МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

першого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему Проєкт автоматизації водогрійного котла ПТВМ-50. Система автоматичного регулювання тепловим режимом

Виконав: студент курсу, групи
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

С. О. Трошин

Керівник доц., к.т.н. Міняйло Н. О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент директор ТОВ «Електротехмаш»
Курілець І. А.

Запоріжжя 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (бакалаврський)
Спеціальність 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика»
(код та назва)

Спеціалізація _____
(код та назва)

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІКФС
_____ Коваленко В.Л.
"___" _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ
Трошину Станіславу Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батьков)

1 Тема роботи (проекту) Проєкт автоматизації водогрійного котла ПТВМ-50. Система автоматичного регулювання тепловим режимом
керівник роботи Міняйло Н.О., канд.техн.наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «27» грудня 2024 року № 2029-с
2 Строк подання студентом роботи 10 червня 2025 р.
3 Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз існуючого рівня автоматизації; розробка схеми інформаційних потоків; розробка технічного завдання; структура програмно-технічного комплексу; проєктування системи регулювання тепловим режимом; розробка технічної документації; розрахунок системи автоматизації та показників її надійності; техніко-економічних показники; охорона праці та техногенна безпека
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): функціональна схема автоматизації, принципові електричні схеми, монтажно-комутаційна схема, схема зовнішніх з'єднань креслень) презентація роботи

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доц. Міняйло Н.О.		
2	доц. Міняйло Н.О.		
3	доц. Міняйло Н.О.		
4	доц. Міняйло Н.О.		
5	доц. Міняйло Н.О.		
6	доц. Міняйло Н.О.		
7	доц. Міняйло Н.О.		
8	доц. Міняйло Н.О.		

7 Дата видачі завдання 14.04.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючого рівня автоматизації	14.04-20.04.25	
2	Розробка схеми інформаційних потоків	21.04-27.04.25	
3	Розробка технічного завдання	28.04-04.05.25	
4	Вибір структури та складу програмно-технічного комплексу	05.05-11.05.25	
5	Проєктування системи регулювання тепловим режимом	12.05-18.05.25	
6	Розробка технічної документації	19.05-25.05.25	
7	Розрахунок системи автоматизації та показників її надійності	26.05-01.06.25	
8	Розрахунок техніко-економічних показників	02.06-08.06.25	
9	Розгляд питань охорони праці та техногенної безпеки	09.06-15.06.25	
10	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю, підготовка доповіді	11.06-16.06.25	

Студент _____ Станіслав ТРОШИН
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Наталія МІНЯЙЛО
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Ірина ОВЧИННИКОВА
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Трошин С. О. Проєкт автоматизації водогрійного котла ПТВМ. Система автоматичного регулювання тепловим режимом».

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології», науковий керівник Н. О. Міняйло, Запорізький національний університет, Інженерний науковонавчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2025.

Метою роботи є розробка системи автоматизації водогрійного котла, а саме контуру регулювання температурного режиму.

Система спрямована на підвищення продуктивності, зниження споживання енергії та покращення умов праці персоналу. Шляхом впровадження передових технологій та інтеграції автоматизованих рішень система дозволить забезпечити високий рівень безпеки та стабільності роботи котла, зменшити ризики аварій та забезпечити економічну вигоду для підприємства.

В загальній частині описано особливості котельних установок і процес нагрівання води, а також оцінено рівень автоматизації і визначено завдання для проектування системи управління. У спеціальній частині розроблено функціональну схему автоматизації, обрано технічні засоби, проведено розрахунки. Розрахована принципова електрична схема, принципова електрична схема живлення, монтажна комутаційна схема, схема зовнішніх з’єднань і спроектовано щит КВПіА. Виконаний розрахунок технічних засобів автоматизації.

У розділі охорони праці проведений аналіз небезпечних та шкідливих факторів на території котелен, розроблені заходи щодо їх запобігання. Також виконано аналіз безпеки праці та розрахунки економічної ефективності проекту, включаючи необхідну кількість персоналу.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, восьми розділів, висновків, переліку джерел посилання з 49 найменувань, викладена на 87 сторінках машинописного тексту, включаючи 21 рисунок, 4 таблиць та 8 аркушів графічного матеріалу.

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

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ 10
1.1 Технологічний агрегат і алгоритм його роботи 10
1.2 Технологічний процес як об’єкт автоматизації 15
1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві 19
1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків 20
2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ 23
2.1 Вимоги до системи в цілому 23
2.2 Вимоги до функцій 25
2.3 Вимоги до видів забезпечення 27
2.4 Загальна структура програмно-технічного комплекса засобів автоматизації 29
3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 32
3.1 Вибір та обґрунтування функціональний структури СА 32
3.2 Вибір (розробка) математичної моделі системи управління 33
3.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА 39
4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ 51
4.1 Функціональна схема автоматизації управління 51
4.2 Принципова електрична схема 52
4.3 Принципова електрична схема живлення 53
4.4 Принципова електрична схема сигналізації, блокування та захисту 54
4.5 Розробка схеми зовнішніх з'єднань, вибір щитів 54
5 РОЗРАХУНОК СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ 56
5.1 Розрахунок звужуючого пристрою 56
6 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 62
6.1 Основні положення охорони праці 62
6.2 Загальні заходи з охорони праці 63
6.3 Охорона праці оператора АСУ ТП 67

6.4 Охорона навколишнього середовища 70
7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ 4
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації 4
7.2 Розрахунок техніко – економічних показників 5
7.2.1 Визначення капітальних вкладень 5
7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат 6
7.2.3 Річні витрати на ЗП 7
7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань 8
7.2.5 Річні витрати на ремонт 8
7.2.6 Витрати електроенергії на живлення 8
7.2.7 Інші витрати 9
7.2.8 Валова річна економія витрат 9
7.2.8 Фактична економія витрат 11
7.2.9 Річний економічний ефект 11
ВИСНОВКИ 13
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА 15

ВСТУП

Автоматизація – це використання різних технічних засобів і систем для виконання виробничих процесів без постійної участі людини, але під її контролем. Завдяки автоматизації підвищується продуктивність, знижуються витрати, поліпшується якість продукції, а також зменшується потреба у великій кількості працівників. Окрім цього, автоматизація дозволяє продовжити термін служби обладнання, економити ресурси, покращити умови праці та забезпечити вищий рівень безпеки.

У сучасних умовах стрімкого розвитку промисловості, підвищення енергоефективності та впровадження інноваційних технологій стають пріоритетними завданнями для підприємств усіх галузей. Особливої актуальності ці процеси набувають у теплоенергетиці — одній з ключових сфер енергетичного забезпечення, що має забезпечити безперебійне теплопостачання та раціональне використання енергоресурсів.

Одним із найбільш дієвих шляхів досягнення цих цілей є впровадження систем автоматизації. Автоматизація дозволяє суттєво підвищити ефективність роботи теплоенергетичних установок, зменшити споживання палива, покращити якість керування технологічними процесами, а також підвищити рівень безпеки та надійності експлуатації обладнання. З огляду на це, особливої уваги заслуговують водогрійні котли, які широко застосовуються на промислових підприємствах для потреб опалення та технологічного забезпечення. Автоматизовані системи керування такими котлами дозволяють оптимізувати режими їх роботи, знизити витрати ресурсів, забезпечити точність параметрів теплоносія та своєчасне реагування на можливі відхилення чи аварійні ситуації.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи бакалавра зумовлена потребою в удосконаленні процесів автоматизації в теплоенергетичних системах, зокрема у сфері експлуатації водогрійних котлів, що має на меті

забезпечення стабільної, економічної та безпечної роботи підприємств.

У теплоенергетиці автоматизація має особливе значення, адже тут процеси відбуваються безперервно, і важливо забезпечити постійне виробництво теплової та електричної енергії відповідно до потреб споживачів. Теплоенергетичні установки працюють в інтенсивному режимі, тому вони потребують високого рівня автоматизації для швидкого та точного управління.

Для підприємств дуже важливо мати економне виробництво пари, оскільки це впливає на стабільність та ефективність їхньої роботи. Вироблення тепла зазвичай здійснюється в котельнях, які можуть працювати на різних видах палива. Автоматизація роботи котлів дає багато переваг: зменшується кількість обслуговуючого персоналу, підвищується точність регулювання температури гарячої води, зростає безпека та надійність обладнання, а також покращується ефективність роботи в цілому. Система автоматизації виконує кілька ключових функцій: автоматичне регулювання, дистанційне управління, теплотехнічний контроль, захист, блокування та сигналізацію. Завдяки автоматичному регулюванню підтримуються стабільні параметри роботи котла, наприклад, подача води чи інтенсивність горіння. Дистанційне керування дозволяє запускати або зупиняти обладнання з пульта управління, що дуже зручно.

Контроль теплових процесів і система блокування допомагають своєчасно виявити проблеми та уникнути аварій. Вони запобігають неправильним діям і гарантують безпечну експлуатацію. Також важливу роль відіграє система сигналізації, яка сповіщає персонал про стан обладнання або про наближення до критичних режимів. Звукові та світлові сигнали дозволяють швидко реагувати на небезпеки і вчасно вживати заходів. Загалом, автоматизація водогрійних котлів забезпечує не лише стабільну подачу гарячої води необхідної температури, а й створює безпечні умови для роботи персоналу та підвищує ефективність енергетичного процесу.

1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Технологічний агрегат і алгоритм його роботи

Котельна установка – це комплекс обладнання, що складається з котельного агрегату та допоміжних пристроїв, які працюють разом як єдина система для отримання гарячої води або пари заданих параметрів. Основою такої установки є котел, що забезпечує нагрівання води або утворення пари, а його конструкція залежить від виду палива, потужності та необхідних характеристик теплоносія.

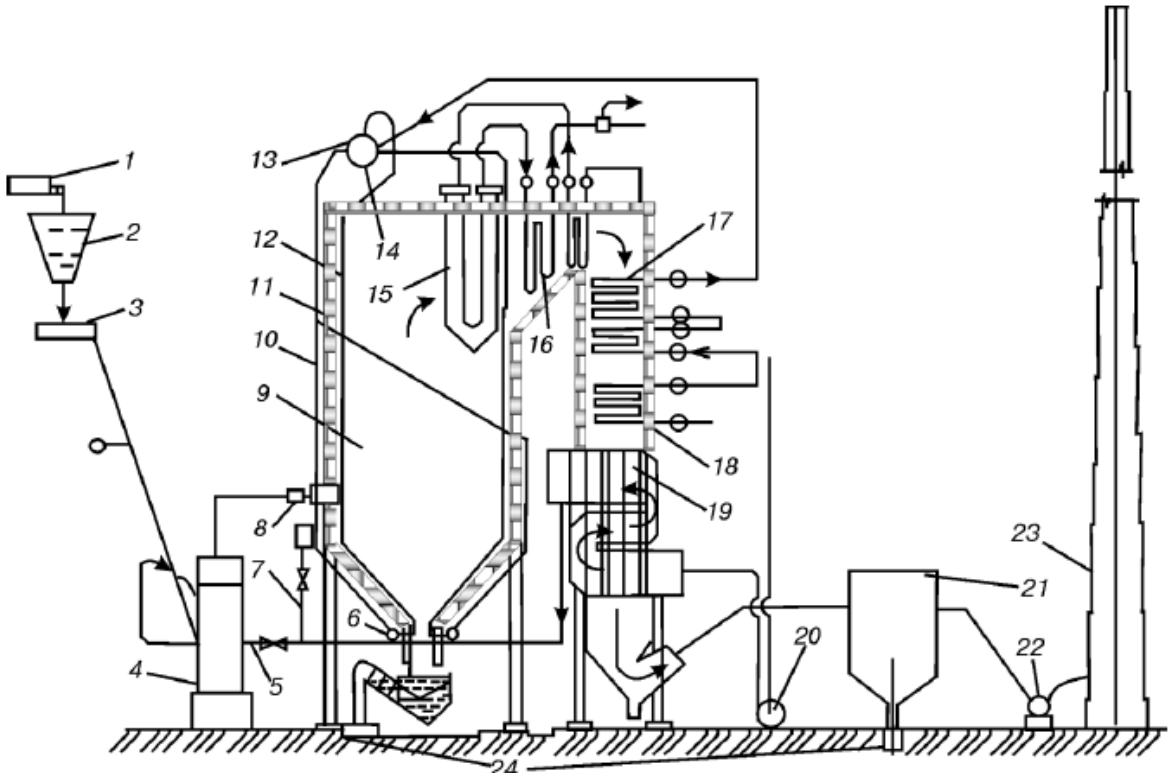
Головними частинами самого котла є топка, де згорає паливо, і теплообмінні поверхні, через які тепло передається воді. Розташування цих елементів та загальна будова котла залежать від того, який вид палива використовується і які характеристики пари потрібно отримати на виході.

Окрім самого котла, до складу котельної установки входить допоміжне обладнання, яке забезпечує стабільну та ефективну роботу. Зокрема:

- дуттєві вентилятори та димососи – подають повітря до топки і відводять продукти згоряння;
- бункери та живильники – постачають паливо або пилову сировину;
- вуглемельні млини — подрібнюють паливо до необхідного стану;
- системи очищення димових газів – вловлюють золу та транспортують шлак, зменшуючи шкідливі викиди;
- пристрої для очищення труб котла – видаляють нагар і забруднення з зовнішніх поверхонь труб;
- контрольно-вимірювальні прилади – слідкують за параметрами роботи системи;
- установки підготовки води – очищають і доводять воду до потрібної якості перед подачею в котел.

Ці елементи разом забезпечують надійну та безпечну роботу котельної установки, а також підвищують її ефективність і довговічність.

На рисунку 1.1 наведена технологічна схема котельної установки.



1 – конвеєр; 2 – бункер; 3 – живильник; 4 – млин; 5 – короб первинного повітря; 6 – нижній розподільний колектор; 7 – короб вторинного повітря; 8 – пальники; 9 – топка; 10 – опускні труби; 11 – обмурівка котла; 12 – підйомні труби; 13 – 14 – барабан; 15 – ширмові перегрівники; 16 – конвективний перегрівник; 17 – другий ступінь економайзера; 18 – перший ступінь економайзера; 19 – повітропідігрівник; 20 – вентилятор; 21 – газоочистка; 22 – димосос; 23 – димова труба; 24 – виведення золи та шлаку

Рисунок 1.1 – Технологічна схема котельної установки [22]

Основні елементи котельної установки (див. рис. 1.1) – це нагрівальні поверхні, які забезпечують передачу тепла від продуктів згоряння до теплоносія (води, пари або повітря). Залежно від того, на якому етапі

відбувається теплообмін, нагрівальні поверхні поділяються на три типи: нагрівальні, випарні та перегрівальні.

Тепло передається через випромінювання (радіацію) або конвекцію, тому нагрівальні поверхні бувають:

- радіаційні – сприймають тепло переважно через випромінювання;
- конвективні – через рух гарячих газів;
- радіаційно-конвективні – поєднують обидва види теплообміну.

До конвективних поверхонь належить, наприклад, економайзер (позиція 18), який підігріває воду перед подачею в котел. Його встановлюють у зоні зниженої температури, в конвективній шахті.

Випарні поверхні, які відповідають за утворення пари, розміщують у найбільш гарячих частинах топки (позиція 9) або в газоходах. Це можуть бути екрани, фестони або котельні пучки – конструкції, що поглинають тепло як за допомогою випромінювання, так і конвекції.

Екранні елементи (позиція 12) встановлюють на внутрішніх стінках топки й газоходів для захисту їх від високих температур. Часто використовують двосвітні екрани, розміщені всередині топки — вони нагріваються з обох боків.

Перегрівальні поверхні, що доводять пару до потрібної температури, можуть бути: радіаційними – встановлюють у топці, на стінах або стелі, ширмовими (позиція 15) – мають великі проміжки між трубами, отримують тепло частково через радіацію, частково через конвекцію, конвективними (позиція 16) – розташовують у газоходах, часто на початку конвективної шахти.

Уся система нагрівальних поверхонь, труб та пристроїв, через які проходить вода або пара, формує пароводяний тракт котла. До нього входять: економайзер (18), барабан (14), опускні труби (10), розподільний колектор (6), екрани, стельовий перегрівник, конвективні перегрівники (16), а також проміжний перегрівник (17), який застосовується для повторного нагріву пари.

Окремо виділяють паливний тракт, який забезпечує підготовку й подачу палива до пальників (позиція 8). Він складається з: конвеєра (1), який транспортує паливо, бункера (2) для зберігання запасу палива, живильників (3), які подають його в млини (4) для подрібнення до стану пилу, системи подачі сушильного агента (зазвичай повітря) через короб (5), щоб висушити паливо до необхідної вологості.

Такий комплекс забезпечує безперебійну, стабільну й ефективну роботу котельної установки.

Повітряний тракт котельної установки забезпечує подачу повітря, необхідного для процесу згоряння палива. До його складу входять:

- забірний повітровід;
- дуттьовий вентилятор (позиція 20);
- повітропідігрівник (позиція 19);
- короба для подачі первинного та вторинного повітря (позиції 5 і 7).

Усі елементи, крім повітроводу, працюють під надлишковим тиском, який створює дуттьовий вентилятор.

Повітря, підігріте в повітропідігрівнику, використовують, зокрема, для сушіння палива, що покращує його згорання та підвищує загальну ефективність котла.

Існує два основних типи повітропідігрівників.

Рекуперативний – тепло від димових газів передається повітрю через розділену теплообмінну поверхню.

Регенеративний (РПП) – одна й та сама теплообмінна поверхня по черзі нагрівається газами й віддає тепло повітрю, що надходить.

Після проходження всіх нагрівальних елементів, продукти згорання потрапляють у золовловлювачі (позиція 21), де очищуються від твердих частинок. Потім вони відводяться в атмосферу через димову трубу (позиція 23), завершуючи газовий тракт котла. Такий тракт може працювати:під тиском, створюваним дуттьовим вентилятором, або під розрідженням, при якому після золовловлювачів встановлюється димосос (позиція 22).

Водогрійні котли – це котельні агрегати, які використовуються для нагрівання води до певних температур. Вони широко застосовуються в системах: опалення, вентиляції, а також для виробничих та побутових потреб.

Ці котли можуть бути частиною як промислових котелень, так і теплоелектростанцій. Переважно вони працюють за прямоточним принципом, тобто забезпечують безперервний рух води через систему.

Температурні режими для води такі:

- на вході – від 70 до 110 ºС;
- на виході – 150-200 ºС.

Потужність водогрійних котлів може коливатися від кількох мегават (МВт) або гігакалорій на годину (ГКал/год.) до кількох сотень. Для прикладу, котли потужністю до 23,3 МВт працюють у звичайному режимі, нагріваючи воду до 150 ºС при тиску 1,6 МПа. Котли потужністю 35 МВт і більше здатні працювати як у звичайному, так і у граничному режимах – до 200 ºС при тиску 2,5 МПа.

Паливо для таких котлів може бути газоподібним, рідким або твердим.

Для запобігання зовнішній корозії котлових труб важливо, щоб температура води на вході в котел була вищою за температуру точки роси продуктів згоряння. Це означає:

- при спалюванні природного газу – не менше 60 ºС;
- на малосірчаному мазуті – не менше 70 ºС;
- на високосірчаному мазуті – не менше 110 ºС.

Щоб забезпечити ці температурні умови, застосовують систему рециркуляції, яка дозволяє змішувати частину гарячої води з холодною перед її повторним введенням у котел.

1.2 Технологічний процес як об’єкт автоматизації

Водогрійний котел ПТВМ-50 тепловою потужністю 50 Гкал/год призначений для отримання гарячої води, яка використовується в системах опалення та гарячого водопостачання побутового призначення. Котел працює на природному газі.

Основні особливості котлів ПТВМ-50:

- висока теплова потужність – котел забезпечує теплову потужність 50 МВт, що дозволяє обслуговувати великі споживачі тепла;
- прямоточна схема – вода рухається через котел без зміни напрямку, що забезпечує рівномірний нагрів і стабільність роботи;
- можливість роботи на двох видах палива – як на газі, так і на мазуті, що підвищує надійність і адаптивність котла;
- високий ККД – конструкція дозволяє досягти коефіцієнта корисної дії понад 92%, що свідчить про економне використання енергії.

Сучасна система автоматики та безпеки – котел оснащений системами захисту від перегріву, зниження тиску, аварійного зупинення та іншими запобіжними механізмами.

Котел ПТВМ-50 має блочну конструкцію і складається з наступних основних вузлів:

- топкова камера;
- конвективна шахта;
- економайзер;
- повітропідігрівник;
- газохід і димова труба.

Топкова частина обладнана екранами з труб діаметром 60×3 мм, які охоплюють її з усіх боків і забезпечують інтенсивну тепловіддачу. Камера згоряння має напівциліндричну форму, що покращує циркуляцію продуктів згоряння. У конвективній частині розміщено пучки труб, через які проходить вода і які забезпечують додатковий підігрів за рахунок конвекції

від гарячих газів. Пучки розташовані в шаховому порядку, що дозволяє забезпечити кращий теплообмін. Для зменшення втрат тепла і захисту від корозії корпус котла має теплоізоляцію.

Котел працює в прямоточному режимі – вода з мережі надходить у нижній колектор, звідки рівномірно розподіляється по трубах екранної системи топки. Після первинного нагріву вода проходить через трубні пакети конвективної шахти, де отримує додаткове тепло від димових газів.

Димові гази після проходження нагрівальних поверхонь направляються в економайзер, де додатково нагрівають зворотну воду із системи теплопостачання. Далі гази проходять через повітропідігрівник, передаючи тепло повітрю, яке потім подається до пальників, і зрештою викидаються в атмосферу через димосос і димову трубу.

На рисунку 1.2 наведений вид водогрійного котла ПТВМ-50.

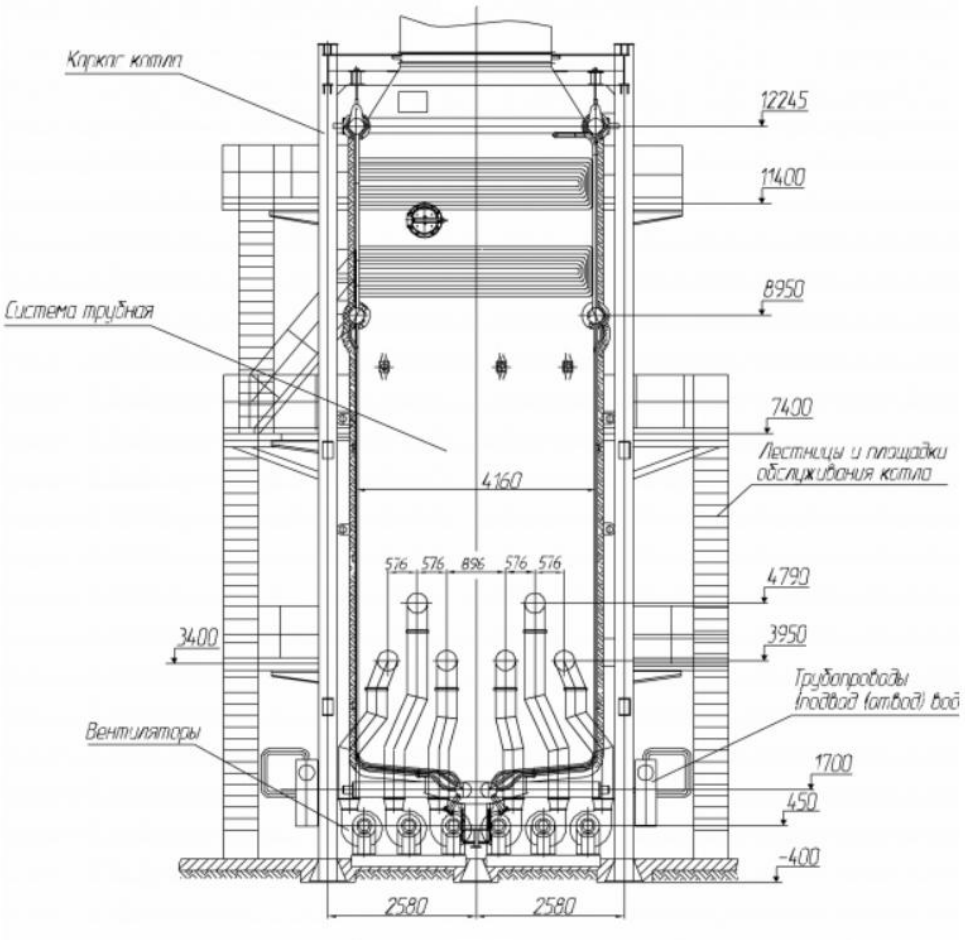


Рисунок 1.2 – Водогрійний котел ПТВМ-50 [17]

Котел експлуатується в основному режимі для підігріву мережевої води від 70 до 150 °С.

Трубна частина котла складається з радіаційної та конвективної поверхонь нагріву, розташованих одна над одною.

Радіаційна частина виконана у вигляді топкової камери призматичної форми, утвореної трубами діаметром Ø60×3 мм, розміщеними з кроком 64 мм. Розміри топки становлять 4180×4160 мм. Труби фронтального та заднього екранів утворюють подину топки. У трубах бокових екранів передбачені амбразури для встановлення 12 газомазутних пальників МГМГ-6 — по 6 штук з кожного боку. Кожен пальник обладнаний індивідуальним дуттєвим вентилятором.

У фронтальному та боковому екранах розміщено амбразури для лазів, що забезпечують доступ до обслуговування котла під час зупинок та ремонтів. Також у екранах передбачені ввідні отвори для встановлення гляделок та приладів контрольно-вимірювальної апаратури (КІП).

Кожен пальник обладнаний індивідуальним дуттєвим вентилятором. У фронтальному та боковому екранах передбачені амбразури для встановлення лазів, що забезпечують доступ до обслуговування котла під час зупинки та ремонтних робіт. Також в екранах котла є виводи для встановлення гляделок та контрольно-вимірювальних приладів (КІП).

Конвективна частина котла складається з несучих труб Ø83×3,5 мм та U-образних ширм Ø28×3 мм.

Котел має легку натрубну обмуровку товщиною 110 мм, виконану з шамотобетону на металевій сітці, мінеральної вати та газонепроникної обмазки або штукатурки. З боку приміщення котельні обмуровка котла покривається влагонепроникним матеріалом.

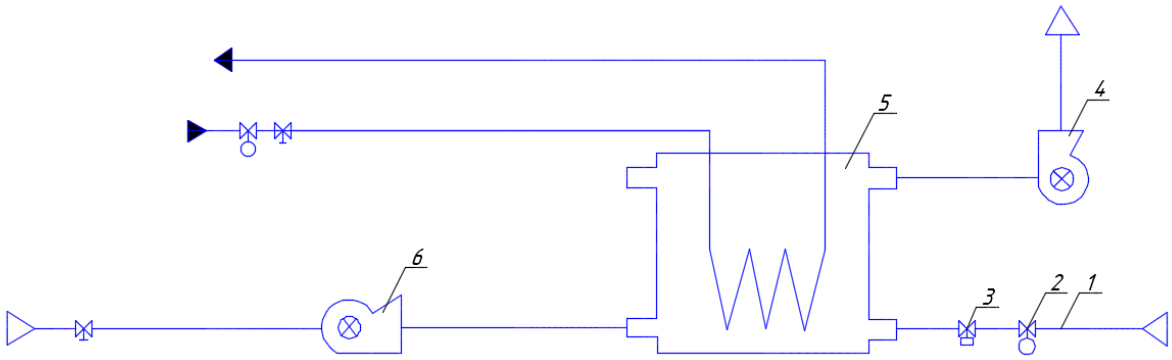
Котел має баштову компоновку. Він є одноходовим по русі продуктів згоряння. Топливо і повітря подаються в горілки, а в топці утворюється факел горіння. Теплота від факела в топці через радіаційний теплообмін передається всім екранним трубам. Потім димові гази проходять через

конвективний пучок, нагріваючи воду, що протікає по трубах. Над котлом, за конвективним пучком, встановлена димова труба для видалення димових газів в атмосферу.

Котел має сталевий каркас. Трубна система та обмуровка за верхні колектори ригелями підвішуються до каркасної рами і вільно розширюються вниз.

Конструкція котла має піввідкриту установку. У цьому випадку в приміщення закрита лише нижня частина котла, де розташовані горілочні пристрої, арматура, автоматика та дуттєві вентилятори. Така конструкція забезпечує зручність для проведення літніх ремонтів, але ускладнює виконання позапланових ремонтів в зимовий період.

Технологічна схема котла ПТВМ наведена на рисунку 1.3.



1 – газопровод, 2 – регулюючий клапан, 3 – запобіжний клапан, 4 – димосос, 5 – котел, 6 – повітренагнітач

Рисунок 1.3 – Технологічна схема котла ПТВМ [56]

Схема руху води в котлах виглядає так. Вода з тепломережі подається паралельно в два нижні колектори конвективної частини котла. Після проходження через них, вода збирається у верхніх колекторах. Потім вона виходить з верхніх колекторів і через ряд стельових-фронтових труб спрямовується в нижній колектор стельового екрану.

З нижнього колектора вода піднімається по іншому ряду стельових-фронтових труб до верхнього колектора стельового екрану. Далі вона послідовно проходить через лівий бічний односвітний екран (з фронтальної сторони котла), двосвітні екрани і виходить в тепломережу через верхній колектор правого бічного екрану. Топкові екрани складаються з секцій, в яких вода рухається вниз і вгору.

1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві

Автоматизація теплогенеруючих установок передбачає виконання технологічних процесів без прямого втручання людини, завдяки застосуванню механізмів та пристроїв, які автоматично контролюють і управляють роботою обладнання. Це дозволяє оптимізувати процеси, забезпечити безпеку та підвищити ефективність виробництва.

Основні функції автоматизованих систем управління включають:

1. Дистанційне керування, яке дозволяє управляти різними пристроями, такими як вентилятори, насосні установки та інше обладнання, без фізичної присутності оператора.

2. Автоматичне регулювання технологічних режимів, що полягає в підтримці необхідних параметрів (температура, витрата води тощо) або їх зміні відповідно до заданого графіку.

3. Автоматичне керування періодичними операціями, яке включає в себе автоматичний запуск і зупинку обладнання, наприклад, для подачі палива або резервних насосів.

4. Автоматичне блокування роботи обладнання для запобігання аварійним ситуаціям, наприклад, при несправності одного з пристроїв автоматично зупиняються інші, щоб уникнути небезпечних ситуацій.

5. Сигналізація про режими роботи і аварійні ситуації, яка повідомляє про будь-які неполадки в роботі обладнання.

Економічна ефективність автоматизації проявляється у кількох аспектах:

- визначення економічно вигідних напрямків автоматизації для конкретних завдань;

- розрахунок економічного ефекту, що виникає завдяки автоматизації на підприємстві;

- оцінка терміну окупності витрат на автоматизовану систему управління та порівняння його з нормативами для галузі;

- оцінка необхідності і доцільності витрат на створення і впровадження автоматизованої системи для конкретного об'єкта;

- визначення впливу нової технології управління на техніко-економічні показники підприємства;

- вибір найбільш економічно ефективного варіанту автоматизованої системи управління підприємством.

Ефект від автоматизації можна спостерігати як в управлінні, так і у виробничих процесах, на самому підприємстві та у його партнерів. Існують різні методики оцінки економічної ефективності, які дозволяють порівнювати варіанти автоматизації та дотримуватись певних технічних стандартів при розробці системи.

1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків

Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків є важливим етапом в автоматизації теплогенеруючих установок, оскільки вона дозволяє визначити, як різні ресурси (матеріали, енергія, інформація) циркулюють в межах підприємства або конкретної установки, а також забезпечити їх ефективне управління.

Матеріальні потоки в теплогенеруючій установці визначають, як різні матеріали та ресурси рухаються між етапами технологічного процесу. Це може включати:

1. Подача палива: від постачальників до котлів, зберігання та подача палива в камеру згоряння. Для газових котлів це може бути подача природного газу, для мазутних котлів — мазуту. Важливими є не лише фізичні канали доставки палива, а й контрольні системи, що забезпечують правильну дозування та подачу палива.

2. Вода: від джерела водопостачання до котлів, її нагрів, циркуляція в трубопроводах, відведення зворотної води. Потрібно контролювати температуру та тиск води на різних етапах. Циркуляція води у котлі повинна бути налаштована таким чином, щоб забезпечити оптимальний режим роботи та запобігти перевищенню допустимих температур або тисків.

3. Продукти згоряння: включають димові гази, що утворюються в процесі згоряння палива. Ці гази повинні бути очищені (де це необхідно) та викинуті через димові труби. Крім того, важливо контролювати рівень викидів, щоб відповідати екологічним вимогам.

4. Теплоенергія: після нагрівання води котел передає отриману теплоту в систему опалення або технологічні процеси, для яких потрібне тепло. Система, яка передає тепло до споживачів, повинна бути ефективною, а також мати системи для контролю витрат енергії.

Автоматизація теплогенеруючих установок полягає в механізації оперативного керування роботою котельного обладнання, зокрема котлів, за допомогою різноманітних автоматичних систем і пристроїв. При цьому передбачається виконання заданого технологічного режиму без участі людини. Система автоматичного регулювання включає об'єкт регулювання (наприклад, котел) і автоматичні регулятори, які взаємодіють з різними датчиками, що контролюють основні параметри процесу.

У процесі автоматизації технологічного процесу в теплогенеруючій установці забезпечується нормальний хід технологічних операцій. Для цього встановлюється спеціальна апаратура для контролю, регулювання та управління параметрами і режимами роботи обладнання. Це включає

контрольно-вимірювальні прилади, які забезпечують надійну, безпечну та економічну експлуатацію устаткування.

Крім того, під час роботи теплогенеруючої установки контролюються такі важливі параметри для водогрійного котла:

- температура навколишнього повітря;
- температура прямої та зворотної води;
- тиск у топці котла;
- тиск води в трубопроводі;
- витрата газу, мазуту та повітря;
- якість згоряння палива;
- температура повітря перед димососом;
- тиск газу, мазуту та повітря в трубопроводах;
- наявність полум’я на пальнику.

Висновки з дослідження принципів роботи водогрійного котла показують, що автоматизація технологічних процесів у теплогенераційному обладнанні має велике значення для підвищення ефективності та надійності котельних установок. Для досягнення високої ефективності необхідно провести детальний аналіз існуючих процесів на котельних установках, враховуючи різноманітні особливості кожної конкретної котельні.

Аналіз дозволив вивчити стан систем регулювання температури гарячої води в котельних установках як в Україні, так і за кордоном. Це стало основою для вибору методу автоматизованого регулювання температури в робочому просторі водогрійного котла ПТВМ, що було запропоновано в цій кваліфікаційній роботі. Таким чином, розробка та впровадження ефективних автоматизованих систем регулювання є необхідними для покращення роботи котелень і досягнення оптимальних техніко-економічних результатів у теплогенерації.

2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Вимоги до системи в цілому

Перелік автоматизованих трактів і складових частин об'єкта:

- водогрійний тракт;
- тракт природного газу;
- тракт доменого газу;
- тракт коксового газу;
- паромазутопровід;
- тракт подачі повітря з повітропідігрівниками;
- тракт димових газів (топки котла, конвективна шахта, газоходи);
- тягодуттєві машини;
- тракт системи пожежогасіння конвективної шахти.

Котел установлюється і експлуатується в котельній першій категорії (безперервного циклу). Умови характеризуються:

- температура усередині котельного відділення від 0 до +45 ◦С (у верхній частині котла в районі обмуровування до +80 ◦С);
- підвищеним рівнем вологості;
- значним рівнем напруженості електромагнітних полів, які створюються основним устаткуванням котельні;
- наявністю високого рівня напруженості магнітних полів;
- можливою наявністю значного рівня перешкод у ланцюгах електроживлення й заземлення.

Система управління КВГМ виконує наступні функції:

1. Автоматичне регулювання параметрів технологічних процесів котла:

- рівня води;
- теплового навантаження;
- співвідношення «паливо-повітря»;

- розрідження в топці котла;
- температури гарячої води.

2. Виконання автоматичних захистів діючих на останов котла:

- по підвищенню рівня в барабані вище верхнього рівня;
- по зниженню рівня води в барабані нижче нижнього рівня;
- по загасанню загального полум’я в топці,
- по зниженню тиску основного палива до регулювального клапана;
- при вимиканні всіх димососів;
- при вимиканні всіх дуттевих вентиляторів;
- при падінню розрідження в топці котла;
- при падінню тиску повітря після дуттевих вентиляторів;
- при спрацьовуванні захисту системи пожежогасіння конвективной шахти.

3. Виконання локальних захистів:

- захист по відключенню одного з видів палива при падінні тиску даного виду палива до регулювального клапана;
- захист при незапаленні або загасанні полум’я пальника при розпалюванні котла. Захист виконується окремо для різних палив.

4. Виконання автоматичних блокувань:

- заборона розпалу пальників при розпалюванні без вентиляції топки;
- заборона подачі всіх видів палива в пальник при відсутності смолоскипа запального пристрою цього пальника;
- заборона подачі палива до котла при не закритті хоча б одного запірного пристрою з електроприводом на підведенні цього палива перед будь-яким пальником;
- заборона відкриття другого запірного пристрою з електроприводом по ходу палива перед пальником при невідкритому першому;
- блокування запірного пристрою на трубопроводі безпеки пальника;
- припинення і заборона подачі палива в пальник у випадку повного закриття шибера на підведенні повітря до цього пальника;

- заборона подачі мазуту до пальника при незакритому запірному пристрої на підведенні пари на продувку даного пальника;

- блокування роботи основного регулятора на магістралі природного газу без використання байпаса (у складі регулятора теплового навантаження);

5. Дистанційне автоматизоване управління регулюючою, запірною та відсічною арматурами;

6. Формування сигналів аварійної та попереджувальної сигналізації;

7. Прийом і обробка сигналів ручного уведення/виводу захистів оператором котла;

8. Прийом сигналів від засобів вимірювальної техніки нижнього рівня;

9. Формування сигналів управління на складання управління запірної, запірно-відсічної та регулюючої арматур.

10. Відображення інформації;

11. Видача інформації на друк;

12. Формування і зберігання архівів оперативних даних.

- допоміжні:
- первинна обробка прийнятих сигналів;
- розрахунок керуючих уставок;
- захист даних;
- формування і відправлення запитів даних;
- обробка запитів даних;
- прийом і видача даних по цифрових каналах зв'язку;
- діагностика програмно-технічних засобів середнього рівня; ведення архіву аварій;
- функція адміністрування.

2.2 Вимоги до функцій

САР температури прямої води

Теплове навантаження – це кількість тепла, подаваного до котлової установки у виді палива.

Парове навантаження – кількість пари, споживаного споживачем.

При регулюванні навантаження парових установок необхідно підтримувати витрату палива відповідно до парового навантаження котлів.

САР теплового навантаження будується з умови забезпечення теплового балансу, дотримання якого контролюється по тиску пари в якій-небудь точці паропроводу.

Вимоги по пари: відхилення тиску пари, подаваного споживачу, не повинне перевищувати 3 – 5% від номінального.

Динамічні властивості об'єкта на рисунок 2.1.

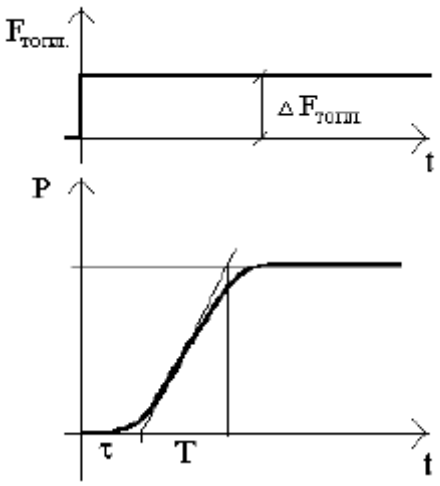


Рисунок 2.1 – Крива розгону по каналу витрата палива – тиск пари

$$\frac{\tau}{T} = 0{,}2 \ldots 0{,}4$$

$$T = 10 \ldots 300 \text{ с.}$$

Зі збільшенням подачі палива збільшується паротворення, отже, тиск росте, але з підвищенням тиску температура падає і при цьому величина тиску стає постійна.

САР співвідношення паливо повітря

Коефіцієнт витрати повітря необхідно підтримувати:

- для пальників, що працюють на газовому паливі, α = 1,05… 1,1;
- для пальників, що працюють на рідкому паливі, α = 1,1… 1,2;
- для пальників, що працюють на твердому паливі, α = 1,2… 1,4.

Системи горіння на парових котлах найчастіше будуються як системи співвідношення паливо-повітря.

САР тиску в топці (розрідження в топці).

Для того щоб не відбувалося вибивання продуктів згоряння в робоче приміщення і не відбувалося підсмоктування повітря в топку, необхідно підтримувати на рівні нещільностей нульовий надлишковий тиск. Однак у нижній частині топки добір тиску неможливий через те, що дані показники спотворюють струмені смолоскипа. Тому добір тиску роблять у верхній частині топки печі.

Враховуючи, що водогрійні котли є об’єктами інерционними для регулювання технологічними параметрами достатньо використовувати ПІ закони регулювання.

2.3 Вимоги до видів забезпечення

Форми подання інформації.

Вхідна інформація. САР представлена аналоговими сигналами (сигналів термопар і термометрів опору, уніфікованими струмовими 0-5 мА або 4-20 мА), що надходять від датчиків.

Вихідна інформація представлена у вигляді дискретних сигналів 0-24В, необхідних для управління технологічним процесом.

Частина інформації представляється на екранах оператора у вигляді трендів і індикаторів. Необхідна для документації інформація виводитися на принтер і з'являється в друкованому виді.

Період виведення інформації на кожному рівні.

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

Таблиця 2.1 – Метрологічне забезпечення системи автоматизації

Контрольований параметр	Робочий діапазон виміру	Точність виміру
Номінальна теплопродуктивність	58,15 МВт	0,5 %
Температура води в основному режимі	70 ◦С	0,5 %
Температура води в піковому режимі	104 ◦С	0,5 %
Температура води на виході з котла в основному режимі	150 ◦С	0,5 %
Температура води на виході з котла в піковому режимі	150 ◦С	0,5 %
Надлишковий тиск на вході в котел, розрахунковий	2,5 МПа	1,5 %
Надлишковий тиск на вході в котел, мінімальний	0,8 МПа	1,5 %
Витрати води в основному режимі	625 г/год	1,5 %
Витрати води в піковому режимі	1200 т/год	1,5 %
Витрати палива, природного газу	4190 $м^3$/год	1,5 %
Витрата мазута	4340 кг/год	1,5 %
Витрата повітря	84000 $м^3$/год	1,5 %
Опір котла, газовий	2,5 – 3 кПа	1,5 %
Опір котла, гідравлічний	0,215 кПа	1,5 %
Температура газів, що відходять	190 ◦С	1 %
Тиск газу перед дроселем	0,01 МПа	1,5 %
Тиск повітря перед пальником	4,5 кПа	1,5 %
Тиск повітря перед дроселем	5 кПа	1,5 %
Тиск газу після дроселя	12,5 кПа	1,5 %
Тиск повітря після дроселя	4,5 кПа	1,5 %

Вхідною інформацією СУ є аналогові сигнали, що надходять із термопар і уніфіковані струмові сигнали (0-5 мА або 4-20 мА), а вихідна інформація – сигнал регулювання подачі палива в топку печі й сигнал безпосереднього управління виконавчим механізмами витрати палива. На екрани АРМов оператора, начальника КВПіА та начальника цеху виводиться вся інформація про основні параметри процесу. Крім того, передбачена аварійна світлова сигналізація на екранах АРМів (при падінні тиску газу або повітря на вході нижче 100 мм. вод. ст.) і вивод інформації у вигляді документів на друк.

Період вивода інформації повинен бути достатнім для аналізу персоналом виведеної інформації й прийняття рішень, і в тейже час, необхідно враховувати при визначенні частоти відновлення інформації

інерційності об'єкта, часу реалізації керуючих впливів і часу циклу обробки інформації регулятором.

Час опиту кожного каналу регулятора в даній системі дорівнює від однієї до двох секунд.

2.4 Загальна структура програмно-технічного комплекса засобів автоматизації

Метою розробки програмно-технічного комплекса є створення сучасної, високоефективної, автоматизованої системи управління технологічним процесом термічної обробки металу, що забезпечується за рахунок реалізації новітніх технологічних і технічних рішень за допомогою використання сучасних, надійних технічних засобів автоматизації, виконаних на базі мікропроцесорної техніки.

Структура системи управління водогрійного котла

Середній рівень системи управління водогрійного котла (СР) у складі:

- шафи технологічних захистів (2 шт.);
- шафи управління (2 шт.);
- серверна шафа середнього рівня в складі сервера середнього рівня і комунікаційного управління;

Нижній рівень системи управління водогрійного котла (НУ) у складі:

- засоби вимірювання нижнього рівня (КВПіА);

Технічні засоби для розміщення КВПіА:

- щит КВПіА (4 шафи);
- стенди горелочних пристроїв (стенди ГУ) (2 шт. по 2 шафи кожний);
- стенді КВПіА (2 шт. по 4 шафи кожний);
- пульт оператора;
- пульт ручного управління.

Внутрісистемні лінії зв'язку (відповідно до специфікації).

Структура середнього рівню системи управління водогрійного котла

Контролер управління (реалізує регулятор розрядження в топці котла).

Контролер управління забезпечує:

а) прийом сигналів:

1) з нижнього рівня (сигнали значень технологічних параметрів, сигнали положення арматури);

2) з пульта управління (команди дистанційного управління й команди управління режимами роботи регулюючих арматур, команди управління режимами роботи ПІД - регуляторів, паспорти технологічних параметрів, уставки регуляторів);

б) обробку прийнятих сигналів - виконання алгоритмів:

1) автоматичних регуляторів;

2) стандартних алгоритмів;

3) алгоритмів діагностики.

в) видачу сформованих сигналів управління на виконавчі механізми регулюючих арматур.

д) додатково контролер забезпечує прийом інформації із теплолічильників, її обробку і передачу даної інформації на інші вузли системи.

Пристрій технологічних захистів.

Пристрій технологічних захистів забезпечує:

а) прийом сигналів:

1) з нижнього рівня (сигнали значень технологічних параметрів, сигнали положення арматури);

2) з контролерів управління (сигнали значень технологічних параметрів, сигнали положення арматури, сигнали від приладив теплолічильників;

3) з пульта управління (команди дистанційного управління арматурами, команди управління режимами роботи технологічних регуляторів, режимами роботи системи управління котла, команди

управління алгоритмами технологічного контролю й програмно-логічного управління, паспорта технологічних параметрів, уставки алгоритмів технологічних захистів і блокувань);

4) із сервера системи управління (інформацію системи єдиного часу).

б) обробку прийнятих сигналів - виконання алгоритмів:

1) технологічних захистів;

2) технологічних блокувань;

3) технологічного контролю;

4) програмно-логічного управління;

5) стандартних алгоритмів;

6) алгоритмів діагностики;

в) формування попереджувальної та аварійної звукової і світлової сигналізації;

г) видачу сформованих сигналів управління на виконавчі механізми запірної та запірно-відсічної арматур;

д) передачу значень технологічних параметрів, інформацію про стан арматур, стан технологічних захистів і блокувань, ретрансляцію команд управління режимами роботи технологічних регуляторів (у контролери управління), інформацію про хід виконання алгоритмів технологічного контролю та програмно-логічного управління, інформацію про останню аварію, результатів діагностики на:

1) сервери системи управління;

2) пульт оператора;

3) контролер управління.

Висновки. В даному розділі наведені усі необхідні вимоги до структури та функціонування системи АСУТП повинна, які відповідають ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення».

3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір та обґрунтування функціональний структури СА

Функціональна схема систем автоматизації технологічних процесів є основним технічним документом, що визначають структуру і характер систем автоматизації технологічних процесів, а також оснащення їх приладами й засобами автоматизації. На функціональній схемі надано спрощене зображення агрегатів, що підлягають автоматизації, а також приладів, засобів автоматизації і керування, зображуваних умовними позначками за діючими стандартами, а також лінії зв'язку між ними.

Принципи управління по кожному технологічному параметру визначаються по статичним і динамічним характеристикам об’єкта управління.

Функціональна схема автоматизації – це ключовий документ, який визначає функціональну та блокову структуру окремих вузлів автоматичного контролю, керування і регулювання технологічного процесу, а також обладнання об’єкта управління приладами і засобами автоматизації. У цьому документі використовуються умовні позначення для показу основного технологічного обладнання, комунікацій потоків рідин, газів і пари, а також приладів і засобів автоматизації. Зображення технологічного обладнання на функціональній схемі автоматизації повинно відповідати його реальній конфігурації, воно зображується спрощено, без масштабу і додаткових конструкцій.

У функціональних схемах автоматизації інформація про контрольовані параметри і тип обробки представлена умовними позначеннями з послідовністю літерних позначень, розміщених в них (або поруч).

Групи приладів, які виконують єдину задачу, об'єднуються в контури контролю/регулювання, які на схемі з'єднані безперервними лініями. Всі

первинні і вторинні прилади позначаються округлою формою. Ця форма може бути розділена горизонтальним діаметром, що вказує на установку приладу на щиті (місцевому або центральному). Передачу даних з приладу (датчика) вказує буквене позначення.

Вище і нижче діаметра наноситься буквено-цифрова інформація. Для полегшення читання схеми розриви в безперервних лініях для контурів маркується адресним числовим методом.

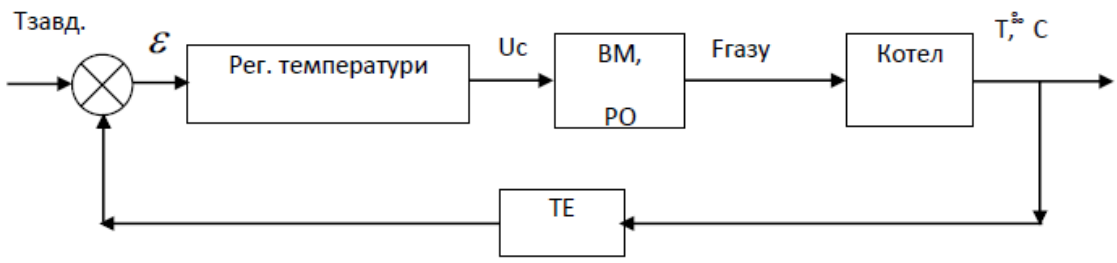
3.2 Вибір (розробка) математичної моделі системи управління

Побудова схеми контуру регулювання температури в робочому просторі.

Одним із найважливіших параметрів котла є температура в робочому просторі – води на виході. Система автоматичного регулювання (САР) повинна забезпечити підтримку температури гарячої води на виході із котла, в заданих межах. Температура гарячої води змінюється шляхом зміни витрати газу, що подається клапаном в котел [22].

На основі функціональної схеми автоматизації котла, розробимо схему контуру регулювання температурою води на виході із котла.

На рисунку 3.2 наведена структурна схема регулювання температури в робочому просторі котла.



Рисунку 3.2 – Структурна схема регулювання температури в робочому просторі котла

Тепер розрахуємо передаточні функції кожного із елементів, які зображені на рис. 3.2.

Давач температури води.

У якості давача температури води на виході із котла, використовується давач з діапазоном вимірювання (0,3 – 1,8) МПа і вихідним сигналом (4 – 20) мА. Отже передаточна функція давача температури буде розраховуватися за формулою:

$$W_1(p) = K_1 = \frac{400 + 50}{20 - 4} = 28 \left(\frac{^\circ C}{\text{мА}}\right), \tag{3.1}$$

Регулятор температури води.

Передаточна функція для ПІД-регулятора має вигляд:

$$W_2(t) = k_t + k_i \cdot \frac{1}{t} + k_d t, \tag{3.2}$$

Виконавчий механізм (ВМ) і регулюючий орган (РО).

Для регулювання витрати газу використовується виконавчий механізм з регулюючим органом типу Kromschroeder VAS. Передаточну функцію виконавчого механізму і регулюючого органу представимо у вигляді:

$$W_3(t) = \frac{k_3}{T_3 t + 1}, \tag{3.3}$$

На клапан подається електричний керуючий сигнал (0 – 10) В. Максимальна витрата газу на котел складає 1100 м^3/год. Час повного відкриття клапану 10 с.

Отже, отримаємо:

$$k_4 = \frac{F_{\text{газу}}}{U_c} = \frac{1100}{10 \cdot 3600} = 0{,}031 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{В} \cdot \text{с}}\right); \tag{3.4}$$

T = 10 с;

$$W_3(t) = \frac{k_3}{T_3 t + 1} = \frac{0{,}031}{10t + 1}, \qquad (3.5)$$

Для створення розгінної характеристики водяного котла ми використовуємо метод експериментального визначення його динамічних властивостей. Відслідковуємо зміни температури гарячої води на виході з котла шляхом регулювання витрати газу, що постачається в топку через регулюючий клапан. На рисунку 3.3 представлений графік перехідного процесу зміни температури гарячої води на виході з котла при зміні витрати газу ΔF = 22 м^3/год.

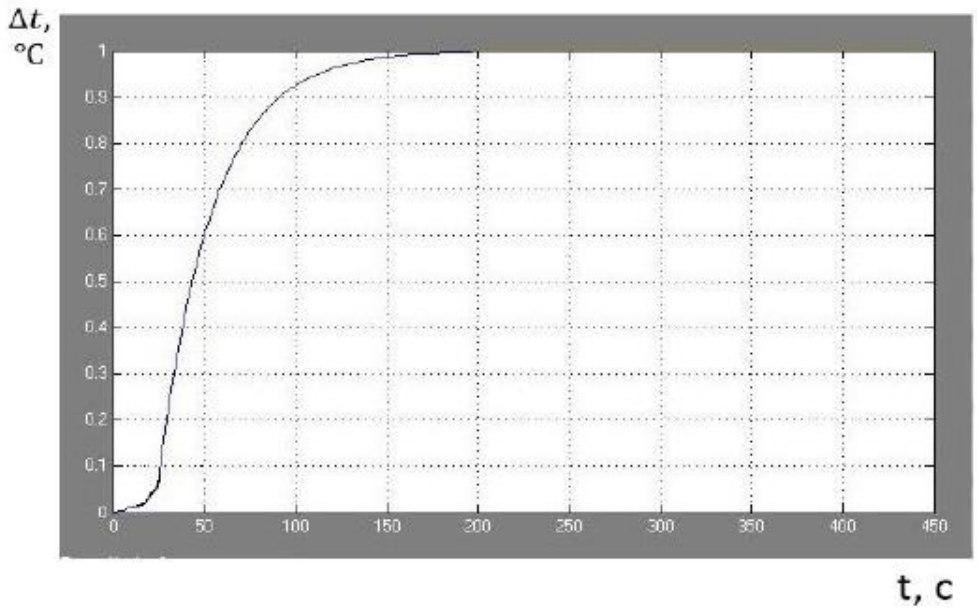


Рисунок 3.3 – Розгінна характеристика котла ПТВМ-50

В таблиці 3.1 наведені дані розгінних характеристик.

Таблиця 3.1 – Дані розгінних характеристик

t, с	0	20	40	50	60	70	80	90	100	150	200	210
ΔP,МПа	0,0000	0,0059	0,0496	0,0600	0,0635	0,0799	0,0860	0,0905	0,0930	0,0980	0,0991	0,0998
t, с	225	230	250	270	290	330	350	370	400	415	430	450
ΔP,МПа	0,0999	0,1000	0,1001	0,1001	0,1001	0,1001	0,1001	0,1001	0,1001	0,1001	0,1001	0,1001

Дана розгінна характеристика має характер перехідної характеристики аперіодичної ланки із запізненням. Тому реальна крива перехідного процесу y(t) заміняється ділянкою запізнення m і експонентою

$$y(t) = kx(1-e^{t/T}), \qquad (3.6)$$

Провівши ряд добудов, а саме: пряму a, яка проходить через усталене значення даної характеристики, проводимо дотичну пряму b [32].

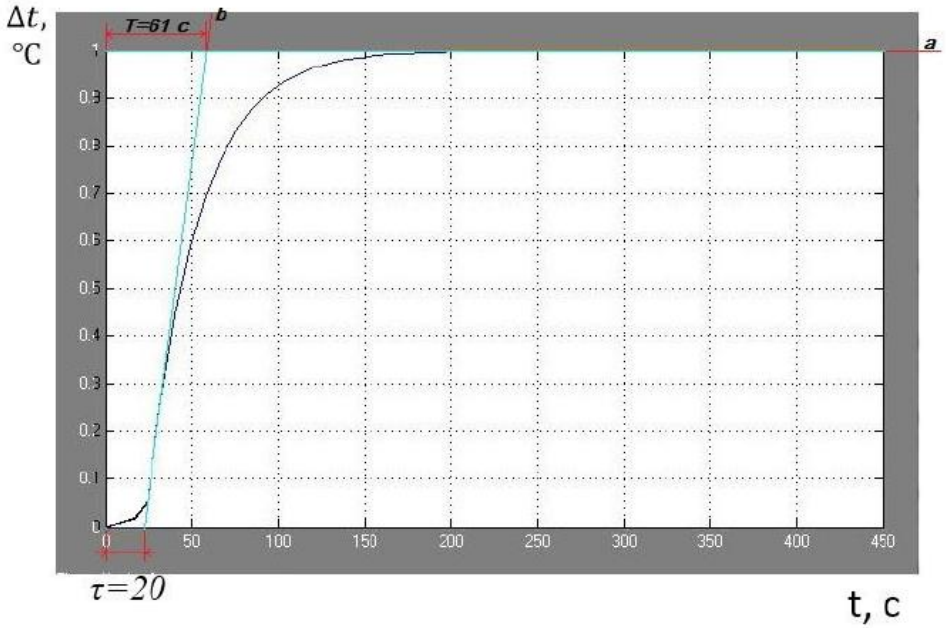


Рисунок 3.4 – Розгінна характеристика котла

Вказані побудови дозволяють визначити довжини відрізків T = 61 с і τ = 20 с. Таким чином, досліджуваний об’єкт може бути представлений у вигляді послідовно з'єднаних двох ланок: ланки запізнення з часом

запізнення τ і інерційної ланки першого порядку з коефіцієнтом підсилення k і сталою часу T [25].

$$k_4 = \frac{0{,}125 \cdot 10^6 \cdot 3600}{22} \approx 20{,}46 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}^3}\right)$$

Результуюча передавальна функція котла за каналом витрата газу – температура води матиме вигляд:

$$W_4(t) = \frac{k_4}{T_4 t + 1} \cdot e^{-\tau t} = \frac{20{,}46 \cdot 10^6}{61t + 1} \cdot e^{-20t}, \qquad (3.7)$$

Розрахунок оптимальних коефіцієнтів регулятора/

Виконаємо моделювання системи автоматичного регулювання температури в робочому просторі котла за допомогою програми Matlab. Для цього у редакторі Simulink зберемо наступну схему на рисунку 3.5.

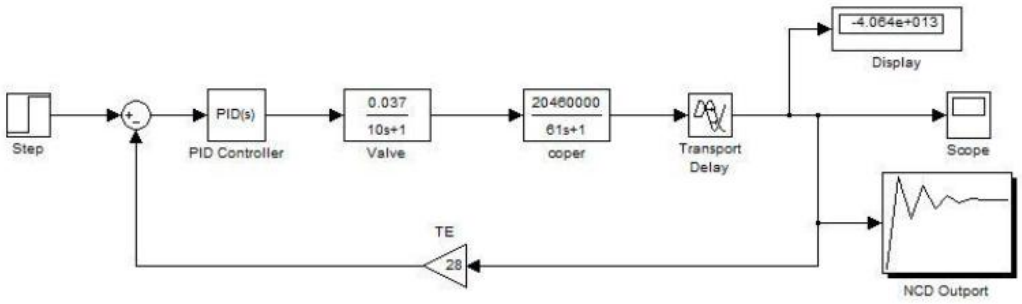


Рисунок 3.5 – Структурна схема САР температури в робочому просторі котла

У якості задаючого сигналу використаємо блок Step, який реалізує стрибкоподібний сигнал. За допомогою блока NCD оптимізуємо значення коефіцієнтів ПІД регулятора [27].

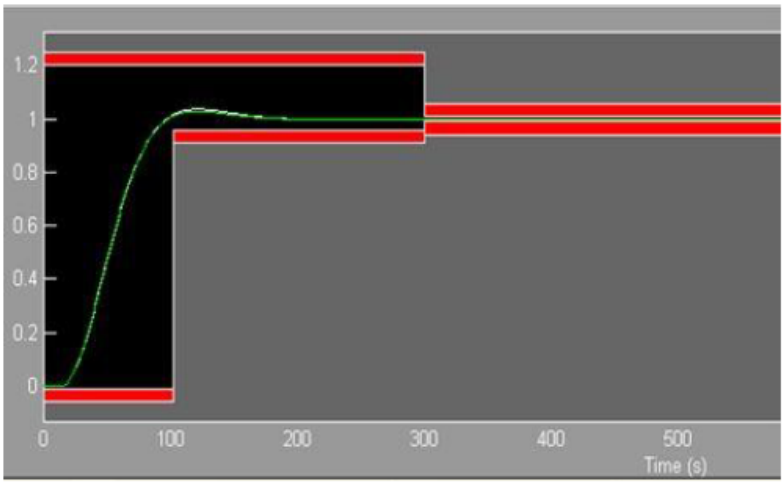


Рисунок 3.6 – Вікно блока NCD

Оптимізовані значення коефіцієнтів ПІД регулятора:

kd = 1,8192e + 011

ki = -1,5011e + 013

kp = 2,0866e + 011

Введемо отримані значення коефіцієнтів у блок PID і проведемо моделювання системи керування. На рисунку 3.7 наведена перехідна характеристика САР температури (температура – у відносних одиницях).

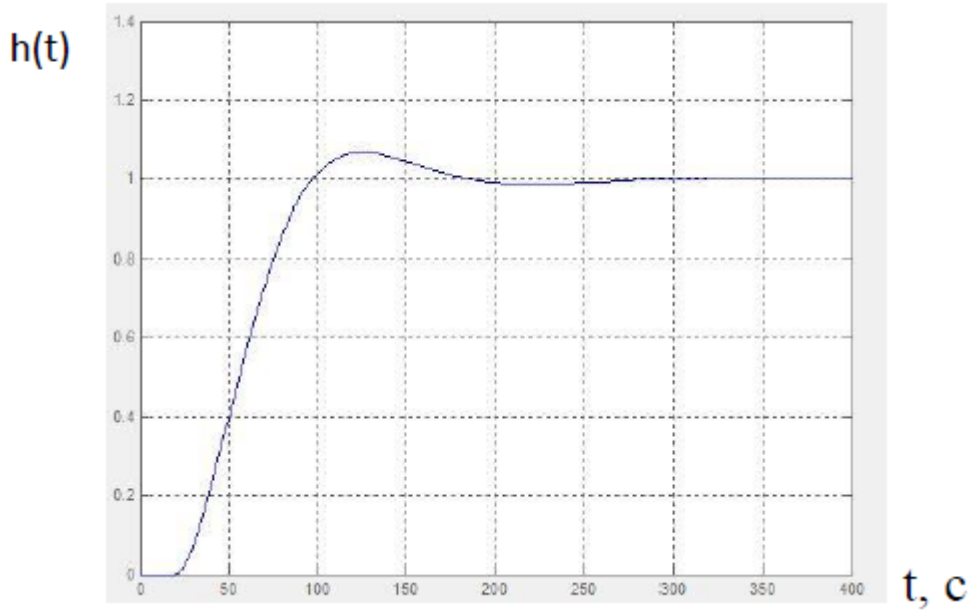


Рисунок 3.7 – Перехідна характеристика САР температури (температура – у відносних одиницях)

Система керування виходить на усталене значення, отже, система стійка. Параметри якості перехідного процесу: час регулювання t = 319 с, запізнення τ = 20 с, перерегулювання σ ≈ 14%, коливальність n = 1, усталена похибка $\delta_{уст.}$ = 0 % [23].

3.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА

Вибір технічних засобів автоматизації базується на всіх технічних характеристиках та технологічних параметрах котлів марки ПТВМ. Для найбільш доцільного та вигідного вибору, технічні засоби автоматизації повинні підходити по параметрах та ціновій категорії для вибраної котельні.

Іонодатчик полум'я ІНД-2

Іонодатчик полум'я. Призначений для контролю наявності полум'я пальника (до двох каналів) за допомогою контрольних електродів. Датчик має регульовану чутливість. Напруга живлення датчика постійна в діапазоні 10 – 30 В. Вихід ІНД – відкритий колектор. Детектор випускається в пило-волого-захищеному корпусі зі ступенем захисту IP65 і призначений для монтажу на пальниковий пристрій [7].

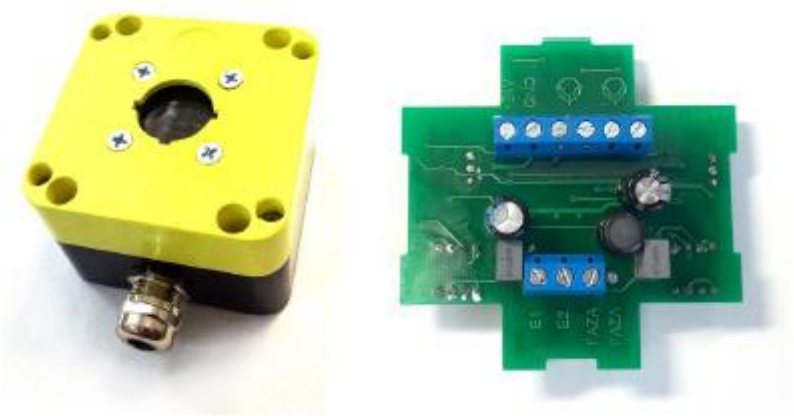


Рисунок 3.8 – Іонодатчик полум'я ІНД-2

Газоаналізатор МАГ-6 П-В

Багатокомпонентний газоаналізатор МАГ-6П-В призначений для безперервного (цілодобового) вимірювання і реєстрації концентрації до чотирьох газів одночасно.

Залежно від виконання газоаналізатор застосовується для вимірювання концентрації метану, кисню, діоксиду вуглецю, монооксиду вуглецю, сірководню та аміаку.



Рисунок 3.9 – Газоаналізатор МАГ-6 П-В

Димосос ДН10

Димосос ДН 10 – досить велика дуттєва машина, вагою до тони. Залежно від необхідності споживача і умов роботи випускаються в трьох виконаннях, хоча найбільш затребувані перше і третє, коли димосос ДН10 з'єднаний з електродвигуном безпосередньо або через підшипниковий вузол (іноді його називають ходовою частиною) [8].

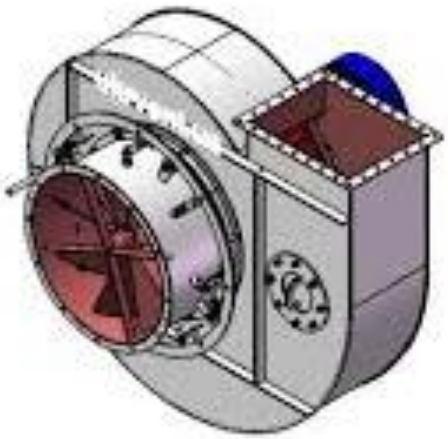


Рисунок 3.10 – Димосос ДН10

Датчик температури ТГП 100 ЕК

Основним призначенням датчика є вимір температури рідин і газів. Також прилад дозволяє управляти зовнішніми електричними ланцюгами

елементів і установок призначених для нагрівання.

Робоча область вимірювання температури манометричними термометрами знаходиться в діапазоні температур від -60 ° С до + 600 ° С.

Принцип дії полягає в тому, що при зміні температури вимірювального середовища, в якій знаходиться термобалон, вимірюється внутрішньо тиск в системі, яке фіксує манометр.



Рисунок 3.11 – Датчик температури ТГП 100 ЕК

Газовий клапан Kromschroeder VAS

Електромагнітний газовий клапан VAS застосовується в системах безпеки як швидкодіючий запірний орган для повітря і газу на газових пальниках та іншому обладнанні [9].

Газовий електромагнітний клапан в нормальному стані закритий. Відкриття: Змінна напруга подається на електромагнітну котушку через випрямляч з обмежувачем напруги. Загоряється синій сигнальний світлодіод. Електромагнітне поле котушки втягує шток із затвором догори. Електромагнітний клапан відкривається. Тиск газу впливає на затвор одночасно з двох сторін і практично врівноважується за рахунок його конструкції. Закриття: VAS відключений від електроживлення. Під дією пружини шток зайняв свою попередню позицію. Клапан закривається протягом 1 с [9].



Рисунок 3.12 – Газовий клапан Kromschroeder VAS

Частотний перетворювач Altivar 38

Перетворювач частоти (ПЧ) Altivar 38 з напругою мережі 380 - 460 В призначений для трьохфазних асинхронних двигунів потужністю від 0,75 до 315 кВт. Частотний перетворювач Altivar 38 дозволяє зменшити витрати на експлуатацію будівель, оптимізуючи витрати електроенергії та збільшуючи комфортність. Різні варіанти комплектації перетворювача полегшують його адаптацію та інтеграцію з електроустановками і системами автоматизації [10].

Перетворювач Altivar 38 постачається готовим до експлуатації в основному для електроприводів вентиляторів та насосів. Він має термінал, що дозволяє змінити функції програмування.



Рисунок 3.13 – Частотний перетворювач Altivar 38

Датчик тиску Сафір-22М

Датчик тиску серії «Сафір-22М» призначений для неперервного перетворення надлишкового та абсолютного тиску, тиску-розрідження, перепаду тисків в уніфікований сигнал за струмом. Вимірювальні середовища: газ, рідина, пар.



Рисунок 3.14 – Датчик тиску Сафір-22М

Джерело живлення змінного струму (ACE-540A).

Основні характеристики:

- тип джерела живлення: змінного струму;
- вихідна потужність: 48Вт;
- вихідні напруги: +24В.

Промисловий контроллер.

У створеній системі автоматизації використовується контролер фірми Siemens - Simatic S7-300 з центральним процесором CPU 224 XP. У даному контролері вбудовані дискретних 14 входів/10 виходів та аналогових 2 входи/1 вихід.

Для управління процесом використаний контролер SIMATIC S7-300. Зовнішній вигляд контролера показаний на рисунку 3.15.



Рисунок 3.15 – Зовнішній вид контролера SIMATIC S7-300

Контролер, що здійснює керування роботою водогрійного котла, повинен отримувати 22 аналогових сигналов (4-20 мА) з датчиків температури, рівня, тиску, витрат і задатчиків, а видавати два уніфікованих (для управління вентиляторами) та 6 дискретних на управління виконавчими механізмами.

Так як для введення аналогових сигналів недостатньо входів контролера, треба додати модуль вводу аналогових сигналів ЕМ 231. В цьому модулі є 4 входи, до яких можна підключати термопари або ж датчики з уніфікованим токовим сигналом.

ЕМ 231= Кількість сигналів з об’єкту/ розрядність плати = 20/4=5шт

Також для виводу дискретних сигналів недостатньо виходів контролера, тому треба додати модуль виводу дискретних сигналів ЕМ 222. В цьому модулі є 8 виходів.

ЕМ 232= Кількість сигналів з об’єкту/ розрядність плати =6/8 =1шт

В результаті для забезпечення управління системою автоматизації процесу виробитку пари необхідна наступна комплектація:

Для водогрійного котла – контролер Simatic S7-300, CPU 224 XP, 5 модулів ЕМ 231 та 1 модуль ЕМ 222.

Програмовані контролери Simatic S7-200 призначені для побудови систем автоматичного керування і регулювання, як окремих машин, так і окремих частин виробничого процесу.

Контролери знаходять застосування для керування:

- пресами;
- змішувачами пластифікатора й цементу;
- насосними й вентиляторами;
- деревообробним обладнанням;
- гідравлічними підйомниками;
- конвеєрами;
- обладнанням харчової промисловості;
- лабораторним устаткуванням;
- обміном даними через модем;
- електротехнічним обладнанням і апаратурою.

На основі даних контролерів можуть створюватися ефективні керуючі пристрої, що вирізняються невисокою вартістю. SIMATIC S7-300 дозволяють вирішувати широкий спектр задач керування. Від заміни простих релейно – контактних схем до побудови автономних систем керування або створення інтелектуальних пристроїв систем розподіленого

вводу-виводу. Програмувальні контролери S7-300 знаходять застосування там, де основною вимогою до системи керування є її низька вартість.

Основні переваги:

- програмувальні контролери, що відрізняються максимумом ефективності при мінімумі витрат;
- простота монтажу, програмування й обслуговування;
- вирішення як простих, так і комплексних завдань автоматизації;
- можливість застосування у вигляді автономних систем або в якості інтелектуальних ведених пристроїв систем розподіленого вводу-виводу;
- можливість використання в сферах, де застосування контролерів раніше вважалося економічно недоцільним;
- робота в реальному масштабі часу й потужні комунікаційні можливості;
- компактні розміри, можливість установки в обмежених обсягах.

Цифрові модулі виведення перетворять рівень внутрішніх сигналів S7-300 в рівень зовнішніх сигналів, необхідний для процесу:

- характеристики;
- кількість виходів 8;
- тип вихідного каскаду: транзисторний ключ або «сухий» контакт;
- гальванічне розділення зовнішніх і внутрішніх ланцюгів;
- номінальна вихідна напруга: 24 В постійного струму; 24 В постійного струму або змінного струму; 120/230 В змінного струму;
- можливість монтажу на DIN-рейку або плоску поверхню;
- довжина екранованого кабелю: не більше 500 м;
- габаритні розміри: 46 × 80 × 62 мм або 71,2 × 80 × 62 мм;
- текстовий дисплей.

Параметри настройки текстового дисплея TD 200 зберігаються в пам'яті центрального процесора программируемого контролера S7-300. Необхідні частини текстових повідомлень і параметри настройки текстового дисплея формуються інструментальними засобами пакета

STEP7-Micro/WIN. Додаткового програмного забезпечення для цих цілей не потрібно.

У пам'яті центрального процесора програмуючого контролера S7-200 резервується спеціальна область для зберігання даних, що використовуються для організації зв'язку з текстовим дисплеєм TD 200. При виконанні функцій людино-машинного інтерфейсу TD 200 здійснює безпосереднє звернення до цієї області пам'яті центрального процесора.

Для визначення параметрів настроювання текстового дисплея TD 200 використовується спеціальний майстер, вбудований в середу STEP 7-Micro/WIN.

TD 200 виконує наступні функції.

Виведення текстових повідомлень: до 80 текстових повідомлень, що містять до 4 змінних, підтримка кирилиці. Виведення повідомлень з підтвердженням їх отримання або повідомлень, захищених паролем. Збереження текстів повідомлень на різних мовах в пам'яті дисплея.

TD 200 має такі конструктивні особливості:

- пластиковий корпус із ступенем захисту лицьової панелі IP 65;
- товщина корпусу 27 мм: можливість установки в шафи і пульти управління, а також використання в якості ручної панелі;
- LCD дисплей з внутрішньої світлодіодним підсвічуванням;
- ергономічний дизайн клавіш, можливість програмного визначення їх призначення;
- вбудований інтерфейс для підключення кабелю.

Верхній рівень представлений в першу чергу операторськими станціями, а також робочими місцями фахівців, сервером баз даних. Робочі станції отримують від підсистем і систем введення/виведення різні дані про стан технологічного процесу. Отримані дані необхідно обробити певним чином, проаналізувати, піднести диспетчеру в тій чи іншій формі інформацію про стан технологічного процесу, дати йому можливість

керувати процесом. Крім цього слід виконувати й інші функції, такі як створення документів і звітів.

Для виконання зазначених функцій необхідно программе забезпечення, яке забезпечить збір обробку, аналіз даних про параметри процесу, управління процесом.

Для реалізації обміну інформації на верхньому рівні використовується:

- робоча станція, з комплектацією Pentium 42.0 ; 1 Гб ОЗУ; 128 Мб відео; HHD 40 Гб;
- комутатор серії D-Link DGS-1210;
- АРМ диспетчера Pentium 42.0 ; 1 Гб ОЗУ ; 128 Мб відео; HHD 40 Гб;
- периферійні пристрої типу Canon i-SENSYS LBP6000;
- сервер архівування даних Siemens S7-200 SIMATIC Rack PC 840 V2.

Вентилятор

Вентилятор складається з двох частин – алюмінієвий корпус, і двигун з ротором. Використовується вентилятор для нагнітання повітря в топку котла. Також вентилятор може бути використаний для вентиляції приміщень і технологічного обладнання [10].

Комплект KG Elektronik SP-05 LED – складається з турбіни (вентилятора), виконаний у вигляді "равлики" в алюмінієвому корпусі, для нагнітання повітря в топку котла і вентиляції приміщення, а також блоку управління (автоматики), для підконтрольної роботи турбіни і циркуляційного насоса , задається потрібний режим і температура [10].

Датчик витрати води



Рисунок 3.16 – Датчик витрати води

Даний датчик ідеально підходить для автоматизації контролю використання води. Конструктивно датчик складається з пластикового корпусу з клапаном, водяного ротора і датчика Холла. Принцип роботи датчика: при проходженні води через ротор він починає обертатися. Швидкість його обертання змінюється в залежності від швидкості потоку води, і датчик Холла видає імпульсний сигнал відповідної частоти. Підключення до реєструючого пристрою проводиться за допомогою трьох проводів: чорний – земля, червоний – живлення і жовтий – сигнальний [31].

Датчик витрати газу

Необхідний напрям і розподіл потоку газу над поверхнею вимірювача забезпечує строго певна внутрішня геометрія вимірювальної камери датчика. У процесі роботи нагрівальний елемент досягає температури на 160 ◦С вище, ніж навколишня температура. При нульовому потоці газу над поверхнею вимірювача вихідна напруга моста дорівнює нулю. У момент самі дії потоку газу термодатчик, розташований першим по ходу потоку, охолоджується, а термодатчик, що знаходиться на протилежний стороні, нагрівається. У результаті відбувається розбалансування і на виході з'являється напруга, величина і знак якого пропорційні обсягу і напрямку газу, що проходить в одиницю часу через вимірювальну камеру датчика [11].

Датчик витрати повітря

Термодифференціальний масовий витратомір Thermatel моделі TA2 забезпечує надійне вимірювання масової витрати повітря. У компактному вибухозахищеному корпусі розміщений блок електроніки, який, володіючи великими можливостями, залишається при цьому простим в експлуатації. Модель TA2 має чудові експлуатаційні характеристики в поєднанні з винятковою економічністю [42].

Висновки Використовуючи інформацію про особливості роботи котла ПТВМ та апаратних засобів системи керування було розроблено структурну схему інформаційних потоків дослідницької системи.

4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

4.1 Функціональна схема автоматизації управління

Контур співвідношення газ-повітря

Призначений для підтримання найбільш економічного режиму спалювання газу в топці котла. Для цього в топку подається більше повітря, ніж потрібно для повного спалювання газу. Відношення кількості повітря, що подається в топку, до теоретично потрібної кількості повітря для повного спалювання газу, називається коефіцієнтом надлишку повітря [17].

При змінах витрати газу, необхідно пропорційно змінювати витрату повітря. Витрата природного газу задається контуром регулювання температури води на виході, а система регулювання співвідношення впливає лише на витрату повітря. Тиск газу вимірюється за допомогою витратоміра, який складається з дифманометра і діафрагми, яка встановлена на газопроводі до пальників котла. Також на ПЛК подається сигнал з давача тиску повітря перед топкою, на основі співвідношення цих величин ПЛК формує керуючий сигнал на вентилятор, що подає повітря [17].

Контур розрідження в топці котла

Економічність процесу горіння в топці залежить від підтримання розрідження в верхній частині топки на оптимальному значенні. При оптимальному значення розрідження знижуються присоси холодного повітря в топку і вихід димових газів з топки в котельний цех. Сигнал про розрідження від датчика надходить на вхід ПЛК, на основі якого виробляється керуючий вплив на змінюючи частоти обертання двигуна димососа.

Контур температури в робочому просторі

Система призначена для підтримання заданого температурного режиму води на виході з котла. Основним сигналом є температура на виході з котла, що надходить з давача. Даний сигнал надходить на ПЛК. На основі

цих даних він виробляє керуючий вплив на клапан, що змінює витрату газу перед пальником [21].

На рисунку 4.1 наведена функціональна схема регулювання температури в робочому просторі.

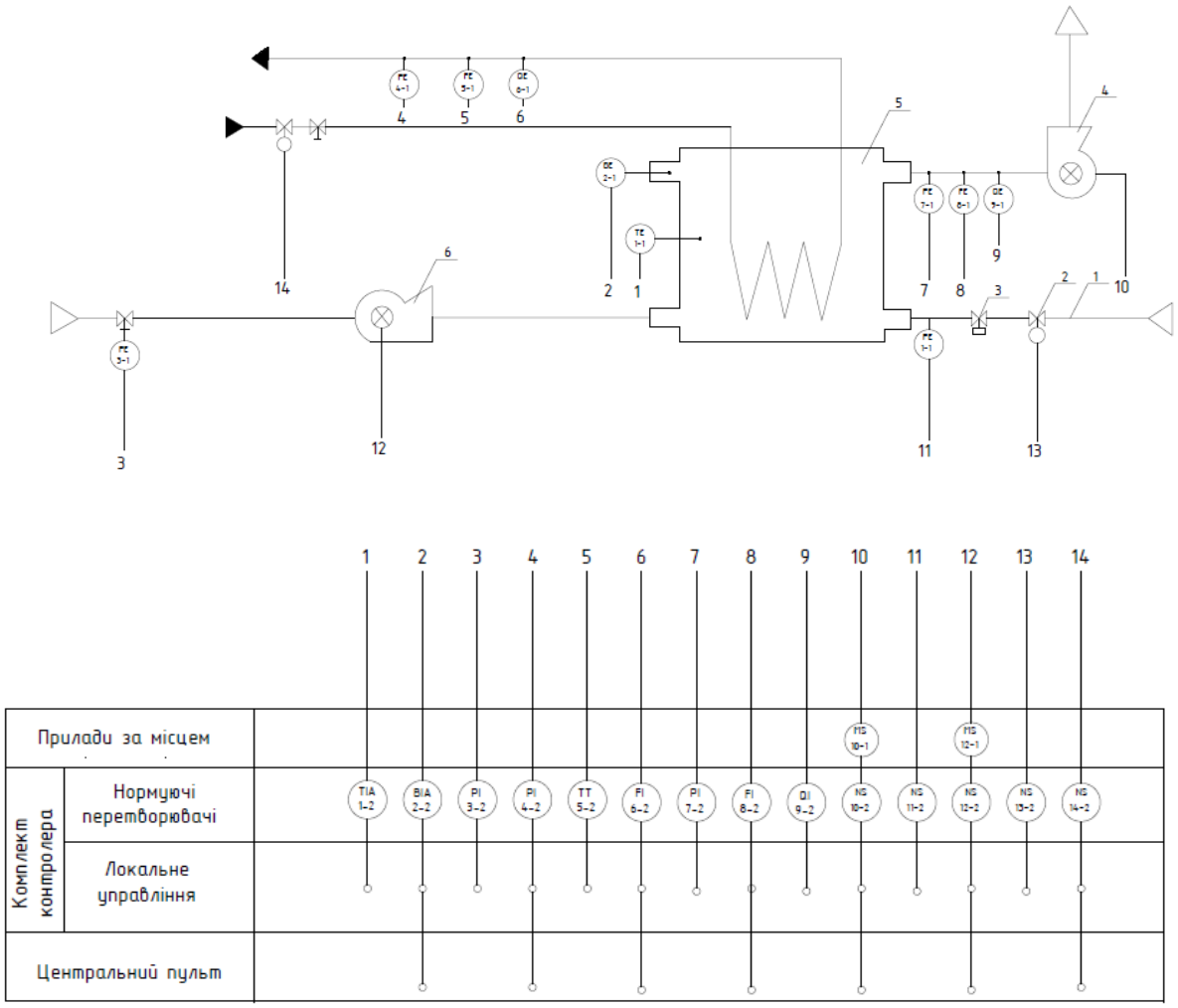


Рисунок 4.1 – Функціональна схема регулювання температури в робочому просторі

4.2 Принципова електрична схема

Принципова електрична схема – це документ, що визначає повний склад електричної системи та зв'язки між її елементами, надаючи детальне уявлення про принципи роботи системи. У списку встановленого обладнання, який вказаний у специфікації, принципова схема

відображається як основа для подальшої розробки інших схем проекту, таких як монтажні схеми щитів і пультів, а також схеми зовнішніх з'єднань.

Принципова електрична схема розроблена відповідно до системи автоматичного регулювання температури води. Простота і економічність цієї схеми досягається за рахунок застосування стандартної апаратури і типових вузлів. Вона забезпечує оптимальні умови для роботи персоналу під час керування та обслуговування водогрійного котла. Це передбачає спрощення операцій, виконуваних персоналом, можливість швидкого вибору режиму роботи і перехід з автоматичного на ручний режим.

У схемі використовується стандартний термометр опору для вимірювання температури гарячої води. Сигнал від термометра (4 – 20 мА) подається на блок живлення, а потім на вхід контролера. Контролер видає управляючий сигнал в залежності від відхилення контрольованого параметра. Сигнал з контролера подається на ключ вибору режиму управління (ручний або автоматичний), через який здійснюється вибір режиму регулювання – автоматичного або ручного. У ручному режимі управління кнопками здійснюється контроль процесу.

4.3 Принципова електрична схема живлення

На схемі живлення представлена структура підведення електричного струму до системи. Тут детально показані параметри та розташування запобіжників, автоматичних вимикачів та інших елементів, які забезпечують безпеку та правильне функціонування електричної системи. Важливою частиною цієї схеми є точне визначення параметрів електричної мережі, таких як напруга та потужність, а також правильне розташування запобіжних пристроїв для захисту від перенапруги чи перевантаження.

Запобіжники та автоматичні вимикачі розташовані таким чином, щоб забезпечити надійний захист від потенційних аварій або перегріву. Це важливо для запобігання пошкоджень обладнання та забезпечення безпеки

для персоналу, який працює з електричною системою. Крім того, на схемі можуть бути показані розподільні коробки, вимикачі, реле, а також будь-які інші електричні компоненти, необхідні для правильного функціонування системи.

Ця частина схеми є важливою для забезпечення безпеки та ефективності роботи електричної системи в цілому, тому вона детально розробляється з урахуванням всіх потрібних технічних вимог і стандартів.

4.4 Принципова електрична схема сигналізації, блокування та захисту

Безпечна робота водогрійного котла забезпечується за рахунок виміру та сигналізації відхилень основних параметрів:

- температури прямої води;
- тиску газу;
- тиску мазуту;
- тиску повітря;
- наявності полум’я.
- управління відсічними клапанами пускачами та кнопками та світловою і звуковою сигналізацією.

4.5 Розробка схеми зовнішніх з'єднань, вибір щитів

Схема зовнішніх з'єднань представляє собою комбіновану схему, на якій показані електричні і трубні з'єднання між приладами та засобами автоматизації, установленими на технологічнім обладнанні. Схема зовнішніх з'єднань виконана для системи автоматичного регулювання згоряння палива.

Із щита КВПтаА виходять два кабелі КВВГ 4х1 у захисній трубі довжиною 60 м, і КВВГ 10х1 у захисній трубі довжиною 60 м для з'єднання електричної схеми щита КВПтаА із зовнішніми клемниками,

розташованими безпосередньо перед виконавчим механізмом МЕО та датчиком витрат ДДА-100. Із клемних з'єднувачів виходять кабелі МКШ 3х1 і МКЕШ 10х0,5 для приєднання електродвигуна і схеми управління виконавчого механізму відповідно.

У зв’язку із тим, що щит установлюється поблизу об'єкта поза приміщенням, доцільно використовувати щит шафового типу. Щит призначений для монтажу на його лицьовій панелі апаратури для контролю та управління тепловим режимом печі, для захисту апаратури від механічних ушкоджень, для запобігання випадкового дотику обслуговуючого персоналу до відкритих струмоведучих частин апаратури та затискачів.

Щит має наступні габаритні розміри: висота – 2200 мм, ширина лицьової панелі – 900 мм, ширина бічної стінки – 800 мм. На лицьовій панелі розташовуються три блоки живлення, п'ять блоків ручного управління, п'ять ламп схеми сигналізації, виносна панель управління контролера. Уся комутація зводиться до складань контактних затискачів.

5 РОЗРАХУНОК СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Регулювальний метод, що базується на дросельному принципі, досить поширений у системах автоматичного керування. Основна ідея полягає в тому, щоб змінювати опір у трубопроводі між джерелом регульованого середовища та об'єктом регулювання. Це досягається за допомогою регулювальних дросельних органів, таких як клапани, обертальні заслінки, шибери або діафрагмові органи.

При виборі правильного регулюючого органу та виконавчого механізму важливо враховувати різні параметри. Основними з них є перепускна та умовна перепускна здатність, а також перепускна та витрачальна характеристики.

Щоб здійснити розрахунок, необхідно врахувати загальні втрати тиску на певному відрізку трубопроводу. Вони складаються з втрат до регулюючого органу (позначається як $\Delta P_{л1}$), після нього ($\Delta P_{л2}$) та втрат на самому регулюючому органі ($\Delta P_{ро}$). Такий підхід допомагає забезпечити ефективне функціонування системи керування та точне регулювання параметрів середовища.

5.1 Розрахунок звужуючого пристрою

Схема виміру витрати газу наведена на рисунку 5.1.

Для розрахунків звужуючого пристрою повинні бути задані:

- максимальная величина вимірюваної витрати (Q_{max} = 150 м³/ч);
- параметры середовища: середній надлишковий тиск ($р_и$ = 100 кПа), середня температура (t = 20°C), щільність (ρ = 1,2кг/м³), відносна вологість (φ = 0,2);
- материал трубопроводу (Ст.20) і внутрішній діаметр (D=100мм).

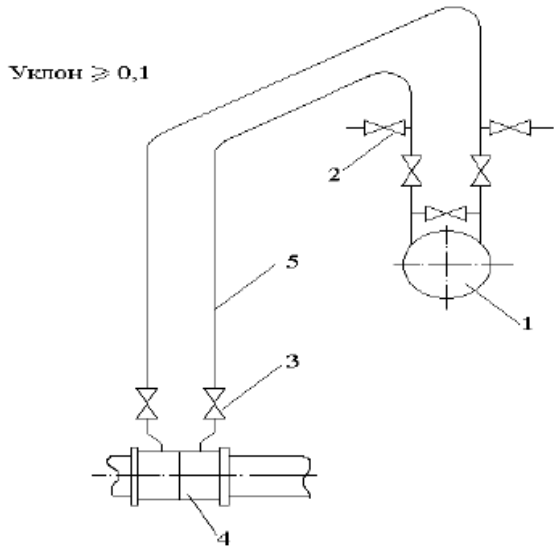


Рисунок 5.1 – Схема виміру витрати повітря

При розрахунках звужуючого пристрою необхідно:

Вибрати дифманометр-витратомір;

- визначити діапазон шкали дифманонетра-витратоміра, у якім коефіцієнт витрати є постійною величиною;

- розрахувати необхідні довжини прямих ділянок трубопроводу в районі установки звужуючого пристрою;

- визначити діаметр звужуючого пристрою.

а) Звужуючий пристрій

1) Тип-Діафрагма звужуючого типу.

2) Матеріал. Ст.20

3) $Kt' = 1$

б) Трубопровід

1) $K_{t'} = 1$

2) Внутрішній діаметр D = 100мм.

3) Вимірюване середовище.

3.1) Змішаний газ

3.2) Розрахункова максимальна витрата для

$$Q_п = 1,25 \cdot 150 = 187,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3.3) квадрат відносини витрат для природного газу:

$$n = (93,75/187,5)^2 = 0,25$$

3.4) Середня абсолютна температура:

$$T = 20 + 273 = 293$$

3.5) Середній абсолютний тиск:

$$p = 1000000+101000 = 201000 \text{ Па}.$$

3.6) Розрахункова припустима втрата тиску:

$$p_{п.буд.} = p_{п.буд.}' (Q_п/Q_{max})^2 \qquad (3.1)$$

$$p_{п.буд.} = 0,25 \cdot 1,56 = 0,39 \text{ кПа} = 390 \text{ кПа};$$

3.7) Щільність ρ =1,2кг/м³.

3.8) Показник адіабати: ϰ=1,4.

3.9) Максимальний тиск $p_{впм}$=2333 Па;

Максимальна щільність $p_{впм}$=0,1729 кг/мз.

3.10) Відносна вологість повітря φ=0.

3.11) Коефіцієнт стискальності повітря ДО=1.

3.12) Проміжна величина для визначення щільності вологого газу в робочому стані:

$$z = 1,02 \cdot 10^{-5} \cdot 118,61 = 120,9 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3.$$

3.13) Щільність сухої частини газу в робочому стані:

$$\rho_{с.г.} = 283,6 \cdot 1,2 \cdot 120,9 \cdot 10^{-5} = 41,14 \text{ кг/м}^3.$$

3.14) Щільність вологого газу в робочому стані: $\rho_{в.г.} = 41,31$ кг/м^3.

3.15) Динамічна в'язкість: $\mu = 1,7 \cdot 10^5$ Па·с.

в) Дифманометр

Манометр із многовитковой трубчастою пружиною (манометр типу МР). Клас точності ±1,5%.

Вибір перепаду тисків і модуля звужуючого пристрою.

$$187,5 \cdot \sqrt{41.31}\ 1205,11$$

1) Проміжна величина:

$$C = 3.553*1002*120.9 \cdot 10^{-5} = 429.5 = 2.81$$

2) Попереднє значення граничного перепаду на дифманометрі $\Delta p_{n'} = 28$ кПа.

3) Попереднє значення модуля звужуючого пристрою m'=0.05

4) Число Рейнольдса для витрати газу:

$$R = 187,5 * 1,2 * 41,31 = 9294,75$$

Розрахункове число Рейнольдса:

$$Re = 0,354*(100*1,7 \cdot 10^5*41,14) = 69,938$$

$$Re = 132,899 \cdot 10^5 = 93.75 \cdot 10^5$$

Середнє

$$R_{ecp} = 132{,}899 \cdot 10^5 * (187{,}5) = 66{,}4 \cdot 10^5 = 187{,}5 \cdot 10^5$$

Мінімальне

$$R_{emin} = 132{,}899 \cdot 10_5 * (187.5) = 33.2 \cdot 10_5$$

5) За умовою заданий довгий трубопровід.

6) Остаточне значення граничного номінального перепаду на дифманометрі $\Delta pn = \Delta p_n' = 28$

7) Максимальний перехід у звужуючьому пристрої $\Delta p = \Delta pn = 28$ при вимірі витрати газу.

8) Значення $\Delta p_{cp}/p$ для випадків виміру витрати газу визначають із рівняння:

$$\Delta p_{cp}/p = 0{,}25 * 28/201 \approx 0{,}03$$

9) Попереднє значення mα' для випадків виміру витрати газу:

$$m\alpha' = (3{,}13 * 2{,}81)/0{,}99 * 28 = 0{,}31729$$

де $\alpha = 0{,}6863$;

$m = 0{,}4$;

$\varepsilon = 0{,}99$.

10) Уточнення значення:

$$m\alpha = 0{,}3088(0{,}99/0{,}99) = 0{,}3088$$

де α =0,6863;

m=0,45

11) Втрата тиску газу в звужуючьому пристрої:

$$p_n \approx 28*0,55*0,64=9,9 \text{ Па}$$

12) Діаметр отвору звужуючього пристрою:

$$d=100*\sqrt{0,45}=67$$

$$d_{20}=67$$

13) Перевірка розрахунків:

$$Q_n' = 1,3 * 0,6863*0,99*4489*120,9\cdot 10^{-5}*4,82 = 23,1$$

14) Погрішність розрахунків:

$$\delta = ((Q_n - Q_n')/ Qn)*100\% = 0,087\%$$

Висновок. Таким чином, розрахунок проведений коректно та параметри комплекту для вимірювання витрат обрано правильно.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

6.1 Основні положення охорони праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально – профілактичних засобів і заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі роботи. Охорона праці включає організаційно-правові питання, техніку безпеки, виробничу санітарію і пожежну профілактику (ДСТУ 2293:2014).

Закон України «Про охорону праці» зобов'язав власника за свої засоби організувати проведення при прийомі на роботу медичних оглядів і протягом трудової діяльності лікарський контроль за поляганням здоров'я робочих, зайнятих на важких роботах, роботах з шкідливими і небезпечними умовами праці або таких, де є необхідність в професійному відборі, а також обов'язковий щорічний медичний огляд осіб у віці до 21 року незалежно від того, в яких умовах вони працюють.

У системі законодавства щодо гігієни праці ключове місце займає Закон України «Про забезпечення санітарного і епідемічного благополуччя населення». Положення, які мають пряме відношення до захисту здоров'я робітників і службовців якнайповніші освітлені в статті 7 «Обов'язку підприємств, установ і організацій». Ця стаття передбачає розробку і здійснення адміністрацією підприємств санітарних і протиепідемічних заходів; здійснення в необхідних випадках лабораторного контролю за дотриманням вимог санітарних норм щодо рівнів шкідливих чинників виробничого середовища; інформування органів і установ державної санепідеміологічної служби при надзвичайній події і ситуації, які представляють небезпеку для здоров'я населення; відшкодування в установленому порядку працівникам і громадянам збитків, які нанесені їх здоров'ю в результаті порушення санітарного законодавства.

Заходи з охорони праці спрямовані на профілактику травматизму, професійних захворювань та пожеж на виробництві. Для створення безпечних умов на виробництві необхідно дотримання вимог техніки безпеки, промислової санітарії та протипожежної профілактики, які слід широко пропагувати, а також навчати виробничий персонал. У центрі уваги охорони праці є завдання щодо збереження в процесі виробництва життя та здоров'я працюючих.

6.2 Загальні заходи з охорони праці

До обслуговування котлів можуть бути допущені особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, навчені, атестовані та мають посвідчення на право обслуговування котлів.

Атестація операторів котлів провадиться комісією за участю інспектора Держгіртехнагляду України. Особам, які пройшли атестацію, мають бути видані посвідчення за підписом голови комісії та інспектора Держгіртехнагляду України. Періодична перевірка знань персоналу обслуговуючого котли повинна проводитись не рідше ніж один раз на 12 місяців. Позачергова перевірка знань проводиться:

- при переході на інше підприємство;
- у разі переходу на обслуговування казанів іншого типу;
- при переведенні котла на спалювання іншого виду палива;
- за рішенням адміністрації або на вимогу інспектора Держгіртехнагляду України.

Комісія з періодичної та позачергової перевірки знань призначається наказом на підприємстві, участь у її роботі інспектора Держгіртехнагляду України визначається цим органом.

При перерві у роботі за спеціальністю понад 12 місяців персонал, який обслуговує котли після перевірки знань, повинен перед допуском до

самостійної роботи пройти стажування для відновлення практичних навичок за програмою, затвердженою керівництвом підприємства.

Правила улаштування та безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів поширюються на парові котли, котли-бойлери, автономні пароперегрівачі та економайзери, водогрійні та парові котли, енерготехнологічні котли, котли-утилізатори, трубопроводи пари та гарячої води в межах котла. Правила обов'язкові для виконання всіма посадовими особами, зайнятими проектуванням, виготовленням, монтажем, ремонтом та експлуатацією котлів, автономних пароперегрівачів, економайзерів та трубопроводів та систем автоматизованого керування у межах котла.

Конструкція котла та його основних частин повинна забезпечувати надійність, довговічність та безпеку експлуатації на розрахункових параметрах протягом розрахункового ресурсу безпечної роботи котла. Внутрішній пристрій у паровій та водяній частинах барабанів котлів, що перешкоджає огляду їх поверхні, а також проведенню дефектоскопії, повинні виконуватися знімними. Температура стінок елементів котла, пароперегрівача та економайзера не повинна перевищувати значення, прийнятого у розрахунках на міцність.

Конфігурація розміщених у газоходах труб повинна унеможливлювати утворення в них парових мішків пробок. Конструкція котла повинна забезпечувати можливість рівномірного прогрівання його елементів під час розпалювання та нормального режиму роботи, а також можливість вільного розширення окремих елементів котла.

Ділянки елементів котла та трубопроводів з підвищеною температурою поверхні доступні для обслуговуючого персоналу і повинні бути покриті ізоляцією, яка забезпечує температуру зовнішньої поверхні не більше 55ºС при температурі навколишнього середовища не більше 25ºС.

Конструкція котла повинна забезпечувати видалення повітря з усіх елементів під тиском, в яких можуть утворюватися повітряні пробки при заповненні та пуску. Пристрій газоходів повинен унеможливлювати

утворення вибухонебезпечних скупчень газів, а також забезпечувати умови, необхідні для очищення газоходів від відкладень продуктів згоряння.

Нижній допустимий рівень води в газотрубних (жаротрубних) котлах повинен бути не менше ніж на 100 мм вище за верхню точку поверхні нагріву котла. Іноді допускається зменшення цієї величини, якщо нижчий підтверджується спеціальними розрахунками. Верхній допустимий рівень води в парових котлах повинен забезпечувати запобігання потраплянню води в пароперегрівач або паропровід.

Робота в котельні пов'язана із середніми фізичними навантаженнями, але має низку факторів, які роблять працю потенційно небезпечною. Наприклад, оператор котельної ЖКГ постійно стикається з виробничим шумом, створюваним котельними установками, а також працює в безпосередній близькості від судин, що знаходяться під тиском.

До стандартного зразка інструкції з охорони праці для операторів котельної установки перераховані інші шкідливі фактори, з якими може зіткнутися працівник, який задіяний на виробництві.

Загальні ризики під час проведення робіт:

- удар електричним струмом;
- опіки від розпечених поверхонь та відкритого полум'я;
- опіки та травми від ємностей, що працюють під високим тиском;
- стрес і нездужання через гучний шум від вентиляторів, котлів, інших пристроїв;
- нездужання через високу вологість і температуру повітря, падіння через розлиту воду або олію;
- ймовірність травмуватися через пожежонебезпечну ситуацію – вибух котла і т. д.;
- опіки та травми через загоряння палива, сажі;
- механічні травми від будь-якої частини котельні – наприклад, від завантажувача палива в твердопаливному котлі;

- ядуха, отруєння продуктами згоряння при виході з ладу фільтруючої апаратури;

- попадання на шкіру або в очі хімічних речовин, які можуть призвести до дерматиту, опіку, тимчасової або постійної сліпоті.

Тому, відповідно до типових галузевих норм працівники котельної мають отримати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту машиністу котельні видаються:

- костюм бавовняний;
- рукавиці комбіновані;
- окуляри захисні;
- при ручному завантаженні:
- костюм бавовняний з вогнезахисним просоченням;
- черевики шкіряні;
- рукавиці комбіновані;
- окуляри захисні;
- при роботі на дровах та інших видах палива:
- фартух бавовняний;
- рукавиці комбіновані.

Захист від шуму і вібрації. Джерелом виникнення шуму і вібрації є машини, що обертаються, технологічні установки і апарати, в яких відбувається переміщення з великою швидкістю рідин і газів, електротехнічне устаткування зі змінними електромагнітними полями. Для захисту від шуму застосовуються:

- звукоізоляція конструкцій, що захищають;
- звукопоглинальні конструкції і екрани;
- глушники шуму;
- правильне планування і забудова.

Основними заходами протипожежного режиму в котельні є:

- територія котельні, робочі місця постійно утримуються в чистоті;

- підлоги рівні та неслизькі;
- заборонено зберігання поза спеціальною тари олії, нітрофарби та інших легкозаймистих рідин;
- не дозволяється курити;
- основна увага приділяється справності електрогосподарства.

Для швидкої пожежної охорони в котельні є засоби зв'язку: телефон, сигналізація з сповіщувачами. Діє добровільна пожежна дружина. Основним засобом пожежогасіння є вода. Система пожежогасіння має надійне зовнішнє та внутрішнє водопостачання всіх об'єктів, крім того, в цехах є первинні засоби: ОХП, ящики з піском, цебра, багри, пінні вогнегасники, лопати.

6.3 Охорона праці оператора АСУ ТП

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і посадових обов’язків оператора АСУТП у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ сформовані Заходи по забезпеченню безпеки праці.

Приміщення, у якому здійснюються заходи пов’язані з виконанням посадових обов’язків та проведенням досліджень та розрахунків (розробкою, модернізацією, удосконаленням, тощо), є спеціалізованим, яке обладнане ПК з ВДТ.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», «Правил улаштування електроустановок» (далі – «ПУЕ»), ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом», НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» та буде

використовуватися згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі – «ПБЕЕ»), НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі – «ПБЕЕС») та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Згідно «ПУЕ», за ступенем небезпеки ураження електрострумом, робоче місце оператора АСУТП приміщення належить до 1-го класу, тобто є приміщенням без підвищеної небезпеки, у якому відсутні умови, що створюють підвищену та особливу небезпекку.

Згідно глави 1.7 – «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «ПУЕ», обладнання має основну ізоляцію струмовідних частин, яка забезпечує захист від прямого дотику та подвійну, яка складається з основної та додаткової ізоляції, для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження основної ізоляції.

Відповідно до вимог п. 6.7.4. НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» усі доступні для доторкання металеві деталі електрообладнання у приміщенні з ПК, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм.

Оскільки робоче місце оператора АСУТП за ступенем небезпеки ураження електрострумом належить до 1-го класу, тому відповідно до вимог п. 6.7.6 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» та додатку №1 до НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» користувачі ПК пройшли інструктаж з електробезпеки з оформленням в журналі інструктажу та мають І групу з електробезпеки.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними,

яка відповідає нормованим значення (площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6,0 м^2, а об'єм не менше ніж 20,0 м^3). Поверхня підлоги є рівною, неслизькою, з антистатичними властивостями.

У зв’язку із стресовими ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями у працівників може виникнути ймовірність захворювань загально-невротичного характеру.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» для робітників із застосування ЕОМ, передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години, а також обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження передбачені пристрої для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою

Для запобігання кістково-м’язових порушень робочі місця користувачів ПК оператора АСУТП відповідають ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680-800 мм, а ширина і глибина – забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою 600 мм, шириною – 500 мм, глибиною (на рівні колін) – 450 мм, на відстані витягнутої ноги – 650 мм.

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для робочого місця оператора, обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислюваль-них машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Основними причинами недостатньої або надмірної освітленості робочих місць є несправність або хибний вибір освітлювальних приладів, неправильне розташування робочих місць по відношенню до джерел освітлення.

Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм. Недостатнє або надмірне освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровій і загальній втомі.

6.4 Охорона навколишнього середовища

Експлуатація котельні неминуче спричиняє забруднення атмосфери продуктами згоряння палива, що використовується у встановлених котлоагрегатах.

При роботі котельні джерелами забруднення атмосфери є продукти згоряння газу, чи резервного палива – топкового мазуту. При спалюванні газу в котлах основними шкідливими викидами є оксиди азоту і оксид вуглецю.

Шкідливий вплив на навколишне середовище мають:

- діоксид азоту та діоксид сірки;
- діоксид азоту, оксид азоту, п'ятиокис ванадію та діоксид сірки;
- діоксид сірки, окис вуглецю, діоксид азоту та фенол (фенол входить до складу фонових концентрацій);
- діоксид сірки та фенол.

Залпові та аварійні викиди зазначених забруднюючих речовин, що утворюються при спалюванні палива в котлах, неможливі.

Зниження викидів забезпечується автоматизацією процесу горіння з регулюванням подачі паливо-повітря, регулюванням навантаження, контролем за вмістом кисню у продуктах згоряння.

У періоди несприятливих метеорологічних умов робота котельні повинна здійснюватись відповідно до заходів щодо регулювання викидів, обґрунтованих та затверджених у встановленому порядк.

Для котельні організаційно-технічними заходами є:

- включення в роботу кількості котлоагрегатів, що забезпечують максимальний ККД для відповідного навантаження;
- підвищений контроль за процесом горіння палива у частині мінімального виходу забруднюючих речовин;
- виключення очищення поверхонь нагріву котлів та економайзерів;
- заборона виконання на період пуско-налагоджувальних робіт.

Висновки. У цій частині випускної кваліфікаційної роботи бакалавра була розглянута організація праці в котельних. Проаналізувавши умови праці, виділили такі чинники, як виробничий шум, вібрація, температура повітря, вентиляція та освітлення, які перевищують гранично допустимі рівні, встановлені документами, які суттєво впливають на здоров'я персоналу.

7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації

Автоматизовані системи управління є складними конструкціями, що поєднують технічні складові і людський фактор. У таких системах людина грає ключову роль у встановленні цілей управління, формулюванні критеріїв якості та у прийнятті рішень у ситуаціях, де потрібен творчий підхід.

Організаційне забезпечення автоматизованих систем управління охоплює різноманітні функції.

По-перше, це аналіз поточної системи управління для виявлення слабких місць та можливостей її поліпшення.

По-друге, це підготовка завдань для вирішення за допомогою комп'ютера, що включає в себе визначення параметрів та об'єктів управління.

І, нарешті, це розробка управлінських рішень для оптимізації ефективності управління, що передбачає аналіз даних, прийняття стратегічних та тактичних рішень з метою досягнення поставлених цілей.

Організаційне забезпечення реалізує наступні функції:

- аналіз існуючої системи управління організацією, де буде використовуватися ІС, та виявлення задач, що підлягають автоматизації;
- підготовку завдань до вирішення на комп'ютері, включаючи технічне завдання на проектування ІС та техніко-економічне обґрунтування її ефективності;
- розробку управлінських рішень по складу та структурі організації, методології рішення задач, спрямованих на підвищення ефективності системи управління.

7.2 Розрахунок техніко – економічних показників

7.2.1 Визначення капітальних вкладень

У зв'язку з розробкою і оптимізацію процесу рівномірного намотування листа в рулони моталкою прокатного стану, позначеною як САР, проводиться заміна застарілого устаткування на сучасний програмно-технічний комплекс, який має значно більш високі технічні і експлуатаційні можливості, та впровадження нової інформаційно-модулюючої системи управління технологічними режимами.

В таблиці 7.1 наведена вартість основного технологічного обладання.

Таблиця 7.1 – Вартість основного технологічного обладання

№	Найменування приладу	Марка приладу	Кіл.	Ціна одиниці, грн.	Загальна ціна, грн.
1	Іонодатчик полум’я	ІНД-2	1	3450	3450
2	Газоаналізатор	МАГ-6П-В	1	7450	7450
3	Димосос	ДН10	1	40000	40000
4	Датчик температури	ТГП100ЕК	1	1860	1860
5	Регулюючий клапан	Kromschroeder VAS	1	12095	12095
6	Частотний перетворювач	Altivar 38	1	3383	3383
7	Перетворювач тиску	Сафір-22М	2	950	1900
8	Джерело живлення	ACE-540A	1	880	880
9	Промисловий контролер	Simatic S7-300	1	2045	2045
10	Модуль дискретного вв./вив.	EM 231	1	749	749
11	Модуль аналогово виводу	EM 222	1	1693	1693
12	Датчик витрати води	G1/2	1	160	160
14	Датчик витрати газу	AWM5104VN	1	2975	2975
15	Датчик витрати повітря	Thermatel ta2	1	985	985
16	Вентилятор	DP02 ALU	1	2000	2000
				Всього	81625

Сума капіталовкладень ($К_{ов}$) на устаткування без урахування ПДВ включає вартість придбаного устаткування ($В_{уст}$) та витрати на транспортні ($В_{тр}$ = 6%) і заготівельно-складські ($В_{зс}$ = 5%) операції у визначених відсотках від $В_{уст}$.

$$К_{об} = В_{уст} + В_{тр} + В_{зс}, \quad (7.1)$$

де $В_{уст} = В_{ШУ}$

$$В_{ШУ} = 816625 \text{ грн.}$$

$$К_{ов} = 816625*(1+0,06+0,05) = 906453,75 \text{ грн.};$$

Додаткові капіталовкладення $К_{САР}$ на модернізацію САР складаються з таких витрат:

$$К_{САР} = К_{дм} + К_{об} + К_{м}, \quad (7.2)$$

де $К_{дм}$ – витрати на демонтаж існуючої апаратури ($К_{дм} = 0,05 \cdot К_{ов}$, грн.);

$К_{м}$ – витрати на монтаж нового устаткування ($К_{м} = 0,4 \cdot К_{ов}$, грн.).

$$К_{дм} = 0,05 \cdot 906453,75 = 45322,69 \text{ грн.}$$

$$К_{м} = 0,4 \cdot 906453,75 = 362581,5 \text{ грн.}$$

$$К_{САР} = 816625 + 45322,69 + 362581,5 = 1224529,2 \text{ грн.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Визначення капітальних вкладень

Визначення капітальних вкладень	
Витрати на монтаж нового устаткування $К_{м}$	362581,5 грн.
Сума капіталовкладень $К_{ов}$	906453,75 грн.
Витрати на демонтаж існуючої апаратури $К_{дм}$	45322,69 грн.
Вартість придбаного устаткування $В_{уст}$	816625 грн.
Додаткові капіталовкладення модернізацію САР $К_{САР}$	1224529,2 грн.

7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати ($В_{САР}$), пов’язані з обслуговуванням нової

САР складаються з річних витрат на:

- зарплату персоналу ($В_{зп}$);
- амортизацію нового обладнання ($В_а$);
- поточний ремонт нового обладнання ($В_р$);
- електричну енергію для живлення нового обладнання ($В_{ел}$);
- інші експлуатаційні витрати ($В_і$).

$$В_{САР} = В_{зп} + В_а + В_р + В_{ел} + В_{ін}. \quad (7.3)$$

7.2.3 Річні витрати на ЗП

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$В_{зп} = n \cdot ФОП, \quad (7.4)$$

де n – чисельність обслуговуючого персоналу (n = 25 роб.);

ФОП – середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори.

Розрахуємо сердньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори:

$$ФОП = Ф_{зп} \cdot К_{ін}, \quad (7.5)$$

де $К_{ін} = 1,1$

$Ф_{зп}$ – щорічна витрата на зарплату робітника з урахуванням нарахувань на ФОП, грн.

$$Ф_{зп} = 12 \cdot ЗП \cdot Н_{зп}, \quad (7.6)$$

де ЗП – середня місячна зарплата робітника (ЗП = 6500 грн.);

$Н_{зп}$ – нарахування на ФОП складають 20%.

Тоді:

$$Ф_{зп} = 12 \cdot 6500 \cdot (1+0,2) = 93600, грн.$$

$$ФОП = 93600 \cdot 1,1 = 102960, грн.$$

$$В_{зп} = 25 \cdot 102960 = 2574000, грн.$$

7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування ($В_а$) на реновацію придбаного устаткування на соціальні збори підприємства визначаються за виразом:

$$В_а = К_{САР} * Н_А /100, \quad (7.7)$$

де $Н_А$ – річна норма амортизації на реновацію ($Н_А$ = 24%);

$$В_а = 1224529,2 \cdot 24/100 = 293887 грн.$$

7.2.5 Річні витрати на ремонт

Ці витрати обчислюють через коефіцієнт $К_р$ = 3% від загальної суми капіталовкладень.

$$В_р = К_р \cdot К_{САР}, грн. \quad (7.8)$$

$$В_р = 0,03 \cdot 1224529,2 = 36736 грн.$$

7.2.6 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САР визначаються так:

$$В_{ел} = Р_{ел} \cdot Т_ф \cdot К_з \cdot СВ^{од}_{ел}, грн. \quad (7.9)$$

де $Р_{ел}$ – встановлена електрична потужність САР ($Р_{ел}$ = 3,5 кВт);

$Т_ф$ – фактичний термін роботи САР за рік ($Т_ф$ = 7800 год.);

$К_з$ – коефіцієнт для врахування реального споживання ($К_з$ = 0,8);

$СВ^{од}_{ел}$ – собівартість виробленого 1КВт · год ($СВ^{од}_{ел}$ = 90 коп.)

$$В_{ел} = 3,5 \cdot 7800 \cdot 0,8 \cdot 0,90 = 19656 \text{ грн.}$$

7.2.7 Інші витрати

Інші витрати визначаються так:

$$В_{ін} = 0,25 \cdot (В_а + В_{зп} + В_р) \qquad (7.10)$$

$$В_{ін} = 0,25 \cdot (293887 + 2574000 + 36736) = 756155,75 \text{ грн.}$$

Підставляючи отримані значення маємо загальну суму річних експлуатаційних витрат ($В_{САР}$, грн.):

$$В_{САР} = 2574000 + 293887 + 36736 + 19656 + 756155,75 = 78539854 \text{ грн.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Розрахунок річних експлуатаційних витрат	
Зарплата персонала $В_{зп}$	2574000 грн.
Амортизація нового обладнання $В_а$	293887 грн.
Поточний ремонт нового обладнання $В_р$	36736 грн.
Електричну енергію для живлення нового обладнання $В_{ел}$	19656 грн.
Інші експлуатаційні витрати $В_{ін}$	756155,75 грн.
Експлуатаційні витрати $В_{САР}$	78539854 грн.

7.2.8 Валова річна економія витрат

Валова річна економія витрат. Залежно від сутності інновації охоплює економію заробітної плати, економію матеріалів, економію умовно-постійних витрат.

- економія заробітної плати – наявна за використання нового способу виконання робіт, який потребує менше часу, ніж старий:

$$E_{\text{з.п.}} = (\text{р}_1 - \text{р}_2) \cdot \left(1 + \frac{\text{Д}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{\text{Д}}{100}\right) \cdot \text{В}_2, \qquad (7.11)$$

де р_1 і р_2 – розцінки на операцію відповідно до і після впровадження інновації;

Д і Н – відповідно відсоток додаткової заробітної плати і нарахувань на заробітну плату;

В_2 – річний обсяг випуску продукції після впровадження інновації.

$$E_{\text{з.п.}} = (25 - 15) \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right) \cdot 375600 = 58687500 \text{ грн.}$$

- економія витрат матеріалів – розраховується у разі застосування дешевшого замінника (зміна ціни матеріалу) або нового способу оброблення матеріалу, завдяки чому зменшуються його питомі витрати:

$$\text{Е}_\text{м} = (\text{Н}_1 \cdot \text{Ц}_1 - \text{Н}_2 \cdot \text{Ц}_2) \cdot \text{В}_2, \qquad (7.12)$$

де Н_1 і Н_2 – норми витрат матеріалів на одиницю продукції відповідно до і після впровадження інновації;

Ц_1 і Ц_2 – ціна одиниці матеріалу.

$$\text{Е}_\text{м} = (3{,}75 \cdot 25 - 3{,}50 \cdot 25) \cdot 375600 = 23475000 \text{ грн.}$$

Тоді умовно-річна економія витрат дорівнює:

$$\Delta\text{С} = \text{Е}_{\text{з.п.}} + \text{Е}_\text{м} - \text{В}_{\text{САР}}, \qquad (7.13)$$

$$\Delta C = 5868750 + 23475000 - 78539854 = 3622646, \text{грн.}$$

Перевищення прогнозної економії над додатковими витратами свідчить про доцільність реалізації запропонованого інноваційного рішення.

7.2.8 Фактична економія витрат

Розраховується шляхом приведення умовно – річної економії до періоду використання інновації в даному році за формулою:

$$E_{\text{ф}} = \frac{\Delta C \cdot n}{12} \qquad (7.14),$$

де n – кількість місяців до кінця року з моменту впровадження інновації.

$$E_{\text{ф}} = \frac{3622646 \cdot 6}{12} = 1811323 \text{ грн.}$$

7.2.9 Річний економічний ефект

Визначається приведенням капітальних витрат до поточних протягом умовного року за формулою:

$$E_{\text{р.ек}} = \Delta C - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{CAP}}, \qquad (7.15)$$

де K_{CAP} – додаткові капіталовкладення, пов’язані з реалізацією інновацій;

$E_{н}$ – показник нормативної економічної ефективності, величина якого залежить від прийнятного для підприємства рівня віддачі від капіталовкладень (як правило, для устаткування достатнім є рівень 15%, тобто $E_{н}$ = 0,7).

$$Е_{р.ек} = 3622646 - 0,15 \cdot 1224529,2 = 3438966,6 \text{ грн.}$$

Термін окупності ($Т_о$) через суму капіталовкладень ($К_{ов}$) визначається:

$$Т_о = К_{ов} *(1+\alpha_а + \alpha_р + \alpha_{зсв}) /Е_{р.ек}, \text{ років} \quad (7.16)$$

де $\alpha_а$ – додаткові нарахування на амортизацію ($\alpha_а = 0,14$);

$\alpha_р$ – додаткові нарахування на поточний ремонт ($\alpha_р = 0,01$);

$\alpha_{зсв}$ – доля загальностанційних витрат, визначена додатковими капіталовкладеннями ($\alpha_{зсв} = 0,20$).

$$Т_о = 906453,75 \cdot (1+0,14 + 0,01+0,20)/3439966,6 = 0,4 \text{ років.}$$

Висновки. В результаті проведеного розрахунку економічних показників були визначені капітальні витрати на будівництво, щорічні витрати, чистий приведений прибуток, внутрішня норма прибутку, індекс доходності, термін окупності проекту, рентабельність і так далі.

Термін окупності проекту 0,4 року, що свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін.

ВИСНОВКИ

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в автоматизації водогрійного котла ПТВМ-50. Для досягнення цієї мети було проведено детальний аналіз технологічного агрегату котла, на основі якого розроблена схема матеріальних потоків з відповідними сигналами для управління та відображення параметрів. Це дозволило оцінити існуючий рівень автоматизації на підприємстві та визначити необхідні кроки для впровадження нової автоматизованої системи.

В процесі розробки було сформульовано технічне завдання, в якому вказано вимоги до проектованої системи. Зокрема, було виділено основні рівні управління та обробки інформації, розроблені необхідні режими управління, а також враховані вимоги до безпеки та резервування інформації. Ці аспекти мають важливе значення для забезпечення безперебійної та надійної роботи котла в автоматизованому режимі.

Далі було проведено оцінку поточного стану автоматизації на підприємстві, що дозволило сформулювати чітке технічне завдання для проектування нової автоматизованої системи. Вибір приладів автоматизації, зокрема контролерів Siemens S7-300, дозволяє забезпечити високу точність регулювання та контролю за роботою котла. Також було розраховано необхідний регулюючий орган і виконавчий механізм для реалізації автоматизації процесу. Зрозумілі та чітко визначені вимоги до безпеки, резервування та управлінських режимів підвищують надійність і зручність експлуатації автоматизованої системи.

Особлива увага була приділена техніці безпеки та охороні праці. Це важливий аспект при роботі з високими температурами і тисками, що є характерними для котлів. У проекті також були розраховані економічні показники, зокрема витрати на персонал і капіталовкладення, для оцінки ефективності впровадження автоматизації. За результатами розрахунків було визначено, що термін окупності проекту складає всього 0,4 року. Це

свідчить про високий потенціал проекту з точки зору ліквідності, оскільки витрачені на його реалізацію кошти можуть бути повернуті за досить короткий термін.

Загалом, автоматизація котла типу ПТВМ дозволить значно підвищити ефективність роботи котельні, зменшити людський фактор у керуванні процесами, а також знизити ризики аварійних ситуацій. Розроблена система забезпечить надійність, економічність та безпеку в експлуатації, що в кінцевому підсумку дасть змогу знизити витрати на енергоносії та підвищити продуктивність підприємства.

Автоматизація котла ПТВМ дозволяє значно підвищити ефективність технологічних процесів, зокрема, шляхом оптимізації витрат палива та енергії. Це забезпечує більш стабільний і економічно вигідний режим роботи, знижуючи ризики перевитрат та збоїв у роботі обладнання. Вона дозволяє зменшити вплив людського фактору на процеси керування котлом. Це забезпечує точність і оперативність реагування на зміни в умовах роботи, а також знижує ймовірність помилок при налаштуванні та регулюванні параметрів. Використання сучасних технологій автоматизації дозволяє створити систему, яка швидко реагує на аварійні ситуації. Це забезпечує додатковий рівень безпеки, оскільки система може автоматично блокувати небезпечні операції та забезпечити захист від можливих поломок або аварій

Таким чином, автоматизація водогрійного котла ПТВМ є важливим кроком у підвищенні ефективності роботи підприємства, зменшенні витрат, поліпшенні безпеки та екологічності роботи котельні, а також значним кроком до сучасних стандартів управління енергетичними ресурсами.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.

2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII Голос України. 2017. 27 верес. (№ 178-179). С. 10–22.

3. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. Вид. офіц. Київ. 1998. 45 с. (Інформація та документація).

4. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с.

5. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. К. : Міненерговугілля України, 2021. 617 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с. (Інформація та документація).

7. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Чинний від 2002-01-01]. Київ : Мінпраці України, 2001. 45 с. (Інформація та документація).

8. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2014-12-30]. Київ : МВС України, 2014. 91 с. (Інформація та документація).

9. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [Чинний з 1997-10-06]. Київ : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Інформація та документація).

10. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [Чинний з 1998-01-09]. Київ : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Інформація та документація).

11. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроям. [Чинний від 2018-05-18]. Київ : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. (Інформація та документація).

12. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний з 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Інформація та документація).

13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. Київ : МОЗ України, 1999. 106 с. (Інформація та документація).

14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [Чинний з 01.01.2016]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Інформація та документація).

17. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Київ : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Інформація та документація).

18. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [Чинний від 2015-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Інформація та документація).

19. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [Чинний від 2018-02-23]. Київ : МВС України, 2018. 23 с. (Інформація та документація).

20. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем : навч. посібник. Черкаси : ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

21. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: http://wikipage.com.ua/1x400f.html (дата звернення: 13.06.2025).

22. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.06.2025).

23. Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: навч. посіб. : Суми, СумДУ, 2008. 212 с.

24. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с.

25. Збірник наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука – 2020» : у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя : ЗНУ, 2020. Т.5. 280 с.

26. Зінченко Ю. М., Барішенко О. М. Теорія автоматичного управління : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 35 с.

27. Ніколаєнко А. М. Технічні засоби автоматизації. Цифрові регулятори : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 84 с.

28. Манько О. О. Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп’ютерно – інтегровані технології» для студентів заочної форми навчання. Рівне, 2012. 40 с.

29. Манько О. О., Кутя В. М. Методичні вказівки до виконання розрахунково – графічної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп’ютерно – інтегровані технології». Рівне, 2010. 31 с.

30. Металургійна теплотехніка : збірник наукових праць Національної металургійної академії України. Дніпро : «ПП Грек О.С.», 2020. 364 с.

31. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Розрахунок ректифікаційної установки періодичної дії. Проектування насадкової колони.» з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів

III–IV курсів; уклад. В. М. Задорожній, В. І. Зражевський, С. О. Опарін. Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2010. 38 с.

32. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності 151 «Автоматизація так комп’ютерно-інтегровані технології» / ред. А. М. Ніколаєнко. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 34 с.

33. Мочалін В. Н., Кочнев Н. В. Моделювання та дослідження систем авто-тичних управління з використанням ПЕОМ : нав. посіб. Череповець : ЧГІІ, 2005. 178 с.

34. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В., Зеркалов Д. В., Сабарно Р. В., Полукаров О. І., Коз’яков В. С., Мітюк Л. О. Основи охорони праці : підручник. 2-ге вид. Київ : Основа, 2006. 448 с.

35. Новікова О. В. Проєкт автоматизації водогрійного котла в умовах системи теплопостачання. Система автоматичного регулювання процесу згоряння палива у робочому просторі : кваліфікаційна робота бакалавра спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / наук. керівник О. М. Барішенко. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 81 с.

36. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР : метод. вказ. до практ. зан. / уклад. В.Г. Трегуб. Київ : НУХТ, 2008. 67 с.

37. Ніколаєнко А.М. Програмування ПЛК у Softlogic-системі. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 203с.

38. Солодовников В.В., Коньков В.Г. Мікропроцесорні автоматичні системи регулювання. Київ: Вища школа, 2021. 255 с.

39. Полянський Г.О. Методичні вказання к розрахунку надійності систем автоматизованого керування. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 24с.

40. Пейсхахов А.Н., Кучер А.М. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» : учебник. Изд-во Михайлова., 2004. 407 с

41. Проектування систем керування : конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами»;

уклад. М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленький, Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 279 с.

42. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html (дата звернення: 15.02.2024).

43. Рішан О. Й. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Курс лекцій для студентів спеціальностей: 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» ден. та заочн. форм. навчан. Київ : НУХТ, 2007. 162 с.

44. Свинолобов Н.П. Печи черной металлургии : Учебное пособие для вузов. Днепропетровск : Пороги, 2004. 54 с.

45. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації : навч. посіб. Київ : НМКВО, 2015. 80 с.

46. Тимофеев Б. Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. *Справочник*/ ред. Б. Б. Тимофеева. Киев : Техника, 1983. С. 87 – 88.

47. Емпіріко-теотетичні методи дослідження систем управління. URL: http://examen.od.ua/upravlen/page117.html (дата звернення 22.02.24).

48. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.03.2024).

49. Ярмак З. Л. Автоматизація котельної установки на базі котла ТВГ – 8 : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 151 – автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології / наук. кер. В. О. Журба. Суми : СумДУ, 2022. 39 с.