

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 (проект)**  
перший (бакалавр)  
(рівень вищої освіти)

на тему Проект автоматизації водогрійного котла ТВГМ. Система автоматичного регулювання температури у робочому просторі

Виконав: студент \_\_ курсу, групи АКІТ-18-163  
спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
(назва освітньої програми)

Бернадський М. О.  
(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., професор Пазюк Ю.М.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент директор ТОВ «ЕлектроТехМаш»  
Куріченко І.А.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

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 перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(код та назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(код та назва)

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

«          »            2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ  
Бернадський Миколай Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проект автоматизації водогрійного котла ТВГМ. Система автоматичного регулювання температури у робочому просторі керівник роботи Пазюк Юрій Михайлович, доктор техн. наук, професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «26» травня 2023 року №221д-С

2. Строк подання студентом роботи 25.05.2024

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) \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання- видзів	завдання прийняв
1	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
2	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
3	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
4	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
5	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
6	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
7	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		

1. Дата видачі завдання 10.01.2024 р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення особливостей технологічного процесу	25.02.24	виконано
2	Розробка технічного завдання	09.03.24	виконано
3	Математичне моделювання САР	23.03.24	виконано
4	Розробка схема автоматизованої системи регулювання	06.04.24	виконано
5	Розробка програмного забезпечення	20.04.24	виконано
6	Визначення і опис небезпечних і шкідливих факторів на виробництві	04.05.24	виконано
7	Розрахунок техніко-економічних показників проєкту	15.05.24	виконано
8	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю	20.05.24	виконано
9	Підготовка доповіді	27.05.24	виконано

Студент   
(підпис)Бернадський М.О.  
(ініціали та прізвище)Керівник роботи (проєкту)   
(підпис)Пазюк М.Ю.  
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер   
(підпис)Овчинникова І.А.  
(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

На пояснювальну записку кваліфікаційної роботи бакалавра на тему: «Проект автоматизації водогрійного котла ТВГМ. Система автоматичного регулювання температури у робочому просторі», яка включає 84 стор. машинописного тексту, 11 рис., 12 табл., 33 найменування переліку використаних джерел.

Метою роботи є розробка системи автоматизації водогрійного газомазутного котла, а саме контуру регулювання температури у робочому просторі. 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.

ВОДОГРІЙНИЙ КОТЕЛ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПРОЄКТ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОНТРОЛЕР, ЩИТ, ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА,  
МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	8
1.1 Технологічний агрегат і алгоритм його роботи .....	9
1.2 Технологічний процес як об'єкт автоматизації .....	13
1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві .....	17
1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків.....	19
2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ .....	21
2.1 Вимоги до системи в цілому .....	21
2.2 Вимоги до функцій.....	24
2.3 Вимоги до видів забезпечення .....	25
2.4 Загальна структура програмно-технічного комплексу засобів автоматизації.....	27
3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	31
3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА.....	31
3.2 Вибір (розробка) математичної моделі системи управління.....	32
3.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА .....	38
4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ.....	49
4.1 Функціональна схема автоматизації управління .....	49
4.2 Принципова електрична схема .....	51
4.3 Принципова електрична схема живлення .....	51
4.4 Принципова електрична схема сигналізації, блокування та захисту ....	52
4.5 Розробка схеми зовнішніх з'єднань, вибір щитів.....	52
5 РОЗРАХУНОК СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	54
6.1 Основні положення охорони праці .....	59
6.2 Загальні заходи з охорони праці.....	60
6.3 Охорона праці оператора АСУ ТП.....	64
6.4 Охорона навколишнього середовища .....	67
7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ .....	70

7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації .....	70
7.2 Розрахунок техніко – економічних показників.....	71
7.2.1 Визначення капітальних вкладень .....	71
7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат.....	73
7.2.3 Річні витрати на ЗП .....	73
7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань .....	74
7.2.5 Річні витрати на ремонт.....	74
7.2.6 Витрати електроенергії на живлення .....	74
7.2.7 Інші витрати.....	75
7.2.8 Валова річна економія витрат .....	76
7.2.8 Фактична економія витрат .....	77
7.2.9 Річний економічний ефект .....	77
ВИСНОВКИ.....	79
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА .....	80

## ВСТУП

Автоматизація – це використання різноманітних засобів та технологій, що дозволяють здійснювати виробничі процеси без прямої участі людини, але за її контролем і наглядом. Впровадження автоматизації у виробничі процеси сприяє підвищенню обсягу випуску продукції, зниженню витрат, поліпшенню якості виробів, а також зменшенню потреби у працівниках. Крім того, автоматизація сприяє підвищенню надійності та тривалості служби обладнання, заощадженню матеріальних ресурсів, а також поліпшенню умов праці та забезпеченню техніки безпеки.

Теплоенергетика є однією з галузей промисловості, де автоматизація відіграє важливу роль і займає провідне місце. У теплоенергетичних установках процеси протікають безперервно, і виробництво теплової та електричної енергії повинно відповідати потребам споживачів у будь-який момент. Більшість операцій на таких установках механізовані, і перехідні процеси в них відбуваються досить швидко. Це призводить до необхідності високого рівня автоматизації, що дозволяє ефективно контролювати та управляти всіма аспектами виробництва тепла та електроенергії.

Економічність процесу виробництва пари для промислових підприємств є необхідною умовою їх сталої та роботи та ефективності виробництва продукції. Для опалення та забезпечення технологічних процесів на промислових підприємствах використовують котельні установки, які працюють на різноманітних видах палива.

Автоматизація параметрів котла дозволяє отримати значні переваги: зменшення кількості робочого персоналу, що в свою чергу підвищує продуктивність праці; зміну характеру роботи обслуговуючого персоналу; підвищення точності підтримки параметрів гарячої води, що виробляється; підвищення рівня безпеки та надійності роботи устаткування; і покращення економічності роботи водогрійного котла.

Автоматизація включає в себе ряд функцій, включаючи автоматичне регулювання, дистанційне керування, технологічний захист, теплотехнічний контроль, технологічні блокування та сигналізацію. Автоматичне регулювання забезпечує безперервний контроль і керування процесами, які відбуваються у водогрійному котлі, такі як подача води та регулювання горіння. Дистанційне керування дозволяє операторам управляти котлом з відстані, пускати, зупиняти та регулювати його параметри з пульта, що зручно та ефективно.

Теплотехнічний контроль і технологічні блокування грають критичну роль у безперервному та ефективному функціонуванні водогрійного котла. Прилади теплотехнічного контролю надають операторам детальну інформацію про параметри теплового процесу, що дозволяє вчасно виявляти будь-які аномалії чи відхилення в роботі установки. Технологічні блокування, у свою чергу, забезпечують безпеку під час пуску, зупинки та аварійних ситуацій, уникнення неправильних операцій та збереження цілісності устаткування. Вони є надійними заходами контролю, які забезпечують стабільну та безпечну роботу водогрійного котла.

Пристрої технологічної сигналізації є важливою складовою системи безпеки та ефективності експлуатації водогрійного котла. Вони інформують персонал про різні стани устаткування, такі як робота, зупинка, наближення параметрів до критичних значень чи виникнення аварійних ситуацій. Застосування звукової та світлової сигналізації допомагає оперативно реагувати на будь-які події і забезпечує вчасне прийняття відповідних заходів для збереження безпеки та продуктивності. Експлуатація котлів має гарантувати надійну та ефективну роботу, забезпечуючи не лише виробіток гарячої води з необхідними параметрами, але й безпечні умови для персоналу, що працює на об'єкті.

## 1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ



## 1.1 Технологічний агрегат і алгоритм його роботи

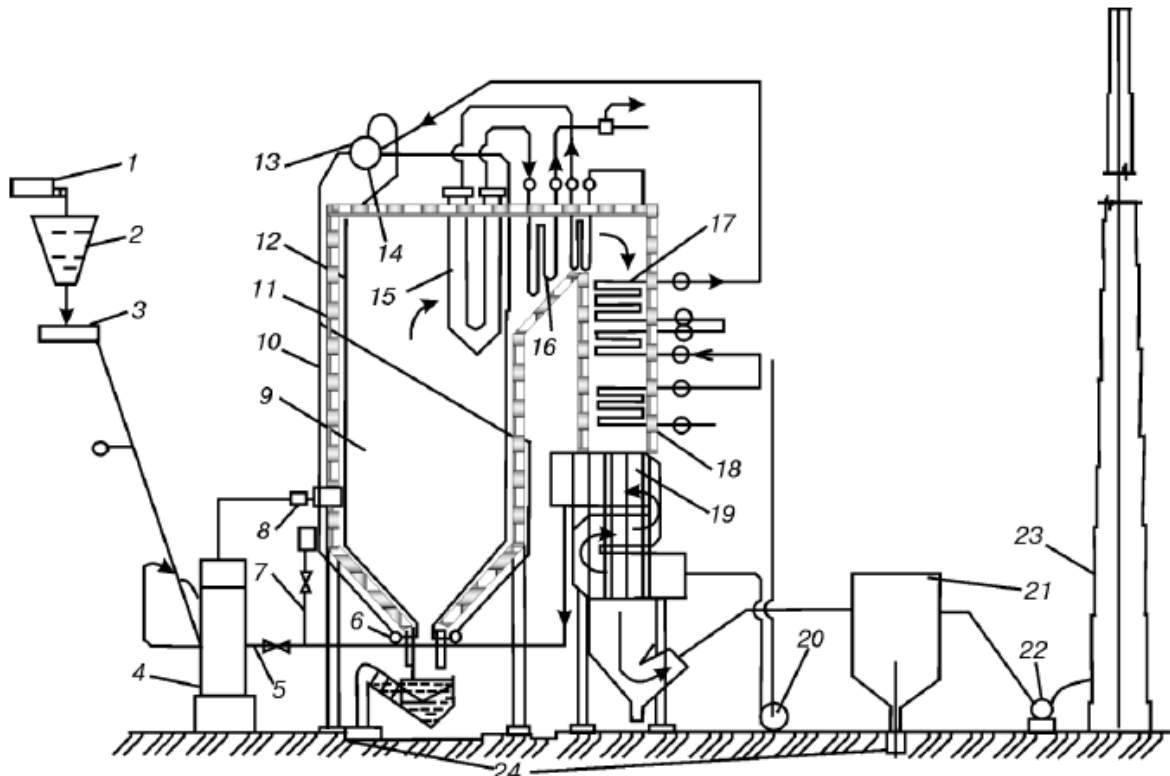
Котельною установкою називають конструктивно об'єднаний в єдине ціле комплекс котельного агрегату та допоміжного обладнання. Котельний агрегат являє собою сукупність пристроїв, механізмів та елементів, об'єднаних між собою для виробництва водяної пари або теплої води потрібних параметрів.

Котельна установка включає в себе котел певного типу та додаткове обладнання, яке забезпечує його функціонування. Основні компоненти котла – це топка та теплообмінні поверхні. Спосіб розташування топки та газоходів, в яких розміщені теплообмінні поверхні, тобто конструкція котла, залежить від властивостей палива, потужності пари та кінцевих параметрів пари.

Допоміжне обладнання котла включає:

- дуттєві вентилятори та димососи для подачі повітря в котел і видалення продуктів згорання в атмосферу;
- бункери і живильники для сировини та пилу;
- вуглемельні млини для постійного подання та підготовки паливного пилу потрібної якості;
- обладнання для уловлювання попелу і транспортування шлаку, яке очищає димові гази від золи для захисту навколишнього середовища та організованого виведення уловлених попелу і шлаку;
- пристрої для очищення зовнішніх поверхонь котлових труб;
- контрольно-вимірювальні прилади;
- установки для обробки вихідної води до необхідної якості.

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 (рис. 1.1) включають нагрівальні поверхні, які передають тепло від теплоносія до робочого середовища (води, пароводяної суміші, водяної пари або повітря). Залежно від процесів перетворення робочого тіла, нагрівальні поверхні поділяються на нагрівальні, випарні та перегрівальні.

Передача тепла від продуктів згорання до нагрівальної поверхні здійснюється через випромінювання (радіацію) та конвекцію. Відповідно,

нагрівальні поверхні поділяються на радіаційні, конвективні та радіаційно-конвективні (напіврадіаційні).

Конвективні нагрівальні поверхні включають економайзер 18, який підігріває живильну воду, що подається в котел. Економайзер розташовується в зоні відносно низьких температур у конвективній опускній шахті. Випарні поверхні нагріву розміщені в зоні найвищих температур топки 9 або в газоході за нею і зазвичай є радіаційними або радіаційно-конвективними (екрани, фестони, котельні пучки).

Екранні поверхні 12, розташовані на стінах топки і газоходів, захищають їх від високих температур. Екрани можуть бути встановлені також всередині топки, де вони піддаються двосторонньому опромінюванню (двосвітні екрани).

Перегрівальні поверхні нагріву можуть бути радіаційними, ширмовими та конвективними. Радіаційні перегрівники розміщують на стінах або стелі топки. Ширмові перегрівники 15 мають поверхні нагріву з трубами, розташованими з великим поперечним кроком, і отримують тепло майже порівну за рахунок випромінювання та конвекції. Конвективні перегрівники 16 встановлюють у газоходах, зазвичай у перехідних горизонтальних секціях або на початку конвективної шахти.

Сукупність нагрівальних поверхонь, трубопроводів і додаткових пристроїв, розташованих послідовно вздовж тракту робочого тіла, складає пароводяний тракт котла. Основні елементи цього тракту включають економайзер 18, відвідні труби, барабан 14, опускні труби 10, нижній розподільний колектор 6, екрани, стельовий перегрівник, перший і другий ступені конвективного перегрівника 16. Проміжний перегрівник 17 є частиною тракту для проміжного перегріву пари.

Устаткування для подачі палива до пальників 8 і його підготовки до спалювання складає паливний тракт котла. Він включає конвеєр 1, бункер 2, живильники 3 для вологого палива та пилу. Бункери для вологого палива зберігають постійний запас палива, забезпечуючи безперервну роботу

котла. Живильники дозують і подають паливо з бункера до млинів 4, які перетворюють його на вугільний пил потрібної якості. Для сушіння палива в млин разом із паливом подають сушильний агент (зазвичай повітря) через короб 5.

Повітряний тракт котельної установки складається з забірною повітроводу, дуттьового вентилятора 20, повітропідігрівника 19, та коробів 5 і 7 для первинного і вторинного повітря. Усі елементи повітряного тракту (крім забірною повітроводу) працюють під надлишковим тиском, який створює дуттьовий вентилятор. Підігріте в повітропідігрівнику повітря використовують для сушіння палива, що підвищує ефективність його згорання. Існують два типи повітропідігрівників: рекуперативні та регенеративні. У рекуперативному повітропідігрівнику тепло від продуктів згорання передається повітрю через теплообмінну поверхню.

У регенеративному повітропідігрівнику (РПП) тепло передається від гарячих газів до повітря через одну й ту саму теплообмінну поверхню, яка послідовно контактує спочатку з газами, а потім з повітрям.

Продукти згорання проходять через всі нагрівальні поверхні, очищаються від золи в зололовлювачах 21, а потім виводяться через димову трубу 23 в атмосферу. Це утворює повний газовий тракт котла, який може працювати під тиском дуттьового вентилятора або під розрідженням. У випадку розрідження в газовому тракті після зололовлювачів встановлюється димосос 22.

Водогрійні котли призначені для нагрівання води до заданих параметрів і використовуються для опалення, вентиляції, а також для побутових і промислових потреб. Ці котли можуть бути встановлені в промислових котельнях, а також на теплоелектростанціях для забезпечення опалювання та вентиляції. Вони зазвичай працюють за прямоточним принципом з постійною витратою води. Температура води на вході в котел зазвичай коливається від 70°C до 110°C, а на виході - від 150°C до 200°C. Існує різна потужність водогрійних котлів, яка вимірюється в мегаваттах

або гікакалоріях на годину і може варіюватися від кількох до кількох сотень МВт (ГКал/год.).

Водогрійні котли потужністю до 23,3 МВт зазвичай використовуються у основному режимі, де вода підігрівається до 150°C і тиск на вході в котел становить 1,6 МПа. Котли потужністю 35 МВт і більше мають працювати як у основному, так і в граничному режимах, здатністю підігріву води до 200°C і тиском води на вході в котел 2,5 МПа. Котли можуть працювати на газі, рідкому або твердому паливі. Щоб уникнути інтенсивної зовнішньої корозії труб, температура води на вході повинна перевищувати точку роси для продуктів згорання. Тому, при роботі на природному газі ця температура повинна бути не нижче 60 °С, на малосернистому мазуті – не менше 70 °С, а на високосернистому мазуті - не менше 110 °С. Для досягнення необхідної температури води на вході, частину гарячої води змішують з холодною за допомогою рециркуляційних насосів.

## 1.2 Технологічний процес як об'єкт автоматизації

Водогрійний котел ТВГМ призначений для опалення та нагріву гарячої води і може працювати як на газі, так і на мазуті.

Водогрійні котли ТВГМ є популярними та ефективними пристроями для опалення та нагріву води. Основні характеристики цих котлів включають:

1. Двохпрохідний дизайн: мають двухпрохідну конструкцію, що дозволяє ефективно нагрівати воду та забезпечує оптимальну теплопередачу.

2. Можливість роботи на різних видів палива: можуть працювати як на природному газі, так і на мазуті, що робить їх досить універсальними та зручними у використанні.

3. Висока потужність: ці котли можуть мати різні рівні потужності, від менших до великих, що дозволяє їх використання як для приватних будинків, так і для промислових об'єктів.

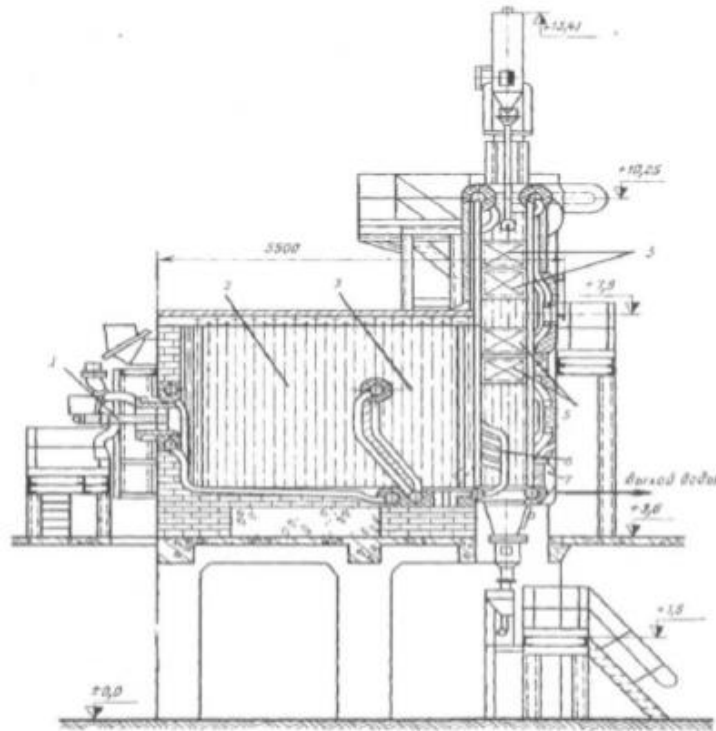
4. Висока ефективність: зазвичай мають високий коефіцієнт корисної дії, що дозволяє ефективно використовувати енергію та забезпечує економію палива.

5. Вбудовані системи безпеки: котли зазвичай обладнані різними системами безпеки, які захищають від перегріву, перевищення тиску тощо.

Котли серії ТВГМ мають горизонтальну компоновку і складаються з двох блоків: горизонтально-паливного і вертикального конвективного. Конвективний блок включає конвективний пакет, фестон і задній екран. Конвективний пакет формується з U-подібних змійовиків, які розташовані в шаховому порядку з певним кроком. Змійовики зварюються до вертикальних стояків діаметром 83x3,5 мм. Для очищення конвективних поверхонь від забруднень, утворених при роботі на мазуті, використовується дробоструйна установка. Це дозволяє ефективно видаляти осади з поверхні конвективних труб, забезпечуючи безперебійну роботу котла.

Водогрійні котли ТВГМ працюють за прямоточним принципом. Вода протікає від входу до виходу котла без зміни напрямку. Топка котла відокремлена перегородкою від камери догорання, а димові гази відводяться в вертикальну шахту – конвективний газохід. Топка котла обладнана екранами з паралельних труб, які замкнуті на колектори. У шахті конвективного газоходу встановлені пакети з труб розміром 28x3 мм.

На рисунку 1.1 наведений вид водогрійного котла ТВГМ.



1 – ротаційний пальник; 2 – топкова камера; 3 – камера догорання; 4 – 4-дробеочистка, 5 – пакети конвективних поверхонь нагрівання; 6 – труби, щоекранують, конвективного газоходу, 7 – нижній бункер для дробу

Рисунок 1.1 – Водогрійний котел ТВГМ [17]

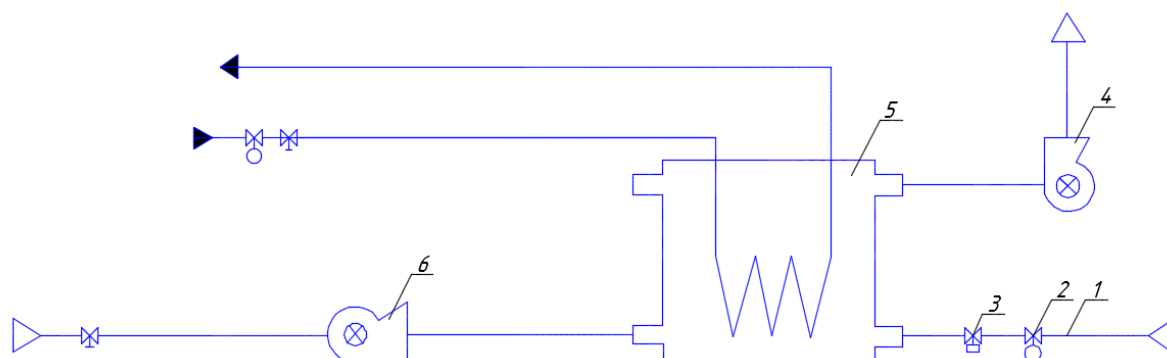
Водогрійний котел ТВГМ має конвективну частину нагріву, яка складається з двох секцій з верхніми і нижніми колекторами, з'єднаними між собою вісьмома стояками діаметром  $51 \times 2,5$  мм. У кожен стояк вварено по чотири П-подібних змійовика діаметром  $28 \times 3$  мм. Змійовики розташовані паралельно фронту котла в шаховому порядку. Для спрямування руху води в змійовиках у стояках встановлені перегородки.

Для спалювання газу котел ТВГ використовує подові пальники, які розміщені між вертикальними топковими екранами. Кожен пальник має два ряди отворів діаметром 1,5 мм, розташованих у шаховому порядку. Продукти горіння з топки надходять у конвективний газохід через отвір висотою 800 мм у верхній частині, над розділовою стінкою.

Труби пакетів зігнуті в вигляді змієвиків, кінці труб приєднуються до вертикально установлених стояків із труб великого діаметру. Передня стінка топкової камери закрита (футерована) шамотною цеглою.

Тепловиробничість котла становить 10 Гкал/час (11,63 МВт), тиск води до 2,5 МПа, витрата води через котел 123,5 т/год. Площа поверхні нагріву – 295,1 м<sup>2</sup>. Розрахунковий ККД котла: на газу-92%; на мазуті - 88%. Маса котла – 18,4 т. У цілому, водогрійні котли ТВГМ є надійними та універсальними пристроями для опалення та нагріву води, які можуть задовольнити потреби як приватних користувачів, так і промислових підприємств.

Технологічна схема котла ТВГМ наведена на рисунку 1.2.



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

Рисунок 1.2 – Технологічна схема котла ТВГМ [56]

Схема руху води в котлах ТВГМ 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-фронтних труб спрямовується в нижній колектор стельового екрану.

З нижнього колектора вода піднімається по іншому ряду стельових-фронтних 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

При автоматизації теплогенеруючих установок передбачається, що технологічні процеси будуть відбуватися без прямого втручання людини. Це досягається завдяки застосуванню різноманітних механізмів та пристроїв, які автоматично контролюють та керують роботою обладнання. Ці засоби виконують різні функції, спрямовані на оптимізацію процесів, забезпечення безпеки та підвищення продуктивності виробництва.

Це забезпечується за рахунок механізації оперативного керування роботою обладнання за допомогою різноманітних засобів і пристроїв, які виконують наступні функції:

1. Дистанційне керування включає управління різними регульовальними та запірними пристроями здалеку, такі як запуск та зупинка додаткового обладнання, наприклад, вентиляторів, димососів, насосів і т. д.

2. Автоматичне регулювання технологічних режимів передбачає підтримку встановлених значень або зміну параметрів відповідно до заданого графіку. Це може включати контроль температури води, викидів продуктів згоряння, витрати живильної води тощо.

3. Автоматичне керування періодичними операціями передбачає автоматичний пуск та зупинку обладнання для подачі палива, резервних насосів та інших операцій з певною періодичністю.

4. Автоматичне блокування роботи обладнання використовується для уникнення аварійних ситуацій в разі неправильних дій обслуговуючого

персоналу. Наприклад, при аварійному зупинці димососу може спрацювати автоматичне відключення вентилятора та зупинка подачі палива у камеру згоряння.

5. Сигналізація про режими роботи обладнання та аварійні ситуації передає інформацію про стан обладнання та будь-які проблеми через відповідні сигнали або повідомлення.

Обґрунтування економічної ефективності автоматизації управління дозволяє вирішити не лише це завдання, але й інші:

- визначити основні економічно ефективні напрямки автоматизації для окремих управлінських завдань;
- виявити можливий річний економічний ефект, який забезпечується автоматизацією на конкретному підприємстві;
- розрахувати термін окупності витрат на автоматизовану систему управління (АСУ) і порівняти його з встановленими нормативами для відповідної галузі;
- оцінити необхідність і доцільність витрат на створення і впровадження автоматизованої системи для кожного об'єкта;
- визначити вплив впровадження нової технології управління виробництвом на техніко-економічні показники діяльності підприємства;
- обрати економічно найефективніший варіант автоматизованої системи управління підприємством (АСУП) в цілому.

Ефект проявляється як в сфері управління, так і в сфері виробництва, як на самому підприємстві, так і у його партнерів, у виробничій та суспільній сферах. Існують методики, які відображають різні підходи і стосуються економічної ефективності АСУП саме на підприємстві, що автоматизується.

Для оцінки ефективності використовується широкий набір техніко-економічних показників, а також метод порівняння. Також застосовується

метод розрахунку припустимих показників, що орієнтує проектувальників на дотримання певних параметрів систем.

#### 1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків

Автоматизація теплогенеруючих установок передбачає механізацію оперативного керування роботою устаткування котельного агрегату за допомогою різноманітних засобів і пристроїв, при цьому передбачається виконання заданого технологічного режиму без безпосередньої участі людини. Система автоматичного регулювання складається із об'єкта регулювання (котел) і взаємодіючих з ним автоматичних регуляторів з датчиками.

При автоматизації технологічного процесу в працюючій теплогенеруючій установці повинні забезпечувати нормальне протікання технологічного процесу. Управління цими процесами потребує установки апаратури для контролю, регулювання та управління параметрами та режимами роботи. Такою апаратурою є контрольно-вимірювальні прилади, за допомогою яких здійснюється керування технологічними процесами, які забезпечують надійну, безпечну та економічну роботу обладнання.

При роботі обладнання теплогенеруючої установки технологічному контролю підлягають наступні параметри для водогрійного котла:

- температура оточуючого повітря;
- температура прямої води;
- температура зворотної води;
- тиск у топці котла;
- тиск води у трубопроводі;
- витрата газу;
- витрата мазуту;

- витрата повітря;
- якість згоряння палива;
- температура повітря перед димососом;
- тиск газу у трубопроводі;
- тиск мазуту у трубопроводі;
- тиск повітря у трубопроводі;
- наявність полум'я на пальнику.

*Висновки.* Дослідження принципу роботи водогрійного котла та розробка автоматизації його процесів є ключовими завданнями. Автоматизація в галузі теплоенергетики відіграє надзвичайно важливу роль. Для підвищення ефективності котельних установок необхідно провести детальний аналіз та розрахунки існуючих процесів, що можливо лише з урахуванням широкого спектру особливостей котельні.

Проведений аналіз дозволив проаналізувати стан питання регулювання температури гарячої води на котельних установках, що використовуються в Україні та за кордоном. Це стало основою для вибору способу та методу розробки системи автоматизованого регулювання температури в робочому просторі водогрійного котла ТВГМ, запропонованої в цій кваліфікаційній роботі.

## 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 конвективної

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 запірною пристрою з електроприводом на підведенні цього палива перед будь-яким пальником;
- заборона відкриття другого запірною пристрою з електроприводом по ходу палива перед пальником при невідкритому першому;

- блокування запірною пристроєм на трубопроводі безпеки пальника газу;
  - припинення і заборона подачі палива в пальник у випадку повного закриття шиберів 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.

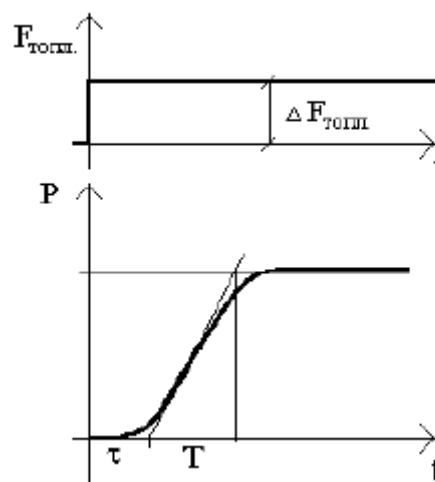


Рисунок 2.1 – Крива розгону по каналу витрата палива – тиск пари

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

$$T = 10 \dots 300 \text{ с.}$$



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,  $\alpha = 1,05 \dots 1,1$ ;
- для пальників, що працюють на рідкому паливі,  $\alpha = 1,1 \dots 1,2$ ;
- для пальників, що працюють на твердому паливі,  $\alpha = 1,2 \dots 1,4$ .

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 інерційними 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 виводиться 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 <sup>3</sup> /год	1,5 %
Витрата мазута	4340 кг/год	1,5 %
Витрата повітря	84000 м <sup>3</sup> /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 той же 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 комплексу засобів автоматизації

Метою розробки програмно-технічного комплексу 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:

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

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

б) обробку прийнятих сигналів - виконання алгоритмів:

– автоматичних регуляторів;

– стандартних алгоритмів;

– алгоритмів діагностики.

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

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

Пристрій технологічних захистів.

Пристрій технологічних захистів забезпечує:

а) прийом сигналів:

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

– з контролерів управління (сигнали значень технологічних параметрів, сигнали положення арматури, сигнали від приладів теплотічильників;

– 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);

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

б) обробку прийнятих сигналів - виконання алгоритмів:

– технологічних захистів;

– технологічних блокувань;

– технологічного контролю;

– програмно-логічного управління;

– стандартних алгоритмів;

– 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:

- сервери системи управління;
- пульт оператора;
- 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 функціональної 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.

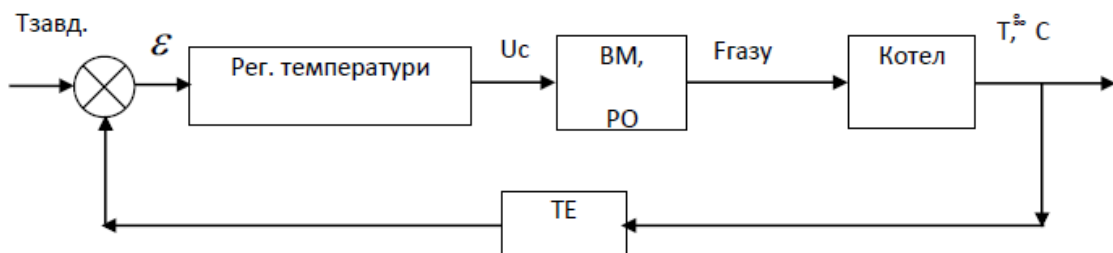
### 3.2 Вибір (розробка) математичної моделі системи управління

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:

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

Регулятор температури води.

Передаточна функція для ПД-регулятора має вигляд:

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

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:

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

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

Отже, отримаємо:

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



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

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

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

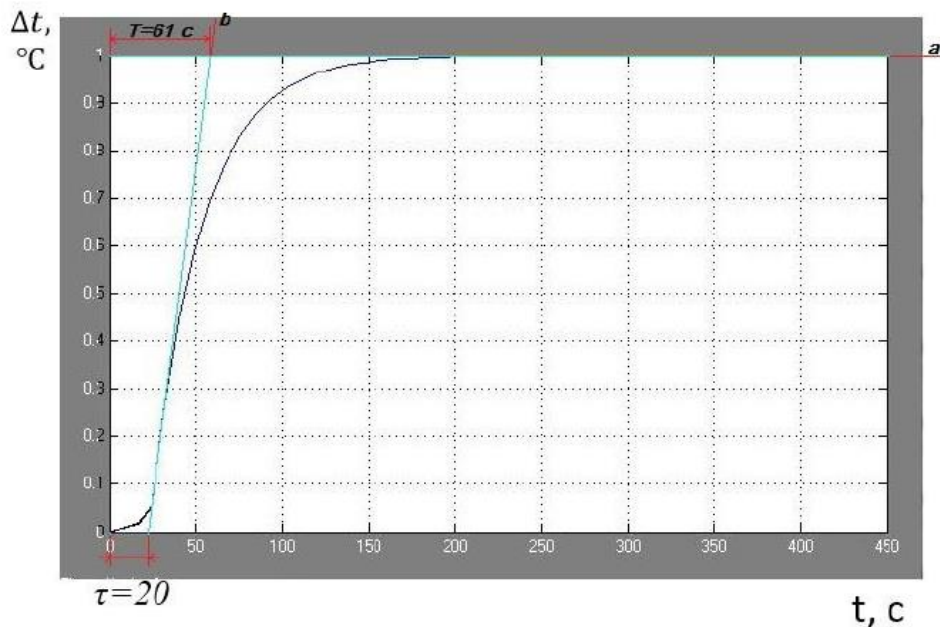


Рисунок 3.4 – Розгінна характеристика котла

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

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

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.

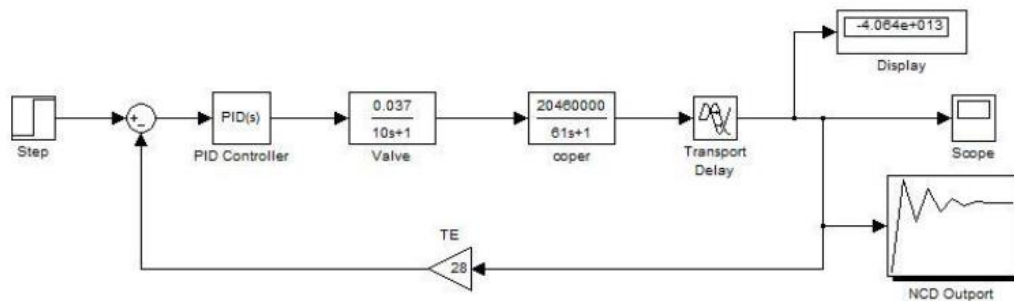


Рисунок 3.5 – Структурна схема САР температури в робочому просторі котла

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

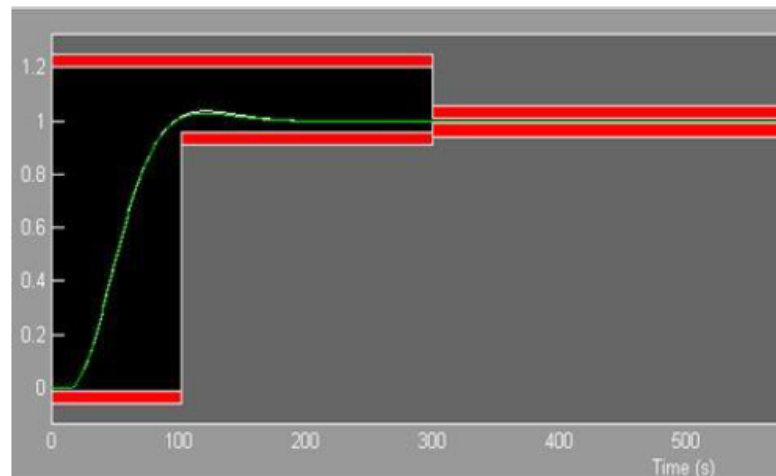


Рисунок 3.6 – Вікно блока NCD

Оптимізовані значення коефіцієнтів ПІД регулятора:

$$k_d = 1,8192e + 011$$

$$k_i = -1,5011e + 013$$

$$k_p = 2,0866e + 011$$

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).

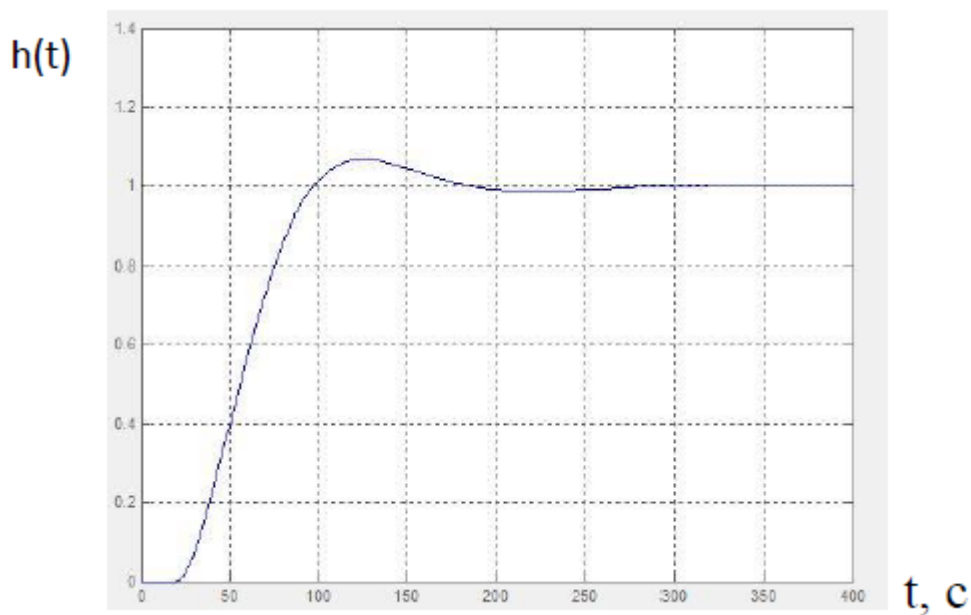


Рисунок 3.7 – перехідна характеристика САР температури (температура – у відносних одиницях)

Система керування виходить на усталене значення, отже, система стійка. Параметри якості перехідного процесу: час регулювання  $t = 319$  с, запізнення  $\tau = 20$  с, перерегулювання  $\sigma \approx 14\%$ , 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 ТВГМ. Для найбільш доцільного та вигідного вибору, технічні засоби автоматизації повинні підходити по параметрах та цінній 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. Напряга живлення датчика постійна в діапазоні 10 – 30 В. Вихід ІНД – відкритий колектор. Детектор випускається в пиловолого-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]

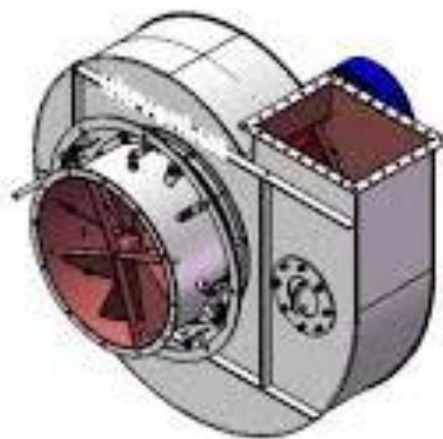


Рисунок 3.10 – Димосос ДН10

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  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+600^{\circ}\text{C}$ .

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 ТТП 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 Сапфір-22М.

Датчик тиску серії «Сапфір-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 Сапфір-22М

Джерело живлення змінного струму (АСЕ-540А).

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 сигналів (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 EM 231. В цьому модулі є 4 входи, до яких можна підключати термопари або ж датчики з уніфікованим токовим сигналом.

$$EM\ 231 = \text{Кількість сигналів з об'єкту} / \text{розрядність плати} = 20/4 = 5 \text{ шт.}$$

Також для виводу дискретних сигналів недостатньо виходів контролера, тому треба додати модуль виводу дискретних сигналів EM 232. В цьому модулі є 8 виходів.

$$EM\ 232 = \text{Кількість сигналів з об'єкту} / \text{розрядність плати} = 6/8 = 1 \text{ шт.}$$

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 EM 231 та 1 модуль EM 232.

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 перетворюють 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 програмуемого 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 програмуемого 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 програму забезпечення, яке забезпечить збір обробку, аналіз даних про параметри процесу, управління процесом.

Для реалізації обміну інформації на верхньому рівні використовується:

1. Робоча станція, з комплектацією Pentium 42.0 ; 1 Гб ОЗУ; 128 Мб відео; HDD 40 Гб.

2. Комутатор серії D-Link DGS-1210.

3. АРМ диспетчера Pentium 42.0 ; 1 Гб ОЗУ ; 128 Мб відео; HDD 40 Гб.

4. Периферійні пристрої типу Canon i-SENSYS LBP6000.

5. 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 °C 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 протилежній 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 ThermoTel 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 ТВГМ та апаратних засобів системи керування було розроблено структурну схему інформаційних потоків дослідницької системи.



## 4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

### 1.1 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.

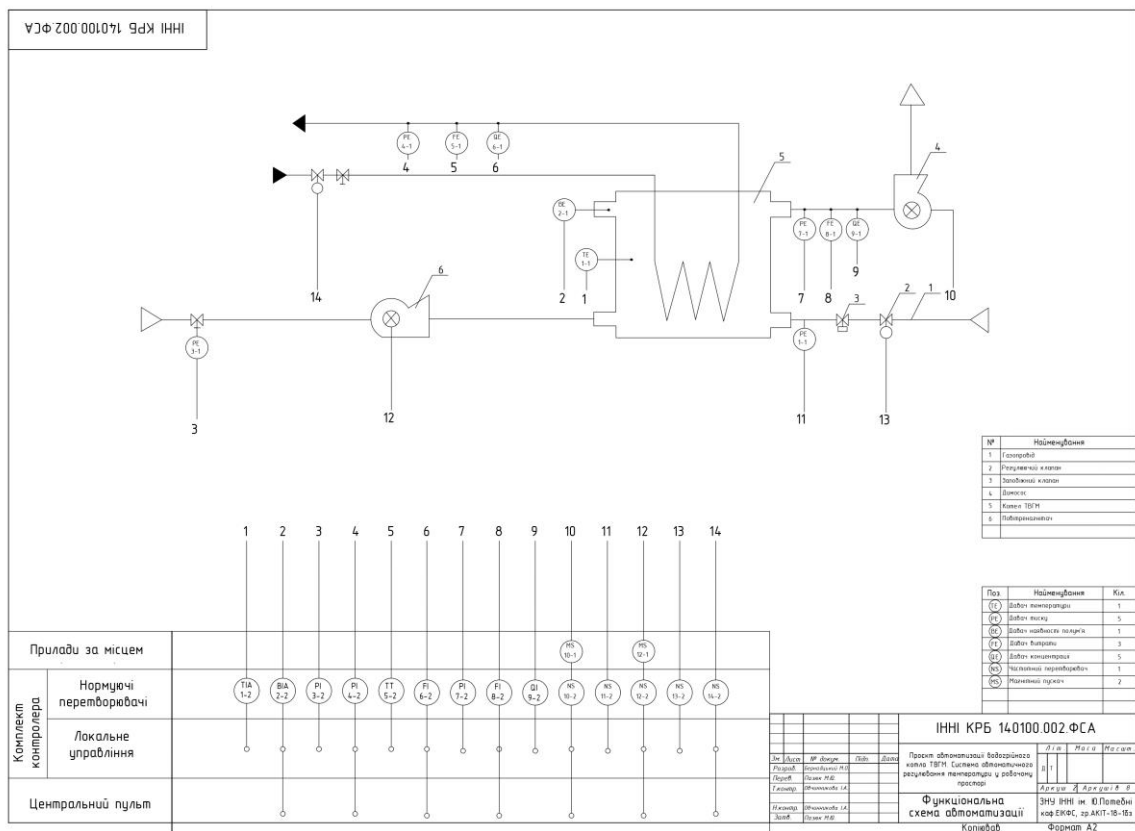


Рисунок 4.1 – Функціональна схема регулювання температури в робочому просторі

## 1.2 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.

## 1.3 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 пошкодженню 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.

#### 1.4 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.

#### 1.5 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 технологічному 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 МЕТРАН-100. Із клемних з'єднувачів виходять кабелі МКШ 3х1 і МКЕШ 10х0,5 для приєднання електродвигуна і схеми управління виконавчого механізму відповідно. 42

У зв'язку із тим, що щит встановлюється 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.

## 6 РОЗРАХУНОК ЗВУЖУЮЧОГО ПРИСТРОЮ

Схема виміру витрати газу наведена на рис. 6.1.

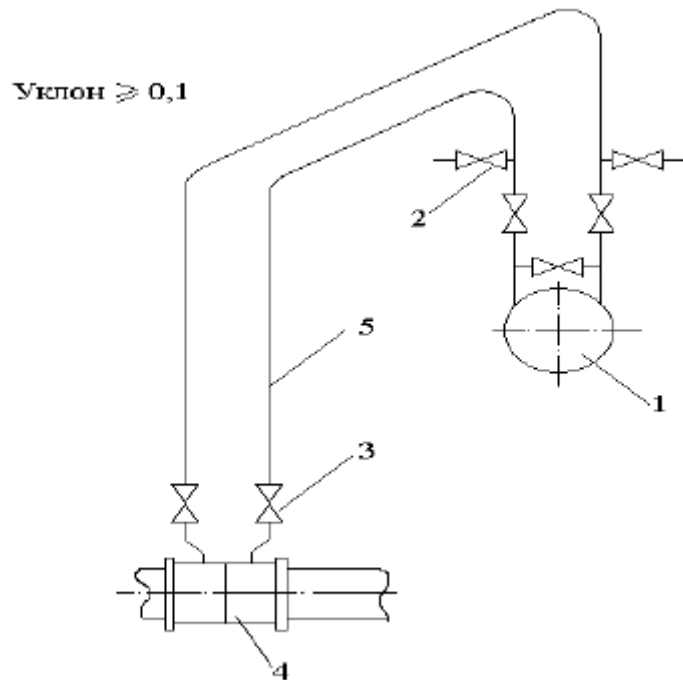


Рисунок 6.1 – Схема виміру витрати повітря

Для розрахунків звужуючого пристрою повинні бути задані:

1. Максимальна величина вимірюваної витрати ( $Q_{\max} = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ );
2. Параметри середовища: середній надлишковий тиск ( $p_{\text{и}} = 100 \text{ кПа}$ ), середня температура ( $t = 20^\circ\text{C}$ ), щільність ( $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ), відносна вологість ( $\varphi = 0,2$ ).
3. Матеріал трубопроводу (Ст.20) і внутрішній діаметр ( $D=100\text{мм}$ ).

При розрахунках звужуючого пристрою необхідно:

- Вибрати дифманометр-витратомір;
- визначити діапазон шкали дифманометра-витратоміра, у якому 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.  $K_t=1$

#### Б. Трубопровід

1.  $K_t=1$

2. Внутрішній діаметр  $D = 100\text{мм}$ .

3. Вимірюване середовище

3.1. Змішаний газ

3.2. Розрахункова максимальна витрата для  $Q_n = 1,25 \cdot 150 = 187,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

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:

$$p_{\text{п.буд.}} = p_{\text{п.буд.}}' (Q_n/Q_{\text{max}})^2 = 0,25 \cdot 1,56 = 0,39 \text{ кПа} = 390 \text{ кПа};$$

3.7. Щільність  $\rho = 1,2\text{кг}/\text{м}^3$ .

3.8. Показник адіабати:  $\kappa=1,4$ .

3.9. Максимальний тиск  $p_{\text{впм}}=2333 \text{ Па}$ ;

Максимальна щільність  $\rho_{\text{впм}}=0,1729 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

3.10. Відносна вологість повітря  $\varphi=0$ .

3.11. Коефіцієнт стискальності повітря  $\text{ДО}=1$ .

3.12. Проміжна величина для визначення щільності вологого газу в робочому стані:  $z = 1,02 \cdot 10^{-5} \cdot 118,61 = 120,9 \cdot 10^{-5} \text{ кг}/\text{м}^3$ .

3.13. Щільність сухої частини газу в робочому стані:

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

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

3.15. Динамічна в'язкість:  $\mu = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

#### В. Дифманометр



Манометр із многовитковою трубчастою пружиною.

(манометр типу МР). Клас точності  $\pm 1,5\%$ .

Вибір перепаду тисків і модуля звужуючого пристрою.

$$187,5 \cdot \sqrt{41,31} = 1205,11$$

1. Проміжна величина:  $C = 3,553 \cdot 1002 \cdot 120,9 \cdot 10^{-5} = 429,5 = 2,81$

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:

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

Розрахункове число Рейнольдса:

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

$$Re = 132,899 \cdot 10^5 = 93,75 \cdot 10^5$$

Среднее

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

$$\text{Минимальное } Re_{\text{min}} = 132,899 \cdot 10^5 \cdot (187,5) = 33,2 \cdot 10^5$$

5. За умовою заданий довгий трубопровід.

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

7. Максимальний перехід у звужуючому пристрої  $\Delta p = \Delta p_n = 28$  при вимірі витрати газу.

8. Значення  $\Delta p_{\text{ср}}/p$  для випадків виміру витрати газу визначають із рівняння  $\Delta p_{\text{ср}}/p = 0,25 \cdot 28 / 201 \approx 0,03$

9. Попереднє значення  $m\alpha'$  для випадків виміру витрати газу

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

$$\alpha = 0,6863$$

$$m = 0,45$$

$$\varepsilon = 0,99$$

10. Уточнення значення  $m\alpha = 0,3088(0,99/0,99) = 0,3088$

$$\alpha = 0,6863$$

$$m=0,45$$

$$11. \text{ Втрата тиску газу в звужуючому пристрої } p_n \approx 28 * 0,55 * 0,64 = 9,9$$

Па

12. Діаметр отвору звужуючого пристрою

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

$$d_{20} = 67$$

13. Перевірка розрахунків:

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

Погрішність розрахунків:

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

*Висновок.* Таким чином, розрахунок проведений коректно та параметри комплексу 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 унеможливити 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 55°C при температурі навколишнього середовища не більше 25°C.

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

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 розливу 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 I групу з електробезпеки.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неухважністю 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 значенням (площа на одне робоче місце має становити не менше ніж  $6,0 \text{ м}^2$ , а об'єм не менше ніж  $20,0 \text{ м}^3$ ). 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-обчислювальних 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, зоровий і загальний втомі.

#### 6.4 Охорона навколишнього середовища

Експлуатація котельні неминує 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 навколишнє 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 порядку для даної місцевості.

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. Були зазначені заходи зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів. Приведені дані з охорони праці оператора АСУТП, а також охорони навколишнього середовища.

## 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 обладнання.

Таблиця 7.1 – Вартість основного технологічного обладнання

№	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	Сапфір-22М	2	950	1900
8	Джерело живлення	АСЕ-540А	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 ( $K_{об}$ ) на устаткування без урахування ПДВ включає вартість придбаного устаткування ( $B_{уст}$ ) та витрати на транспортні ( $B_{тр} = 6\%$ ) і заготівельно-складські ( $B_{зс} = 5\%$ ) операції у визначених відсотках від  $B_{уст}$ .

$$K_{об} = B_{уст} + B_{тр} + B_{зс}, \quad (7.1)$$

де  $B_{уст} = B_{ШУ}$

$$B_{ШУ} = 816625 \text{ грн.}$$

$$K_{об} = 816625 \cdot (1 + 0,06 + 0,05) = 906453,75 \text{ грн.};$$

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

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

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

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

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

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

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

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Визначення капітальних вкладень

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



### 7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати ( $V_{CAP}$ ), пов'язані з обслуговуванням нової САР складаються з річних витрат на:

- зарплату персоналу ( $V_{зп}$ );
- амортизацію нового обладнання ( $V_a$ );
- поточний ремонт нового обладнання ( $V_p$ );
- електричну енергію для живлення нового обладнання ( $V_{ел}$ );
- інші експлуатаційні витрати ( $V_i$ ).

$$V_{CAP} = V_{зп} + V_a + V_p + V_{ел} + V_{ін}. \quad (7.3)$$

### 7.2.3 Річні витрати на ЗП

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$V_{зп} = n \cdot \text{ФОП}, \quad (7.4)$$

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

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

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

$$\text{ФОП} = \Phi_{зп} \cdot K_{ін}, \quad (7.5)$$

де  $K_{ін} = 1,1$

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

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

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

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

Тоді:

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

$$\text{ФОП} = 93600 \cdot 1,1 = 102960, \text{ грн.}$$

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

#### 7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

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

$$В_a = K_{CAP} * Н_A / 100, \quad (7.7)$$

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

$$В_a = 1224529,2 \cdot 24/100 = 293887 \text{ грн.}$$

#### 7.2.5 Річні витрати на ремонт

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

$$В_p = K_p \cdot K_{CAP}, \text{ грн.} \quad (7.8)$$

$$В_p = 0,03 \cdot 1224529,2 = 36736 \text{ грн.}$$

#### 7.2.6 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САР визначаються так:

$$V_{\text{ел}} = P_{\text{ел}} \cdot T_{\text{ф}} \cdot K_3 \cdot \text{CB}_{\text{ел}}^{\text{од}}, \text{ грн.} \quad (7.9)$$

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

$T_{\text{ф}}$  – фактичний термін роботи САР за рік ( $T_{\text{ф}} = 7800$  год.);

$K_3$  – коефіцієнт для врахування реального споживання ( $K_3 = 0,8$ );

$\text{CB}_{\text{ел}}^{\text{од}}$  – собівартість виробленого 1кВт · год ( $\text{CB}_{\text{ел}}^{\text{од}} = 90$  коп.)

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

### 7.2.7 Інші витрати

Інші витрати визначаються так:

$$V_{\text{ін}} = 0,25 \cdot (V_a + V_{\text{зп}} + V_p) \quad (7.10)$$

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

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

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

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Розрахунок річних експлуатаційних витрат	
Зарплата персоналу $V_{\text{зп}}$	2574000 грн.
Амортизація нового обладнання $V_a$	293887 грн.
Поточний ремонт нового обладнання $V_p$	36736 грн.
Електричну енергію для живлення нового обладнання $V_{\text{ел}}$	19656 грн.
Інші експлуатаційні витрати $V_{\text{ін}}$	756155,75 грн.
Експлуатаційні витрати $V_{\text{САР}}$	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.

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

$$E_{з.п.} = (p_1 - p_2) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot V_2, \quad (7.11)$$

де  $p_1$  і  $p_2$  – розцінки на операцію відповідно до і після впровадження інновації;

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

$V_2$  – річний обсяг випуску продукції після впровадження інновації.

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

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

$$E_M = (H_1 \cdot Ц_1 - H_2 \cdot Ц_2) \cdot V_2, \quad (7.12)$$

де  $H_1$  і  $H_2$  – норми витрат матеріалів на одиницю продукції відповідно до і після впровадження інновації;

$Ц_1$  і  $Ц_2$  – ціна одиниці матеріалу.

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

Тоді умовно-річна економія витрат дорівнює:

$$\Delta C = E_{з.п.} + E_M - B_{CAP}, \quad (7.13)$$

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

Перевищення прогнозованої 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:

$$E_{\phi} = \frac{\Delta C \cdot n}{12} \quad (7.14),$$

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

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

#### 7.2.9 Річний економічний ефект

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

$$E_{p.ек} = \Delta C - E_H \cdot K_{CAP}, \quad (7.15)$$

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

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

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

Термін окупності ( $T_o$ ) через суму капіталовкладень ( $K_{ов}$ ) визначається:

$$T_o = K_{ов} \cdot (1 + \alpha_a + \alpha_p + \alpha_{зсв}) / E_{p,ек}, \text{ років} \quad (7.16)$$

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

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

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

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

*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 цієї кваліфікаційної роботи полягає в автоматизації водогрійного котла ТВГМ.

Для досягнення цієї мети було проведено аналіз технологічного агрегату котла типу ТВГМ та розроблено схему матеріальних потоків з необхідними сигналами для управління і відображення параметрів. Проаналізовано існуючий рівень автоматизації на підприємстві. Розроблено технічне завдання з вимогами до проектуємої системи. В даному розділі були виділені: основні рівні управління та обробки інформації, необхідні рішення для ПТК, необхідні режими управління системою, визначені необхідні вимоги до безпеки та необхідність резервування інформації.

Також оцінено існуючий рівень автоматизації на підприємстві і сформульовано технічне завдання для проектування системи. Обрано необхідні прилади автоматизації, такі як Siemens S7-300, і розраховано регулюючий орган та виконавчий механізм.

Проведено аналіз техніки безпеки та охорони праці, а також розраховано економічні показники, включаючи витрати на персонал та капіталовкладення, щоб визначити ефективність проекту. Термін окупності проекту 0,4 року, що свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін.

## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.
2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ 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. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: справочник/ Под ред. Тимофеева Б.Б. Киев : Техника, 1983. 351 с.

22. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: <http://wikipage.com.ua/1x400f.html> (дата звернення: 13.02.2024).

23. Вимоги до системи. URL: <https://mydocx.ru/2-120435.html> (дата звернення: 13.11.2022).

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

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

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

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

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

29. 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.

30. 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.

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

32. 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.

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

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

35. 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.

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

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

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

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

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

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

42. 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.

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

44. 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.

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

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

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

48. Емпірико-теоретичні методи дослідження систем управління. URL: <http://examen.od.ua/upravlen/page117.html> (дата звернення 22.02.24).

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

50. 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.