,5 довжиною 3 м відповідно. СК-6 підключений до двигуна димососу кабелем ВВГ 4х16 довжиною 5 м.

5 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ

5.1 Розрахунок надійності САР наближеним методом

За цим методом розраховуються групові інтенсивності відмов елементів систем, де всі елементи розподіляються на групи з приблизно однаковим значенням λ_i інтенсивностей відмов та визначається кількість цих єлементів n [20].

Розраховується добуток інтенсивностей λ_{oi}, що визначає внесок долі відмов цієї групи в загальні інтенсивність відмов системи за формулою 5.1:

$$\lambda_{oi} = \sum_1^n \lambda_i \tag{5.1}$$

Визначається сумарна інтенсивність відмов за формулою 5.2:

$$\lambda_{заг} = \sum_1^n \lambda_{oi}, \tag{5.2}$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмови.

Обчислюється середнє напрацювання до відмови за формулою 5.3:

$$T_{ср} = \frac{1}{\lambda} \tag{5.3}$$

Визначається ймовірность безвідмовної роботи системи протягом часу τ за формулою 5.4:

$$P_б(\tau) = e^{-(\sum \lambda)*\tau}, \tag{5.4}$$

Коефіцієнт готовності знаходиться за формулою 5.5:

$$К_{гот} = \frac{Т_{ср}}{Тср+Т_{в}}, \quad (5.5)$$

де $Т_{в}$ – середній час відновлення працездатності.

Ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваного завдання визначається за формулою 5.6:

$$P_{оч}(\tau) = К_{гот} * P_{б}(\tau), \quad (5.6)$$

САР розрідження в робочому просторі складається з наступних елементів:

а) ПЛК Weintek cMT-CTRL01;

б) модуль аналогових входів iR-AI04-VI;

в) модуль дискретних виходів iR-DQ16-N;

г) блок живлення 24В;

д) блок ручного керування з вбудованим задатчиком БРУ-15;

е) перетворювач тиску MBS 9200 A111-1GB04;

ж) магнітний пускач ПБР-21;

з) виконавчий механізм МЕО-100/25-0,25У-99К.

САР розрідження виконує регулюючу функцію, а отже на основі досвіду експлуатціх аналогічних систем, задамо середній час відновлення працездатності $Т_{в}$=4год та допустимий час функціонування відмовної функції СА ТП $Т_{доп}$=1год відмовної функції.

Інтенсивність відмов окремих компонентів системи зведемо в таб.5.1

Таблиця 5.1 – Інтенсивність відмов окремих єлементів системи

Компонент	$\lambda_{заіг}$*10^{-6}	n	λ_{oi}
1.ПЛК Weintek cMT-CTRL01	5,8	1	5,8
2.iR-AI04-VI	6,7	1	6,7
3.iR-DQ16-N	6,7	1	6,7
4.Блок живлення 24В	3	1	3

Продовження таблиці 5.1

Компонент	$\lambda_{заіг}$*10^{-6}	n	λ_{oi}
5.БРУ-15	10	1	10
6.MBS 9200 A111-1GB04	17	1	17
7.ПБР-21	11	1	11
8.МЕО-100/25-0,25У-99К	10	1	10

Загальна інтенсивність відмов за формулою 5.2 складає:

$$\lambda_{заг} = 70{,}2 * 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Відповідно середнє напрацювання до відмови:

$$\mathrm{T_{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{70{,}2 * 10^{-6}} = 14245 \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи системи протягом заданого часу τ =10000годин за формулою 5.2 складає:

$$P_б(\tau) = \mathrm{e}^{-(\sum \lambda) * \tau}$$

$$P_б(\tau) = \mathrm{e}^{-(70{,}2) * 10^{-6} * 1000} = 0{,}4955$$

Для побудови графіку необхідно розрахувати $P_б(\tau)$ для кожно часу в діапазоні 0,5 τ – 5 τ. Зведені дані занесемо в таб. 5.2.

Таблиця 5.2 – Дані для побудови графіку

τ, год	$P_б(\tau)$
0	1
5000	0,7039
10000	0,4955
15000	0,3488
20000	0,2456
25000	0,1729

Продовження таблиці 5.2

τ, год	$P_б(\tau)$
30000	0,1217
35000	0,0856
40000	0,0603
45000	0,0424
50000	0,0298

За отриманими даними будується графік ймовірності безвідмовної роботи системи зображений на рис 5.1.

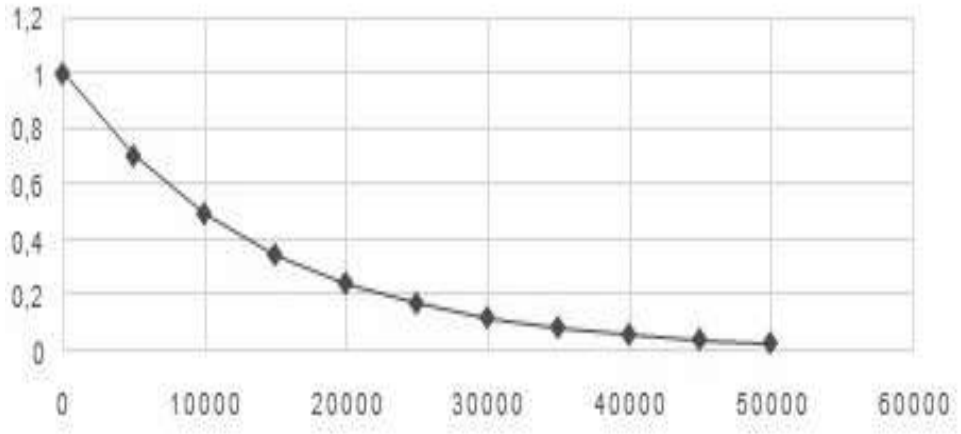


Рисунок 5.1 – Графік ймовірності безвідмовної роботи системи

Отже, ймовірність безвідмовної роботи САР протягом 10000 годин складає 49,55 %.

Ймовірність безвідмовної роботи протягом часу, з урахуванням відновлення відмовної функції за час $T_в$ визначаємо за формулою 5.7:

$$P_с(\tau) = P_б(\tau) + [1 - P_б(\tau)] * P_б(\tau), \quad (5.7)$$

А отже, відповідно до формули 5.7:

$P_с(\tau) = P_б = 0{,}4955 + [1 - 0{,}4955] * 0{,}4955 = 0{,}7455$ або 74,55%:

Ймовірність відновлення працездатності визначимо за формулою:

$$\frac{\text{Т}_{\text{доп}}}{\text{Т}_{\text{в}}} = \frac{1}{4} = 0{,}25 \text{ або } 25\%$$

Коефіцієнт готовності за формулою 5.5 складає:

$$\text{К}_{\text{гот}} = \frac{\text{Т}_{\text{ср}}}{\text{Тср} + \text{Т}_{\text{в}}} = \frac{14245}{14245 + 4} = 0{,}9997$$

Ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваного завдання визначається за формулою 5.6:

$$P_{\text{оч}}(\tau) = 0{,}9997 * 0{,}7455 = 0{,}7453 \text{ або } 74{,}53\%$$

Порівняємо розраховані показники та задані. Середнє напрацювання до відмови складає 14245 год., що запасом задовольняє вимогу надійності 10000 год. Середній час відновлення функції 4 години дозволяє оперативно усунути відмову. Коефіцієнт готовності 0,9997 свідчить про високу здатність системи виконувати свої функції без значних простоїв. Відповідно резервування елементів система не потребує.

6 ЗАМОВНА СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕСЬ КОМПЛЕКС ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Специфікація обладнання та матеріалів є підсумковим документом стадії робочого проєктування, що містить повний номенклатурний перелік технічних засобів, необхідних для практичної реалізації системи автоматизації. Даний документ акумулює всі ключові відомості, які використовуються під час закупівлі та постачання складників системи.

Розробка специфікації здійснюється на стадії підготовки робочої документації. Її головним призначенням є чітка регламентація замовлення контрольно-вимірювальних приладів, засобів автоматизації, кабельно-провідникової продукції, а також допоміжних монтажних матеріалів. Оформлення специфікації виконується у формі таблиці встановленого стандарту Додаток В.

7 ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації

Стабільне функціонування контрольно-вимірювальних приладів, систем автоматичного керування та регулювання на об'єктах теплоенергетики забезпечується профільними підрозділами, які діють у межах загальної адміністративної структури підприємства рис.7.1. Конкретний перелік функцій такого підрозділу визначається специфікою управління заводом, масштабами виробництва, а також кількістю та технічною складністю інстальованого обладнання. При формуванні структури та штатного розкладу служби автоматизації необхідно спиратися на галузеві стандарти, що дозволяє точно розрахувати необхідну кількість фахівців та оперативного персоналу згідно з типовими організаційними моделями великих промислових об'єктів.

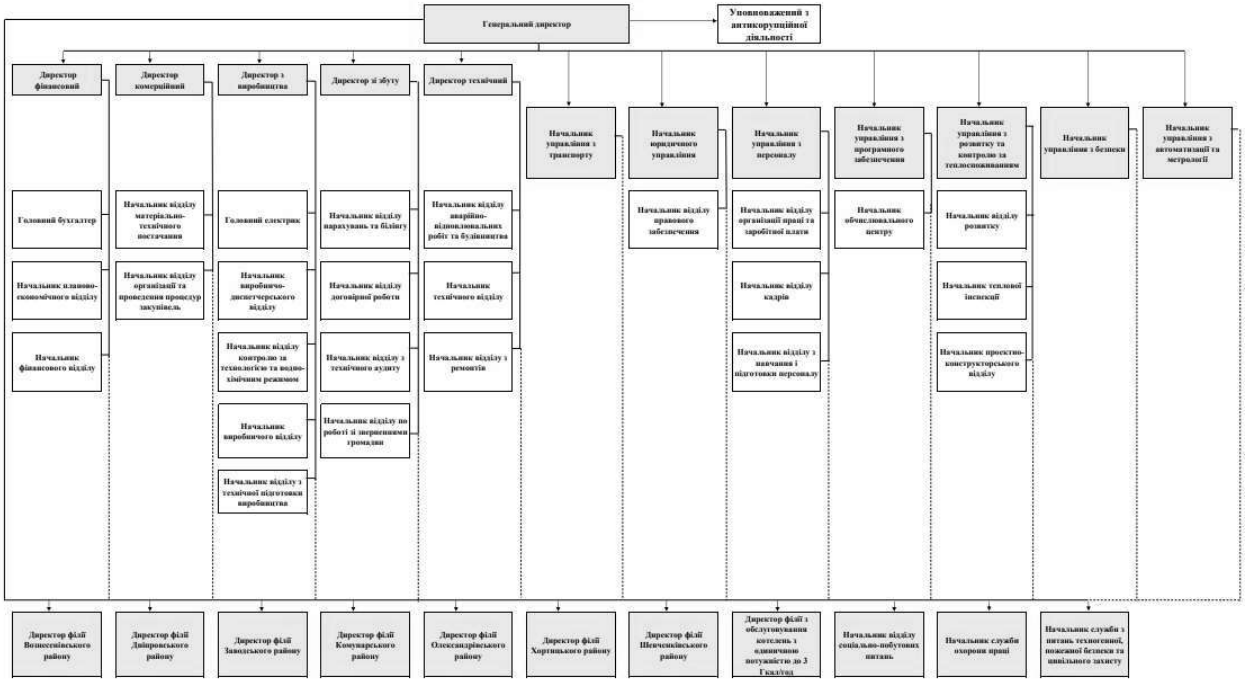


Рисунок 7.1 – Організаційна структура управління

У структурі сучасних теплових мереж відділ автоматизації та метрології виконує критично важливу місію, яка полягає у впровадженні новітніх засобів вимірювальної та обчислювальної техніки, а також у гарантуванні безперервної роботи автоматики в режимі 24/7. Ключовою метою діяльності служби є підвищення економічної ефективності виробництва шляхом оптимізації витрат, покращення якості теплоносія та збільшення обсягів генерації. Крім того, робота підрозділу має важливий соціальний аспект, оскільки спрямована на максимальне виключення важкої ручної праці, покращення ергономіки робочих місць та гарантування безпеки персоналу.

Правовий статус та внутрішній розпорядок служби визначаються спеціальним положенням, яке адаптується під особливості конкретного підприємства та затверджується його керівництвом. Операційна діяльність підрозділу базується на перспективних та поточних планах модернізації, що узгоджуються з загальнозаводськими цілями та директивами вищих інстанцій. Відділ автоматизації виступає як автономна та невід'ємна структурна одиниця, фахівці якої не лише підтримують існуючий парк приладів у робочому стані, а й займаються апробацією нестандартного обладнання та впровадженням інноваційних методик вимірювань.

Особлива увага в роботі служби приділяється автоматизації водогрійних котлів, де точне регулювання параметрів є вирішальним фактором. Це дозволяє запобігти нераціональному використанню паливно-енергетичних ресурсів, суттєво покращити техніко-економічні показники підприємства та підвищити загальну продуктивність праці. Оскільки без належного метрологічного забезпечення досягнення високої ефективності сучасного енергетичного об'єкта є неможливим, тому існування відділу автоматизації та метрології є технічно необхідним та економічно обґрунтованим кроком для будь-якого сучасного виробництва.

7.2 Розрахунок техніко-економічних показників

Експлуатація водогрійного котла здійснюється в межах структурного підрозділу концерну «Міські теплові мережі». Котельня функціонує як окрема господарська одиниця, що веде власний баланс, облік матеріальних ресурсів та нараховує заробітну плату персоналу згідно з галузевою тарифною сіткою. Повноваження щодо ціноутворення на теплову енергію та прийняття рішень про модернізацію технічного парку належать управлінському апарату підрозділу. Це стосується і впровадження сучасних програмно-технічних комплексів автоматизації на базі контролерів Weintek та модулів серії iR, витрати на закупівлю та інсталяцію яких відображаються у складі капітальних інвестиці.

Модернізація системи управління теплоенергетичними процесами потребує значних фінансових вкладень та поточних експлуатаційних витрат. Економічна доцільність таких заходів підтверджується шляхом розрахунку показників ефективності, які демонструють здатність нової системи забезпечити повернення інвестованих коштів. Створення СА передбачає як одноразові витрати на етапі розробки та впровадження, так і регулярні витрати на підтримку її життєздатності.

Склад одноразових витрат на автоматизацію охоплює наступні статті:

а) витрати на передпроєктні дослідження та безпосереднє проектування архітектури системи;

б) капітальні вкладення у придбання контролерного обладнання, периферійних пристроїв, засобів комунікації та програмного забезпечення;

в) логістичні витрати, а також вартість монтажних і пусконалагоджувальних робіт;

г) витрати на цільове навчання оперативного та технічного персоналу для роботи з новим інтерфейсом та обладнанням;

д) корекцію оборотних коштів, пов’язану з переходом на нову модель управління.

Оцінка ефективності впровадженої СА базується на комплексному зіставленні отриманих результатів із сукупними витратами ресурсів на всіх стадіях життєвого циклу системи. Ключовими факторами, що формують позитивний економічний ефект, є оптимізація витрат палива та електроенергії, підвищення якості теплоносія завдяки точнішому регулюванню, а також зростання продуктивності праці внаслідок мінімізації аварійних простоїв та скорочення часу на ручне керування процесами.

При розрахунку очікуваного річного економічного ефекту за базу для порівняння беруться планові показники господарської діяльності підприємства, що були б актуальними у рік впровадження модернізації за умови збереження застарілих засобів автоматизації.

7.2.1 Розрахунок одноразових витрат на створення автоматизованої системи управління

Вартість елементів що входить до ситеми автоматизації зведені до таб. 7.1.

Таблиця 7.1 Обладання для реалізації системи автоматизації

Найменування	Ціна за од., грн	Кіл-ть	Сума, грн	Потужність, Вт
ПЛК Weintek cMT-CTRL01	23518	1	23518	5,6
iR-AI04-VI	5795	6	34770	0,35
БП-32-1К	380	1	380	19,2
iR-DQ16-N	3407	1	3407	1,025
iR-DM16-N	3303	1	3303	1,025
DST P140 1811-A5GB04-1	4776	4	19104	0,03
MBS 1250 063G19721	8141	1	8141	0,03
MBT 5252 1021-0200-0200-G140	24564	1	24564	0,04
MBS 9300 A311-A1GB04-1	17940	1	17940	0,03
PR3860-0100BA	8720	2	17440	0,04
MBT 3560 0000-0050-10-1100100BA	8580	2	17160	0,03
MBT 3560 0001-0200-10-120	7500	2	15000	0,03
ПНП-ФР	4100	1	4100	0,6
CoriolisMaster FCH45	43700	4	174800	5,2
БРУ-15	12576	6	75456	4,8
ITM100	5118	17	87006	3,2

Продовження таблиці 7.1

Найменування	Ціна за од., грн	Кіл-ть	Сума, грн	Потужність, Вт
ПК для SCADA	30000	1	30000	46
Оптичне та монтажне обладнання	17200	1	17200	
Загалом			572909	180

Витрати на створення автоматизованої системи визначаються за формулою 7.1:

$$К^{А} = К^{А}_{П} + К^{А}_{К}, \quad (7.1)$$

де $К^{А}_{П}$ – довиробничі витрати, грн;

$К^{А}_{К}$ – капітальні витрати, грн.

Довиробничі витрати на розробку автоматизованої системи визначаються за формулою 7.2:

$$К^{А}_{П} = К^{А}_{ПР} + К^{А}_{ПО} + К^{А}_{ИО}, \quad (7.2)$$

де $К^{А}_{ПР}$ – витрати на проектування СА, грн;

$К^{А}_{ПО}$ –витрати на розробку програмного забезпечення, грн.;

$К^{А}_{ИО}$ –витрати на розробку інформаційного забезпечення, грн.

$$К^{А}_{П} = 10000 + 18000 + 4000 = 32000 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати розраховуються за формулою 7.3:

$$К^{А}_{К} = К^{А}_{КТС} + К^{А}_{МОНТ}, \quad (7.3)$$

де $К^{А}_{КТС}$ – вартість комплексу технічних засобів, грн;

$К^{А}_{МОНТ}$ –витрати на монтаж, установку і запуск КТЗ (10% від вартості КТЗ), грн.

$$К^{А}_{К} = 572909 + (572909 * 0{,}1) = 630200 \text{ грн.}$$

$$К^{А} = 32000 + 630200 = 662200 \text{ грн.}$$

7.2.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на функціонування автоматизованої системи управління

Розрахунок річних експлуатаційних витрат на функціонування автоматизованої системи управління виконується за формулою 7.4:

$$З_{експ} = З_{зп} + З_{ел} + З_{а} + З_{мат} + З_{рем}, \quad (7.4)$$

де $З_{зп}$ – річні витрати на заробітну плату спеціалістів в умовах функціонування СА з відрахуваннями на соціальне страхування, грн.;

$З_{ел}$ – річна вартість електроенергії, споживаною СА, грн.;

$З_{а}$ – річна сума амортизаційних відрахувань, грн.;

$З_{мат}$ – річна вартість матеріалів, необхідних для функціонування СА (2% від вартості КТЗ), грн.;

$З_{рем}$ – річна вартість ремонту обладнання (7% від вартості КТЗ), грн.

Заробітна плата фахівців в умовах функціонування СА залежить від часу роботи і тарифної ставки. Відрахування на соціальні потреби складають 22%.

Служба експлуатації (табл.7.2) контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВПіА) виконує наступні функції: метрологічний нагляд, технічне обслуговування, ремонт і налаштування контрольно-вимірювальних приладів і приладів автоматичного управління. Крім того, вона впроваджує нові засоби і системи автоматики.

Таблиця 7.2 – Штатний розклад та тарифна ставка служби КВПіА.

Посада	Кількість	Розряд	Тарифна ставка грн/год
Технолог	4	7	110,1
Електромонтер	4	5	88,7
Інженер-електронік	4	6	122,4
Слюсар КВПіА	4	4	83,4

Чисельність фахівців для забезпечення безперервної роботи СА протягом зміни складає 4 людини. Кількість бригад 4.

Тривалість місяця 30 днів, що становить 720 год. Отже, кожен робітник відпрацьовує 180 $^{\text{год}}/_{\text{міс}}$

Загальна сумма місячної заробітної плати становить $4 * 180 * (110{,}1 + 88{,}7 + 122{,}4 + 83{,}4) = 291312$ грн.

Відрахування на соціальні внески $291312 * 0{,}22 = 64089$ грн.

Отже, місячний фонд заробітної плати складає $291312 + 64089 = 355401$ грн.

Річна вартість електроенергії визначається за формулою 7.5:

$$З_{ел} = W * T_{еф} * Ц_{е}, \tag{7.5}$$

де W – встановлена потужність КТЗ, кВт;

$T_{еф}$ – ефективний фонд часу роботи КТЗ, год.;

$Ц_{е}$, – вартість 1кВт електроенергії, грн.

Фактичний час роботи котла за рік і продуктивність його в одиницю часу [24]:

$$T_{еф} = T_{кал} - (T_{пп} + T_{кр} + T_{ппр}), \tag{7.6}$$

де $T_{кал}$ – тривалість календарного року, год.;

$T_{пп}$ – тривалість поточних простоїв, год.;

$T_{кр}$, – тривалість капітальних ремонтів, год.;

$T_{ппр}$, – тривалість планово-попереджувальних робіт, год.

Тривалість опалювального сезону складає 6місяців, отже $T_{пп} = 4380$ год. Планово-попереджувальних роботи виконується за межами опалювального сезону, тому $T_{ппр} = 0$.

$$T_{еф} = 8760 - (4380 + 0 + 480) = 3900 \text{ год.}$$

$$З_{ел} = 0{,}180 * 3900 * 6{,}9 = 26910 \text{ грн.}$$

Річна сума амортизаційних відрахувань розраховується за формулою:

$$З_{а} = \frac{К_{КТС}^{А} * Н_{а}}{100}, \quad (7.7)$$

де $Н_{а}$ – норма амортизації, %.

$$З_{а} = \frac{572909 * 10}{100} = 57291 \text{ грн.}$$

$$З_{мат} = \frac{572909 * 2}{100} = 11458 \text{ грн.}$$

$$З_{рем} = \frac{572909 * 7}{100} = 40103 \text{ грн.}$$

$$З_{експ} = (355401 * 6) + 26910 + 57291 + 11458 + 40103 = 2268168 \text{ грн.}$$

7.2.3Розрахунок показників економічної ефективності автоматизованої системи

Модернізація системи управління спрямована на мінімізацію технологічних простоїв в опалювальний період за рахунок підвищеної відмовостійкості обладнання Weintek. Це дозволяє продовжити корисний час експлуатації котла на 120 годин протягом сезону. Крім того, за рахунок

прецизійного регулювання співвідношення паливо-повітря, очікується зростання ККД агрегату на 0,5%, що безпосередньо знижує питомі витрати природного газу.

Оцінка доцільності інвестицій базується на визначенні трьох ключових параметрів: річного сукупного заощадження коштів, чистого економічного ефекту та рентабельності капітальних вкладень у програмно-технічний комплекс [25].

Для водогрійного котла КВГМ-10-150 з номінальною теплопродуктивністю 10 Гкал/год базовий рівень споживання газу становить 1198,4 м³/год. Оптимізація процесів горіння після впровадження СА дозволяє скоротити цей показник до 1191,33 м³/год, що забезпечує погодинну економію енергоресурсу в розмірі 7,07 м³.

Фінансовий результат (Е) розраховується як сума вартості збереженого палива та додаткового прибутку від реалізації теплової енергії, отриманої внаслідок скорочення простоїв за формулою 7.8:

$$\text{Е} = T_{\text{еф}} * (Q * P_{\text{т}} - P_{\text{г}} * G), \tag{7.8}$$

де Q теплопродуктивність КТЗ, Гкал/год;

$P_{\text{т}}$ – вартість 1Гкал тепла, грн;

$P_{\text{г}}$ – вартість 1 м³ газу, грн;

G – споживання газу КТЗ, м³/год.

Термін окупності проекту (Т) визначає період, за який чистий дохід повністю покриє витрати на придбання та монтаж засобів автоматизації і знаходиться за формулою 7.9:

$$\text{Т} = \frac{\text{К}^{\text{А}}}{\text{Е}}, \tag{7.9}$$

Коефіцієнт рентабельності капіталовкладень ($E_р$) відображає рівень віддачі інвестованих коштів і є критичним показником при прийнятті рішення про масштабування системи і визначається за формулою 7.10:

$$E_р = \frac{E}{К^А}, \quad (7.10)$$

За формулою 7.8 визначаємо фінансовий результат:

$$E = 3900 * (10 * 1700 - 7{,}98 * 1191{,}33) - (3900 - 120) * (10 * 1700 - 7{,}98 * 1198{,}402) = 1112505 \text{ грн}$$

Термін окупності капітальних витрат визначаються за формулою 7.9:

$$Т = \frac{662200}{1112505} = 0{,}595 \text{рік}$$

Рентабельність капітальних вкладень врозрахуємо за формулою 7.10:

$$E_р = \frac{E}{К^А} = \frac{1112505}{662200} = 1{,}68$$

Результати розрахунку економічної ефективності зведемо в таб. 7.3

Таблиця 7.3 – Показники ефективності

Найменування показника	Од. виміру	Рівень показника
Вартість КТЗ	грн.	572909
Одноразові витрати на створення СА	грн.	662200

Продовження таблиці 7.3

Найменування показника	Од. виміру	Рівень показника
Довиробничі витрати на розробку СА	грн.	32000
Капітальні витрати	грн.	630200
Час роботи КТЗ на рік	год	3900
Продуктивність котла на рік	Гкал	39000
Річні витрати на заробітну плату спеціалістів	грн.	2132406
Річна сума амортизаційних відрахувань	грн.	57291
Річні експлуатаційні витрати СА	грн.	2268168
Річна економія	грн.	1112505
Термін окупності витрат	рік	0,595
Рентабельність капітальних вкладень		1,68

8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

8.1 Загальні положення

Котельня є об’єктом підвищеної небезпеки, оскільки її обладнання працює під високим тиском, температурою та за наявності горючих речовин. Тому організація безпечних умов праці є одним з головних завдань при експлуатації котельного обладнання. Всі працівники котельні повинні дотримуватись інструкцій з охорони праці, пожежної безпеки, електробезпеки та вимог чинного законодавства у сфері промислової безпеки.

Перед початком роботи всі працівники повинні пройти вступний інструктаж, а також первинний інструктаж на робочому місці. Повторний, позаплановий та цільовий інструктажі проводяться згідно із законодавчими нормами. До роботи допускаються особи, які пройшли навчання, інструктаж, медичний огляд і мають відповідну кваліфікацію.

8.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори та заходи їх усунення

Під час експлуатації котельного обладнання працівники можуть зазнавати впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що становлять потенційну загрозу життю, здоров’ю та працездатності. Ідентифікація таких факторів і впровадження відповідних заходів безпеки є обов’язковими умовами організації охорони праці.

У зоні безперервної генерації гарячої води мікрокліматичні умови характеризуються підвищеним тепловим навантаженням: температура повітря сягає 41 °C при вологості 46 % та швидкості повітряних потоків 0,5 м/с. Систематичне перевищення нормативних показників мікроклімату дезорганізує природну терморегуляцію людини, що стає причиною падіння працездатності та розвитку професійних патологій. Основними шляхами надходження теплової енергії від обладнання є конвекція та теплопередача. У

разі критичного перегріву навколишнього середовища здатність організму до самоохолодження знижується, що може спровокувати тепловий удар, втрату свідомості або важкі фізіологічні наслідки.

Акустичне навантаження формується комплексом шумів різної природи. Аеродинамічні шуми виникають через турбулентність та пульсацію тиску під час руху газових потоків у магістралях. Термічний шум генерується безпосередньо у пальникових пристроях внаслідок коливань густини газу при згорянні, а механічний — зумовлений роботою підйомних кранів та іншого допоміжного обладнання. При нормативному ліміті у 80 дБ, фактичний рівень звукового тиску на об’єкті становить 82 дБ. Тривалий вплив такого шуму призводить не лише до погіршення слуху, але й до розладів вестибулярного апарату, серцево-судинної системи та загального виснаження нервової системи, що збільшує ризик виробничого травматизму та браку.

Технічну небезпеку становлять відкриті обертові елементи насосних агрегатів та димососів, близькість до яких створює ризик затягування одягу або частин тіла працівників. Використання змішаного газу (доменного та природного) як основного палива має певні переваги порівняно з твердим паливом, оскільки виключає складні процеси шлаковидалення та зменшує викиди пилу. Проте газове господарство вимагає особливої уваги до герметичності арматури. Витік компонентів палива загрожує гострим отруєнням персоналу, оскільки суміш містить значну частку токсичного оксиду вуглецю.

Окрему загрозу становить вибухопожежонебезпечність газоповітряних сумішей. Межі вибуховості для використовуваного газу знаходяться в діапазоні від 25 % до 60 % за об'ємом, а самозаймання можливе при температурі 400–650 °С. Будь-яке джерело енергії (відкритий вогонь або електрична іскра) при порушенні технологічного регламенту може спровокувати аварію.

Психофізіологічний стан слюсаря КВП і А піддається значним випробуванням через нервово-емоційне напруження, необхідність тривалої

концентрації уваги при моніторингу процесів та розумову втому. Найбільш відповідальним та потенційно небезпечним етапом експлуатації водогрійного котла вважається процес його розпалювання, який вимагає від персоналу чіткої координації дій та суворого дотримання протоколів безпеки.

Отже, до основних небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати у котельному приміщенні, належать:

а) висока температура нагрівальних поверхонь котлів, трубопроводів, арматури та інших агрегатів. Контакт із гарячими поверхнями може спричинити опіки різного ступеня. Для захисту застосовуються термоізоляція, попереджувальні таблички, засоби індивідуального захисту (рукавиці, спецодяг);

б) наявність пари або гарячої води під тиском. У разі розгерметизації або аварійного скидання існує ризик отримання опіків. Для запобігання використовуються системи захисту від надлишкового тиску, регулярна перевірка клапанів безпеки, герметичність з’єднань;

в) підвищений рівень шуму від роботи насосів, вентиляторів, пальників тощо. Тривалий вплив шуму може викликати порушення слуху та нервово-психологічне навантаження. Для зменшення впливу використовуються шумоізоляційні матеріали та індивідуальні засоби захисту слуху;

г) вібрації, що передаються від працюючого обладнання. Вони можуть викликати втому, проблеми з опорно-руховим апаратом та інші хронічні захворювання. Профілактикою є застосування вібропоглинаючих основ, регулярне технічне обслуговування агрегатів;

д) наявність горючих газів або парів палива, що створюють вибухонебезпечну атмосферу. Причиною можуть бути витоки газу, несправність пальників або вентиляції. Необхідне обладнання приміщення сигналізаторами загазованості, системами автоматичного відключення подачі палива, вентиляцією та регулярним технічним обслуговуванням;

е) наявність електрообладнання, що працює під напругою. Ураження електрострумом можливе при пошкодженні ізоляції або порушенні правил

експлуатації. Для захисту застосовуються заземлення, автоматичні вимикачі, інструктажі з електробезпеки та наявність відповідної групи допуску у працівників;

ж) недостатня вентиляція або накопичення чадного газу. При неповному згорянні палива або поганій тязі виникає загроза отруєння. Обов'язкове забезпечення ефективної природної або примусової вентиляції, встановлення газоаналізаторів, контроль за тягою та автоматикою безпеки;

з) обертові частини обладнання (вентилятори, муфти, вали). Вони становлять механічну небезпеку для персоналу. Забезпечується наявність огорож, захисних кожухів, заборона роботи при знятих елементах безпеки;

и) недостатній рівень освітлення. Це може призвести до зниження концентрації уваги, підвищення ризику помилок та травм. Потрібно забезпечити рівномірне освітлення робочих зон відповідно до норм ДБН;

к) хімічні реагенти, що використовуються для підготовки води (лужні або кислотні розчини). Їх вплив можливий при контакті зі шкірою або при вдиханні парів. Заходи захисту включають використання герметичних ємностей, витяжну вентиляцію, захисні рукавиці, окуляри або щитки.

8.3 Вимоги до приміщення котельні

Приміщення котельні має суворо відповідати державним будівельним нормам, зокрема ДБН В.2.5-77:2014 [27], що регулює проектування автономних джерел теплопостачання. Висота залів, де розташовується обладнання, повинна становити не менше 2,5 метра, а вільний простір над верхньою точкою котла має залишатися в межах 0,8 метра для безперешкодного доступу до арматури. Особлива увага приділяється ширині проходів, оскільки згідно з правилами охорони праці при експлуатації обладнання під тиском, відстань по фронту обслуговування має бути не меншою за 1,5 метра, що забезпечує швидку евакуацію та зручність роботи з контрольно-вимірювальними приладами.

Вентиляційна система котельні розраховується на забезпечення трикратного обміну повітря щогодини з додатковим урахуванням кисню, необхідного для підтримки процесу горіння палива. Для захисту будівлі від наслідків можливого вибуху газоповітряної суміші обов'язково передбачаються легкоскидні конструкції у вигляді віконного засклення. Його площа визначається з розрахунку 0,05 квадратного метра на кожен кубічний метр об'єму залу. Підлога повинна мати негорюче покриття та бути обладнаною трапами для стоку води в каналізацію на випадок спрацювання запобіжних клапанів або аварійного зливу теплоносія.

Згідно з вимогами ДБН В.2.5-20:2018, приміщення в обов'язковому порядку оснащується автоматичними сигналізаторами довибухових концентрацій метану та небезпечного рівня чадного газу. Система освітлення має включати не лише робочі світильники, але й аварійну лінію живлення, яка активується автоматично при знеструмленні об'єкта. Протипожежний захист базується на стандартах ДСТУ EN 3-7 і передбачає наявність сертифікованих вогнегасників, ящиків з піском та іншого інвентарю, розміщеного біля виходів. Всі евакуаційні шляхи та зони підвищеної небезпеки маркуються знаками безпеки відповідно до ДСТУ ISO 7010:2019, а графічні схеми обв'язки обладнання вивішуються на видних місцях для оперативного орієнтування персоналу.

8.4 Безпека при роботі з обладнанням

Експлуатація та технічне обслуговування основних вузлів котельні, включаючи пальників пристрої, насосні агрегати та запірно-регулюючу арматуру, дозволяється виключно персоналу, який пройшов спеціалізоване навчання та має чинне кваліфікаційне посвідчення. Згідно з вимогами НПАОП 40.1-1.21-98, працівники повинні мати відповідну групу з електробезпеки, що підтверджує їхню здатність безпечно взаємодіяти з електрифікованими приводами та системами автоматизації. Обов’язковим етапом перед

введенням обладнання в роботу є комплексна перевірка цілісності вимірювальних приладів, а також тестування працездатності логічних контролерів, засобів аварійної сигналізації та систем автоматичного захисту, що гарантують безаварійну зупинку установки у критичних ситуаціях.

У процесі безпосередньої експлуатації діє сувора заборона на виконання будь-яких маніпуляцій, що можуть порушити герметичність системи або цілісність конструкції під навантаженням. Зокрема, категорично забороняється відкриття оглядових люків або ремонтних фланців, якщо всередині котла чи трубопроводів зберігається надлишковий тиск. Будь-які сервісні чи налагоджувальні роботи повинні проводитися лише після повного відключення енергоживлення та фізичного від'єднання обладнання від магістралей. Постійний контроль за показниками тиску та температури є критичним, оскільки вихід за межі встановлених режимних карт може призвести до руйнування металоконструкцій. Крім того, не допускається залишення працюючих агрегатів без візуального або дистанційного нагляду, за винятком випадків, коли система керування повністю автоматизована і сертифікована для роботи без постійної присутності персоналу.

Дотримання регламенту дій у позаштатних ситуаціях є запорукою безпеки всього підприємства. При виявленні сторонніх звуків, вібрацій, протікання теплоносія або нестабільної роботи систем автоматики, оператор зобов'язаний негайно ініціювати процедуру аварійної зупинки обладнання. Після стабілізації стану системи необхідно невідкладно проінформувати відповідального чергового інженера або керівника зміни для подальшої діагностики та фіксації інциденту в оперативному журналі. Будь-яка затримка у реагуванні на несправність розцінюється як грубе порушення інструкцій з охорони праці, що може спричинити техногенну аварію.

8.5 Електробезпека

Оскільки функціонування котельного агрегату та допоміжних систем нерозривно пов'язане з використанням промислових електромереж, суворе дотримання регламентів електробезпеки є фундаментальною умовою експлуатації. Відповідно до вимог ПУЕ та ПТЕЕС, усі металеві частини корпусів електрообладнання, силових щитів та контролерів, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути приєднані до контуру захисного заземлення. Стан ізоляції з’єднувальних кабелів, цілісність штепсельних роз'ємів та надійність комутаційної апаратури підлягають регулярному візуальному та інструментальному контролю, оскільки використання обладнання з ознаками термічного пошкодження або відкритими струмопровідними частинами категорично заборонено.

Технічне обслуговування, заміна модулів ПЛК або ремонт виконавчих механізмів дозволяються виключно за умови повного знеструмлення відповідної ділянки мережі та встановлення попереджувальних табличок на пускових пристроях. Окрім технічних знань, персонал зобов’язаний володіти чітким алгоритмом дій у разі виникнення надзвичайної ситуації, зокрема навичками звільнення потерпілого від дії електричного струму та методами надання долікарської допомоги. Такий комплексний підхід до організації робочого процесу дозволяє мінімізувати ризики травматизму та забезпечує стабільну роботу автоматизованої системи керування котельнею.

8.6 Пожежна безпека

Забезпечення пожежної безпеки в приміщеннях котельних регламентується суворими галузевими стандартами, зокрема правилами пожежної безпеки в Україні та нормами ДСТУ ISO 7010:2019. З огляду на високу концентрацію паливних ліній та електричного обладнання, на території об'єкта діє категорична заборона на використання відкритого вогню та

проведення будь-яких вогневих робіт без спеціального наряду-допуску. Технологічні зони повинні залишатися вільними від сторонніх предметів, а зберігання легкозаймистих рідин, мастильних матеріалів або горючої тари безпосередньо в залі котельні не допускається, оскільки це створює додаткове навантаження на систему протипожежного захисту та сприяє швидкому поширенню полум’я.

Окрему увагу приділено культурі безпеки персоналу, що включає повну заборону куріння в робочих зонах та контроль за чистотою евакуаційних шляхів, які мають бути постійно вільними для безперешкодного виходу людей. Для раннього виявлення загрози приміщення обладнується автоматичною пожежною сигналізацією, інтегрованою в загальну систему автоматизації, що дозволяє миттєво знеструмити паливні насоси та припинити подачу газу при спрацюванні датчиків задимлення або підвищення температури. На видних місцях розміщуються графічні плани евакуації та покажчики до пунктів розташування первинних засобів пожежогасіння, таких як вуглекислотні вогнегасники, придатні для гасіння електроустановок під напругою.

Ефективність протипожежного захисту безпосередньо залежить від підготовки працівників, які зобов’язані регулярно проходити інструктажі та володіти чітким алгоритмом дій у разі виникнення загоряння. Це включає вміння користуватися внутрішнім пожежним водопроводом, знання точок екстреного вимкнення електроживлення та порядку оповіщення аварійних служб. Комплексний підхід до організації простору, що виключає захаращення виходів та несанкціоноване зберігання небезпечних речовин, є ключовим чинником мінімізації ризиків техногенних катастроф на енергетичних об'єктах.

8.7 Охорона праці та захист працівників

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): спецодягом, взуттям, рукавицями, захисними окулярами або щитками. Робочі місця повинні відповідати вимогам ергономіки, санітарії та гігієни праці.

Регулярно проводяться медичні огляди, інструктажі з охорони праці, навчання з пожежної безпеки та цивільного захисту. У випадку травмування, працівник має право на медичну допомогу, розслідування випадку і компенсацію згідно законодавства.

8.8 Автоматизація та дистанційне управління

У сучасних котельнях використовуються системи автоматичного регулювання та сигналізації, які підвищують безпеку. Оператор повинен знати, як діяти при аварійному спрацюванні автоматики, які параметри контролювати, як перемикатися на ручний режим.

Автоматизовані системи не виключають потреби у регулярному нагляді, обслуговуванні та перевірці працездатності сигналізаційних пристроїв.

ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи є модернізаця системи автоматизації водогрійного котла КВГМ 10-150, яка забезпечить стабільне та безпечне функціонування водогрійного котла у складі міської системи теплопостачання.

1 У ході реалізації поставленої задачі розглянуто опис технологічного агрегату та алгоритм роботи котла. На основі цих знань було розроблено схему матеріальних потоків, на якій представлені необхідні сигнали для управління та контролю параметрів. Проаналізовано існуючий рівень автоматизації на підприємстві та виявлено неділіки існуючої системи автоматизації.

2 Розроблено технічне завдання з вимогами до системи, що проєктується. Виділено основні рівні управління та обробки інформації, необхідні рішення для програмно-технічного комплексу, режими управління системою, визначено вимоги до безпеки та необхідність резервування інформації.

3 У проєкті обрано необхідні прилади автоматизації для реалізації поставленої задачі та умов експлуатації. Контролером обрано Weintek cMT-CTRL01, який підходить для системи автоматизації своїми можливостями. З урахуванням обраного контролера реалізація алгоритмів виконана з використанням мови ST для регулювання температури та тиску, що забезпечє високу точність підтримання параметрів горіння. Масштабування даних у системі враховує перехід від фізичних величин датчиків до інженерних одиниць, що є критичним для коректної роботи виконавчих механізмів.

4. Проведено розрахунок налаштувань ПІ-закону регулювання, а математичне моделювання перехідного процесу в Matlab показує, що оптимальними значеннями є $К_р = 6{,}554$ та $Т_і = 3{,}5$ відповідно.

5. На основі технічних характеристик регулювального органу і виконавчого механізму, розраховано кривошипне з’єднання, при якому довжина тяги склала 613.6 мм.

6 Відповідно до схеми інформаційних потоків та вимог до системи, було розроблено технічну документацію для поставленої задачі: ФСА, ПЕС, ЗВЩ, МКС, ПСЖ, СЗЗ.

7. На основі запропонованих засобів атоматизації було розраховано показники надійності системи. Ймовірність безвідмовної роботи за 10000 годин скаладає 49,95 %. Ймовірність безвідмовної роботи протягом 10000 годин, з урахуванням відновлення відмовної функції, складає 74,55 %. Середнє напрацювання до відмови складає 14245 годин. Розрахований коефіцієнт готовності 0,9997 свідчить про здатність системи виконувати свої функції без значних простоїв. Загалом система відповідає вимогам надійності.

8. У роботі створено замовну специфікацію на весь спектр запропонованих технічних засобів, необхідних для практичної реалізації системи автоматизації.

9. Під час аналізу техніко-економічних показників підібрано необхідну кількість та кваліфікацію персоналу для обслуговування системи автоматизації. Виконано розрахунок балансу часу роботи, річного фонду заробітної плати та середньої плати за місяць. Розраховано загальну суму капіталовкладень 662200 грн. для реалізації спроєктованої системи автоматизації із терміном окупності 0,595 року та рентабельністю капіталовкладень 1,68. Визначено річну економію на рівні 1112505 грн. Економічна ефективність проєкту підтверджується завдяки скороченням простоїв та підвищення ККД за рахунок оптимізації процесів горіння.

10. У розділі техніки безпеки та охорони праці проаналізовано небезпечні фактори, пов’язані з роботою з обслуговування даної системи, та знайдено рішення щодо зменшення впливу небезпечних факторів на здоров’я персоналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ніколаєнко А. М. Технічні засоби автоматизації : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2013. 322 с.

2. Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики. URL: http://energetika.in.ua/ua/books/book-3 (дата звернення: 15.02.2026).

3. Теплоенергетичні установки і системи. Конспект лекцій для студентів 4 курсу напряму підготовки 6.100101 «Енергетика та електротехнічні системи в АПК». Суми, 2012. 72 с.

4. Вороновський Г. К., Махотило К. В. Енергоефективні технології регулювання продуктивності тягодутьєвих машин на базі частотно-регульованого приводу. Промислова електроенергетика та електротехніка. 2021. № 2. С. 14–21.

5. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: підручник. Вид. 2-ге, перероб. і допов. Київ : Либідь, 2007. 656 с.

6. Lipták B. G. Instrument Engineers' Handbook, Volume Two: Process Control and Optimization. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2018. 2464 p.

7.Weintek cMT-CTRL01 Programmable Controller : datasheet. URL: https://www.weintek.com/Product/Model/cMT-CTRL01 (дата звернення: 20.05.2026).

8. Димосос типу ДН-12,5. URL: https://propeller.in.ua/ua/p1920985127-dymosos-125-750.html (дата звернення: 15.03.2026).

9. ПБР-21 Пускач безконтактний реверсивний, однофазний. URL: https://microl.ua/ua/product/puskac-bezkontaktnij-reversivnij-odnofaznij (дата звернення: 16.03.2026).

10. Механізми виконавчі МЕО : технічні характеристики. URL: https://ukrspecavtomat.com.ua/products/mehanizmvi-ispolnitelnyie-meo-meof/ (дата звернення: 17.03.2026).

11. Каталог продукции Danfoss. URL: https://ianv.com.ua/category/category-danfoss (дата звернення: 17.03.2026).

12. Регулююча арматура в системах теплопостачання : каталог продукції. URL: https://profimann.com.ua/ (дата звернення: 20.03.2026).

13. Ельперін І. В. Промислові контролери: навч. посіб. Київ : НУХТ, 2003. 319 с.

14. Міняйло Н. О., Ендік Т. В., Лепехов Р. О. SoftLogic-системи як інструмент прототипування прикладних програм для систем управління. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні «Інженерні інновації та розбудова національної економіки» (15–16 травня 2025 року, м. Запоріжжя) / наук. ред. Н. Г. Метеленко ; Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. С. 937-940.

15. Клименко М. І. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: навч. посіб. Київ : Освіта України, 2012. 352 с.

16. ДСТУ IEC 61131-3:2016. Контролери програмовані. Частина 3. Мови програмування (IEC 61131-3:2013, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 245 с.

17. ДСТУ EN 61508-1:2015. Функційна безпека систем електричних, електронних, програмованих електронних, пов’язаних з безпекою. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 80 с.

18. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.

19. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI: навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2020. 594 с.

20. Розрахунок надійності й імовірність безвідмовної роботи елементів проектованого виробу. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/34470/2/APMT_2020v1_Chyu_B_A-Calculation_of_reliability_144-145.pdf (дата звернення: 27.04.2026).

21. Kovalenko V., Petrenko O. Mathematical Modeling of Combustion Process Control in Hot Water Boilers. Advances in Cyber-Physical Systems. 2023. Vol. 8, No. 1. P. 12–19.

22. Шевченко І. В., Савченко Т. В. Функційна безпека та ризики промислових систем автоматизації : монографія. Харків : НТУ «ХПІ», 2021. 320 с.

23. Методи побудови надійних систем автоматизації на базі ПЛК : зб. наук. праць / за ред. проф. О. М. Пупени. Київ : Ліра-К, 2024. 210 с.

24. Економіка підприємства: збірник засобів діагностики рівня професійних компетентностей : навч.-практ. посіб. / М. В. Афанасьєв, І. Я. Іпполітова, Н. В. Лепетюха та ін. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2019. 334 с.

25. Економіка підприємства : підручник / Л. Л. Лазебник, В. В. Гурочкіна, Л. В. Слюсарева та ін. ; за заг. ред. Л. Л. Лазебник. Ірпінь : Університет ДФС України, 2021. 426 с.

26. Газопостачання. ДБН В.2.5-20:2018. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 145 с.

27. ДБН В.2.5-77:2014 URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200408674656846852 (дата звернення: 27.04.2026).

28. ChatGPT-4o (OpenAI), інтерактивний https://chat.openai.com (дата звернення 29.05.2026).

Додаток А

Програма моделювання перехідного процесу в середовищі Matlab

```
% 1. ПАРАМЕТРИ ЧАСУ
dt = 0.01;                % Крок (10 мс)
t = 0:dt:40;
n = length(t);

% 2. ПАРАМЕТРИ ОБ'ЄКТА W = 0.445 / (5s + 1) * e^(-1.2s)
K_obj = 0.445;
T_obj = 5;
tau = 1.2;
delay_steps = round(tau/dt);

% 3. НАЛАШТУВАННЯ ПІ-ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ
Kp = 2,74;                % Коэффициент посилення
Ti = 3.0;                % Время інтегрування (в секундах)


target = 1;
y = zeros(1, n);
u = zeros(1, n);
integral_sum = 0;
u_delayed_buffer = zeros(1, delay_steps + 1);

% 4. ЦИКЛ МОДЕЛЮВАННЯ
for i = 2:n
    error = target - y(i-1);
    integral_sum = integral_sum + error * dt;

    u(i) = Kp * (error + (1/Ti) * integral_sum);

    % Обмеження
    if u(i) > 100, u(i) = 100; end
    if u(i) < 0, u(i) = 0; end

    % --- Затримка ---
    u_delayed_buffer = [u_delayed_buffer(2:end), u(i)];
    u_to_process = u_delayed_buffer(1);

    % --- Об'єкт ---
    dy = (dt / T_obj) * (K_obj * u_to_process - y(i-1));
    y(i) = y(i-1) + dy;
end
```

```
% 5. ГРАФІКИ
figure('Color', 'w');
subplot(2,1,1);
plot(t, y, 'b', 'LineWidth', 2); hold on;
yline(target, '--r', 'Уставка');
grid on; title('Вихід процеса (y)');
ylabel('Значення');

subplot(2,1,2);
plot(t, u, 'Color', [0.2 0.6 0.2], 'LineWidth', 1.5);
grid on; title('Сигнал керування (u)');
ylabel('Вплив');
xlabel('Час (сек)');
```

Додаток Б

Программа автоматичного регулювання розрідження на мові ST в середовищі CODESYS

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
BTN_Fun_more: BOOL :=FALSE;
BTN_Fun_less: BOOL :=FALSE;
isAuto: BOOL :=TRUE;
Fun_step: REAL :=0.32;
Max_P: REAL := -30.0;
Min_P: REAL := -20.0;
SetPoint_P: REAL := -25.0;
Hesteris_P: REAL := 0.5;
Current_P: REAL := 0.0;
Current_Fun_val: REAL := 0.0;
isPower: BOOL := FALSE;
Fun_more: BOOL := FALSE;
Fun_less: BOOL := FALSE;
isIgnition: BOOL := FALSE;
isFailure: BOOL := FALSE;
isWork: BOOL := FALSE;
OutOfRange_P: BOOL := FALSE;
Fire_val: REAL := 0.1;
Blink_Timer: TIME;
Blink: BOOL := FALSE;
Reset_Failure: BOOL := FALSE;
Error: REAL :=0.0;
IntegralError: REAL :=0.0;
D_T: REAL;
```

```
DerivativeError :REAL :=0.0;
PrevError: REAL :=0.0;
P_COEFICIENT: REAL :=6.554;
I_COEFICIENT: REAL :=3.5;
D_COEFICIENT: REAL :=0.0;
FunTarget: REAL :=0.0;
BTN_manual_Lock: BOOL := TRUE;
Ignition_Lock: BOOL := TRUE;
PrevTime : TIME := T#0S;
CurrTime : TIME;
END_VAR

CurrTime := TIME();
D_T := TIME_TO_REAL(CurrTime - PrevTime) / 1000.0;
PrevTime := CurrTime;
//готовність
IF isPower AND NOT isFailure THEN
isWork :=TRUE;
ELSE
isWork := FALSE;
    BTN_manual_Lock := TRUE;
Ignition_Lock := TRUE;
END_IF
IF BTN_manual_Lock THEN
BTN_Fun_more := FALSE;
BTN_Fun_less := FALSE;
END_IF
IF Ignition_Lock THEN
isIgnition := FALSE;
END_IF
```

```
//процес керування
IF isWork THEN
IF isAuto THEN
//автоматичний режим
BTN_manual_Lock := TRUE;
Error:= Current_P-SetPoint_P;
IF ABS(Error)>Hesteris_P THEN
IntegralError := IntegralError + Error * D_T;
DerivativeError := (Error - prevError) / D_T;
PrevError := Error;
FunTarget  :=  Error  *  P_COEFICIENT  +  IntegralError  *
I_COEFICIENT  + DerivativeError * D_COEFICIENT;
             FunTarget := FunTarget + Current_Fun_val;
FunTarget := LIMIT(0.0, FunTarget, 100.0);
IF FunTarget<Current_Fun_val THEN
Fun_more := FALSE;
Fun_less := TRUE;
ELSIF FunTarget>Current_Fun_val THEN
Fun_more := TRUE;
Fun_less := FALSE;
ELSE
Fun_more := FALSE;
 Fun_less := FALSE;
END_IF
ELSE
Fun_more := FALSE;
Fun_less := FALSE;
END_IF
ELSE
//ручний режим
```

```
BTN_manual_Lock := FALSE;

IF BTN_Fun_more THEN
IF Fun_more =FALSE THEN
Fun_more := TRUE;
Fun_less := FALSE;
BTN_Fun_less := FALSE;
END_IF
 END_IF
IF BTN_Fun_less THEN
IF Fun_less = FALSE THEN
Fun_less := TRUE;
Fun_more := FALSE;
BTN_Fun_more := FALSE
END_IF
END_IF
IF NOT (BTN_Fun_more OR BTN_Fun_less) THEN
Fun_more := FALSE;
Fun_less := FALSE;
END_IF
END_IF
END_IF

//Перевірка виходу значення розрідження за допустимі межі
IF (Current_P>Min_P OR Current_P<Max_P) THEN
OutOfRange_P :=TRUE;
ELSE
OutOfRange_P :=FALSE;
END_IF
```

```
IF isIgnition AND OutOfRange_P THEN
isFailure := TRUE;
END_IF
//безпека запалювання
IF Ignition_Lock AND ABS(Current_P-
SetPoint_P)<=Hesteris_P THEN
Ignition_Lock :=FALSE;
Fire_val := 0.1;
END_IF
IF NOT isIgnition AND NOT Ignition_Lock AND
ABS(Current_P-SetPoint_P)>Hesteris_P THEN
Ignition_Lock :=TRUE;
END_IF
//аварія
IF isFailure THEN
isAuto :=TRUE;
isPower := FALSE;
Fun_more := FALSE;
Fun_less := FALSE;
BTN_Fun_more := FALSE;
BTN_Fun_less := FALSE;
    IF Reset_Failure THEN
isFailure :=FALSE;
Fire_val := 0.1;
END_IF
END_IF
//симуляція  розрідження та руху виконавчого механізму
IF isPower THEN
IF ABS(Current_Fun_val-FunTarget)>0.1 OR NOT isAuto  THEN
IF Fun_more THEN
```

```
Current_Fun_val := Current_Fun_val + Fun_step;
ELSIF Fun_less THEN
Current_Fun_val := Current_Fun_val - Fun_step;
END_IF
Current_Fun_val:= LIMIT(0.0, Current_Fun_val, 100.0);
END_IF
Current_P  :=  Current_P  -  Current_Fun_val/500.0  -
Current_P/500;
END_IF
//симуляція підсосу повітря, якщо є розрідження в камері
IF Current_P<0 THEN
Current_P := Current_P - Current_P/500;
IF NOT isPower AND Current_P<0 THEN
//витік повітря через відкритий димосос без живлення
Current_P          :=          Current_P          -
Current_Fun_val*Current_P/5000.0;
END_IF
IF Current_P>0 THEN
Current_P :=0;
END_IF
END_IF
//симуляція тиску за рахунок палива та повітря
IF isIgnition THEN
Current_P := Current_P + Fire_val/750;
END_IF
IF TIME()-Blink_Timer>=T#0.5S THEN
Blink_Timer := TIME();
Blink := NOT Blink;
END_IF
```

Додаток В

Замовна специфікація на комплекс технік засобів

Позиція	Найменування та технічна характеристика обладнання й матеріалів, завод-виробник	Тип, марка обладнання	Одиниця вимірювання		Код завода-виробника	Код обладнання, матеріалу	Ціна одиниці, грн	Кількість	Маса одиниці обладнання,кг
			Найменування	Код					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1. Прилади та засоби автоматизації								
1а,8а	Термоперетворювач	МВТ 3560 0000-0000-10-150	шт.					2	
1в,2д	Термоперетворювач	МВТ 3560 0001-0200-10-120	шт.					2	
7в	Термоперетворювач	МВТ 5252 1021-0200-0200-GN40	шт.					1	
4а,4в,4д,4к	Перетворювач тиску	DST P140 1B1I-A5GB04-1	шт.					4	
5а	Перетворювач тиску	MBS 1250 063G1872	шт.					4	
5в,7а	Перетворювач тиску	PR8860-0100BA	шт.					2	
6а	Перетворювач тиску	MBS 9300 A311-A1GB04-1	шт.					1	
3а	Перетворювач яскравості	ПНП-ФР	шт.					1	
1к,2г,2і,2л,4б,4г,4ж,4з,4і,5г,5і,6б	Індикатор - вимірювач	ПМ-100	шт.					17	
1г,1л,4м,5,5м,6в	Блок ручного керування	БРУ-15	шт.					6	
2а,2в,5д,5ж	Витратомір	CoriolisMaster FCH15	шт.					4	
1е,1,4а,5к,5н,6г	Пускач магнітний реверсивний	ПБР-21	шт.					6	
1м,1п,4н,4р	Пускач магнітний	ПМЛ-1101Б	шт.					4	
6ж	Контактор	e.industrial.ukc.75.220	шт.					1	
1к,1к,5л,5о	Виконавчий механізм ел. однооб.	МЕО-100/63-0,25	шт.					4	
4і,6д	Виконавчий механізм ел. однооб.	МЕО-100/25-0,25У-99К	шт.					2	
1н	Електромагнітний клапан	EV-6	шт.					1	
4с	Вентилятор	ВДН-10	шт.					1	
4о	Вентилятор	19ЦС-63	шт.					1	
6з	Димосос	ДН-12,5-1000	шт.					1	
1р	Ротаційний газомазутний пальник	РГМП-10	шт.					1	
	2. Агрегатні комплекси та засоби обчислювальної техніки								
	Модуль аналогових входів	iR-AI04-VI	шт.					6	
	Модуль дискретних виходів	iR-DQ16-N	шт.					1	
	Модуль дискретних входів/ виходів	iR-DM16-N	шт.					1	
	ППК	cMT-CTRL01	шт.					1	
	Модуль живлення	БП-32-1К	шт.					1	
	Програмно-технічний комплекс оператора (АРМ)	Згідно ТЗ	шт.					1	
	Мережевий комутатор	Advantech EKI-2525	шт.					1	
	3. Щити та пульти управління								
П1	Щит панельний каркасний	ЩПК	шт.					1	
	4. Електроапаратура								
В1	Вимикач автоматичний	CNC BA-73 160A	шт.					1	
В2-В5	Вимикач автоматичний	АП50Б-2МТ-2,5	шт.					4	
Зп1-Зп3	Запобіжник	ЕП CH F 80A	шт.					3	
Пр2-Пр5	Запобіжник	ЕП CH F 4A	шт.					4	
1п,1о,4м,4п,6в	Кнопка керування	КУО-3	шт.					5	
КК1	Клемна колодка	КК-1	шт.					1	
	5. Трубопровідна арматура								
	Труба захисна	Тр 25х2	м.					1	
	Труба захисна	Тр 40х3	м.					140	
	Труба захисна	Тр 80х3	м.					28	
	6. Кабелі та проводка								
	Кабель	АКВВГ 7х2,5	м.					55	
	Кабель	АВВГ 2х2,5	м.					3	
	Кабель	КВВГЕ 3х2,5	м.					60	
	Кабель	ВВГ 3х2,5	м.					34	
	Кабель	ВВГ 4х16	м.					35	
	7. Монтажні матеріали								
	Рейка DIN	РПВ5/75-06-6	шт.					1	